

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

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



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

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

Doctorat en Architecture

Option : Architecture, Environnement et Patrimoine

CARACTERISATION DU CONFORT THERMIQUE EN ESPACES EXTERIEURS. LE CAS D'UN KSAR DU BAS-SAHARA

Présentée par : M^{elle}. SEDIRA Sara

Soutenu publiquement le : .../.../2020

Devant le jury composé de :

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

Année universitaire : 2019/2020

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicace :

En premier,

ALHAMDOULILLAH, avant tout et après tout

Ensuite,

A ma deuxième mère « SEDIRA Fahima », tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect et ma reconnaissance. Tu n'as cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études, tu as toujours été présente à mes côtés. Puisse le Tout Puissant te donner santé, bonheur et longue vie.

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur tendresse, leur patience, leur soutien et leurs prières tout au long de ma vie, que dieu le tout puissant vous préserve et vous accorde la santé, le bonheur et vous protège de tout mal et vous donne une longue vie heureuse.

A mes chers oncles « SEDIRA Labidi, SEDIRA Houcine » pour tout ce qu'ils ont fait pour moi depuis mon enfance, pour leur tendresse et pour leurs encouragements permanents.

A mon cher fiancé et mes chers frères, Youssef, Mouatez, Wassel et Abdallah pour leur appui et leurs encouragements, je vous aime.

A la mémoire de ma tante paternelle « Noura », dans sa tombe, qui est toujours dans mon esprit et dans mon cœur. Que Dieu, le Miséricordieux, l'accueille dans Son éternel Paradis.

A mes chers cousins et cousines et a toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours éducatif, je dédie ce modeste travail. Ainsi que mes amis et mes collègues: Boutarfaia Amira, Latreche Sihem, Ben abdallah fatima, Djihane Bounhas, Zohra Lebbal, Sara Zineddine, Yasmina Besbas, Ikram Benkhalfallah, Afren Roumaissa.

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués et le fruit de votre soutien infailible.

Merci d'être toujours à mes côtés... ♥♥♥

Remerciements :

Avant de commencer la présentation de ce travail de thèse, je veux remercier les nombreuses personnes qui m'ont aidé à accomplir ce travail et qui m'ont soutenue tout au long de ces cinq ans.

Je tiens à exprimer ici mes vifs remerciements et toute ma grande gratitude envers mon directeur de thèse : Pr MAZOUZ Said d'avoir accepté de diriger mon travail de thèse, pour ses orientations précieuses, son aide, ses encouragements, et pour m'avoir orientée vers de nombreuses pistes de la recherche.

Je tiens à remercier aussi ma chère enseignante : Dr. SRITI Leila pour ses orientations et ses encouragements.

Un grand merci à mon cousin : Pr SEDIRA Lakhdar qui ne cessait de m'encourager et qui m'a consacré une part de son précieux temps pour m'aider et m'orienter. Merci beaucoup notre fierté.

Je profite de l'occasion pour saluer et remercier Pr. BOURBIA Fatiha qui m'a accueillie au laboratoire ABE à l'université de Constantine et pour la documentation qu'elle a mise à ma disposition.

Je présente mes chaleureux remerciements au Pr MATZARAKIS Andrea de l'université de Freiburg qui n'a pas hésité à me fournir gratuitement la version pro du logiciel Rayman 2.1.

Je remercie également Mr. Touba Moustafa et Mr. Guendouz Abderrahmane pour leurs encouragements et leurs orientations.

Enfin, je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements envers ceux qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail. Un très grand merci à ma famille, mes amis qui m'ont soutenue.

Résumé :

Le présent travail a pour objet d'étudier l'impact de la morphologie urbaine sur le microclimat urbain et le confort thermique ressenti par les utilisateurs de l'espace extérieur. « La rue et la Rahba » constituent les deux éléments clés du tissu urbain qui forme le ksar de la Dachra Al Hamra (le village rouge) ; c'est le premier noyau de la ville d'El Kantara qui se situe dans la wilaya de Biskra et constitue le portail du Sahara algérien caractérisé par un climat chaud et sec. Notre choix s'est porté sur ce noyau comme un exemple illustratif, conçu selon le modèle introverti des villes islamiques ou des ksour du Sud.

La recherche comprend deux parties ; la première théorique retrace l'état de l'art sur la problématique traitée suivie par une approche sur les notions élémentaires du confort thermique et les différents concepts relatifs à la climatologie ainsi qu'un compte rendu des outils et méthodes développées en matière de recherche en climatologie urbaine.

La deuxième partie comprend une investigation in-situ combinant une prise de mesures des paramètres microclimatiques et enquête par questionnaire qui a été effectuée dans les points représentatifs du tissu urbain étudié. Une simulation à l'aide du logiciel « Rayman $pro2.1$ » a été jugée indispensable pour l'évaluation de l'ambiance thermique à l'échelle urbaine, en calculant les indices du confort thermique PMV*et PET utiles à objectiver et quantifier l'état subjectif de la notion étudiée.

Notre méthode revient à croiser des données morphologiques et climatiques urbaines avec les résultats d'une enquête (questionnaire) effectuée sur terrain sur la sensation des usagers vis-à-vis l'environnement thermique.

La lecture des résultats confirme une forte corrélation entre la température de l'air dans un canyon urbain et son ratio H/L. Parmi les canyons étudiés, celui orienté NE-SO avec un ratio H/L élevé, offre plus de fraîcheur que le canyon orienté NO-SE avec un ratio H/L faible. Une corrélation existe également entre le facteur d'ouverture au ciel (FVC) et la température de l'air et des surfaces. Donc, on a constaté que les paramètres géométriques des rues : orientation, rapport Hauteur/Largeur et FVC ont une influence directe sur les paramètres microclimatiques et par conséquent, sur la sensation thermique des utilisateurs de l'espace extérieur.

En conclusion, on peut dire que les résultats acquis se conforment avec les objectifs fixés pour la présente recherche, et que cet établissement saharien adapté à son milieu offre des conditions de confort permettant une vie urbaine supportable en espace extérieur.

Mots clés :

Confort thermique urbain, microclimat urbain, morphologie urbaine, espaces extérieurs, la rue, ksar, le village rouge, la perception thermique.

Summary:

This study aims at testing the impact of urban morphology on the urban microclimate and the thermal comfort felt by users of outdoor spaces: «The street and the rahba» are the two key elements of the urban fabric that forms the ksar of the Dachra Al Hamra (the red village); it is the first nucleus of the city of El-Kantara, which is located in the wilaya of Biskra and constitutes the portal of the Algerian Sahara characterized by a warm and dry climate. Our choice focused on this nucleus as an illustrative example, conceived according to the introverted model of Islamic cities or ksour of the Southern Algeria.

The research consists of two parts; the first theoretical retraces the state of the art on the treated problem followed by the elementary notions of thermal comfort and the various concepts relating to climatology as well as a report of the tools and methods developed in urban climatology researches. The second part includes a field investigation combining measurements of microclimatic parameters and a questionnaire survey which was carried out in the representative points of the urban fabric studied. A simulation using the software «Rayman pro2.1» was considered indispensable for the evaluation of the thermal environment at the urban scale, calculating the PMV* and PET thermal comfort indices useful for objective and quantifying the subjective state of concept studied. Our method combine urban morphological and climatic data with the results of a survey (questionnaire) carried out in the field to examine the sensation of users in the thermal environment.

The obtained results confirm a strong correlation between the air temperature in an urban canyon and its ratio H/W. Among the canyons studied, the one oriented NE-SW with a high H/W ratio, offers more freshness than the canyon oriented NW-SE with low H/W ratio. There is also a correlation between the sky view factor (SVF) and the air and surface temperature. Therefore, it was found that the geometric parameters of the streets: orientation, Height/Width ratio and SVF have a direct influence on the microclimatic parameters and therefore, on the thermal sensation of the users of outdoor space.

In conclusion, it can be said that the obtained results conform to the objectives set for this research, and that this Saharan institution adapted to its environment, offers comfort conditions allowing a pleasant urban life in outdoor space

Key words:

Urban thermal comfort, urban microclimate, urban morphology, outdoor spaces, street, ksar, the red village, thermal perception.

الملخص:

هذا العمل يهدف إلى دراسة أثر المرفولوجية العمرانية على المناخ المحلي والرفاهية الحرارية لمستعملي الفضاء الخارجي (الشارع والرحبة) اللذان يشكلان العنصران الرئيسيان للنسيج الحضري للدشرة الحمراء، التي تمثل النواة الأولى لمدينة القنطرة والتي تقع بولاية بسكرة، التي تعرف ببوابة الصحراء الجزائرية والتي تتميز بمناخ حار وجاف. وقد تم اختيار هذه النواة كمثال يجسد النموذج المعماري للمدن الإسلامية وقصور الجنوب، والتي تتميز بالانفتاح إلى الدخل.

ويتألف البحث من جزأين: الأول نظري يتم فيه تناول المفاهيم الأولية المتعلقة بالرفاهية الحرارية إضافة إلى مختلف المفاهيم المتعلقة بالمناخ العمراني، كما يشتمل الجزء الثاني على إجراء عمل تجريبي في الموقع يجمع بين قياس العوامل المناخية ودراسة استقصائية للاستبيان، تم إجراؤها في النقاط التي تم اختيارها والتي تمثل النسيج العمراني المدروس. أيضا المحاكاة باستخدام برنامج (Rayman pro2.1) تم اعتمادها لتقييم الأجواء الحرارية على النطاق الحضري، وذلك بحساب المؤشرات الحرارية PMV و PET التي تساعد على تحديد النظرة الموضوعية والكمية للمفهوم الذي تتم دراسته.

طريقة البحث تتلخص في العبور بالبيانات المتعلقة بالمرفولوجية والمناخ الحضري مع نتائج الاستبيان الذي تم إجراؤه في ميدان الدراسة حول إحساس المستخدمين فيما يتعلق بالبيئة الحرارية.

نتائج الدراسة أكدت وجود ارتباط قوي بين درجة الحرارة في الشارع ونسبة ارتفاع /عرض الشارع من بين الشوارع التي تمت دراستها، وجدنا أن الشارع الموجه للشمال الشرقي-الجنوب الغربي والذي يتميز بنسبة ارتفاع/ عرض الشارع كبيرة تكون الأجواء الحرارية فيها معتدلة أكثر من الشارع الموجه للشمال الغربي- الجنوب الشرقي والذي يتميز بنسبة ضعيفة ارتفاع/ عرض الشارع.

ثم أيضا تسجيل علاقة بين عامل الانفتاح على السماء ودرجة حرارة الجو والأسطح على حد سواء. وبذلك وجدنا أن الخصائص الهندسية للشارع: كاتجاه الشارع، النسبة بين ارتفاع/ عرض الشارع وعامل الانفتاح على السماء، لها تأثير مباشر على العوامل المناخية وبالتالي على إحساس مستعملي الفضاءات الخارجية فيما يخص الأجواء الحرارية.

وفي الأخير، يمكننا القول أن النتائج التي تم الحصول عليها تتفق مع الأهداف المحددة لهذا البحث. وأن هذه المنشأة الصحراوية المنكيفة مع بيئتها توفر ظروف حرارية مريحة تسمح بحياة حضرية يمكن تحملها في الفضاء الخارجي.

الكلمات المفتاحية: الرفاهية الحرارية العمرانية، المناخ المحلي العمراني، المرفولوجية العمرانية، الفضاءات الخارجية، الشارع، القصر، الدشرة الحمراء، الإدراك الحراري.

TABLES DES MATIERES	
CONTENU	PAGE
Résumés	I
Tables des matières	Iv
Table des figures	Xi
Liste des tableaux	Xxii
Nomenclature	Xxvii
INTRODUCTION GENERALE	01
PREMIERE PARTIE : DEVELOPPEMENT THEORIQUE	
CHAPITRE I : Le CONFORT THERMIQUE EN ESPACE EXTERIEUR : SYNTHESE DES RECHERCHES RECENTES :	
INTRODUCTION	09
I. Approche purement physique (mesures microclimatiques)	10
II. Approche physique/ psychologique	17
III. Approche physique /physiologique	28
IV. Etudes sur l'effet de la géométrie urbaine sur les radiations solaires et les vents	41
V. Etudes sur les caractéristiques des matériaux de construction	42
CONCLUSION	44
CHAPITRE II : LE CONFORT THERMIQUE EN ESPACES EXTERIEURS : NOTIONS DE BASE	
INTRODUCTION	45
I. Le confort thermique urbain:	45
I.1. Notion de confort thermique :	45
I.2. Les paramètres du confort thermique :	47
I.2.1. Les paramètres climatiques	48
I.2.1.1. Température de l'air	48
I.2.1.2. Le rayonnement solaire	49
I.2.1.3. L'humidité relative	49
I.2.1.4. La vitesse du vent	50
I.2.1.5. La température moyenne radiante	51
I.2.2. paramètres personnels	54
I.2.2.1. Métabolisme et activité	54
I.2.2.2. L'habillement	56
I.2.2.3. Facteurs contribuant	57
I.3. Les conditions de confort :	57
I.3.1. Équilibre entre le métabolisme énergétique et les pertes thermiques du corps :	57
I.3.2. La température cutanée	58
I.4. La thermorégulation du corps humain	58
I.4.1. Les différents phénomènes de thermorégulation	59
I.4.2. L'échange thermique entre le corps humain et son environnement	60
I.4.2.1. La conduction	60

I.4.2.2. La convection	61
I.4.2.3. Le rayonnement	61
I.4.2.4. L'évaporation	61
II. La notion de confort thermique dans l'espace extérieur urbain	61
III. Les différents modes d'adaptation	62
III.1. L'adaptation physique	63
III.2. L'adaptation physiologique	63
III.3. L'adaptation psychologique	64
IV. Les indices du confort thermique	65
IV.1. Les indices développés pour définir le confort intérieur dans un premier temps	68
IV.1. 1. La température résultante	68
IV.1. 2. La température effective (ET) et ses dérivés (température effective standard « SET »)	70
IV.1. 3. L'indice DISC	71
IV.1. 4. Vote moyen prévisible (PMV)	72
IV.2. Les indices développés pour définir le confort extérieur	77
IV.2. 1. L'indice de la contrainte thermique (ITS)	77
IV.2. 2. Vote moyen prévisible modifié (PMV*)	78
IV.2. 3. La nouvelle température effective standard modifiée (OUT_SET*)	80
IV.2. 4. L'indice UTCI: (Universal Thermal Climate Index)	80
IV.2. 5. La méthode COMFA	82
IV.2. 6. PET (la température physiologique équivalente)	84
CONCLUSION	87
CHAPITRE III : KSOURS : ORIGINES, GENESES ET ADAPTATION	
INTRODUCTION	89
I. Les ksours : définition	90
II. Origines probables des différents types de « ksour »	91
III.L'adaptation bioclimatique dans les régions désertiques	94
IV. Caractéristiques typo-morphologiques des ksour	95
IV.1. La nature du site et la topographie	96
IV .2. La forme et la taille	96
IV.3. Le système constructif des ksours	96
V. Les typologies des ksour au bas Sahara	97
V.1. Dans le Ziban	97
V.2. Dans le Souf	100
V.3. Dans l'Oued Righ	101
V.4. Dans Ouargla	101
V.5. Dans le M'zab	102
VI. La morphologie urbaine et l'organisation spatiale de tissu ksourien	103
VII. Matériaux de constructions	104

VII.1. La terre	105
VII.2. La pierre	106
VII.3. Le palmier	106
VII.4. les liants	108
VII.5. Le Timchent	108
VIII. Les facteurs de dégradation des ksours	108
VIII.1. les facteurs classiques	109
VIII.2. les bouleversements des conditions de vie	109
VIII.3. Les pathologies constructives	109
CONCLUSION	110
CHAPITRE V : IMPACT DE LA MORPHOLOGIE URBAINE SUR LE MICROCLIMAT URBAIN	
INTRODUCTION	112
I. La morphologie urbaine	113
I.1. Définition de la morphologie urbaine	113
I.2. La forme urbaine	114
I.3. Le tissu urbain	115
II. Approche théorique sur la rue	115
II.1. Définition	115
II.2. Typologie des rues	116
III. La place	117
III.1. Définition	117
III.2. Typologies de places	118
III.2.1. Les places de circulation	118
III.2.2. Les places monumentales	119
III.2.3. La place d'armes	119
III.2.4. La place du marché	120
IV. Les descripteurs géométriques du tissu urbain	120
IV.1. Le canyon urbain	120
IV.1.1. Le ratio H/L	120
IV.1.1.1. La forme canyon	122
IV.1.1.2. La forme dièdre	123
IV.1.1.3. La forme dégagée	123
IV.1.2. L'orientation de canyon	124
IV.1.3. Le Facteur de vue du ciel (FVC)	125
IV.1.4. L'albédo	126
IV.2. L'espace urbain Non-canyon	127
V. Le climat urbain	130
V.1. Définition	130
V.2. Les différentes échelles du climat urbain	130
V.2.1. Les échelles climatiques horizontales	131
V.2.1. 1. L'échelle macro (globale)	131
V.2.1. 2. L'échelle méso (régionale)	131

V.2.1. 3. L'échelle locale	131
V.2.1. 4. L'échelle microclimatique	131
V.2.2. Les échelles climatiques verticales	133
V.2.2. 1. La couche limite atmosphérique CLA	133
V.2.2. 2. La couche limite urbaine CLU	133
V.2.2.3. La canopée urbaine	134
VI. Le bilan énergétique urbain	135
VII. Impacte de la géométrie urbaine sur le rayonnement solaire	135
VIII. Impacte de la géométrie urbaine sur l'écoulement du vent	137
VIII.1. Impact de la géométrie urbaine sur les effets aérodynamiques	141
IX. Le phénomène de l'îlot de chaleur urbain	145
IX.1. Caractéristiques temporelles et spatiales de l'îlot de chaleur urbain	146
IX.2. Causes du phénomène d'îlot de chaleur urbain	148
IX.2.2. Rôle de la géométrie urbaine	149
CONCLUSION	150
DEUXIEME PARTIE : EXPERIMENTAL ET SIMULATION	
CHAPITRE IV : CONTEXTE D'ETUDE ET POSITIONNEMENT EPISTEMOLOGIQUE	
INTRODUCTION	151
I. Présentation du cas d'étude	152
I.1. Situation et localisation du ksar à étudier	152
I.2. Historique	154
I.3. Topographie et reliefs	154
II. Etude climatique de la ville et Le choix de la période des mesures	155
II.1. Détermination de l'isotherme de la ville de Biskra	155
II.2. Détermination de la période de mesure	157
II.3. Analyse des températures de l'air	158
II.4. Analyse de la vitesse du vent	158
II.5. Analyse de l'humidité relative	159
II.6. Analyse des précipitations	160
III. Calcul de l'indice d'aridité de la ville de Biskra	161
III.1. L'indice d'aridité annuel de De Martonne	161
III.2. Indice d'aridité mensuel de De. Martonne	163
III.3. la classification bioclimatique d'Emberger (Climagramme)	164
IV. Le positionnement épistémologique	165
V.1. Analyse typo morphologique	168
V.1. Définition	168
IV.2. Objectifs de l'analyse typo morphologique	169
IV.3. Etude typo-morphologique et structurelle de la Dachra-El-Hamra	169
IV.4. L'habitat traditionnel	172
IV.5. Les édifices à caractère culturel et religieux	175
V. Localisation des points de mesure	178

VI. Lecture typo-morphologique des points de mesure	179
VII. Le déroulement de la campagne de mesure	194
VII.1. Présentation des instruments de mesure	195
VII .1.1. Testo data logger	195
VII .1.2. Cason CA 380	196
VIII. Présentation des résultats des mesures	196
VIII.1. La température de l'air	196
VIII.2. La vitesse de l'air	197
VIII.3. La température moyenne radiante	199
CONCLUSION	201
CHAPITRE VI : CONFORT THERMIQUE ET ASPECTS PHYSIOLOGIQUES : RESULTATS DE LA SIMULATION	
INTRODUCTION	203
I. Présentation du logiciel de simulation« RAYMAN »	204
II. Présentation des résultats de la simulation	208
II.1. Analyse de l'ombrage et de l'ensoleillement	208
II.2. La durée d'ensoleillement	213
II.3. Le rayonnement global, thermique et direct	215
II.4. impacte de la morphologie urbaine sur la température du sol	216
II.5. Evaluation du confort thermique par le vote moyen prévisible (PMV*)	218
II.5. Evaluation du confort thermique par la température physiologique équivalente	219
CONCLUSION	223
CHAPITRE VII : CONFORT THERMIQUE ET ADAPTATION PSYCHOLOGIQUE: QUESTIONNAIRE IN SITU	
INTRODUCTION.....	225
I. Classification des enquêtes in situ	226
I.1. Classification selon l'étendue et la précision de mesures réalisées	226
I.2. Classification selon le mode d'échantillonnage	226
II. Elaboration du formulaire de questions	160
III. Protocole de l'enquête	229
IV. Présentation du logiciel « Sphinx »	229
V. Analyse et interprétation des résultats des questionnaires	231
V.1. Analyse univariée : description et interprétation des réponses	231
V.1.1. Types des rues	231
V.1.2. Genre de sujets (Homme/Femme) et classes d'âge	232
V.1.3. Caractéristiques physiques des sujets	233
V.1.4. Comportement des sujets	234
V.1.5. Les conditions de l'ensoleillement et du vent en générale	236
V.1.6. Conditions de température	237
V.1.7. Conditions d'humidité	238

V.1.8. Conditions d'ensoleillement	239
V.1.10. Conditions du vent	240
V.1.9. Ambiance thermique en général	241
V.2. Analyse bi variée : tableaux croisés	243
V.2.1. Type de rue /Conditions de température	243
V.2.2. Type de rue/Conditions d'ensoleillement	246
V.2.3.Type de rue / Conditions d'humidité	249
V.2.4. Type de rue/Conditions du vent	252
V.2.5. Ambiance en général	255
V.3. Analyse factorielle des correspondances multiples	257
V.3.1. Analyse des correspondances multiples : Variables: Type de rue, Ta, Ta1, Ta2	258
V.3.2. Analyse des correspondances multiples : Variables : Type de rue, HR, HR1, HR2	259
V.3.3. Analyse des correspondances multiples : Variables : Type de rue, ensol, ensol1, ensol2	261
V.3.4. Analyse des correspondances multiples Variables : Type de rue, Va, Va1, Va12	263
VI. Confrontation des résultats du questionnaire et des mesures :	265
VI.1. La température moyenne radiante/type de rue	265
VI.1. La température moyenne radiante / Perception	266
VII. Confrontation des résultats du questionnaire et de la simulation	267
VII.1. Le rapport température physiologique équivalente /type de rue	267
VII.2. Le rapport température physiologique équivalente /perception	269
CONCLUSION	271
CONCLUSION GENERALE	272
I. Introduction	272
II. Synthèse de la recherche et principaux résultats	277
III. Recommandations	279
III.1. Orientation des rues	280
III.2. Profils de rue	
III.3. Matériaux et revêtement des surfaces	
III.4. Protection horizontales et verticales	
IV. Limites de recherche	
V. Perspectives de la recherche	
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	281
ANNEXES	
ANNEXE 01 : LES VALEURS DE LA RESISTANCE D'HABILLEMENT (CLO).	290
ANNEXE 02 : CHALEUR METABOLIQUE SELON DIFFERENTES ACTIVITES. SOURCE: ASHRAE, 1997	291
ANNEXE 03 : LA TEMPERATURE DE L' AIR MOYENNE DU MOIS DE JUIN D'UNE DECENNIE (2006-2015)	292

ANNEXE 04 : LA TEMPERATURE DE L' AIR MOYENNE DU MOIS DE JUILLET D'UNE DECENNIE (2006-2015)	293
ANNEXE 05 : LA TEMPERATURE DE L' AIR MOYENNE DU MOIS D'AOUT D'UNE DECENNIE (2006-2015)	294
ANNEXE 05 : LA TEMPERATURE DE L' AIR MOYENNE DU MOIS D'AOUT D'UNE DECENNIE (2006-2015)	295
ANNEXE 07 : DIAGRAMMES SOLAIRES	307
ANNEXE 08 : FORMULAIRE DE QUESTIONS	208
ANNEXE 09 : RESULTATS DES MESURES : LES QUATRES 04 MESURES PAR POINTS + LEURS MOYENNES (EN JAUNE	323
ANNEXE 10: TABLEAU RECAPITULATIF DES COEFFICIENTS D'EMISSIVITES DES MATERIAUX	329
ANNEXE 11: TABLEAU DES TRACEES D'OMBRE AU COURS DE LA JOURNEE DANS DIFFERENTS POINTS DE MESURE.	334
Annexe 12:TABLEAU PRESENTE LES DUREES D'ENSOLEILLEMENT EFFECTIVES EN COMPARAISON AVEC LES DUREES D'ENSOLEILLEMENT MAXIMALES DE DIFFERENTES STATIONS DANS DES JOURNEES TYPIQUES D'ETE	349
ANNEXE 13: CLASSIFICATION DES VALEURS DE PET SELON LES DIFFERENTS NIVEAUX DU STRESS PHYSIOLOGIQUE ET LA PERCEPTION THERMIQUE.	350

TABLE DES FIGURES :

Figure I.1. Les points de mesure dans le tissu traditionnel.....	10
Figure I.2. Les points de mesure dans le tissu contemporain.....	10
Figure I.3. La température de l'air et la température des surfaces latérales, 27 juillet 1997. H/L(AT)=2, H/L(AC)=0,6, H/L(BT)=1,6, H/L(BT)=0,4.....	11
Figure I.4. La comparaison des variations de la température de l'air dans deux canyons au tissu contemporain orienté N-S et E-O, 26 juillet 1997.....	12
Figure I.5 La localisation des points de mesures choisis.....	12
Figure I.6. Schéma représentatif des caractéristiques géométriques (dimensions et proportions entre la hauteur du bâtiment et la largeur des stations de mesures.....	14
Figure I.7. Diagramme de la température de l'air mesurée dans les 05 points de mesure en comparaison avec celle de la station météorologique.....	14
Figure I.8. La comparaison de la température de l'air moyenne prise dans une rue au tissu traditionnel (1), une rue au tissu transformé (2) et celle de la station météorologique.....	15
Figure I.9. La comparaison de la température moyenne radiante dans une rue au tissu traditionnel (1) et une rue au tissu transformé le (2).....	16
Figure I.10. Les variations du ΔT dans l'espace extérieur.....	17
Figure I.11. La comparaison entre le pourcentage du PMV et ASV.....	18
Figure I.12. Schéma exprimant l'interrelation entre les différents paramètres de l'adaptation psychologique.....	20
Figure I.13. La comparaison entre ASV obtenue du questionnaire et PMV calculé.....	20
Figure I.14. La relation entre les différents niveaux du confort thermique et la sensation thermique à Kassel en Allemagne.....	22
Figure I.15. La variabilité microclimatique de deux places Florentiner (à gauche), Bahnhof (à droite).....	23
Figure I.16. Zonage du confort thermique pour la place "Florentiner".....	24
Figure I.17. Zonage du confort thermique pour la place " Bahnhof ".....	24
Figure I.18. Les variations du nombre des personnes dans le parc en fonction de la température moyenne radiante T_{mrt}	24
Figure I.19. Variations du nombre des personnes dans l'ombre en fonction de la température moyenne radiante T_{mrt}	25
Figure I.20. La différence entre la sensation thermique (ASV) et l'indice PMV calculé en fonction du temps passé dans le parc.....	25
Figure I.21. Les réponses thermiques des étudiants Malaysiens et étrangers.....	26

Figure I.22. La perception physique des utilisateurs vis-à-vis de la présence ou l'absence des végétations.....	27
Figure I.23. Les variations de la température de l'air dans les différentes stations, juillet 2011.....	28
Figure I.24. Les variations de l'humidité relative dans les différentes stations, juillet 2011... 28	
I.25. Calcul des variations du Tcore et Tsk aux conditions thermiques froides-les lignes horizontales présentent le niveau de la stabilité.....	29
I.26. Calcul des variations du Tcore et Tsk aux conditions thermiques chaudes-les lignes horizontales présentent le niveau de la stabilité.....	29
Figure I.27. Schémas représentatifs de la géométrie et de l'orientation des canyons modélisés.....	29
Figure I.28. La distribution spatiale et temporelle de l'indice thermique PET mesuré dans les différents canyons.....	30
Figure I.29. La géométrie des différentes rues choisies comme des points de mesures à l'ancienne ville de Beni-Isgen, Ghardaïa, Algérie.....	31
Figure I.30. La température moyenne radiante mesurée durant une journée typique d'été à l'ancienne ville de Beni-Isgen, Ghardaïa, Algérie.....	32
Figure I. 31. La température physiologique équivalente mesurée durant une journée typique d'été à l'ancienne ville de Beni-Isgen, Ghardaïa, Algérie.....	33
Figure I.32. Le tissu urbain traditionnel choisi à Fès, Maroc.....	34
Figure I.33. Le tissu urbain choisi de la nouvelle ville à Fès, Maroc.....	34
Figure I.34. L'indice thermique: PET calculé dans un canyon urbain profond et peu profond, durant la période estivale.....	34
Figure I.35. L'indice thermique: PET calculé dans un canyon urbain profond et peu profond, durant la période hivernale.....	35
I.36. La température moyenne radiante calculée par Solweig (à gauche) et par Envi-met (à droite), le 23 juin 2008.....	36
Figure I.37. Simulation par Envi-met de la distribution de l'indice PMV dans les deux variantes (1) pavage en asphalte, (2) la présence de la végétation.....	37
Figure I.38. Simulation de la distribution de la balance énergétique (TB) par la méthode COMFA dans les deux variantes (1) pavage en asphalte, (2) la présence de la végétation.....	37
Figure I.39. Simulation de la distribution de la balance énergétique (TB) par la méthode COMFA dans la troisième variante.....	38
Figure I.40. Le facteur de vue du ciel (FVC) des points de mesures.....	38

Figure I.41. La fréquentation de l'espace extérieur de 08:00 à 18:00 au cours des saisons selon les conditions thermiques (a) conditions chaudes, (b) conditions froides, (c) conditions satisfaisantes.....	39
Figure I.42 PET mesurée et sa relation au facteur de vue du ciel.....	39
Figure I.43. La distribution temporelle de l'indice thermique PET dans des canyons urbains, NO – SE (a), E-O (b), et N-S (c).....	40
Figure I.44. Le développement de l'enveloppe climatique.....	42
I.45. La différence entre les matériaux chauds et froids.....	43
I.46. La distribution de la température de la surface de quelques matériaux sélectionnés, selon la couleur de la surface extérieure, aout 2001.....	43
Figure II.1. Schéma explicatif de la notion de la neutralité thermique.....	47
Figure II.2. Thermomètre à globe. Source: Szoekolay, 2004.....	52
Figure II.3. Les flux radiatifs nécessaires au calcul de la température moyenne radiante.....	53
Figure II.4. Les températures de confort exigées pour différents activités. 55	
Figure II.5. Principe de la thermorégulation végétative, comportementale et technologique.....	60
Figure II.6. Les différents modes d'échanges thermiques.....	61
Figure II.7. Le modèle d'adaptation thermique.....	65
Figure II.8. Diagramme de l'indice de la température résultante (RT).....	69
Figure II.9. la corrélation entre PMV et PPD.....	74
Figure II.10. Diagramme de confort relatif au PMV.....	75
Figure II.11. schéma représentatif de principaux paramètres de l'UTCI.....	81
Figure II.12. Relation entre Tmrt et PET durant une journée d'été.....	86
Figure III.1. Les axes commerciaux dans le nord d'Afrique.....	92
Figure III.2. Ksar de Lichana. Parcellaire et construction.....	99
Figure III. 3. Les portes El Guebli (à gauche) et Edahraoui (à droite) de ksar de Lichana... 100	
Figure III.4. Les ksour du Souf au début du XXe siècle.....	100
Figure III.5. Les ksour de l'Oued Righ au milieu des palmeraies.....	101
Figure III. 6. Les ksour d'Ouargla au début du XXe siècle.....	102
Figure 7. Les ksour du M'zab au début du XXe siècle.....	102
Figure III.8. Vue satellitaire de ksar d'El Ateuf à Ghardaia.....	103

Figure III.9. Système viaire hiérarchisé du public au privé dans le ksar de Lichana à Biskra.....	104
Figure III.10. Construction en Toub au ksar de Lichana à Biskra.....	105
Figure III.11. L'utilisation de la pierre comme matériau de construction à la casbah d'Ouargla. Source: auteur, 2017.....	106
Figure III.12. L'utilisation du stipe comme des poutres à la casbah d'Ouargla.....	107
Figure III.13. L'utilisation du stipe comme un linteau à la casbah d'Ouargla.....	107
Figure III.14. L'utilisation du stipe taillé comme des poutres au ksar de Lichana à Biskra. Source: auteur, 2014.....	107
Figure III.15. L'utilisation des gaines comme des appuis au ksar de Lichana à Biskra.....	108
Figure IV.1. Ruelle à El kasbah d'Ouargla. Source: auteur, 2018.....	117
Figure VI.2. Ruelle à la rochelle (France).....	117
Figure IV.3. Ruelle à El kasbah d'Ouargla.....	117
Figure IV.4. Place des nations à Paris. Source: auteur, 2017.....	119
Figure IV.5. Place royale à Nantes. Source: auteur, 2015.....	119
Figure IV.6. La place du marché de Ghardaïa. Source : http://www.opvm.dz	120
Figure IV.7. Variations des températures de l'air en fonction du rapport H/L.....	121
Figure IV.8. Schéma d'un canyon urbain symétrique et ses descripteurs géométriques.....	121
Figure IV.9. Relation entre l'intensité de l'ICU nocturne et le rapport H/L.....	122
Figure IV.10. La forme de la rue canyon.....	123
Figure IV.11. La forme de la rue dièdre.....	123
Figure IV.12. La forme de la rue dégagée.....	124
Figure IV.13. Le rapport entre le ratio H/L et FVC.....	125
Figure IV.14. Les valeurs de l'albédo dans l'environnement urbain.....	126
Figure IV.15. Les paramètres géométriques nécessaires au calcul de FVC dans un canyon asymétrique. Source: (Erell et al, 2011).....	127
Figure IV.16. Les paramètres géométriques nécessaires au calcul de FVC dans une place circulaire. Source: (Erell et al, 2011).....	128
Figure IV.17. Schéma d'une cour rectangulaire symétrique et ses descripteurs géométriques. Source: (Erell et al, 2011).....	128
Figure IV.18. Différentes méthode pour l'estimation du FVC.....	129

Figure IV.19.Exemples d'estimation de FVC à l'aide de l'outil informatique SIG (Système d'Informations Géographiques).....	129
Figure IV.20. a- relevée photographique de l'espace urbain à étudier b- la technique "Fish eye lens" pour l'estimation de FVC.....	130
Figure IV.21.Représentation des trois échelles utilisées dans la climatologie urbaine.....	133
Figure IV.22.structure verticale de l'atmosphère urbaine pour des vents supérieurs et inférieurs à 3m/s. Source: Mestayer, Anquetin, 1995.....	134
Figure IV.23. Coupe urbaine schématique montrant le bilan énergétique urbain.....	135
Figure IV.24. Profils de rues analysés : Case I : rue canyon, Case II : profil de galerie, Case III : rues asymétriques surplombantes, Case IV et V : rue canyon planté d'arbres.....	136
Figure IV.25. Distribution schématique du rayonnement solaire incident dans différents scénarios d'H/L. Source : Givoni, 1998, p.248.....	137
Figure IV.26. Rue parallèle à la direction du vent.....	138
Figure IV.27. Rue perpendiculaire à la direction du vent.....	138
Figure IV.28. Rue oblique à la direction du vent.....	138
Figure IV.29. Corrélation entre l'atténuation de la vitesse de l'air et le rapport H/L.....	140
Figure IV.30. Régimes d'écoulements aérauliques dans la rue. Rue de type canyon avec un rapport d'aspect W / H supérieur à 2,5 (rugosité isolée), compris entre 1,54 et 2,5 (interférence de sillage), et inférieur à 1,54 (rasant).....	140
Figure IV.31. Effet de venturi.....	142
Figure IV.32. Effet de canalisation.....	142
Figure IV.33. Effet de coin.....	143
Figure IV.34. Effet de barre.....	143
Figure IV.36. Effet wise.....	144
Figure IV.35. Effet de sillage.....	144
Figure IV.37. Effet de trous sous immeubles.....	145
Figure IV.38. Profil d'un îlot de chaleur urbain.....	146
Figure IV.39. Coupe d'un îlot de chaleur urbain.....	147
Figure IV.40. Intensité d'un îlot de chaleur urbain de la couche limite urbaine sur 24h.....	147
Figure IV.41. Illustration de l'expérience menée par le Groupe de Hashem Akbari.....	148
Figure V.1. Carte administrative de l'Algérie, Localisation d'El-Kantara dans la wilaya de Biskra.....	152

Figure V.2. Localisation de Dachra El-Hamra dans le tissu urbain d'El-Kantara.....	153
Figure V.3. Les tissus traditionnels d'El-Kantara.....	154
Figure V.4. Localisation du village rouge dans la ville d'El-Kantara.....	155
Figure V.5. L'isotherme de la wilaya de Biskra déterminant les différentes zones thermiques.....	156
Figure V.6. L'évolution de la température de l'air moyenne d'une décennie (2005 – 2015).....	157
Figure V.7. Température moyenne mensuelle (°C) à El-Kantara pendant une année 2015 - 2016.....	158
Figure V.8 : Carte de répartition de la pluviométrie, région de Biskra (Extrait de la carte pluviométrie de l'Algérie au 1/500.000, 1971).....	161
Figure V.9. Indices d'aridité calculés durant une décennie (2003 -2012).....	162
Figure V.10. Indice annuel d'aridité de De.Martonne dans la ville de Biskra.....	163
Figure V.11. Localisation de la région de Biskra sur le climagramme d'emberger.....	165
Figure V.12. Schéma récapitulatif des différents types d'investigations utiles à l'évaluation du confort thermique dans les espaces extérieurs.....	168
Figure V.13. Périmètre d'étude de l'expérience.....	170
Figure V.14. Caractérisation des espaces extérieurs par rapport à la totalité urbaine.....	171
Figure V.15. Les passages couverts dans le Village Rouge.....	171
Figure V.16. Les balcons surplombant les oasis dans le Village Rouge.....	172
Figure V.17. Plan (à gauche), coupes (à droite) d'une maison au Village Rouge.....	173
Figure V.18. Plans de la maison traditionnelle Kantarie.....	174
Figure V.19. Vues sur la mosquée BENI OUADJ.....	176
Figure V.20. Vue de la façade principale du mausolée Ahmed Ben Brahim.....	176
Figure V.21. Vue d'ensemble du mausolée Dar Cheikh.....	177
Figure V.22. Vue de la façade principale du mausolée Sidi Abdeddaim.....	177
Figure V.23. Vues d'ensemble du musée lapidaire.....	178
Figure V.24. Localisation des points de mesure.....	179
Figure V.25. L'organisation viaire dans la Dachra.....	193
Figure V.25.principe d'organisation du tissu urbain de village rouge.....	194
Figure V.27. L'instrument de mesure testo data logger 480.....	195

Figure V.28. Cason CA 380.....	196
Figure V.29.Comparaison de la température de l'air mesurée aux points de mesure avec celle de la station météorologique.....	197
Figure V.30. Comparaison de la vitesse de l'air mesurée aux points de mesure avec celle de la station météorologique.....	199
Figure V.31. Variations de la température moyenne radiante selon le ratio H/L.....	200
Figure VI. 1. Fenêtre de démarrage contenant les informations du RayMan pro 2.1.....	204
Figure VI. 2. Fenêtre des inputs (obstacles) de RayManPro2.1.....	205
Figure VI. 3.Fenêtre principale de Rayman pro 2.1.....	205
Figure VI. 4. Calcul du FVC par la superposition du diagramme polaire sur une photo fish-eye.....	206
Figure VI. 5. Fenêtres d'introduction des coordonnées des différents coins du bâtiment et les caractéristiques géométriques des arbres. Source : RayMan Pro 2.1.....	207
Figure VI. 6. La corrélation entre les valeurs du FVC calculées depuis la photo « fish-eye » et celles estimées par Rayman.....	207
Figure VI. 7. La corrélation entre la Tmrt mesurée et les valeurs de la Tmrt issues de la simulation par Rayman.....	208
Figure VI. 8. Diagrammes solaires pour les FVC aux points 03, 06, 12.....	213
Figure VI. 9. Variations de la durée d'ensoleillement effective en fonction du FVC des différents points de mesures.....	214
Figure VI. 10. Corrélation de la durée d'ensoleillement effective et FVC.....	214
Figure VI. 11. Variations du rayonnement global dans les différentes stations de mesures.....	215
Figure VI. 12. Variations rayonnement thermique dans les différentes stations de mesures.....	216
Figure VI. 13. Variations des valeurs du rayonnement direct dans les différentes stations de mesures. Source: auteur: 2016.....	216
Figure VI. 14. Corrélation entre la température du sol mesurée et celles estimées par Rayman pro.....	217
Figure VI. 15. variation des températures du sol dans les différents points de mesure.....	217
Figure VI. 16. Variations des moyennes des valeurs du PMV dans les différents points de mesure.....	219
Figure VI. 17. Les valeurs de PET dans les différents points de mesure.....	220

Figure VI. 18. Variations des moyennes des valeurs du Tmrt et PET en fonction du FVC dans les différents points de mesure durant des journées typiques d'été.....	221
Figure VI. 19. Corrélation des moyennes des valeurs de Tmrt et PET durant des journées typiques d'été.....	221
Figure VI. 21. Corrélation des moyennes des valeurs de l'indice thermophysique PET et FVC.....	222
Figure VI. 22. Classification des valeurs moyennes de PET selon les orientations des espaces étudiés.....	223
Figure VII. 1. Fenêtre principale du logiciel Sphinx.....	230
Figure VII. 2. Les différentes étapes à suivre pour le traitement des données par "sphinx".....	230
Figure VII. 3. Tableau et graphique décrivant les typologies des rues étudiées.....	232
Figure VII. 4. Tableau et graphique décrivant le genre des enquêtés.....	233
Figure VII. 5. Tableau et graphique décrivant les tranches d'âge de l'échantillon.....	233
Figure VII. 6. Tableau et figure représentant la période favorable de l'utilisation des points de mesure. Source : auteur, 2017.....	235
Figure VII. 7. Tableau et figure représentant de la situation des enquêtés au moment du questionnaire.....	236
Figure VII. 8. Tableau et figure représentatifs de la sensation des enquêtés vis-à-vis des conditions d'ensoleillement en générale. Source : auteur, 2017.	236
Figure VII. 9. Tableau et figure représentatifs de la sensation des enquêtés vis-à-vis des conditions du vent en générale.....	236
Figure VII. 10. Tableaux et figures représentant la sensation des enquêtés vis-à-vis des conditions de température selon 03 échelles (Ta : sensation, Ta1 : évaluative, Ta2 : préférence).....	237
Figure VII. 11. Tableaux et figures représentant la sensation des enquêtés vis-à-vis des conditions d'humidité selon 03 échelles (HR : sensation, HR1 : évaluative, HR2 : préférence).....	238
Figure VII. 12. Tableaux et figures représentant la sensation des enquêtés vis-à-vis des conditions d'ensoleillement selon 03 échelles (ensol : sensation, ensol1 : évaluative, ensol2 : préférence). Source : auteur, 2017.....	240
Figure VII. 13. Tableaux et figures représentant la sensation des enquêtés vis-à-vis les conditions de l'ensoleillement selon 03 échelles (Va : sensation, Va1 : évaluative, Va12: préférence).....	241
Figure VII. 14. Tableau et figure représentant la sensation des enquêtés vis-à-vis l'ambiance en général selon 03 échelles (Va : sensation, Va1 : évaluative, Va2: préférence).....	242

Figure VII. 15. Tableau et figure représentant les variables croisées (Type de rue /Conditions de température) selon une échelle de sensation.....	244
Figure VII. 16. Tableau et figure représentant les variables croisées (Type de rue /Conditions de température) selon une échelle évaluative.....	245
Figure VII. 17. Tableau et figure représentant les variables croisées (Type de rue /Conditions de température) selon une échelle évaluative.....	246
Figure VII. 18. Tableau et figure représentant les variables croisées (Type de rue /Conditions d'ensoleillement) selon une échelle de sensation. Source : auteur, 2017. 247	247
Figure VII. 19. Tableau et figure représentant les variables croisées (Type de rue /Conditions d'ensoleillement) selon une échelle évaluative.....	248
Figure VII. 20. Tableau et figure représentant les variables croisées (Type de rue /Conditions d'ensoleillement) selon une échelle de préférence.....	249
Figure VII. 21. Tableau et figure représentant les variables croisées (Type de rue /Conditions d'humidité) selon une échelle de sensation.....	250
Figure VII. 22. Tableau et figure représentant les variables croisées (Type de rue /Conditions d'humidité) selon une échelle évaluative.....	251
Figure VII. 23. Tableau et figure représentant les variables croisées (Type de rue /Conditions d'humidité) selon une échelle de préférence.....	252
Figure VII. 24. Tableau et figure représentant les variables croisées (Type de rue /Conditions du vent) selon une échelle de sensation. Source : auteur, 2017. 253	253
Figure VII. 25. Tableau et figure représentant les variables croisées (Type de rue /Conditions du vent) selon une échelle évaluative.....	254
Figure VII. 26. Tableau et figure représentant les variables croisées (Type de rue /Conditions du vent) selon une échelle de sensation.....	255
Figure VII. 27. Tableau et figure représentant les variables croisées (Type de rue /Ambiance en général) selon une échelle de satisfaction.....	256
Figure VII. 28. Carte factorielle de correspondance des variables croisées : Type de rue, Ta, Ta1, Ta2.....	259
Figure VII. 29. Carte factorielle de correspondance des variables croisées : Type de rue, HR, HR1, HR2.....	260
Figure VII. 30. Carte factorielle de correspondance des variables croisées : Type de rue, ensol, ensol1, ensol2.....	262
Figure VII. 31. Carte factorielle de correspondance des variables croisées Type de rue, Va, Va1, Va2.....	264
Figure VII. 32. Carte factorielle de correspondance des variables croisées Type de rue /Tmrt.	266

Figure VII. 33. Carte factorielle de correspondance des variables croisées Tmrt / perception..... 267

Figure VII. 34. Carte factorielle de correspondance des variables croisées Type de rue /PET.268

Figure VII. 35. Carte factorielle de correspondance des variables croisées PET, perception.....270

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1. L'humidité relative mesurée dans les différents points au cours de la journée...13	13
Tableau I.2. La température de l'air mesurée dans les différents points au cours de la journée.....13	13
Tableau I.3. Tableau récapitulatifs des températures et la température moyenne du sol des points étudiés.....15	15
Tableau I.4. Les caractéristiques géométriques et les propriétés des matériaux des différents points de mesures à l'ancienne ville de Beni-Isgen, Ghardaïa, Algérie. Avec H1, H2 : les hauteurs des bâtiments latérales, W : la largeur de la rue, SVF : le facteur de vu du ciel.32	32
Tableau II.1. Les paramètres influençant la dissipation de chaleur du corps humain et le confort thermique.....48	48
Tableau II.2. Echelle de Beaufort.....50	50
Tableau II.3. Chaleur métabolique selon différentes activités.....55	55
Tableau II.4. Valeurs Clo pour différents vêtements (y compris les chaussures).56	56
Tableau II.5.les différents phénomènes de thermorégulation.....59	59
Tableau II.6. Les indices de confort thermique pour les environnements intérieurs et extérieurs.....66	66
Tableau II.7. La corrélation entre SET, sensation et état physiologique.....71	71
Tableau II.8. La relation entre le de débit sudoral, la mouillure cutanée et le confort.....72	72
Tableau II.9.Échelle d'évaluation de l'environnement thermique.....76	76
Tableau II.10. Klima Michel Model (PMV), Jendritzky, 1979.....79	79
Tableau II.11. Les valeurs du PMV selon neuf échelles de confort.....79	79
Tableau II.12. Les différentes catégories de l'UTCI selon le stress thermique.....82	82
Tableau II.13.Les valeurs de budget énergétique et les sensations thermiques.83	83
Tableau II.14. Les valeurs de budget énergétique et les sensations thermiques.....84	84

Tableau II.15. La relation entre les valeurs de PET et la perception thermique.....	85
Tableau IV.1. Les différentes échelles spatiales.....	133
Tableau V.1. Moyennes mensuelles de la température de l'air pendant la décennie (2003 - 2013).....	159
Tableau V.2. Moyennes mensuelles de la vitesse de l'air pendant la décennie (2003 - 2013).....	159
Tableau V.3. moyennes mensuelles de l'humidité relative pendant la décennie (2003 - 2013). Source: Station météo.....	160
Tableau V.4. Moyennes mensuelles de l'humidité relative pendant la décennie (2003 - 2013).....	161
Tableau V.5. Les valeurs de l'indice d'aridité calculées selon les données climatiques d'une décennie (2003-2012).....	163
Tableau V.7. Tableau des indices d'aridité mensuels.....	164
Tableau VI. 1. Tracé d'ombre au point 01.....	209
Tableau VI. 2. Tracé d'ombre au point 12.....	209
Tableau VI. 3. Tracé d'ombre au point 07.....	210
Tableau VI. 4. Tracé d'ombre au point 23.....	210
Tableau VI. 5. Tracé d'ombre au point 16.....	211
Tableau VI. 6. Tracé d'ombre au point 05.....	212
Tableau VI. 7. Tracé d'ombre au point 18.....	213
Tableau VII. 1. Les échelles de jugements subjectifs sur les conditions thermiques.....	228
Tableau VII. 2. Tableaux des caractéristiques physiques (Taille, poids, Habillement) des enquêtés.....	234
Tableau VII. 3. Tableau représentant le nombre de passages des enquêtés.....	235
Tableau VII. 4. Tableau récapitulatif des questions fermées de l'enquête.....	242

Tableau VII. 5. Tableau récapitulatif des questions numériques de l'enquête.....	243
Tableau 6. Contribution au p, chi2 et ddl résultant de croisement des variables pour l'analyse bivariée.....	257
Tableau 7. Tableau présentant les valeurs du croisement des deux variables PET et la perception.....	269
Tableau 8. Classification des valeurs de PET selon une nouvelle échelle de perception adaptée au cas d'étude.....	270

NOMENCLATURE :

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

C : le flux thermique échangé par convection (Watts)

e : la pression de vapeur de l'air ambiant (Pa)

E: Est O : Ouest

E: rayonnement en grande longueur d'onde reçu

Ts: température de la surface

ED : le flux thermique latent échangé à travers la peau (Watts)

ERE : le flux thermique perdu par respiration (Watts)

ESW : le flux thermique d'évaporation de la sueur (Watts)

Ext. : Extérieur.

Gact: le rayonnement global reçu Sact: le rayonnement direct

GT : global température (°C)

H/L: le rapport entre la hauteur du bâtiment et la largeur de la rue.

H/W: le rapport entre la hauteur du bâtiment et la largeur de la rue.

ISO : Organisation internationale de normalisation

ITS : l'indice du stress thermique

ℓ : la longueur de la rue (m)

M : le métabolisme de l'individu (Watts)

Max. : Maximum.

Min. : Minimum.

MRT: mean radiant temperature (°C).

Mth : le métabolisme thermique de l'individu (Watts)

N : Nord

NE : Nord Est NO : Nord Ouest

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

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

R : le flux thermique échangé par rayonnement (Watts)

RH: Relative humidity.

S : Sud

SE : Sud Est SO : Sud Ouest

SVF: Sky view factor.

Ta: air temperature (°C)

Tcore: Température du corps humain

Tsk: Température de la peau

UTCI: Universal Thermal Climate Index(°C).

W : le métabolisme mécanique de l'individu (Watts)

Ws: Wind speed (m/s)

ΔT_{u-r} : la différence de température entre le milieu urbain (u) et le milieu rural (r) (°C).

INTRODUCTION GENERALE

« The wise man doesn't give the right answers, he poses the right questions. »

Claude Levi Strauss

Introduction générale :

Le confort thermique en extérieur représente l'un des paramètres les plus importants qui influent sur le comportement des usagers des espaces extérieurs. Cette notion globale et complexe n'a pas reçu la même attention que le confort thermique intérieur, mieux optimisé lors de la conception de l'enveloppe architecturale, ceci en raison de la difficulté à agir sur les paramètres complexes de l'environnement extérieur.

Depuis quelques décennies, l'influence des paramètres climatologiques sur les conditions de confort à l'échelle urbaine a motivé de nombreux travaux de recherche. Les spécialistes en climatologie urbaine ont cherché à évaluer le confort thermique en espaces extérieurs, pour en faire, ensuite, un thème de recherche d'une importance similaire à celle du confort à l'intérieur, largement abordé.

Le confort thermique est défini comme une condition de bien-être psychophysique de l'individu par rapport à l'environnement où il se trouve, à l'intérieur des bâtiments ou à l'extérieur, entre ces bâtiments avec une différence significative entre la charge climatique de l'individu en environnement extérieur et en environnement intérieur. En outre, le confort thermique extérieur constitue un enjeu partagé entre les deux disciplines « architecture et urbanisme », car les conditions climatiques intérieures et extérieures sont fortement liées.

Le climat dans les villes se différencie de celui des campagnes environnantes en fonction de la géométrie des villes, les matériaux utilisés et les sources de chaleur artificielles qui contribuent à créer un microclimat spécial. Même au sein d'une agglomération, le microclimat diffère d'un quartier à l'autre. Le climat urbain influence directement les habitants qui se déplacent à l'intérieur de l'agglomération et indirectement le climat ambiant dans un bâtiment. Le rapport entre les espaces vitaux intérieurs et extérieurs des maisons peut affecter, à différents degrés, la façon dont les occupants utilisent les espaces et perçoivent l'environnement (Erell et al, 2011).

Aujourd'hui, la population urbaine représente la plus grande partie de la population mondiale. La forte augmentation de la population des villes a eu comme résultat, la modification de l'environnement urbain à travers les activités qui s'y développent.

Le confort thermique urbain contribue à l'amélioration de la qualité des espaces extérieurs et à la qualité de la vie dans les villes en améliorant l'environnement physique et social. La prise en considération de conditions environnementales imposées aux utilisateurs de ces espaces est une étape indispensable pour améliorer la qualité de la réalité urbaine, afin d'accroître l'utilisation de l'espace extérieur et de revitaliser les villes. Celles-ci ne peuvent s'effectuer que par une planification urbaine basée non seulement sur une analyse microclimatique, mais aussi sur l'étude du comportement des usagers vis-à-vis des conditions thermiques et des activités qui s'y déroulent (Katzschener, 2004). À l'heure actuelle, les différentes recherches concernant le confort dans les espaces extérieurs sont tournées vers ces deux concepts.

Les espaces publics extérieurs concernés par cette recherche sont les rues, les places. La qualité de ces derniers présente un intérêt majeur pour contribuer à la bonne qualité de vie en milieu urbain, en relation de l'environnement physique qui les constitue.

Dans cette optique, plusieurs recherches démontrent que les paramètres microclimatiques sont de grande importance du point de vue des activités qui ont lieu sur le site et jusqu'à un certain point, déterminent l'usage que l'on en fait (Boussoulim et al, 2002; et Nikolipoulou et al, 2004). Plusieurs chercheurs ont convenu qu'il est possible d'établir des bases standardisées dans ce champ de pratique, par exemple en gardant les solutions bioclimatiques qui peuvent s'appliquer à un climat donné. D'autres s'entendent pour dire que le confort extérieur est le résultat d'une réalité socioculturelle d'un milieu donné (Erell, 2011).

Le confort thermique perçu par les utilisateurs exposés aux conditions microclimatiques de l'espace extérieur est l'un des facteurs qui déterminent le taux et l'intensité des activités qui se déroulent dans les rues, les places et les parcs...etc., et pour assurer une bonne qualité de la vie urbaine en minimisant le stress thermique. Cela ne s'effectue que par l'intervention des détails de la conception de l'espace extérieur qui contribuent à modérer les conditions thermiques extrêmes.

Ces détails peuvent inclure des dispositifs d'ombrage, les matériaux et les couleurs des surfaces externes, l'intégration de l'élément végétal, les brise-vents...etc. Ainsi, l'exposition ou la protection contre, le rayonnement solaire, les températures des surfaces environnantes,

ainsi que la vitesse locale du vent, peuvent être modifiés largement par un choix adéquat des différents détails de la conception urbaine, selon les besoins des usagers.

La maîtrise du confort thermique dans les espaces extérieurs est un paramètre de base pour la conception durable des villes, car l'usage de ces espaces et le taux des activités qui s'y déroulent sont affectés essentiellement par la perception des ambiances thermiques des usagers, pour cela, la qualité et l'intensité de chaque activité (sociale ou individuelle) sont influencées par le niveau d'inconfort thermique perçu par les individus quand ils sont exposés aux conditions microclimatiques environnantes (Boussoulim et al, 2002). Le confort thermique dans les espaces extérieurs est intimement lié à l'environnement thermique extérieur qui est sensiblement affecté par la conception de l'environnement bâti. De tout temps, l'homme a essayé de s'adapter au climat de son lieu d'habitat, considéré comme l'un des paramètres majeurs de la dynamique et de l'ambiance d'une ville.

Dans les régions caractérisées par un climat chaud et sec, l'objectif principal est de se protéger, d'éviter le rayonnement solaire direct, de rechercher l'ombre et la fraîcheur, durant la période estivale. Pour cela, il existe plusieurs facteurs qui servent aux modifications microclimatiques et au changement des températures à l'échelle urbaine. Parmi eux : la présence de la végétation, la morphologie urbaine, les propriétés thermiques des matériaux de construction...etc. La variation de la configuration et la morphologie du tissu urbain peuvent engendrer des modifications significatives sur les paramètres microclimatiques, notamment sur la température de l'air, l'humidité relative et la vitesse du vent. Ces modifications peuvent avoir une influence notable sur la santé et le confort thermique des usagers.

L'architecture traditionnelle en Algérie en général et plus précisément au Sud est le résultat de milliers d'années d'expérience, elle est adaptée aux modes de vie des hommes et de leur culture, et a évolué au fil du temps en fonction des techniques issues d'une longue expérience. Elle est adaptée aux modes de vie des hommes et de leurs cultures. Parmi les produits qui illustrent le génie de nos ancêtres, « le ksar ». Ce mot se prononce « gsar ». C'est une altération phonique de la racine arabe « qasr » qui désigne un espace limité, confiné et destiné à accueillir une certaine catégorie de groupes sociaux. (Djeradi, 2013).

Le ksar est une forme urbaine traditionnelle fortifiée et compacte, en relation directe avec un espace vert où la palmeraie, dans lequel, la dualité Ksar/palmeraie, forme le couple le

mieux adapté aux conditions climatiques, dans les milieux arides et un écosystème équilibré¹. Cette compacité qui caractérise les ksour du Sud algérien est la forme architecturale optimale, dans un climat chaud et aride. Cette forme génère un stockage de chaleur minimal en été et maximal en hiver. Ainsi, les tissus urbains qui se caractérisent par le concept de compacité exposent une surface minimale au soleil d'été et aux vents froids d'hiver. Les ruelles longues et sinueuses sont ombragées durant presque toute la journée.

Parlant de la structure viaire, face à ses remparts, l'accès au ksar est, généralement, à travers des entrées qui donnent sur une rue centrale, appelée « darb », à partir de laquelle découlent des rues secondaires et enfin des petites ruelles dites « zkak » qui finissent en impasses menant aux différentes maisons. La largeur de ces rues est réduite au minimum, ce qui les rend destinées uniquement aux piétons. Un autre type de rues, ce sont les longues galeries couvertes et qui conduisent à des portes donnant sur une chicane nommée « Skifa ». Le présent travail s'articule autour de la caractérisation du confort thermique et cette structure urbaine du Ksar, peu étudiée, est rarement traitée dans les recherches scientifiques.

Dans cette étude, il s'agira de vérifier l'hypothèse que le « ksar », établissement saharien, né du génie des hommes et d'une lente et progressive adaptation à leur milieu, offre les éléments de confort permettant une vie urbaine, sinon agréable, du moins supportable en espace extérieur. Il s'agira aussi, en étudiant l'ambiance urbaine extérieure dans le ksar, considéré comme un modèle d'adaptation, de répondre à un certain nombre de questions :

- À quel degré la morphologie urbaine du ksar peut-elle affecter la qualité du confort thermique dans les régions chaudes et arides ?
- Quelles sont les formes urbaines qui peuvent répondre aux exigences climatiques de la région désertique ?

Les hypothèses établies sont :

- La morphologie urbaine joue un rôle primordial dans les variations des paramètres microclimatiques qui véhiculent la sensation du confort thermique à l'extérieur.
- Les conditions du confort thermique en milieux urbains varient non seulement en fonction des paramètres climatiques dictés par la morphologie urbaine du tissu « ksourien », mais aussi

¹Dali. A, 1^{er} colloque national sur le patrimoine culturel, wilaya d'el oued, Algérie, 11- 14 mai 2008.

selon les niveaux d'adaptation psychologiques vis-à-vis de l'environnement thermique.

- Une analyse associant la morphologie urbaine et la caractérisation du confort thermique sert comme un support quant à la planification et l'aménagement des villes désertiques, par l'identification des paramètres importants qui doivent être en prime abord par les architectes et les urbanistes, afin de mieux concevoir les espaces publics extérieurs.
- Il est nécessaire d'associer le facteur physique et le facteur psychologique pour obtenir un confort optimal dans les espaces extérieurs étudiés.
- Le confort thermique de l'homme de la région diffère des standards internationalement établis.

Le but de cette recherche est, de démontrer que l'environnement thermique est variable dans l'espace extérieur urbain et d'évaluer les conditions du confort thermique.

Ainsi, peut-on comprendre la diversité environnementale en milieux urbains et son implication en termes de conditions du confort thermique pour un usager. Pour tenter de répondre à la problématique évoquée ci-dessus, il est nécessaire de comprendre les différents facteurs qui affectent le climat urbain, notamment en période estivale, contribuant à une meilleure compréhension de la sensation thermique dans les espaces urbains ksouriens et les détails de conception qui participent au développement du microclimat confortable à l'échelle urbaine pour le piéton / usager.

Pour cela, et répondant à la problématique, cette recherche exige l'étude des aspects suivants :

- une lecture morphologique sur le site d'étude et par conséquent analyser les géométries urbaines existantes en affectant à chacune, ses caractéristiques, afin de bien cerner l'analyse de nos stations d'investigations. - Évaluer les conditions du confort thermique, identifiant pour les usagers, les opportunités d'adaptation aux conditions changeantes de l'environnement thermique.
- Analyser les caractéristiques morphologiques du ksar en relation avec l'environnement thermique par une étude corrélacionnelle.
- Démontrer le changement perçu des ambiances thermiques dans les galeries et les passages couverts qui caractérisent le ksar.
- Fournir des informations quantitatives qui peuvent être appliquées par les architectes et les concepteurs urbains, sur les formes urbaines optimales afin de réguler le confort climatique

dans un environnement chaud et sec.

L'étude de la relation entre la morphologie urbaine, les microclimats et le confort thermique est très complexe en raison du nombre important de variables environnementales et personnelles. De ce fait, l'étude de cette relation requiert la combinaison de plusieurs méthodes : mesures des paramètres microclimatiques, simulation, ainsi qu'un questionnaire s'adressant aux utilisateurs de l'espace étudié.

Donc, afin de répondre à la problématique posée et l'atteinte des objectifs de cette recherche, l'étude se constitue essentiellement de deux parties complémentaires. L'une s'appuyant sur des approches théoriques et l'autre sur une étude expérimentale, une simulation et une enquête sur terrain. Le manuscrit s'organisera en deux parties de manière à bien séparer la synthèse des connaissances issues de l'analyse bibliographique de notre contribution.

La première partie, composée de cinq chapitres, est la synthèse de la recherche bibliographique, nécessaire à la compréhension des approches du thème abordé et qui facilite notre appréhension des concepts et notions élémentaires relatives à la thématique proposée :

- Pour le chapitre I qui s'intitule : Synthèse des articles récents, ce chapitre vise à étudier et analyser les derniers développements du confort thermique dans les espaces extérieurs, avec une mise au point sur les différentes méthodes d'analyse utilisées par les chercheurs, d'après lesquelles, on a développé la méthode de la recherche adoptée.
- Pour le chapitre II : Plusieurs définitions générales de la notion de confort sont abordées. Ce chapitre consiste en l'examen des concepts élémentaires et des différentes notions relatives au confort thermique dans les espaces extérieurs urbains ainsi que les paramètres intervenants dans leurs changements. Enfin, différents indices de confort sont rappelés pour les situations en espaces intérieurs. Des extensions relatives à ces indices ou des intégrations de phénomènes physiques au niveau des bilans énergétiques sont définies de manière à caractériser ou à comparer différentes conditions de confort en espace extérieur.
- Le Chapitre III : Dédié à la définition de ce qu'on appelle ksar et qui désigne toute agglomération saharienne ancienne, fournissant des informations sur son architecture et son adaptation bioclimatique dans le milieu saharien, par l'étude de ses caractéristiques urbaines.
- Le Chapitre IV : a pour objet la compréhension de la notion de microclimat urbain et les

différents paramètres qui l'affectent ainsi que la corrélation de la morphologie urbaine et le changement du microclimat, en présentant une approche théorique sur les différents concepts liés à l'espace extérieur, c'est le chapitre clé de la recherche.

La deuxième partie s'attache plus précisément à l'évaluation des ambiances thermiques en espaces extérieurs du cas étudié. Dans cette partie, on a opté pour une approche thermophysiological basée sur la résolution de l'équation du bilan énergétique selon le modèle MEMI (Munich Energy-Balance Model for individuel) et plus particulièrement l'indice PMV (vote moyen prévisible), et l'indice PET (la température physiologique équivalente). Ceci nous a permis de faire une approche statistique basée sur la corrélation entre les grandeurs climatiques et le questionnaire établi pour évaluer la perception thermique effective. Cette partie contient trois chapitres :

- Chapitre V : Intitulé « contexte d'étude et positionnement épistémologique ». Il inclut la présentation du cas d'étude, ainsi qu'une étude climatique de la ville et la collecte des données météorologiques de la région d'étude qui nous ont permis de choisir la période de l'investigation et les stations de mesures. L'étude typo morphologique du tissu urbain à étudier est assez importante, afin de distinguer les différentes formes urbaines existantes, et définir les différentes typologies des rues et des espaces extérieurs dans le tissu urbain. Ce chapitre également dédié à la présentation de la caractérisation microclimatique et la discussion des résultats des paramètres physiques mesurés à l'aide de l'instrument de mesure appelé : « Testo Data logger ».
- Chapitre VI : La démarche expérimentale ne s'arrête pas seulement sur le niveau des paramètres climatiques, mais elle s'étale ainsi spécifiquement sur l'identification de la qualité du confort thermique extérieur. Le travail a eu une nécessité d'une simulation numérique par le biais du logiciel « Rayman pro 2.1 », ce qui a permis l'obtention des indices de confort thermique tels que le PMV (vote moyen prévisible) et la PET (température physiologique équivalente), en se basant sur le rapport entre la géométrie de l'espace étudié et les mesures microclimatiques introduites sur le logiciel. La simulation comporte, aussi, le calcul de FVC et la surface partielle ombragée (SPO) tracée durant la période de l'investigation sur terrain pour chaque point.
- Chapitre VII : Cette phase de la recherche s'appuie sur une enquête sur terrain basée sur l'étude du comportement des usagers des espaces à étudier. L'analyse des

paramètres climatiques et du microclimat environnant des résultats est corrélée par le logiciel « sphinx ». Cette corrélation se fera en trois phases : Analyse univariée : description et interprétation des réponses. Analyse bi variée : tableaux croisés. Analyse factorielle multiple. Cette phase se conclut par une confrontation entre les résultats du questionnaire et les mesures effectuées.

La conclusion générale résume le travail. Elle est basée sur la synthèse de l'ensemble des recommandations utiles pour la conception des milieux urbains confortables thermiquement. Il s'agit des recommandations sur l'amélioration des facteurs thermiques en espaces extérieurs.

**PREMIERE PARTIE :
DEVELOPPEMENT
THEORIQUE**

CHAPITRE I

**LE CONFORT THERMIQUE EN
ESPACE EXTERIEUR SYNTHESE
DES RECHERCHES RECENTES**

« L'essentiel d'une théorie réside dans le sens que l'on donne aux mots. Quand on utilise le vocabulaire des autres, on entre dans leurs systèmes. Pour résoudre les problèmes, il faut les décomposer en concepts, les nommer par des mots et les recomposer. »¹

DUPLAY C. et M

INTRODUCTION :

Avant d'entamer toute recherche scientifique, il est inévitable d'analyser des expériences qui font partie du domaine étudié. Le confort thermique dans les espaces extérieurs, qui a été évoqué dans plusieurs études, constitue une préoccupation majeure pour un certain nombre des chercheurs spécialisés. Ces derniers font appel à plusieurs techniques pour caractériser les aspects physiques, physiologiques et psychologiques.

Il est à noter que la climatologie urbaine a connu une évolution de la recherche sur la corrélation entre la forme urbaine, les caractéristiques morphologiques, les matériaux et le microclimat urbain en accommodant des méthodes spécifiques et diversifiées qu'on doit cerner pour développer les connaissances objectives et bien comprendre le contexte dans lequel s'inscrit cette étude afin d'assurer une bonne conduite de cette recherche

Dans ce chapitre, l'accent sera mis sur les méthodes d'analyse récentes, avec une confrontation des différentes recherches effectuées et des approches adoptées pour analyser et évaluer le confort thermique à l'extérieur qui constitue le thème objet de notre recherche. L'objectif est de choisir la méthode la plus pertinente pour répondre à la problématique abordée au début de ce travail de recherche. D'après l'ensemble des recherches que nous avons passées en revue, plusieurs types d'investigations se dégagent. Ces différents travaux pris comme références seront analysés par la suite, dans cette étude.

¹DUPLAY C. et M., *Méthode illustrée de création architecturale*, Paris, Éditions du Moniteur, 1985.

I. Approche purement physique (mesures microclimatiques) :

Une autre étude a été menée par Bourbia et Awbi (2004) dont l'objectif principal était de trouver la relation entre la géométrie du canyon urbain et le rayonnement solaire incident. À ce propos, une analyse comparative de deux tissus urbains, traditionnel et contemporain, dans la ville d'El-Oued en Algérie (Climat aride), a été effectuée par l'analyse de l'effet du ratio H/L, le facteur de vue du ciel (FVC) et l'orientation solaire sur le taux d'ombrage qui affecte la température des différentes surfaces (Sol, murs extérieurs latéraux) et la température de l'air mesurées dans différentes rues urbaines choisies selon leurs ratios H/L, orientation et les matériaux de construction.

Les chercheurs ont choisi pour l'analyse deux tissus urbains complètement différents : un tissu traditionnel dense et compact présentant des rues étroites sablonneuses et des matériaux d'une grande émissivité (Figure I.1) et un tissu contemporain où la trame viaire est constituée de rues larges et d'espaces ouverts revêtus en asphalte et limités par des constructions en béton (Figure I.2).

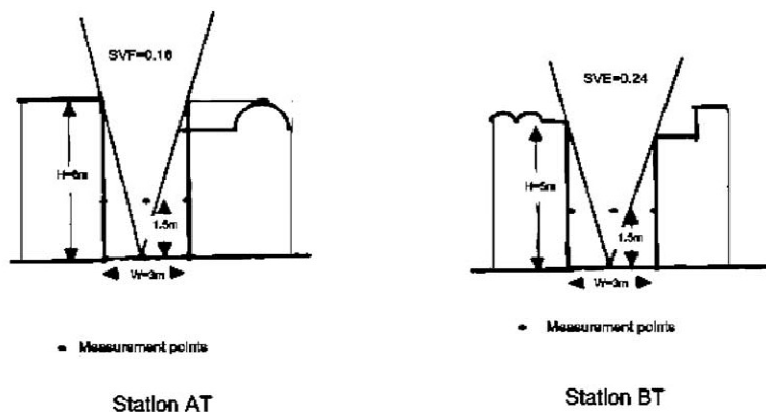


Figure I.1. Les points de mesure dans le tissu traditionnel.
Source : Bourbia et Awbi (2004)

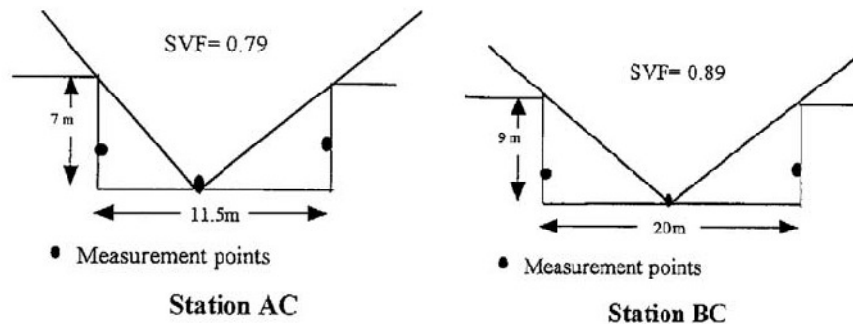


Figure I.2. Les points de mesure dans le tissu contemporain.
Source : Bourbia et Awbi (2004)

Aux mois de décembre/janvier 1995-1996 et juillet/aout 1996-1997 qui présentent les saisons froides et chaudes respectivement, les mesures ont été prises dans les rues orientées E-O et N-S considérées comme représentatives de la géométrie urbaine de ces deux tissus. Ils ont trouvé que les températures de l'air et des surfaces dans les rues orientées N-S du tissu traditionnel sont nettement inférieures à celles du tissu contemporain grâce aux ombres projetées du matin jusqu'à l'après-midi et la distribution uniforme de la température des surfaces sur les deux fronts E et O, dans le tissu traditionnel. Les chercheurs ont remarqué aussi que la température de l'air et la température des surfaces dans les rues orientées E-O sont nettement supérieures en comparaison avec celles des rues orientées N-S, ainsi qu'une température de la surface élevée sur la facette nord à cause de son exposition au soleil durant la majorité de la journée, en comparaison avec la facette sud (Figure I.3).

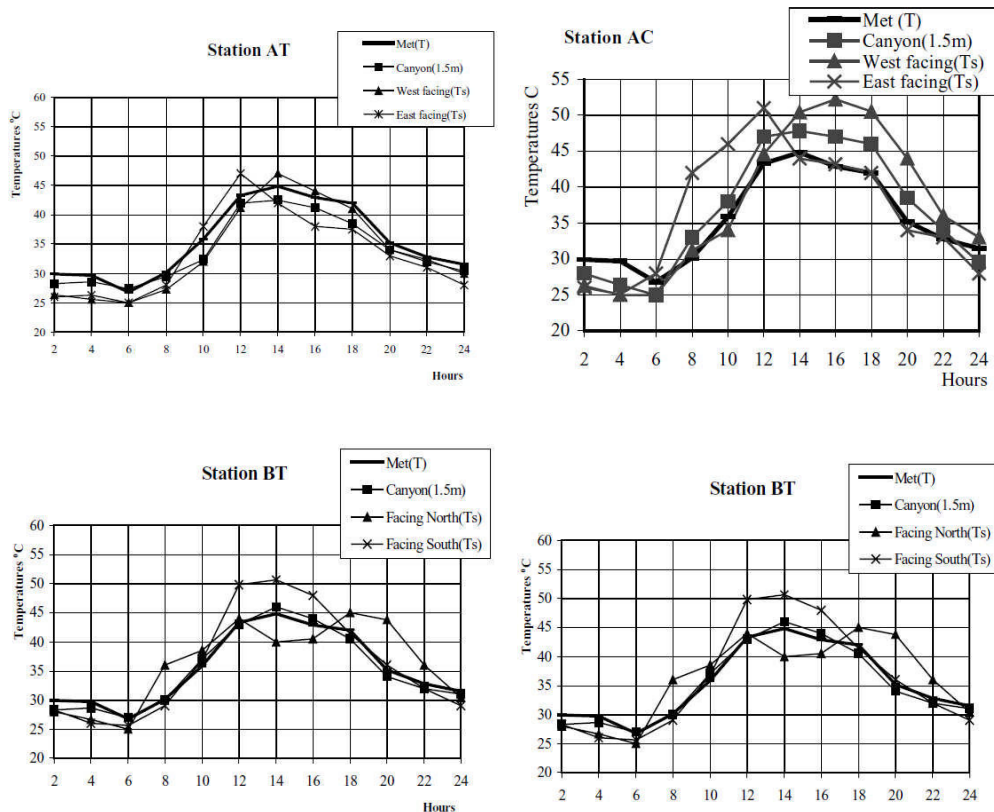


Figure I.3. La température de l'air et la température des surfaces latérales, 27 juillet 1997. $H/L(AT)=2$, $H/L(AC)=0,6$, $H/L(BT)=1,6$, $H/L(BT)=0,4$.
Source: Bourbia et Awbi (2004)

Finalement, les chercheurs ont perçu le rôle décisif de la géométrie urbaine à la création d'un microclimat confortable par le choix optimal de l'orientation (N-S est l'orientation désirable) (Figure I.4), la forme de la rue (Ratio H/L convenable) et le contrôle du facteur de

vue du ciel (FVC). L'inclusion de l'élément végétal a été considérée par les chercheurs comme une tâche indispensable pour modérer la sécheresse du climat.

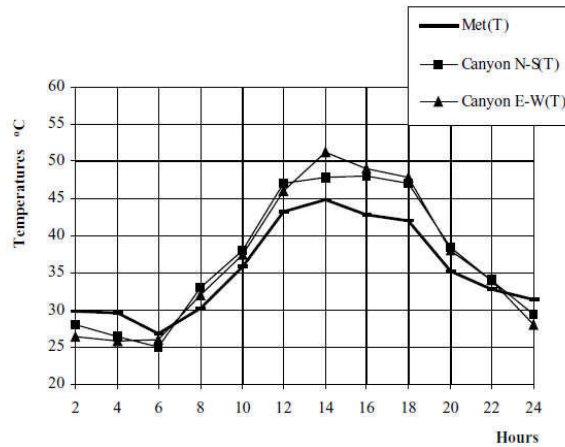


Figure I.4. La comparaison des variations de la température de l'air dans deux canyons au tissu contemporain orienté N-S et E-O, 26 juillet 1997.

Source: Bourbia et Awbi (2004)

Barbirato et al (2005), ont évalué les conditions microclimatiques dans un espace public urbain au centre historique de Maceió, Brésil (Climat tropical), en étudiant la relation entre la morphologie urbaine et le microclimat local, afin de subventionner les futurs projets et les interventions locales, soulignant l'importance de l'approche climatique comme critère de planification urbaine par le choix des points de mesure dont les caractéristiques géométriques sont différentes (figure I.5) pour mesurer (T_a , HR) et la comparaison des résultats des mesures avec ceux de la station météorologique.



Figure I.5 La localisation des points de mesures choisis.
Source: Barbirato et al (2005)

L'investigation a démontré que la présence de la végétation contribue à la diminution de la Température ambiante (T_a) (Tableau I.2) et l'augmentation de l'humidité relative (HR) (Tableau I.1), en comparaison avec les autres points. Un tissu urbain sans végétation avec un sol d'asphalte absorbe la chaleur durant le jour et lui permet de se dissiper durant la nuit, ce qui provoque l'inconfort thermique.

Tableau I.1. L'humidité relative mesurée dans les différents points au cours de la journée. Source: Barbirato et al (2005)

Relative humidity(%)								
Hour	point 1	point 2	point 3	point 4	point 5	point 6	point 7	point 8
09:00	53,8	60,5	56,0	62,3	55,3	56,3	54,3	58,0
12:00	52,0	57,5	49,5	59,8	49,0	48,8	53,8	56,5
15:00	54,0	60,5	57,3	59,3	54,0	55,0	55,3	59,3
18:00	62,0	64,5	63,0	62,8	61,8	64,8	66,0	68,8
average	55,4	60,7	56,4	61,0	54,1	56,2	57,4	60,6
difference	10,0	6,5	13,5	3,0	12,8	16,0	12,5	12,3

Par la comparaison entre les valeurs de la station météo et celles des mesures, ils ont trouvé que les premières qui ont été prises dans la banlieue sont plus faibles que celles du milieu urbain, ce qui prouve l'influence des activités et le rôle de la configuration urbaine dans la détermination du microclimat urbain.

Tableau I.2. La température de l'air mesurée dans les différents points au cours de la journée. Source:Barbirato et al (2005)

Air temperature (°C)								
Hour	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4	Point 5	Point 6	Point 7	Point 8
09:00	31,7	29,8	31,2	30,0	31,8	33,0	33,0	29,9
12:00	33,0	30,9	33,0	30,5	35,1	34,8	34,8	30,3
15:00	30,4	29,5	30,8	30,0	32,4	33,1	33,1	30,0
18:00	29,4	28,9	29,0	28,7	29,3	29,1	29,1	28,2
average	31,4	29,8	31,0	29,8	32,1	32,5	31,6	29,6
difference	3,6	2,1	4,0	1,8	5,9	5,7	4,6	2,1

Boukhbla et al (2012) ont examiné l'impact de la morphologie urbaine sur la température de l'air dans les régions chaudes et arides et ont également visé la démonstration de l'existence de l'ICU à Biskra en étudiant l'influence des formes urbaines sur le microclimat urbain et le climat urbain dans son ensemble avec pour objectif de trouver un compromis entre la configuration urbaine de la ville et celle de la campagne. L'investigation a été appliquée à Biskra, en Algérie, ville à climat est chaud et sec, par le choix de 05 points (Figure I.6) pour mesurer la température ambiante (T_a) et la température du sol durant les

deux journées typiques de l'été (27, 28 juillet 2010) et la comparaison de ces mesures avec celles prises par la station météorologique dans une zone rurale.

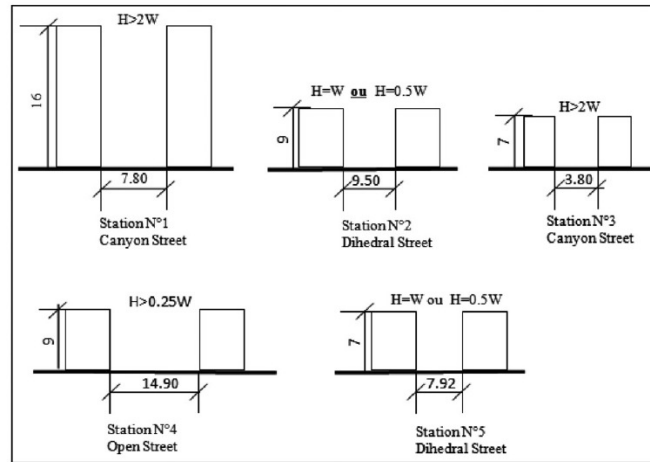


Figure I.6. Schéma représentatif des caractéristiques géométriques (dimensions et proportions entre la hauteur du bâtiment et la largeur des stations de mesures.

Source : Boukhabla et al (2012)

Ils ont remarqué que les températures mesurées (Figure I.7) étaient très élevées en comparaison avec celles de la station météorologique et que la température de la surface du sol est très élevée lorsqu'elle est en asphalté. Ce dernier se caractérise par une grande capacité d'absorption, ce qui contribue au phénomène de surchauffe.

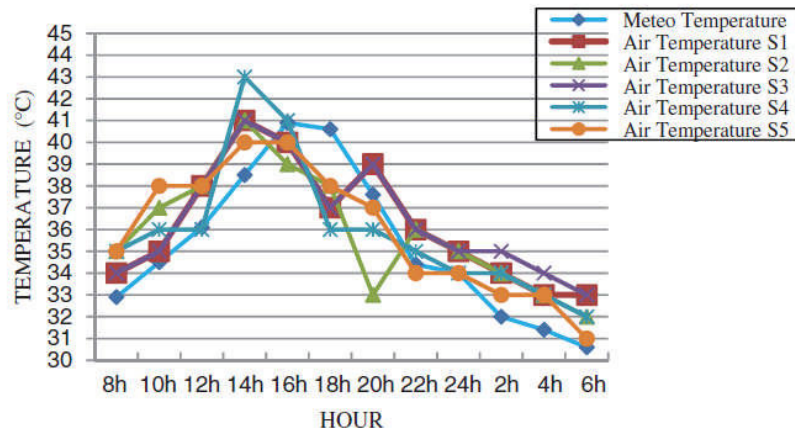


Figure I.7. Diagramme de la température de l'air mesurée dans les 05 points de mesure en comparaison avec celle de la station météorologique. Source : Boukhabla et al (2012)

Les principales conclusions de cette étude s'articulent autour des éléments suivants :

- La température de l'air est affectée par la configuration des rues : les rues les plus larges et les espaces ouverts sont les plus avantageux pour créer le mouvement d'air.
- Afin de réduire la température ambiante (T_a), il est nécessaire d'éviter les tissus urbains denses avec la prévision des stratégies d'ombrage (ex : arbres).

- L'utilisation des matériaux traditionnels ayant un meilleur rendement thermique pour la construction des surfaces extérieures comme il a été indiqué dans le (Tableau I.3).
- En raison des vents chauds venant du SE, il vaut mieux concevoir des canyons urbains orientés N-S, NE-SO.

Tableau I.3. Tableau récapitulatifs des températures et la température moyenne du sol des points étudiés. Source : Boukhabla et al (2012)

Hours	8	10	12	14	16	18	20	22	24	2	4	6	Tm
Ground temperature Station No. 1 (°C)	33	36	39	50	38	37	38	35	34	34	33	33	36.7
Ground temperature Station No. 2 (°C)	34	35	39	49	39	38	35	36	34	34	34	33	36.7
Ground temperature Station No. 3 (°C)	33	33	33	38	37	39	35	31	31	30	29	28	33.1
Ground temperature Station No. 4 (°C)	36	40	44	51	47	47	39	37	36	35	34	33	39.9
Ground temperature Station No. 5 (°C)	37	38	45	47	47	37	34	35	34	34	33	32	37.7
Mean temperature (°C)	34.6	36.4	40	47	41.6	39.6	36.2	34.8	33.8	33.4	32.6	31.8	37.7
Air temperature at Meteo. station	32.9	34.5	36.1	38.5	40.9	40.6	37.6	34.4	34	32	31.4	30.6	35.3

En vue de comprendre le concept bioclimatique de l'adaptation du Ksar² et évaluer l'impact des transformations morphologiques sur le microclimat et comprendre les causes et les effets de la transformation du ksar de Ouargla, Algérie (climat désertique), Sebti et al (2013) ont fait la comparaison de deux cas : original et transformé par le choix des stations de mesures sur la base d'une analyse typo morphologique et d'une évaluation quantitative par la prise des mesures in situ durant la journée typique d'été (03 aout 2009) et la comparaison des résultats de ces deux cas.

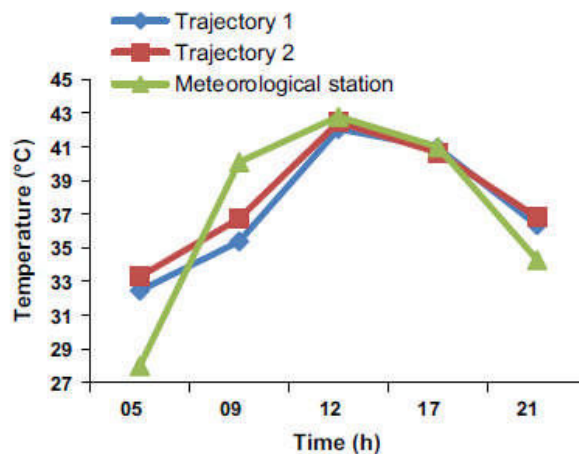


Figure I.8. La comparaison de la température de l'air moyenne prise dans une rue au tissu traditionnel (1), une rue au tissu transformé (2) et celle de la station météorologique.

Source : Sebti et al (2012)

² Ksar : désigne toute agglomération saharienne anciennement construite.

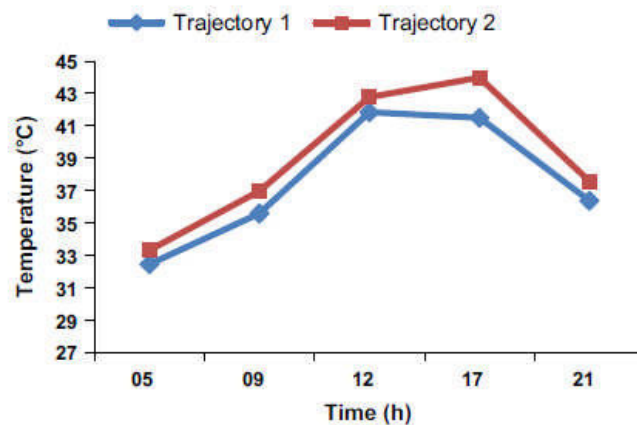


Figure I.9. La comparaison de la température moyenne radiante dans une rue au tissu traditionnel (1) et une rue au tissu transformé le (2). Source : Sebti et al (2012)

Les résultats de cette investigation ont démontré que les rues constituant du tissu traditionnel (non transformé) sont plus fraîches en termes de températures par rapport à celles enregistrées par la station météorologique. Durant le jour, la température ambiante (T_a) mesurée est plus élevée que la $T_{météo}$, mais durant la nuit, T_a mesurée est plus basse que la $T_{météo}$, avec une humidité relative faible à cause de l'absence de végétation (Figure I.8). La configuration organique des rues et la forme irrégulière contribuent à la réduction de la vitesse de l'air (V_a). Enfin ils ont conclu que les transformations morphologiques du tissu urbain influent négativement sur les conditions microclimatiques favorables existantes avant ces transformations. Ainsi, le tissu ancien du ksar se caractérise par l'adoption de solutions passives dans la conception architecturale et urbaine. La qualité du confort thermique dans ce genre d'établissements humains semble liée à plusieurs facteurs architecturaux et urbains dont on peut citer la compacité de la forme urbaine qui minimise l'exposition des surfaces du bâtiment au rayonnement solaire en été, et les vents froids en hiver et la structure des rues irrégulières et profondes qui créent des espaces ombragés et réduisent la température radiante (Figure I.9).

GHUGE et al (2013) ont conduit une investigation durant l'été 2011 à Nagpur en Inde pour évaluer l'effet de l'ombrage sur l'environnement thermique extérieur. L'étude s'est déroulée dans un espace extérieur ouvert (67X105m) sans revêtement du sol et entourée par des bâtiments résidentiels d'une hauteur variant entre 7 et 8m, cet espace qui contient un alignement d'arbres atteint jusqu'à 15m de hauteur au côté SE et un autre alignement au côté NE.

Cette étude vise à analyser les conditions microclimatiques par la mesure des paramètres suivants : la température des surfaces, la température de l'air, la vitesse de l'air et l'humidité relative, après un choix judicieux de 05 points de mesures dont les caractéristiques spatiales sont liées à la présence ou à l'absence de bâtiments, de végétation, ainsi que des matériaux du revêtement du sol, considéré comme des critères du choix pour étudier leurs effets sur la distribution de la température de l'air et la température des surfaces affectées essentiellement par l'ombrage.

L'évaluation a été effectuée par l'étude des variations du ΔT ($\Delta T = T_s^3 - T_a^4$) dans les points choisis (Figure I.10). Les valeurs négatives du ΔT montrent que la température des surfaces est nettement inférieure à la température de l'air, donc ces résultats affirment le rôle avantageux de la présence des arbres pour créer l'ombre et empêcher les rayonnements solaires de frapper le sol et pour la réduction des valeurs du facteur de vue du ciel (FVC).

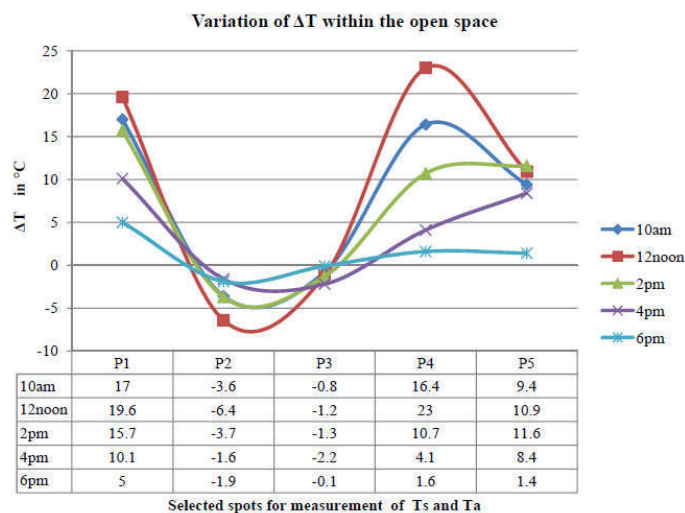


Figure I.10. Les variations du ΔT dans l'espace extérieur.

Source : GHUGE et al (2013)

II. Approche physique/ psychologique:

Parmi les premières études dans ce domaine, on peut citer celle de Nikoloupoulou et al (2001) : cette étude se donne pour objectif la compréhension des exigences du confort thermique pour les piétons en étudiant les paramètres microclimatiques; cela s'est effectué par l'étude de la corrélation des aspects subjectifs des utilisateurs d'un espace extérieur au

³ T_s : la température des surfaces.

⁴ T_a : la température de l'air.

centre-ville de Cambridge aux paramètres microclimatiques mesurés, dont la température ambiante (T_a), l'humidité relative (HR), la vitesse de l'air (V_a), et le rayonnement (R).

L'étude subjective fait appel à la technique d'observation en calculant le nombre d'utilisateurs de l'espace extérieur, ainsi qu'un questionnaire qui doit prendre en charge leurs activités. Celui-ci, destiné à un échantillon précis de la population, vise à évaluer leur perception de l'environnement thermique selon une échelle à cinq points (très froid à très chaud).

Les principaux résultats de cette recherche montrent que la présence du rayonnement solaire et des conditions thermiques (chaleur) est un facteur déterminant pour le bien-être des usagers, qui conditionne l'utilisation de ces espaces, surtout durant la période froide. À noter une certaine divergence entre les données objectives définies par le PMV⁵ et les données subjectives définies par ASV⁶ (Figure I.11) donc le choix et le taux d'usage varient selon le besoin du corps humain. (Nikoloupoulou et *al*, 2001)

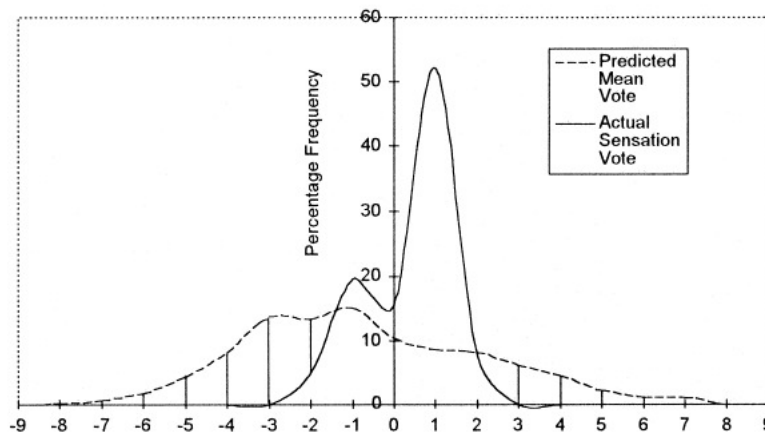


Figure I.11. La comparaison entre le pourcentage du PMV et ASV.
Source : Nikoloupoulou et al (2001)

Enfin, les auteurs arrivent à la conclusion qu'une approche purement physiologique est insuffisante pour la caractérisation du confort thermique dans les espaces extérieurs, en montrant l'importance de l'historique thermique et des attentes thermiques des usagers sur l'évaluation et la satisfaction subjectives.

Dans un terrain d'étude constitué de trois places dans la ville de Blagnac, Boussoualim (2002) a mis en place une méthode permettant de mettre en interaction les caractéristiques

⁵PMV: Predicted Mean Vote.....

⁶ASV : Actual Sensation Vote

morphologiques, climatiques, la perception et les comportements des usagers issus d'une investigation basée sur des enquêtes et sur la technique de l'observation. Ceci dans le but de comprendre l'influence des éléments climatiques sur les comportements et les activités en espace public.

L'investigation s'est déroulée durant les périodes froides et chaudes par la réalisation des questionnaires sous forme des discours individuels interprétés et généralisés, ensuite, selon les caractéristiques des personnes (âge, sexe...). Ces questionnaires ont été élaborés pour examiner la perception de l'espace par ses utilisateurs et définir les critères du choix des endroits et leurs usages.

Cette investigation fait également appel à la technique d'observation dont l'objectif de recueillir les informations sur la localisation des individus dans l'espace et la nature de leurs activités, dans une période de 20 min qui a été considérée par la chercheuse comme suffisante pour la collecte des données nécessaires. La mise en place des caméscopes dans chaque place a été une étape indispensable dans ce travail. La caractérisation microclimatique a été réalisée par la prise des mesures de la température sèche de l'air, de la température globe, de l'humidité relative et de la vitesse de l'air dans les différents points choisis. La position de chaque point au soleil ou à l'ombre, ainsi que la durée de son exposition au soleil sont les facteurs qui engendrent la différence entre les différentes stations. Cette différence joue un grand rôle dans la création du changement du microclimat entre les différents espaces d'une place (Boussoualim, 2002).

D'après l'analyse des résultats des questionnaires, la chercheuse a trouvé que la perception du climat est un des paramètres participant aux choix des endroits favorables pour pratiquer leurs activités ou les parcours à suivre, durant leurs transitions. De point de vue des usagers de ces espaces, il n'y a pas de lien perçu entre les critères typo morphologiques et microclimatiques. Après la confrontation des résultats obtenus à travers les questionnaires et ceux obtenus à travers les observations, afin de vérifier les modes et la stabilité d'occupation des espaces en fonction des différentes conditions climatiques (été, hiver), Boussoualim (2002) a noté une différence dans la fréquentation et dans la nature des activités entre l'été et l'hiver. Les personnes qui fréquentent les places en été ne font que la traverser en hiver. Elle a remarqué également que les places sont fréquentées, en été, beaucoup plus qu'en hiver.

Les durées de passage et d'arrêt sont plus importantes en hiver qu'en été. Nous pensons que ceci est dû au caractère minéral et aménagé des places qui offre autant de possibilités pour des activités récréatives que pour des activités fonctionnelles. Boussoualim (2002) a également constaté que les durées de la fréquentation sont liées aux éléments structurant la place (tronc d'arbre, bord du bassin, vitrine, muret, tableau d'affichage...) et du mobilier urbain (bancs). En favorisant l'ombre où il fait plus frais, en été.

Nikoloupoulou et Streemers (2003) ont conduit une investigation en choisissant le même cas d'étude ci-dessus (centre-ville de Cambridge). Une différence de 50% a été découverte entre le confort subjectif et le confort objectif. Cette différence est attribuée aux facteurs psychologiques tels que : la naturalité, les expériences passées, le contrôle perçu (contrôle conscient), le temps de l'exposition, la stimulation environnementale et l'attente thermique (Figure I.12).

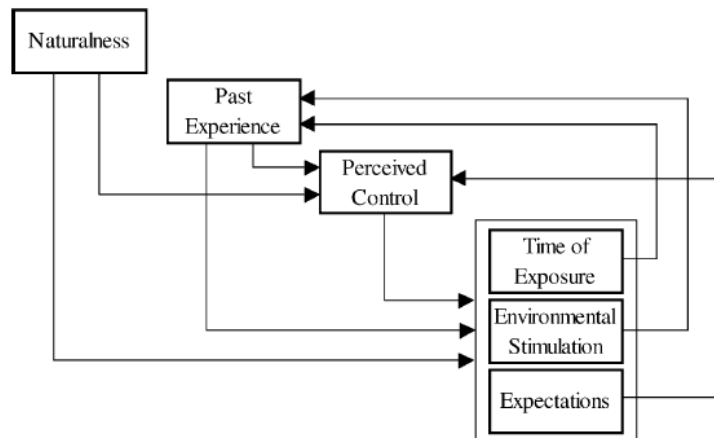


Figure I.12. Schéma exprimant l'interrelation entre les différents paramètres de l'adaptation psychologique. Source : Nikoloupoulou et Streemers (2003)

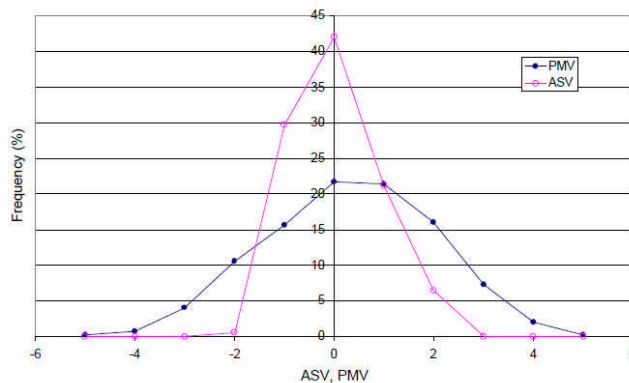


Figure I.13. La comparaison entre ASV, obtenue du questionnaire, et PMV calculé.

Source : Nikoloupoulou et Lykoudis(2003)

Nikolopoulou et Lykoudis (2003) ont également étudié les conditions du confort thermique extérieur à Athènes, en choisissant deux espaces extérieurs pour effectuer les mesures microclimatiques et établir le questionnaire et les observations des comportements des gens.

Les données subjectives obtenues du questionnaire, traduit par ASV (Actual Sensation Vote), ont été comparées par l'indice PMV (calculé à partir des données microclimatiques mesurées simultanément avec les réponses aux questions), avec la prise en considération du métabolisme et l'habillement des participants (Figure I.13).

À partir de cette comparaison, les chercheurs ont noté une certaine différence entre les réponses subjectives et les données objectives, donc ils ont conclu que l'adoption d'une approche physiologique seulement est insuffisante pour une évaluation thermique fiable, ce qui nécessite le recours à d'autres méthodes pour quantifier les conditions du confort thermique extérieur. Dans cette étude, cette nécessité a conduit les chercheurs à développer un modèle du confort thermique ASV dérivé pour calculer la sensation des personnes, en se basant sur les données climatiques de la région.

Un questionnaire a été élaboré simultanément avec les mesures des paramètres physiques dans sept stations ouvertes à Montréal, par Sthathopoulos et *al* (2004). Les questions ont été classifiées sous trois échelles : échelle de la perception des paramètres climatiques, échelle d'acceptabilité et une échelle de préférence pour améliorer les conditions thermiques.

Ces questionnaires ont été rédigés suivant un langage simple et clair sous forme d'une échelle à 05 niveaux, ce qui facilite la compréhension et les réponses. L'âge, le sexe, l'activité, et l'habillement des répondants ont été pris en considération. L'analyse statistique des réponses thermiques indique que la température de l'air et la vitesse du vent sont des paramètres dépendants doivent être combinés entre eux pour déterminer un niveau optimal du confort thermique. D'après l'analyse des mesures physiques en liaison aux réponses des participants, les chercheurs ont trouvé que la température de l'air est le facteur déterminant de la perception des ambiances thermiques et les préférences des gens vis-à-vis des conditions de confort, cela ne signifie pas la négligence d'autres paramètres comme l'humidité relative, la vitesse du vent et le rayonnement solaire, car ils sont des paramètres intervenant au confort global. Ces résultats ont conduit les chercheurs au développement d'un indice thermique « la

température équivalente » déterminé par les paramètres climatiques cités ci-dessus et la prise en charge de l'acclimatation et la perception subjective des utilisateurs de l'espace extérieur.

La conception urbaine doit être soumise aux conditions du confort thermique ; par des mesures in situ des paramètres microclimatiques, des observations des comportements des usagers et une simulation, selon Katzschener (2004), qui a évoqué une étude sur un terrain dans deux espaces extérieurs, à Kassel en Allemagne, pour objectif de définir une stratégie pour la conception d'espaces extérieurs utile quant à la planification urbaine.

Une étude comparative des résultats de l'indice thermique PET calculé en utilisant un logiciel basé sur un système de la thermorégulation du corps humain, à l'aide des paramètres microclimatiques les plus influençant sur la sensation thermique et le taux d'usage dont, d'après lequel, le vent, le rayonnement solaire et thermique.

Les questions destinées aux usagers ont été dirigées vers la sensation thermique de ces espaces. Les espaces ensoleillés avec un $PET > 22^{\circ}\text{C}$ ont été préférés durant toute l'année, sauf les journées les plus chaudes, durant lesquelles, les espaces ombragés et ventilés sont les plus fréquentés (Katzschener, 2004).

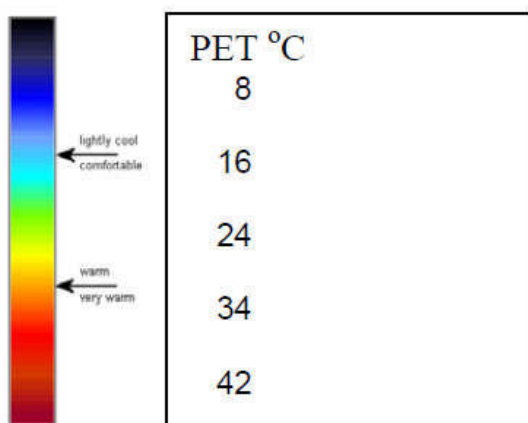


Figure I.14. La relation entre les différents niveaux du confort thermique et la sensation thermique à Kassel en Allemagne. Source : Katzschener (2004)

Les résultats de la technique de la cartographie du zonage du confort thermique utilisée indiquent que la place « Florentiner » présente une grande variabilité en termes des éléments modificateurs du microclimat, ce qui la rend utilisable durant toutes les saisons, par contre la deuxième place du « Bahnhof » dont la conception impose un microclimat unique et des

conditions homogènes, à cause du manque des arbres et les éléments qui génèrent l'ombre, en été. (Figure I.14, 15) (Katzschener, 2004).

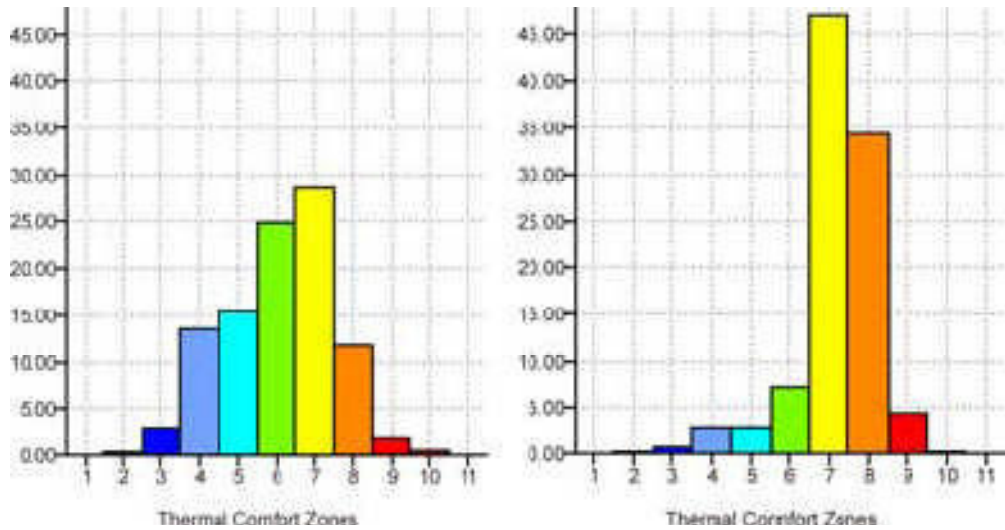


Figure I.15. La variabilité microclimatique de deux places Florentiner (à gauche), Bahnhof (à droite).

Source : Katzschener (2004)

Le chercheur a également trouvé que la présence de la végétation et des aires d'eau est bénéfique pour fournir un microclimat agréable, ce dernier constitue un facteur déterminant pour l'utilisation des places et de l'espace extérieur à Kassel en Allemagne.

Pour une planification urbaine judicieuse, les structures urbaines avec une plus grande variation microclimatique sont privilégiées, car elles répondent aux besoins saisonniers et aux exigences des usagers, dont les réponses thermiques différentes (Katzschener, 2004). Pour cette raison, le chercheur a proposé la plantation des arbres sur le côté NE, ce qui assure une protection optimale contre les vents, la création des obstacles qui servent des brise-vents et l'adoption des façades végétales et des espaces verts pour réduire les températures des surfaces et générer l'effet de l'ombre (figures I.16, I.17).

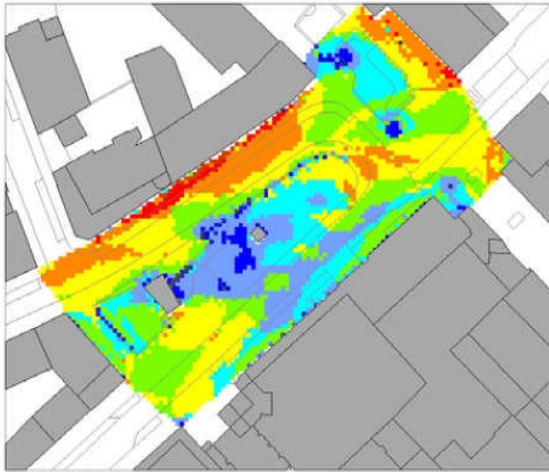


Figure I.16. Zonage du confort thermique pour la place "Florentiner".

Source: Katzschener (2004)

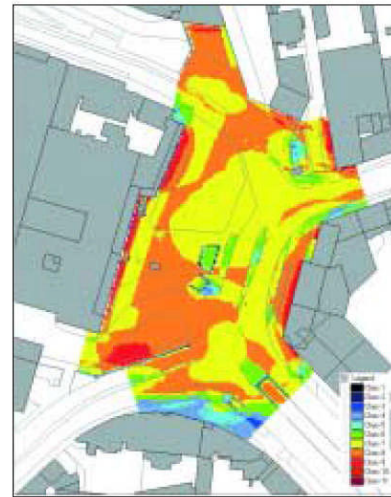


Figure I.17. Zonage du confort thermique pour la place " Bahnhof ".

Source: Katzschener et al (2004)

Thorsson et *al* (2004) ont étudié l'influence des conditions bioclimatiques sur le comportement des individus dans un parc urbain à Gutenberg en suède. La méthodologie adoptée a été sous forme d'une enquête appliquée sur 285 Individus en comparant ASV et PMV, la technique d'observation « discrète » du comportement des utilisateurs de l'espace étudié et des mesures simultanées des variables microclimatiques (la température de l'air, l'humidité de l'air, la vitesse du vent et le rayonnement global).

La température moyenne radiante T_{mrt} et l'indice thermique PMV, calculés en utilisant le logiciel Rayman, ont été utilisés et comparés au comportement subjectif et la sensation thermique des personnes interrogées (Thorsson et *al*, 2004).

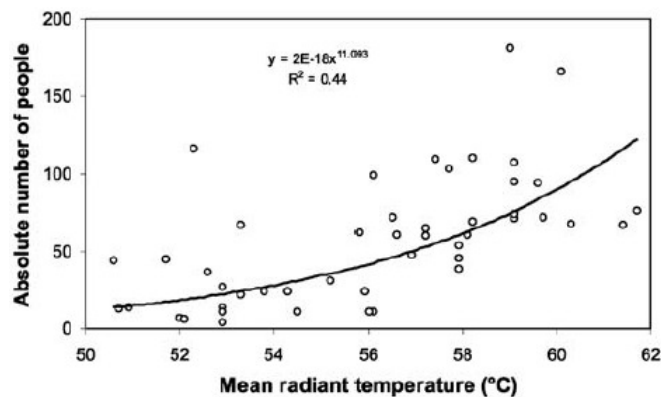


Figure I.18. Les variations du nombre des personnes dans le parc en fonction de la température moyenne radiante T_{mrt} . Source : Thorsson et *al* (2004)

Les chercheurs ont remarqué que la présence des personnes au parc est liée aux conditions chaudes et ensoleillées considérées comme des facteurs importants pour l'utilisation du parc. Une augmentation du nombre de personnes a été observée en fonction de l'augmentation de T_{mrt} , théoriquement inconfortable (Figure I.18). A contrario, Aux conditions thermiques extrêmement chaudes les gens favorisent les endroits ombragés et évitent le rayonnement solaire direct(Figure I.19), ce qui illustre la nécessité de la création des espaces ensoleillés et ombragés dans la conception urbaine pour améliorer l'adaptation physique et psychologique (Thorsson et *al*, 2004).

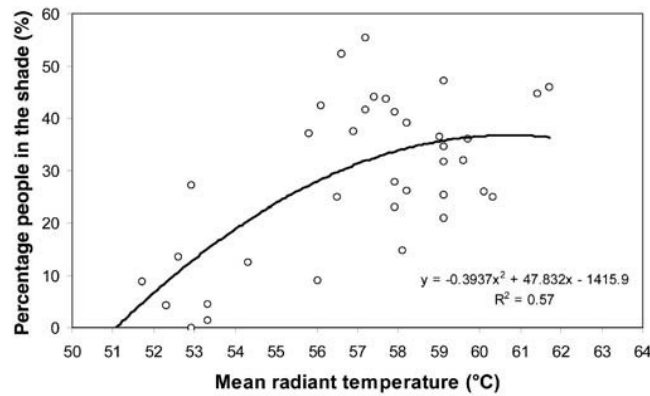


Figure I.19. Variations du nombre des personnes dans l'ombre en fonction de la température moyenne radiante T_{mrt} . Source : Thorsson et al (2004)

Par la comparaison du ASV et PMV, les chercheurs ont trouvé une certaine différence entre eux, cette différence tend à diminuer avec le temps passé dans les conditions thermiques dans le parc, cela expliqué par la le fait que le corps prend du temps pour l'adaptation durant la transition entre les différentes conditions thermiques (Figure I.20).

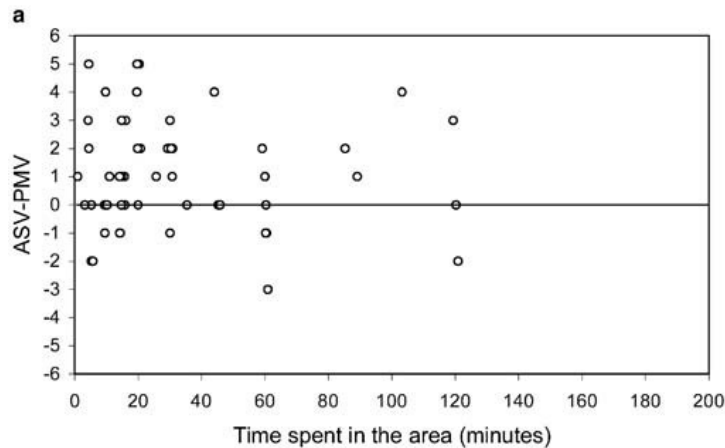


Figure I.20. La différence entre la sensation thermique (ASV) et l'indice PMV calculé en fonction du temps passé dans le parc. Source : Thorsson et al (2004)

Cet écart entre la sensation thermique ressentie (ASV) et PMV calculé indique que les modèles de l'état d'équilibre (steady state models), tels que PMV, sont inappropriés pour l'évaluation du confort thermique extérieure à court terme (Thorsson et *al*, 2004).

Enfin les chercheurs ont déduit que l'effet de l'environnement thermique sur l'utilisation des espaces est généralement insignifiant en raison de l'existence d'autres paramètres, tels que les attentes thermiques et psychologiques attribuées aux différences culturelles, climatiques et l'aspect social de l'espace urbain (Thorsson et *al*, 2004).

L'investigation de Makaremi et *al* (2012), qui vise à déterminer les éléments thermiques environnementaux et les réponses du corps humain vis-à-vis les conditions du confort thermique extérieur, dans deux espaces différents au campus de l'université de Putra, Selangor, en Malaisie (climat tropical), est basée sur :

- une étude quantitative par la prise des mesures des paramètres microclimatiques (T_a , HR, V_a et T_{mrt}^7) et l'indice PET calculé par le logiciel Rayman®.
- Et une étude qualitative qui a été effectuée par l'évaluation subjective basée sur un questionnaire pour examiner la perception thermique des utilisateurs de l'espace (étudiants locaux et internationaux). Avec une comparaison entre les mesures climatiques et les réponses des individus pour comprendre les conditions du confort thermique à l'extérieur (Makaremi et *al*, 2012).

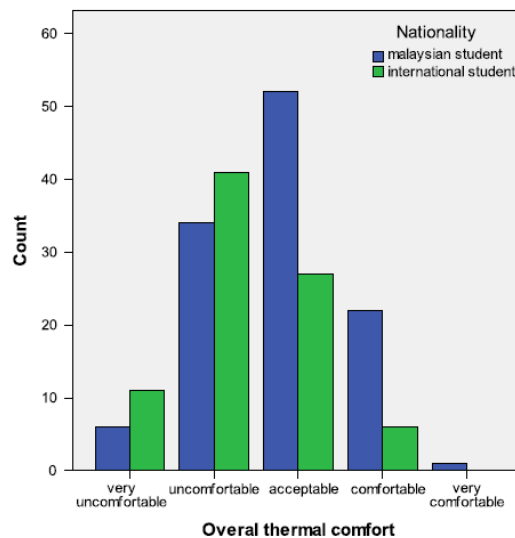


Figure I.21. Les réponses thermiques des étudiants Malaysiens et étrangers.

Source : Makaremi et *al* (2012)

⁷ T_{mrt} : température moyenne radiante

Les résultats finaux, sur la base de l'analyse comparative des mesures subjectives et objectives montrent qu'il y a une certaine différence entre la sensation réelle et les valeurs calculées. L'analyse statistique indique qu'il y a une différence considérable entre le niveau du confort perçu par les répondants et la plage de confort. Les conditions du climat jouent un rôle très important, mais l'adaptation psychologique (acclimatation) joue un rôle déterminant dans la perception du niveau du confort thermique urbain (Figure I.21) (Makaremi et al, 2012).

Louafi et al (2013) ont étudié et évalué l'effet de la végétation urbaine sur le microclimat et le confort thermique dans les espaces extérieurs au centre-ville de Constantine en Algérie (climat méditerranéen chaud et sec) par une analyse quantitative basée sur les mesures physiques aidant à calculer l'indice PET et une analyse qualitative en utilisant les techniques d'observation (Figure I.22).

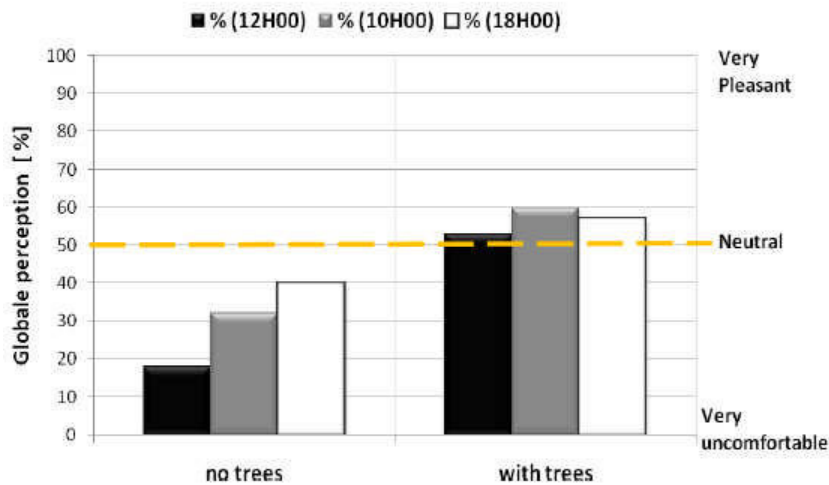


Figure I.22. La perception physique des utilisateurs vis-à-vis de la présence ou l'absence des végétations. Source : Louafi et al (2013)

Les résultats expriment le rôle avantageux de la végétation sur le microclimat urbain (ombre, Ta, HR...) ce qui influe sur la perception des ambiances thermiques, le confort thermique des piétons et l'utilisation de l'espace extérieur (Figures I.23, I.24). La végétation peut affecter le microclimat urbain de plusieurs façons en particulier la réduction de la température ambiante (Ta), et la procuration de l'ombre et d'une certaine esthétique (Louafi et al, 2013).

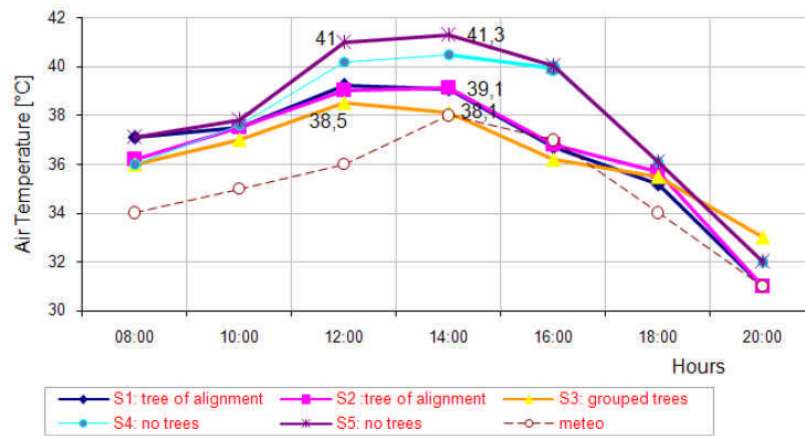


Figure I.23. Les variations de la température de l'air dans les différentes stations, juillet 2011.

Source : Louafi et *al* (2013)

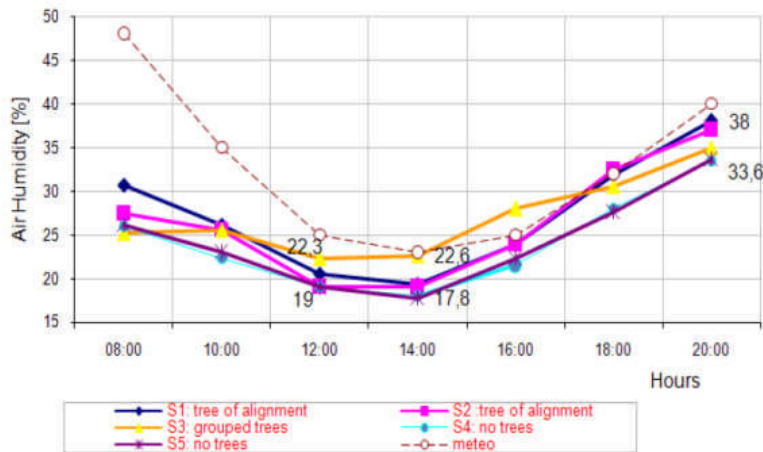


Figure I.24. Les variations de l'humidité relative dans les différentes stations, juillet 2011.

Source : Louafi et *al* (2013)

III. Approche physique /physiologique :

La différence entre « les méthodes d'évaluation de l'état d'équilibre » et « les méthodes d'évaluation de l'état du déséquilibre » a été étudiée par Hoppe (2002) par la modélisation des paramètres thermo physiologique : la température de la peau (T_{sk}), la température du corps (T_{core}) en utilisant « IMEM » Instationary Munich Energy-balance Model.

La modélisation a été effectuée sous des conditions froides et chaudes ; le premier scénario élaboré durant une journée hivernale froide sur une personne choisie comme un modèle avec $T_{sk}=33,5^{\circ}\text{C}$, $T_{core}=37^{\circ}\text{C}$ et $T_a=T_{mrt}=0^{\circ}\text{C}$. Le chercheur a distingué que les conditions thermiques froides influent lentement la température du corps pour effectuer la

stabilité de ce dernier avec son environnement thermique (Figure I.25), théoriquement il ne peut l'atteindre qu'après 43 heures. Donc « les méthodes d'évaluation de l'état d'équilibre » ne sont pas fiables pour l'évaluation des conditions thermiques similaires, par contre, aux conditions chaudes où l'adaptation thermique du corps humain est plus rapide (Figure I.26) ce qui implique leur application pour examiner le confort thermique des personnes utilisant l'espace extérieur pour plus d'une demi-heure (Hoppe, 2002).

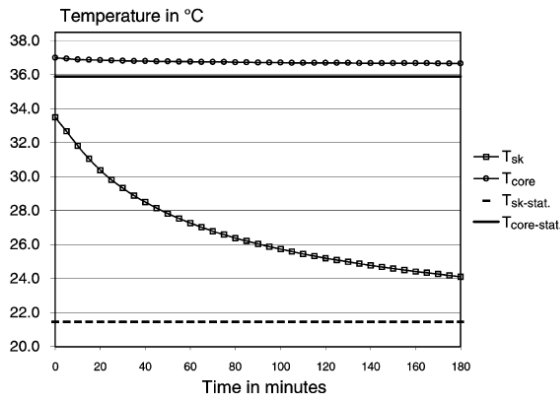


Figure I.25. Calcul des variations du Tcore et Tsk aux conditions thermiques froides-les lignes horizontales présentent le niveau de la stabilité. Source : Hoppe (2002)

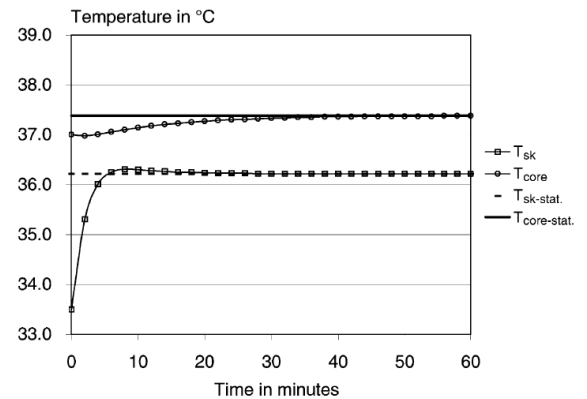


Figure I.26. Calcul des variations du Tcore et Tsk aux conditions thermiques chaudes-les lignes horizontales présentent le niveau de la stabilité. Source : Hoppe (2002)

Ali Toudert et al¹(2005) n'ont pas pris en compte l'aspect psychologique pour déterminer le rôle du ratio H/L et l'orientation en présence du rayonnement solaire dans le canyon et la procuration d'un microclimat confortable pour les piétons par l'analyse de plusieurs typologies des rues (figure I.27).

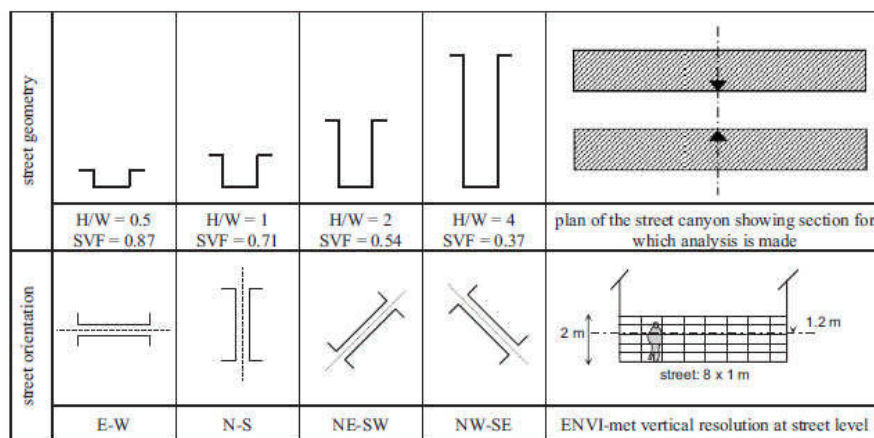


Figure I.27. Schémas représentatifs de la géométrie et de l'orientation des canyons modélisés.

Source: Ali Toudert et al¹(2005)

L'expérience a été appliquée à Ghardaïa, Algérie, qui se caractérise par un climat chaud et sec, le microclimat du site a été modélisé par le logiciel Envi-met⁸ durant une journée typique d'été (1^{er} août) en l'évaluant par l'indice du confort thermique PET (Figure I.28).

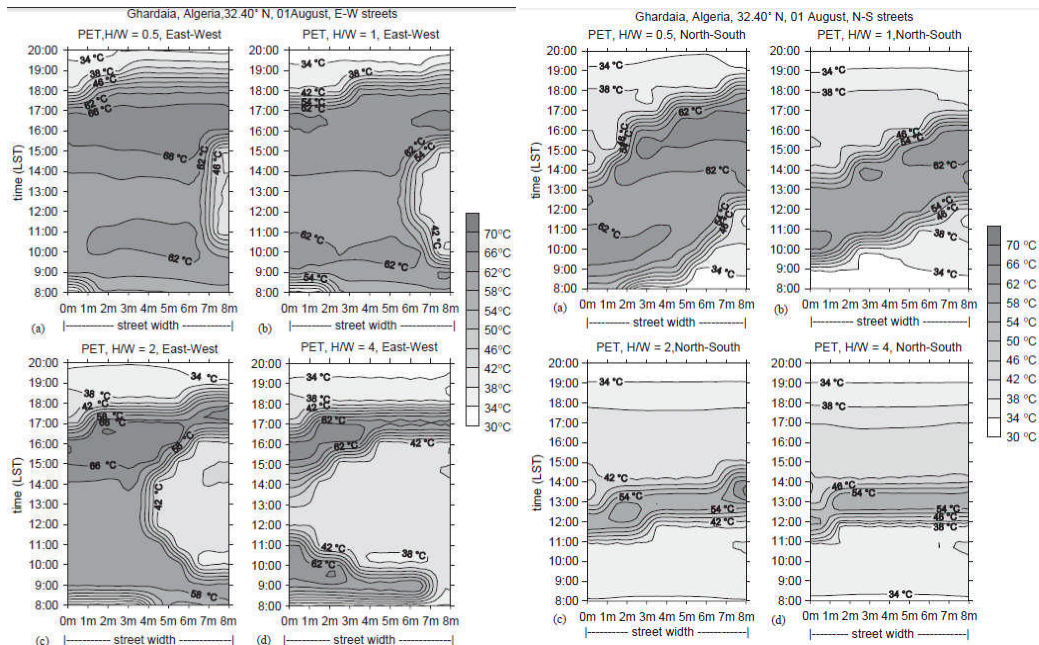


Figure I.28. La distribution spatiale et temporelle de l'indice thermique PET mesuré dans les différents canyons. Source: Ali Toudert et al¹ (2005)

Ali Toudert et al¹(2005) ont trouvé que :

- Le ratio H/L et l'orientation solaire influent considérablement sur l'environnement thermique de la rue et la sensation thermique des gens, mais la température de l'air est plus influencée par le ratio H/L que par l'orientation. Tandis que la distribution spatiale des valeurs de l'indice physiologique PET dépend fortement de ce ratio et de l'orientation de la rue.
- L'orientation N-S est la plus favorable, car elle fournit l'ombre et l'énergie solaire, en été et en hiver respectivement et offre les plus faibles valeurs du PET, par contre, une quantité d'ombre trop limitée a été caractérisée dans les rues orientées E-O.

⁸ ENVI-MET : est un logiciel tridimensionnel permet l'analyse du microclimat urbain par l'évaluation des accès solaires, rayonnements et mouvement d'air

- Une rue orientée NO-SE implique l'exposition des murs, l'après-midi, ce qui provoque la surchauffe. Tandis qu'une rue orientée NE-SO est exposée au soleil durant le matin.

Ali Toudert et al¹(2005) ont proposé des solutions pour résoudre les problèmes dus à l'inconfort au niveau urbain qui s'appuient sur l'intégration des stratégies d'ombrage dans les rues larges, telles que les galeries, les arcades et les arbres, ces derniers doivent être plantés au milieu ou au bord S de la rue, et l'utilisation des matériaux à grande capacité thermique pour la construction des façades.

La relation entre la géométrie des canyons urbains et le confort thermique a été abordée par Ali Toudert et al² (2005) dans l'ancienne ville désertique de Beni-Isgen à Ghardaia en Algérie, une étude quantitative a été élaborée pour évaluer la fiabilité de la conception des formes urbaine du tissu ancien pour assurer un environnement thermique confortable sous des conditions climatiques estivales extrêmement chaudes.

Après un choix judicieux des points représentatifs (Figure I.29), les mesures des paramètres microclimatiques, dont la température de l'air, l'humidité relative et la vitesse du vent, ont été prises en quelques jours typiques choisis par les chercheurs durant l'été 2003. Ces paramètres mesurés utiles, en combinaison avec la Tmrt, au calcul du PET, l'indice thermique utilisé dans cette recherche (Ali Toudert et al², 2005).

Les chercheurs ont choisi 08 points dont les ratios H/L et les orientations différentes, pour l'étude. (Tableau I.4)

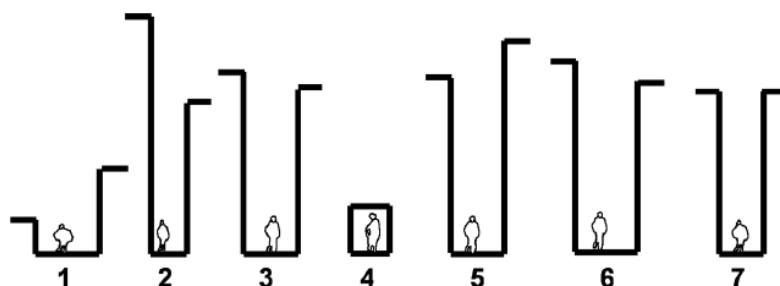


Figure I.29. La géométrie des différentes rues choisies comme des points de mesures à l'ancienne ville de Beni-Isgen, Ghardaïa, Algérie. Source : Ali Toudert et al² (2005)

Les résultats expriment le rôle avantageux de la végétation sur le microclimat urbain (ombre, Ta, HR...) ce qui influe sur la perception des ambiances thermiques, le confort

thermique des piétons et l'utilisation de l'espace extérieur (Figures I.19, I.20). La végétation peut affecter le microclimat urbain de plusieurs façons en particulier la réduction de la température ambiante (T_a), et la procuration de l'ombre et d'une certaine esthétique (Louafi et al, 2013).

Tableau I.4. Les caractéristiques géométriques et les propriétés des matériaux des différents points de mesures à l'ancienne ville de Beni-Isgen, Ghardaïa, Algérie. Avec H1, H2 : les hauteurs des bâtiments latérales, W : la largeur de la rue, SVF : le facteur de vu du ciel.

Source : Ali Toudert et al² (2005)

Points	Street width W (m)	Aspect ratio H/W	SVF	Orientation (angle from N)	Ground albedo	Ground material
1	2.5	H1/W = 1.5; H2/W = 0.6	0.45	NE-SW; 45°	0.15	concrete
2	1.4	H1/W = 7.5; H2/W = 4.7	0.11	N-S; 166°	0.15	stone + concrete
3	2.1	H1/W = 3.5; H2/W = 3.8	0.13	NEE-SWW; 63°	0.15	concrete
4	1.5	H1/W = 1.4; covered	0.03	NW-SE; 130°	0.15	concrete
5	2.1	H1/W = 4.6; H2/W = 3.8	0.16	NE-SW; 50°	0.20	stone + concrete
6	2.4	H1/W = 3.1; H2/W = 3.5	0.14	NW-SE; 122°	0.15	concrete
7	1.7	H1/W = 4.3; H2/W = 4.3	0.09	NW-SE; 125°	0.15	concrete
8	Market place	H1/W = 0.1; H2/W = 0.1	0.67	-	0.25	stone

Les valeurs minimales de la T_{mrt} ont été enregistrées dans les rues protégées avec une différence de 36K entre les rues protégées (02) et celles exposées (01), tandis que, l'enregistrement de la valeur la plus faible a été au point (04), car il n'est pas influencé directement par le rayonnement solaire, ce qui explique les variations stables du T_{mrt} au cours de la journée, ce qui rend ce type des rues plus utile à la réduction du stress thermique.

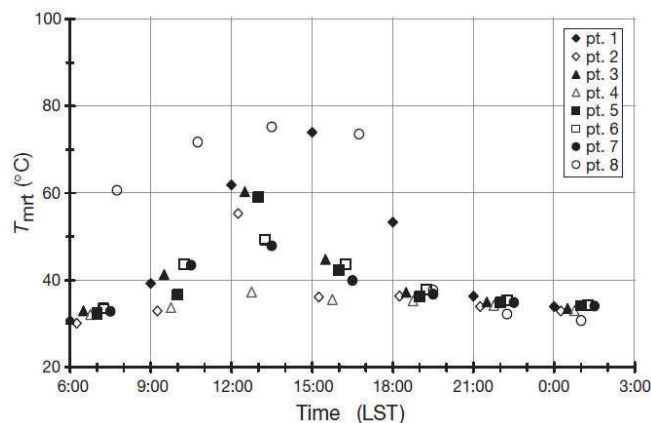


Figure I.30. La température moyenne radiante mesurée durant une journée typique d'été à l'ancienne ville de Beni-Isgen, Ghardaïa, Algérie. Source : Ali Toudert et al² (2005)

Les chercheurs ont découvert que les variations du PET ont été influencées par T_{mrt} , ce qui est remarquable à la similarité de leurs courbes (Figures I.30, I.31). Le stress thermique

a été évolué dans les points les plus exposés au soleil, notamment, le point 08 (FVC=0,67) et le point 01 (FVC=0,45) dont les valeurs du PET extrêmement élevées, ces conditions chaudes sont modérées par la vitesse du vent élevée qui y a été enregistrée (Ali Toudert et al², 2005).

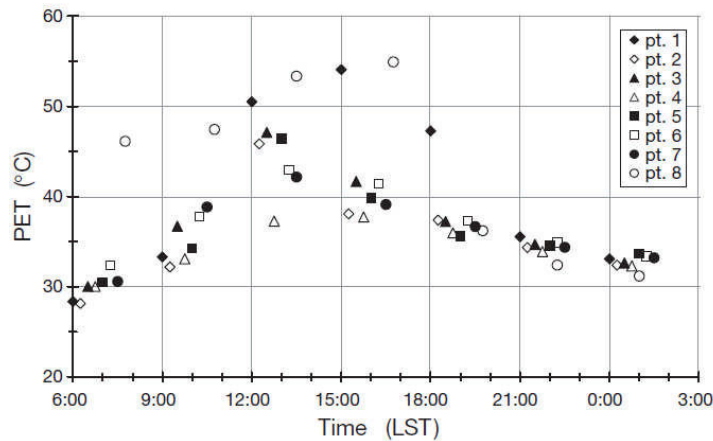


Figure I. 31. La température physiologique équivalente mesurée durant une journée typique d'été à l'ancienne ville de Beni-Isgen, Ghardaïa, Algérie. Source : Ali Toudert et al² (2005)

Donc, le stress thermique exprimé par des valeurs élevées du T_{mrt} et PET qui ont atteint 74°C et 55°C, respectivement, peut être atténué par l'adoption d'un ratio H/L élevé considéré comme une stratégie passive appliquée par les mozabites quant à la conception des rues pour réduire l'exposition au soleil et fournir l'ombre nécessaire à créer un environnement confortable thermiquement sous des conditions climatiques extrêmes (Ali Toudert et al², 2005).

L'accent a été mis aussi sur l'effet de l'orientation sur l'environnement thermique, la rue orientée au N-S ou avec une tolérance du -45° vers l'ouest (NO-SE) est considérée la plus avantageuse en termes du confort en comparaison avec une rue orientée (NE-SO).

Finalement ils ont perçu la nécessité de la prise en charge de la perception subjective issue des enquêtes élaborées pour estimer le comportement des utilisateurs de l'espace extérieur en combinaison avec les indices thermiques, pour évaluer le confort thermique dans les climats extrêmes (Ali Toudert et al², 2005).

Johansson (2006) a examiné l'effet de la géométrie urbaine sur le microclimat et le confort thermique, au niveau de la rue, dans un climat chaud et aride par la comparaison de deux canyons situés dans deux tissus urbains différents de la ville de Fès au Maroc

(Figures I.32, I.33), l'un est compact (l'ancienne ville) et l'autre est dispersé (la nouvelle ville), cité dont le climat est chaud et aride.



Figure I.32. Le tissu urbain traditionnel choisi à Fès, Maroc. Source: Johansson (2006)



Figure I.33. Le tissu urbain choisi de la nouvelle ville à Fès, Maroc. Source: Johansson (2006)

Une étude comparative du confort thermique a été conduite dans les deux canyons urbains, se basant sur :

- Des mesures in situ de : la température de l'air, la température des surfaces, l'humidité relative et la vitesse de l'air, après le choix des points de mesures.
- L'évaluation du confort thermique par le calcul de l'indice de confort thermique **PET** (Physiological Equivalent Température), en se basant sur les paramètres mesurés et le logiciel Rayman 1.2.

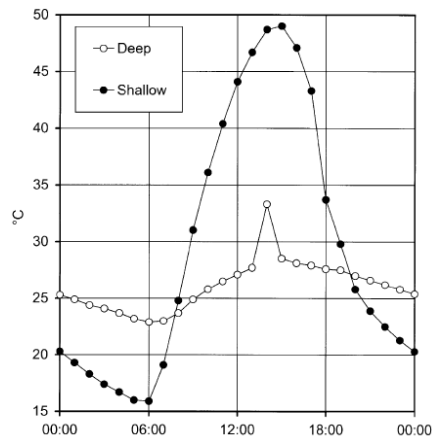


Figure I.34. L'indice thermique: PET calculé dans un canyon urbain profond et peu profond, durant la période estivale. Source : Johansson (2006)

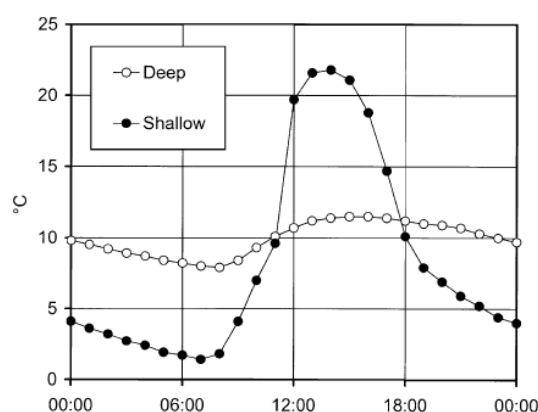


Figure I.35. L'indice thermique: PET calculé dans un canyon urbain profond et peu profond, durant la période hivernale. Source : Johansson (2006)

En été, les valeurs du PET dans la rue profonde sont très stables (entre 23 et 28°C) et extrêmement élevées (dépassent 40°C) dans la rue peu profonde (Figure I.34). En hiver, les valeurs du PET dans la rue profonde sont plus faibles que celles de la rue peu profonde, ce qui rend ce dernier plus confortable (Figure I.35) (Johansson, 2006).

Enfin, Johansson (2006) conclut que la forme urbaine compacte avec des rues profondes offre une meilleure protection contre les rayonnements solaires durant la longue période estivale chaude en créant l'ombrage désirable au piéton et une baisse température de l'air. Parmi les inconvénients de cette forme l'inaccessibilité des véhicules ; l'inconfort thermique qui caractérise ses rues en hiver et qui peut être compensé par l'habillement. La forme urbaine dispersée, quant à elle, crée un environnement thermique extrêmement inconfortable en été mais la possibilité de la transition des piétons entre les espaces ensoleillés et ombragés en hiver constitue un de ses avantages.

Un autre logiciel s'est apparu dans le domaine de la climatologie urbaine pour la simulation des conditions thermiques extérieures : « Solweig® » dont les résultats sont confrontés avec ceux du logiciel Envi-met et les mesures du globe thermomètre afin de faire une comparaison de différentes méthodes de l'estimation de la température moyenne radiante (Tmrt) à l'extérieur. En effet, une campagne de mesure a été élaborée par Katzschner et Thorsson (2009), dans un tissu traditionnel à Kassel en Allemagne pour mesurer la température de l'air et la vitesse du vent nécessaire au calcul du Tmrt, une des variables microclimatiques déterminantes du confort thermique à l'échelle urbaine d'une importance égale à celui de la vitesse du vent.

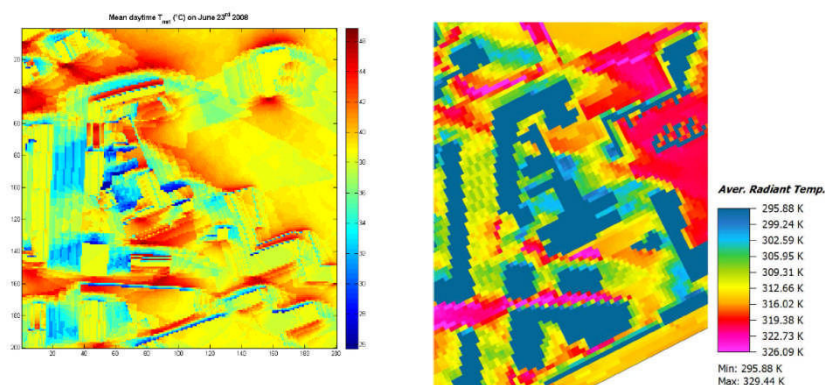


Figure I.36. La température moyenne radiante calculée par Solweig (à gauche) et par Envi-met (à droite), le 23 juin 2008. Source : Katschner et Thorsson (2009)

D'après la comparaison des résultats obtenus à partir la simulation (Figure I.36), les chercheurs ont trouvé une certaine similarité entre les valeurs de la T_{mrt} calculée par « Envi-met ® » et par « Solweig ® » avec une surestimation ressentie par ce dernier. Les chercheurs ont découvert également le phénomène de l'îlot de chaleur dont l'impact négatif sur les conditions thermiques simulées qui n'y reflètent pas la situation réelle de la perception des utilisateurs. Mais, la simulation constitue un outil d'aide à la prise des décisions relatives aux choix des surfaces et des matériaux convenables quant à la planification urbaine (Katschner et Thorsson, 2009).

Une autre méthode dite « COMFA+ » (**COM**fort**FORM**ula) a été adoptée par Latini et al (2010) pour examiner l'effet de la surface du sol et la végétation sur le microclimat urbain dans une ville historique au centre de l'Italie « Ascoli Piceno », considérée par les chercheurs comme un exemple typique des villes méditerranéennes caractérisées par une longue saison chaude et un hiver froid.

Cette méthode qui est basée sur la balance énergétique des personnes dans un espace extérieur a été combinée avec les résultats d'une simulation par le logiciel tridimensionnel Envi-Met® pour évaluer les performances thermiques d'été de différents espaces sous l'ombre, cette combinaison donne la naissance et le développement d'un nouvel outil : « Envi-COM+ » (Latini et al, 2010).

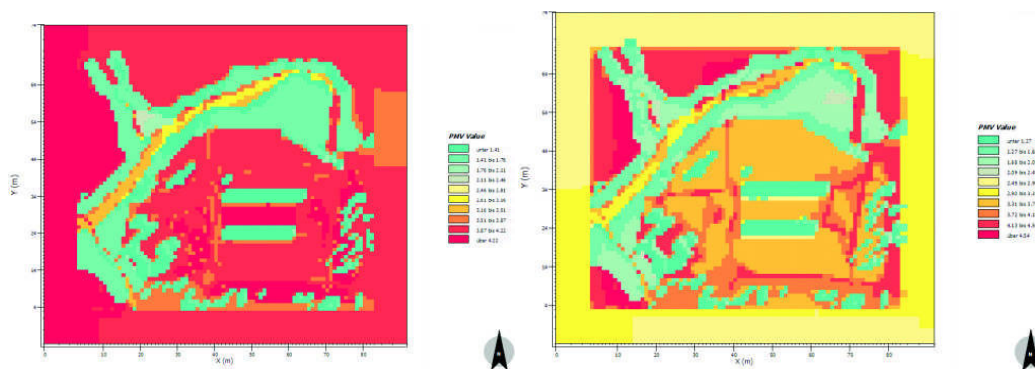


Figure I.37. Simulation par Envi-met de la distribution de l'indice PMV dans les deux variantes (1) pavage en asphalt (2) la présence de la végétation. Source : Latini et *al* (2010)

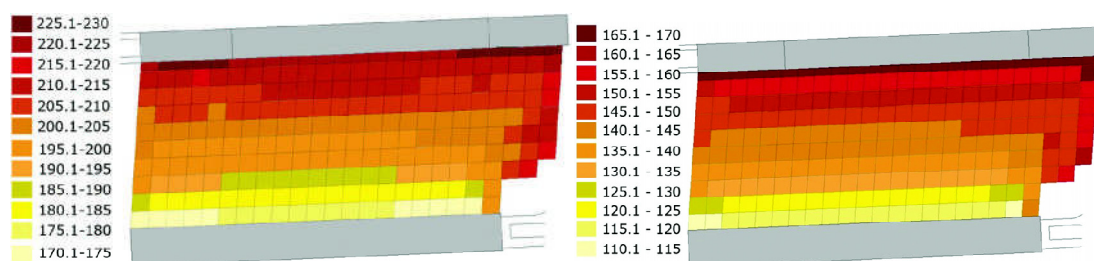


Figure I.38. Simulation de la distribution de la balance énergétique (TB) par la méthode COMFA dans les deux variantes (1) pavage en asphalt (2) la présence de la végétation. Source: Latini et *al* (2010)

Le domaine de la simulation a été composé de deux bâtiments parallèles dont les longueurs 270m et 240m avec une hauteur de 15m, la distance entre eux 100m. Deux variantes ont été élaborées par les chercheurs : la première traitée par un pavage à l'asphalte et la deuxième a été considérée comme un espace ouvert contient des végétations. Pour la première variante : des valeurs élevées de la balance thermique et de l'indice PMV ont été enregistrées, ces valeurs expriment des conditions très chaudes du confort thermique ; en comparaison avec les faibles valeurs de la deuxième variante (Figure I.37, 38). Les valeurs enregistrées dans les deux cas restent toujours à la plage de l'inconfort, ce qui conduit les chercheurs à proposer et développer une troisième variante contenant des protections solaires et des pergolas, car la conception des espaces extérieurs avec végétations peut être insuffisante pour l'amélioration des conditions thermiques s'ils n'y contiennent pas des dispositifs d'ombrage (arbres, pergolas...)(Latini et *al*, 2010).

En fait, les valeurs calculées par Envi-COM+ ont été plus faibles en comparaison avec celles de premières variantes ce qui signifie l'atteinte des conditions thermiques acceptable grâce aux stratégies d'ombrage adoptées (Figure I.39).

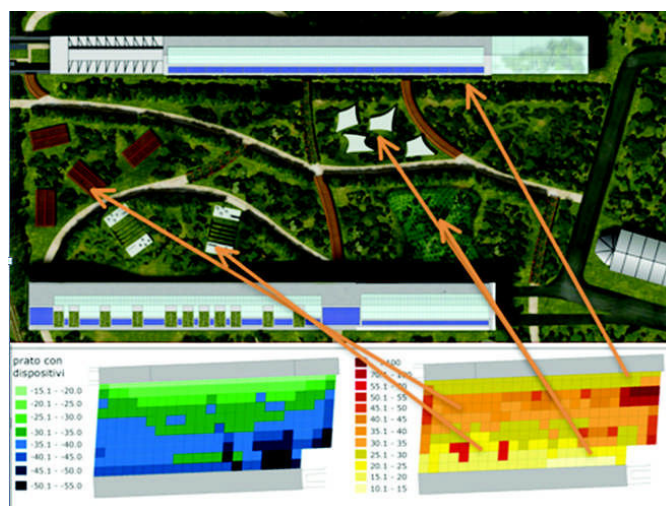


Figure I.39. Simulation de la distribution de la balance énergétique (TB) par la méthode COMFA dans la troisième variante. Source: Latini et al (2010)

Matzarakis et *al* (2011) ont également poursuivi cette démarche pour évaluer les fréquences du confort thermique à longterme et examiner l'influence de l'ombrage sur le niveau du confort, au cours des saisons. Une expérience sur terrain a été appliquée dans un tissu urbain traditionnel à Taiwan et basée sur le choix de 06 points de mesure, dont le niveau d'ombrage et le SVF (Figure I.40) varient d'un point à un autre (entre 0,236 et 0,616), pour mesurer les paramètres physiques thermiques et la simulation des conditions du confort thermique à long terme par le modèle Rayman© en utilisant les données météorologiques de 10 ans et le calcul de l'indice PET.

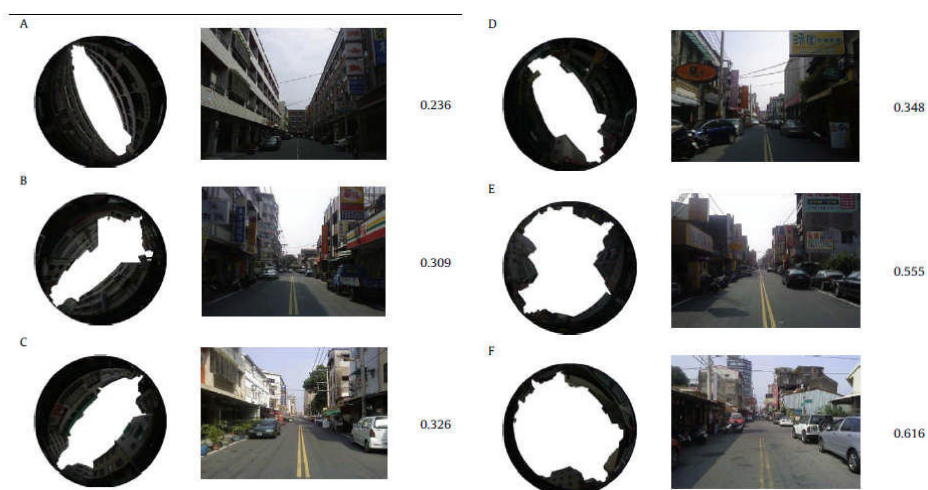


Figure I.40. Le facteur de vue du ciel (FVC) des points de mesures.

Source : Matzarakis et *al* (2011)

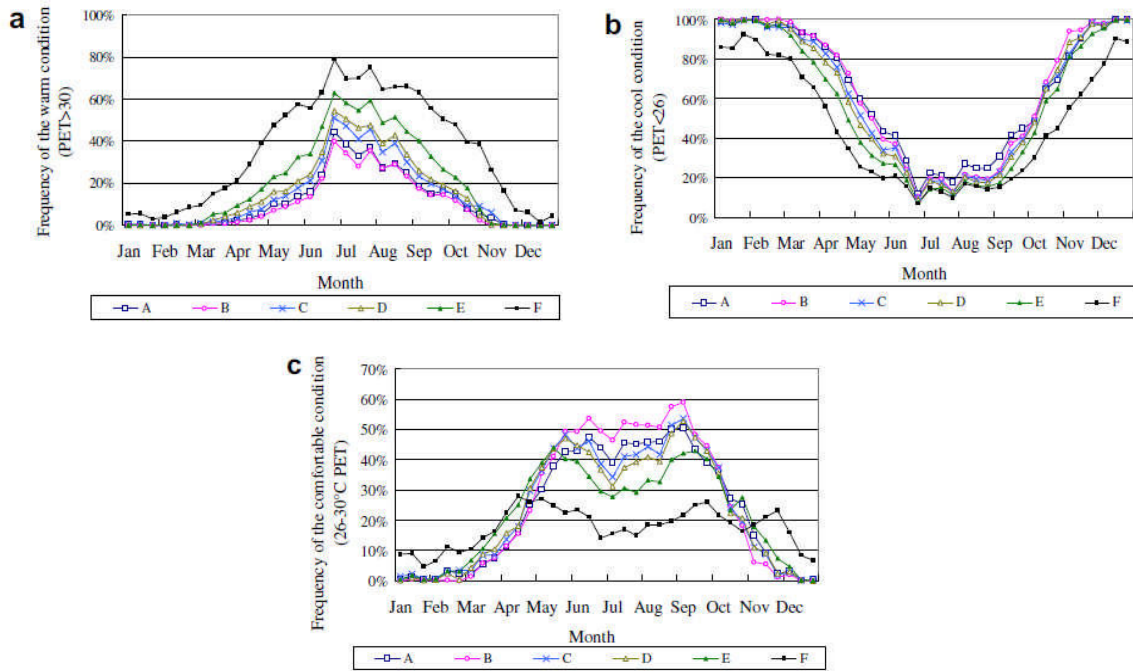


Figure I.41. La fréquentation de l'espace extérieur de 08:00 à 18:00 au cours des saisons selon les conditions thermiques (a) conditions chaudes, (b) conditions froides, (c) conditions satisfaisantes.

Source : Matzarakis et *al* (2011)

Matzarakis et *al* (2011) a trouvé que le niveau du confort thermique, qui se traduit par l'indice PET dans cette étude, dépend fortement du SVF qui détermine le niveau d'ombrage dont la capacité de réduire les heures du chaud et offre plus d'heures fraîches, en été, au printemps et en automne, en comparaison avec les espaces moins ombragés qui deviennent bénéfiques en hiver (Figure I.42).

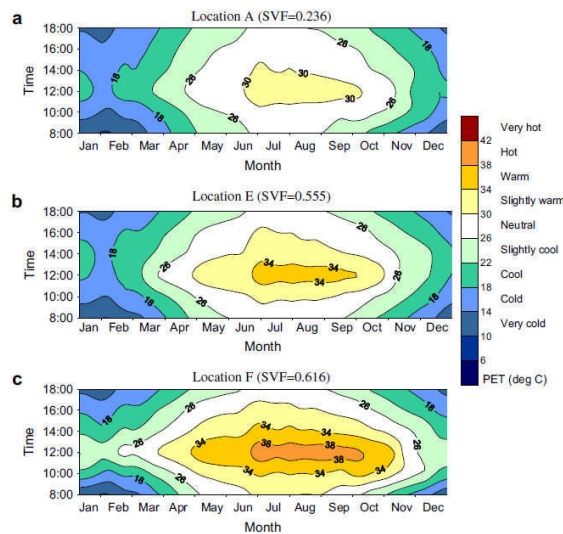


Figure I.42 PET mesurée et sa relation au facteur de vue du ciel.

Source : Matzarakis et *al* (2011)

En raison des variations saisonnières et des besoins du confort thermique (Figure I.41), les auteurs n'ont pas pu déterminer un niveau d'ombrage ou un rapport H/L recommandé pour les zones urbaines dans le site analysé. Ils ont proposé, comme solution alternative, la création de dispositifs d'ombrage au niveau des rues urbaines pour les ajouter en été et les supprimer en hiver ; les arbres à feuillage caduc peuvent être utiles pour fournir l'ombre en été et permettre l'accès du rayonnement solaire, en hiver (Matzarakis et *al*, 2011).

Ndetto et *al* (2013), dans leur étude, cherchent à déterminer l'impact de la hauteur des bâtiments et l'orientation de la rue sur la sensation thermique des piétons dans une rue typique et un parc à Dar Es-Salaam Tanzanie, une ville africaine tropicale et définir la configuration urbaine optimale qui peut répondre aux conditions du confort thermique urbain. Pour atteindre leurs objectifs, ils ont fait appel à la technique de la simulation par le logiciel Rayman® qui permet le calcul de la température moyenne radiante et l'indice thermique PET, utilisés pour l'évaluation. La simulation a été concernée par deux places choisies dans la ville pour quantifier l'effet de l'orientation de la rue et la hauteur des bâtiments sur la sensation thermique des piétons.

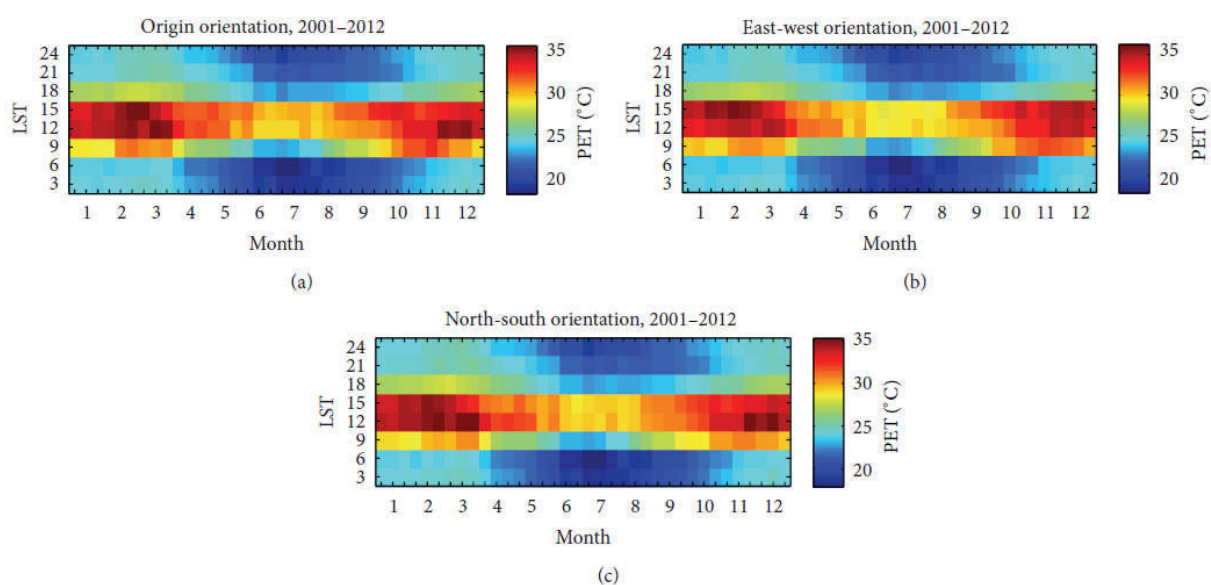


Figure I.43. La distribution temporelle de l'indice thermique PET dans des canyons urbains, NO – SE (a), E-O (b), et N-S (c).Source : Ndetto et *al* (2013)

Les valeurs élevées du Tmrt et PET ont été enregistrées l'après-midi dans les rues orientées E-O, ces valeurs ont diminué dans les rues orientées N-S (Figure I.43). À noter aussi que les valeurs du Tmrt et du PET diminuent avec l'augmentation de la hauteur des bâtiments environnants. Les conditions du confort thermique se sont améliorées près du parc grâce à

l'ombre fournie. Donc, l'obtention des valeurs faibles, souhaitables en été, du T_{mrt} et du PET est liée particulièrement à l'orientation N-S des rues et une grande hauteur dédiée aux bâtiments environnants (Ndetto et al (2013).

IV. Études sur l'effet de la géométrie urbaine sur les radiations solaires et les vents :

Shishegar (2013) a étudié l'effet de la conception urbaine sur le microclimat urbain et l'impact du rapport H/L et l'orientation de la rue sur l'écoulement du vent et l'accès du soleil sur la base de l'état de l'art des études récentes, il a dicté des recommandations relatives à la géométrie urbaine qui se traduit par le rapport H/L, ℓ/L et l'orientation de la rue qui sont considérés comme étant les facteurs clés pour obtenir un microclimat confortable pour les piétons dans un canyon urbain, ces facteurs influent directement l'écoulement du vent et l'accès au soleil dans un canyon urbain. Les principaux résultats, issues de la simulation numérique, peuvent être résumés comme suit :

- Une rue large se caractérise par une meilleure circulation de l'air.
- Une rue avec des hauteurs différentes des bâtiments environnants offre un meilleur écoulement du vent.
- Les canyons urbains profonds et étroits sont plus appropriés pour les régions chaudes, car ils réduisent l'accès solaire, en général.

Une étude a été menée au centre-ville de Chattanooga, Tennessee aux États-Unis par DEKAY (2015) qui a développé des enveloppes climatiques qui combinent une enveloppe solaire + une enveloppe de la lumière, ce qui en fait une étude spécifique (Figure I.44). Ces enveloppes visent à la régulation de la forme du bâtiment pour assurer l'accès du rayonnement solaire, la lumière et le vent dans le noyau urbain autant que possible.

Il a remarqué que le taux du confort ressenti à l'extérieur dépend du design de la ville et l'organisation des bâtiments, rues et espaces extérieurs qui peuvent empêcher la pénétration du soleil, l'accès du vent et les ressources de la lumière. L'urbanisme contemporain a remplacé la végétation et les surfaces vertes et fraîches par des surfaces sombres et absorbantes de la chaleur telles que le béton et l'asphalte. Ainsi que les bâtiments de grande hauteur qui bloquent l'écoulement du vent et réduisent la capacité des autres bâtiments à

dissiper la chaleur vers le ciel durant la nuit, ce qui provoque l'effet de l'îlot de chaleur urbain. Et pour réduire l'effet de ce dernier, plusieurs solutions ont été proposées :

- La végétation, qui assure l'ombrage d'une part et le refroidissement par l'évapotranspiration et la réduction de la température ambiante, d'autre part.
- La proposition des stratégies du design urbain pour assurer une meilleure distribution du vent par la création des passages entre les bâtiments et au milieu des blocs.
- La plantation des arbres et l'aménagement dans un boulevard font parti à rediriger le vent dans les canaux.

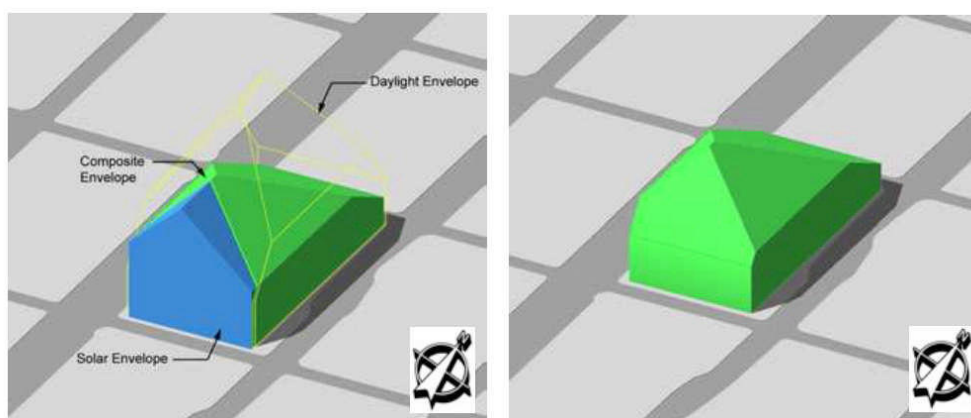


Figure I.44. Le développement de l'enveloppe climatique.

Source : DEKAY, (2015)

V. Études sur les caractéristiques des matériaux de construction :

Le choix des matériaux des surfaces délimitant un espace extérieur a constitué une préoccupation chez Santamouris et al (2004), cette dernière l'a conduit à faire une comparaison entre 93 matériaux dont les caractéristiques physiques et thermiques différentes.

Cette étude comparative a été illustrée pour identifier les avantages et les inconvénients majeurs des matériaux sélectionnés afin de les classer selon leurs propriétés thermiques qui contribuent largement à la modification de la température ambiante.

Une campagne expérimentale dans un espace ouvert au campus universitaire à Athènes a été élaborée, le mois d'août 2011, par la mesure de la température surfacique de chaque matériau en utilisant une caméra infrarouge thermographique.

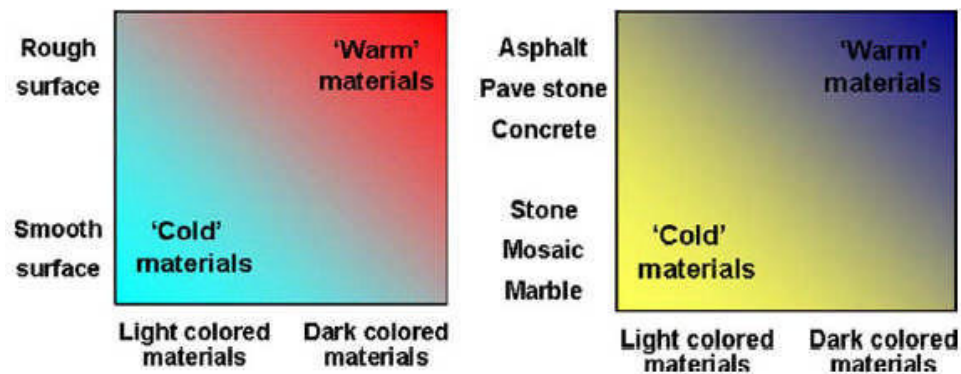


Figure I.45. la différence entre les matériaux chauds et froids.

Source : Santamouris et al (2004)

Les résultats de l'investigation ont montré que les caractéristiques physiques des surfaces des matériaux, définis parla couleur et la texture, sont les déterminants du niveau de l'albédo ce qui conduit les chercheurs à caractériser deux types des matériaux : froid et chaud (Figure I.45). Les surfaces colorées rugueuses et foncées ont tendance à absorber plus de rayonnement solaire que les surfaces colorées et lisses. Par conséquent, les surfaces de couleur foncée sont plus chaudes que celles de couleurs claires, souhaitables dans les régions chaudes pour leur contribution à la réduction de la température ambiante, contrairement aux surfaces chaudes utilisées pour des raisons esthétiques ou économiques qui aggravent le phénomène de l'îlot de chaleur et la demande croissante de la climatisation (Figure I.46).

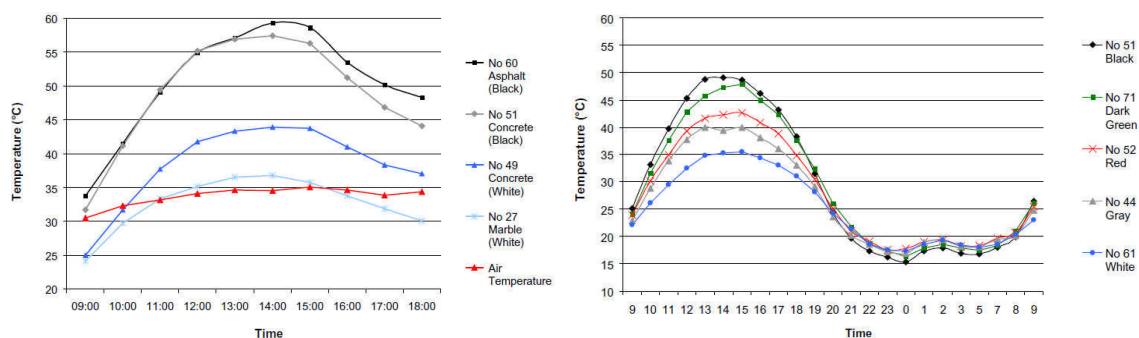


Figure I.46. La distribution de la température de la surface de quelques matériaux sélectionnés, selon la couleur de la surface extérieure, aout 2001. Source : Santamouris et al (2004)

CONCLUSION :

Nombreuses ont été les méthodes adoptées pour analyser et estimer le confort thermique dans les milieux urbains, d'après lesquelles, la géométrie urbaine (prospect H/L, FVC, l'orientation solaire) et les propriétés thermiques des matériaux sont les deux paramètres influençant le microclimat climat urbain. En fait, cette dernière influe significativement l'utilisation des espaces extérieurs urbains lesquels concernés par ces recherches sont les rues, les places et les parcs où la température de l'air, le rayonnement solaire et la vitesse du vent sont les facteurs microclimatiques les plus affectant.

D'après les recherches récemment cernées, les aspects fondamentaux du processus analytique ont été réalisés en examinant les facteurs climatiques (physiques), physiologiques et psychologiques par l'utilisation des modèles d'application plus universels qui permettent aux chercheurs de conduire des investigations aux différentes régions dont les caractéristiques climatiques différentes, pour ce fait, certains d'entre eux s'intéressent aux investigations sur terrain par l'étude des grandeurs climatiques en relation avec la morphologie urbaine, d'autres privilégient l'utilisation des indices thermique (PMV, PET...) pour l'évaluation, d'autres placent la sensation et la perception des ambiances thermiques vécues (ASV, PPD) au centre de leurs préoccupations, d'autre encore favorisent la modélisation informatique et la technique de la cartographie pour effectuer des expérimentations sur le zonage du confort thermique par l'aide des logiciels spécialisés parmi lesquels: Envi-met®, Rayman®, Solweig®.

CHAPITRE II

**LE CONFORT THERMIQUE EN
ESPACES EXTERIEURS :**

NOTIONS DE BASE

INTRODUCTION :

Depuis l'antiquité, l'homme a essayé de créer un environnement thermique confortable, et cela se reflète nettement dans l'architecture et l'urbanisme de cette époque. Aujourd'hui, ce souci est devenu une préoccupation majeure à prendre en considération dès les premières phases de la conception urbaine. À l'extérieur, les gens s'attendent à la variabilité des conditions d'exposition : soleil et ombre, changements dans la vitesse de vent. Les piétons peuvent être exposés au rayonnement solaire intense et aux vents, les facteurs qui influent sur leur réponse aux conditions d'humidité et à la température (Givoni et al. 2003).

La conception bioclimatique à l'échelle urbaine nécessite une compréhension consciente du confort thermique extérieur et les différentes méthodes pour son évaluation. Pour cela, plusieurs indices thermiques ont été développés durant les dernières décades pour décrire le confort humain ou le stress du corps humain en s'appuyant sur des modèles mathématiques basés sur l'équilibre thermique du corps humain dans son environnement.

La recherche sur le confort thermique extérieur implique la prise en compte de différentes conditions, non rencontrées dans les recherches sur le confort à l'intérieur. Dans ce chapitre, l'accent sera mis sur cette vaste notion et les éléments intervenants pour sa modification, en présentant succinctement les différents indices permettant l'évaluation objective du confort.

Le confort thermique urbain:

I.1. Notion de confort thermique :

Plusieurs définitions ont été attribuées à la notion du confort thermique. D'après Holger Koch-Nielsen (2002), il est difficile de trouver une définition précise à la notion du confort thermique, en raison de la subjectivité qui caractérise ce dernier, donc, il l'a défini comme une sensation de bien-être de l'individu dans son environnement. Cette sensation varie d'un individu à un autre et inclut les aspects physiologiques et psychologiques et varie en fonction de l'adaptation de l'homme au climat où il s'y trouve et à

l'environnement psychologique et social. L'âge, le sexe et l'état de la santé sont les autres paramètres influençant la sensation de confort thermique (Holger Koch-Nielsen, 2002).

Vogt et Miller (1970), cités par Boutabba (2007), ont également donné une définition à cette notion: *« d'un point de vue purement thermique, les conditions ambiantes confortables sont celle pour lesquelles l'homme peut maintenir constante sa température corporelle sans mettre en jeu d'une manière perceptible ses mécanismes de lutte contre le froid ou de lutte contre la chaleur »*.

La norme ISO 7730 a défini, également, le confort thermique comme un état sensoriel de satisfaction vis-à-vis de l'environnement thermique. Il est déterminé par l'équilibre dynamique établi par l'échange thermique entre le corps et son environnement. D'après Liébard (2005), *« le confort thermique est défini comme un état de satisfaction vis-à-vis de l'environnement thermique. Il est déterminé par l'équilibre dynamique établi par l'échange thermique entre le corps et son environnement »* (Liébard, 2005). Selon Fanger (1970) cité par Ait Ameer (2002), *« le confort thermique est l'état d'esprit qui exprime une satisfaction de son environnement : le sujet ne peut dire s'il veut avoir plus chaud ou plus froid »* (Ait Ameer, 2002). De son côté, De Herde (2005) définit le confort thermique comme étant la condition dans laquelle aucune contrainte significative n'est imposée aux mécanismes thermorégulateurs du corps humain. Un confort thermique optimal permet l'obtention de conditions optimales pour tous les systèmes fonctionnels de l'organisme ainsi qu'un niveau élevé de capacité de travail (De Herde, 2005).

Il existe plusieurs paramètres physiques intervenant dans le confort thermique comme la température de l'air, le vent, le taux d'humidité, d'autres facteurs tels que la qualité de l'air, la lumière et le niveau du bruit des milieux environnants influent sur le confort thermique, ce qui fait de cette notion un paramètre déterminant de l'efficacité de travail et les différentes activités.

La neutralité du confort thermique signifie que la personne ne se sent ni trop chaude ni trop froide (Figure II.1). Une évaluation de l'environnement thermique est basée sur la réception des signaux résultante de deux systèmes de capteurs, lorsque la température de la peau diminue en dessous de 34°C ou lorsque cette température dépasse 37°C, ces changements de la température sont accompagnés par l'envoi d'impulsions au cerveau. Si

les signaux supposés sont du même ordre de grandeur, l'homme sent la neutralité thermique¹.

Pour une activité et une vêtue donnée, Missenard (2011) a déterminé la température de neutralité de 32,2 °C pour une personne nue au repos en air calme.

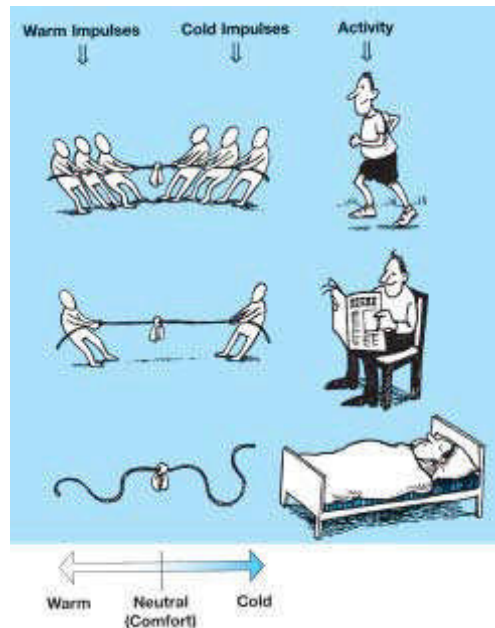


Figure II.1. Schéma explicatif de la notion de la neutralité thermique.

Source: (<http://www.innova.dk>)

I.2. Les paramètres du confort thermique :

La sensation de l'individu par rapport à son ambiance climatique est liée à la température de la peau. Celle-ci étant influencée par les échanges thermiques entre l'environnement et l'individu. Le calcul de tous ces termes peut être réalisé de façon très détaillée en fonction des paramètres de l'environnement et de l'individu considéré (Musy, 2014).

Ces paramètres sont très nombreux. Ils peuvent être regroupés dans les trois catégories exposées dans le tableau ci-dessous (Tableau II.1) :

¹<http://www.innova.dk>

Tableau II.1. Les paramètres influençant la dissipation de chaleur du corps humain et le confort thermique. Source: Szockolay (2004)

Environnemental	Personnel	Facteurs contributeurs
La température de l'air	Le métabolisme et l'activité	Aliments et boissons
La vitesse de l'air	L'habillement	Forme du corps
L'humidité	L'état de la santé	Graisse sous-cutanée
Les radiations solaires	L'acclimatation	Âge et sexe

I.2.1. Les paramètres climatiques :

On peut considérer que quatre variables externes affectent principalement les conditions du confort thermique. Il s'agit du rayonnement énergétique, du vent, de l'humidité et de la température de l'air à l'extérieure. Szockolay (2004) considère que la température de l'air est le facteur environnemental dominant qui détermine le taux de la dissipation de chaleur par convection. Tandis que la vitesse de l'air accélère la convection, elle contribue également au changement du coefficient de transfert de chaleur de la surface de la peau et les vêtements, elle augmente aussi l'évaporation de la peau, en produisant ainsi l'effet de refroidissement physiologique (Szockolay, 2004).

I.2.1.1. Température de l'air :

La température de l'air est le facteur primordial quant à la détermination du niveau confort thermique, la température de l'air ambiant est mesurée par un thermomètre à bulbe sec (le thermomètre doit être aplati pour éviter l'influence du rayonnement), elle doit être mesurée à l'ombre dans une boîte ventilée dont la hauteur est de 1,5m par rapport au niveau du sol. L'intervalle de confort va généralement de 18 à 25°C. Il est important d'obtenir les températures maximales et minimales, cela donne des informations sur les variations diurnes de la température (Holger Koch-Nielsen, 2002).

La température peut être repérée par deux échelles universelles :

- L'échelle de degré Celsius : c'est l'échelle couramment utilisée ou le 0°C correspond à la température de fusion de la glace.
- L'échelle de degré Kelvin : dont le zéro absolu est la valeur minimale et la limite inférieure correspond à 273°C. Seule cette échelle présente un réel sens physique, la

température exprimée en degré Kelvin présente la potentielle thermodynamique (Fernandez et al., 2009).

Pour évaluer le confort thermique, la prise en compte de la température de l'air toute seule peut induire en erreur et ne permet pas de donner une idée précise sur le confort thermique, pour cela, ce paramètre doit être couplé par d'autres paramètres climatiques tels que : la vitesse de l'air, l'humidité relative...etc. (Msellem, 2007).

I.2.1.2. Le rayonnement solaire :

L'altitude du soleil et la quantité des particules dans l'atmosphère sont les deux paramètres déterminants de l'intensité du rayonnement solaire qui se varie en fonction de la situation géographique et les conditions climatiques locales. On peut distinguer trois types du rayonnement solaire influençant la chaleur transférée au bâtiment :

- Le rayonnement solaire direct : les constituants du rayonnement sont reçus directement du soleil (selon la direction des rayons du soleil)
- Le rayonnement solaire diffus : les constituants du rayonnement sont reçus de la voûte céleste (nuages, ciel, atmosphère) de toutes les directions.
- Le rayonnement solaire reflété : les constituants du rayonnement sont reflétés du sol et des bâtiments environnants (Holger Koch-Nielsen, 2002).

L'effet d'exposition directe au rayonnement solaire n'est pas limité seulement à l'inconfort d'été et la sensation de chaleur. En hiver, il peut également produire une sensation de confort. Durant la période estivale et hivernale, les piétons peuvent s'exposer aux températures de surface beaucoup plus élevées ou plus basses, respectivement, que la température ambiante, dans un espace non ombragé (Givoni et al., 2003.)

I.2.1.3. L'humidité relative :

Selon De Herde et al. (2005), l'humidité *relative* 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 et al.,2005). Elle est définie, également, comme la quantité du vapeur d'eau dans l'atmosphère résultant de l'évaporation des aires d'eau exposée, du sol humide et l'évapotranspiration des végétations. Le terme le plus reconnu pour la représentation de l'humidité est « l'humidité

relative » qui constitue le rapport entre l'humidité actuelle dans un volume donné d'air et la capacité maximale en humidité à la même température (Holger Koch-Nielsen, 2002).

I.2.1.4. La vitesse du vent :

La distribution et les caractéristiques des vents sont affectées généralement par les facteurs global et local de la région. Les variations saisonnières et journalières sont les principales déterminantes du vent (Holger Koch-Nielsen, 2002).

Les valeurs de la vitesse du vent sont plus élevées que la vitesse de l'air mesurée généralement à l'intérieur d'un local. Contrairement aux conditions du vent considérées comme indésirables, en hiver, ce facteur inévitable à l'évaluation des réponses subjectives dans un environnement urbain contribue à la modération de la charge thermique, en été (Givoni et al., 2003).

La vitesse de l'air affecte fortement le confort de l'être humain: sur le plan dynamique, par la sollicitation mécanique du corps humain (considéré comme un obstacle) par les forces induites par le vent qui entravent son mouvement, ces forces variant dans le temps et l'espace; ou sur le plan thermique, en affectant les échanges thermiques et physiologiques entre le corps humain et le milieu environnant (Gandemer, 1976).

Le vent est un paramètre climatique qui contribue fortement à la caractérisation du niveau du confort (thermique et dynamique) dans les espaces extérieurs. Les hautes vitesses augmentent considérablement le taux de refroidissement éolien malgré des températures et un degré d'ensoleillement acceptables (Ouameur, 2007).

L'échelle de beaufort (Tableau II.2) donne un certain nombre d'indications sur les manifestations du vent en fonction de la vitesse et les sensations ressenties.

Tableau II.2.Échelle de Beaufort. Source: Lavigne (1994)

Échelle Beaufort		
Vitesse du vent m/s		Caractéristiques du vent
Force	Z=2m	
2	1,5 - 3	Les visages ressentent la sensation du vent, les feuilles bruissent.

3	3 – 4,5	Les feuilles et les petits rameaux sont en mouvement permanent. Le vent déploie pleinement les drapeaux, les cheveux sont dérangés, les vêtements amples battent au vent.
4	4,5 - 7	La poussière et les papiers se soulèvent. Les branches s'agitent. Les cheveux sont décoiffés.
5	7 - 9	Les petits arbres avec des feuilles oscillent. La marche est légèrement perturbée.
6	9 - 11	Les grosses branches se mettent en mouvement. Le vent siffle dans les fils téléphoniques. Les parapluies sont utilisés avec peine. La marche devient très instable.
7	11 – 14	Les arbres sont totalement en mouvement. On éprouve de grosses difficultés à marcher contre le vent.
8	14 – 17	Les branches d'arbres se cassent. D'une façon générale, progression pédestre très difficile et dangereuse.
9	17 - 20	Risque d'être violemment projeté à terre sous l'effet des bourrasques.

I.2.1.5. Tmrt (température moyenne radiante) :

La température moyenne radiante est un paramètre critique dans l'évaluation du confort thermique en espaces extérieurs. Elle intègre les flux de courte et de grande longueur d'onde absorbés par le corps humain, influençant ainsi son bilan énergétique (Thorsson et al., 2007). La Tmrt est le facteur clé quant au calcul d'indices de confort thermique puisqu'elle a un impact important sur le bilan thermique de l'homme (Tsoka, 2011). Cette grandeur est définie comme la température moyenne des surfaces environnantes, elle inclut l'effet du rayonnement solaire incident (Ouameur, 2007). Elle est considérée comme un des paramètres ayant un impact significatif sur la sensation du confort thermique en milieu urbain (Ndetto et al., 2013). Pour calculer ce paramètre, il faut relever: la température de thermomètre globe, la température de l'air et la vitesse de l'air mesurée autour du thermomètre globe.

Thorsson et al. (2004) ont considéré que la T_{mrt} est le paramètre météorologique le plus important pour l'équilibre thermique du corps humain notamment dans les conditions extrêmes d'été, elle influe fortement sur les valeurs des indices thermophysiques tels que PMV. T_{mrt} est défini comme la température uniforme d'une surface environnante émettant la radiation de corps noir qui présente un coefficient d'émission $e = 1$ qui résulte dans le gain de la même énergie du corps humain comme des flux de radiations dominants (Thorsson et al., 2004).

La T_{mrt} n'est pas mesurable directement par le thermomètre ordinaire. Cela exige le recours à un thermomètre à globe noir (Figure II.1) qui répond aux apports solaires aussi bien qu'à la température de l'air (Thorsson et al., 2007). Cet instrument a été développé initialement pour des environnements intérieurs pour être utile à l'extérieur avec l'apparition des recherches sur la climatologie urbaine (Nikolopoulou et al, 2001). Il se compose d'une boule de 150 mm de diamètre de cuivre teinté en noir, dans laquelle un thermomètre est inséré jusqu'au centre, des balles de ping-pong peintes en noir sont également utiles au calcul de la température à globe (T_g) nécessaire pour l'estimation de T_{mrt} (Szockolay, 2004).

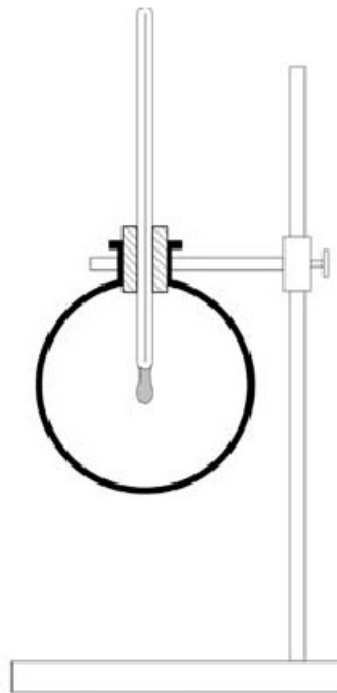


Figure II.2. Thermomètre à globe. Source: Szockolay (2004)

La formule de T_{mrt} donnée par Szocolay (2004) est comme suit :

$$T_{mrt} = T_g \times (1 + 2,35\sqrt{V}) - 2,35 \times T_a \sqrt{V} \quad (\text{Quand on a } V = 0 \text{ la } T_{mrt} = T_g)$$

Une autre formule issue de la méthode B décrite par Thorsson et al. (2007), en se basant sur des variables climatiques mesurées : (T_a , V_a et T_g):

$$T_{mrt} = [(T_g + 237)^4 + 2,5 \times 10^8 \times V_a^{0,6} \times (T_g - T_a)]^{1/4} - 237$$

Au cours des années, la climatologie urbaine a connu le développement de plusieurs logiciels de simulations permettent le calcul de T_{mrt} (Thorsson et al., 2007) :

- Rayman : qui calcule la T_{mrt} au-delà d'autres indices thermiques utiles à l'évaluation de confort thermique à l'échelle urbain.
- Envi-Met: qui modélise le microclimat inclut la T_{mrt} à la structure urbaine en se basant sur la modélisation tridimensionnelle du tissu urbain.
- TownScope : qui modélise la température moyenne radiante (T_{mrt}) que dans les tissus urbains simplifiés et non complexes.

La TMR peut être calculée aussi en fonction de la formule de Belding :

$$TMR = T_g + 0,24 V^{0,5} (T_g - T_a)^{3,7} \text{ où :}$$

- 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)

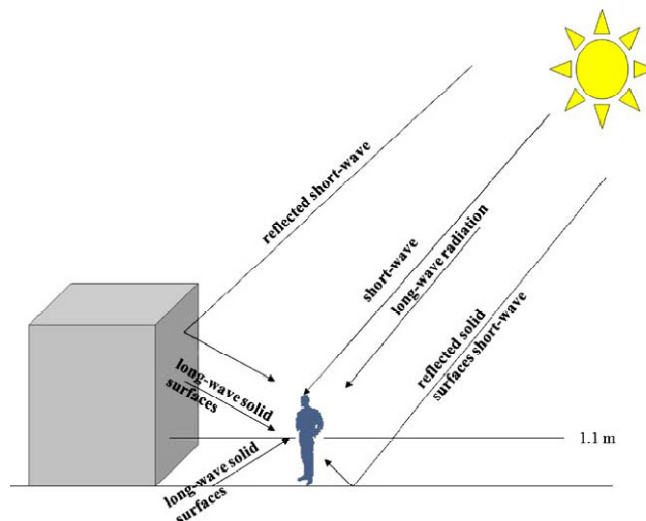


Figure II.3. Les flux radiatifs nécessaires au calcul de la température moyenne radiante.

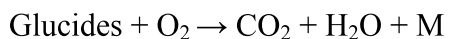
Source : Matzarakis et al. (2010)

Au-delà des paramètres microclimatiques nécessaires à l'estimation de T_{mrt} , préalablement cités, le facteur de vue du ciel (FVC), l'albédo et l'émissivité des matériaux de construction environnants représentent d'autres paramètres, ou plus précisément d'intrants, qui doivent être bien définis et saisis afin de simuler les flux de courte longueur d'onde et les flux à longues ondes distribués et reflétés de différents plans horizontaux (le sol) et verticaux (surfaces adjacentes), en considérant qu'une hauteur de 1,1 m (Figure II.3) comme le centre du corps humain dans lequel on doit retenir les valeurs du paramètre à calculer (Matzarakis et al., 2010).

I.2.2. paramètres personnels

I.2.2.1. Métabolisme et activité :

Pour maintenir ses fonctions vitales (circulation sanguine, mouvements respiratoires, production de travail...), le corps humain connaît des réactions chimiques en permanence, par la consommation de l'oxygène, la production de CO_2 et de l'eau H_2O et le dégagement de l'énergie sous forme de puissance thermique (M) appelée « le métabolisme énergétique » selon l'équation suivante (Missenard, 2011) :



Afin de se sentir confortable, le corps humain doit maintenir une température interne entre $36,5^\circ$ et 37° . Au cours du processus métabolique, le corps humain produit de la chaleur, cette dernière doit être perdue, afin de maintenir une température interne stable. Quelques processus sont continus (par exemple la respiration, la circulation sanguine, les coups de cœur), ils sont appelés des mécanismes de contrôle involontaires. D'autres comme l'activité, le taux d'habillement, la position et l'emplacement sont contrôlés et sont appelés des mécanismes de contrôle volontaires (Holger Koch-Nielsen, 2002).

Le corps humain émet fréquemment une chaleur métabolique. Au-delà, la taille de l'être humain et le taux d'activité, les caractéristiques de l'individu, telles que l'âge et le sexe, contribuent également à la détermination de la quantité de chaleur émise. Le tableau ci-dessous (Tableau II.4) indique la chaleur métabolique, en Watt et en met, selon différents degrés d'activités pour un adulte normal d'âge moyen (Grundström *et al.*, 2003).

Szockolay (2004) considère que le taux d'activité est le facteur clé qui affecte le processus métabolique. Ce facteur est défini en «met », retenu comme unité de mesure,

sachant que $1\text{met} = 58,2 \text{ W/m}^2$. Pour une personne moyenne, avoir 115W nécessite un environnement plus frais qui sera préférable afin de faciliter la dissipation de chaleur.

Tableau II.3. Chaleur métabolique selon différentes activités Source: ASHRAE (1997); Grundström et al. (2003).

Activités	Chaleur métabolique	
	W	met
Dormant	75	0,7
Au repos, assis	110	1,0
Au bureau	110-145	1,0 -1,4
Marche lente	135-180	1,3 - 1,7
Ménage	210-360	2,0 - 3,4
Marche rapide	270-395	2,6 – 3,8
Travaux manuels	425-505	4,0 – 4,8

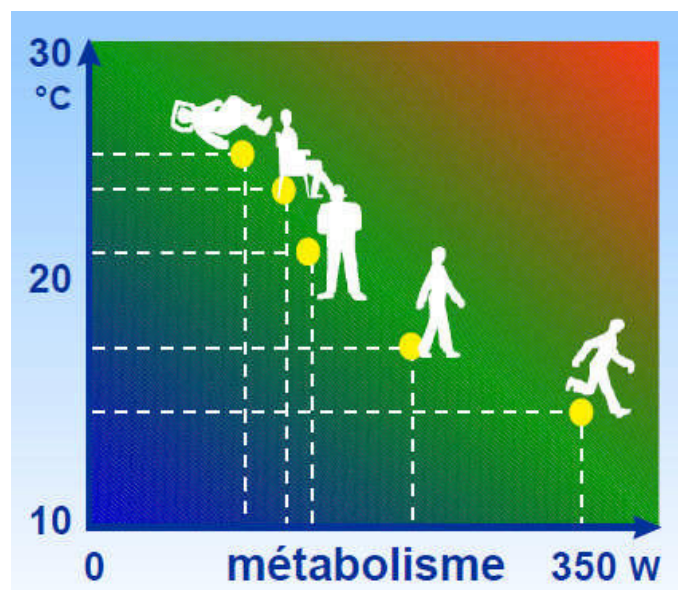


Figure II.4. Les températures de confort exigées pour différentes activités.

Source: Liébard (2005)

La figure II.4 rappelle les températures exigées pour atteindre l'état de confort en fonction de la production de chaleur métabolique déterminée par l'activité pour une personne portant une tenue d'intérieur d'hiver (pantalons, chemise, pull à manches longues,

des chaussettes épaisses et chaussures) avec une vitesse de l'air 0,4m/s et une humidité relative de 50%.

Fernandez et al. (2009) ont distingué trois niveaux de métabolisme énergétique :

- Métabolisme de base : qui assure la vie de l'être humain, ce niveau métabolique est de l'ordre de 75W, il convient à une personne standardisée (1,7 m, 70 kg, 1,8 m² de surface corporelle) couchée à jeun, car la digestion consomme l'énergie dans des conditions thermiques optimales.
- Métabolisme de repos : ce niveau métabolique est de l'ordre de 105 W, c'est la production de chaleur minimale dans des conditions pratiques de repos (ex : personne assise) par un individu ne résiste ni contre le chaud ni contre le froid.
- Métabolisme de travail : qui dépend de l'activité physique (voir tableau I.4) (Fernandez et al., 2009).

I.2.2.2. L'habillement :

Les gens à l'extérieur portent, généralement, des vêtements dont les caractéristiques dépendent des conditions climatiques dominantes et les variations saisonnières. Pour cela, il n'y a aucune norme applicable pour fixer des vêtements standards pour ces endroits particuliers (Givoni et al., 2003).

L'habillement est une sorte de couche isolante qui permet l'accroissement de la température du corps (Grundström et al., 2003). La perte de la chaleur du corps peut être réduite par l'habillement qu'on peut le classer selon sa valeur d'isolation. Cette dernière prend, généralement, le « Clo » comme unité de mesure, mais l'unité la plus technique c'est m²°C/W (1Clo=0,155 m²°C/W). Les valeurs de « Clo » typiques sont présentées dans le (Tableau II.4).

Tableau II.4. Valeurs Clo pour différents vêtements (y compris les chaussures).

Source: Grundström et al. (2003).

Vêtements	Isolation (Clo)
Short, chemise manche courte	0,4
Pantalon, chemise	0,6

Comme ci-dessus, plus veste	1,0
Costume laine, gilet, chemise à manches longues	1,5
Jupe /robe, chemisier, collant	0,5 -0,7
Comme ci-dessus, plus pull de laine à manches longues	1,1
Vêtement chaud plus manteau en laine	2,0 – 2,5

I.2.2.3. Facteurs contributeurs :

- Les aliments et les boissons aussi peuvent avoir une influence sur le taux métabolique, ils ont un effet indirect sur les préférences thermiques. La forme de corps est significative dans la production de chaleur. Cette dernière est proportionnelle à la masse corporelle, car la dissipation de chaleur dépend de la superficie de corps.
- La forme du corps : Une personne grande et maigre a, pratiquement, un plus grand ratio superficie / volume, ce qui permet la dissipation de la chaleur aisément, ça peut engendrer des températures plus chaudes en comparaison avec une personne de forme ronde. Cet effet est augmenté du fait que la graisse sous-cutanée est un très bon isolant et baissera les températures.
- Le sexe : la comparaison du comportement thermique des deux sexes révèle que les femelles préfèrent environ 1K des températures plus chaudes que les mâles, mais récemment cette différence a été attribuée à la différence du taux d'habillement.
- L'âge n'entraîne pas beaucoup de différence dans la température préférée, mais à cause de la détérioration de leurs mécanismes d'ajustement, les personnes âgées ont moins de tolérance des écarts par rapport à l'état optimal.

I.3. Les conditions de confort :

Selon Fernandez et al. (2009), le confort thermique dépend de deux conditions :

I.3.1. Équilibre entre le métabolisme énergétique et les pertes thermiques du corps :

Pour garantir la sensation du confort, le métabolisme énergétique M doit être équilibré avec les pertes thermiques, en négligeant le travail mécanique faible, selon la relation suivante :

$$M = c + R + C + E_p + E_i + e$$

Avec :

- M : métabolisme énergétique du corps humain (W) ;
- c : échange de chaleur du corps humain par conduction (W) ;
- R : échange de chaleur du corps humain par rayonnement (W) ;
- C : échange de chaleur du corps humain par convection (W) ;
- E_p : perte du corps humain par évaporation pulmonaire (W) ;
- E_i : perte du corps humain par perspiration insensible (W) ;
- e : perte du corps humain par évaporation requise (W).

Sachant que :

- C, R et c peuvent être négatifs ;
- E_p et E_i sont toujours positifs ;
- e est toujours positif, mais peut-être nul (Fernandez et al., 2009).

I.3.2. La température cutanée :

Le bilan thermique doit garantir une température cutanée située entre 33 et 34°C comme condition de confort (Fernandez et al., 2009).

I.4. La thermorégulation du corps humain :

Le corps humain perçoit l'ambiance thermique globalement, en prenant en considération tous les paramètres climatiques, car il ne possède pas des récepteurs distincts pour isoler la perception de chaque paramètre indépendamment. Deux types de récepteurs sont responsables de cette perception globale :

- Les thermorécepteurs cutanés : situés au niveau de la peau, ils évaluent la température et envoient les informations à l'hypothalamus.
- Les thermorécepteurs centraux : situés dans l'hypothalamus, ils reçoivent les informations qui pressent le corps de formuler une réponse physiologique traduite par

l'intensité du flux sanguin ou le changement de la température de la peau, afin de maintenir la température constante du noyau central (Musy, 2014).

D'après Missenard (2011), la thermorégulation consiste à maintenir la température interne du corps constante par des mécanismes physiologiques permettant une variation de la production de chaleur et de la transmission calorifique. Le système endocrinien, en particulier « la thyroïde » est le responsable de cette opération, ainsi que, l'hypothalamus. Durant ce processus, l'organisme dispose, pour être renseigné sur la température interne et la température de la peau, de thermorécepteurs situés au niveau de la peau, ils sont sensibles au chaud et comme au froid, ces thermorécepteurs sont des éléments nerveux dont la stimulation thermique provoque un signal vers d'autres récepteurs situés dans le système nerveux, plus précisément dans l'hypothalamus qui constitue le siège de divers mécanismes régulateurs qui réagissent selon la température détectée (Missenard, 2011).

I.4.1. Les différents phénomènes de thermorégulation :

D'après Fernandez et al. (2009), l'organisme provoque des réactions physiologiques régulatrices (Figure II.5), à titre d'exemple, quand il s'expose à une ambiance thermique trop froide combinée avec une insuffisance de vêture, il provoque ce qu'on appelle la « chair de poule » ainsi que des frissons, des tremblements et, dans l'état critique, la réduction de la circulation sanguine vers les extrémités considérées comme non vitales par les mécanismes de l'organisme. Aussi, on considère comme réaction physiologique régulatrice: la dilatation des vaisseaux sanguins durant un exercice physique permet la transmission de la chaleur à travers la circulation sanguine vers les couches superficielles du corps (Tableau II.5) (Fernandez et al., 2009).

Tableau II.5.les différents phénomènes de thermorégulation.

Source: Missenard (2011)

Chronologie d'enclenchement		↓	↓
	Ambiance froide	Ambiance chaude	
		Régulation cardiaque (débit sanguin)	
		Vasoconstriction	Vasodilatation
	Activité musculaire (Frisson)	Sudation	

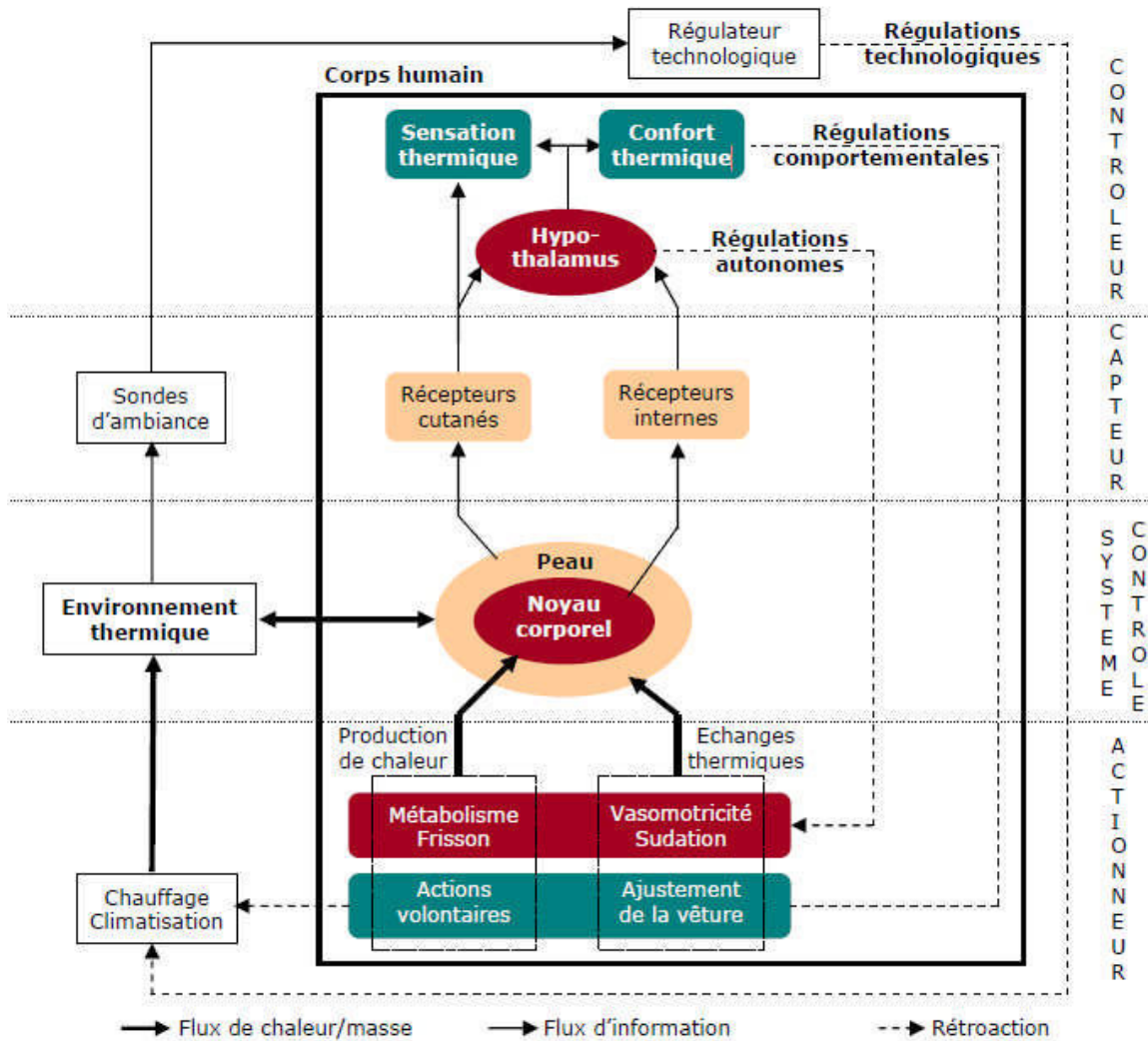


Figure II.5. Principe de la thermorégulation végétative, comportementale et technologique
Source: Moujalled (2007)

I.4.2.L'échange thermique entre le corps humain et son environnement:

L'échange de la chaleur continu entre le corps humain et son environnement est le résultat de l'essai du corps de maintenir son métabolisme, cet échange s'effectue de quatre façons (Figure II.6) : la conduction, la convection, le rayonnement et l'évaporation (Holger Koch-Nielsen, 2002).

I.4.2.1. La conduction :

La conduction dépend fortement de la conductivité thermique des matériaux en contact direct avec la peau. Ce processus contribue au rafraîchissement local ou au chauffage des parties particulières du corps quand elles sont en contact direct avec des surfaces froides ou chaudes, respectivement.

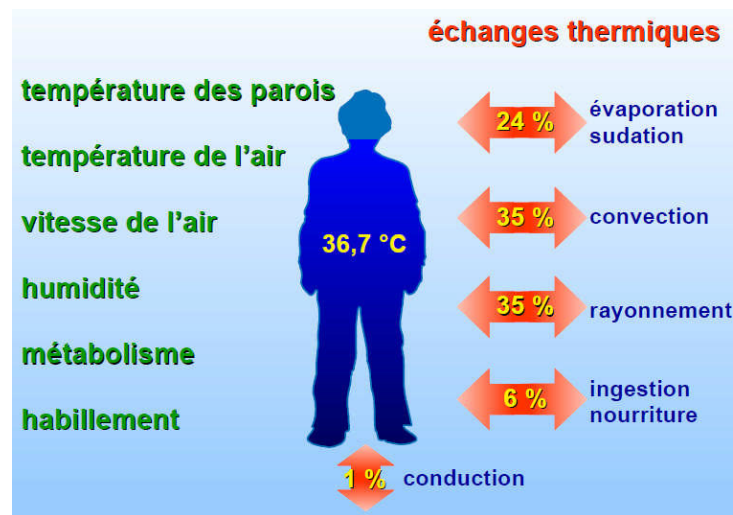


Figure II.6. Les différents modes d'échanges thermiques.
Source: Liébard (2005)

I.4.2.2. La convection :

L'échange thermique entre le corps et l'air environnant, elle varie en fonction de la température de la peau, la température de l'air et la vitesse de l'air.

I.4.2.3. Le rayonnement :

S'effectue entre le corps et les surfaces internes environnantes (murs, plafond, sol). Ce mode d'échange est influencé légèrement par la température de l'air, l'humidité et la vitesse de l'air, mais il dépend fortement de la différence entre la température de la peau de l'individu et celle des surfaces qui l'entourent.

I.4.2.4. L'évaporation :

L'évaporation d'un liquide nécessite de la chaleur latente d'évaporation. Il s'agit d'une sorte de convection très efficace, car cette dernière est très élevée. Les échanges par évaporation s'effectuent à deux niveaux : les voies respiratoires et la peau (Lavigne, 1994).

II. La notion de confort thermique dans l'espace extérieur urbain :

En raison de la multiplicité des paramètres qui interagissent et influencent le confort de l'individu résultant de l'ambiance thermique, cette notion est considérée comme complexe et globale. Son évaluation nécessite la prise en compte des facteurs objectifs ainsi que subjectifs. Au-delà des conditions microclimatiques qui déterminent l'ambiance thermique, il existe certains facteurs physiologiques et psychologiques qui jouent un rôle assez important sur le confort des individus à l'extérieur. En outre, l'évaluation de la

sensation thermique et la description des conditions de confort extérieur sont basées non seulement sur l'approche quantitative, mais également sur l'adaptabilité psychologique, afin d'aboutir à la planification urbaine la plus performante (Grundström et al., 2003).

Le taux d'utilisation des espaces extérieurs (rues, parcs, places...) et les activités qui s'y déroulent sont affectés essentiellement par les conditions du confort thermique dominantes (Givoni et al., 2003). Le niveau d'inconfort perçu par les individus lorsqu'ils sont exposés aux conditions climatiques dans ces espaces extérieurs affecte, en premier lieu, l'intensité des activités. (Ouameur, 2007) et (Boussoualim, 2002).

Dans ce contexte, plusieurs études Nikolopoulou et Lykoudis (2003), (Sthathopoulos et al., 2004) montrent que les conditions climatiques ont un effet considérable sur le comportement des gens en espaces publics et sur l'usage de ces espaces.

À l'extérieur, les personnes reçoivent une gamme plus étendue de rayonnements de grandes et de courtes longueurs d'onde, ils ont rencontré les phénomènes d'asymétrie de rayonnement considéré comme inconfortable à l'intérieur comme le cas d'un système de chauffage rayonnant. Par contre à l'extérieur, où les individus s'exposent volontairement et apprécient le rayonnement solaire direct, en hiver (Musy, 2014).

Selon les conditions météorologiques, chaque paramètre climatique ayant un certain niveau d'importance à la variation de la sensation du confort thermique, la température de l'air prime sur la température moyenne radiante, quant à l'évaluation du confort thermique, si la vitesse du vent est importante, puisque le vent accélère les échanges thermiques par convection. Par contre, dans le cas de vents faibles ou en absence de vent, la température radiante moyenne a une importance égale à celle de la température de l'air (Hoppe, 1999).

III. Les différents modes d'adaptation :

L'adaptation est définie en tant que diminution progressive de la réponse de l'organisme à une exposition répétée à un stimulus. Dans le contexte du confort thermique, ceci peut comporter tous les processus d'amélioration que l'individu fait intervenir pour s'ajuster à ses conditions environnementales (Maatallah, 2015).

Selon Nikolopoulou et al. (2003, 2004), le confort thermique extérieur est non seulement influencé par la réponse physiologique aux variables microclimatiques, mais

également par l'adaptation psychologique et culturelle. L'opportunité d'adaptation peut être divisée en trois catégories : physique, physiologique et psychologique.

III.1. L'adaptation physique :

Implique tous les changements que l'individu accomplit pour s'adapter à son environnement, ce qui nous a permis de distinguer deux modes d'adaptation physique : l'adaptation réactive qui concerne la modification du taux d'habillement, le changement de l'activité physique et de son intensité, la position, la chaleur métabolique et l'adaptation interactive relative à la modification de l'environnement, en ouvrant par exemple un parasol, une fenêtre, ou en allumant un ventilateur. L'adaptation physique peut être évaluée quantitativement à travers un modèle numérique (Musy, 2014).

III.2. L'adaptation physiologique :

Appelée également : « acclimatation ». L'évolution des réponses physiologiques produites par le corps humain au stimulus répétitif de l'environnement, au cours du temps (Musy, 2014). Autrement défini comme : l'ensemble des réponses du corps qui cherche à diminuer le stress lié à l'exposition des conditions thermiques extrêmes inconfortables, ce qui conduit l'organisme à mettre en place des mécanismes d'adaptation induisant le phénomène d'acclimatation (Boukhelkhal, 2013).

Ce dernier a distingué deux types d'acclimatation : au froid et au chaud :

Acclimatation au froid : on distingue plusieurs types d'adaptation au froid :

- Acclimatation métabolique : augmentation du taux métabolique de la température de peau, réduction du frisson-associée à une légère chute de métabolisme : ce type d'adaptation implique que l'énergie ingérable soit disponible.
- Acclimatation hypothermique : niveau un peu élevé du métabolisme, maintien de la température de peau, baisse non négligeable de la température de noyau.
- Acclimatation insulative hypothermique : absence de frisson, peu de variation du métabolisme et baisse de toutes les températures corporelles.

Acclimatation au chaud :

L'exposition répétitive aux conditions défavorables conduit à la réduction des élévations des températures corporelles observées initialement, cet effet résulte de

l'augmentation d'excitabilité du système régulateur, par la diminution de la valeur du point de consigne hypothalamique. Le débit sudoral est le phénomène le plus important dans ce système régulateur, il en résulte globalement une augmentation des pertes en eau et en sel. Le phénomène d'économie d'eau, appelé « HIDROMEIOSE » et qui correspond à une réduction de la sueur ruisselante dans les ambiances humides, voit son intensité augmenter. L'ensemble de ces réactions permet la réduction de la vasodilatation.

III.3. L'adaptation psychologique :

La perception de l'ambiance climatique diffère d'un individu à l'autre et la réponse du corps humain aux conditions physiques ne dépend pas seulement leur ampleur, mais également de l'information reçue de la situation climatique. Les attentes de l'individu par rapport à l'ambiance climatique, l'expérience (appelée également l'historique thermique), la stimulation environnementale, les possibilités de contrôle, le temps d'exposition, sont les facteurs psychologiques qui affectent également la perception thermique d'un individu dans son environnement thermique (Musy, 2014).

Ces facteurs non mesurables ne peuvent pas être évalués à travers une approche quantitative et il est souvent fait appel aux techniques d'enquête (questionnaire et observation) pour terminer l'opération (Ouameur, 2007).

Il n'y a aucune différence significative dans la sensation thermique des individus qui vivent d'habitude dans un climat très froid, chaud ou tempéré quand ils sont exposés au même environnement thermique. Mais en réalité, on touche la différence dans les températures neutres dans lesquelles les individus se sentent à l'aise, cette différence n'est pas attribuée aux variations des caractéristiques physiologiques, mais aux différences d'espérance (Butera, 1998).

La figure II.7 exprime un modèle schématique d'adaptation thermique proposé par Butera (1998), d'après lequel, les gens s'adaptent en changeant les paramètres physiques, leur physiologie (habillement et activité) ou leurs espérances comme changement du paramètre psychologique.

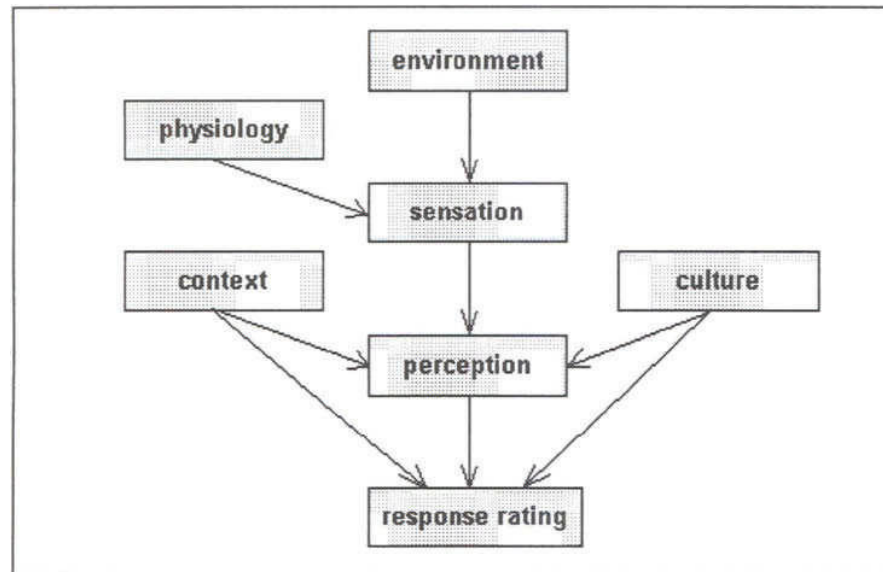


Figure II.7. Le modèle d'adaptation thermique. Source: Butera (1998)

IV. Les indices du confort thermique :

Le confort thermique est défini par la société ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers INC) 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 adoptant des valeurs dites : « les indices thermiques intégrés » qui prennent en considération les paramètres microclimatiques ambiants (T_a , T_{mrt} , V_a , HR), la dépense énergétique (dépense métabolique MET) relative à l'activité professionnelle, ainsi que le taux d'habillement (isolation thermique CLO).

Selon Kitous (2012), « *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).

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 (Tableau II.6) :

- Des indices « empiriques » : dérivés par un processus expérimental basé sur le calcul de la sensation thermique en mesurant les variables microclimatiques : température d'air, rayonnement solaire, humidité et vitesse de vent. Ces indices sont connus par l'exactitude de la prédiction du confort thermique, mais ont l'inconvénient d'être restreints au type d'environnement et de climat à examiner. Parmi ces indices, nous citons la température effective (ET), la température résultante (TR) et la température de bulbe humide (TBH).
- Des indices rationnels ou physiologiques : ces indices sont basés sur l'équation du bilan énergétique du corps humain. L'application de ces modèles d'équilibre énergétique permet le calcul de la perception thermique moyenne d'un groupe de personnes pratiquant certaines activités dans certains endroits, basée sur la disponibilité des données climatiques.

Tableau II.6. Les indices de confort thermique pour les environnements intérieurs et extérieurs.

Source : Kitous (2012)

Indice	Définition
Indices empiriques	
ET : Température effective	Établi dans les monogrammes et représente la sensation thermique instantanée estimée expérimentalement à une combinaison de Ta, RH et V.
RT : Température résultante	Comparable à ET, mais testé pour un temps plus long afin d'atteindre l'équilibre thermique.
HOP : Température opérative humide	Température d'un environnement uniforme à une humidité relative RH=100% dans laquelle une personne perd la même quantité totale de chaleur de la peau comme d'un environnement réel (comparable à ET*, mais RH vaut 50% pour HOP).
OP :	Moyenne arithmétique de Ta et Tmrt qui inclues flux

Température opérative	thermiques radiatifs et solaires mesurés par des coefficients d'échange.
WCI : Indice de refroidissement du vent	Basé sur le taux de perte de chaleur de la peau exposée cause par le vent et le froid et est en fonction de T_a et V approprié pour les conditions d'hiver.
Indices rationnels	
ICT : Indice de contrainte thermique	Considère que la plage de conditions où il est possible de maintenir l'équilibre thermique, la transpiration est secrétée à un taux suffisant pour atteindre le refroidissement évaporatif.
ICC : Indice de contrainte de chaleur	Rapport de chaleur totale évaporative requise à l'équilibre thermique à la perte de chaleur évaporative maximale E_{mx} possible pour l'environnement, pour des conditions de régime stable, ($S_{peau}=S_{corp}=0$) et $T_{peau}=35^{\circ}C$ constante.
ET* : Nouvelle température effective	Température de l'environnement standard ($RH=50\%$, $T_a=T_{mrt}$, $V<0,15$ m/s) dans laquelle le sujet pourrait éprouver la même sudation SW et T_{peau} que dans un environnement réel. Il est calculé pour de faibles activités et une vêtue légère.
SET* : Température effective standard	Similaire à ET*, mais avec des vêtements variables. La vêtue est standardisée pour l'activité concernée.
OUT_SET* Température effective standard extérieure	Similaire à SET*, mais adaptée à l'extérieur par la prise en compte des flux du rayonnement solaire. Conditions intérieures de référence : $T_{mrt}=T_a$; $RH=50\%$; $V=0,15$ m/s.
PMV et PT : Vote moyen prédit Température perçue	Le PMV exprime la variance sur une échelle de -3 à +3 du bilan thermique de l'homme et PT la température d'un environnement standardisé qui atteint le même PMV que l'environnement réel. La vêtue et l'activité sont variables.
PET Température physiologique équivalente	La température à laquelle, dans un établissement intérieur type $T_{mrt}=T_a$; $VP=12hPa$; $V_a=0,1$ m/s, le bilan thermique du corps humain (vêtue légère, 0,9 clo) est maintenu avec une température de corps et de peau égale à celle sous des conditions réelles, unité $^{\circ}C$.
WBGT :	

Indice de température globe de bulbe humide
--

Plusieurs indices thermiques basés sur la balance énergétique du corps humain ont été appelés afin de décrire l'environnement thermique qui l'entoure et quantifier le confort thermique en utilisant les paramètres météorologiques suivants : la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse du vent et le rayonnement de courtes et de longues ondes, ces indices ont été classifiés par Scudo (2002) d'après Latini et al. (2010) en 04 groupes :

- Indices thermiques empiriques qui exigent quelques paramètres climatiques et applicables aux climats spécifiques tels que : "the wind chill Index" et l'indice de l'inconfort (Discomfort index).
- Indices climatiques psychosociologiques définir la perception subjective vis-à-vis des variables microclimatiques parmi lesquelles: "Actual sensation vote" (ASV), l'indice de satisfaction et l'indice de confort.
- Indices appuyant sur le modèle à deux nœuds et sur l'équation du bilan énergétique du corps humain en se basant sur tous les paramètres climatiques pour définir la température moyenne radiante indispensable au calcul de l'indice PET (Hoppe 1999).
- Indices s'appuyant sur l'équation du bilan énergétique du corps humain, établie selon le modèle d'un seul nœud tel que : la température perçue (PT), PMV* modifiée, COMFORT FORMULA (COMFA+) (Latini et al., 2010).

IV.1. Les indices développés pour définir le confort intérieur dans un premier temps:

IV.1. 1. La température résultante :

Autrement appelé « la température opérative », cet indice a été développé par Missenard en France, son développement a été motivé par l'hypothèse qu'une base plus solide d'indices thermiques pourrait être constituée par des expériences visant à maintenir l'équilibre thermique entre le corps humain et l'ambiance environnante, cela dépend des effets de l'humidité et du vent où ces conditions restent à déterminer, avec la nécessité d'une durée d'exposition plus longue que celle utilisée pour la détermination de la température effective (Givoni, 1978).

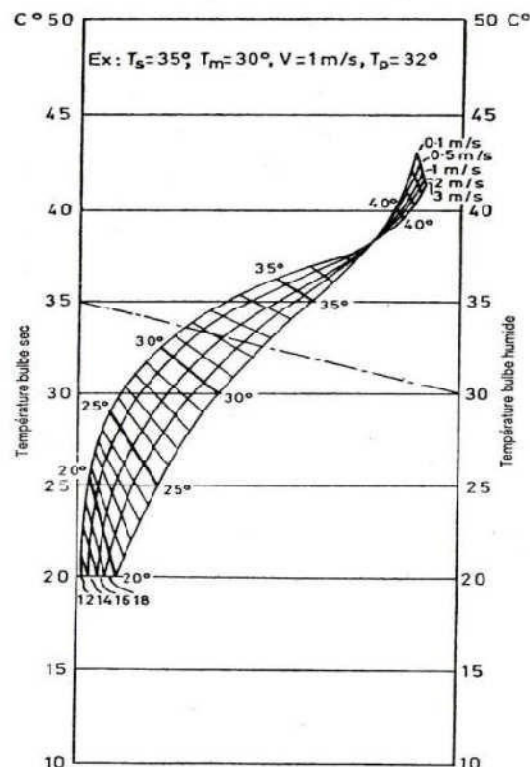


Figure II.8. Diagramme de l'indice de la température résultante (RT)

Source : Givoni (1978)

Les intervalles des facteurs climatiques intervenants couverts par la température résultante sont définis par Givoni (1978) comme suit :

- T air : 20 à 45°C.
- Température au bulbe humide : 18 à 40°C.
- Vitesse de vent : air calme jusqu'à 3 m/s.

En supposant que la température de l'air est égale à celle des parois, cet indice intègre également l'hygrométrie définie, dans ce cas, par la température humide, ainsi que la vitesse de l'air et le métabolisme du corps humain et son habillement (Figure II.8).

La température résultante est définie comme la température d'une ambiance saturée d'humidité et en air calme qui procure la même sensation que celle étudiée dans le cadre explicite d'une équivalence de passage ou de séjour. La température résultante sèche correspond à la température d'une ambiance dans laquelle les pertes par rayonnements et

par convections du corps humain sont similaires à celles dans l'ambiance étudiée (Vinet, 2000).

En air calme, c'est-à-dire $V < 0.2$ m/s et lorsque $|T_{mrt} - T_{air}| \leq 4$ K :

$$T_{rs} = \frac{T_{mrt} + T_a}{2}$$

Lorsque l'air s'écoule à une vitesse V , d'au moins 0.1 m/s, l'expression devient :

$$T_{rs} = \frac{T_{mrt} + T_a \cdot \sqrt{10} \cdot U}{1 \cdot \sqrt{10} \cdot U}$$

IV.1. 2. La température effective (ET) et ses dérivés (température effective standard « SET »):

D'après Givoni (1978), la température effective a été inventée par Houghton, Yaglou et Miller en 1923-1925 au laboratoire de recherche de l'« American Society of Heating and Air Conditioning Engineers », cet indice combine la température, l'humidité et la vitesse de l'air. L'impression thermique instantanée, éprouvée par le sujet dès son exposition à une ambiance donnée, est le critère de la réaction humaine retenu pour la détermination de cet indice (Givoni, 1978).

Deux échelles ont été développées, pour des sujets demi-nus et pour des sujets habillés de vêtements d'été. La réaction humaine retenue comme critère déterminant des effets de ces facteurs était l'impression thermique instantanée éprouvée par le sujet dès son introduction dans une ambiance donnée. Pour cela, deux abaques ont été développés : celui pour des sujets demi-nus, et l'autre des sujets portant des vêtements d'intérieur ordinaires.

Au début de son évolution, l'indice de Température Effective ne prend pas en compte les effets du rayonnement, il est néanmoins possible de substituer la température prise au thermomètre à globe à la température de l'air. (Givoni, 1978)

La température standard effective est définie comme la température d'un environnement isotherme avec : $T_s = T_a$; $HR = 50\%$; $V_a = 0,12$ m/s (calme). Dans cet environnement une personne ayant une isolation de vêtement standard subit les mêmes pertes de chaleur et possède la même température moyenne de peau (t_{sk}) et le même débit sudoral en comparaison avec l'environnement réel en portant des vêtements pas nécessairement standards. Le niveau d'activité est constant dans la situation réelle et dans

la situation standard, et l'isolation standard des vêtements dépendent du niveau d'activité. Lorsque l'atteinte de l'équilibre rapide n'est pas effectuée, il est usuel d'envisager l'état après une heure d'exposition (Vinet, 2000).

L'estimation du SET exige deux étapes à suivre :

- La première cherche à trouver la température de la peau et le taux de sudation de l'individu à partir du modèle de thermorégulation à deux nœuds (Gagge et al., 1986).
- La deuxième étape consiste à trouver la température d'un environnement standard qui génère les mêmes valeurs de température et de sudation en réponse à l'analyse des transferts de chaleur du corps.

Le niveau d'activité, les caractéristiques d'isolation des vêtements et les variables physiques de l'environnement sont les facteurs en fonction desquelles l'indice SET se détermine. Ce dernier est intimement lié à la sensation et non à la température de l'air, comme le révèle le (Tableau II.7):

Tableau II.7. La corrélation entre SET, sensation et état physiologique. Source : Vinet (2000) d'après McIntyre (1980).

SET (°C)	Sensation	État physiologique d'un individu sédentaire
> 37,5	Très chaud, inconfortable	Défaillance de la régulation
34,5 – 37,5	Chaud, très inacceptable	Sueur abondante
30,0 – 34,5	Chaud, inconfortable, inacceptable	Sueur
25,6 – 30,0	Légèrement chaud, légèrement inacceptable	Sueur faible
22,2 – 25,6	Confortable et acceptable	Neutralité
17,5 – 22,2	Légèrement frais, légèrement inacceptable	Vasoconstriction
14,5 – 17,5	Frais et inacceptable	Refroidissement lent du corps
10,0 – 14,5	Froid et très inacceptable	Frisson

IV.1. 3. L'indice DISC :

Autrement dit « l'indice de l'inconfort », c'est un des indices de stress thermique qui s'appuient essentiellement, dans l'évaluation des conditions du confort, sur la mouillure

cutanée (ω) et sur le taux de la sudation, facteurs physiologiques. Cet indice est souvent appliqué dans les climats chauds et humides (Vinet,2000).

Il est défini selon Vinet,2000 d'après Gagge et al. 1986 par la formule suivante :

$$DISC = \omega - \omega_0 / \omega_{crit} - \omega_0$$

Tableau II.8. La relation entre le de débit sudoral, la mouillure cutanée et le confort. Source: Vinet (2000) d'après Sangkertadi (1994)

Mouillure cutanée	25%	4	4	4	4
	15%	3	3	3	4
	6%	2	2	2	4
	0	1	2	3	4
	0	50	100	250	
	Débit sudoral (g/h)				

Sur une échelle allant de 0 à 5, l'indice de l'inconfort se mesure en fonction des variations de la mouillure cutanée et du débit sudoral (activité et type de vêtement non précisés) :

- 0 convient à la neutralité et correspond à une mouillure $\omega=0$ et celane s'effectue qu'au repos et augmente en fonction de la chaleur métabolique.
- 5 quand la mouillure atteint le point critique (ω_{crit}) au-delà duquel les mécanismes de thermorégulation cessent d'être efficaces. Gagge propose $\omega_{crit} = 85 \%$.
- 1= zone de confort, 2=agréble, 3= désagréable , 4=très désagréable . (Vinet,2000)

À partir de (Tableau II.8), l'individu atteint l'état très désagréable quand il a un débit sudoral au-delà de 250 g/h et/ou sa mouillure cutanée dépasse 25%. On considérant que 75 % est la limite critique d'inconfort.

IV.1. 4. Vote moyen prévisible (PMV):

L'indice PMV de Franger a été développé dans les années 1970, il combine quatre variables physiques (la température de l'air, la vitesse de l'air, la température moyenne radiante et l'humidité relative) et deux paramètres relatifs aux caractéristiques des personnes (l'habillement et le taux des activités). Le PMV représente la sensation

thermique moyenne ressentie par les personnes dans un espace, selon l'échelle de la sensation thermique ASHRAE (Charles, 2003). Le PMV (Vote Moyen Prévisible) s'appuie particulièrement sur l'influence des variables physiques et physiologiques sur le confort thermique, il est inventé en dérivant l'équation du bilan thermique où le résultat est interprété sur une échelle de bien-être psychophysique de 7 points de l'ASHRAE allant de « -3 » (froid) à « +3 » (chaud), où le « 0 » représente la sensation thermique neutre. Il exprime l'impression moyenne des individus, retenus comme un échantillon de sujets exposés aux mêmes conditions environnementales, vis-à-vis des sensations thermiques.

Une valeur du $PMV=0$ ne signifie pas que tous les participants sont satisfaits vis-à-vis du niveau de la température ressentie, même s'ils ont les mêmes caractéristiques personnelles en ce qui concerne le taux d'habillement et le niveau d'activité. Donc, la perception du confort thermique diffère d'un individu à un autre.

Comme son nom indique, l'indice PPD prédit la valeur moyenne des cotes subjectives d'un groupe de personnes dans un environnement donné, il est utilisé pour la prédiction du nombre des personnes insatisfaites vis-à-vis de l'environnement thermique. Les participants dont les votes -3, -2, +2, +3 sur l'échelle du PMV sont considérés comme insatisfaites thermiquement selon l'indice thermique PPD (<http://www.innova.dk>).

La figure ci-après (Figure II.9) permet d'exprimer la relation entre le PMV et le PPD, à noter que la courbe ne descend jamais en dessous de 5% d'insatisfaites. Si par exemple le PMV est de -1 ou +1, l'indice PPD correspond à 25% des individus classifiés comme des sujets insatisfaites. En outre, pour une valeur minimale de PPD par exemple de 10%, le PMV doit se situer entre -0,5 et +0,5. En revanche, on voit que pour une valeur 0 de l'indice PMV correspond à 4% d'insatisfaites et présente un état de confort thermique optimal.

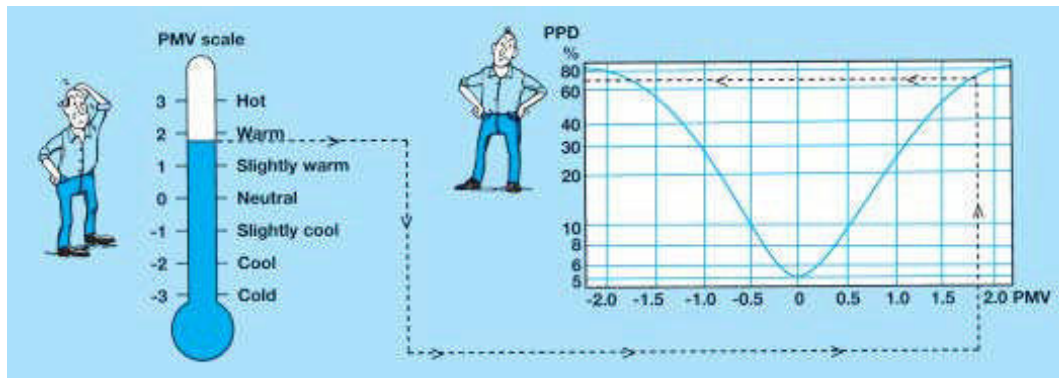


Figure II.9. la corrélation entre PMV et PPD.

Source: <http://www.innova.dk>

D'après Boutabba (2007), le PMV est exprimé par l'équation suivante :

$$PMV = (0.303 e^{-0.036M_{th}} + 0.028) \times [(M - W) - H - E_c - C_{res} - E_{res}]$$

En sachant que:

M : taux métabolique ; **W** : travail mécanique efficace ; **H** : Pertes de chaleur sèche de la surface du corps par conduction, convection et radiation ; **E_c** : Echanges de chaleur au niveau de la peau par évaporation ; **C_{res}** : Echanges de chaleur au niveau des voies respiratoires par convection ; **E_{res}** : Echanges de chaleur au niveau des voies respiratoires par évaporation.

L'invention du PMV selon le modèle Fanger est effectuée en se basant sur la thermorégulation du bilan énergétique du corps humain. Ce dernier crée des réactions physiologiques telles que : la transpiration, le frissonnement, le flux sanguin régulateur vers la peau, etc. afin de maintenir l'équilibre entre la chaleur produite par le métabolisme et la chaleur perdue du corps (Charles, 2003).

Cet indice est souvent utilisé en thermique du bâtiment, et signalé par la norme ISO 7730-93 adoptée en 1984 et révisée en 1993 puis en 2005 qui s'intitule « Ambiances thermiques modérées – Détermination des indices PMV et PPD et spécification des conditions de confort thermique » issue des travaux de Fanger en 1970.

Selon Vinet (2000) cet indice est souvent critiqué par Hofmann (1994), parmi ces critiques on peut citer :

- Un point de vote sur l'échelle à 7 points correspond à 3.3 °C environ en condition d'été, ce qui signifie que l'on est censé être encore satisfait si l'on se trouve dans une ambiance à 3 ou 4 °C de la température optimale.
- La ventilation intérieure, l'absorption et la transmission de l'humidité sont négligées, ce qui rend la représentation du vêtement par les clo très schématique.
- Les variations interpersonnelles sont sans doute sous-estimées.
- Dans la zone chaude, l'hygrométrie affecte insuffisamment les valeurs du PMV qui ne permet pas d'évaluer les sensations que l'on peut observer de façon satisfaisante. Les pertes par sudation sont évaluées en fonction du seul métabolisme, l'hygrométrie ambiante n'intervenant pas du tout dans ce terme (Vinet, 2000).

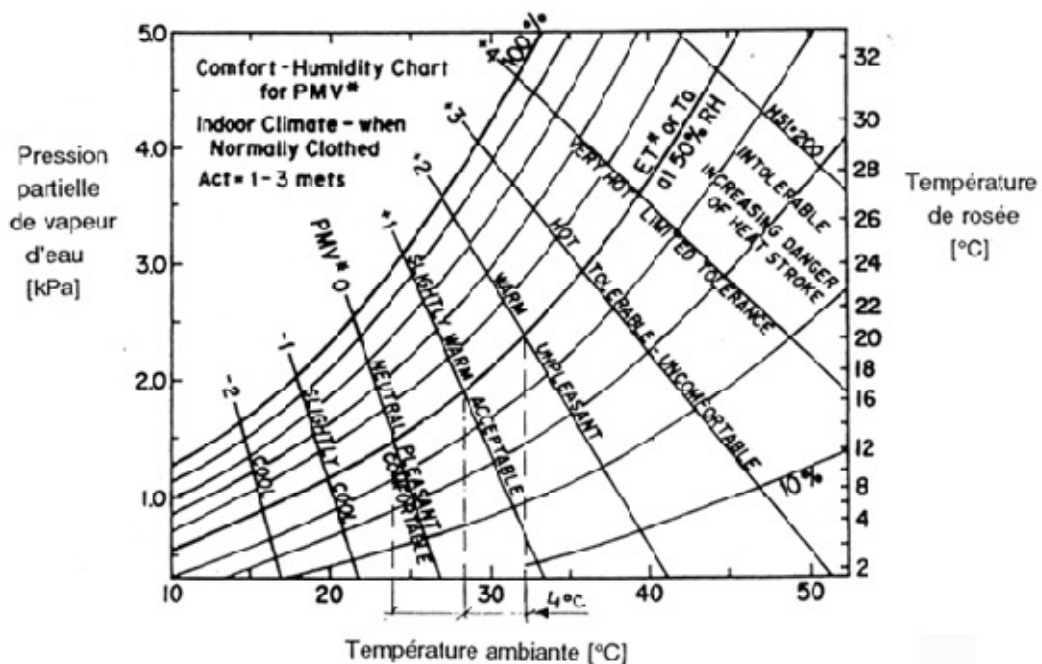


Figure II.10. Diagramme de confort relatif au PMV*

Source : Vinet (2000) d'après Hofmann (1994)

Et afin d'optimiser l'estimation de PMV, Gagge (1986) réintroduit l'hygrométrie dans le calcul du PMV et remplace la température résultante sèche par la température Effective (ET*) pour définir le PMV* qui a une sensibilité plus importante à l'humidité dans la zone chaude, tout en laissant la même valeur dans la zone de neutralité et dans la zone froide (Gagge et al., 1986). Ce qui fait que cet indice modifié représente mieux la

sensation de confort, tandis que le PMV de Fanger traduit mieux la sensation thermique pure.

Il est à signaler que le calcul de PMV mathématiquement est assez complexe, pour cela, Fanger a fourni des tables de consultation et des représentations graphiques pour faciliter la détermination des conditions thermiques (Figure II.10). De nombreux outils informatiques ont été développés, également, pour calculer le PMV.

D'après Charles(2003), un autre indice naît du PMV développé par Franger (1970): c'est le PPD (Pourcentage Prévisible d'Insatisfaits) qui prédit et quantifie les sujets «insatisfaits» de manière générale sous forme de pourcentage, vis-à-vis de l'environnement thermique et les conditions microclimatiques déterminées par la norme ISO 7730 qui recommande l'exposition des sujets pour l'estimation de PMV aux conditions suivantes :

- Dépense énergétique = 1 - 4 met
- Résistance thermique par l'habillement = 0 - 2 clo
- Température du bulbe sec = 10 - 30°C
- Température moyenne radiante = 10 - 40°C
- Vitesse de l'air = 0 - 1 m/sec
- Pression de vapeur = 0 - 2,7 KPa

Selon Vinet (2000), le pourcentage prévisible d'insatisfaits (PPD : Predicted Percentage of Dissatisfied) est basé sur une formule d'analyse statistique dérivée. En considérant les personnes qui votent ± 2 ou ± 3 sur l'échelle de 7 points de l'ASHRAE comme insatisfaites (Tableau II.9).

Le PPD est estimé selon la formule suivante :

$$PPD=100-e^{-(0,03353PMV^4 + 0,2179PMV^2)} \text{ (Vinet, 2000).}$$

Tableau II.9.Échelle d'évaluation de l'environnement thermique.

Source : Joséet al. (2011)

PMV	PPD %	Évaluation de l'environnement thermique
+3	100	Très chaud

+2	75,7	Chaud
+1	26,4	Légèrement chaud
+0,85	20	Environnement thermique acceptable
-0,5 < PMV < +0,5	< 10	Confort thermique
-0,85	20	Environnement thermique acceptable
-1	26,8	Frais
-2	76,4	Froid
-3	100	Très froid

IV.2. Les indices développés pour définir le confort extérieur:

IV.2. 1. L'indice de la contrainte thermique (ITS) :

Ce modèle biophysique décrit les mécanismes de transfert de chaleur entre le corps et son environnement, à partir desquels on peut calculer la contrainte thermique totale s'exerçant sur le corps (métabolisme + ambiance) (Givoni, 1978). Après l'introduction du rayonnement solaire comme facteur influençant, ICT a été étendu à l'usage extérieur après son utilité limitée à l'intérieur, dès l'apparition de sa première version, en portant, dans un premier temps, un type de vêtement léger d'été. Maintenant, l'ICT couvre différents types de vêtements.

À l'intérieur du domaine des conditions thermiques confortables, la sueur est sécrétée selon un taux suffisant pour obtenir un refroidissement par évaporation, nécessaire pour équilibrer la production de chaleur métabolique et l'échange de chaleur avec l'environnement. La relation entre la sécrétion de la sueur et l'évaporation requise sera déterminée par l'efficacité de refroidissement de la sueur. Lorsque cette efficacité diminue, le corps doit sécréter de la sueur selon un taux plus élevé (Givoni, 1978).

L'ICT couvre les domaines de facteurs comme suit :

- T air : 20 à 50°C.
- Tension de vapeur d'eau : 5 à 40 mm Hg.
- Vitesse d'air : 0,1 à 3,5 m/s.
- Rayonnement solaire : totalité du domaine 600 kcal/h
- Métabolisme : 100 à 600 kcal/h.

- Tenue vestimentaire : semi-nudité, vêtement léger d'été, combinaisons industrielles

La formule générale de la contrainte thermique définit le taux de sueur requis (S_w) qui se calcule à partir de la formule suivante :

$$S = [(M - W) \pm C \pm R] (1/f) \text{ (Givoni, 1978)}$$

Où :

- S : est le taux de sudation requis, en équivalent kcal/h.
- M : métabolisme, kcal/h.
- W : énergie métabolique transformée en travail mécanique, kcal/h.
- C : échange de chaleur convective, kcal/h.
- R : échange de chaleur radiante, kcal/h.
- f : efficacité de refroidissement de la sueur, sans dimension.

Pour calculer cet indice, il est évident de prendre en compte la température d'air, l'humidité relative, la chaleur métabolique, la température de la peau, d'une sudation maximale égale à 100 g/h et le stress de chaleur déterminé par le rapport du rafraîchissement requis par évaporation et de la capacité d'évaporation de l'air. L'indice de contrainte est lié intimement aux contributions des facteurs du métabolisme et de l'ambiance afin de prédire de l'effort physiologique imposé aux sujets au repos et au travail (Kitous, 2012).

IV.2. 2. Vote moyen prévisible modifié (PMV*):

Face à la complexité imposée dans les endroits extérieurs, le rayonnement solaire a été introduit au calcul de PMV ce qui entraîne la naissance de nouvel indice PMV modifié par Jendritzky en 1990. (Hoppe, 1999 et Latini et al., 2010)

Cette approche a de plus en plus été appliquée aux conditions extérieures et également connue par l'appellation «le modèle de Klima Michel Model" (Hoppe, 1999). D'après Kedissa (2010), ce modèle signifie un homme allemand typique, il s'agit d'un mâle retenu comme référence, âgé de 35 ans, d'une taille de 1.75 m et d'un poids de 75 kg, marchant à une vitesse de 4 km/h et portant un habillement dont la résistance est sélectivement choisie entre 0.5 et 1.75 clo (ensemble des vêtements allemands d'été et d'hiver respectivement), tandis que les valeurs du PMV sont calculées selon les équations

de Fanger (Tableau I.10). Selon le même auteur Kedissa (2010), le PMV constitue un indice purement physiologique, ce qui est remis en cause par plusieurs recherches expérimentales de caractérisation du confort thermique extérieur à court terme, car il ne peut pas analyser une exposition passagère, comme il ne considère pas la subjectivité du confort thermique (Kedissa, 2010).

Tableau II.10. Klima Michel Model (PMV).

Source: Kedissa (2010) d'après Jendritzky (1979).

Valeurs du PMV	Sensations
< -2.5	Très froid
-2.5 ~ -1.5	Froid
-1.5 ~ - 0.5	Légèrement frais
-0.5 ~ + 0.5	Confortable
+ 0.5 ~ + 1.5	Légèrement chaud
+ 1.5 ~ + 2.5	Chaud
> + 2.5	Extrêmement chaud

Michael Bruse (2000), dans ses travaux effectués lors de l'actualisation de son programme de simulation, a adopté neuf échelles de confort propres aux espaces extérieurs (Tableau I.11) où la zone théorique de confort extérieur est comprise entre deux valeurs du PMV et qui sont : -4 et +4 (Boucheriba, 2011).

Tableau II.11. Les valeurs du PMV selon neuf échelles de confort.

Source: Michael Bruse (2000)

PMV	description
< -4	Extrêmement froid
-3 ~ -4	Moyennement froid
-2 ~ -3	Frais
-1 ~ - 2	Légèrement frais

-1 ~ + 1	neutre
+ 1 ~ + 2	Légèrement tiède
+ 2 ~ + 3	tiède
+ 3 ~ + 4	Moyennement chaud
> +4	Extrêmement chaud

IV.2. 3. La nouvelle température effective standard modifiée (OUT_SET*) :

Selon Błażejczyk et al. (2011) la température standard effective est définie comme la température de l'air équivalente dans un environnement de référence isotherme où une personne portant des vêtements standardisés possède la même température de peau (T_{sk}) et le même taux de sudation (ω) comme dans l'environnement réel :

- $T_a = T_{mrt}$
- $RH = 50 \%$
- $V_a = 0.15 \text{ m/s}$

L'indice de confort thermique OUT_SET* est calculé en introduisant la température moyenne radiante en extérieur estimée par le modèle OUT_MRT dans l'indice de confort thermique de température standard effective (SET*) obtenue par le modèle de régulation thermique à 2 nœuds de Gagge. Les contraintes physiologiques et l'inconfort thermique sont équivalents dans les environnements réels et de référence, car la température de la peau (T_{sk}) et le taux de sudation (ω) sont fortement corrélées avec l'inconfort subjectif dans des environnements froids et chauds respectivement (Vinet, 2000).

IV.2. 4. L'indice UTCI: (Universal Thermal Climate Index)

L'indice de confort UTCI:(Universal Thermal Climate Index) désigne le stress thermique ressenti par l'homme en combinant des paramètres de température, humidité ou pression de la vapeur de l'eau, vitesse du vent, radiation thermique avec un modèle physiologique, un modèle d'habillement et une condition de référence. (Boco et al., 2013)

Błażejczyk et al. (2010) ont défini cet indice (UTCI) comme la température de l'air qui produit sous les conditions de référence la même tension que dans l'environnement réel. Le

calcul de la réponse physiologique via les données météorologiques s'appuie sur un modèle de thermorégulation à multi-nœuds (Blazejczyk et al., 2011)

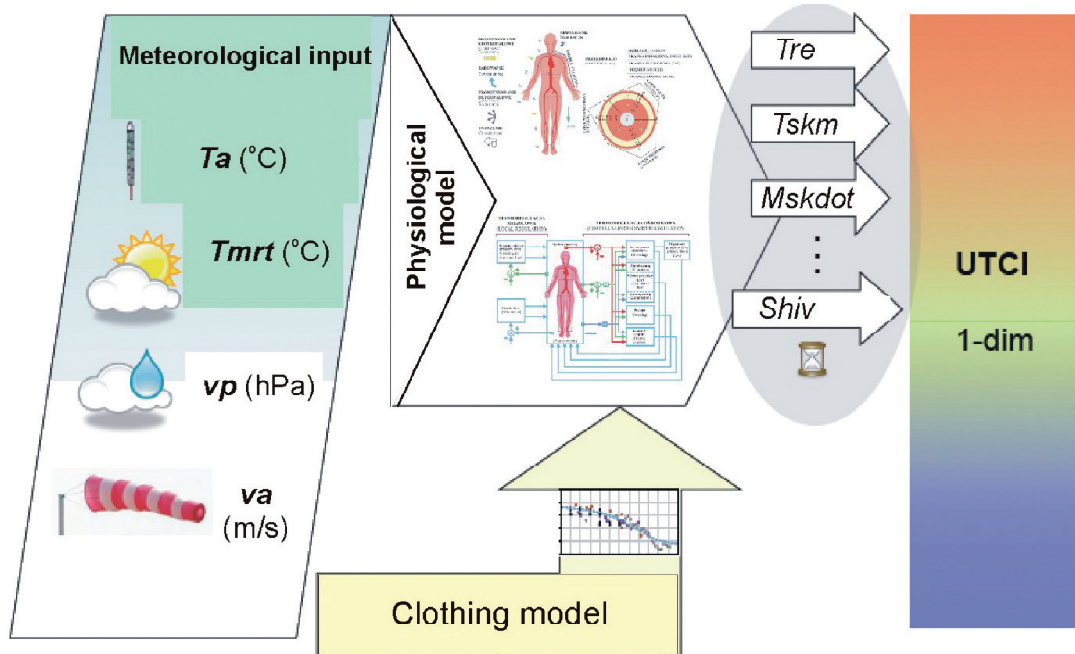


Figure II.11. schéma représentatif de principaux paramètres de l'UTCI.

Source: Jendritzky et al. (2010)

Selon Boco et al. (2013), au-delà des paramètres météorologiques inclus tels que la température de l'air (T_a), la radiation, l'humidité (%) et le vent, cet indice prend également en compte des paramètres non météorologiques (Figure II.11) tels que : la résistance thermique de l'habillement et le métabolisme et des conditions de référence d'une personne marchant avec :

- Une vitesse de l'air de 0,5 m/s mesurée à une hauteur de 10 m qui correspond à 0,3 m/s à 1,1 de hauteur.
- La température moyenne radiante (Mrt) = la température de l'air (T_a).
- Humidité relative 50% mesurée à une température $>29^{\circ}C$ et une pression de vapeur fixée à 20 hPa.
- Une activité dont le taux métabolique est de $135W/m^2$ (2,3 MET) qui correspond à une personne marche avec une vitesse 4Km/h (1,1 m/s).
- L'adaptation l'isolation d'habillement dépend au changement de conditions climatiques. (Błażejczyk et al, 2010)

Dans le (Tableau I.12), les valeurs de l'UTCI ont été classifiées selon le niveau du stress thermique et la sensation thermique.

Tableau II.12. Les différentes catégories de l'UTCI selon le stress thermique.

Source : Błażejczyk et al. (2010)

UTCI (°C)	Niveau de stress physiologique	Sensation thermique
> 46	Stresse thermique extrême	Torride
de +38 à +46	Stress thermique très fort	Très chaud
de +32 à +38	Stress thermique fort	Fortement chaud
de +26 à +32	Stress thermique modéré	Chaud
---	Stress thermique léger	Un peu plus chaud
de +9 à + 26	Pas de stress	Confortable
de 0 à +9	Léger stress dû au froid	Légèrement frais
de -13 à 0	Stress modéré dû au Froid	Frais
de -27 à -13	Fort stress dû au froid	Froid
de -40 à -27	Très fort stress dû au froid	Fortement froid
< -40	Stress extrême dû au froid	Très froid

IV.2. 5. La méthode COMFA:

Un autre indice d'évaluation du confort thermique à l'extérieur est représenté par la méthode COMFA+. Elle s'appuie sur l'équilibre énergétique de la personne dans un espace donné. La méthode COMFA a été proposée par les chercheurs Brown et Gillespie en 1995, dans le but de fournir un indice de confort à l'extérieur basé sur le calcul du bilan thermique d'une personne (Latini et al., 2010). Le TB (le Bilan Thermique) a été classifié selon une échelle d'évaluation de confort. Le TB est calculé par l'équation suivante:

$$TB = M + K_{abs} + L_{abs} - (Conv + Evap + T_{Remitted})$$

Avec :

M = énergie métabolique

Kabs = rayonnement solaire absorbé

Labs = rayonnement thermique absorbé

Conv = perte de chaleur par convection

Evap = perte de chaleur par évaporation

TRemitted = rayonnement solaire émis

Cette méthode varie sur une échelle de 5 degrés allant de -150 à +150, les classes et les préférences thermiques sont décrites dans le (Tableau I.13):

Tableau II.13. Les valeurs de budget énergétique et les sensations thermiques.

Source: Latini et al (2010).

Budget	Description
$\text{Budget} \leq -150 \text{ W/m}^2$	Froid
$-150 \text{ W/m}^2 \leq \text{Budget} \leq -50 \text{ W/m}^2$	Frais
$-50 \text{ W/m}^2 \leq \text{Budget} \leq +50 \text{ W/m}^2$	Neutre
$+50 \text{ W/m}^2 \leq \text{Budget} \leq +150 \text{ W/m}^2$	Légèrement chaud
$+150 \text{ W/m}^2 \leq \text{Budget}$	Chaud

Les valeurs de Budget thermiques ont été catégorisées de point de vue de la sensation thermique dans les espaces extérieurs par Robert D. Brown (2009), en adoptant une échelle de sept classes comprise entre -200 et +200, dans le (Tableau I.14).

Angelotti et al., (2007), dans une étude sur une place située à Milan en Italie, a introduit l'adaptation à l'environnement urbain pour développer la nouvelle version COMFA+. Cette version prend en compte la présence de bâtiments environnants. En comparaison au COMFA, Le COMFA+ exige de nouvelles données, telles que le facteur de vue des bâtiments (FVB) dont l'estimation s'appuie sur les facteurs angulaires adoptés par Fanger, ainsi que les températures des surfaces environnantes et les fractions solaires (Angelotti et al., 2007).

Tableau II.14. Les valeurs de budget énergétique et les sensations thermiques.

Source: Boukhelkhal (2013)

Budget	Description
$\text{Budget} \leq -201 \text{ W/m}^2$	Froid

$-200 \text{ W/m}^2 \leq \text{Budget} \leq -120 \text{ W/m}^2$	Frais
$-120 \text{ W/m}^2 \leq \text{Budget} \leq -50 \text{ W/m}^2$	Légèrement frais
$-50 \text{ W/m}^2 \leq \text{Budget} \leq +50 \text{ W/m}^2$	Neutre
$+50 \text{ W/m}^2 \leq \text{Budget} \leq +120 \text{ W/m}^2$	Légèrement chaud
$+120 \text{ W/m}^2 \leq \text{Budget} \leq +200 \text{ W/m}^2$	Chaud
$+150 \text{ W/m}^2 \leq \text{Budget}$	Très chaud

IV.2. 6. PET (la température physiologique équivalente) :

PET s'appuie sur le transfert des conditions thermiques extérieures à des conditions fictives intérieures dans lesquelles les mêmes sensations thermiques seront ressenties par les individus. Il est défini par une température d'air à laquelle le bilan énergétique du corps humain pour les conditions d'intérieur est équilibré par les mêmes températures internes et de peau et taux de sudation que ceux calculés pour les conditions externes réelles. Afin de calculer PET, il est nécessaire d'avoir des données sur la température de l'air (T_a), la pression de vapeur (VP), la vitesse d'air (v) et la température moyenne radiante (T_{mrt}) (Kitous, 2012).

Cet indice a été discuté par Peter Höpfe en s'appuyant sur des données sur la température de l'air (T_a), la pression de vapeur (VP), la vitesse d'air (v) et la température moyenne de rayonnement (TMR). Il est défini comme étant la température de l'air à laquelle le bilan de l'énergie du corps humain (d'une personne pratique une activité légère du métabolisme 80 W à ajouter au métabolisme de la base; la résistance thermique d'habillement 0.9 clo) pour des conditions intérieures typiques équilibrées avec la température de la peau et le taux de la sueur que dans les conditions extérieures complexes réelles à évaluer. Les conditions intérieures typiques sont:

- T_{mrt} (la température moyenne radiante) = T_a (la température de l'air),
- V (vitesses du vent) = $0,1 \text{ m/s}$
- VP (pression de vapeur) = $12,0 \text{ hPa}$ (équivalente à 50% d'humidité relative enregistrée à une ambiance thermique de la $T_a=20^\circ\text{C}$, approximativement) (Höpfe, 1999), (Ndetto et al., 2013).

Il s'appuie sur le modèle de bilan thermique MEMI (Munich Energy Balance for Individuals) et calculé par Mayer et Höpfe (1987), un modèle d'énergie équilibré de

Munich pour les individus, ce modèle est basé sur l'équation du bilan énergétique du corps humain qui s'inscrit dans le modèle à deux nœuds de Gagge :

$$\blacksquare \quad M + W + R + C + ED + ERe + ESw + S = 0$$

Avec :

- M : le niveau du métabolisme
- W : l'activité physique
- R : le rayonnement solaire
- C : le flux de chaleur dû à la conduction
- ED : le flux de chaleur latente
- ERe : la somme des flux de chaleur pour le chauffage et l'humidification de l'air inspiré
- ESw: le flux de chaleur dû à l'évaporation de la sueur.
- S : le flux d'énergie pour chauffer ou rafraichir le corps (Höppe, 1999) .

Tableau II.15. La relation entre les valeurs de PET et la perception thermique.

Source: Matzarakis et al (1999)

PET (°C)	La perception thermique
< 4°	Très froid
4 – 8°	Froid
8 – 13°	Frais
13 – 18°	Légèrement frais
18 – 23°	Confortable
23 – 29°	Légèrement chaud
29 – 35°	Chaud
35 – 41°	Très chaud
> 41°	Extrêmement chaud

Le PET est un indice thermique universel largement appliqué pour l'évaluation physiologique du confort thermique. Il fait appel aux paramètres météorologiques qui influencent l'équilibre de l'énergie humaine, comme la température de l'air, de l'humidité de l'air, la vitesse du vent, le rayonnement et la température moyenne radiante, considérés dans le calcul de cet indice y compris la résistance du transfert de chaleur de l'habillement et de la production de chaleur interne liée à l'activité (Gulyás, 2009). Tous ces paramètres

indispensables au calcul du PET doivent être pris à une hauteur de 1,1m qui correspond au centre de gravité de l'homme selon les normes européennes (Gulyas et al., 2006). Donc, pour calculer l'indice thermique PET, il est nécessaire de déterminer ces paramètres météorologiques dominants par la technique de la mesure ou par leur estimation à l'aide d'un logiciel (Matzarakis et al., 1999).

Parmi les paramètres climatiques de prime importance, intervenant dans la balance énergétique du corps humain, « la température moyenne radiante » est le paramètre le plus influent du confort thermique qui détermine PET (Lin et al., 2010), notamment durant l'été où les conditions chaudes combinées avec une faible vitesse du vent sont les plus dominantes (Figure II.12).

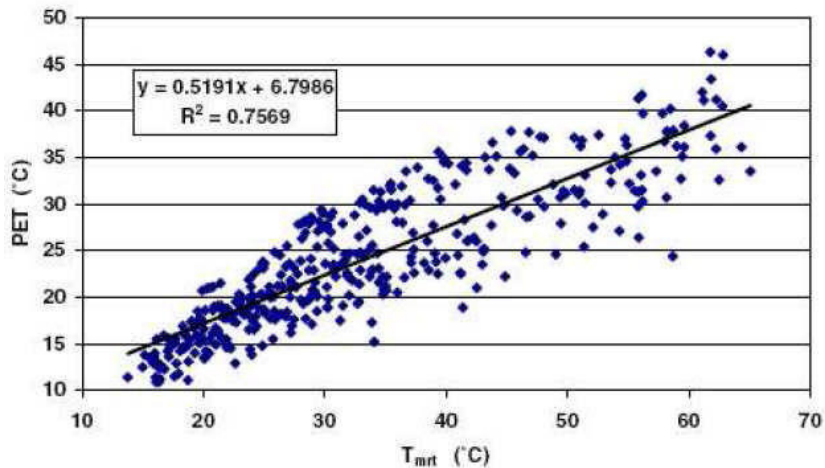


Figure II.12. Relation entre T_{mrt} et PET durant une journée d'été.

Source: Matzarakis et al. (2007).

En comparaison avec les autres indices thermiques, tels que PMV, le PET est estimé en « °C », unité largement utilisée, comme un indicateur de la contrainte thermique et de confort thermique, ce qui rend les résultats faciles à comprendre et plus clairs pour les utilisateurs. (Ex : les valeurs de PET proches de 20°C peuvent être caractérisées comme confortables). Au-delà de l'avantage préalablement cité, les résultats du PET peuvent être présentés sous forme des graphes en étudiant ses variations temporelles, ainsi que sa présentation par la technique de la cartographie qui facilite l'interprétation de sa distribution spatiale. Il est applicable pour décrire les différentes conditions climatiques

chaudes et froides non seulement en été, mais durant toute l'année (Matzarakis et al., 1999).

D'après le Tableau I.16 des valeurs du PET confrontées avec la sensation thermique perçue, les valeurs de PET entre 18 – 23°C ont été considérées comme valeurs confortables en milieux extérieurs. Ces valeurs ne sont cependant pas définies pour un climat chaud et sec. Aucune zone de confort pour des conditions extérieures en climat chaud et sec n'est en fait définie pour cet indice. Cependant Johansson (2006) fixe la valeur de PET à 33° C comme limite d'inconfort supérieure dans son étude sur le confort thermique dans la ville de Fez (Maroc) en climat chaud et sec (Kitous, 2012).

CONCLUSION :

Les ambiances thermiques jouent un rôle principal sur la réponse du corps humain vis-à-vis les conditions climatiques imposées définies par les variables environnementales : températures, rayonnement solaire, vitesse de l'air et l'humidité ainsi que les caractéristiques physiologiques des individus : l'activité physique et le taux d'habillement. Dans les espaces extérieurs, le rayonnement solaire est le paramètre environnemental de prime importance concernant l'influence sur l'environnement thermique suivi par la vitesse du vent qui peut modérer la charge thermique.

Le confort ne dépend pas seulement de facteurs physiques, mais il dépend également de facteurs physiologiques et psychologiques. Les personnes présentent des caractéristiques particulières et ne sont pas identiques, ni physiologiquement ni psychologiquement, et que dans certaines limites, des phénomènes d'acclimatation peuvent avoir lieu. Tout le long du 20^e et au cours du 21^e siècle, de nombreuses études ont été menées sur les conditions de confort, conséquemment, l'évaluation du confort thermique a connu l'évolution de nombreux indices thermiques initialement développés pour l'environnement intérieur parmi lesquels : vote moyen prévisible (PMV), la température effective (ET) et la température effective standard (SET). Au début de leurs apparitions, les indices de confort ont mis l'effet des variables physiques au centre de leurs préoccupations. Plus tard, les caractéristiques physiologiques (habillement et métabolisme) ont été également considérées, c'est le cas des travaux évoqués par Fanger (1972), Givoni (1978) et Jendritzky et al., (1990).

Avec l'évolution de la climatologie urbaine et l'intérêt aux ambiances thermiques en espaces extérieurs, ce dernier est devenu d'une importance similaire au confort intérieur, et afin de le quantifier, plusieurs indices développés spécialement pour des environnements intérieurs ont connu des modifications pour être, plus tard, applicables dans les espaces extérieurs, parmi lesquels : PMV* modifié issu de PMV, et OUT-SET, dérivé de l'indice SET*. En outre, d'autres indices ont été inventés en s'adaptant aux conditions thermiques extérieures comme le PET, UTCI.

Le recours aux indices thermiques pour la quantification du confort thermique que ça soit à l'échelle du bâtiment ou à l'échelle urbaine ne permet pas suffisamment d'examiner les vrais impacts sur le confort thermique, cela exige d'intervenir sur les caractéristiques physiologiques et l'état psychologique vécu. Les variables psychologiques peuvent prendre en compte jusqu'à plus de 50% de l'évaluation globale du confort. L'adaptation est définie en tant que diminution progressive de la réponse de l'organisme à une exposition répétée à un stimulus. Dans le contexte du confort thermique, ceci peut comporter tous les processus d'amélioration que l'individu fait intervenir pour s'ajuster à ses conditions environnementales. Donc, l'adaptation du corps humain vis-à-vis l'environnement thermique peut être divisée en trois différents modes: physique, physiologique et psychologique.

CHAPITRE III

**KSOURS : ORIGINES, GENESES
ET ADAPTATION**

«Dans les climats excessifs, il arrive souvent que l'architecture soit plus naturelle que culturelle. Ce n'est pas dépréciatif. C'est à partir de ces architectures là que l'on peut comprendre le vrai sens de l'architecture qui est, je crois, aboutissement de l'arrangement avec la nature pour l'abri humain ».

Ravéreau André (1981)

INTRODUCTION :

Depuis que l'homme a pris conscience de lui-même c'est-à-dire à l'apparition de l'homo sapiens il s'est déplacé en quête de nourriture, traversant ainsi, au rythme des variations climatiques du moment, d'immenses territoires et des distances considérables de son point d'origine c'est-à-dire l'Afrique de l'Est. Notre étude ne portant que sur les Ksour d'Afrique du Nord, nous nous limiterons donc à une période assez proche où les humains en clans se déplaçaient (vie nomade) en quête de terrains de chasse et par la suite, de terres fertiles pour le cueilleur de fruits qu'il devint, précédant ainsi l'éleveur (semi-nomade) et l'agriculteur (sédentaire) avant de former une société ancrée sur ses zones de survie et finalement le mode de vie des grands centres urbains.

Le Sahara algérien s'étend de l'atlas saharien au Nord, aux frontières septentrionales de trois pays du Sahel que sont le Mali, Le Niger, et la Mauritanie. Il est partagé en de très grandes zones qui se démarquent par leurs spécificités inhérentes, physiques, historiques ainsi que leurs anciens centres urbains. Ces centres urbains, désignés sous le nom de ksour (pluriel) ou ksar (singulier) ponctuent les routes et les pistes du désert algérien qui, depuis l'antiquité, constituent les voies des échanges commerciaux vers les pays subsahariens. Ce système symbiotique constitue le noyau vital ksourien.

Le style de construction pensé ksourien est une richesse. Ces points de rassemblement humains du Sahara furent des sources de survie pour leurs habitants grâce à l'union d'une terre agricole et d'une habitation en blocs de terre crue ou de pierre, selon ce que la nature du sol peut fournir. En Algérie, ils se localisent dans l'Atlas saharien et le Sahara. Ilots sédentaires, ils ont toujours été en étroite relation avec le monde extérieur (en particulier les nomades et les pouvoirs centraux successifs).

L'objectif de ce chapitre est de comprendre le cadre d'évolution, les fondements de l'espace ksourien, à travers la définition de ces établissements sahariens. Ainsi, il vise à de montrer la diversité et les logiques de leurs structurations, notamment à l'échelle urbaine, qui nous intéresse le plus, dans notre étude.

I. Les ksour : définition

Les ksour, objet de notre étude, sont un mode d'habitation communautaire typique de l'Afrique du Nord saharienne et le nord Sahara, comprenant la Libye, la Tunisie, l'Algérie et le Maroc. Dans ces différents pays et malgré des différences de langage le nom Ksar ou ksour signifie la même chose, c'est-à-dire l'ensemble groupé d'habitations en général d'un clan / tribu ou d'une grande famille, comme le définit Hammoudi. A (2014) :

« Le Ksar est un espace de vie collective répondant à la fois à une organisation politique d'autodéfense et à une organisation sociale visant à faire respecter la segmentation sociale et raciale. Le Ksar est l'œuvre collective d'une société harmonieusement adaptée à son milieu. Il doit son existence à la cohérence économique, sociale et culturelle de la société oasienne ».

Ce sont en fait, de micro sociétés, fermées, vivant en semi-autarcie ou dépendant le moins possible d'apports extérieurs lors d'échange sous forme de troc, ce qui ne veut pas dire que les ksour sont isolés du monde

Le nom commun « Ksar » est dans son sens général en arabe « château » ou « palais » mais qui dans un sens restreint appliqué localement, veut dire « village fortifié » tire son origine du terme latin « castrum » (Fort ou place forte) générant ainsi le nom Alcazar chez les Espagnols. Tandis que l'équivalent amazigh ou chleuh de ce nom est « Ighrem » (Sebti, 2011).

Le nom « Ksar » - Ksour au pluriel, tire sa racine du mot arabe « Kasr » (palais) ou plus précisément dans le langage populaire Nord-Africain Ksar qui désigne un groupe de bâtiments d'habitations et de communs, rassemblés et entourés par une enceinte fortifiée elle-même cernée parfois par des douves (un fossé rempli d'eau creusé comme ceinture de remparts) et doté quelques fois de tours de guet tel les châteaux forts du moyen âge en Europe ou les fortins au Moyen-Orient afin d'assurer une protection contre toute attaque

extérieure (Hammoudi, 2014). Nous reprenons ainsi la définition du Pr. Mazouz .S (2005), et qui, à notre avis est la plus proche de la réalité du terrain :

« Le ksar (pluriel: ksour), signifie étymologiquement palais. Les ksour sont des ensembles fortifiés qui s'étendent du Sud marocain au Sud tunisien et qui, à l'origine, étaient construits dans un souci défensif. De nos jours et avec la disparition des préoccupations défensives, le ksar désigne toute agglomération saharienne anciennement construite et de tendance plutôt rurale par opposition aux structures plus importantes que sont les médinas».

C'est donc que les ksour sont l'habitat d'une société agraire où la solidarité est le maître-mot. On y pratique une agriculture vivrière dépendant des eaux des sources locales ou ramenées à travers les foggaras, système de drainage par gravité.

Pour comprendre l'origine des ksour d'Afrique du Nord et du Sahara, il faut d'abord les différencier selon leurs positions géographiques et en fonction de l'histoire de la région ainsi que leur rôle dans le développement humain de cette région.

II. Origines probables des différents types de « ksour » :

Le nord de l'Afrique a toujours été une croisée des chemins des civilisations. Aussi loin que l'on puisse aller dans le passé, l'Afrique du Nord a toujours subi soit des invasions militaires, soit a été le passage obligé des différentes civilisations du bassin méditerranéen : des Grecs, des Phéniciens jusqu'aux Turcs en passant par les Romains, et les Arabes, jusqu'à la colonisation française. L'arrivée de ces différents acteurs de l'histoire, a apporté sinon des bouleversements socio-économiques du moins des apports idéologiques, religieux et commerciaux.

Quand on regarde les différentes cartes des invasions et autres routes commerciales depuis l'antiquité on remarque immédiatement trois grands axes en ce qui concerne l'Algérie :

Axes commerciaux : Ce sont les plus importants et sur lesquels on retrouve la majorité des ksour (Figure III.6). Ce sont les axes : Tunis- Biskra – Tlemcen- Sidjilmassa (au Maroc, frontalière de l'Algérie)-Tripoli - Ghadamès- In Salah-Taghazza- Taoudeni (Mali) (Mine de sel gemme)– Sidjilmassa – Bechar – Adrar- région de Reggan-

Tombouctou (au Mali). Ces axes servaient au commerce des esclaves, du sel, des dattes des peaux de l'ivoire et de l'or et à la propagation de l'Islam.

Qui dit routes commerciales dit caravansérails, c'est-à-dire des points d'eau, où les caravaniers, se reposaient durant des jours des fatigues du désert et pour remettre en état leurs marchandises et les esclaves capturés ou achetés dans les comptoirs de Tombouctou.

Les caravansérails sont en fait des auberges fortifiées qu'on retrouve à ce jour, en plus moderne, sur toutes les routes qui traversent des déserts, tel le désert de Gobi en Asie.

Dans son livre « Léon X l'Africain » Amine Maalouf (1986) nous fait une belle description de l'un des axes caravaniers cités plus haut : « Sans beaucoup d'imagination on comprendrait aisément que des voyageurs harassés aient pu se fixer sur ces points d'eau, avoir femmes et enfants et former le noyau d'un futur Ksar. C'est ce qui nous fait comprendre pourquoi les ksour sont en général la résidence de familles liées par le sang ».

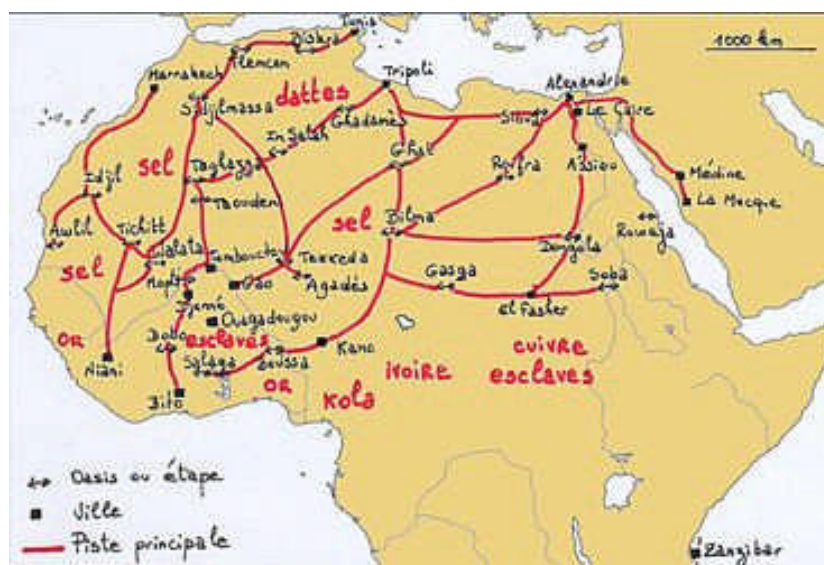


Figure III.1. Les axes commerciaux dans le nord d'Afrique.
Source : Remini. B et Achour. B (2008).

Pour comprendre l'origine des ksour d'Afrique du Nord et du Sahara, il faut d'abord les différencier selon leurs positions géographiques et en fonction de l'histoire de la région ainsi que leur rôle dans le développement humain de cette région.

L'eau étant la ressource vitale dont dépend la vie et facteur décisif dans la fixation des humains dans les régions. Face aux contraintes du site d'implantation, les mozabites n'ont cessé jamais de se référer à leurs cultures quant à l'implantation de leurs

établissements humains, à partir d'éléments dominants et ordonnateurs, et le site naturel dans lequel ils vivent.

Dès que son apparition, les établissements humains fondés par les mozabites ont toujours préservé une identité authentique, et cela se manifeste dans leur typologie, le climat, le site et leurs réalités sociales. Les ksour récemment fondés sont le prolongement de la tradition millénaire sans pour autant négliger les besoins de l'homme contemporain. Le langage architectural, qui sous-tend cette production, n'a pas connu de profonds bouleversements. Les mozabites ont tiré avantage de leur patrimoine. La tradition ancestrale, qui a jadis présidé à la constitution d'un domaine bâti très particulier, demeurerait puissante (Adad et Mazouz, 2013).

Le ksar désigne tissu urbain compact qui se constitue d'un ensemble de maisons entassées et accolées les unes aux autres, et clôturées par une muraille d'enceinte.

Il est difficile de définir la date de l'apparition de ce style de construction. L'origine des ksour reste l'une des questions les plus controversées par manque d'éléments concrets qui permettent aux chercheurs et historiens de le situer. Il remonte à l'aube de l'histoire. Les Gétules menaient pour les uns la vie des pasteurs nomades dans les hautes plaines, le piémont saharien et les dépressions de l'Atlas. Les autres, la vie d'agriculteurs sédentaires dans quelques sites de l'Atlas privilégiant par leurs ressources en eau et par la fertilité des terres noires du pléistocène. Rivalités et querelles, dont témoigne la réputation de pillards turbulents des nomades Gétules, expliquent le rôle de greniers refuges et de places fortes jouées par les villages fortifiés qu'étaient les Ksour. Les premiers Ksour datent probablement des II^e et I^{er} siècles av. J.-C.. Ils constituent sans doute l'extension progressive jusqu'à l'Atlas saharien de la politique de sédentarisation des nomades berbères, menée dans le nord du Maghreb depuis l'époque de Massinissa, vers la fin du II^e et le début du I^{er} siècle av. J.-C.. C'est Ibn Khaldoun (1332-1406) qui en fait mention le premier (Cominardi, 1994). Il est difficile de donner une date précise de l'apparition des ksour dans le Sud algérien. Leur naissance remonte à très loin dans l'histoire par manque d'éléments concrets permettant aux chercheurs et historiens de la situer (Sebti, 2011).

Dans une citation d'Amina ZINE, architecte : « *le ksar est le mode d'implantation agglomérée, spécifique à la population en milieu saharien. C'est également la forme urbaine traditionnelle, dans ces régions, des cités fortifiées. Son installation dépend directement de la disponibilité des ressources en eau, condition qui assure la culture du palmier et la création de vastes jardins et palmeraies* »

Le terme ksar est entré dans la langue française puisqu'on le trouve dans les différents dictionnaires. Il est généralement défini comme un habitat fortifié. L'introduction de ce mot montre qu'il s'agit d'un type particulier d'habitat qui ne se reconnaît pas dans le pays conquérant, raison de la nécessité de l'adoption du mot local.

Le chercheur tunisien, M. AYOUB Abderrahmane de l'Institut National du Patrimoine affirme que : « *Le milieu ksourien n'est pas seulement un lieu du silence berbère, ni un monde replié sur lui-même...mais un milieu qui n'a pas cessé d'être traversé par les hommes et le commerce, les conflits et les idéologies. Forteresses assez originales, d'un point de vue architectural, mais aussi de celui de la division de l'espace, de l'organisation sociale et de la constitution de la mémoire* ».

Le ksar n'est pas la somme de monuments historiques dans un état de délabrement pathologique, plus ou moins avancé ou des Kasbah juxtaposées les unes aux autres avec des difficultés plus ou moins appréciables à s'adapter aux exigences de la vie moderne.

C'est surtout un lieu où vivent des hommes et des femmes dans un certain ordre social, avec des enjeux économiques vitaux, possédant une identité qui émane surtout de leur propre représentation du monde (Nasri, 2007).

Les ksour forment, par leur implantation sur les anciennes routes des caravanes, un maillage important qui s'égrène sur tous le Sud algérien. Bien que la plupart d'entre eux aient perdu depuis longtemps leurs remparts, ils ont pu demeurer, jusqu'à un passé récent, des structures fonctionnelles assurant à leurs habitants une suffisance alimentaire et une certaine cohésion sociale. Ils ont toujours été partie intégrante d'un agro système intégrant la palmeraie, les terres cultivables et l'eau (Mazouz, 2005).

III. L'adaptation bioclimatique dans les régions désertiques :

Le ksar représente l'un des éléments architecturaux les plus remarquables des paysages ruraux de l'ensemble des oasis du Bas Sahara, « *le ksar, par sa forme et son style architectural esthétique produit une grande séduction aussi bien sur le simple touriste que sur l'anthropologue, l'historien ou le géographe arpétant les espaces solitaires à la porte de l'immensité désertique, le sociologue qui scrute une société pétrie par l'eau et le sable ou l'architecte perplexe devant l'harmonie d'un habitat ocre sorti de la terre* » (Ait el haj Hmad, 2006). Cet héritage a été favorisé par nombreux facteurs : physiques, historiques et socio-économiques qui ont marqué et marquent encore de nos jours le mode de vie dans ces établissements désertiques.

Le ksar vit en symbiose avec la palmeraie, où l'eau fait le facteur existentiel de ce mutualisme, l'oasis constitue le système où s'articule l'interaction entre les éléments de cette trilogie formée du ksar, par sa forme d'habitation, son mode d'organisation, et ses habitants; l'eau, par ses méthodes de mobilisation, ses modes de partage et de distribution, et enfin la palmeraie, par son système de culture, son statut foncier, et son régime agraire.

Le ksar représente l'un des éléments architecturaux les plus remarquables des paysages ruraux de l'ensemble des oasis du Sud. C'est un habitat typique dont l'histoire le lie à la disponibilité de l'eau, des matériaux de construction, des conditions climatiques et aussi à l'environnement géomorphologique.

Les ksour sont certainement les témoins d'une intelligence humaine pure. Ce sont les résultats d'une lente progressive adaptation menée non pas pour survivre, comme on a tendance à le croire, mais de vivre pleinement dans ordre aussi vivant qu'intelligent. L'espace ksourien est lié intimement à l'oasis, l'eau, et la palmeraie. C'est-à-dire que le cadre bâti est inséparable des activités humaines comme l'agriculture, l'artisanat. Il est inséré dans un emboîtement d'espaces du quotidien.

La localisation de Ksar se décline dans les rapports au monde. Il est même au centre d'une concentricité à base de gradients sociaux ou familiaux, économiques et spirituels. Dans ce sens, le ksar fait racine, non seulement en tant qu'établissement humain, mais aussi en tant que « repère » spécifique pour ses habitants. (Bouchareb, 2015)¹. Les matériaux de construction assurent un très grand rôle dans le confort thermique. Ceci grâce d'une part à l'épaisseur des murs et d'autre part à leur inertie thermique qui jouent un rôle important dans le déphasage thermique journalier, qui atteint les 12h.

En plus, la forme urbaine compacte de ses groupements, ses rues, ruelles et impasses étroites et sinueuses créent de l'ombre et minimisent les surfaces extérieures exposées au rayonnement solaire. L'introversion de son espace habité à son tour rend l'habitation protégée de toute insolation ou effet de nuisance sonore et climatique.

Tous ces facteurs font de ces ksour une parfaite leçon d'intégration et d'accommodation dans un milieu semi-aride sur le plan du confort thermique.

IV. Caractéristiques typo-morphologiques des ksour :

Les ksour du Sud algérien se présentent sous forme d'une véritable trame de plusieurs centaines de villes et villages partageant des caractéristiques communes et se distinguant les uns des autres par quelques particularités : taille, topographie, nature du

¹<https://somptuocite.wordpress.com/2015/04/24/ksour-lenfer-et-les-autres>

site, mode constructif, couleur, fonction économique, activités spirituelles et culturelles... etc.

IV.1. La nature du site et la topographie

Les ksour sont généralement dressés sur sols rocheux et terrains élevés dans un but d'autodéfense, et aussi pour la préservation des ressources hydriques et des sols fertiles. Ils ne présentent pas de caractéristiques typologiques uniformes. Ils révèlent unité et différence ; l'unité paraît surtout dans la localisation, le processus d'implantation, et le modèle d'organisation des rues. Les différences portent essentiellement sur la morphologie de l'unité fondamentale composant le ksar. Tandis que dans le Sud-ouest, le ksar est constitué par l'adjonction d'entités appelées Kasbet² (pluriel de Kasbah), cette caractéristique ne se rencontre pas dans la vallée du Mزاب ou dans les ksour du Sud-est (Mazouz, 2005). Le ksar est une forme urbaine traditionnelle fortifiée et compacte en relation directe avec un espace vert où la palmeraie. Indépendamment des aspects topologiques du rapport bâti/palmeraie, un refroidissement par humidification est généré, en transportant l'air rafraîchi vers le groupement bâti dans lequel, la dualité Ksar/palmeraie, forme le couple le mieux adapté aux conditions climatiques, dans les milieux arides et un écosystème équilibré.

IV .2. La forme et la taille :

Echallier (1972), se basant sur l'apport de photos aériennes, entreprit une classification qui fit ressortir six types différents de ksour. Mais en général, l'archétype du ksar reste une structure carrée, ou rectangulaire, parfois circulaire, entourée d'une enceinte aveugle et continue, flanquée de tour de guet aux angles, et percée d'une ou plusieurs portes qui assurent la relation avec le monde extérieur. Le tissu est organisé autour d'un réseau de voirie structuré en ramification, dont les différentes branches traduisent, au sol, la division du groupement humain et des sous-groupes. Les habitations sont continues et généralement mitoyennes sur deux ou trois côtés. Les places des ksour sont appelées « rahbas ». Elles constituent des éléments structurants dans l'espace urbain (Echallier, 1972).

IV.3. Le système constructif des ksour :

Dans les ksour qui séparent les hautes plaines steppiques du Sahara, l'utilisation de la pierre est plus fréquente que dans les autres régions, parfois sans revêtement, dans les autres cas, les murs sont enduits d'un mortier de terre. Plus au Sud, avec la réduction des

²Kasbet : pluriel de Kasbah, se sont des entités fortifiées.

précipitations et l'augmentation des températures, la brique de terre, "Toub", devient omniprésente, l'utilisation de la pierre se limite aux soubassements, sous forme de massifs rocheux ou bien en pierre agglomérée avec la terre argileuse. La couleur est un autre trait qui différencie certains ksour. Dans la région de la Saoura la couleur dominante est le plus souvent chocolat clair, en passant par tous les tons allant du fauve au brun violacé ; par contre dans le Gourara c'est le rouge qui prévaut, au point où "Timimoun", l'oasis principale de la région est désignée par le surnom "d'oasis Rouge" (Sariane M., Beztout M., 2006).

V. Les typologies des ksour au bas Sahara

Il est à noter que ces villes sahariennes sont la résultante de nombreux facteurs : culturels et socio-économiques, qui ont contraint les habitants à constituer un habitat de survie semble jouer un rôle de prime importance dans l'évolution typo-morphologique de ces groupements humains. Les caractéristiques du site, y compris : la topographie, le relief, les sources en eau, la structure géomorphologique du terrain..., sont les variables déterminants de la typologie du noyau initial et son évolution par la suite. Pr Mazouz.S (2005) a fait une comparaison entre les ksour des Ziban, d'Oued Righ et d'Oued Souf en termes d'adaptation bioclimatique.

V.1. Dans le Ziban :

« La majorité des établissements ksouriens dans la région des Ziban sont construits sur les restes des villes romaines. La platitude et l'homogénéité du terrain n'imposent pas d'implantation différenciée par rapport à l'oasis. Dans ces groupements, le bâti se trouve souvent au milieu de la palmeraie, et même si le site, dans lequel le bâti s'est implanté, s'avère être rocheux et ou non fertile, il demeure une entité inséparable de la palmeraie. Les agglomérations du Zab subissent l'influence du massif montagneux aouessien, de nombreuses rivières descendant des Aurès et la présence de nombreuses sources ont permis l'implantation de ksour sur le piémont. Ce qui a permis aux habitants de maîtriser très tôt les techniques d'irrigation » (Mazouz, 2005).

- À l'échelle de l'édifice : habitation ou édifice public
- À l'échelle de l'unité urbaine : groupement de plusieurs maisons organisées le long d'un axe (zkak) ou autour d'une place (rahba), ce qui constitue une unité indépendante appropriée par une certaine tranche de la société.

- À l'échelle de la cité (ksar) : l'ensemble des entités en articulation structurées, hiérarchisées, faisant émerger un centre identifié l'échelle habitée par la communauté.
- À l'échelle de territoire : l'ensemble des ksour implantés (généralement) selon des principes morphologiques communs, partageant une succession d'évènements signifiants (histoire), définissent, une fois en relation d'échange, un champ d'appropriation pour la population de la région.

L'implantation des Ksour au sein des oasis crée une enveloppe bioclimatique, en comparaison aux principes d'organisation de la structure urbaine compacte et irrégulière, des médinas et des villes des zones arides et semi-arides. Les groupements urbains dans la région des Ziban se caractérisent par leur parfaite intégration à l'intérieur de la palmeraie. Ils s'organisent sous forme de groupements éparpillés qui se réfèrent aux seguias pour définir leur tracé régulateur, avec une certaine linéarité découlant d'une logique de coexistence (habitation, palmeraie) et du respect des terres fertiles. Ce qui génère des rues sinueuses formées par la disposition des maisons et des seguias. Ceci a créé des îlots linéaires, évolutifs et de caractère rural de ces ksour.

Cette logique de morphogenèse de l'îlot donne la naissance d'une certaine logique d'urbanité dans ces types de ksour et la préservation des palmeraies.

- Afin de minimiser les surfaces exposées au rayonnement solaire. La notion de la compacité a été largement adoptée quant à la conception des établissements ksouriennes.
- La hiérarchisation spatiale (espaces publics, semi-publics et privés) reflète une organisation sociale locale.
- L'adoption de la composition architecturale horizontale et introvertie est comme solution pour s'adapter aux conditions climatiques rigoureuses.
- La mosquée et la place du marché sont les éléments structurants qui orientent le système du bâti, ce qui concrétise la centralité mythique (alkama, 2001).

Comme dans toutes les structures traditionnelles, les matériaux de construction adoptés sont issus directement de la source locale et se diffèrent d'une région à l'autre. Dans les Ziban, c'est la brique de terre, le palmier, la pierre et parfois le "debdeb"³ sont les matériaux maîtres dans la réalisation de ces habitations. Au-delà de la particularité que ces matériaux locaux assurent, une bonne intégration de la forme bâtie à son site, ces

³ Blocs de gypse de dimensions moyennes, extraits à leur état naturel et utilisés après cuisson qui donne du plâtre, dans le crépissage des murs

matériaux se caractérisent par des propriétés thermo-physiques permettant une modification sensible des conditions climatiques extérieures.

Prenant comme un exemple illustratif des ksour de la région des Ziban : « Ksar de Lichana » (Figure III.2). Par sa forme ovale et sa structure radioconcentrique, l'accès au ksar se fait via quatre portes orientées suivant les quatre points cardinaux : Echarki (est), El Guebli (sud), El Gharbi (ouest), Edahraoui (nord) (Figure III.3). Parmi eux, la porte « Edahraoui » est celle avait plus d'importance, car elle mène à la rue principale du commerce, et qui conduit au centre ville y compris : la mosquée, le marché qui constituent les éléments structurants de l'espace urbain de l'ancien noyau de Lichana. Une muraille délimitant ce ksar n'existait pas en effet, mais l'implantation des constructions appartenant à deux tissus et le mode d'assemblage des habitations donnent l'impression de l'existence de cette muraille, autrement dit, l'expression de l'aspect défensif. Similaire aux autres ksour, la compacité du tissu urbain est la résultante de la logique d'organisation de l'espace ksourien qui traite le souci défensif comme le paramètre décisif (Mazouz, 2005).

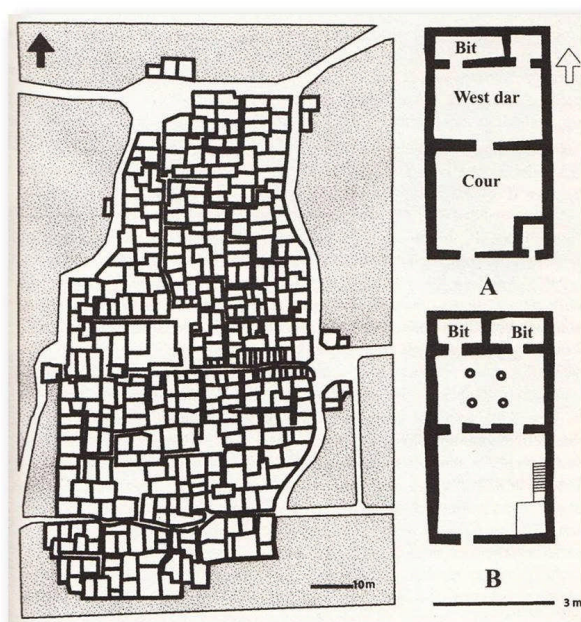


Figure III.2. Ksar de Lichana. Parcellaire et construction.
Source: Mazouz (2005).



Figure III.3. Les portes El Guebli (à gauche) et Edhraoui (à droite) de ksar de Lichana.
Source: auteur (2014).

V.2. Dans le Souf :

Un autre raisonnement au rapport bâti-palmeraie-eau est imposé par la topographie particulière du terrain, dans lequel, le ksar s'est édifié. Dans ces terrains, on distingue trois entités orographiques caractéristiques: dunes des ables, terrains plats et ghouts, ceci a provoqué une autre logique dans la gestion de l'espace. La disposition du bâti est de façon parcimonieuse sur les franges étroites des terrains stables et peu sableux, délimité par naturellement par les dunes qui constituent, également, un élément structurant linéaire régulant et dirigeant le sens d'évolution urbaine. Les ghouts quant à eux accueillent les palmiers (Mazouz, 2005).



Figure III.4. Les ksour du Souf au début du XXe siècle.
Source : Echallier (1968)

Parmi les plus anciennes villes du Souf : Guémar et Kouinine, les plans de ces cités (Figure III.4), ont connu une croissance concentrique, avec des rues orthogonalement

tracées. Les contours s'inscrivent dans un rectangle qui est très irrégulier comme à Guémar. Si la forme des ksour du Souf diffère de celle dans le M'Zab ou l'Oued Righ, cela tient au fait qu'elles soient fondées sur un terrain presque plat, alors que la trame circulaire des villes du M'Zab ou de l'Oued Righ ont pour le but de la composition urbaine. (CHAOUCHE-BENCHERIF, 2007).

V.3. Dans l'Oued Righ:

Deux limites naturelles (les dunes et les palmeraies) orientent le développement linéaire des agglomérations dans le sens méridien. Des particularités topographiques locales (présence de buttes gypseuses) expliquent le développement de certains noyaux traditionnels suivant une forme radioconcentrique sur les buttes (Mazouz, 2005).

D'après CHAOUCHE-BENCHERIF (2007), les constructions dans cette région sont disposées sous forme elliptique, déformée par des extensions. Le ksar dans l'Oued Righ est confiné sur son sommet et cela s'observe à travers les différents ksour de la vallée (Figure III.5). L'agriculture demeure l'activité de base la plus fréquentée, pour cette raison, l'agglomération s'établit au cœur de l'oasis, c'est le cas de: Moggar Quedima et Djedida, Djamaa, Tamerna Quedima. Rares sont celles qui sont situées en périphérie (??) (Tebesbest, Meggarine, Mestaoua, Nezla, Zaouïa Abidia, Temacine et Mghaier).

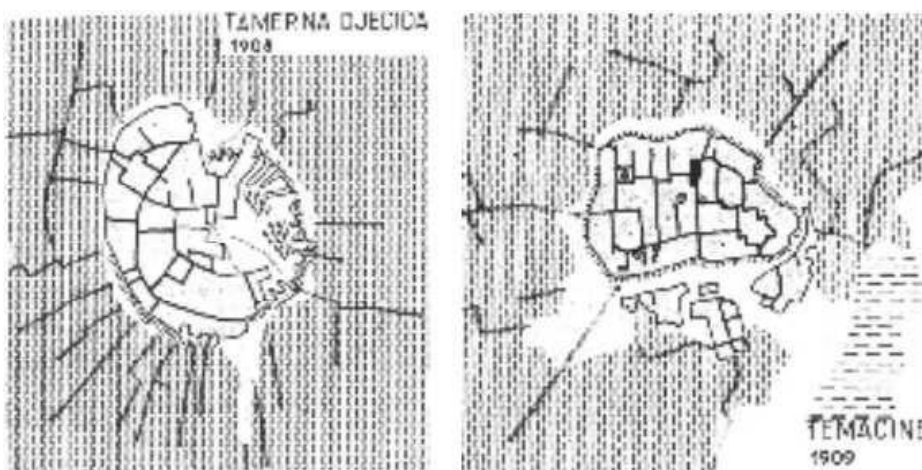


Figure III.5. Les ksour de l'Oued Righ au milieu des palmeraies.
Source : Echallier (1968).

V.4. Dans Ouargla :

Une autre typologie des ksour du Sahara algérien, est celle du pays d'Ouargla. Ces constructions sont édifiées autour d'un centre comme un organisme indépendant, son extension est possible, mais toujours, il reste clos sur lui-même au milieu de la palmeraie (Figure III.6).

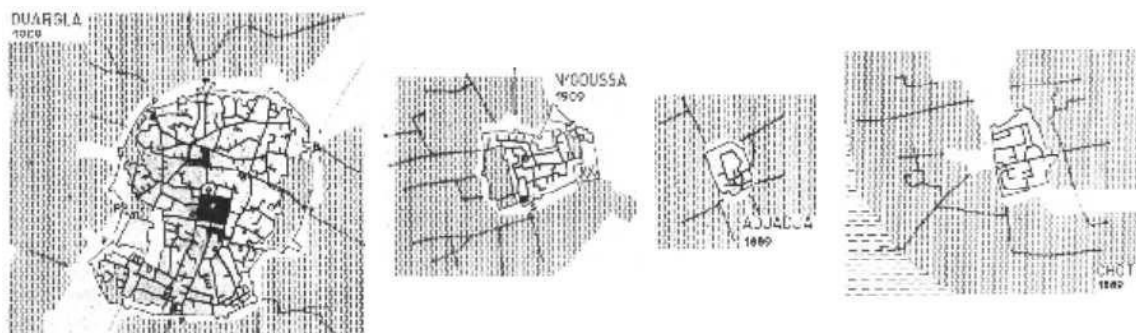


Figure III. 6. Les ksour d'Ouarglaau début du XXesiècle.
Source : Echallier (1968).

V.5. Dans le M'Zab :

Dans le M'Zab l'ensemble du bâti est nettement limité et cohérent. Cette cohérence est assurée par l'unité de la population d'origine et la courte période au cours de laquelle le ksar est fondé. Ces cités s'étalent en suivant une croissance concentrique. Cela signifie que chaque extension était liée à la précédente et définie par une nouvelle clôture qui se raccordait à celle déjà existante, sachant que, les extensions s'effectuaient sur un seul côté. Ghardaïa est la seule cité fondée sur un sommet isolé, contrairement aux autres ksour des mozabites (Melika, Béni Isguen, El Ateuf, Bou Noura) qui sont situées sur des falaises reliées au plateau et descendant vers l'oued.

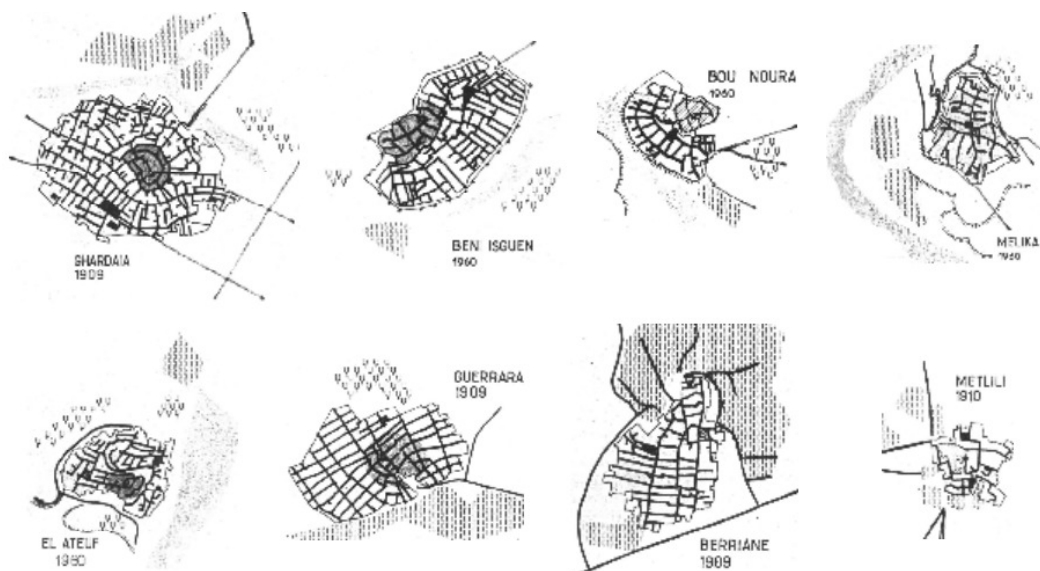


Figure 7. Les ksour du M'Zabau début du XXesiècle.
Source : Echallier, 1968

La structure radioconcentrique est la particularité la plus frappante dans le ksar de Ghardaïa, en comparaison avec les autres cités où cet aspect est moins net.

Les ksour du M'Zab sont tous conçus sur le même principe: en mettant l'activité religieuse en haut-centre, pour cela on trouve toujours la mosquée excentrée par rapport à

l'ensemble du bâti, alors que, les activités profanes telles que : le marché qui est rejeté en bas du ksar aux périphériques (Chaouche-Bencherif, 2007).

VI. La morphologie urbaine et l'organisation spatiale de tissu ksourien :

La morphologie du ksar se présente sous une forme compacte, de couleur de terre, horizontale, directement en relation avec un espace vert, la palmeraie. La forme s'organise selon le principe d'organicité ou l'on distingue différentes échelles d'appropriation de l'environnement. Le réseau viaire ksourien présente un système à base de voies de forme organique, sinueuse et irrégulière, avec des dimensions étroites, dépourvues de trottoirs, ponctuées de percées, interrompues par des voies perpendiculaires (Figure III.8). La largeur de voies diminue à l'approche des accès d'habitation.



Figure III.8. Vue satellitaire de ksar d'El Ateuf à Ghardaia.
Source: Google earth (Consulté 05/01/2018)

Le tissu urbain ksourien est la résultante d'un tissu de ruelles imbriquées. Ces ruelles sont organisées selon une hiérarchie spatiale allant de l'espace public à l'espace privé. Ces rues sont habituellement sinueuses, profondes, et possédants un ratio H/L élevé. Ceci leur offre des expositions solaires différentes et favorisait différentes ambiances climatiques (Figure III.9).

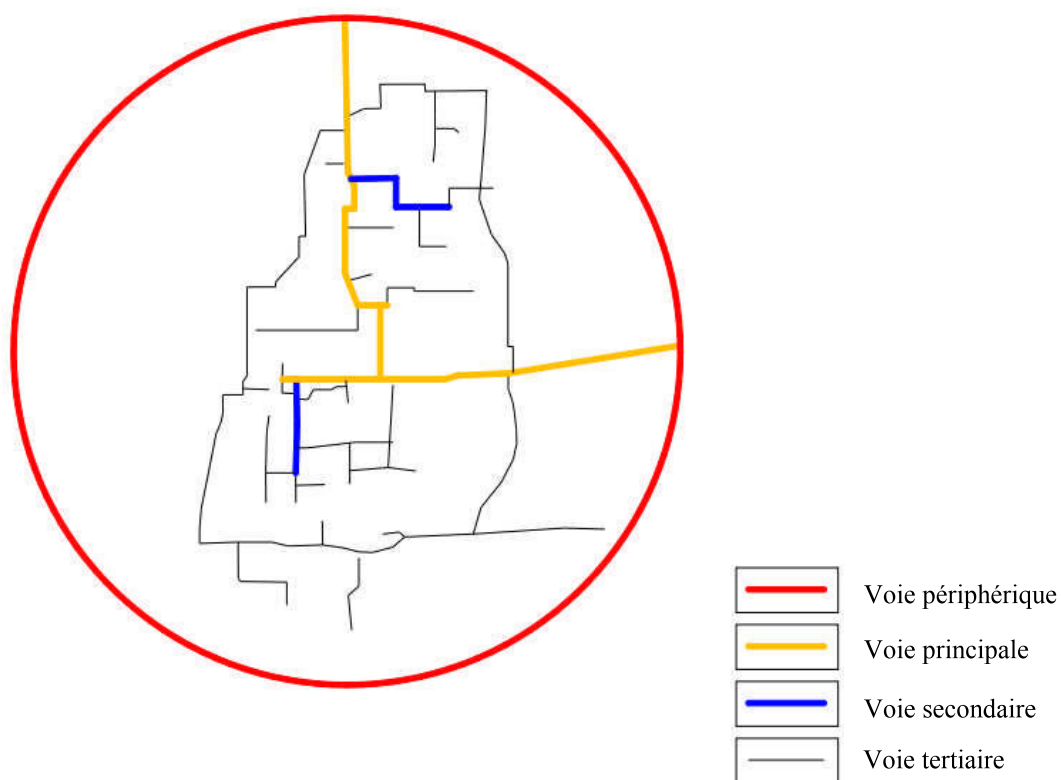


Figure III.9. Système viaire hiérarchisé du public au privé dans le ksar de Lichana à Biskra.
Source: Boutaghane (2007).

Dans ces rues, l'ombrage est procuré dans les rues profondes, par les balcons en encorbellement et par les espaces surplombant la rue. Le résultat est non seulement un effet d'ombrage, mais la modification de l'environnement visuel et lumineux. Pour cela, cette hiérarchie spatiale se reflète dans la hiérarchie d'éclairage naturel. Il est à noter que les rues principales sont plus éclairées en comparaison avec les autres typologies. Les rues secondaires et les impasses, dont l'accès aux étrangers est interdit, favorisent l'aspect d'intimité aux habitants (Boutaghane, 2007).

Malgré quelques dissemblances entre les géométries urbaines et la topologie des ksour, ainsi que les différences dimensionnelles minimales, les systèmes parcellaires de leurs tissus urbains sont relativement semblables, du point de vue de l'homogénéité et du caractère global. Le système parcellaire est composé de l'adjonction complexe de parcelles juxtaposées, ce qui donne une naissance à la notion d'associativité, qui génère un réseau complexe et parfois hiérarchisé de voiries.

VII. Matériaux de construction :

Selon les statistiques de l'ONU (L'Organisation des Nations unies), il est approuvé que plus de la moitié de la population mondiale vit dans des maisons construites avec des

matériaux à base de terre, parmi cette richesse de constructions en terre, nous retrouvons les Ksour. Dans ces constructions traditionnelles, l'utilisation des matériaux locaux issus de l'environnement immédiat est systématique. Ces matériaux diffèrent d'une région à l'autre. Le matériau le plus utilisé est la terre sous différentes formes, mais on trouve aussi la pierre, le sable, le plâtre, le gypse, le "timchent" qui est un matériau de parement et de maçonnerie de remplissage, utilisé notamment dans les régions de Touggourt (Souici, 2009).

Au Sahara, la difficulté de se déplacer et les moyens énormes que nécessitait le transport des matériaux, a conduit les ksouriens à utiliser les matériaux locaux tels que :

VII.1. La terre :

La terre constitue le matériau de construction probablement le plus ancien que l'humanité ait utilisé. La terre crue a été et est devenue à travers les traditions savantes et populaires, un des principaux matériaux de construction utilisés (Figure III.10). Parmi les modes d'utilisation de la terre :

- **Le pisé** : la terre très sableuse en gravier et cailloux, à peine argileuse (10 à 20%, aérée après avoir été extraite, est déversée dans un coffrage, compacté à son humidité naturelle, jusqu'à constituer un béton maigre qui durcit en séchant.
- **L'adobe ou la brique crue** : terre assez argileuse (jusqu'à 30%), mais très sableuse, ajoutée d'eau jusqu'à l'obtention d'un état de pâte semi-ferme (15 à 30% d'eau), de la taille d'un parpaing, elle est préfabriquée à partir des sols les plus argileux (le toub), la terre mouillée, pétrie et mouillée, et ensuite séchée au soleil.



Figure III.10. Construction en Toub au ksar de Lichana à Biskra.
Source: auteur (2014).

VII.2. La pierre :

La pierre fut depuis l'époque de l'homme des cavernes jusqu'à l'aube du 20^e siècle, le matériau de construction par excellence. La pierre possède une grande résistance à la compression. La pierre est relativement fragile aux intempéries, certaines catégories tiennent mal aux effets successifs de l'humidité et du gel. La pierre utilisée est la pierre non taillée (Figure III.11). Des blocs grossiers, de dimensions variables subissent un simple équarrissage avant d'être posés sur le lit de mortier. D'origine calcaire ou bien de type roulé, ramenées, des lits d'Oued, elles sont liées au mortier de terre.



Figure III.11. L'utilisation de la pierre comme matériau de construction à la casbah d'Ouargla. Source: auteur (2017).

VII.3. Le palmier:

Le stipe (le tronc) et la crosse de palmier, rien ne se perd du palmier. Il est utilisé dans sa totalité. La seule condition est que l'arbre doit être mort avant qu'on puisse l'utiliser. Car il s'agit de la principale richesse des ksouriens. Différents éléments sont extraits du palmier et chaque élément trouve son utilisation :

1) **Le stipe** : utilisé complet sous forme de grosses poutres, où divisé dans le sens de la longueur en 2, 3 ou 4 parties qui donneront des poutres dont les dimensions : 12 à 15 cm de côté × 2 m de longueur environ. Il peut être aussi, utilisé pour la menuiserie, en la découpe en planches assez grossières de 30 à 40 cm de largeur × épaisseur de 3 cm. La palme est d'abord séchée. Elle peut être utilisée entière ou dépouillée et réduite à la nervure (Figures III.12, III.13, III.14).



Figure III.12. L'utilisation du stipe comme des poutres à la casbah d'Ouargla.
Source: auteur (2017).



Figure III.13. L'utilisation du stipe comme un linteau à la casbah d'Ouargla.
Source: auteur, (2017).



Figure III.14. L'utilisation du stipe taillé comme des poutres au ksar de Lichana à Biskra.
Source: auteur, (2017).

2) La gaine ou (Karnaf) : de forme triangulaire et relativement résistante, elle est utilisée comme appui (hourdis) (Figure III.15).



Figure III.15.L'utilisation des gaines comme des appuis au ksar de Lichana à Biskra.
Source: auteur, (2017).

VII.4. les liants :

Les liants permettent de fabriquer les mortiers qui organisent les liaisons entre des matériaux de construction secs. Les trois grands liants sont : l'argile, le plâtre et la chaux. Le plâtre entre surtout dans la composition d'enduits intérieurs et de plaques de plâtre, la chaux est utilisée pour faire des enduits et des badigeons.

VII.5. Le Timchent :

Ce matériau est une sorte de plâtre traditionnel, de couleur grise, obtenu à partir d'un gypse hydraté. Extrait du plateau calcaire dans lequel il forme des amas lenticulaires ou des strates horizontales à 1m environ de profondeur, ce gypse est calciné dans des fours enterrés. Ceux-ci sont remplis de combustible (touffes de plantes sèches, broussailles).

VIII. Les facteurs de dégradation des ksour :

Selon MAZOUZ.S. (2005) « *malgré la richesse de l'architecture Ksourienne, une partie considérable de ce patrimoine souffre de l'abandon de ses habitants à cause de dégradations connues par ces établissements. Le matériau de construction terre, qui représente le matériau de base servant à la construction de ces établissements humains, constitue le talon d'Achille et de ces groupements et participe, par sa dégradation et son manque de durabilité, à la disparition pure et simple de pans entiers de la mémoire collective et nationale* ».

En Algérie, des centaines de ksour, des milliers d'habitations, de somptueuses constructions, complètement construits en terre, sont destinés à une ruine lente si aucune stratégie de sauvegarde n'est pas entamée d'urgence.

Haoui Bensaada (2010) a également présenté les différents facteurs intervenants à la dégradation du tissu ksourien, qui sont:

VIII.1. les facteurs classiques :

Le vieillissement des constructions, la perte des fonctions des espaces et de certains éléments ne jouant plus leurs rôles (les Murs de rempart et Tours de guet), l'abandon des édifices à cause de leur incapacité d'accueil, en dépit de leur valeur historique, architecturale et spatiale (Mosquées intra-muros).

Le besoin de l'homme de se loger dans un espace plus confortable et « moderne », ainsi que la doctrine que ce genre des constructions c'est un signe de pauvreté engendrent chez lui l'impression de la nécessité de chercher à changer sa maison en terre, qui nécessite beaucoup d'entretien, par une nouvelle maison construite en ciment. Ces conditions mettent en relief la dégradation et la discontinuité du bâti dans ses gabarits, ses volumes, ses matériaux, sa couleur et sa texture.

VIII.2. les bouleversements des conditions de vie :

Par l'apparition de nouvelles typologies d'habitat dans le ksar, le mode de vie a connu beaucoup de changement, et l'émergence de nouveaux besoins en espaces et en activités, par des habitations à modèle, considéré, comme un intrus de la réalité urbaine. Ainsi, des nouveaux matériaux adoptés et les traitements des façades ont contribué à la transformation de paysage urbain.

VIII.3. Les pathologies constructives :

- Manque de raidisseurs et de chaînage.
- Soubassement découvert et non protégé (déchaussement).
- Absence de fondations et soubassements.
- Le mauvais ancrage des solives provoque le poinçonnement, l'effondrement de la toiture avec des fissures au niveau de la structure.
- L'émergence des phénomènes de stagnation et d'infiltration d'eau à cause de l'enduit et les revêtements étanches à la base de ciment.
- Revêtement des rues et places par un revêtement en ciment ce qui provoque des troubles aux systèmes d'irrigation et affaissement engendrant une stagnation des eaux.

CONCLUSION :

L'espace oasien constitué essentiellement de la palmeraie, de l'eau et de l'habitat. Le ksar, en tant que résultat physique de l'organisation sociale typique de la société saharienne, demeure une richesse patrimoniale sûre du Sud algérien. L'oasis reste la forme la mieux adaptée aux conditions climatiques du Sahara sur le plan architectural et urbain. Elle témoigne, à travers une architecture ksourienne originale, d'un modèle urbain bien équilibré dans un milieu stérile.

L'originalité de l'architecture des ksour s'exprime dans l'emploi des matériaux, l'adoption des formes, l'utilisation rationnelle des espaces, la fonction, le rôle et l'utilité de chaque construction. Il est un habitat qui a pour point de départ les besoins, et pour finalité la satisfaction de ses besoins à travers l'application du savoir-faire humain. Le bâti est considéré comme un vecteur d'une culture constructive. La configuration générale du ksar, le mode d'organisation de l'espace, les techniques et matériaux de construction utilisés, les fondements socio-économiques et les rapports au terroir sont autant d'indices qui témoignent de l'originalité et de la pérennité de ces établissements humains sahariens.

L'architecture traditionnelle offre à l'architecte qui veut bien y être sensible, une leçon de modestie : il y découvre une démarche, un équilibre, un style qui le laissent bien souvent désemparé, obligé de conclure à son inutilité ou à son inadaptation. Surtout quand on parle de l'architecture saharienne qui présente une leçon d'habitat bioclimatique à travers son adaptation aux conditions climatiques extrêmes.

Il existe plusieurs logiques d'organisation de « l'espace ksourien ». Les plus déterminantes demeurent celles qui relèvent de ce que nous avons appelé « le mythico-rituel ». Les logiques technologiques et rationnelles restent secondaires. Contrairement à ce qui semble que ces établissements humains sont le produit d'une spontanéité. Ces habitations sont le produit d'une planification pensée plus complexe que la planification de nos jours, en ce sens où elle a pris en considération non seulement le rationnel, mais encore et surtout l'irrationnel : le spirituel.

Il est à rappeler que le ksar est le produit d'une cohésion sociale qui a servi à l'enrichissement de ses expressions culturelles qui se manifestent dans la vie quotidienne par des œuvres matérielles et d'autres, immatérielles (Haoui Bensaada, 2010). Dans cet état de fait, les ksour (ou ce qui en reste), se présentent aujourd'hui, sous forme de trois classes:

1. ksar en ruine complètement délaissé, loin des agglomérations récemment fondées.
2. ksar totalement délaissé avoisinant aux villages peuplés.

3. ksar partiellement habité fonde une composante urbaine d'une ville saharienne (cas Ouargla, Timimoun, Adrar).

L'homme saharien considère, quant au fondement de son espace architectural et urbain, les différentes contraintes, notamment le climat, l'environnement, ainsi que la culture. L'architecture saharienne met en liaison ses principes entre le passé, le présent et les perspectives, elle compose tout particulièrement avec les conditions climatiques. L'habitat vernaculaire, et plus précisément dans les climats extrêmes, s'intègre avec son environnement, avec le climat, avec le vent, le soleil et la maison devient, en adoptant différentes stratégies, un abri. Aujourd'hui, ces paramètres ne représentent plus des facteurs primordiaux dans la conception de l'espace urbain. Donc, le tracé organique des rues de l'ancien noyau n'est plus suivi, ces rues sont devenues des tracées pour des limites cartésiennes aux îlots, en adoptant le plan damier cartésien de la nouvelle tendance. Autrement dit les concepteurs et les urbanistes ne font qu'importer intégralement des prototypes urbains étrangers répondants à la modernité, afin de les appliquer dans leurs espaces aux frontières d'un patrimoine ancestral.

La mise en place d'un centre de recherche et d'interprétation pour la sauvegarde et le développement des milieux oasiens en Algérie est nécessaire, c'est un espace permettant la recherche dans les différentes disciplines : Architecture, archéologie, histoire, économie et écologie ; condition nécessaire pour répondre aux exigences d'une valorisation du milieu oasien en garantissant sa préservation durable et son rôle en tant que facteur de développement local et national.



CHAPITRE IV
MORPHOLOGIE URBAINE ET
MICROCLIMAT URBAIN: OUTILS
ET METHODES

« *Dehors est un autre dedans* »

Le corbusier

« En effet, l'extension des immeubles d'habitation, l'augmentation du nombre de voitures, les gaz d'échappement, les lumières des rues, les systèmes de chauffage et de climatisation, l'imperméabilité des espaces, provoquent toute une série de facteurs qui modifient considérablement les conditions climatiques propre à une région donnée faisant naissance à un nouveau type de climat spécifique aux villes appelé : climat urbain »

Escourrou

INTRODUCTION :

L'espace public se présente sous plusieurs formes. Il peut être : une place ou une esplanade. Aussi, la rue, le boulevard ou l'avenue, la voie périurbaine ou la voie rapide sont des exemples concrets de l'espace public. Il peut être également un parking, une zone industrielle, un centre commercial ou un grand ensemble. L'espace public prend la forme de jardin, de square, d'un grand parc urbain ou le bord d'une rivière. Tous ces espaces d'une grande importance définissent l'image de la ville (Zerouala, 2009). La géométrie des tissus urbains influence considérablement le climat des villes, de différentes façons, dans le domaine de la recherche climatique dans une zone urbanisée. La notion de « canyon urbain » est un concept primordial et une expression de la géométrie urbaine. Cette expression est relative au rapport entre la hauteur des bâtiments (H) et la largeur d'une rue (L). Le climat urbain des villes est très souvent étudié à travers l'analyse des rues « canyons » puisqu'il s'agit d'un élément clé du tissu urbain.

Bien que le confort thermique à l'échelle urbaine est influencé par quatre variables climatiques (la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse de l'air, et le flux du rayonnement (quantifié par la température moyenne radiante), c'est la vitesse du vent et la température moyenne radiante qui peuvent être significativement variées en changeant l'orientation de la rue et le rapport entre la hauteur des bâtiments environnants et la largeur de la rue (H/L) (Ndetto et al, 2013). Dans ce chapitre, nous allons étudier les paramètres morphologiques et géométriques en relation avec le microclimat urbain. Nous allons présenter également les différents effets qui ont lieu dans la rue ainsi que le phénomène de l'îlot de chaleur urbain.

I. La morphologie urbaine :

I.1. Définition de la morphologie urbaine :

Selon le dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement : « *La morphologie est l'étude de la forme urbaine* ». Le terme de morphologie urbaine s'emploie dans deux sens différents ; il est à la fois polysémique et pluridisciplinaire. Mais d'une manière plus générale, il peut désigner:

- Un ensemble pris antérieurement à son analyse ; c'est-à-dire un objet de connaissance à construire : la forme urbaine (morphologie-objet).

- Un ensemble soumis à l'analyse comme objet construit ; c'est-à-dire le moyen rendant possible la connaissance de l'histoire de la ville par sa forme (une théorie d'analyse morphologique). Donc, La morphologie urbaine a toujours été considérée comme une branche auxiliaire de l'histoire urbaine.

L'étude de la morphologie urbaine repose sur la réintroduction de la dimension physique et spatiale dans les études urbaines. Mais la difficulté dans les études morphologiques réside dans le fait que les villes d'aujourd'hui se présentent comme des ensembles hétérogènes sur le plan formel ; il est donc difficile de saisir et lire leur morphologie. Car en fait, la forme d'une ville présente la forme d'une époque, qui lui attribue une épaisseur historique, et qui est le résultat de son expansion dans l'espace sur une étendue géographique. Il en résulte alors une juxtaposition de fragments urbains hétérogènes sous forme d'une « expansion spatio-temporelle urbaine évolutive » (Hamel, 2005). Gauthier (2003) a défini la morphologie urbaine comme : « *l'étude de la forme physique de l'espace urbain, de son évolution en relation avec les changements sociaux, économiques et démographiques, les acteurs et les processus à l'œuvre dans cette évolution. Par extension, la configuration formelle et structure de l'espace urbain, l'ensemble des liens spatiaux et fonctionnels organisant entre eux les édifices, aménagements urbains... etc. elle procède notamment par analyse des formes en plans et en volumes.* ». Duveau (1994) stipule que la morphologie urbaine recouvre la notion de la forme urbaine et lui rajoute la dimension spatiale qui vient d'être abordée.

Rémy Allain (2005) a défini la morphologie urbaine comme l'étude de la forme physique de la ville, de la constitution progressive de son tissu urbain et des rapports réciproques des éléments de ce tissu qui définissent des combinaisons particulières, des figures urbaines (rues, places et autres espaces publics...)

D'après Aymonino (1970) : *la morphologie est « l'étude (la description ou la classification) des causes qui contribuent à la formation et à la modification de la structure physique de la ville ».*

Dans le cadre de la présente recherche, la morphologie urbaine signifie la forme tridimensionnelle d'un ensemble bâti ainsi que les espaces qu'ils créent autour d'eux (Steemers, 2004).

Pour Adolphe (2001), la configuration urbaine de la ville est la résultante d'une interrelation très complexe entre plusieurs paramètres, tels que la situation géographique, la situation socio-économique, la géométrie, la typologie, la culture...etc. La nature de cette interrelation semble différente pour chaque nouveau tissu urbain. Il affirme que la variation importante de la morphologie urbaine à l'échelle « *microscopique* » a un effet direct sur le climat extérieur et intérieur: la vitesse du vent, la température de l'air, l'échange du rayonnement solaire et la lumière naturelle. À l'échelle « *macroscopique* » cette variation influence les conditions du confort extérieur, modifie l'équilibre thermique et éclairage artificiel des bâtiments, amplifie l'effet d'îlot de chaleur urbain et le confinement de la pollution atmosphérique.

I.2. La forme urbaine :

La forme urbaine est une création architecturale relevant d'un savoir-faire (art urbain), possédant une certaine diversité typologique de ses composants. C'est une architecture spécifique à la ville, faite d'édifices publics et privés, reliés par des espaces publics (rues places, jardins) dont la répartition et l'aménagement relèvent de l'art urbain (Duveau, 1994). Au niveau de l'analyse typo-morphologique, la notion de la forme urbaine ne tient pas seulement le plan de la ville et ses tracés, mais la forme spatiale, tridimensionnelle. (PRIGENT, 2007). Le concept de la forme urbaine peut englober plusieurs échelles, de l'échelle macroscopique à l'échelle microscopique, ou plus précisément, de la ville à la parcelle. Donc, la forme de la ville désignant la configuration globale de la ville.

D'après le séminaire international sur les formes urbaines (ISUF) (Moudon, 1997) : La forme urbaine est définie à travers trois éléments fondamentaux : Les bâtiments et leurs espaces ouverts correspondants, les parcelles et les rues. Elle est étudiée à travers plusieurs niveaux de résolution dont quatre qui sont les plus significatifs : Bâtiments /Parcelle, îlot/Rue, la ville et la région.

I.3. Le tissu urbain :

Le tissu urbain : l'expression métaphorique « tissu urbain » assimile les cellules construites et les vides du milieu urbain, c'est l'expression physique de la forme urbaine, faisant référence au site, au réseau viaire, à la division parcellaire, au rapport entre les espaces bâtis et non bâtis, aux formes et aux styles des bâtiments ainsi qu'aux éléments qui les relient (Duveau, 1994).

II. Approche théorique sur la rue :

II.1. Définition :

Du latin « ruga » (ride, sillon, puis, en bas latin : rue), voie bordée de maisons ou de muraille dans une ville ou un village au moins en partie, de maisons, dans un bourg, voie aménagée dans un ensemble urbain clôturé par les propriétés disposées suivant un alignement et comprenant une chaussée, destinée à accueillir les automobiles, bordée dans les deux cotés par des trottoirs à l'usage des piétons. La rue est un élément essentiel de toutes les cultures urbaines, depuis l'antiquité, elle y présente des aspects et y joue des rôles différents (Merlin et al, 2010).

C'est une voie dans une ville, définie par des bâtiments ou de clôtures. Elle peut être décrite par son profil en travers, en particulier par le gabarit des édifices qui la bordent et par son profil en long. Sa forme est variable et son emplacement peut être dicté par la configuration du site. La rue a d'abord été perçue comme un cheminement qui conduit quelque part, mais ses fonctions peuvent être multiples selon son importance dans la voirie, sa place dans les accès à une agglomération, l'histoire de l'urbanisation.

Du latin « Ruya » ; qui signifie chemin bordé de maisons ou de murailles dans une agglomération, elle ordonne et oriente le bâti et le tissu urbain, un espace de la circulation mécanique, donc c'est un espace structurant du quartier et de la ville, qui participe à la perception de l'espace urbain (Amireche, 2012).

Selon le dictionnaire Petit Larousse, « *la rue est une voie publique aménagée dans une agglomération* ».

Dans le vocabulaire du quotidien, parmi les définitions couramment consacrées, celle stipulant que la rue signifie un espace réservé aux activités de circulation et de

stationnement pour les hommes (Dris, 2004). La rue est l'un des éléments structurants de la morphologie de la ville, elle est par excellence le lieu où s'écoulent les flux de la ville, elle adopte les fondements de la vie sociale, et compose un lieu où se déroulent les activités humaines et par où ils transitent. Ce sont des réseaux qui tissent la ville. (GHERRAZ, 2013). Le rôle de la voirie a évolué au cours des siècles. Jadis simple lieu de rencontre, aujourd'hui, de nombreuses activités se déroulent dans cette partie de la ville, parmi lesquelles: l'écoulement de la circulation; ainsi, elle dessert les activités, modèle l'espace urbain, crée un cadre de vie, assume une fonction sociale et participe à l'enracinement du citadin.

II.2. Typologie des rues :

II.2.1. Les voies :

Amireche, (2012) a donné une classification aux voies :

- La voirie rapide assurera la circulation générale de pénétration et de transit au niveau de l'ensemble de la ville.
- La voirie artérielle permettra la liaison entre les différents quartiers de la ville, elle assure un écoulement mécanique maximum, et dans laquelle la vitesse est égale à 60 km/h.
- La voirie de distribution facilitera les déplacements internes aux quartiers à une vitesse maximale de 50 km/h.
- La voirie de desserte permettra, à vitesse réduite, l'accès aux immeubles et aux diverses activités urbaines. Des dispositifs spécifiques pourront exister dans ce type de voie pour limiter la vitesse.

Il est à noter qu'à l'intérieur d'un tissu urbain ancien, une même voirie assure à la fois plusieurs fonctions. Une voirie de distribution sert souvent à fournir les mêmes activités d'une voirie de desserte; une voirie artérielle garantit également la distribution dans le quartier où elle passe.

L'évidence de la rue tient à ce double caractéristique : parcours et support de l'édification. Qu'il s'agisse de tracés anciens ou de voies nouvelles, la rue sert à organiser le cadre bâti, et définir les limites la parcelle. Donc, la rue et le découpage parcellaire qui s'instaure de part et d'autre formant la base de l'édification de la ville (Panerai et al, 1999).

II.2.2. Les ruelles :

Plus étroite que les rues, un certain nombre de voies ne jouant qu'un rôle de desserte locale, les ruelles constituent souvent aussi pour ceux qui les connaissent un réseau « discret » où la circulation mécanique est limitée, voire absente. Par différence avec les rues, la largeur d'un passage varie de 6m environ à 1m et moins. (Panerai et al, 1999). Selon le dictionnaire « Larousse », la ruelle est une petite rue étroite. Une ruelle est une petite rue entre plusieurs bâtiments, elle est souvent accessible uniquement pour les piétons (Figures IV.1, IV.2).

La ruelle est une rue courte, secondaire et étroite. L'accès à ce type des rues est parfois via un passage privé. Elle peut avoir pour origine un vide séparatif et elle est principalement réservée aux piétons, sa largeur étant insuffisante pour recueillir deux véhicules de front, voire d'un seul (Gauthier, 2003). La ruelle est une rue secondaire, plus étroite que la rue, elle ne joue que le rôle de desserte locale et elle est parfois accessible par un passage, sa largeur étant insuffisante pour le passage de deux véhicules. Elle joue aussi un rôle structurant dans l'implantation de bâti (GHERRAZ, 2013). Les ruelles se rencontrent notamment dans les anciens quartiers des villes, notamment en Europe et dans le monde arabo-musulman.



Figure IV.1. Ruelle à El kasbah d'Ouargla.
Source: auteur (2018)

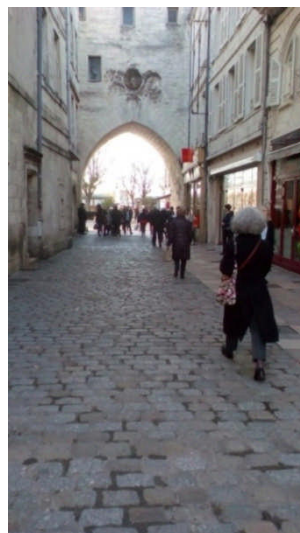


Figure VI.2. Ruelle à La Rochelle
(France). Source: auteur (2017)

II.2.3. Les rues et les passages couverts :

Une rue couverte est une rue protégée par une toiture ou un bâtiment. La rue intérieure est placée à l'intérieur d'un édifice et bordée de bâtiments (Figure IV.3).

Selon sa forme, la rue peut être droite et offre des avantages pratiques qui sont ceux du plan orthogonal notamment la clarté du plan, la facilité de la circulation, comme elle peut être une rue courbe qui ne manque pas, elle est aussi, d'argument pratique et théorique en sa faveur. Les villes méditerranéennes et tropicales préfèrent les rues courbes à cause des inconvénients de la rue droite, comme l'exposition au soleil, au vent et à la pluie. Elle est désagréable dans les pays chauds.



Figure IV.3. Ruelle à El kasbah d'Ouargla.
Source: auteur (2018)

III. La place :

III.1. Définition :

Originellement, le fondement des places est soumis aux aspects fonctionnels et formels. Née de la nécessité de se rassembler devant le siège du pouvoir, devant le temple, ou dans les lieux du commerce, la place devient un support des fonctions essentielles de la cité : l'échange, la rencontre au sens le plus large du mot. Les places publiques de nos jours servent beaucoup plus à permettre à l'air et à la lumière de se dissiper dans un tissu urbain très dense. On désigne « place » toute parcelle de terrain entourée de rues et sur laquelle on a renoncé à élever toute construction (Amireche, 2012).

La place est un espace concentré et limité alors que d'autres voies peuvent s'étendre sur des centaines de mètres, voir, des kilomètres de long, on admettra que les places ne représentent alors qu'une portion minime du territoire urbain (Panerai et al, 1999).

Dans le dictionnaire d'urbanisme, Merlin et al (2010) ont défini la place, nommée du latin *platea* (espace public), comme un lieu public découvert composé de l'ensemble d'un espace vide et des bâtiments qui l'entourent. Son importance et son rôle varient en fonction des cultures et des époques ainsi que de l'intensité de la vie publique. Dans certaines cultures, la place urbaine n'a pratiquement pas d'existence (Islam), dans d'autres, elle est uniquement liée à des pratiques religieuses (Mexique précolombien). Cet organe urbain a joué un rôle polyvalent (politique, social, religieux, économique) dans les cités de l'antiquité grecque et romaine, ce qui rend l'agora et le forum des symboles de la vie urbaine et de l'espace public.

La place dans le dictionnaire arabe trouve son équivalent, selon Amireche (2012):

- « Seeha », espace non bâti, découvert, se trouvant entre les maisons du quartier.
- « Rahba » désigne un grand espace devant le campement de tentes destiné à accueillir les visiteurs étrangers.
- Le « Mrah » désigne le campement des caravanes abritant les chameaux. Espace pour marquer une pause, se détendre et se reposer.

III.2. Typologies de places :

Selon L. Cloquet (1985), on distingue quatre types de places publiques:

III.2.1. Les places de circulation :

Les places de circulation résultent du croisement des rues destinées spécialement à la circulation mécanique, autrement c'est un grand « rond-point ». Elles sont situées dans le tissu urbain plus ou moins dense, ces places donnent une belle image à la cité, elles fournissent de l'air et de la lumière et servent aux jeux, aux rencontres et aux réunions publiques (Figure IV.4).



Figure IV.4. Place des nations à Paris. Source: auteur (2017)

III.2.2. Les places monumentales :

Ce sont des places généralement bordées par des bâtiments dont les façades sont monumentales et dont le centre est soit vide, soit occupé par un monument (Figure IV.5).



Figure IV.5. Place royale à Nantes. Source: auteur (2015).

Dans cette catégorie on trouve : la place de la mosquée, de l'église, de l'hôtel de ville, du château, celle du palais de justice et celle de la gare. On a une double fonction de ces places :

- Vu le taux important de fréquentation de ces équipements repérant la place tels que:la mosquée, le marché... Ces places servent à une extension de la fonction principale de cet équipement.
- Elle permet de mieux exposer un édifice important et participe à l'aération du tissu urbain généralement dense au centre-ville.

III.2.3. La place d'armes :

Ce type des places est la résultante d'un élargissement, ou d'une fortification. Elles occupent en général une position centrale, en contact direct avec le périmètre à défendre. Elles sont des esplanades étendues destinées aux entraînements et aux réunions militaires.

III.2.4. La place du marché :

Ces places sont généralement repérées par le marché qui est plus ou moins grand par son aménagement spécialisé. Presque toutes les villes anciennes possèdent ce genre de place, elles sont souvent associées à d'autres fonctions principalement religieuses, ce qui justifie la présence de mosquées et de l'église dans le prolongement de la place. Pour ce type des places on a retenu la place du marché de Ghardaïa comme un exemple illustratif. De forme rectangulaire avec une surface atteignant environ 3.400 m², cette place est entourée d'une galerie d'arcades de différentes formes et dimensions, sous lesquelles s'ouvrent des boutiques et des petits commerces (Figure IV.6).



Figure IV.6. La place du marché de Ghardaïa. Source : <http://www.opvm.dz>

IV. Les descripteurs géométriques du tissu urbain :

IV.1. Le canyon urbain :

Un des éléments le plus largement utilisés pour faire une telle description est le canyon urbain. Comme son nom indique, c'est un espace linéaire comme la rue, il est limité sur ses deux côtés par des éléments verticaux tels que les murs des bâtiments adjacents. Il contribue à la production de la texture urbaine. La géométrie du canyon urbain peut être décrite par trois principaux descripteurs :

IV.1.1. Le ratio H/L :

C'est un des paramètres les plus pertinents dans la description d'un tissu urbain pour sa capacité de contrôle solaire et ses effets sur le refroidissement des bâtiments.

C'est le rapport entre la hauteur moyenne des bâtiments qui entourent l'espace à sa largeur. Il est aujourd'hui démontré que la température des villes (Figure IV.7) dépend de la hauteur des bâtiments H et la largeur de la rue L (OKE, 1987).

Il est aussi connu comme le ratio d'aspect, il décrit les dimensions des éléments du canyon urbain (Figure IV.8). Il est défini comme le rapport entre la hauteur moyenne des bâtiments adjacents et la largeur moyenne de la rue. Tandis que le ratio d'aspect s'applique le plus directement aux canyons symétriques dont les bâtiments adjacents ont une hauteur continue. Une mesure supplémentaire, qui est parfois utilisée avec H/L , est la longueur de canyon ℓ . Dans de nombreux cas où ℓ est beaucoup plus grand que H ou que L , la rue dans ce cas est dite « profonde » (Erell et al., 2011). Ainsi lorsque l'on parle d'une rue canyon profonde cela signifie que la hauteur des bâtiments est élevée tandis que la rue est étroite et, à l'inverse, une rue canyon peu profonde implique une rue large et des bâtiments de faible hauteur.

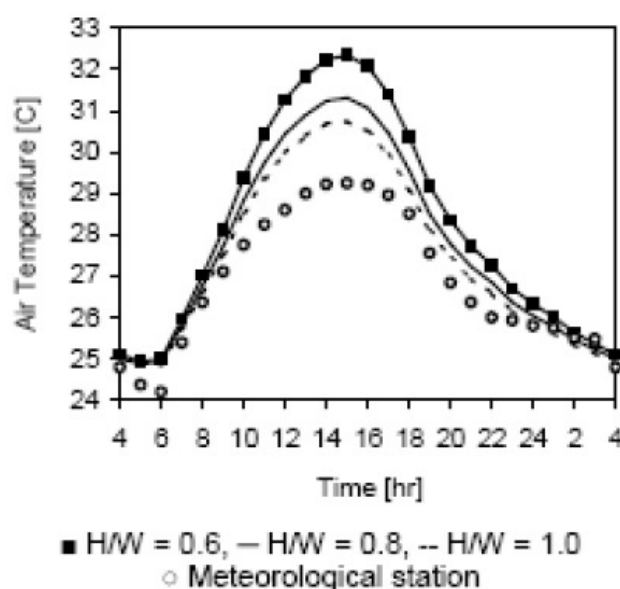


Figure IV.7. Variations des températures de l'air en fonction du rapport H/L .
Source: Shashua-Bar.L et al (2003)

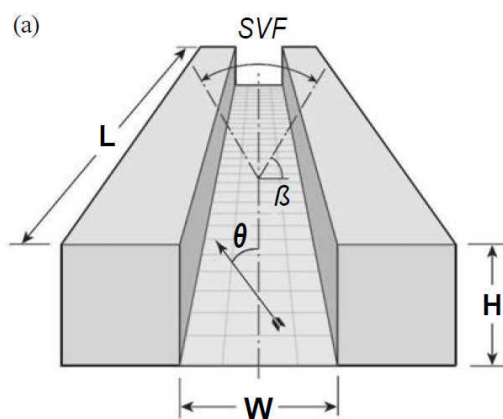


Figure IV.8. Schéma d'un canyon urbain symétrique et ses descripteurs géométriques.
Source: Erell et al. (2011)

La géométrie urbaine définie par ce ratio influence l'état des vents en diminuant leur vitesse et en accentuant leur direction. Il est à noter également que la température des villes dépend de la hauteur des bâtiments (H) et de la largeur des rues (L)(Oke 1987).

Le phénomène de l'îlot de chaleur nocturne est lié à un rapport H/L élevé (Figure IV.9), ce dernier, offre des conditions de température diurne inférieure à celle de la campagne avoisinante. Ce phénomène est appelé « îlot de fraîcheur » ou « cool island » (Kedissa, 2010).

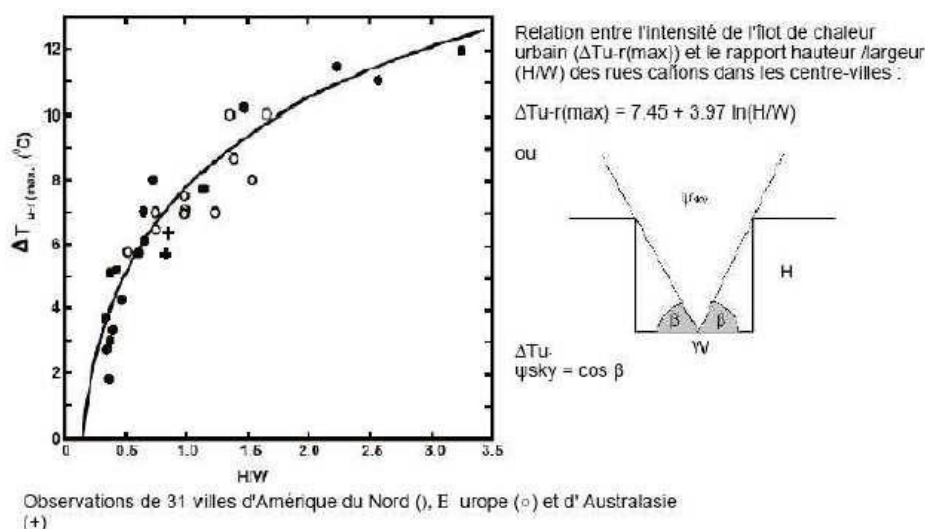


Figure IV.9. Relation entre l'intensité de l'ICU nocturne et le rapport H/L.
Source: International association for urban climate (2004)

Le rapport H/L définit selon sa valeur trois classes de typologies de rue, autrement dit, trois formes géométriques de la rue :

IV.1.1.1. La forme canyon :

Le mot « canyon » est un concept anglais qui détermine une vallée profonde creusée par un cours d'eau. En milieu urbain, le canyon est un espace étroit bordé dans ses deux extrémités par des parois verticales très proches. Jean Louis Izard (2000) définit le canyon urbain comme étant une rue bordée d'immeubles et où la hauteur de ceux-ci est supérieure à deux fois la largeur de la rue $H > 2L$ (Figure IV.10).

Dans la « rue-canyon », le rayonnement ne parvient pas à pénétrer sauf s'il se présente dans le plan axial du canyon, ce qui dépend de l'orientation de ce dernier. Le rayonnement solaire dans cette typologie est piégé et peut provoquer des échauffements instantanés importants, mais la durée de ce phénomène est faible à l'échelle de la journée et cela dépend fortement de l'orientation de la rue. Le sol s'échauffe peu et l'air y est en

général, très calme, ce qui rend la possibilité de leur ventilation très limitée en cas de surchauffe.

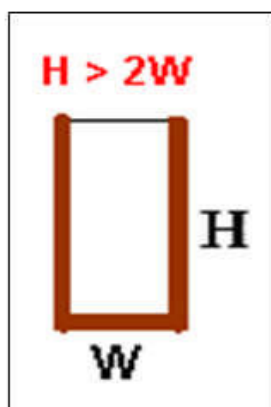


Figure IV.10. La forme de la rue canyon.
Source: Izard (2000)

IV.1.1.2. La forme dièdre :

Un espace « dièdre » se forme lorsqu'une surface horizontale est interrompue par une surface verticale. Dans un espace dièdre, le ciel et les façades sont vus angulairement de manière équivalente : on peut donc avoir en même temps un ensoleillement direct et un éclairage par les façades. Dans ce cas l'une des conditions suivantes doit être vérifiée : $H=0,5L$ ou $H/L=1$ (Figure IV.11).

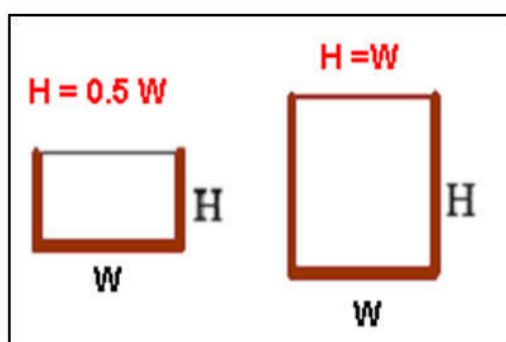


Figure IV.11. La forme de la rue dièdre.
Source: Izard (2000)

IV.1.1.3. La forme dégagée :

Tout espace libre non bordé par des immeubles ou des masses végétales où $H > 0,25L$ (Figure IV.12). Dans un espace dégagé, le ciel occupe une proportion importante de la visibilité angulaire de l'espace est exposé au rayonnement très prépondérant du soleil et du

ciel. Avec des faibles vitesses d'air, la température de surface au sol dépend essentiellement de l'albédo qui détermine la quantité d'énergie absorbée. (Kedissa, 2010)

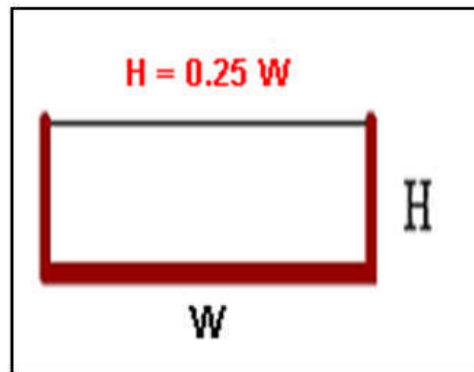


Figure IV.12. La forme de la rue dégagée.
Source: Izard (2000)

Le ratio H/L exprime le rapport entre la hauteur moyenne de l'espace et sa largeur. Pour un espace de forme polygonale non homogène, la plus petite largeur entre les bâtiments doit être considérée (Ait-Ameur et al, 2002).

IV.1.2. L'orientation de canyon :

Selon Gauthier (2003), « *C'est la disposition d'un bâtiment ou un aménagement urbain par rapport aux éléments principaux d'un site ou aux points cardinaux. Le site, par son relief et sa configuration la parcelle et le vent peuvent déterminer la disposition d'un bâtiment ou d'un aménagement urbain.* ».

Donc, c'est la disposition d'un bâtiment ou un aménagement urbain par rapport aux éléments principaux d'un site ou aux points cardinaux. Elle représente la direction de l'espace allongé, mesuré par des degrés d'angle entre l'axe nord-sud et l'axe principal de la longueur de la rue ou d'autre espace linéaire. Souvent, l'orientation d'axe du canyon est simplement décrite par la direction cardinale la plus proche (par exemple. N-S, E-O) ou diagonale (NO-SE, NE-SO) (Erell et al., 2011).

Selon Givoni (1998), l'orientation des rues affecte le climat urbain à plusieurs égards :

- Les conditions de vents dans les espaces urbains.
- L'ensoleillement et l'ombrage des rues et des trottoirs.
- L'exposition solaire des bâtiments dans la rue.
- Le potentiel de la ventilation des bâtiments dans la rue.

L'orientation des rues détermine, également, le tracé du rayonnement solaire qui pénètre dans les bâtiments qui bordent ces rues et dans les espaces entre eux. En outre, elle affecte le confort des personnes dans ces espaces. L'orientation des espaces urbains détermine l'orientation des bâtiments par lesquels les rues sont enveloppées.

Dans un climat chaud et aride, la disposition de la rue est conçue avec pour objectif de fournir un ombrage maximal pour les piétons, en été, et réduire les heures d'exposition solaire des bâtiments enveloppant la rue.

IV.1.3. Le Facteur de vue du ciel (FVC) :

Il définit la section de la rue qui s'ouvre vers le ciel. (OKE, 1987). Le FVC d'un canyon urbain est étroitement lié à son aspect (H/L)(Figure IV.13). C'est la proportion de la surface de la partie du dôme de ciel ouvert, d'un point particulier sur cette surface. Ce paramètre est estimé sans unité de mesure, ses valeurs varient entre 0 et 1. Le FVC vaut 1 au cas où aucun obstacle n'empêche la vue (champ isolé) alors qu'il diminue quand la vue est obstruée (Oke, 1981).

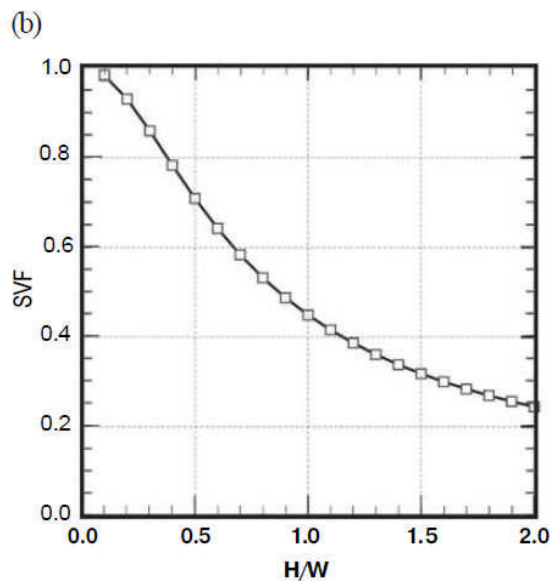


Figure IV.13. Le rapport entre le ratio H/L et FVC.
 Source: Erell et al. (2011)

D'après Erell et al. (2011), pour calculer le FVC on caractérise deux cas :

- Si le canyon est symétrique profond, le FVC est calculé par la formule suivante :

$$SVF = \cos \beta \quad (\beta : \text{l'angle solide de vision à partir la ligne centrale de la surface plane})$$

$$\text{Tandis que } \beta = \tan^{-1}(H/0,5L)$$

- Si le canyon est asymétrique profond, le FVC est calculé par la formule suivante :

$$SVF = (\cos \beta_1 + \cos \beta_2) / 2$$

$$\beta_1 = \tan^{-1}(H_1/0,5L)$$

$$\beta_2 = \tan^{-1}(H_2/0,5L). (H_1, H_2 \text{ les hauteurs des bâtiments sur les deux côtés du canyon}).$$

Lorsqu'un canyon présente rapport H/L très élevé (faible SVF pratiquement), cette géométrie garantit une température diurne inférieure à celle de la campagne avoisinante. Ce phénomène est appelé îlot de fraîcheur ou « cool island ». (OKE, 1987)

IV.1.4. L'albédo :

L'albédo solaire de surface est un paramètre morphologique de prime importance par rapport aux spécificités microclimatiques urbaines. L'urbanisation se caractérise par une diminution de l'albédo de surface, dont certaines valeurs classiques sont données à la figure IV.20, il est lié notamment à la disparition de la végétation, en particulier pour le cas de l'asphalte qui présente les valeurs supérieures.

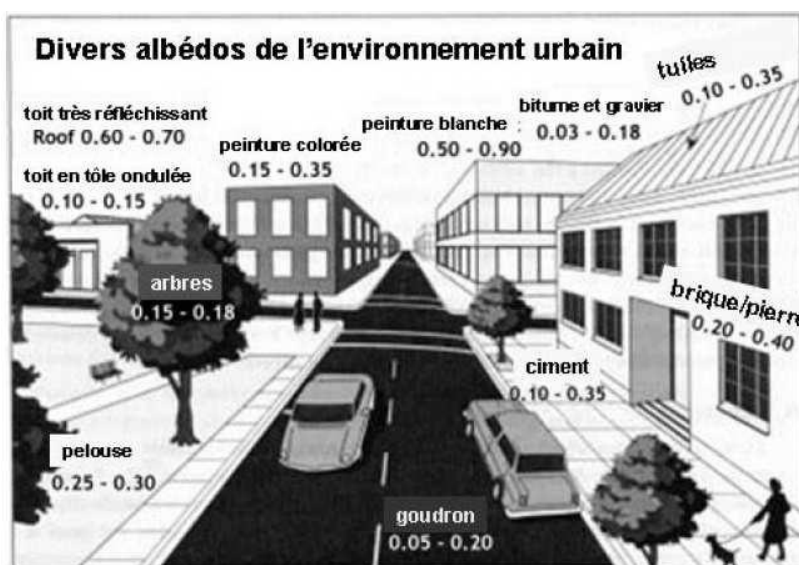


Figure IV.14. Les valeurs de l'albédo dans l'environnement urbain.
Source: Bozonnet (2005).

L'urbanisation actuelle a souvent entraîné une diminution globale de l'albédo de surface, due en particulier à la diminution du taux des surfaces végétalisées. Cette particularité du milieu urbain peut avoir un impact sur les bâtiments du même ordre que l'effet d'îlot de chaleur urbain. En effet, des simulations de (Akbari et al. 2001) ont montré que l'augmentation globale de l'albédo d'une ville, aux États-Unis, pouvait entraîner une diminution forte des îlots de chaleur urbains. Bien que l'albédo des surfaces soit généralement faible en milieu urbain, les inter-réflexions entre bâtiments « piègent » le

rayonnement, et le phénomène d'îlot de chaleur est renforcés par l'absorption de ces flux, dus aux inter-réflexions, par les parois (Bozonnet, 2005).

L'albédo est largement abordé dans nombreux travaux de recherche, notamment, ceux qui sont en relation avec le phénomène de l'îlot de chaleur urbain. L'augmentation des valeurs de ce paramètre entraîne la diminution de l'absorption et le stockage des radiations solaires par une surface. Ainsi le choix d'un matériau à haute réflectivité, pour les surfaces de bâtiments et les structures urbaines, permet la réduction de la quantité d'énergie solaire absorbée ce qui empêche le réchauffement des enveloppes et les surfaces urbaines restent plus froides. Une étude menée par (Taha, 1997) a montré que l'albédo affecte la température de l'air à l'intérieur des édifices, en y enregistrant un abaissement de la température de l'air de 4°C qui résulte du changement des valeurs de l'albédo de 0,25 à 0,40, dans les climats chauds, pendant une journée d'été. Giridharan (2004) a examiné l'effet des variables morphologiques sur l'intensité de l'effet de l'îlot de chaleur urbain. Les résultats ont montré qu'une augmentation de 1% d'albédo peut diminuer 8,8% de l'intensité de ce phénomène, pendant la journée.

IV.2. L'espace urbain Non-canyon:

On peut également calculer le FVC pour d'autres géométries urbaines un peu spécifiques, qui diffèrent de celles de la rue canyon. En citant parmi elles un espace bordé d'un seul côté (Figure IV.14), les places... (Figure IV.15) .Le FVC est estimé comme suit : $SVF = (1 + \cos \beta) / 2$, sachant que: $\beta = \tan^{-1}(H / D)$, D est la distance entre le point de mesure et le mur de la façade (Erell et al., 2011).

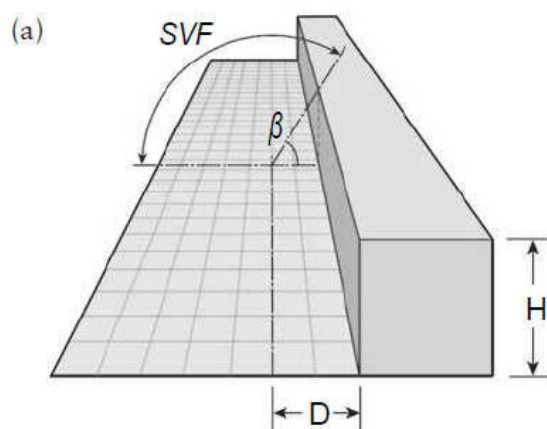


Figure IV.15. Les paramètres géométriques nécessaires au calcul de FVC dans un canyon asymétrique. Source: Erell et al. (2011)

Pour une place circulaire : $FVC = \cos^2 \beta$ avec : $\beta = \tan^{-1}(H / r)$, r est le diamètre du cercle (Erell, 2011).

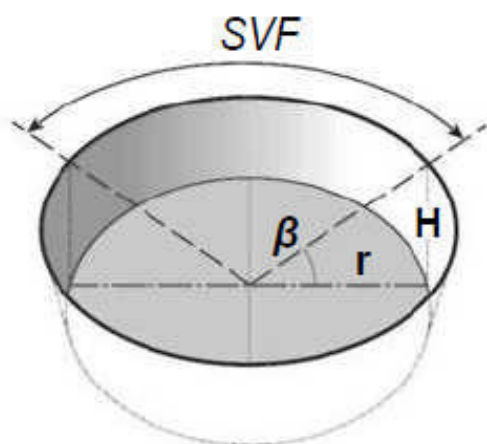


Figure IV.16. Les paramètres géométriques nécessaires au calcul de FVC dans une place circulaire.
Source: Erell et al. (2011)

Le FVC est estimé dans le cas des géométries simples et régulières comme une cour rectangulaire (Figure IV.16) par la formule suivante : $SVF = \cos \beta_w \cos \beta_L$ avec : $\beta_w = \tan^{-1}(H / 0.5W)$ et $\beta_L = \tan^{-1}(H / 0.5L)$. (Erell, 2011)

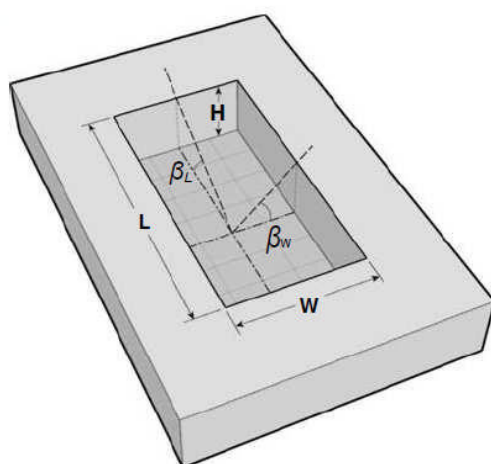


Figure IV.17. Schéma d'une cour rectangulaire symétrique et ses descripteurs géométriques.
Source: Erell et al. (2011)

D'après OKE (1987), un faible FVC conduit au piégeage du rayonnement de longue longueur d'onde et empêche le refroidissement nocturne. Il peut être calculé par des algorithmes, évalué à l'aide des photos Fish-eye prises par rapport à un angle qui dépasse 183° , ou par la simulation du modèle en coordination avec les photos « Fish-eye » et en modélisant les bâtiments en 3D à l'aide des logiciels numériques (Figure IV.17, IV.18) tels que : SkyHelios, Rayman, The ArcView, SOLWEIG (Hämmerle et al, 2011).

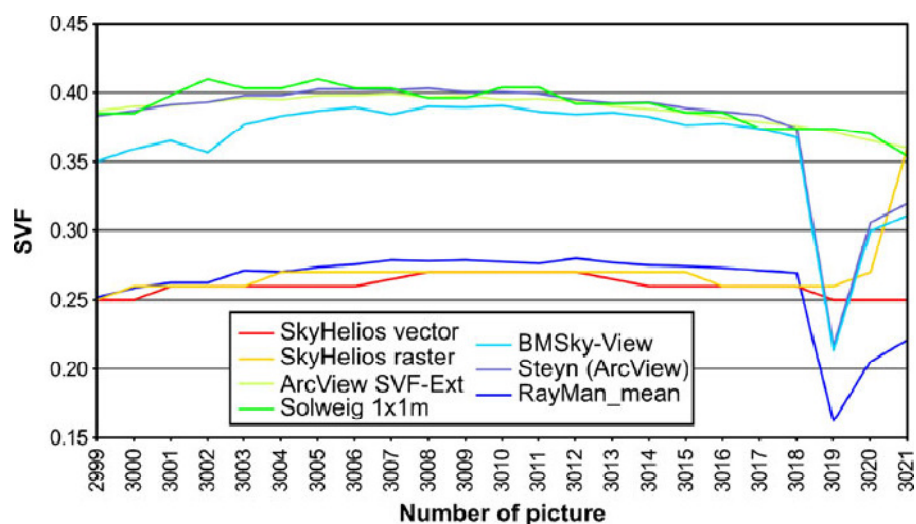


Figure IV.18. Différentes méthodes pour l'estimation du FVC.
Source: Hämmerle et al (2011)

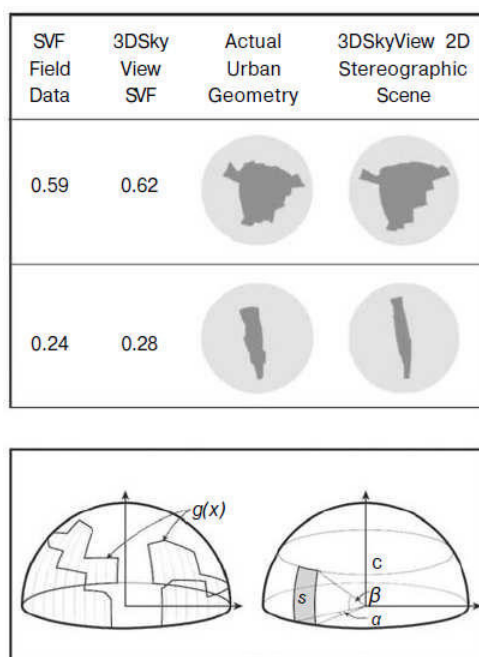


Figure IV.19. Exemples d'estimation de FVC à l'aide de l'outil informatique SIG (Système d'Informations Géographiques). Source: Erell et al. (2011)

Pour les géométries complexes et irrégulières qu'on rencontre souvent dans les tissus urbains, de nombreux outils informatiques ont été fournis pour calculer FVC en coordination avec des logiciels de modélisation spécifiques par lesquels la géométrie urbaine peut être construite en trois dimensions. Une autre technique pour l'obtention de FVC appelée « fish-eye lens photography » (Figure IV.19), elle fournit des évaluations précises des valeurs de SVF même pour les dispositions complexes, en prenant en compte les détails constructifs, arbres et autres dispositifs à l'échelle urbaine.

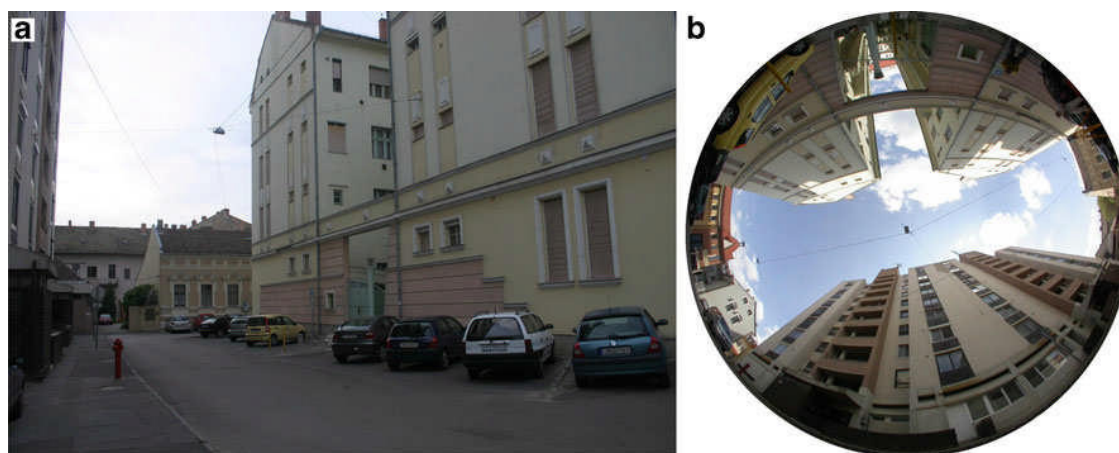


Figure IV.20. a- relevée photographique de l'espace urbain à étudier; b- la technique "Fish eyelens" pour l'estimation de FVC. Source: Hämmerle et al. (2011)

V. Le climat urbain :

V.1. Définition :

Le climat urbain est l'ensemble des nouvelles conditions météorologiques générées par le processus d'urbanisation (Hamel, 2005).

Le microclimat désigne généralement des conditions climatiques caractérisant un territoire géographique très limité, significativement distinctes du climat général de la zone où se situe cette région (Maatallah, 2015).

L'interaction entre le climat et la ville est une des préoccupations les plus importantes depuis quelques dizaines d'années, même si, depuis Vitruve, il est admis que l'architecture et les espaces urbains peuvent être ajustés en termes de climat. Il n'existe pas encore de théorie de la climatologie des villes qui soit généralement acceptée. Ce sujet est toujours considéré comme complexe et divers. Seules quelques règles sont suffisamment générales pour être exportées d'une ville vers une autre. En effet, le climat urbain actuel est fortement dépendant aussi bien de la situation géographique que de sa structure, de la météorologie régionale et de son interaction avec les activités humaines (Vinet, 2000).

V.2. Les différentes échelles du climat urbain:

V.2.1. Les échelles climatiques horizontales:

Il existe quatre échelles de climat horizontales (Figure IV.21) :

V.2.1. 1. L'échelle macro (globale):

Cette échelle est appropriée pour la description des masses d'air et des systèmes de pression relatifs aux phénomènes climatiques dans une extension de centaines de kilomètres. Cette échelle se situe à quelque 10^3 kilomètres loin de la surface terrestre qui correspond aux phénomènes définitifs pour les principales variations climatiques et saisonnières (Vinet, 2000).

V.2.1. 2. L'échelle méso (régionale) :

La ville influence le temps et le climat à l'échelle de tout son territoire, c'est à dire, des dizaines de kilomètres d'extension spatiale. Dans l'échelle « méso » les zones urbaines et leurs effets climatiques internes sont clairement identifiables. À l'échelle temporelle, cette influence s'étale sur une période d'un à six mois.

L'échelle régionale se prolonge jusqu'à quelques centaines de kilomètres. Les reliefs et l'emplacement de la région par rapport aux déplacements d'air affectent le climat à ce niveau (Vinet, 2000).

V.2.1. 3. L'échelle locale:

Appelée aussi l'échelle « urbaine ». Cette échelle inclut les effets des caractéristiques du paysage, tel que la topographie, mais exclut les effets de l'échelle microclimatique (Oke 2004). Dans les villes, ceci correspond au climat des quartiers avec des types de développement urbain similaires (couverture de surface, taille et espacement des bâtiments, activité). Son extension spatiale est de un à plusieurs kilomètres. Son évolution temporelle est de l'ordre d'une journée (24 heures) (Oke 1987). Cette échelle correspond aux changements climatiques régionaux créés par la présence d'une vallée et/ou de la mer. C'est l'échelle des modifications de régime du vent et des brises thermiques (Vinet, 2000).

V.2.1. 4. L'échelle microclimatique :

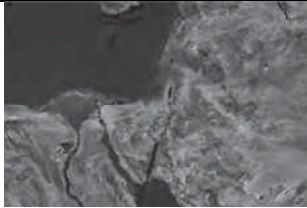



Chaque surface possède son propre microclimat et l'écoulement d'air peut-être fortement perturbé même par de petits obstacles. Des échelles typiques des microclimats urbains sont groupées par la dimension des éléments individuels : bâtiments, arbres, routes, rues, cours, jardins, etc. Elles s'étendent de moins de un à plusieurs centaines de mètres. La variabilité du microclimat peut s'effectuer dans une période de temps très courte (ex.

quelques secondes), mais la couche peut être homogène sur des périodes de temps plus longues (supérieures à 10 min.) (Oke 1987). C'est l'échelle où l'intervention de l'homme peut impacter les conséquences climatiques (Vinet, 2000).

L'échelle microclimatique est l'échelle des constructions et des aménagements urbains. Dans cette échelle, l'homme par ses actions joue un rôle significatif à la modification des conséquences climatiques (haie, brise-vent, urbanisme adapté aux vents dominants, à l'ensoleillement, à la présence d'eau, etc., ...).

Notre étude de la relation de la morphologie urbaine avec le microclimat urbain, par conséquent le confort thermique des usagers, s'effectue à l'échelle microclimatique (Tableau IV.1).

Tableau IV.1. Les différentes échelles spatiales. Source: Erell et al. (2011)

	Échelle	Limites approximatives	Phénomènes climatiques
	Échelle macro	>100km	Jet stream, ouragans
	Echelle méso	10km–200km	Les vents locaux, orages, Grands nuages de cumulus
	Echelle urbaine locale	100m–50km	Tornades, petits nuages de cumulus
	Echelle micro	1cm–1km	Vents du sable, turbulence à petite échelle

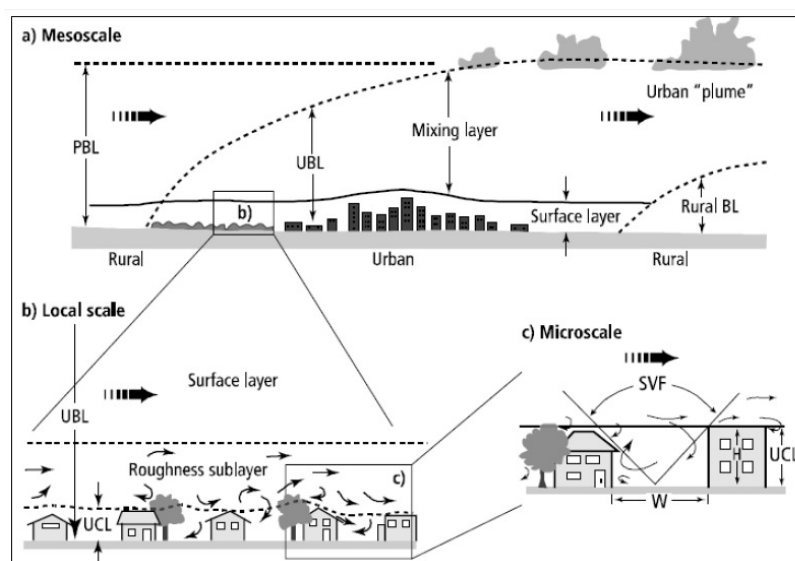


Figure IV.21. Représentation des trois échelles utilisées dans la climatologie urbaine.
Source : Mestayer, Anquetin (1995)

V.2.2. Les échelles climatiques verticales:

Les méthodes de mesure des phénomènes microclimatiques urbains ont permis de caractériser trois couches dans le tissu urbain et son atmosphère (Oke, 2004) :

V.2.2. 1. La couche limite atmosphérique CLA :

Cette couche s'étend sur plusieurs dizaines de mètres au-dessus des bâtiments et se décompose en deux sous-couches d'écoulement: la sous-couche inertielle et la sous-couche de rugosité. La première se caractérise par l'homogénéité des flux turbulents verticaux et dépend essentiellement de la vitesse de frottement et de la hauteur des bâtiments. Quant à la sous-couche de rugosité, elle se situe à proximité immédiate de la surface et son épaisseur varie entre 1,5 et 3,5 fois la hauteur des bâtiments environnants.

V.2.2. 2. La couche limite urbaine CLU :

La couche limite urbaine CLU, située juste au-dessus de la canopée urbaine fait partie de la CLA, son épaisseur est très variable puisqu'elle dépend de la rugosité du terrain. Elle peut atteindre plusieurs centaines de mètres (jusqu'à 1 500 ou 2 000 m). Tandis que sa valeur est nulle en zones rurales. Sa structure est complexe du fait que les zones urbaines ne présentent pas une rugosité homogène sur toute leur étendue. Elles sont en "Quartiers" ayant des rugosités différentes et créant chacun sa propre couche. (NAJJAR et al, 2010).

Cette couche est caractérisée par des transferts d'énergie entre la surface et l'atmosphère. Les modifications qui ont lieu dans cette couche sont d'une échelle locale qui correspondent au niveau d'une agglomération ou d'un ensemble de bâtiments. Les variations climatiques entraînées sont généralement identiques pour tous les points de la zone étudiée et elles varient en fonction du changement de la typologie urbaine.

V.2.2.3. La canopée urbaine :

La canopée urbaine est une couche qui correspond à la hauteur moyenne des bâtiments qui font obstacle à l'écoulement d'air dans le milieu urbain. Cette échelle fait référence au tissu urbain intégrant le sol urbain (rue, espaces verts), les structures bâties (bâtiments, îlots ou quartiers) et les espaces ouverts (cours ou places publiques) ce qui la rend souvent en perturbation, en raison des mouvements turbulents engendrés par l'interaction des paramètres microclimatiques avec les structures urbaines.

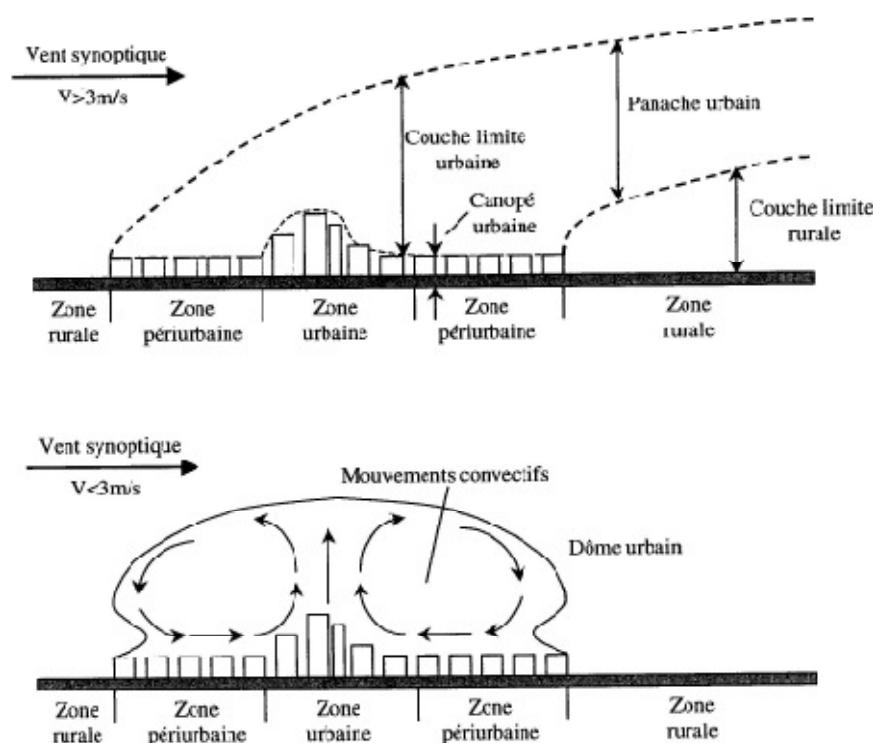


Figure IV.22. structure verticale de l'atmosphère urbaine pour des vents supérieurs et inférieurs à 3m/s. Source: Mestayer, Anquetin (1995).

Selon NAJJAR et al (2010), la canopée urbaine se trouve entre la surface du sol et la hauteur moyenne des bâtiments. C'est la couche dans laquelle nous vivons et où se produit la majorité des échanges. Une très grande hétérogénéité spatiale caractérise cette couche. Le canyon urbain constitue l'unité d'étude adaptée à cette couche déterminée par la

géométrie de la rue définie par des paramètres simples comme le rapport hauteur des bâtiments/largeur de la rue (H/W) ou le facteur de visibilité du ciel FVC (Figure IV.21).

VI. Le bilan énergétique urbain :

L'équilibre thermique en milieu urbain est généralement exprimé par le mécanisme de transfert de chaleur favorisant l'équilibre du système (Figure IV.23). (Santamouris, 2001) propose une équation pour exprimer la balance thermique en milieu urbain :

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A$$

Q^* = est le flux de rayonnement absorbé, toutes longueurs d'onde confondues ; Q_F = est le dégagement de chaleur produit par l'ensemble des activités humaines, terme toujours positif aussi appelé flux anthropique ; ΔQ_S = Flux de chaleur stockée (Chaleur stockée le jour, restituée la nuit) ; Q_E = Flux de chaleur latente de vaporisation (très inférieure en ville, évaporation réduite : canalisation de l'eau et imperméabilisation des surfaces) ; Q_H = Flux de chaleur sensible (très supérieure en ville) ; ΔQ_A = est le flux perdu par advection moyenne de chaleur à travers l'ensemble des interfaces du volume de contrôle.

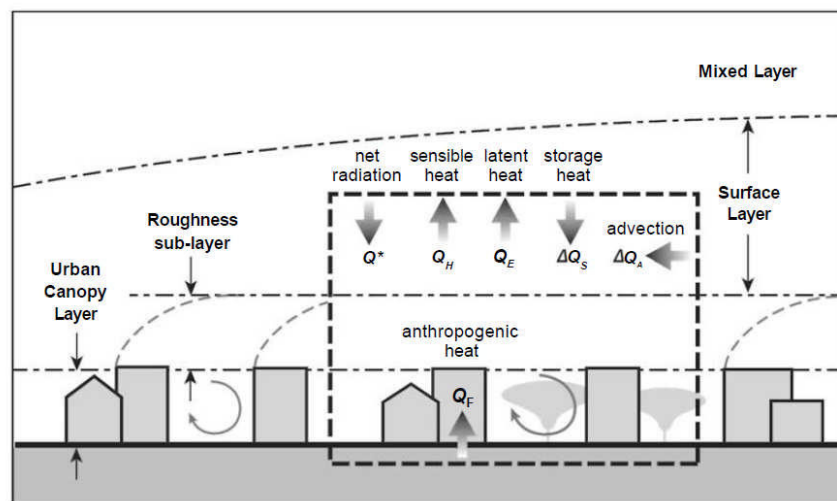


Figure IV.23. Coupe urbaine schématique montrant le bilan énergétique urbain.
Source: Erell et al. (2011)

VII. Impact de la géométrie urbaine sur le rayonnement solaire :

Le rapport entre la hauteur moyenne de l'espace et la largeur permet d'évaluer la plus petite distance entre façades susceptibles d'être exposées ou non aux rayonnements solaires. Il permet ainsi de quantifier le rapport entre les surfaces verticales et horizontales pouvant être impliquées dans les échanges énergétiques de l'espace.

Toudert et al. (2007) ont effectué une analyse de confort thermique, évaluée par l'indice PET, dans les espaces extérieurs ayant une forme asymétrique, des façades surplombantes et des galeries couvertes en se référant à la forme canyon. Celles-ci sont présentées dans la Figure IV.24. L'objectif de cette étude est de démontrer la relation entre la géométrie de ces espaces, les conditions microclimatiques et le confort thermique. Les résultats révèlent que dans le profil asymétrique, les conditions sont beaucoup plus stressantes, tandis que les façades surplombantes dans les rues orientées, NORD-SUD, NORD OUEST-SUD EST offrent des conditions optimales. Les passages couverts sont les plus avantageux en termes de confort thermique.

En climat chaud et aride, il a été démontré que la température de l'air diminue avec l'augmentation du rapport H/L et elle n'est pas très influencée par le changement d'orientation. Les flux d'énergie solaire direct et diffus ainsi que la durée d'ensoleillement dépendent de l'orientation.

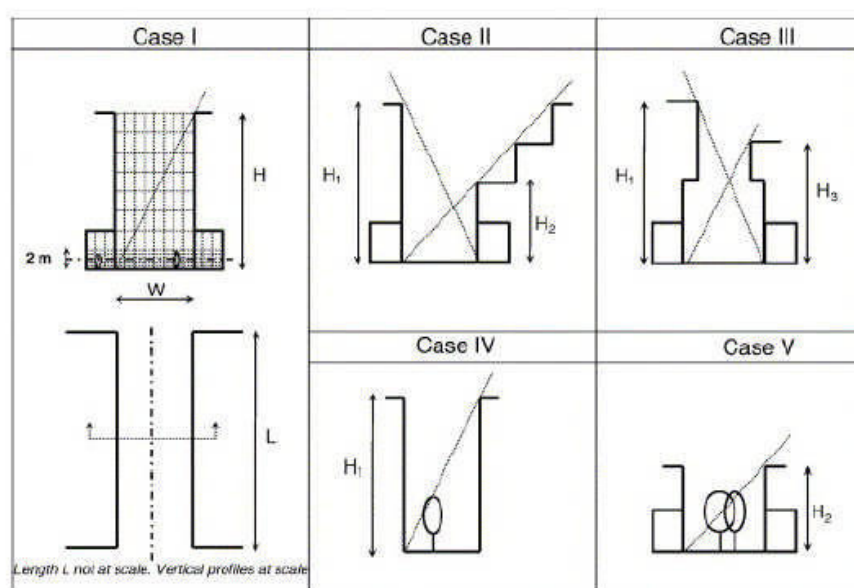


Figure IV.24. Profils de rues analysés : Case I : rue canyon, Case II : profil de galerie, Case III : rues asymétriques surplombantes, Case IV et V : rue canyon planté d'arbres.

Source : Ali Toudert (2005).

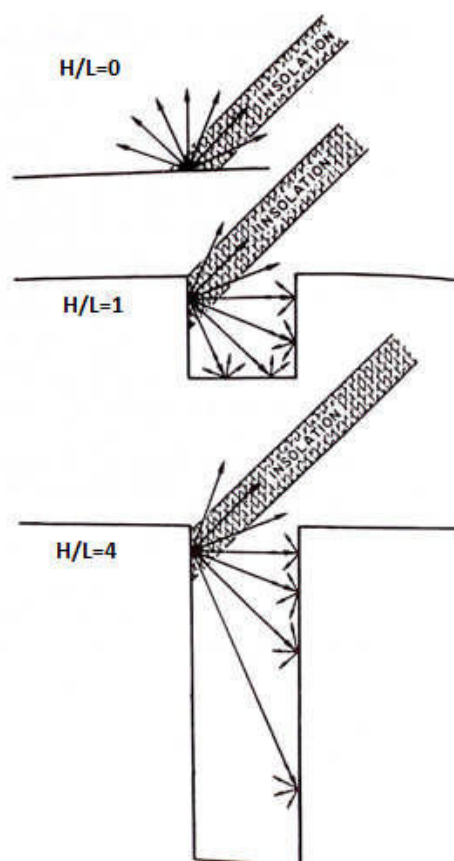


Figure IV.25. Distribution schématique du rayonnement solaire incident dans différents scénarios d'H/L. Source : Givoni (1998).

La durée d'insolation diminue avec l'augmentation du rapport H/L. La combinaison d'orientation nord-sud avec un rapport $H/L > 2$, amène aux conditions thermiques confortables (Ali Toudert, 2006). Dans le même esprit, une étude a été menée au Maroc. L'analyse de deux rues canyons avec des rapports H/L très différenciés a mis en évidence que la hauteur des édifices et leur espacement influencent le taux de rayonnement solaire direct qui arrive aux surfaces du projet. Il influence également les flux de grande longueur d'onde qui sort vers le ciel.

VIII. Impact de la géométrie urbaine sur l'écoulement du vent:

En raison de la complexité de l'interaction des bâtiments en milieu urbain, on distingue de façon simplifiée deux types d'écoulements principaux (Figures IV.26, IV.27, IV.28) : un écoulement longitudinal s'effectue lorsque la direction principale du vent est parallèle à la rue, et un écoulement transversal lorsque l'axe de la rue est transverse à la direction de la vitesse moyenne (Bozonnet, 2005).

La forme urbaine influe sur les écoulements de vent, un rapport H/L élevé provoque une diminution considérable aux écoulements de vent (Figure IV.29). Une mauvaise

ventilation combinée avec le piégeage des rayons solaires accentue l'effet de l'îlot de chaleur urbain et l'inconfort des piétons (Johansson, 2006).

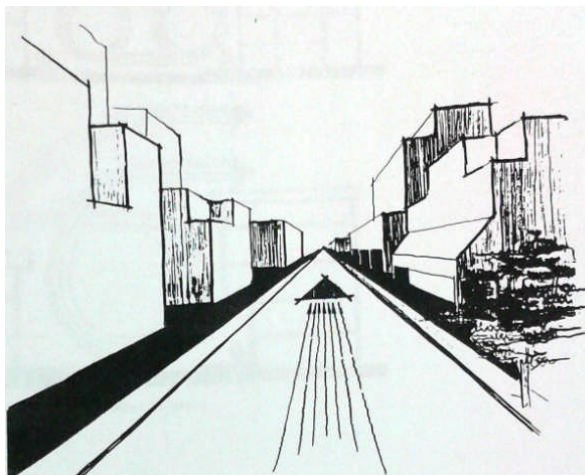


Figure IV.26. Rue parallèle à la direction du vent. Source: Givoni et al. (1985)

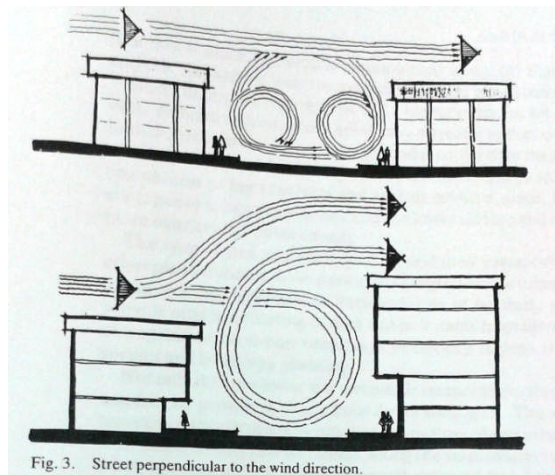


Figure IV.27. Rue perpendiculaire à la direction du vent. Source: Givoni et al. (1985)

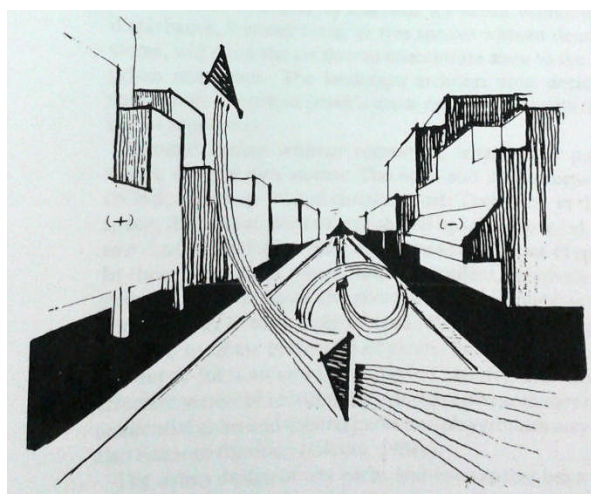


Figure IV.28. Rue oblique à la direction du vent. Source: Givoni et al. (1985)

Le ratio H/L peut modifier, également l'écoulement initial du vent, c'est-à-dire son écoulement avant d'atteindre l'espace. Une fois dans l'espace (lorsque les dimensions urbaines le permettent), les façades environnantes peuvent canaliser le vent, le freiner et entraîner des mouvements tourbillonnaires au pied des constructions (Figure IV.29).

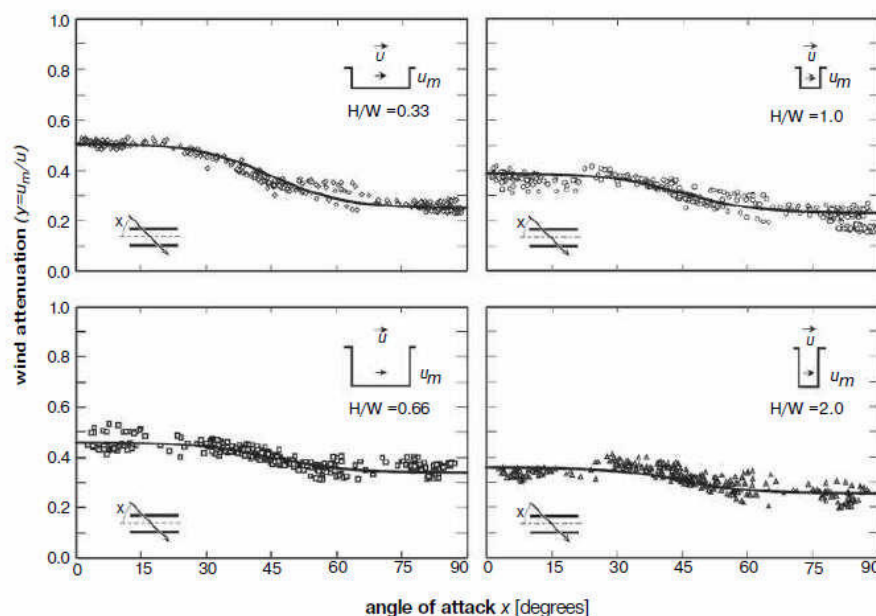


Figure IV.29. Corrélation entre l'atténuation de la vitesse de l'air et le rapport H/L.
Source: Pearlmutter et al. (2005).

L'écoulement du vent dans une rue dépend fortement de l'indicateur géométrique qui est le rapport entre la hauteur moyenne des bâtiments et la largeur de la rue. Donc, le régime d'écoulement dans une rue peut être caractérisé par ce rapport H/L. dans une rue dont les bâtiments environnants sont espacés avec un rapport H/L < 0,5, les écoulements n'interagissent pas. Ces écoulements commencent à interagir et les sillages sont perturbés, en diminuant la distance entre les bâtiments (Oke, 1987).

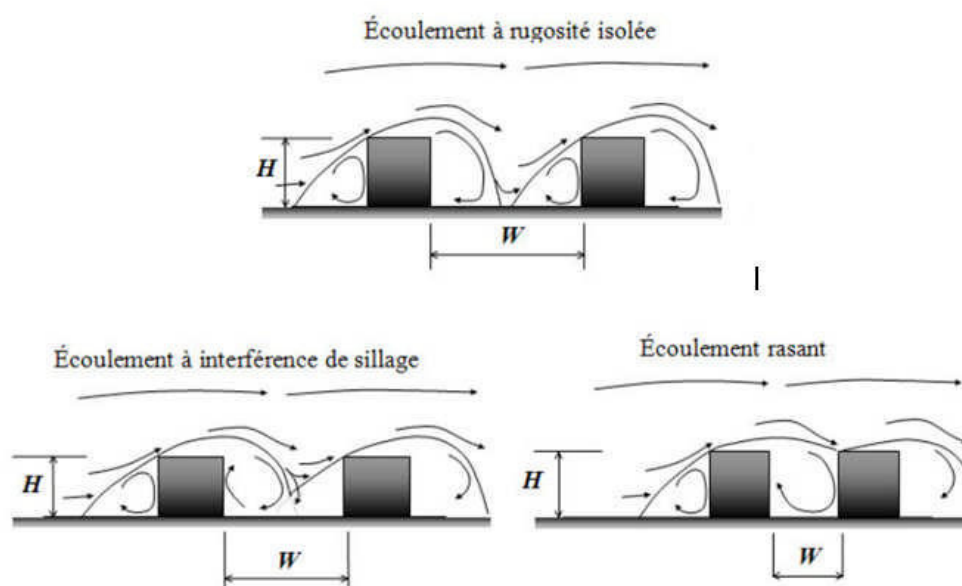


Figure IV.30. Régimes d'écoulement aérauliques dans la rue. Rue de type canyon avec un rapport d'aspect W / H supérieur à 2,5 (rugosité isolée), compris entre 1,54 et 2,5 (interférence de sillage), et inférieur à 1,54 (rasant). Source : Oke (1987).

Combiner la hauteur, l'espacement et la densité amène d'un régime de rugosité isolé à un écoulement d'interférence de sillage. Ce régime est caractérisé par des écoulements secondaires dans l'espace du canyon. Lorsque le rapport H/L et la densité sont encore plus élevés, un vortex stable s'établit dans la rue canyon ainsi qu'un régime d'écoulement rasant (Oke, 1988). Ces régimes d'écoulement aérauliques dans la rue sont présentés dans la figure IV.30.

VIII.1. Impact de la géométrie urbaine sur les effets aérodynamiques :

Le vent est défini comme "un déplacement de l'air s'effectuant surtout horizontalement de la haute vers la basse pression. Plus la haute pression est proche de la basse pression, plus le vent est fort. Le vent peut être mesuré en m/s ou en km/h, il est variable et instable, il présente plusieurs directions et peut être schématisé sur ce qu'on appelle ROSE DES VENTS.

Dans le milieu urbain, l'écoulement du vent interagit avec les formes urbaines, perturbant ainsi son mouvement. Les principes d'écoulement d'air en milieu urbain sont assez bien étudiés pour certaines configurations géométriques. Nous allons présenter les effets types aérauliques auxquels le concepteur peut se référer :

VIII.1.1. Effet de venturi :

C'est un phénomène de collecteur formé par des constructions dessinant un angle ouvert au vent (Figure IV.31). La zone critique pour le confort se situe à l'étranglement. Ce phénomène s'effectue lorsque la longueur minimum des bras $l_1 + l_2 > 100m$, si le bras $l_1 + l_2 < 100m$, l'entonnoir ne collecte plus suffisamment de flux. Ainsi, les bras doivent avoir une hauteur $> 15m$. La direction du vent ne doit pas être parallèle à l'un des bras afin de garantir la concentration fluide. Les deux bras forment une sorte de canal collecteur de vents. Cet angle est la zone la plus critique vis-à-vis du confort aéraulique, car la vitesse de l'air y est considérable (Fernandez, 2009).

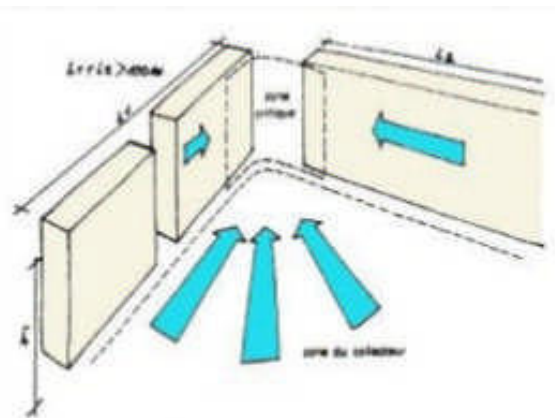


Figure IV.31. Effet de venturi. Source : Gandemer (1976).

VIII.1.2. Effet de canalisation :

C'est un effet créé par un ensemble construit formant un couloir à ciel ouvert (Figure IV.32). Une canalisation n'est pas une cause de gêne en soi ; Elle n'agit que si elle est associée à une anomalie aérodynamique qu'elle transmet sur toute sa longueur. L'association du phénomène de canalisation et de Venturi peut être une source de gêne importante. La largeur du couloir doit être $< 2 \times$ la hauteur des bâtiments et la hauteur minimale des bras doit être $\geq 6m$ (Fernandez, 2009).

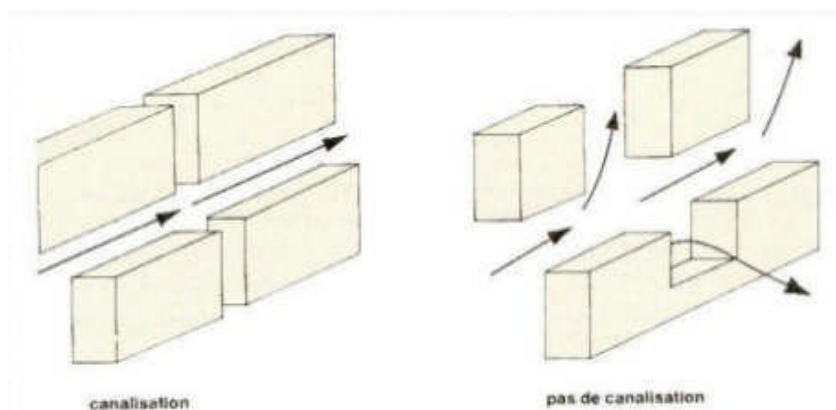


Figure IV.32. Effet de canalisation. Source : Gandemer (1976)

VIII.1.3. Effet de coin :

Phénomène d'écoulement aux angles des constructions qui mettent en relation la zone de surpression amont et la zone de pression latérale du bâtiment (Fernandez, 2009).

Il s'agit d'un phénomène d'accélération localisée, à l'angle d'un bâtiment. L'augmentation de la vitesse du vent est entraînée par le gradient très élevé de la pression entre la façade exposée et celle qui se situe en dépression (Figure IV.33). L'effet de double coin est un phénomène induit de l'effet de coin. La configuration de l'effet de

double coin ou passage entre 2 immeubles est créée à partir de 2 bâtiments placés longitudinalement et séparés par un passage. La zone d'espace entre les 2 formes est très critique du point de vue de l'inconfort et elle peut même se prolonger à l'arrière des bâtiments (Reiter, 2007).

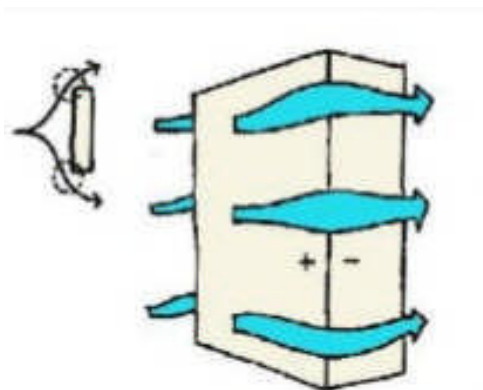


Figure IV.33. Effet de coin. Source : Gandemer (1976)

VIII.1.4. Effet de barre :

L'effet de barre est caractérisé par une déviation en vrille de l'écoulement au passage d'une barre pour une incidence voisine de 45° (Figure IV.34). Le phénomène existe si la hauteur moyenne h de la barre est < 25 m et la longueur minimum l de la barre est > 8 h (Fernandez, 2009).

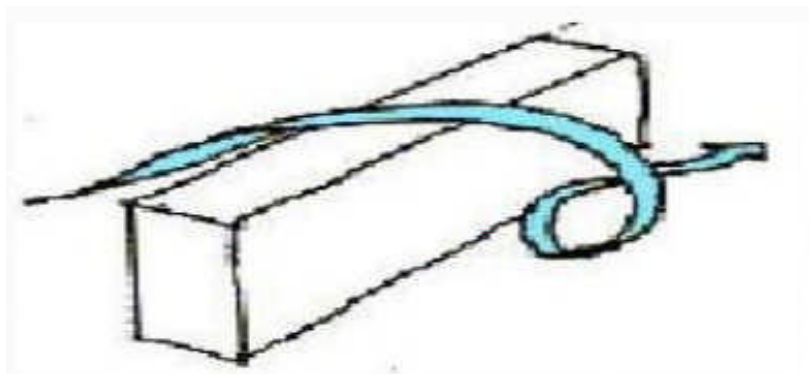


Figure IV.34. Effet de barre. Source : Gandemer (1976)

VIII.1.5. Effet de sillage :

C'est la circulation fluide tourbillonnaire en aval des formes (Figure IV.35). L'effet de sillage est proportionnel à la surface qui s'oppose à l'écoulement du vent, ce phénomène génère un mouvement d'air tourbillonnaire sur la façade face au vent puisque celle-ci est en dépression avec la façade face au vent. La vitesse est faible au centre, mais provoque de fortes turbulences sur les côtés de l'immeuble (Fernandez, 2009).

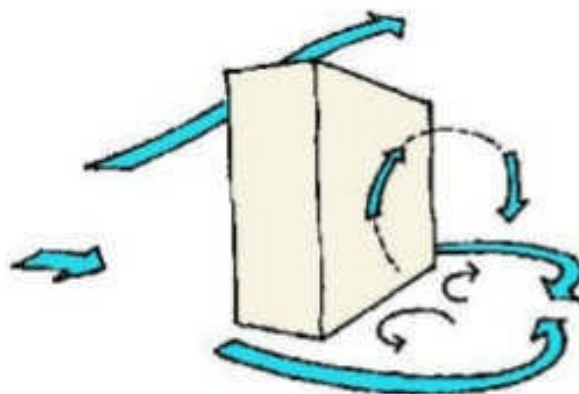


Figure IV.35. Effet de sillage. Source : Gandemer (1976)

VIII.1.6. Effet Wise :

C'est l'amplification du tourbillon vertical au pied d'une façade par un obstacle en amont (Figure IV.36). Cet effet est provoqué par la présence d'un bâtiment bas (10 à 15m) en amont et d'autant plus que la hauteur du bâtiment considéré est importante (Fernandez, 2009).

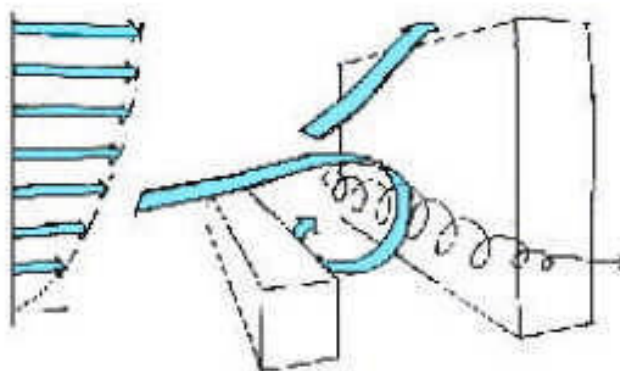


Figure IV.36. Effet Wise. Source : Gandemer (1976)

VIII.1.7. Effet de trous sous immeubles :

C'est un phénomène d'écoulement dans les trous ou passages sous immeuble qui relie l'avant du bâtiment en surpression et l'arrière en dépression (Figure IV.37). Pour l'apparition de cet effet la barre doit être $>15m$ (Fernandez, 2009).

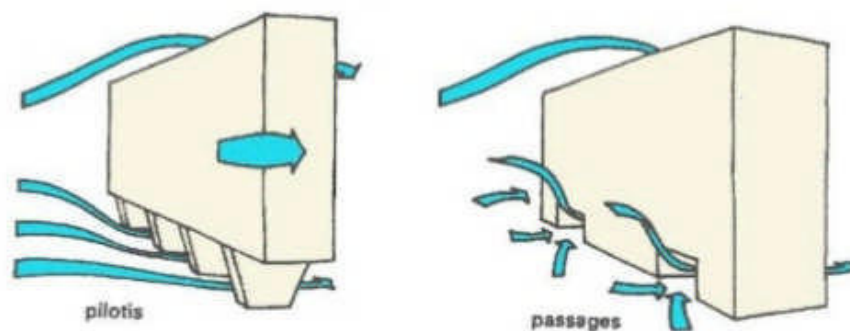


Figure IV.37. Effet de trous sous immeubles. Source : Gandemer (1976)

IX. Le phénomène de l'îlot de chaleur urbain :

C'est le phénomène le plus caractéristique du climat urbain. Les informations relatives à l'îlot de chaleur urbain sont très abondantes, car ce phénomène constitue depuis plusieurs décennies, l'objet d'étude principal de la climatologie urbaine ce qui a d'ailleurs permis de mieux comprendre la complexité de ce dernier (Ali Toudert, 2000).

L'îlot de chaleur urbain est défini comme étant un secteur urbanisé caractérisé par des températures estivales supérieures à celles retenues dans l'environnement immédiat, avec des différences qui varient selon les auteurs de 5°C à 10°C. Il est aussi défini par la différence de température qui existe entre le centre de la ville et le milieu rural, qui se développe en règle générale la nuit par temps calme (Figure IV.38). L'ampleur du phénomène dépend de nombreux paramètres urbanistiques tels que taille et couleur des bâtiments, matériaux utilisés, largeur et orientation des rues, densité de l'habitat, etc.

Pour se protéger contre cet îlot de chaleur urbain, il faut choisir une forme urbaine optimale. Il ya une relation entre les caractéristiques microclimatiques et la forme urbaine, c'est-à-dire une corrélation entre la forme urbaine et divers aspects des performances environnementales en fonction des facteurs solaires et éoliens ainsi que de la consommation d'énergie (Boukhabla, 2015).

La formation, l'intensité et la variabilité spatio-temporelle des îlots de chaleur sont associées à six principaux facteurs, de nature :

- climatique (ciel clair, absence de vent, pollution atmosphérique).
- énergétique (rejet de chaleur provenant de la consommation énergétique).
- géographique (emplacement de la ville).
- morphologique (densité des bâtiments, concentration et taux de croissance des végétaux).

- politique (pratiques d'aménagement du territoire).
- structurelle (taille de la ville, rapport de surface minéralisée/végétalisée, occupation du sol).

Les formes urbaines ont aussi un impact sur les écoulements de vent dont la vitesse est affaiblie pour un rapport H/L élevé. Le piégeage des rayons infrarouges en relation avec la mauvaise ventilation de la rue accentue l'effet d'îlot de chaleur et l'inconfort thermique des piétons (Johansson, 2006).

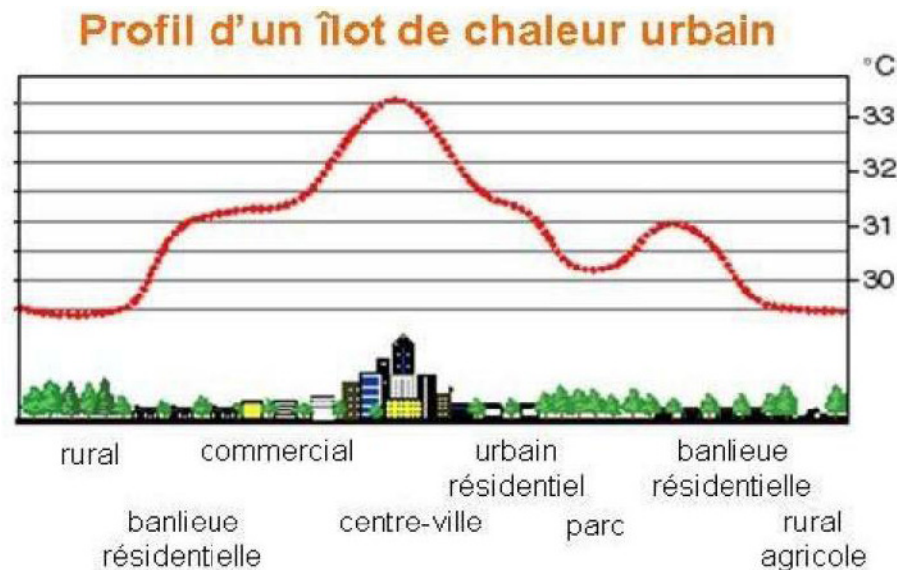


Figure IV.38. Profil d'un îlot de chaleur urbain. Source: USEPA.

IX.1. Caractéristiques temporelles et spatiales de l'îlot de chaleur urbain :

La forme et la taille de l'îlot de chaleur urbain varient dans l'espace et dans le temps, en fonction des conditions météorologiques, et des caractéristiques propres à la ville. On définit l'intensité d'un îlot de chaleur urbain par la différence de température de l'air de la zone urbaine étudiée avec la température d'un point de mesure de référence situé dans la périphérie rurale (Oke, 1973). On la note ΔT_{u-r} et elle s'exprime en degré Celsius.

Tandis que :

$$\Delta T_{u-r} = T_u - T_r$$

T_u : température de l'air de la zone urbaine étudiée

T_r : température de l'air du point de mesure de référence dans la périphérie rurale de la zone urbaine étudiée.

L'îlot de chaleur urbain est plus marqué dans les parties les plus densément bâties, qui correspondent en général au centre-ville (Figure IV.39). L'intensité des îlots de chaleur

urbains varie selon les villes. Elle dépend du climat, de la topographie, de la population, de la morphologie et de l'activité des villes (Fan et Sailor, 2005). En moyenne, sur une année, pour des villes ayant un climat tempéré, l'intensité des îlots de chaleur urbains est de l'ordre de 2°C (Taha, 1997). En été, ΔT_{u-r} peut s'élever jusqu'à 10°C (Figure IV.40), il peut augmenter avec la superficie et la population de la ville (Arnfield, 2003).

La nuit, au moment où l'effet de chaleur urbain apparaît le mieux, la différence de température entre ville et campagne apparaît inversement proportionnelle à la vitesse du vent et à la couverture nuageuse (Oke, 1987).

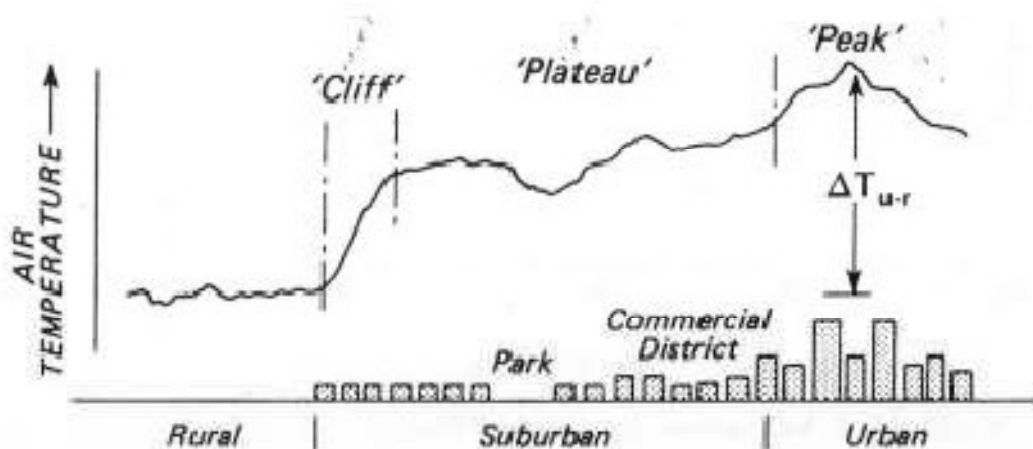


Figure IV.39. Coupe d'un îlot de chaleur urbain.
Source : Oke (1978).

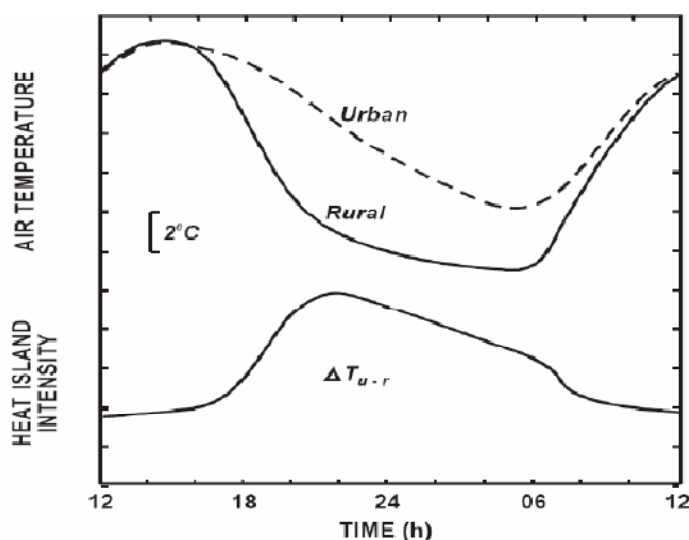


Figure IV.40. Intensité d'un îlot de chaleur urbain de la couche limite urbaine sur 24h.
Source: Mills (2005).

IX.2. Causes du phénomène d'îlot de chaleur urbain :

IX.2.1. Rôle des propriétés radiatives et thermiques des matériaux :

L'albédo, comme indicateur morphologique, est un paramètre largement étudié pour son rôle en relation avec l'îlot de chaleur urbain. Il apparaît que l'augmentation de l'albédo urbain est une alternative efficace pour minimiser le stockage de chaleur dans les bâtiments, car un taux d'albédo important sert à la réduction des radiations solaires absorbées et stockées par une surface (Ali Toudert, 2000).

Une étude du Heat Island Group sur les écarts de température entre différents types de pavages avec des albédos différents (réflectivités) (Figure IV.41). Les albédos ont été mesurés simultanément. L'asphalte foncé et récent dégage un albédo de 5 % et une température de 123° F (51° C). L'asphalte âgé émet un albédo de 15 % et une température de 115° F (46° C). Aussi, un enduit prototype d'asphalte a été développé à San José, cet enduit produit un albédo de 51 % et une température de 88° F seulement (31°c)

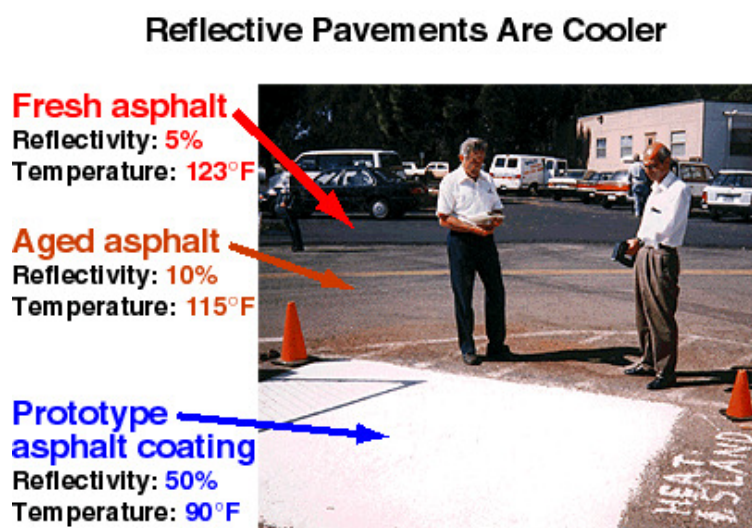


Figure IV.41. Illustration de l'expérience menée par le Groupe de Hashem Akbari.
Source : Heat Island group (2000).

Plusieurs recherches ont été menées dans ce sens, afin de déterminer et évaluer l'effet potentiel de l'utilisation de surfaces claires ou réfléchissantes, à albédo élevé dans la diminution du phénomène d'îlot de chaleur urbain. À ce propos, des essais ont été menés par Taha en 1997, en utilisant la simulation numérique pour déterminer l'impact de l'augmentation de l'albédo de la ville sur la diminution de l'îlot de chaleur urbain par l'utilisation de surfaces claires dans le bassin de Los Angeles. Il est apparu qu'une différence de 2°C voire de 4°C peut être atteinte en augmentant l'albédo de 0.13 dans les zones urbaines, à savoir les toits et les routes.

Toujours selon le même auteur, l'utilisation des matériaux de haut albédo pourrait être une proposition quant à la lutte contre l'augmentation de température en milieu urbain. La haute réflectivité aura pour conséquence la réduction de la quantité d'énergie solaire absorbée par les surfaces de bâtiments et de structures urbaines. Ainsi, la température des enveloppes ne s'élèvera pas fortement et les surfaces urbaines restent plus froides. Il est à signaler que les recherches ont montré que la température de l'air à l'intérieur des édifices, pendant une journée d'été, peut être abaissée de 4°C en changeant l'albédo des surfaces de 0.25 à 0.40 dans les climats chauds de latitudes moyennes.

IX.2.2. Rôle de la géométrie urbaine :

Une ville compacte engendre un phénomène d'îlot de chaleur urbain, notamment la nuit. Le résultat pour plus de 30 villes de latitudes moyennes montre que l'intensité maximale de l'îlot de chaleur urbain (ΔT_{u-r}) est corrélée aux proportions des rues (rapport hauteur sur largeur) (Oke, 1987) :

$$\Delta T_{u-r (max)} = 7.54 + 3.97 \ln(H/W)$$

La géométrie urbaine possède, aussi, un impact sur les écoulements de vent dont la vitesse est affaiblie pour un rapport H/L élevé. Le piégeage des rayons infrarouges en relation avec la mauvaise ventilation de la rue accentue l'effet de l'îlot de chaleur et l'inconfort thermique des piétons (Johansson, 2006).

Le facteur de vue du ciel (SVF) est une grandeur qui permet d'apprécier l'interface hémisphérique de contact direct entre une surface située au centre de la rue et le ciel (Nakamura et Oke, 1988). Plus le SVF est faible plus l'interface est petite. Dans les rues on peut rencontrer des SVF très faibles, traduisant l'obstruction de l'horizon par les bâtiments. Plus le SVF sera faible, plus la chaleur s'échappera difficilement.

Plusieurs chercheurs ont lié le facteur de vue du ciel avec l'effet de l'îlot de chaleur urbain. La différence de la température entre l'espace urbain et l'espace rural voisine (T_{max}) peut s'exprimer en fonction du FVC, pour n'importe quelle géométrie de rue. La différence de température peut être expliquée par la morphologie urbaine qui accentue les inter-réflexions et l'absorption de rayonnement lorsque le FVC est diminué (Oke, 1988).

CONCLUSION :

Les villes et les espaces urbains génèrent des ambiances thermiques à partir des conditions climatiques "génériques". Ces ambiances peuvent donc être plus ou moins favorables au confort thermique des usagers de la ville. Le climat urbain est dû essentiellement aux activités spécifiques à la ville et à la configuration générale de cette dernière.

L'évidence de la ville c'est d'abord la rue, cette structure simple et continue qui permet de circuler, de rentrer chez soi, d'avoir une adresse. Droite et sinueuse, large ou étroite, inscrite dans un maillage régulier comme les villes chinoises ou les villes coloniales, ou dans un réseau arborescent comme dans les villes médiévales ou les villes arabes, toute ville procède d'abord de la rue. À tel point que son plan se confond pour l'essentiel avec le plan de ses rues.

La ville est très souvent étudiée `à travers l'analyse des rues canyons puisqu'il s'agit d'un élément clé du tissu urbain. Dans ce chapitre, on a étudié cet élément clé en mettant l'accent sur les paramètres qui définissent le microclimat urbain et les caractéristiques principales de la morphologie d'une rue qui sont la largeur, la longueur, la hauteur des bâtiments ainsi que les propriétés des matériaux des façades et leurs effets sur le microclimat urbain. La prise en compte de ces indicateurs morphologiques quant à la planification urbaine peut aider à l'atténuation du phénomène de l'îlot de chaleur urbain ainsi qu'à l'amélioration de sensation thermique en espace extérieur.

**DEUXIEME PARTIE :
EXPERIMENTAL ET
SIMULATION**

CHAPITRE V

**CONTEXTE D'ETUDE ET
POSITIONNEMENT
EPISTEMOLOGIQUE**

« Les contraintes climatologiques sont un stimulant pour la création, pour la recherche de formes nouvelles »

ROCIAN

INTRODUCTION:

Évaluer l'ensemble du contexte et les caractéristiques climatiques d'une certaine région est une tâche indispensable quant à l'étude de l'interaction des conditions microclimatiques et les facteurs morphologiques dans le cadre de la caractérisation du confort. Dans les régions urbaines densément peuplées ou les lieux largement visités, l'influence du climat sur les occupants de ces espaces est une question d'une importance significative. Une évaluation bioclimatique est une tâche complexe, car l'effet du climat sur le corps humain ne peut être décrit par un seul paramètre météorologique. La température de l'air, de l'humidité de l'air, le vent, et les flux de rayonnement n'agissent pas individuellement, mais forment aussi un facteur thermique complexe. Cette phase de la recherche consiste à :

- Étudier les caractéristiques climatiques de la ville de Biskra où se situe notre cas d'étude, par la collecte de ses données météorologiques issues de l'office national de la météorologie (O.N.M) et le calcul de certains indices, en vue de déterminer la zone climatique à laquelle appartient cette ville et déterminer la période de la prise des mesures.
- Décrire le Ksar en analysant l'aspect typomorphologique du tissu urbain choisi pour l'investigation est indispensable en vue de déterminer les différentes géométries urbaines existantes.
- Comparaison des variables microclimatiques mesurées aux différentes stations avec les données de la station météorologique de Biskra, afin de démontrer la différence entre des données d'un espace suburbain avec les données des zones urbanisées, et mettre en lumière les causalités relatives à ces différenciations.

I. Présentation du cas d'étude:

I.1. Situation et localisation du ksar à étudier :

El-Kantara se situe au NE de l'Algérie à l'extrémité sud des hauts plateaux, sur la ligne frontière sud de la Wilaya de Batna et nord de la Wilaya de Biskra. Elle s'étend sur les pentes d'une vallée entre les niveaux 400 et 500 m au-dessus du niveau de la mer (Figure V.1).

La « Dachra El-Hamra » (le village rouge) est un tissu traditionnel de l'ère précoloniale. C'est le noyau originel d'El-Kantara qui constitue, par son ouverture sur le désert et avec plus de 50000 palmiers, le portail de transition entre deux régions dont les aspects climatiques diffèrent complètement : le Nord et le Sud algérien.

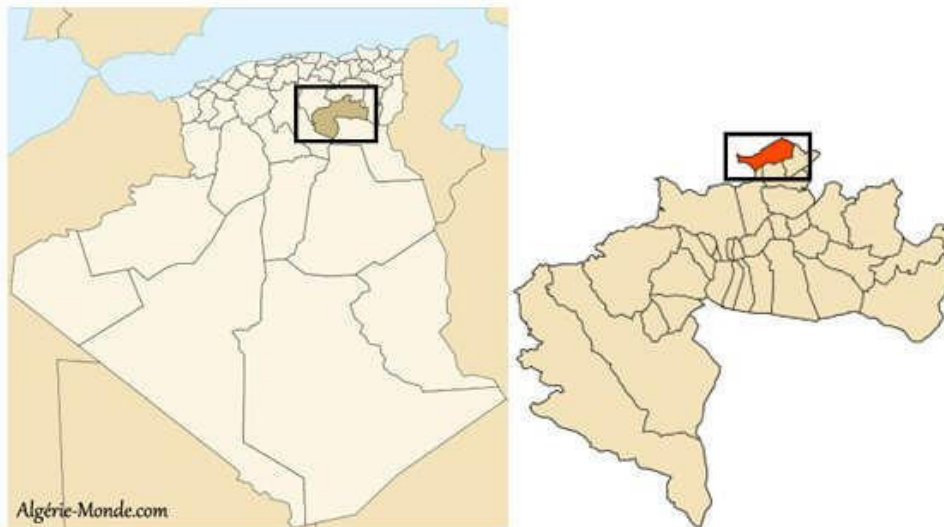


Figure V.1. Carte administrative de l'Algérie, Localisation d'El-Kantara dans la wilaya de Biskra

Selon Lebsir (2010), la Dachra El-Hamra (Le Village rouge) est une entité urbaine compacte construite en brique de terre (toub) et conçue conformément aux caractéristiques des villes islamiques ou des ksour du sud dont les maisons sont introverties. Disposant d'un environnement naturel très riche et d'unités paysagères diversifiées : montagne, oued, palmerais.

Selon le JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE N°26 (2013), la Dachra El-Hamra est classée secteur sauvegardé dans la wilaya de Biskra, elle a pris cette dénomination pour la couleur de sa terre, ce village est considéré comme un modèle

d'architecture arabo – berbère authentique, compte tenu de son type de construction, ses portes, le partage de ses ruelles, l'organisation de ses maisons, ses matériaux de construction locaux et son caractère architectural en cohérence avec la nature, les traditions et les coutumes. Le secteur sauvegardé du village « Dachra El-Hamra » d'une superficie de cinq (5) Ha est délimité comme suit (Figure V.2) :

- Par Chaàbet Eldaflaya sur une longueur de 107.06 m au N;
- Par une palmeraie appartenant à plusieurs propriétaires sur une longueur de 530.21 m à l'E;
- Par Oued el-Hay sur une longueur de 139.76 m au S E;
- Par une palmeraie appartenant à plusieurs propriétaires sur une longueur de 313.93 m au S;
- Par le chemin communal n°15 sur une longueur de 125.04 m au SO;
- Par des habitations (lotissement 142 parcelles) sur une longueur de 350.77 m à l'O.

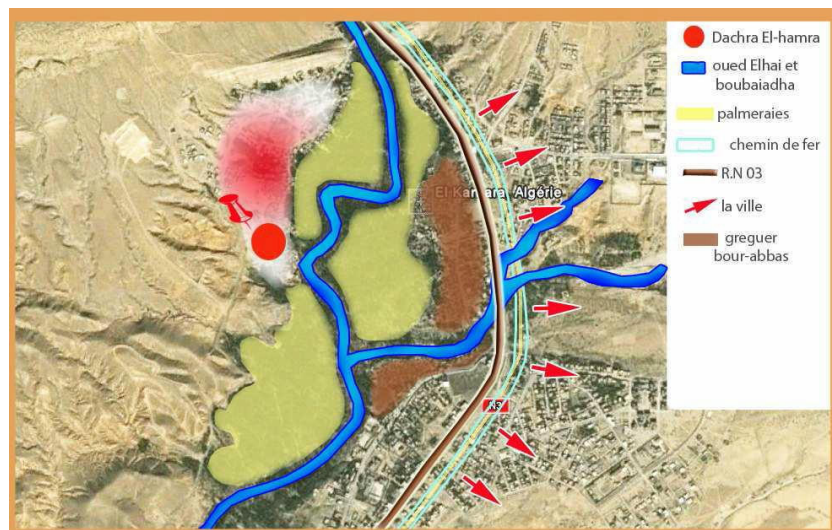


Figure V.2. Localisation de DachraEl-Hamra dans le tissu urbain d'El-Kantara.

Source : Lebsir (2010)

La Dachra El-Hamra se caractérise par la préservation de son style architectural et son intégration parfaite dans le site où elle se trouve. Construite de terre compactée et de troncs de palmiers, Elle s'adapte aux conditions environnantes et répond aux exigences climatiques de la région en présentant une forte densité urbaine. Son architecture est caractérisée par une morphologie très dense et par leur type d'habitat saharien (Lebsir,2010).

I.2. Historique :

La région d'El-Kantara a connu son entrée dans l'histoire vers l'an 518 A.J.C. Et ceci avec l'invasion romaine des villes Nord-africaines tel que témoignent de nombreuses ruines et vestiges qu'on peut trouver jusqu'à aujourd'hui, entre autres le pont romain d'El-Kantara.

Quelques siècles plus tard, et avec l'avènement de l'Islam, El-Kantara fut conquise vers le 8^e siècle par les musulmans, qui ont marqué le plus les habitants de la région dans leur mode de vie, leur comportement, et par leur mélange berbéro-arabe, donnant ainsi naissance à trois villages : Dachra El-Hamra (contexte d'étude), Bor Abbas « village noir » et Grèguer « village blanc » (Figure V.3). Ces villages ont pris ces noms à cause de la couleur de la terre sur laquelle ils ont été construits et des groupements sociaux qui les ont fondés. La colonisation française n'empreignit le site que par le passage de la voie ferrée et quelques constructions militaires et civiles.

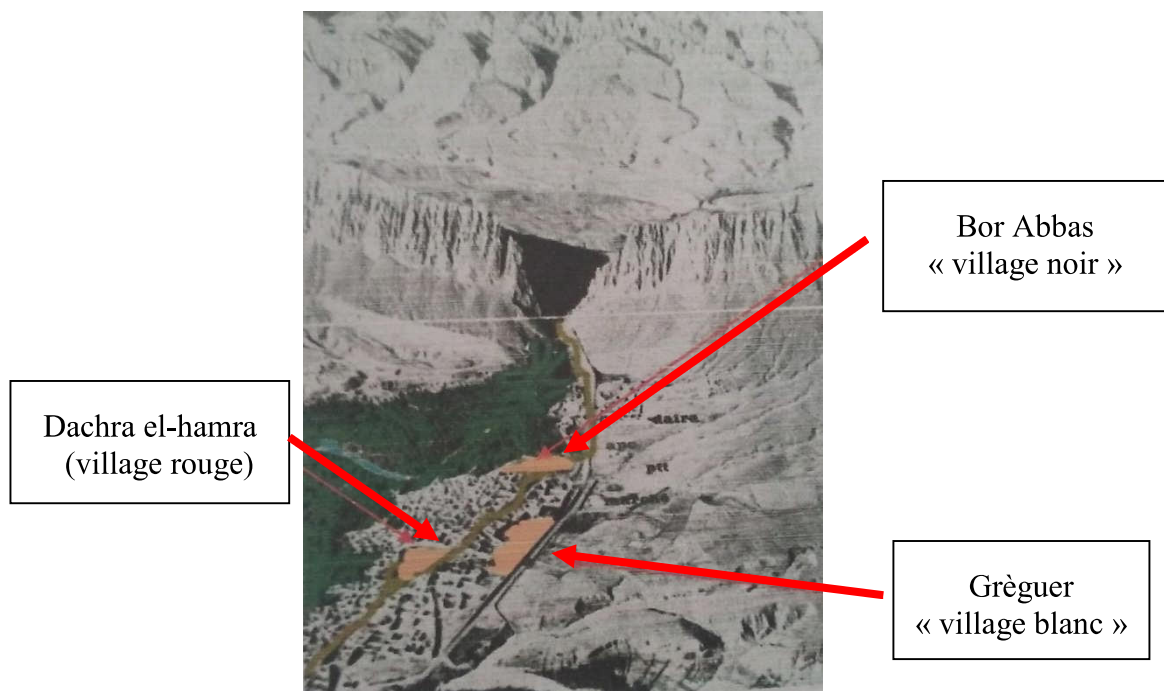


Figure V.3. Les tissus traditionnels d'El-Kantara.

Source : POS El-Kantara

I.3. Topographie et reliefs :

La Dachra-El-Hamra a été fondée en 682, sur un des plateaux présahariens pour des raisons sécuritaires et répondant aux rôles défensifs. L'oasis (le poumon vert du territoire

d'El-Kantara) et l'oued El Hay (source de l'eau) sont les facteurs dominants. Ce site combine les reliefs des paysages du nord d'une part et les reliefs des plaines et plateaux présahariens d'autre part. Versant montagneux, plaine et oueds sont confortés par un enchaînement d'oasis aussi riches que diversifiées (Lebsir, 2010).

Le village est fondé sur une pente importante uniformément répartie (E-O) et qui se termine par des descentes plus ou moins fortes vers la palmeraie et l'oued (Figure V.4).

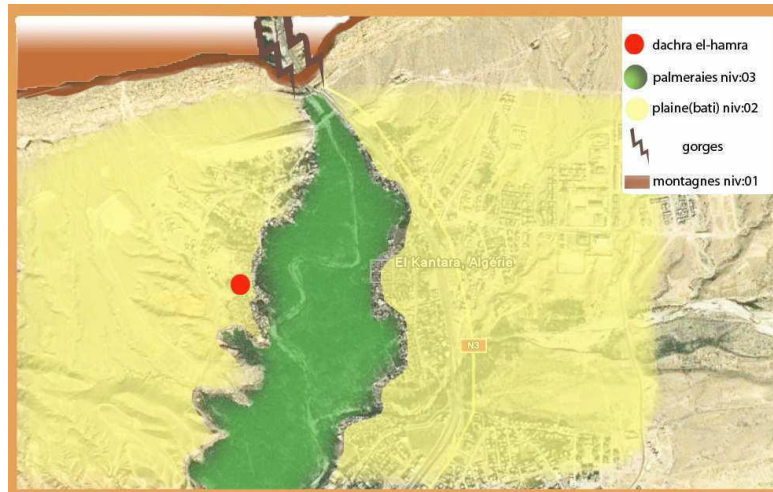


Figure V.4. Localisation du village rouge dans la ville d'El-Kantara.

Source: Lebsir (2010)

II. Étude climatique de la ville et le choix de la période des mesures :

El-Kantara se trouve juste sur la ligne frontière délimitant, au N, les hauts plateaux, au sud, le Sahara. Le coefficient pluviométrique d'El-Kantara varie entre 0 et 200 mm. La température minimale est de 4°C. Les valeurs de températures de l'air minimales sont enregistrées au mois de janvier cependant que les valeurs maximales, facteur déterminant de l'architecture ksourienne, sont enregistrées au mois de juillet (dépassé 44°C) avec une température moyenne annuelle de 21,45°C.

Les vents dominants sont du NE. Le vent de sable et le sirocco soufflent respectivement pendant 15 à 70 jours par années en causant des dégâts à l'agriculture et aux constructions. Le climat d'El-Kantara est ainsi classé semi-saharien se caractérisant par un hiver froid et un été chaud.

II.1. Détermination de l'isotherme de la ville de Biskra :

La matrice des isothermes nous a permis de distinguer 04 zones distinctes (Figure V.5):

00:00												
02:00	5,4	6,7	10,6	13,9	18,9	28,9	34,4	29,6	26,4	21,4	18,1	7
04:00	4,2	5,5	8,9	12,4	17,5	22,5	30	28	25,2	20,2	17,1	6
06:00	3,1	4,3	7,1	11,4	16,9	21,1	29,1	26,9	24,2	19,5	16,7	5,1
08:00	5	6	10	13,1	15	23,8	30,7	29	25,9	20,9	17,5	6,6
10:00	13,2	14,9	19,7	21,5	25	35,1	39	38,4	32,2	27,4	23,5	13
12:00	17,4	19,3	25	26,8	28,8	42,4	42,8	43,6	35,5	31	24,5	16,5
14:00	19,7	21,9	24,9	28,7	30,6	45,8	46,1	46,9	37,9	32,9	28,1	12,2
16:00	18,4	20,4	26,1	27,3	29,6	43,8	45	45,2	36,6	31,2	27,9	17,2
18:00	14,8	16,5	21,7	27,4	26,5	35,2	44	40,5	33,5	28,9	24,7	14,4
20:00	10,7	12,2	16,6	19	23	32	36,4	35,5	30,2	25,4	21,6	10,3
22:00	8,8	10,1	14,1	16,9	21,1	29,1	34,5	33	28,8	23,7	20,2	9,6
24:00:00	6,8	8,7	12,2	15	19,8	26,6	22,8	31	25,4	22,4	19	8,5
	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc

 La zone hyper chaude > 45°C

Figure V.5. L'isotherme de la wilaya de Biskra déterminant les différentes zones thermiques.

Source: Auteu(2017)

Une zone hyperchaude : où les valeurs extrêmes de la température sont enregistrées, elle comprend les trois mois d'été : juin, juillet et aout, et plus précisément dans la plage horaire qui s'étale de l'après-midi jusqu'à 16^h:00. Dans cette période, il est conseillé de rester chez soi.

Une zone de surchauffe : celle qui s'étale du mois de juin, juillet, aout, septembre et quelques jours du mois de mai et d'octobre. Cette zone connaît l'enregistrement des températures très élevées, dépassant le seuil du confort, ce qui nécessite des occultations solaires et le recours aux dispositifs de climatisation (Boukhabla, 2010).

Une zone de confort : délimitée par les mois de mars, avril et novembre et quelques jours de mois de mai et d'octobre. Cette zone est la période du confort et la satisfaction thermique des individus, autrement dit, c'est la période de la neutralité thermique, sans avoir besoin de recourir aux dispositifs de chauffage ou de climatisation.

Une zone de sous-chauffe: elle comprend les mois de janvier, février, ainsi que le mois de décembre, durant laquelle les habitants de Biskra connaissent la période la plus froide de l'année, en enregistrant des températures sous la limite du confort thermique, nécessitant l'usage des moyens de chauffage d'appoint (Boukhabla, 2010).

II.2. Détermination de la période de mesure :

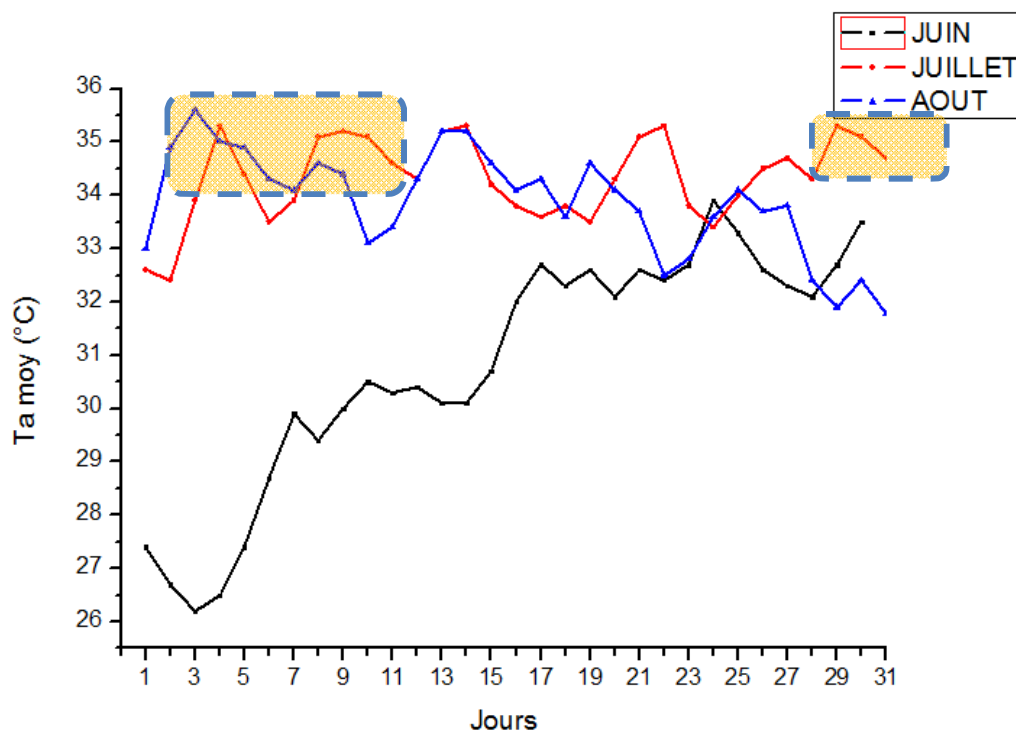


Figure V.6. L'évolution de la température de l'air moyenne d'une décennie (2005 – 2015).
Source : station météo

D'après les valeurs des températures moyennes enregistrées durant la période estivale au cours d'une décennie (2005 – 2015) (voir annexes N° 03, 04, 05) et d'après ce qui a été présenté à la figure V.7, on a remarqué que le stress thermique d'été atteint ses valeurs maximales durant la dernière semaine de juillet et le début d'août et plus précisément du 25 juillet jusqu'à 04 août présentant les journées typiques d'été au contexte d'étude. Et d'après ce qui est présenté dans l'isotherme de la ville de Biskra

exposé ci-dessus (Figure V.7), la durée d'après midi qui s'étale entre 14 :00 et 16 :00 est la durée de la surchauffe extrême choisie pour effectuer notre campagne de mesure.

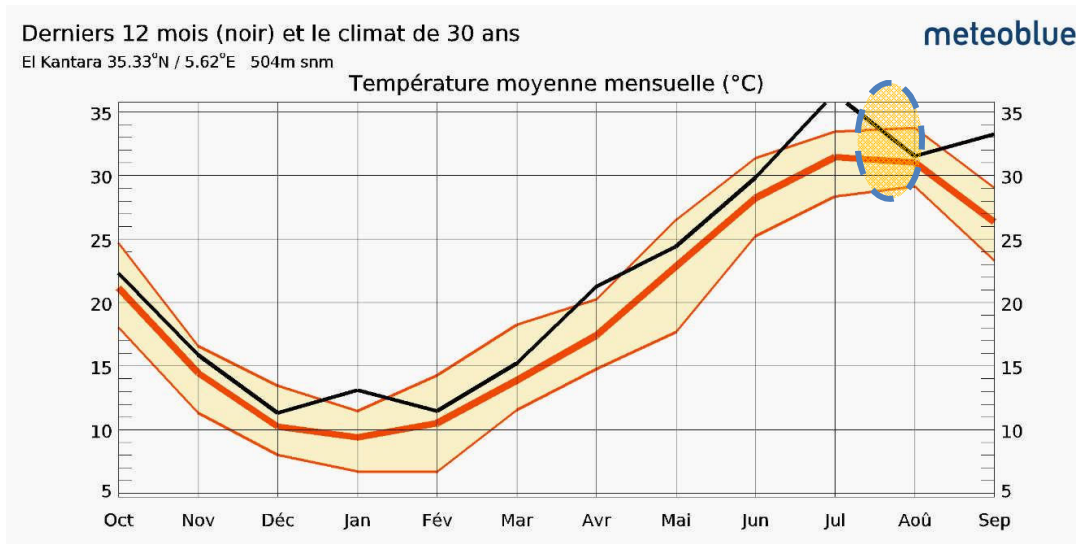


Figure V.7. Température moyenne mensuelle (°C) à El-Kantara pendant une année 2015 - 2016. Source: www.meteoblue.com

II.3. Analyse des températures de l'air :

La température de l'air est définie comme étant « l'état atmosphérique de l'air du point de vue de son action sur nos organes : degré de froid ou de chaleur » (Larousse, 1986). C'est une grandeur physique qui indique le taux d'échauffement et de refroidissement de la surface de la terre. C'est l'état atmosphérique de l'air du point de vue de son action sur nos organes : degrés de froid ou de chaleur.

En analysant les données climatiques des températures moyennes des maxima, températures moyennes des minima et les moyennes mensuelles durant la décennie (2003 – 2013), des variations significatives ont été enregistrées entre le mois le plus chaud et le mois le plus froid avec un écart considérable entre la période diurne et nocturne. Les valeurs de la température de l'air maximales et minimales ont été enregistrées aux mois de juillet le mois le plus chaud (41,5°C) et janvier le mois le plus froid (6,9°C) respectivement (Tableau V.1).

II.4. Analyse de la vitesse du vent :

Dans la région de Biskra, les vents sont fréquents durant toute l'année et répartis sur toutes les saisons, avec la fréquentation des vents de sable durant le printemps et l'été. Durant la période hivernale, les vents de direction NO sont les plus dominants. Le tableau ci-dessous (Tableau V.2) illustre l'évolution mensuelle de la vitesse de l'air pendant une décennie (2003-2013), les valeurs maximales de la vitesse de l'air ont été enregistrées durant la période qui s'étale de Février à Mai, avec une valeur maximale atteinte 5,1 m/s au mois d'avril.

Tableau V.1. Moyennes mensuelles de la température de l'air pendant la décennie (2003 - 2013).
Source: Station météo.

Mois	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aou	Sept	Oct	Nov	Déc
T_{moy} max (°C)	15,5	18,4	23,0	26,8	32,2	37,8	41,5	40,5	34,6	29,5	22,2	17,6
T_{moy} min (°C)	6,9	7,5	11,4	15,3	19,7	24,7	28,2	27,8	23,1	18,4	11,9	7,9
T_{moy} (°C)	11,8	12,8	17,2	21,3	26,1	31,6	35,1	34,2	28,8	23,8	16,2	12,3

Tableau V.2. Moyennes mensuelles de la vitesse de l'air pendant la décennie (2003 - 2013).
Source: Station météo.

Mois	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
Va_{moy} (m/s)	3,9	4,3	4,5	5,1	4,7	3,9	3,4	3,3	3,5	3,3	3,5	3,9

II.5. Analyse de l'humidité relative :

Elle est l'expression en pourcentage du degré hygrométrique, représenté par le rapport entre la quantité de vapeur d'eau dans l'air à celle que l'air peut contenir pour la même température (Givoni, 1978).

Le tableau et le graphe ci-dessous illustrent l'évolution mensuelle de l'humidité relative dans la région de Biskra, pendant une décennie (2003 - 2013). Les valeurs

montrent que l'humidité relative est considérablement faible et varie en fonction la température et les amplitudes thermiques importantes. Ces valeurs varient entre un taux de 26% qui correspond au mois de juillet, le mois le plus chaud de l'année, et 60% comme valeur maximale enregistrée au mois de décembre. D'après la lecture des graphes relatifs à l'humidité on a remarqué que la période hivernale, durant les mois novembre, décembre, janvier et février, comporte un taux maximal de l'humidité supérieure ou égale à 50% contrairement à la période estivale où les valeurs étaient moins de 30%. Tandis que les enregistrements des autres mois varient entre 41% - 48%.

Tableau V.3.moyennes mensuelles de l'humidité relative pendant la décennie (2003 - 2013).
Source: Station météo.

Mois	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
HR_{Moy} (%)	57	50	45	41	34	29	26	29	41	48	54	60

II.6. Analyse des précipitations :

La pluviométrie est le premier facteur qui conditionne le climat d'une région. Le terme « précipitations » englobe toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la Terre, que ce soit sous forme liquide (pluie) ou sous forme solide (neige, grêle).

Les précipitations sont produites par le phénomène de condensation de l'air dans les couches supérieures de l'atmosphère, sous forme de nuages contenant des gouttelettes d'eau, l'air s'élevant de plus en plus haut, le poids des gouttelettes augmente, provoquant ainsi la chute de pluies ou de neige. (Givoni, 1978). Les précipitations sont influencées notamment par les mouvements des vents et les changements des régimes de températures. Elles sont considérées comme un élément déterminant dans la classification des climats.

Nous avons repris dans le tableau suivant les résultats des précipitations moyennes mensuelles retenues durant la décennie (2003- 2013). D'après les données de la pluviométrie dans la région de Biskra, le climat de cette ville se caractérise par la rareté, la faiblesse et l'irrégularité. L'évolution des précipitations moyennes mensuelles de la station de Biskra, pour différentes périodes, montre que les valeurs de précipitations maximales sont marquées principalement, en mois d'octobre avec un maximum de 22,0 mm, alors que

le mois le plus sec est celui de juillet, avec une valeur enregistrée de 0,8 mm. La figure ci-dessous nous a montré que la ville de Biskra se trouve dans la zone qui a un taux pluviométrique de 100 à 200mm, tandis que la région où se situe notre cas d'étude à El-Kantara se trouve dans la zone qui a un taux pluviométrique de 200 à 300mm (Figure V.8).

Tableau V.4. Moyennes mensuelles de l'humidité relative pendant la décennie (2003 - 2013).
Source: Station météo.

Mois	Jan v	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
Précip moy (mm)	20, 2	7,7	19,5	19,3	14,9	4,6	0,8	2,0	16,5	22,0	13,9	12,0

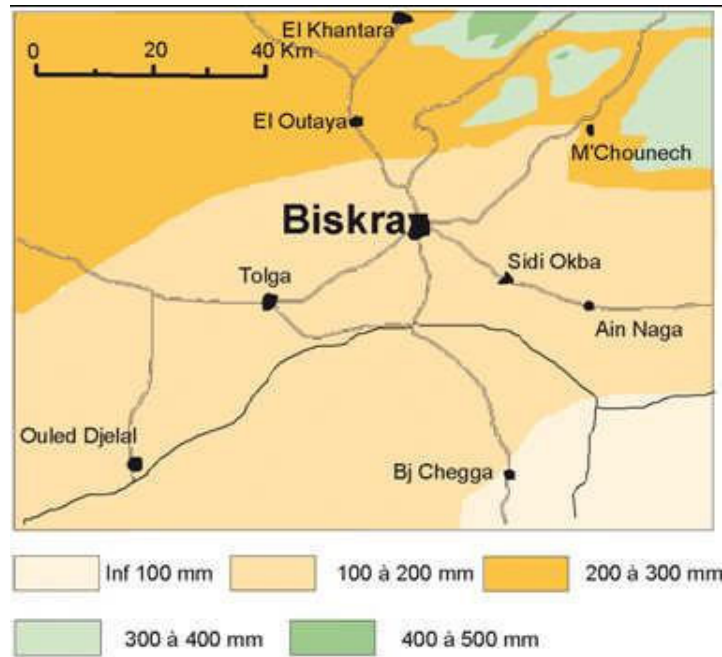


Figure V.8 : Carte de répartition de la pluviométrie, région de Biskra (Extrait de la carte pluviométrique de l'Algérie au 1/500.000, 1971).

III. Calcul de l'indice d'aridité de la ville de Biskra :

III.1. L'indice d'aridité annuel de De Martonne :

L'aridité peut se décrire quantitativement par différents indices d'aridité conventionnels et empiriques fondés principalement sur des grandeurs moyennes de précipitations et de températures, ces indices sont utilisés pour définir les rangs d'aridité.

Parmi lesquels, sont ceux de E. De Martonne (1926), L. Emberger (1932) qu'on va les définir afin de déterminer l'indice d'aridité de la région d'étude.

Ceci implique l'application de la formule de De Martonne :

$$Im = P / (T + 10) \rightarrow Im = 154,26 / (22,60 + 10) \rightarrow Im = 4,73$$

Im : indice d'aridité

P : précipitations totales annuelles.

T : température moyenne annuelle.

La lecture de cet indice se fait comme suit :

- $Im < 5$: désigne un climat hyper aride.
- $5 < Im < 10$: désigne un climat aride.
- $10 < Im < 20$: désigne un climat semi aride.
- $20 < Im < 30$: désigne un climat semi humide.
- $30 < Im < 55$: désigne un climat humide.

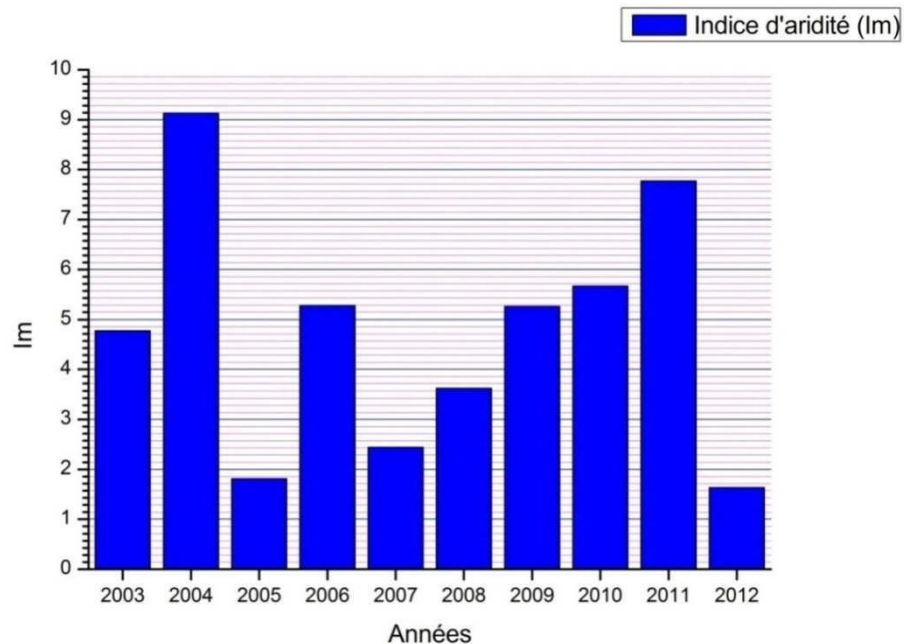


Figure V.9. Indices d'aridité calculés durant une décennie (2003 -2012).
Source: auteur (2016).

D'après les résultats obtenus durant la décennie « 2003-2012 » (Figure V.9), et selon l'échelle de classification, la ville de Biskra est considérée comme: « une zone hyper aride » (Figure V.10).

Tableau V.5. Les valeurs de l'indice d'aridité calculées selon les données climatiques d'une décennie (2003-2012). Source : auteur (2016).

Année	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	MOY
Précipitations totales moyennes (mm)	156,9	294,1	58,8	173	79,3	118,4	169,8	185,5	252,3	54,5	154,26
Températures moyennes annuelles (°C)	22,83	22,18	22,45	22,73	22,45	22,63	22,24	22,71	22,44	23,38	22,60
Indice d'aridité (Im)	4,77	9,13	1,81	5,28	2,44	3,62	5,26	5,67	7,77	1,63	4,73

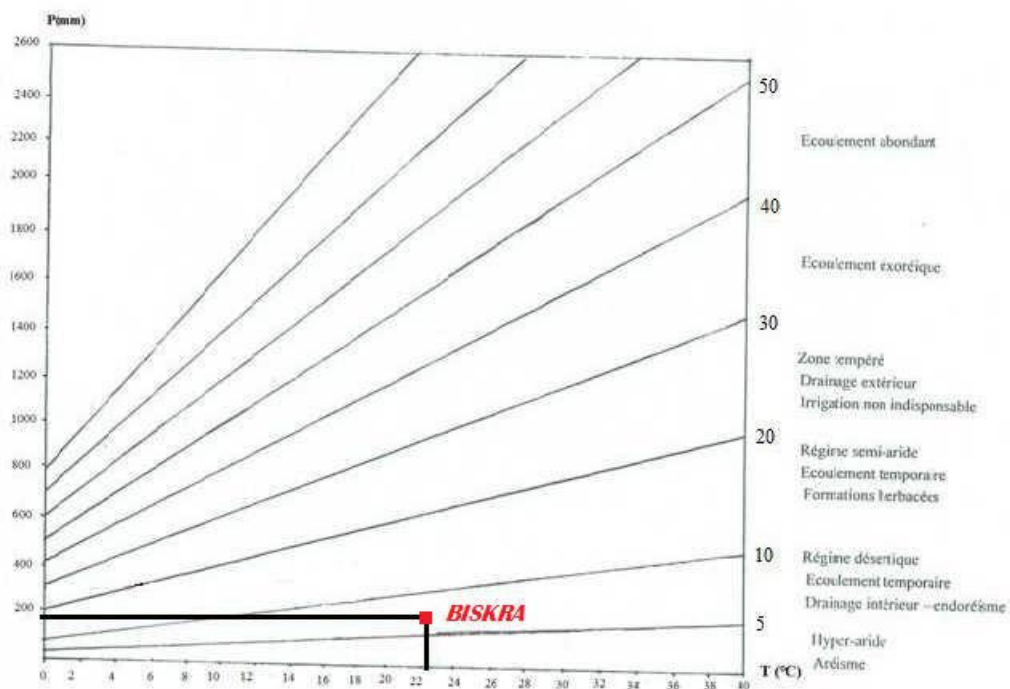


Figure V.10. Indice annuel d'aridité de De.Martonne dans la ville de Biskra. Source: auteur (2016).

III.2. Indice d'aridité mensuel de De. Martonne :

Un indice d'aridité peut être calculé par mois, il est défini par la formule:

$$a=12P / (T+10)$$

Avec : P:précipitations mensuelles moyennes (mm)

T : températures mensuelles moyennes(C°)

Les valeurs de l'indice d'aridité mensuel sont présentées au tableau suivant :

D'après les résultats acquis (Tableau V.7), le mois de janvier est classé comme semi-aride et les mois de mars, avril, septembre, octobre, novembre et décembre sont considérés comme arides, tandis que les autres mois sont catégorisés comme : hyper-arides.

Tableau V.67. Tableau des indices d'aridité mensuels. Source: auteur (2016).

Mois	P	Ta	Im
janvier	20,79	11,74	11,47
février	8,29	12,89	4,34
Mars	19,66	17,12	8,69
Avril	18,68	21,27	7,16
Mai	16,27	26,16	5,39
Juin	3,1	31,75	0,89
Juillet	0,86	35,19	0,22
Aout	1,04	34,39	0,28
Septembre	17,86	28,73	5,53
Octobre	20,8	23,56	7,43
Novembre	15,24	16,13	6,99
Décembre	11,67	12,31	6,27

III.3. la classification bioclimatique d'Emberger (Climagramme):

L'indice climatique d'Emberger, est défini par la formule:

$$Q=2000 P / (M^2 - m^2)$$

Avec :

- Q: quotient pluviométrique d'Emberger.
- P: précipitations moyennes annuelles en mm.

- M : moyenne des températures maximales du mois le plus chaud, en degré absolu T°C+ 273(°K).
- m : moyenne des températures minimales du mois le plus froid, en degré absolu T°C+ 273 (°K).

P (mm)	M (°K)	m (°K)	Q
154,26	308,19	284,74	22,18

L'application de cet indice sur le climagramme d'Emberger (Figure V.11), nous a montré que la ville de Biskra se caractérise par un climat « Saharien ».

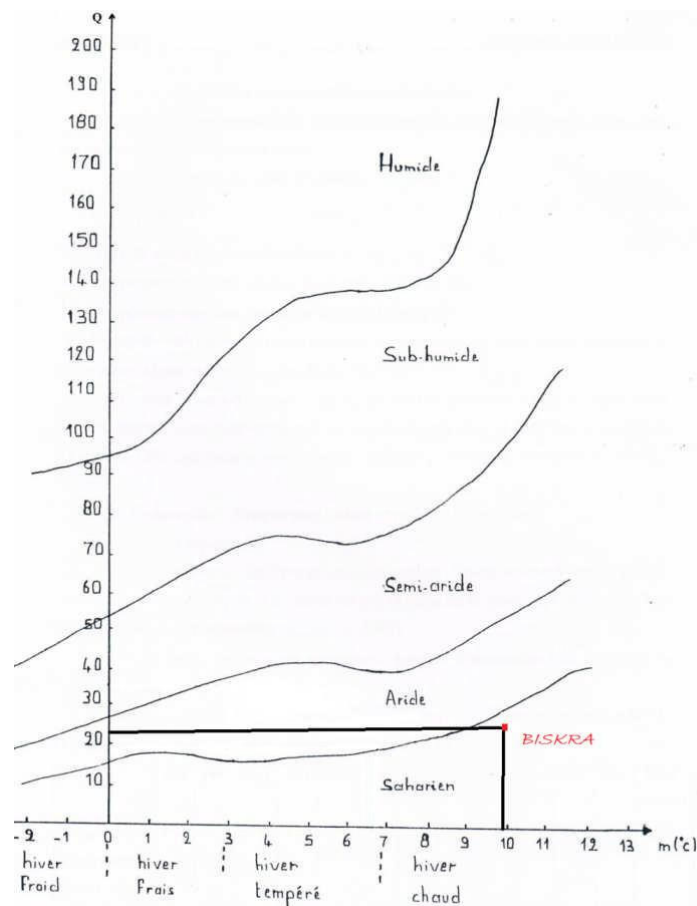


Figure V.11. Localisation de la région de Biskra sur le climagramme d'Emberger.

Source : auteur (2016).

IV. Le positionnement épistémologique :

Une classification des méthodes d'évaluation du confort thermique à l'échelle urbaine a été distinguée selon l'état d'équilibre thermique, « les méthodes d'évaluation de

l'état d'équilibre», ces modèles sont basés sur le principe de l'exposition des personnes à un environnement climatique et l'atteinte de l'équilibre thermique par des équations de bilan énergétique de la thermorégulation en fonction du temps estimé en faisant appel aux indices thermiques convenablement utilisés pour l'estimation des conditions thermiques extérieures, parmi lesquels : PMV, PET, ITS¹, OUT SET, la méthode COMFA,. Contrairement aux « méthodes d'évaluation de l'état d'équilibre », « Les méthodes d'évaluation de l'état de déséquilibre » négligent le lien entre les conditions microclimatiques et les aspects dynamiques de l'adaptation thermique de l'être humain dans son milieu, ces méthodes s'appuient sur la température de la peau et la température du corps, sur la base desquelles la thermorégulation s'effectue pour l'état passif.

Afin d'évaluer le confort thermique en espaces extérieurs, en relation avec le comportement des usagers, un certain nombre des chercheurs ont utilisé la température moyenne radiante T_{mrt} , largement appliquée, les indices thermiques PMV et PET applicables dans plusieurs conditions climatiques y compris les paramètres microclimatiques, ainsi que les caractéristiques des participants et étudié les variations temporelles et spatiales de ces indices par plusieurs outils de simulation s'inscrivent dans le domaine de la climatologie urbaine, parmi lesquels: Envi-met®, Rayman®, Solweig®.

À vrai dire, les chercheurs ont convenu que le confort thermique n'est pas seulement influencé par les réponses physiologiques liées au système de régulation vis-à-vis les variables microclimatiques, mais aussi par l'adaptation psychologique et sociale inévitable qui présente le degré d'adaptation des usagers aux conditions extérieures, en considérant qu'une approche purement physiologique n'est pas suffisante pour une évaluation convaincante et fiable du confort thermique dans un espace extérieur.

En conclusion, on peut classifier les méthodes d'évaluation du confort thermique dans les espaces extérieurs en trois approches :

- Approches empiriques appliquées sur des climats spécifiques tels que : les indices Wind Chill température (WCT) et Discomfort index.
- Approches statistiques basées sur la relation entre les grandeurs physiques mesurées et les résultats des enquêtes afin d'estimer le niveau de la perception thermique effective.

¹ ITS : l'indice du stress thermique.

- Approches thermophysiologicals qui prennent en considération les paramètres climatiques et les caractéristiques des usagers de l'espace. Ces approches sont basées sur la résolution de l'équation du bilan énergétique, à partir de laquelle plusieurs indices ont été développés, parmi lesquels : le vote moyen prévisible (PMV), la température physiologique équivalente (PET), la température effective (ET*) et ses dérivés la température effective standard (SET*), la température perçue (PT*) et la méthode COMFA.

D'après les revues des méthodes utilisées (Figure V.12) qui ont été mentionnées ci-dessus, et qui ont été la résultante du chapitre I issu de la recherche bibliographique, on a choisi un modèle composé de trois techniques qui sont :

- l'investigation (analyse typomorphologique du tissu urbain et les stations de mesures + la prise de mesures) ;
- la simulation numérique qui va se baser sur les mesures des paramètres microclimatiques pour déterminer les indices de confort (PMV et PET) ;
- et la méthode d'enquête basée sur un questionnaire.

Donc, l'originalité de notre travail de recherche

- 1- L'application sur un contexte saharien patrimonial (le ksar) sur lequel peu d'études ont été faites.
- 2- L'exhaustivité du modèle d'analyse composé de trois (03) techniques de recherche qui se complètent :
 - L'expérimental.
 - La simulation.
 - L'enquête.

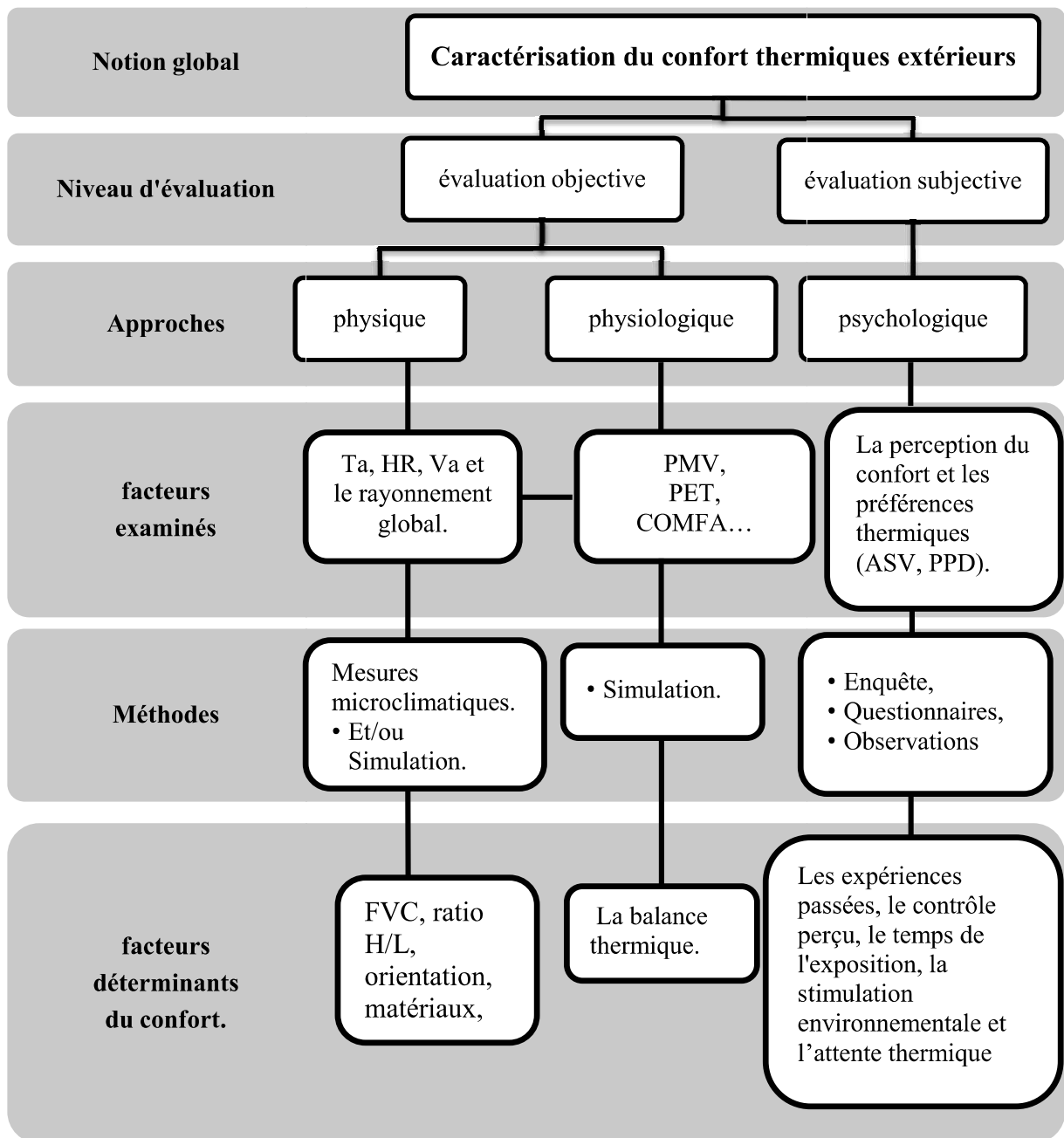


Figure V.12. Schéma récapitulatif des différents types d'investigations utiles à l'évaluation du confort thermique dans les espaces extérieurs. Source : auteur (2016).

V.1. Analyse typo morphologique :

V.1. Définition :

C'est une méthode d'analyse apparue dans les années 60 et dont la théorie a été formulée par l'architecte italien Aldo Rossi dans son livre « l'architecture de la ville », apparu en 1966. Cette méthode aide à la distinction des différents types de formes urbaines

qui caractérisent la ville en se basant sur la connaissance des caractéristiques morphologiques afin de définir les différentes typologies existantes du tissu urbain. Donc, la typo morphologie urbaine est l'analyse des formes urbaines via la trame viaire, le parcellaire, les volumes et l'implantation des bâtiments en étudiant : la volumétrie, l'implantation, l'évolution prévisible, le rapport entre pleins et vides, la relation au voisinage, les fonctions urbaines présentes telles que les commerces, les services, les bureaux...etc (ADEUS, 2014).

L'analyse typo morphologique est l'étude des conditions d'apparition des différents types existants, la relation entre eux, les techniques appliquées pour leur réalisation ainsi que les pratiques qu'ils suggèrent, en passant par la distinction des éléments qui compose le tissu en analysant ses propriétés associatives et distributives en vue de comprendre la richesse fonctionnelle d'un tissu, notamment par la diversité des solutions offertes à travers un type et ses variantes. La construction de la typologie nécessite une étude approfondie de parcellaire composé de l'ensemble des parcelles solidaires dans le tissu et distinguées entre elles par la taille, la forme, l'orientation, la position dans le tissu et son occupation (type de construction) constituant les éléments qui définissent la parcelle (Bekkouch, 2005).

IV.2. Objectifs de l'analyse typo morphologique :

- La compréhension du processus de l'élaboration, la création et la diffusion des nouveaux types architecturaux
- Rendre le type et la forme urbaine deux éléments indissociables.
- Trouver l'effet des modifications de la culture architecturale ainsi que la nature des changements appliqués au type.
- Cerner le processus de vie des types comment ils s'établissent, se déforment, à quoi ils se réfèrent).
- Définir les caractéristiques communes et les variations d'un type.
- Rechercher les capacités d'adaptation d'un type (Bekkouch, 2005).

IV.3. Étude typomorphologique et structurelle de la Dachra-El-Hamra :

La Dachra El-Hamra est une entité compacte qui se caractérise par un tissu urbain très dense dont les rues sont étroites et non revêtues, et par le type dominant des habitats construits selon le style architectural saharien simple (Figure V.13). Les rues, les ruelles en chicane et les impasses (*Z'gag*), les passages couverts (*Skifa*), placettes (*Rahba ou*

Batha) sont les éléments constitutifs de la trame viaire conçue en conformité avec le style des vieilles villes (*Ksour*) et selon le modèle introverti de médina arabo-islamique assurant une bonne organisation spatiale et une hiérarchisation des espaces dans le tissu urbain. L'étroitesse des rues et la mitoyenneté des constructions sont les éléments qui illustrent la densité urbaine de ce tissu urbain (Lebsir, 2010).

Les rues sont étroitement tracées non revêtus, sinueuses et profondes dont la largeur ne dépasse pas 6m pour les rues principales tandis que les impasses, donnant accès aux habitations, ne dépassent pas 3m. Cette étroitesse des rues combinée avec la hauteur des maisons génère un tissu compact et dense (Figure V.14).



Figure V.13. Périmètre d'étude de l'expérience.

Source: GoogleEarth (Consulté 12/05/2016).

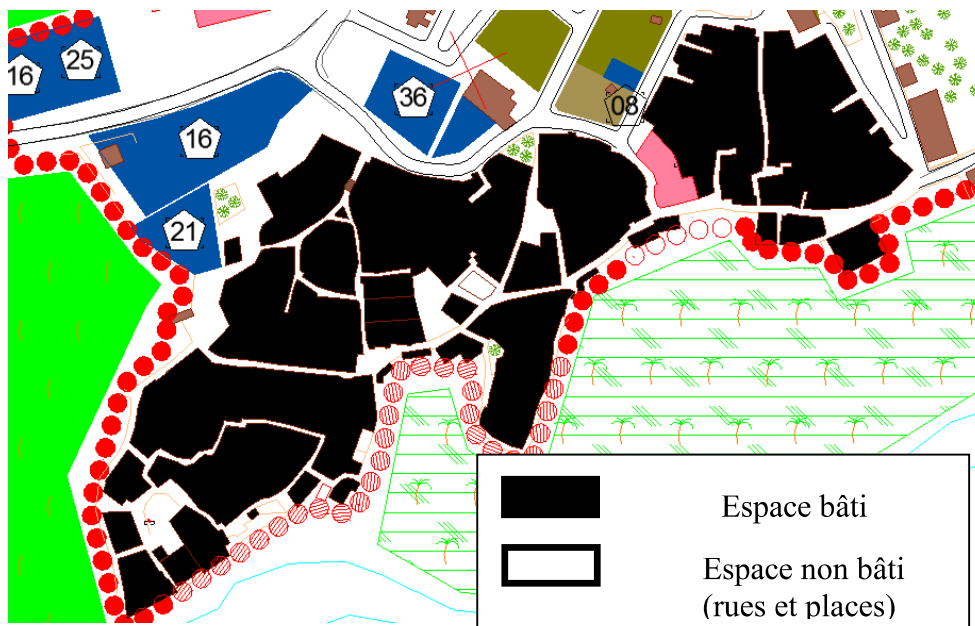


Figure V.14. Caractérisation des espaces extérieurs par rapport à la totalité urbaine.

Source: auteur (2016).

Le tissu urbain étudié se caractérise également par l'adoption des passages couverts dits « *Skifa* », protégés par des troncs de palmiers ou par une pièce d'habitation saillante construite afin d'accroître la surface habitable et de générer l'ombre au niveau de la rue (Figure V.15).



Figure V.15. Les passages couverts dans le Village Rouge.

Source: auteur (2016).

Une autre typologie des rues caractérise la Dachra-El-Hamraet représente celles qui se situent au front de l'oasis et surplombent la palmeraie et l'oued constituant des balcons panoramiques sur l'oasis et l'oued au bas de la Dachra (Figure V.16).



Figure V.16. Les balcons surplombant les oasis dans le Village Rouge.

Source: auteur (2016).

Dans la « Dachra El-Hamra », l'espace et la société sont deux éléments complémentaires indissociables, ce tissu traditionnel se caractérise par une forme linéaire très compacte se compose par l'adjonction complexe de parcelles irrégulières présentant un degré élevé d'associativité, ce qui donne la naissance à un système viaire complexe présente une hiérarchie fascinante dont les rues et les ruelles s'enchevêtrent en labyrinthe. L'occupation des parcelles, issues d'un découpage d'héritiers, renforce le caractère compact et dense du tissu et l'accolement des parcelles et les maisons qui s'adosent les unes aux autres ont conduit à l'adoption des impasses pour assurer l'accessibilité pour eux (Hamouda et outtass, 2011).

Les façades donnant sur la rue sont construites en briques de terre « *toub* » et recouvertes d'un simple enduit sont des murs aveugles forment une grande muraille d'une hauteur considérable.

IV.4. L'habitat traditionnel:

Le terme d'habitat traditionnel réunit toutes les maisons construites à l'époque précoloniale, situées dans les tissus anciens à caractères homogènes situés à El-Kantara : Dachra, Gregeur et Bor Abbas.

Dans la Dachra-El-Hamra, les maisons surélevées d'un seul étage au maximum sont organisées tout au long de la ruelle parfaitement hiérarchisée allant des espaces publics (extérieurs) aux espaces intérieurs privés et intimes dédiés aux activités familiales passant par des espaces semi-publics (intermédiaires), donc, la maison est articulée à l'espace semi-public (la ruelle) par une entrée en chicane (skiffa), dont le rôle consiste à préserver l'intimité du patio central des regards étrangers. Celui-ci est le lieu des réunions familiales (Figure V.17). Les différentes pièces de la maison Kantari sont organisées autour une cour structurante plantée d'arbres fruitiers ou de palmiers afin de modérer le stress thermique durant les journées les plus chaudes d'été (Lebsir, 2010).

La maison traditionnelle d'El-Kantara est à la base, un corps de logis linéaire construit sur une seule travée donnant sur cour, avec ou sans étage appelé "l'aali" ou la "tabga". Elle est retranchée à la rue par un mur complètement aveugle dont la relation avec l'extérieur se fait à travers un espace en chicane localement appelé "sguifa" qui donne accès direct à la cour centrale ou « haouche », qui elle-même donne accès aux autres espaces de la maison : soit des chambres multifonctionnelles (beit), cuisine (kanoun) et toilettes (Hamouda et Abdou, 2013).

La particularité la plus frappante de la maison traditionnelle kantarie est qu'elle était fortement introvertie pour assurer la séparation de la vie publique et privée pour des raisons de préserver l'intimité, ce qui implique que les portes et les fenêtres être donnant sur la cour (Figure V.18).

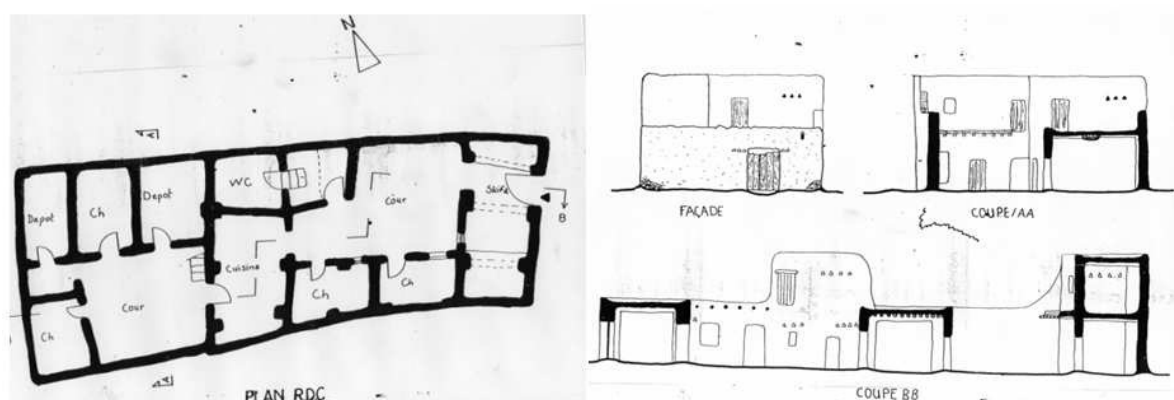


Figure V.17. Plan (à gauche), coupes (à droite) d'une maison au Village Rouge.

Source : Hamouda et Ouattas (2011).



Figure V.18. Plans de la maison traditionnelle Kantarie.

Source: Hamouda et Ouattas (2011).

La maison traditionnelle obéit à des règles et des normes sociales : discrétion, réception, travaux ménagers. Pour cela, Il est difficile de distinguer la séparation entre les différentes maisons juxtaposées et les limites de la façade qui tend à être aveugle ne comporte que la porte d'entrée comme éléments de transition entre l'extérieur et l'espace dite «*Sguiifa*» qui constitue une pièce donnant sur la rue comme étant un espace tampon entre l'intérieur et l'extérieur, c'est un espace en chicane joue un rôle important dans le fonctionnement de la maison, elle sépare deux mondes différents ainsi que la gestion des activités domestiques et l'utilisation des autres pièces des la maison en séparant les espaces masculins et féminins. Un autre espace joue un rôle primordial à l'organisation spatiale de la maison Kantarie : « la cour » ou le «*haouche*», un espace structurant où se déroulent les activités quotidiennes par excellence, autour duquel se regroupent des pièces multi fonctionnelles, leurs utilisations diffèrent selon les besoins journaliers, il est divisé en deux parties : un espace en plein air et un espace couvert localement appelé «*n'cif*», toponymie qui fait référence à la langue arabe «*nisf* » qui signifie la moitié(Hamouda et Outtass,2011).

Le système constructif de ces maisons a été analysé par (Lebsir, 2010) et présente les particularités suivantes :

- Les soubassements sont traités en pierres pour éviter les remontées d'humidité du sol.
- Un débordement de toit ou un avant-toit a été réalisé dans le bâtiment afin d'éviter les ruissellements de pluie sur l'arase des murs extérieurs
- Le plancher et l'étanchéité se composent de poutres, poutrelles en troncs de palmiers + palmes (jrid) et saaf
- La structure intermédiaire sous forme des piliers en troncs de palmiers généralement dans des espaces à portée importante.
- Les murs sont revêtus en argile de terre et chaux.
- Les points fragiles, zones d'usure : angles, chaînages, entourages d'ouvertures, points de fixations de ferrures de portes ou de volets : en bois et troncs de palmier.
- Le système d'évacuation des eaux de pluie : formée de gouttières dont une partie noyée dans le massif de la construction et l'autre débordant au-delà des murs extérieurs ; en morceaux de troncs de palmiers coupés à l'axe et creusés en canal. Au sol utilisation de rigoles maçonnées à la chaux le long des murs.

IV.5. Les édifices à caractère culturel et religieux :

Cette région est caractérisée par ces habitations de style saharien construites en matériaux locaux, ses rues et ruelles étroites, elle comporte également des édifices à caractères religieux et culturels qu'on doit les citer :

- **La mosquée de BENI OUADJ**, construite en 1780. Elle est considérée comme le plus prestigieux édifice du village et un important musée d'art et d'architecture islamique (Figure V.19).
- **Mausolée AHMED BEN BRAHIM** construit en 1600. Une petite salle de prière abritant le tombeau d'un illustre personnage (Figure V.20).
- **Mausolée CHEIKH HACHANI (HAOUN)** construit en 1900. Le mausolée abrite le tombeau de cheikh el-hachani, avec une petite salle de prière ; on vient de tout le village pour célébrer une fête chaque année et formuler des vœux.

- **Mausolée DAR CHEIKH (SI TAIB)** construit en 1800 Un tombeau en style colonial abritant un illustre personnage au centre de la placette ; avec une petite mosquée d'un état très dégradée et une école coranique (*Medersa*) (Figure V.21).



Figure V.19. Vues sur la mosquée BENI OUADJ.

Source : Auteur (2016).



Figure V.20. Vue de la façade principale du mausolée Ahmed Ben Brahim.

Source : Lebsir (2010).



Figure V.21. Vue d'ensemble du mausolée Dar Cheikh

Source : auteur (2016).

- **Mausolée SIDI ABDEDDAIM** Une petite école coranique (*medersa*) abritant le tombeau d'un illustre personnage (Figure V.22).

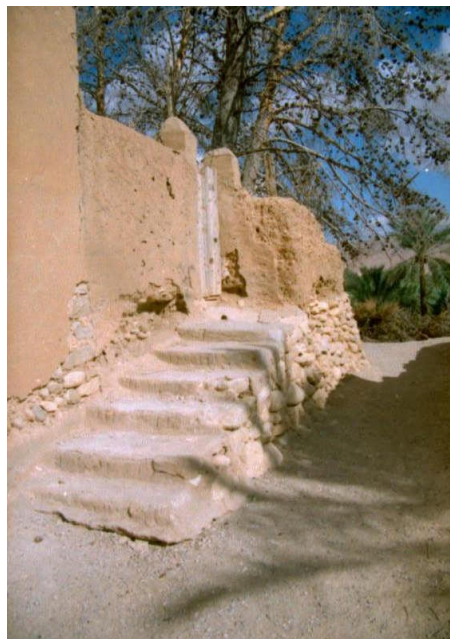


Figure V.22. Vue de la façade principale du mausolée Sidi Abdeddaim.

Source Lebsir (2010).

- **Musée lapidaire** fondé par GASTON DE VULPILLIERES en 21 octobre 1934. Ce musée aménagé à l'air libre offrant de précieuses et importantes collections provenant

des sites archéologiques, marquant le passage des Romains dans la région d'El-Kantara(Figure V.23).



Figure V.23. Vues d'ensemble du musée lapidaire.

Source: auteur (2016).

- **BEIT KAHLA :** C'est une construction en ruine, les habitants du village affirment qu'elle a été habitée par une femme de bon foie ; la tradition orale a tissé autour de ce personnage plusieurs contes et mythes que la mémoire collective a entretenus jusqu'à nos jours ; on disait qu'elle était la première construction du village.

V. Localisation des points de mesure :

Ces stations ont été choisies à l'échelle de l'espace extérieur afin d'établir une étude comparative entre eux. Chaque point de mesure décrit des caractéristiques géométriques distinctes (facteur de vue du ciel, le rapport H/L, passages couverts...) afin de cerner les différentes typologies existantes au site d'étude et assurer la diversité spatiale nécessaire à examiner le confort thermique dans chaque point en démontrant l'effet de cette diversité sur la fluctuation de l'environnement thermique (Figure V.24).

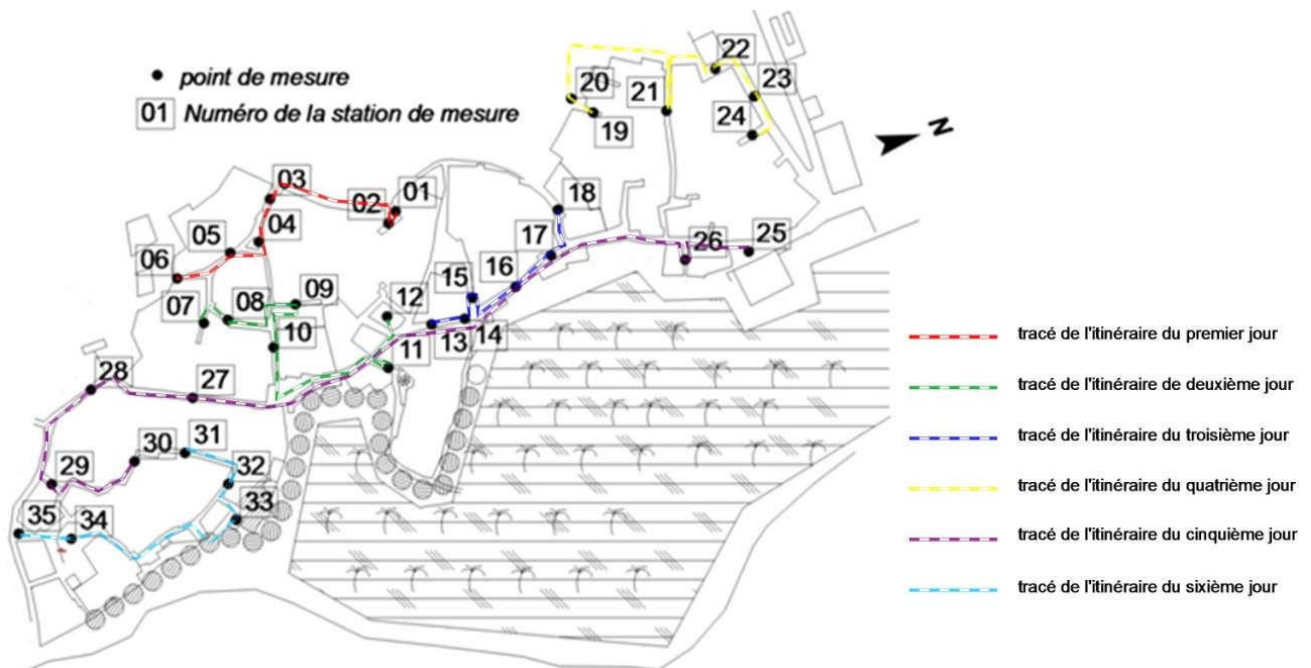


Figure V.24. Localisation des points de mesure.


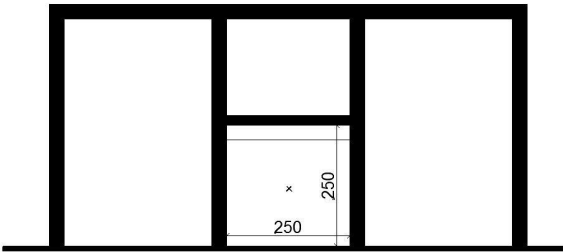

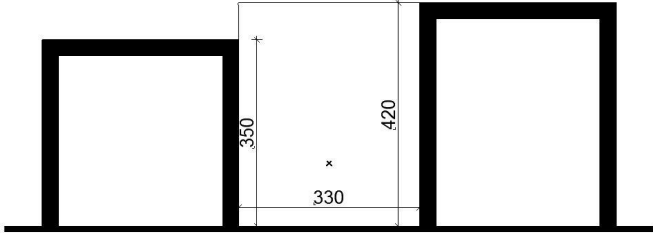
Source : auteur (2016).


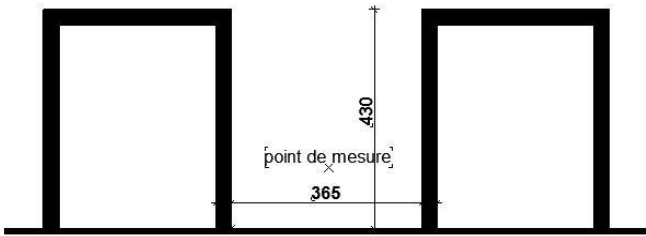

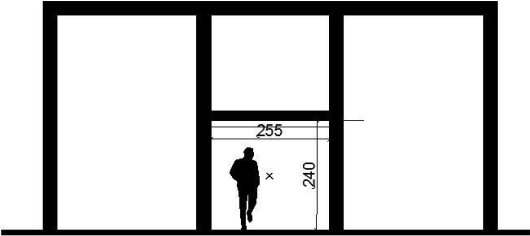

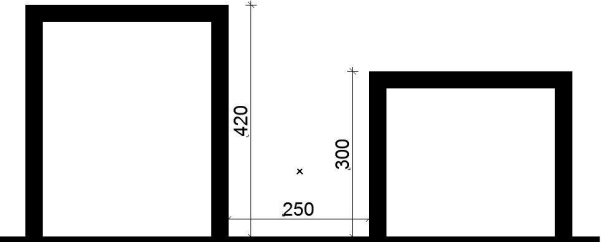
VI. Lecture typomorphologique des points de mesure :


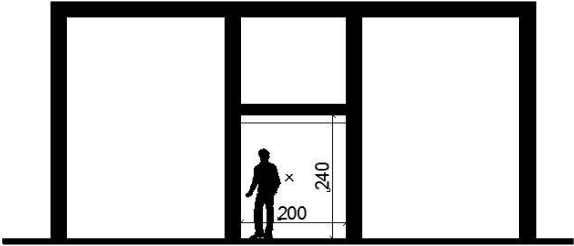

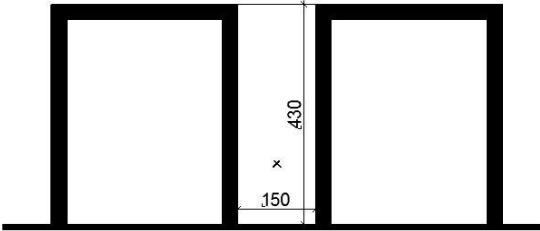

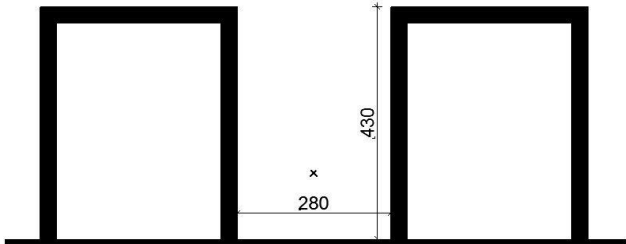
Dans le site d'étude, la rue et la ruelle se présentent comme des éléments de dégagement, avec un état d'irrégularités formelles sinueuses. Les mesures ont été prises en choisissant un itinéraire passant par l'ensemble de 30 points de mesures dont le choix est motivé par :


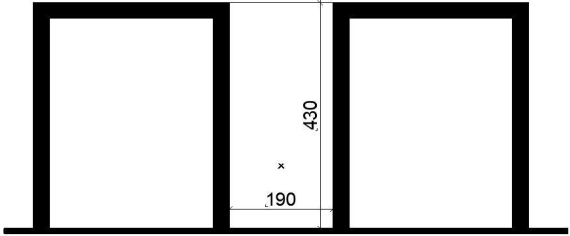

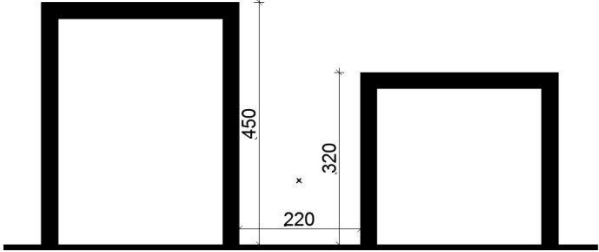

- La diversité des caractéristiques morphologiques (forme, orientation, ouverture au ciel, matériaux des limites physiques) entre les différents points choisis;
- La contiguïté des points choisis favorisant une investigation dynamique en suivant un parcours défini par ces points, pour cela, on a choisi trois parcours distincts au site d'étude, en élaborant les mesures en 06 journées successives.


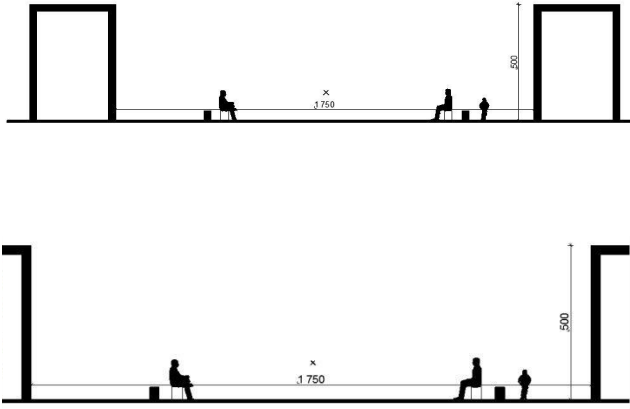

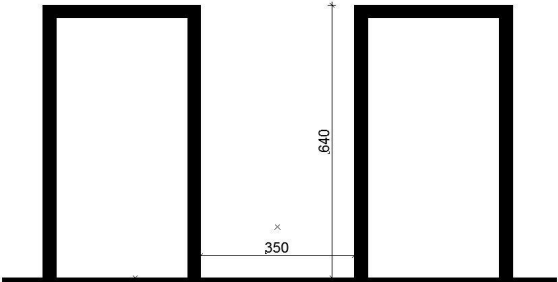

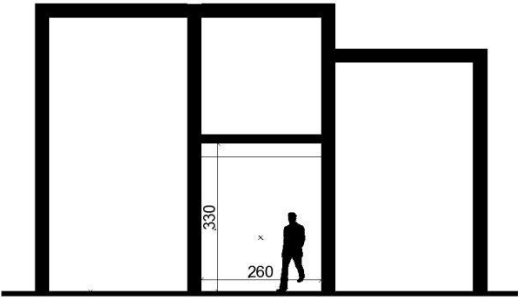
Trente-cinq (35) points de mesure ont été retenus afin de cerner les différentes typologies de l'espace extérieur, dans le tableau ci-dessous, les différents points de mesure sont présentés et analysés au tableau (Tableau V.8)


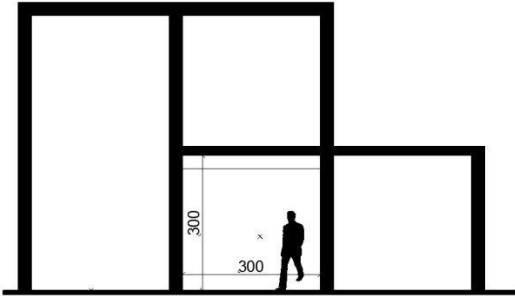

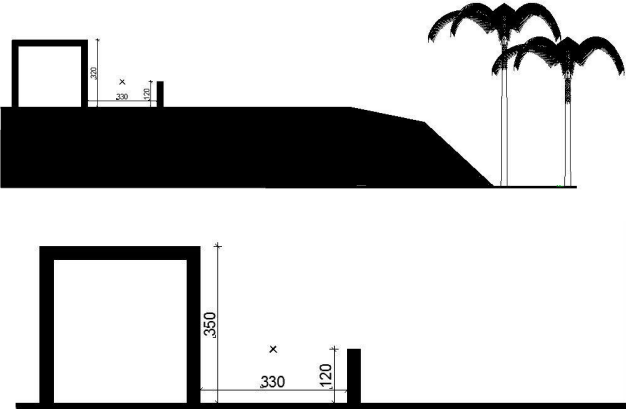

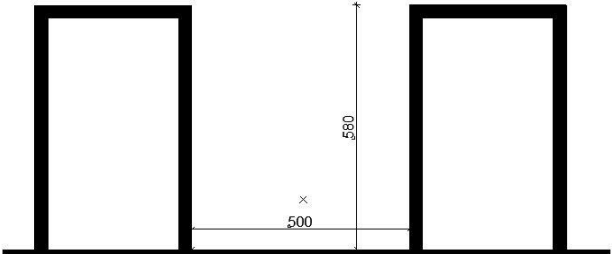
Point de mesure	Relevé photographique	coupe	Lecture typo morphologique
01			<p>Passage couvert donne l'accès vers une rue encaissée (Un impasse) sous forme de L dont le sol revêtu en asphalte et abrité par les troncs de palmiers sous une pièce d'habitation saillante en créant un passage couvert orienté EST -OUEST, bordée de bâtiments, construits en brique de terre des deux cotés.</p> <p>Albédo du sol : 0,05</p> <p>H=2,5m ; L=2,5m ; H/L= 1</p>
02			<p>Rue encaissée (Un impasse) asymétrique sous forme de L donne l'accès aux maisons orienté NORD-SUD, le sol est revêtu en asphalte bordée dansses deux cotés par des bâtiments construits en béton d'une part et brique de terre d'autre part.</p> <p>Albédo du sol : 0,05</p> <p>H1= 3,5m ; H2=4,2m ; L=3,3m ; H1/L= 1,06 ; H2/L= 1,27</p>


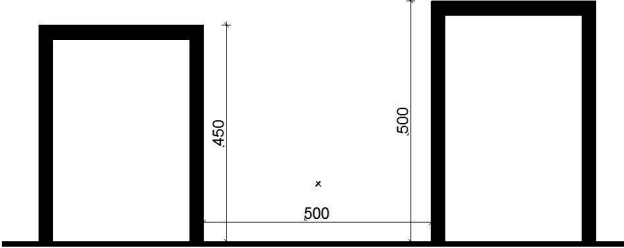

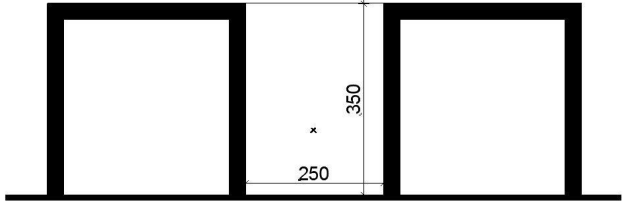

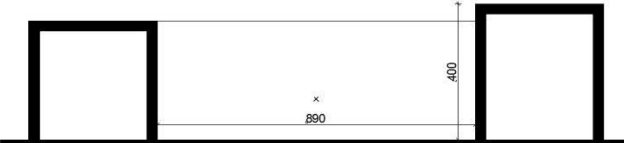
03			<p>Rue dièdre droite, une des entrées principales de la Dachra orienté NORD OUEST-SUD EST bordée de bâtiments construits en brique de terre, des deux cotés. le sol est revêtu en gravier.</p> <p>Albédo du sol : 0,08</p> <p>H=4,3m ; L=3,65m ; H/L= 0,93</p>
04			<p>Un passage couvert en troncs de palmiers + palmes (jrid) et saaf, orienté EST- OUEST bordée de bâtiments construits en brique de terre, des deux cotés. le sol sans revêtement (nu).</p> <p>Albédo du sol : 0,15</p> <p>H=2,4m ; L=2,55m ; H/L= 0,94</p>
05			<p>Rue canyon droite asymétrique orienté NORD-SUD est bordée de deux alignements des bâtiments construits en brique de terre, de part et d'autre, le sol est sans revêtement (nu).</p> <p>Albédo du sol : 0,15</p> <p>H1= 3 m ; H2=4,2m ; L=2,5m ; H1/L= 1,2 ; H2/L= 1,68</p>


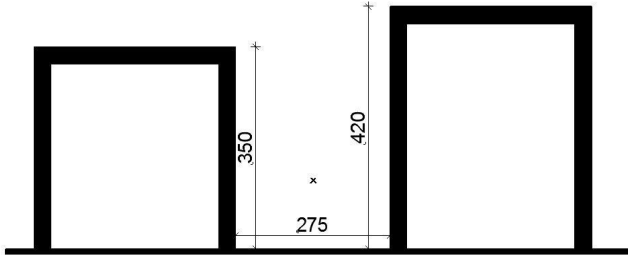

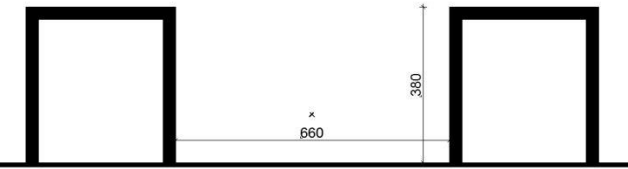

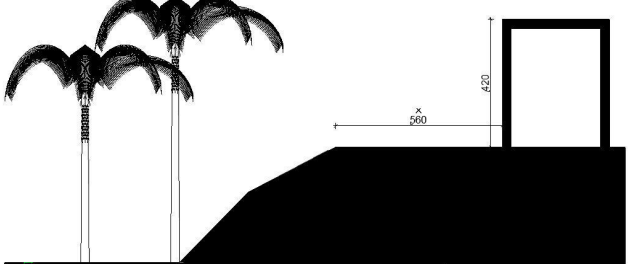
06			<p>Un passage couvert en troncs de palmiers + palmes (jrid) et saaf, orienté NORD-SUD bordée de bâtiments, construits en brique de terre, des deux cotés. le sol sans revêtement (nu).</p> <p>Albédo du sol : 0,15</p> <p>H=2,4m ; L=2 m ; H/L= 1,2</p>
07			<p>Rue canyon encaissée profonde (Un impasse) donne l'accès aux maisons, orientée NORD OUEST-SUD EST, le sol sans revêtement (nu) et bordée de bâtiments des deux cotés construits en brique de terre.</p> <p>Albédo du sol : 0,15</p> <p>H=4,3m ; L=1,5 m ; H/L= 2,86</p>
08			<p>Rue dièdre orienté NORD EST-SUD OUEST est bordée de ces deux cotés par des bâtiments construits en brique de terre, de part et d'autre, le sol est sans revêtement (nu).</p> <p>Albédo du sol : 0,15</p> <p>H=4,3m ; L=2,8 m ; H/L= 1,53</p>

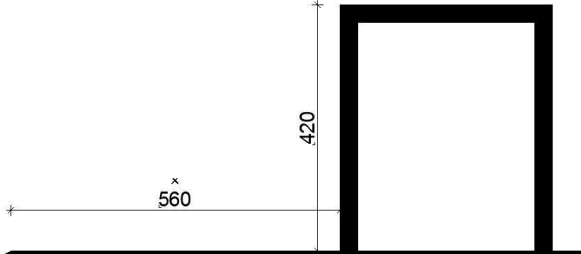
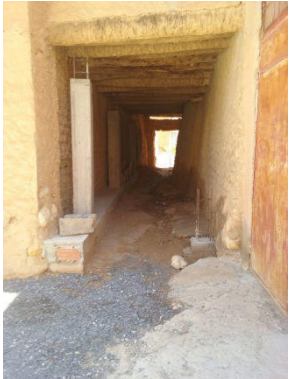


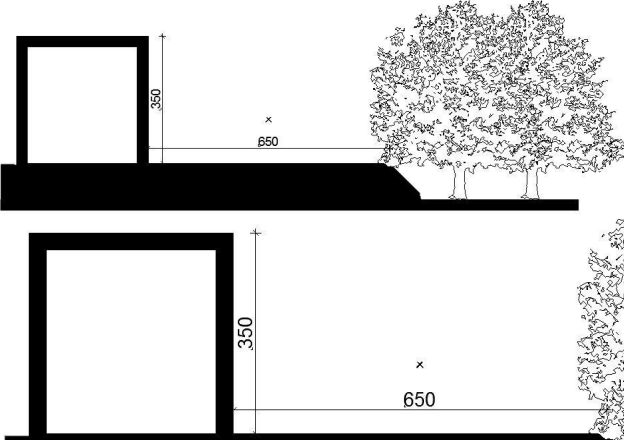
09			<p>Rue canyon encaissée (Un impasse) profonde orienté NORD EST-SUD OUEST donne l'accès aux maisons, le sol sans revêtement (nu) et bordée de bâtiments des deux cotés construits en brique de terre.</p> <p>Albédo du sol : 0,15</p> <p>$H=4,3\text{m}$; $L=1,9\text{ m}$; $H/L= 2,26$</p>
10			<p>Rue canyon asymétrique orienté NORD OUEST- SUD EST bordée de ces deux cotés par des bâtiments construits en brique de terre, de part et d'autre, le sol est sans revêtement (nu).</p> <p>Albédo du sol : 0,15</p> <p>$H1= 3,2\text{m}$; $H2=4,5\text{m}$; $L=2,2\text{m}$; $H1/L= 1,45$; $H2/L= 2,04$</p>
11			<p>Rue dièdre orienté NORD EST-SUD OUEST donne l'accès à un groupement des maisons, le sol sans revêtement (nu) et bordée de bâtiments construits en brique de terre et revêtu au ciment d'un coté et par un simple enduit d'autre coté.</p> <p>Albédo du sol : 0,15</p> <p>$H=3,8\text{m}$; $L=3\text{ m}$; $H/L= 1,26$</p>


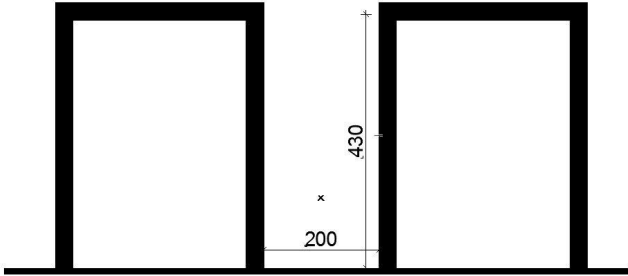

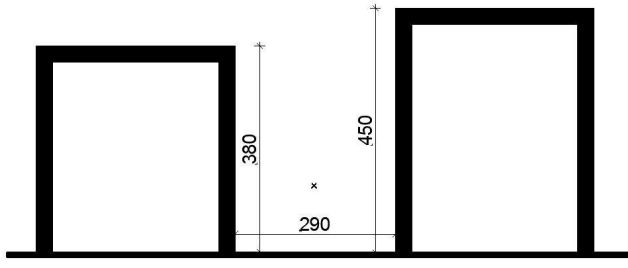

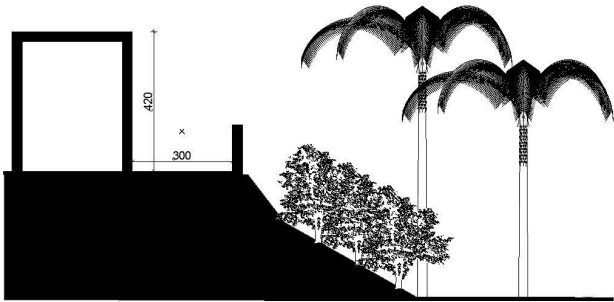
<p>12</p>			<p>Une place de forme rectangulaire revêtue en pierre et clôturée par des bâtiments construits en brique de terre. Une absence d'aménagement vert c'était remarqué.</p> <p>Albédo du sol : 0,2</p> <p>H=5m ; L=17,5 m ; H/L= 0,28</p>
<p>13</p>			<p>Rue de forme dièdre, orienté NORD EST–SUD OUEST, donne l'accès au passage couvert sous une pièce d'habitation saillante H=6,4m ; L=3,5 m ; H/L= 1,82. Le sol est sans revêtement (nu).</p> <p>Albédo du sol : 0,15</p>
<p>14</p>			<p>Un passage couvert en troncs de palmiers + palmes (jrid) et saaf sous une pièce d'habitation saillante, orienté NORD EST–SUD OUEST bordée de bâtiments construits en brique de terre, des deux côtés. le sol est sans revêtement (nu).</p> <p>Albédo du sol : 0,15</p> <p>H=3,3m ; L=2,6 m ; H/L= 1,26</p>

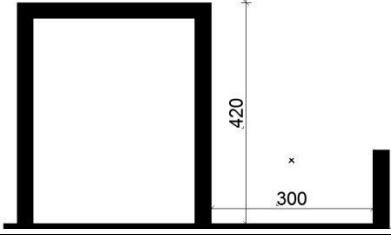

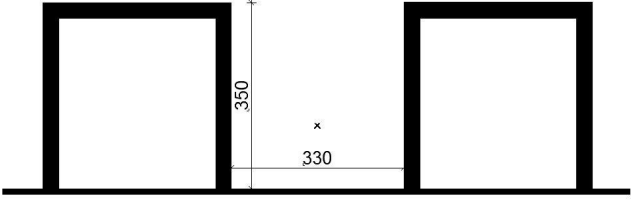

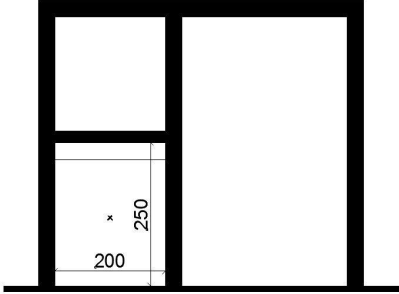
15			<p>Un passage couvert profond, abrité par pièce d'habitation saillante sous laquelle des troncs de palmiers + palmes (jrid) et saaf ont été mis, orienté NORD OUEST- SUD EST bordée de bâtiments, construits en brique de terre de ces deux côtés. le sol sans revêtement (nu).</p> <p>Albédo du sol : 0,15</p> <p>H=3m ; L=3 m ; H/L= 1</p>
16			<p>Rue asymétrique sous forme des balcons panoramiques sur l'oasis et l'oued, orientée NORD-SUD, bordée d'un coté par un bâtiment construit en brique de terre et de l'autre coté par une clôture en pierre joue le rôle d'un garde corps. Le sol est revêtu en gravier.</p> <p>Albédo du sol : 0,08</p> <p>H=3,5m ; L=3,3 m ; H/L= 1,16</p>
17			<p>Rue dièdre orientée NORD-SUD, bordée dans ses deux cotés par des bâtiments dont les façades en béton avec un enduit de couleur claire. Le sol est revêtu en gravier.</p> <p>Albédo du sol : 0,08</p> <p>H=5,8m ; L=5 m ; H/L= 1,16</p>


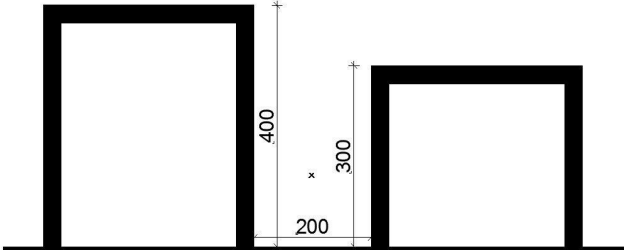

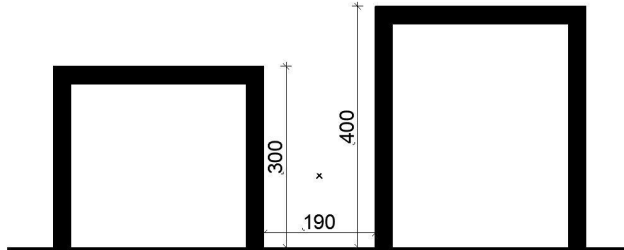

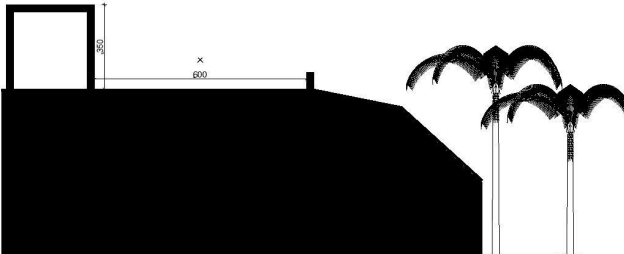
18			<p>Rue dièdre asymétrique de forme curviligne, orienté EST-OUEST bordée de bâtiments construits en béton de part et d'autre. Le sol est revêtu en asphalte.</p> <p>Albédo du sol : 0,05</p> <p>$H_1= 4,5\text{m}$; $H_2=5\text{m}$; $L=5\text{m}$; $H_1/L= 0,9$; $H_2/L= 1$</p>
19			<p>Rue dièdre encaissée (Un impasse) orienté NORD EST-SUD OUEST, définie par un groupement des bâtiments construits en brique de terre. le sol est revêtu en ciment.</p> <p>Albédo du sol : 0,1</p> <p>$H=3,5\text{m}$; $L=2,5\text{ m}$; $H/L= 1,4$</p>
20			<p>Un espace dégagé en face à un groupement des maisons dont le sol sans revêtement(nu).Une absence d'aménagement vert c'était remarqué.</p> <p>Albédo du sol : 0,15</p> <p>$H=5\text{m}$; $L=8,9\text{ m}$; $H/L= 0,56$</p>

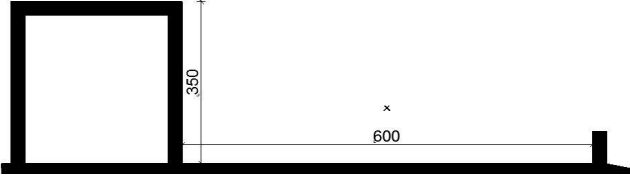



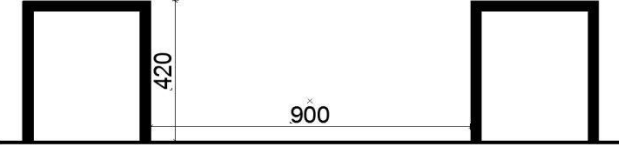
21			<p>Rue dièdre droite asymétrique orienté NORD OUEST-SUD EST délimitée par deux alignements des maisons construites en brique de terre, de part et d'autre, le sol est sans revêtement(nu).</p> <p>Albédo du sol : 0,15.</p> <p>$H_1= 4,2\text{m}$; $H_2=3,5\text{m}$; $L=2,75\text{m}$; $H_1/L= 1,52$; $H_2/L= 1,27$</p>
22			<p>Rue orientée NORD – SUD se regroupe dans la catégorie de l'espace dégagé, elle se situe entre deux maisons construites en brique de terre, Le sol est revêtu en gravier.</p> <p>Albédo du sol : 0,08</p> <p>$H=4$; m $L=6,6\text{m}$; $H/L= 0,57$</p>
23			<p>Rue dégagée orienté EST-OUEST délimitée par un alignement des maisons construites en brique de terre d'un côté et un oasis d'autre coté,Le sol est revêtu en gravier.</p> <p>Albédo du sol : 0,08</p> <p>$H=4,2$; m $L=5,6\text{m}$; $H/L= 0,75$</p>

			
24			<p>Un passage couvert en troncs de palmiers + palmes (jrid) et saaf, orienté NORD - SUD délimité par des bâtiments construits en béton, des deux cotés. le sol sans revêtement(nu).</p> <p>Albédo du sol : 0,15.</p> <p>H=2,7 ; m L=2,5m ; H/L= 1,08</p>
25			<p>Rue dégagée orienté NORD - SUD délimitée par un alignement des maisons construites en brique de terre, le sol est revêtu en asphalte.</p> <p>Albédo du sol : 0,05</p> <p>H=3,5 m ; L=6,5m ; H/L= 0,53</p>

26			<p>Rue canyon orienté NORD OUEST- SUD EST bordée de ces deux cotés par des bâtiments construits en brique de terre, de part et d'autre, le sol est sans revêtement (nu).</p> <p>Albédo du sol : 0,15.</p> <p>H=4,3 ; m L=2m ; H/L= 2,15</p>
27			<p>Rue dièdre droite asymétrique orienté NORD EST-SUD OUEST délimitée par deux alignements des maisons construites en brique de terre, le sol est sans revêtement(nu).</p> <p>Albédo du sol : 0,15.</p> <p>H1= 4,5m ; H2=3,8m; L=2,9m ; H1/L= 1,55 ; H2/L= 1,31</p>
28			<p>Rue asymétrique sous forme des balcons panoramiques sur l'oasis et l'oued, orientée NORD OUEST – SUD EST, bordée d'un coté par un bâtiment construit en brique de terre et par une clôture en pierre joue le rôle d'un garde corps d'autre coté. Le sol est revêtu partiellement en gravier.</p> <p>Albédo du sol : 0,08</p> <p>H=4,2 ; m L=3m ; H/L= 1,4</p>

			
29			<p>Rue dièdre orienté NORD EST – SUD OUEST définie par deux bâtiments construits en brique de terre. Le sol est revêtu partiellement en gravier.</p> <p>Albédo du sol : 0,08</p> <p>H=3,5m L=3,3m ; H/L= 1,06</p>
30			<p>Un passage couvert en troncs de palmiers + palmes (jrid) et saaf sous une pièce d'habitation saillante, orienté NORD OUEST – SUD EST bordée de bâtiments construits en brique de terre dans les deux cotés. le sol est sans revêtement (nu).</p> <p>Albédo du sol : 0,15.</p> <p>H=2,5m L=2m ; H/L= 1,25</p>

31			<p>Rue dièdre orienté NORD EST-SUD OUEST délimitée par deux alignements des bâtiments construits en béton de part et d'autre. Le sol est sans revêtement(nu).</p> <p>Albédo du sol : 0,15.</p> <p>$H_1= 4\text{m} ; H_2=3\text{m}; L=2\text{m} ; H_1/L= 2 ; H_2/L= 1,5$</p>
32			<p>Rue canyon NORD OUEST – SUD EST délimitée par des bâtiments construits en béton de part et d'autre. Le sol est sans revêtement(nu).</p> <p>Albédo du sol : 0,15.</p> <p>$H_1= 4\text{m} ; H_2=3\text{m}; L=1,9\text{m} ; H_1/L= 2,1 ; H_2/L= 1,57$</p>
33			<p>Un espace dégagé sous forme d'une corniche surplombant l'oasis et l'oued. Le sol est revêtu en ciment. avec un grand axe orienté NORD-SUD.</p> <p>Albédo du sol : 0,1</p> <p>$H=3,5\text{m} L=6\text{m} ; H/L= 0,58$</p>

			
34			<p>Un espace dégagé sous forme d'une place. Le sol est revêtu en pierre avec une maque d'aménagement par des éléments végétaux.</p> <p>Albédo du sol : 0,2</p> <p>$H_1 = 6,5\text{m}$; $H_2 = 4,2\text{m}$; $L = 29\text{m}$; $H_1/L = 0,22$; $H_2/L = 0,14$</p>
35			<p>Rue orientée NORD EST – SUD OUEST se regroupe dans la catégorie de l'espace dégagé, elle se situe entre deux maisons construites en brique de terre, Le sol est revêtu partiellement en gravier.</p> <p>Albédo du sol : 0,08</p> <p>$H = 4,2\text{m}$; $L = 9\text{m}$; $H/L = 0,46$</p>

L'analyse typo morphologique préalablement indiquée nous a permis de distinguer les typologies suivantes (Figures V.25, V.26) :

- Rues, ruelles.
- Rues couvertes (Skifa).
- Impasses (Z'gag).
- Rues délimitées d'un côté et dégagées de l'autre.
- Rues délimitées de bâtiment d'un côté et d'un oasis de l'autre (Balcons).
- Place (Rahba)
- Placette (Batha)

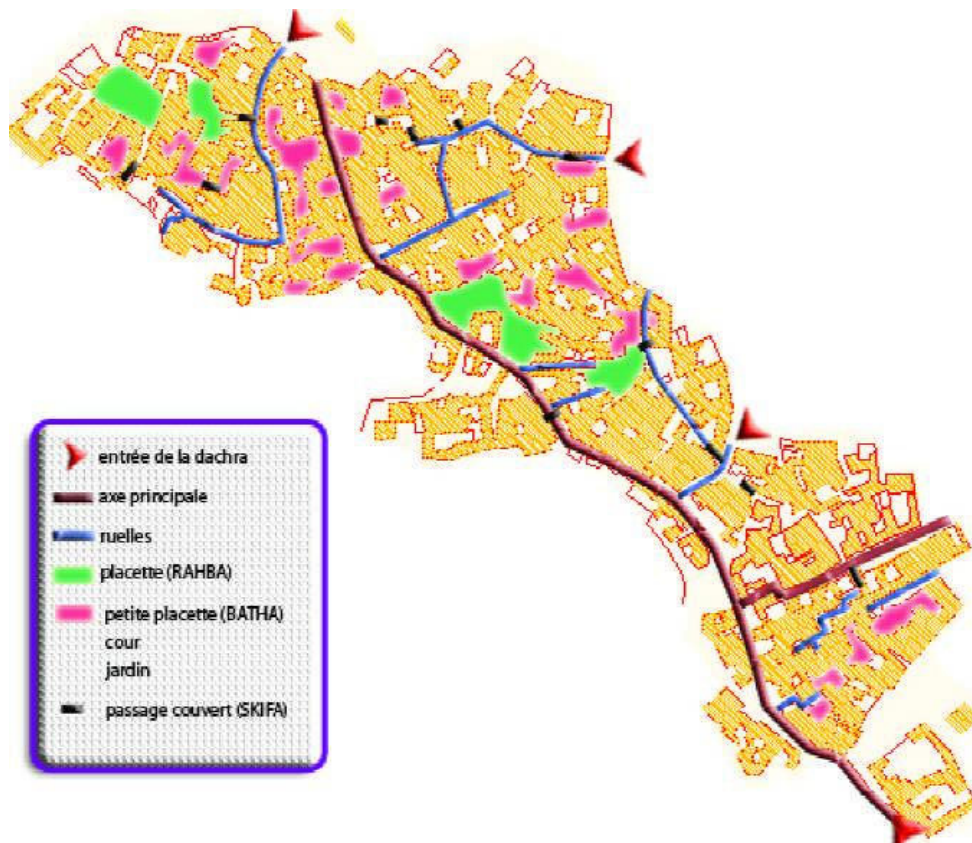


Figure V.25. L'organisation viaire dans la Dakhra.

Source : Lebsir (2010).



Figure V.2625.principe d'organisation du tissu urbain de village rouge.

Source : Lebsir (2010).

VII. Le déroulement de la campagne de mesure :

L'expérience s'est déroulée pendant la période de la surchauffe, celle qui identifie la période la plus stressante en termes de conditions microclimatiques. La répartition des heures de mesure fut attachée à la durée du cumul maximal de la chaleur emmagasinée. Autrement dit, la période de l'après-midi en choisissant un intervalle temporaire entre 13h45 jusqu'à 16h00. À propos du bilan d'investigation, nous avons divisé notre travail en six journées (27, 28, 29, 30, 31 juillet et 02 août 2016) pour que nous puissions faire le parcours suivant un itinéraire choisi en se basant sur la variété de la configuration spatiale.

Les mesures réalisées dans le cadre de cette étude ont pour objectif d'étudier l'impact de la morphologie urbaine sur le microclimat à l'échelle urbaine. L'ensemble des mesures réalisées simultanément avec une enquête comportant des questions destinées à un certain nombre d'usagers disponibles sur site d'étude a été effectué à l'aide d'un instrument portatif « Testo data logger », par lequel on a mesuré la température de l'air, la température globe nécessaire au calcul de la température moyenne radiante, la vitesse de l'air et l'humidité relative, afin de déterminer les indices du confort thermique à l'extérieur exigés dans la présente recherche. Les quatre paramètres sont pris au centre des différents points de mesure à une hauteur moyenne de 1.10m, qui correspond au centre de gravité du corps humain.

Afin de déterminer la température moyenne radiante et les indices du confort thermique à calculer dans le site d'étude, il est inévitable d'examiner quatre paramètres climatiques principaux, mesurés à l'aide de l'instrument « Testo data logger 480 » : la

température de l'air, l'humidité relative, la vitesse de l'air et la température d'un thermomètre à globe.

Il est à noter que l'équipe du travail est composée de quatre personnes y compris l'auteur.

VII.1. Présentation des instruments de mesure :

VII .1.1. Testo data logger :

Le testo 480 est un appareil de mesure portatif permet la mesure des grandeurs climatiques indispensables quant à l'évaluation du confort dans un local, ainsi que les mesures de courant dans et sur les installations de la climatisation (Figure V.27).



Figure V.27. L'instrument de mesure Testo data logger 480.

Il permet également d'enregistrer, analyser et documenter tous les paramètres pertinents en matière de climat et de la qualité de l'air intérieur avec un seul appareil. Selon les besoins dictés, un large choix de sondes de qualité (en option) permet également de procéder aux mesures suivantes :

- Débit et débit volumique (également pour les mesures sur les hottes de laboratoire)
- Température
- Humidité relative
- Pression (pression différentielle et pression absolue)

- CO₂
- Intensité lumineuse
- PMV/PPD selon la norme ISO 7730
- Chaleur rayonnante
- Degré de turbulence
- Indice WBGT selon les normes ISO 7243.

VII .1.2. Cason CA 380 :

Le thermomètre CA 380, relève la température surfacique par le biais du rayon infrarouge. Cet outil nous a facilité la connaissance de la température des matériaux composants des bâtiments environnants. Il faut préciser que notre travail ne porte pas en profondeur sur la température surfacique des matériaux qui ne constitue pas notre objectif principal, cela était complémentaire à la prise des autres paramètres autant pour des raisons d'interprétation (Figure V.28).



Figure V.28. Cason CA 380

VIII. Présentation des résultats des mesures :(voir annexe N° 09)

VIII.1. La température de l'air :

La température de l'air est un indicateur du niveau énergétique de l'air, elle est la résultante de tous les échanges de chaleur qui existent à l'endroit et au moment de la mesure de cette température. C'est l'une des plus simples mesures à effectuer.

Les mesures ont été prises pendant six journées typiques d'été. Le graphe ci-dessous (Figure V.29) représente les températures de l'air mesurées dans chaque point, en corrélation avec les données de la station météorologique de référence. Il apparaît clairement que les températures de l'air mesurées dans certaines stations sont bien plus élevées que les températures de l'air retenues de la station météorologique, ça peut être expliqué par le phénomène de l'îlot de chaleur urbain qui fait référence à un phénomène d'élévation de température localisée en milieu urbain par rapport aux températures de la station météorologique retenue dans une zone rurale, cette différence semble due à un certain nombre de causes (voir chapitre IV). Dans ce cas-là, ce phénomène est la résultante du tissu urbain compact qui caractérise notre cas d'étude.

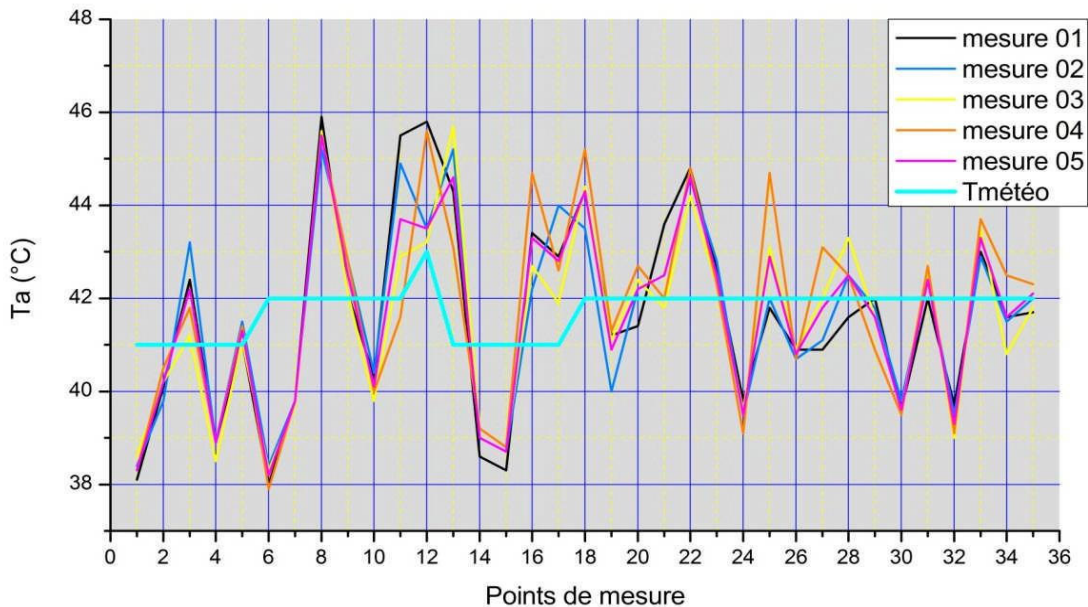


Figure V.29. Comparaison de la température de l'air mesurée aux points de mesure avec celle de la station météorologique. Source: auteur (2016).

Il est tout à fait clair que les températures de l'air mesurées prennent leurs valeurs maximales dans les points 08, 12, 13, 18 et 22, en présentant un écart entre la station météorologique et la moyenne des températures mesurées (ΔT) de 03,26 ; 1,56 ; 3,56 ; 2,38 ; 2,8 °C, respectivement. Cet écart est causé par le rapport H/L faible, ce qui rend ces points plus exposés au rayonnement solaire. Donc, la température de l'air s'éloigne de celle de la station météo d'autant que le rayonnement solaire est important.

En outre, on remarque dans les points 01 ; 04 ; 06 ; 14 ; 15 ; 24 et 30 ayant les valeurs de température les plus basses un écart (ΔT) significatif entre la température mesurée et

celle prise par la station météorologique, cet écart est la résultante de la géométrie urbaine spécifique des ruelles étudiées (passage couvert), dans laquelle le corps hypothétique est à l'abri du rayonnement solaire direct. Donc, si nous voulons conserver une température faible dans les espaces extérieurs, il est indispensable de protéger ces espaces du rayonnement direct. Il est évident que ce sont les passages couverts qui bénéficient de cet avantage en premier lieu.

VIII.2. La vitesse de l'air :

La vitesse de l'air joue un rôle primordial à la régulation de l'équilibre thermique de l'organisme en relation avec l'échange thermique entre la surface de la peau et l'air environnant. Trois principaux paramètres intervenants devront être pris en compte pour étudier l'écoulement de l'air en milieu urbain: la vitesse moyenne du vent, sa direction, et la proportion de temps pendant laquelle il a lieu. (Hamel, 2005).

La vitesse de l'air est un autre paramètre influençant l'environnement thermique, l'écoulement du vent dépend fortement de l'orientation et de la géométrie de la rue. L'investigation s'est basée sur l'obtention des mesures momentanées de la vitesse de l'air dans chaque point.

Le graphe ci-dessous (Figure V.30) représente les mesures de la vitesse de l'air retenues dans chaque point, comparées avec celles de la station météorologique, l'écart entre les valeurs des deux mesures est la particularité la plus frappante dans ce graphe, cet écart est dû aux caractéristiques géométriques du tissu. L'enregistrement des valeurs maximales a été dans les points 06 et 14 où on a noté les températures de l'air minimales préalablement indiquées, les vitesses du vent dans ces points sont accentuées par la différence de la température de l'air entre l'endroit ombragé sous « Skifa » et l'endroit ensoleillé ce qui produit un écoulement du vent traduit par la différence de la charge thermique. En outre, les points 28 et 34 sont, également, des points cumulant les valeurs les plus élevées de la vitesse de l'air, grâce à la géométrie urbaine d'eux, qui présente une grande ouverture au ciel et le manque des obstacles. Grâce à ce manque d'obstacles qui détournent la direction des flux d'air, le point 19 présente, aussi, une des valeurs maximales de ce paramètre, malgré sa typologie urbaine (impasse), qui génère, habituellement, un flux d'air faible. C'est le cas des points 02, 07 et 09, dans lesquels, les valeurs les plus basses de la vitesse de l'air ont été enregistrées. Le point 15 présente aussi

une des valeurs minimales de la vitesse de l'air, c'est la résultante de sa typologie sous forme d'un passage couvert allongé et entouré par des obstacles pas loin de ses deux extrémités, ce qui empêche le flux d'air de se pénétrer et circuler dans cet endroit.

La station 21 est un des points cumulant les valeurs les plus basses, car ce point se situe au milieu d'une rue profonde. Et comme il a été prouvé que dans une rue canyon profonde, la ventilation naturelle est réduite de 82% en comparaison avec un site sans obstacle (Tsoka, 2011).

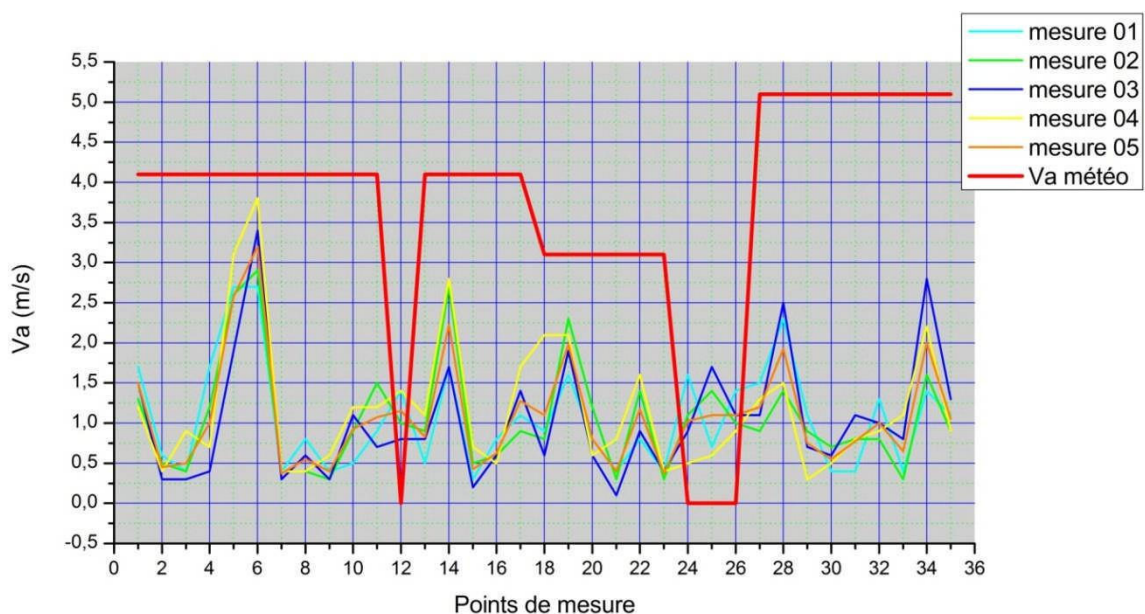


Figure V.30. Comparaison de la vitesse de l'air mesurée aux points de mesure avec celle de la station météorologique. Source: auteur (2016).

VIII.3. La température moyenne radiante :

Afin d'examiner l'impact de la géométrie urbaine sur le confort thermique urbain, le calcul des valeurs de la T_{mrt} est s'avère nécessaire, car cette dernière constitue le paramètre clé dans l'évaluation des conditions du confort thermique dans les espaces extérieurs notamment dans les journées chaudes ensoleillées. Car elle influe considérablement sur le bilan énergétique du corps humain, et par conséquent, sur l'indice thermophysique PET.

La température moyenne radiante est la température moyenne des surfaces environnantes, dans ce travail, la T_{mrt} est calculée à partir des mesures de la vitesse d'air,

la température de l'air et la température d'un thermomètre à globe qui consiste à un thermomètre ordinaire inséré dans une sphère noircie.

La T_{mrt} a été calculée en fonction de la formule suivante :

$$T_{mrt} = [(T_g + 237)^4 + 2,5 \times 10^8 \times V_a^{0,6} \times (T_g - T_a)]^{1/4} - 237$$

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)

Les valeurs de T_{mrt} en fonction du paramètre géométrique H/L sont présentées dans le graphe ci-dessous (Figure V.31).

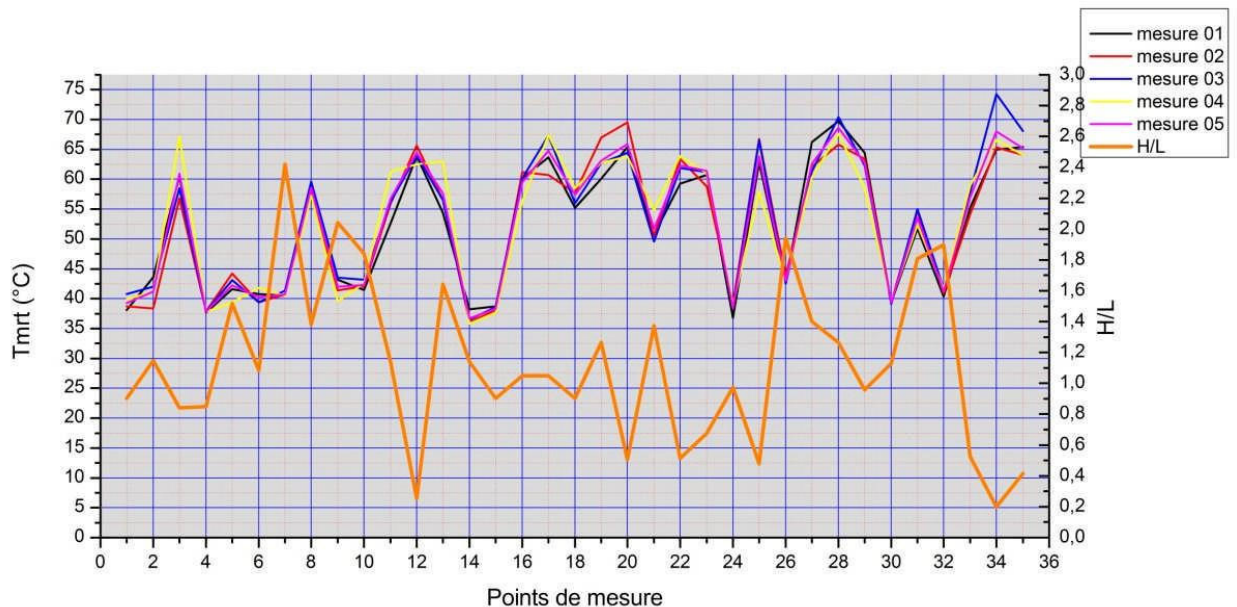


Figure V.31. Variations de la température moyenne radiante selon le ratio H/L.

Source : auteur (2016).

Par l'analyse des résultats acquis, on remarque que la température moyenne radiante atteint ses valeurs maximales dans les points 12 ; 20 ; 22 ; 25 ; 33 ; 34 et 35 classifiés comme des espaces dégagés où on a enregistré les valeurs les plus faibles du rapport H/L en enregistrant un écart considérable avec la température de l'air mesurée sous l'effet de l'ensoleillement. En outre, les rues de la typologie « dièdre » et possédant un rapport H/L faible à moyen sont les points cumulant des valeurs trop élevées de la T_{mrt} , notamment dans les points : 08 ; 11 ; 17 ; 27 et 31.

Une autre typologie des espaces extérieurs est représentée par « les rues asymétriques » formées par les balcons surplombant l'oasis, dans lesquelles des valeurs extrêmes de la T_{mrt} ont été enregistrées, c'est le cas des points 16 ; 23 et 28, cette typologie est souvent exposée au rayonnement solaire, notamment dans les espaces qui ne possèdent pas des obstacles aux côtés S ou O. Dans les passages couverts où l'écart entre la T_{mrt} et la T_a mesurée commence à diminuer, cet écart est relatif au taux d'exposition au rayonnement solaire, selon lequel les points qui présentent un faible écart sont les moins exposés. C'est le cas des points : 01 ; 04 ; 06 ; 14 ; 15 ; 24 et 30 qui se trouvent à l'abri du rayonnement solaire, ce qui impose la diminution de la T_{mrt} . Alors que, l'enregistrement des autres valeurs faibles a été dans les points qui présentent un rapport H/L élevé, et plus précisément dans la typologie « canyon » c'est le cas des points : 09 ; 10 ; 26 et 32. Donc, les valeurs de la T_{mrt} sont la résultante de la géométrie urbaine et liée fortement au rapport H/L.

CONCLUSION :

Le climat se définit comme une description des moyennes et des extrêmes météorologiques dans un endroit limité. L'expérience menée dans cette partie de la recherche est une requête qui vise à dévoiler les causes et les interactions survenues entre la géométrie urbaine et le bilan thermique extérieur. Les données obtenues sur terrain sont basées sur quatre paramètres microclimatiques à savoir la température de l'air, la température à globe, l'humidité relative et la vitesse de l'air et font un support ultérieur pour le calcul des indices du confort thermique extérieur. Les résultats obtenus sur terrain sont comparés à ceux enregistrés à la station météorologique de l'aéroport de Biskra. L'étude de l'interaction entre la température ambiante et la vitesse de l'air nous a montré que cette dernière contribue à la réduction du stress thermique. Les résultats acquis dans cette partie de la recherche nous ont permis d'obtenir une idée sur l'effet de la géométrie urbaine sur les conditions microclimatiques, en analysant les résultats obtenus de la température moyenne radiante, on a constaté que le pic des températures retenues dans l'espace dièdre enregistre des valeurs inférieures que l'espace dégagé, avec un maximum de 49,3°C à 14h00 pour la rue dièdre orientée NE-SO, mais la campagne de mesure ne suffit pas pour cela. Ce qui exige l'introduction d'autres facteurs contribuant afin d'obtenir des informations assez suffisantes pour l'évaluation, car avec le développement de la recherche dans le domaine de notre étude, l'apparition des modèles récents, basée sur l'équilibre

énergétique du corps humain, a ouvert de nouveaux horizons dans l'évaluation du confort. Ces modèles prennent en considération l'échange de chaleur (de la perte de chaleur latente et sensible, rayonnement thermique) entre le corps et son environnement, avec plusieurs facteurs empiriques. Ainsi, le couplage des paramètres météorologiques et les caractéristiques du corps donnent une image plus détaillée et une vision plus claire. Ces données acquises de ce couplage sous forme des modèles qui s'appellent des indices aident à quantifier et objectiver le niveau du confort. Un de ces indices sera calculé et adopté pour l'évaluation du niveau du stress thermique, dans le prochain chapitre (Simulation).

CHAPITRE VI
CONFORT THERMIQUE ET
ASPECTS PHYSIOLOGIQUES
RESULTATS DE LA SIMULATION

INTRODUCTION:

Afin d'évaluer l'effet de la modification de la morphologie des espaces urbains par des détails de conceptions particulières sur les conditions thermiques extérieures, il serait indispensable au concepteur d'avoir des moyens pour prévoir l'effet d'un changement particulier, dans un espace bien déterminé et sous des conditions climatiques particulières sur le confort des personnes séjournant en espace extérieur. Ces moyens servent d'outils d'aide à la conception urbaine et à la prise des décisions la concernant.

Dans ce chapitre, le recours à la technique de la simulation s'est avéré nécessaire afin de procéder au traitement des données microclimatiques recueillies lors de la campagne de mesure effectuée sur terrain. Ces mesures, relatives à la géométrie urbaine, ont pour objectif la détermination de la qualité du stress thermique au « village Rouge ». Nous avons opté pour le logiciel de simulation (RayMan pro 2.1®) afin d'évaluer les deux indices du confort thermique : le PMV (vote moyen prévisible), et la PET (température physiologique équivalente). La base de données a été créée à partir des mesures effectuées au cours de la campagne de mesure. Au cours du processus de simulation, d'autres paramètres nécessaires à la recherche ont dû être calculés ou établis. Ce sont :

- Définition des diagrammes solaires des stations de mesure.
- Le calcul du facteur de vue du ciel (FVC).
- Le calcul de la durée d'ensoleillement globale et effective.
- Le calcul du rayonnement global et thermique.
- Définition du tracé d'ombre pour chaque point tout au long de la journée.

I. Présentation du logiciel de simulation « RAYMAN » :

En 1998, le domaine de la climatologie a connu le lancement d'un nouvel outil de simulation : le « RayMan® » (Figure VI.1). Ce logiciel a été conçu et développé, par le professeur Andréa MATZARAKIS à l'institut météorologique de l'université de Freiburg en Allemagne. Il permet de calculer la température moyenne radiante et plusieurs indices thermiques, en vue de quantifier les conditions thermiques pour n'importe quel jour de l'année, dans les environnements simples et complexes. Il se base sur les données géographiques de la région dans laquelle se déroule le processus de la simulation, sur la base de : la latitude ($^{\circ}$ N), la longitude ($^{\circ}$ E), l'altitude (m) et le fuseau horaire (UTC+h) (Figure VI.2), ainsi que sur les paramètres physiques suivants (Figure VI.3) :

- La température de l'air ($^{\circ}$ C).
- L'humidité de l'air (%).
- La vitesse du vent (m/s).
- Nébulosité (octas) dans le cas du ciel couvert),
- La température des surfaces ($^{\circ}$ C)
- Le rayonnement global (W/m^2)
- La température moyenne radiante ($^{\circ}$ C)
- L'albédo de la couverture du sol et des surfaces environnantes.
- Le coefficient d'émissivité des matériaux de construction (Voir annexe N° 10)

Les caractéristiques des personnes sont également recommandées afin de calculer les indices à base physiologique. Dans notre recherche, on a opté pour l'utilisation des tableaux présentés dans les annexes N° 01, 02.

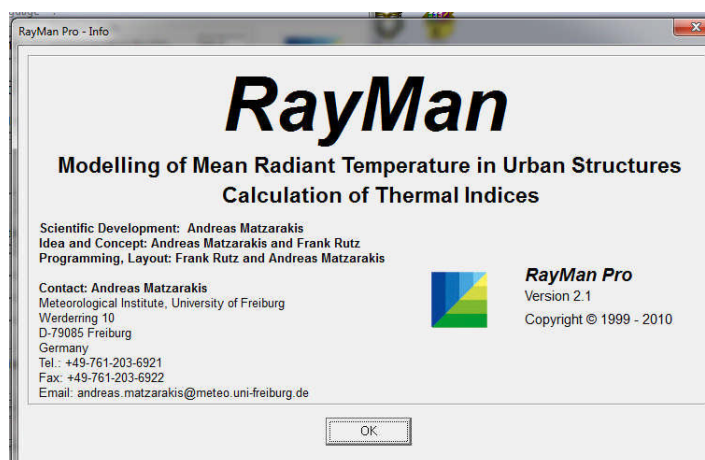


Figure VI. 1. Fenêtre de démarrage contenant les informations du RayMan pro 2.1.
Source: RayMan pro 2.1

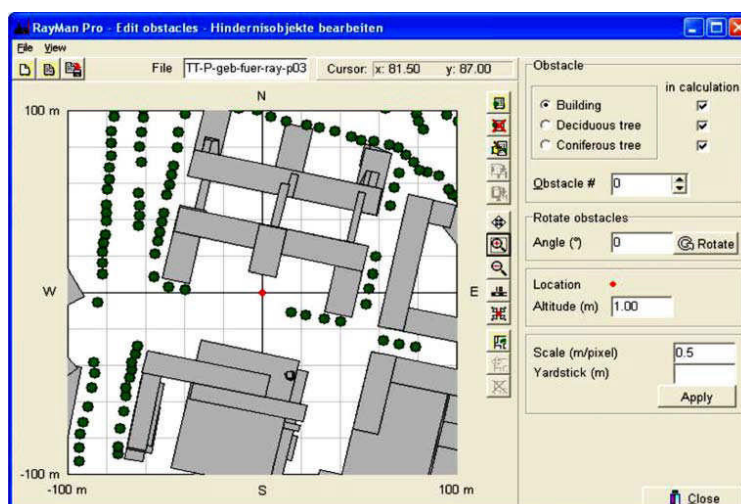


Figure VI.2. Fenêtre des inputs (obstacles) de RayManPro2.1.
Source: RayMan help

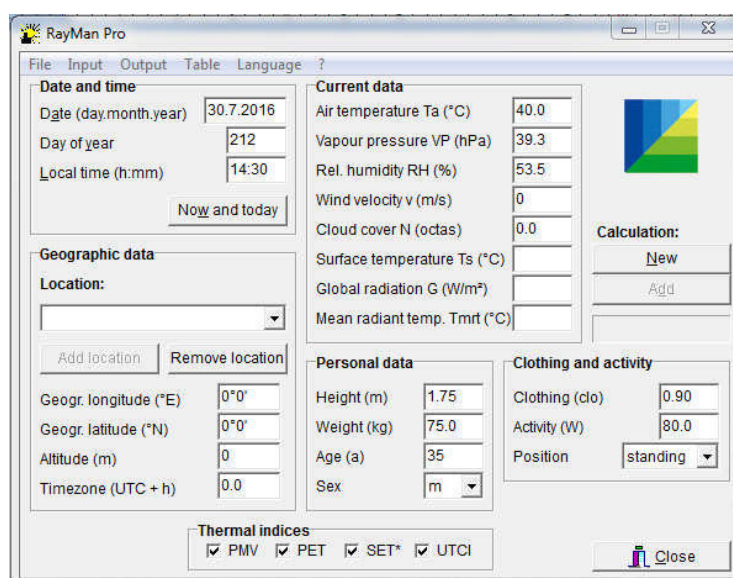


Figure VI.3. Fenêtre principale de RayMan pro 2.1.
Source: RayMan Pro 2.1

Le RayMan est utilisable pour calculer:

- La durée d'ensoleillement.
- La course du soleil.
- L'ombre.
- La durée d'ensoleillement pour chaque environnement simple ou complexe.
- Le rayonnement global.
- Le facteur de vue du ciel (FVC) directement à partir des obstacles modélisés ou par la superposition du diagramme polaire sur des photos fish-eye (Figure VI.4).

- Les indices thermiques :
 - PMV (vote moyen prévisible).
 - PET (la température physiologique équivalente).
 - SET (la température effective standard).
 - PT (la température ressentie).
 - UTCI (indice thermique universel climatique).
- Ainsi que l'estimation de la température moyenne radiante (T_{mrt}).

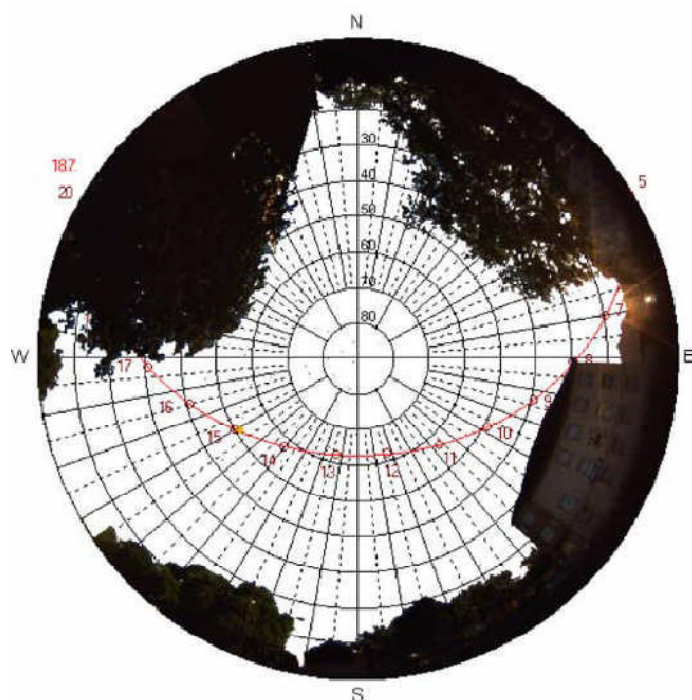


Figure VI.4. Calcul du FVC par la superposition du diagramme polaire sur une photo fish-eye.
Source: Matzarakis et al. (2007).

À ce jour, le RAYMAN a connu plusieurs développements. Au cours des années et selon le développement des recherches climatologiques, ces développements ont été traduits par ses diverses versions : 1.0 ; 1.1 ; 1.2 ; 1.3 ; 2.1 (RayMan pro ®).

Le logiciel RayMan a été développé conformément à la Directive 3787 de la Société d'ingénierie allemande. Il est bien adapté pour le calcul des flux de rayonnement dans des environnements simples et complexes, ce qui rend ce logiciel utile, par excellence, au calcul de T_{mrt} et PET.

L'avantage de RayMan est qu'il facilite une détermination fiable des micro modifications climatologiques des différents environnements urbains, car le modèle tient

compte des effets de modification de rayonnement de la structure de surface complexe (bâtiments, arbres) très précisément. En plus des paramètres météorologiques, le modèle nécessite l'entrée des données d'informations sur la surface, des conditions morphologiques de la zone d'étude et des paramètres personnels (Figure VI.5).

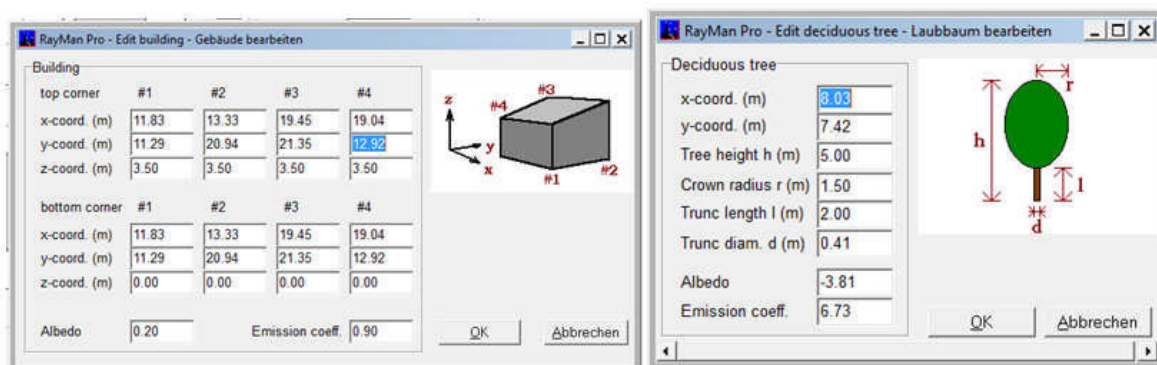


Figure VI.5. Fenêtres d'introduction des coordonnées des différents coins du bâtiment et les caractéristiques géométriques des arbres. Source : RayMan Pro 2.1.

Ce modèle convient à plusieurs applications qui font partie des outils d'aide à la prise de décision dans le secteur de l'urbanisme, de la planification urbaine et la conception des espaces ouverts, ainsi que pour l'aménagement du territoire du point de vue touristique. D'après plusieurs études expérimentales (Figures VI.6, VI.7), les chercheurs ont découvert une grande cohérence entre les résultats estimés par le modèle RayMan et les valeurs calculées (Keddissa, 2010).

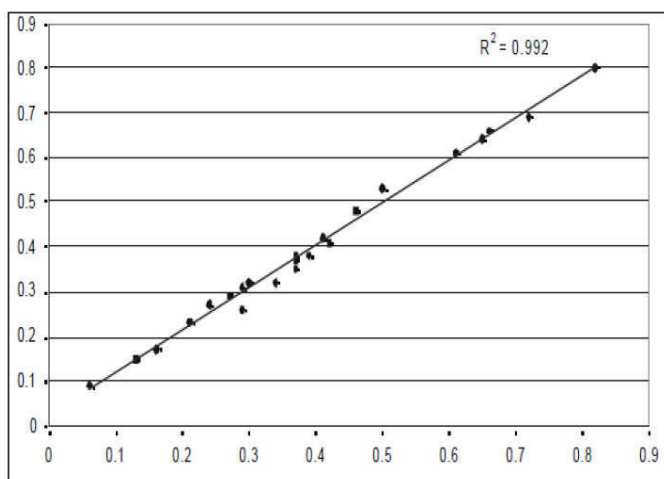


Figure VI.6. La corrélation entre les valeurs du FVC calculées depuis la photo « fish-eye » et celles estimées par RayMan. Source : Andrade (2003)

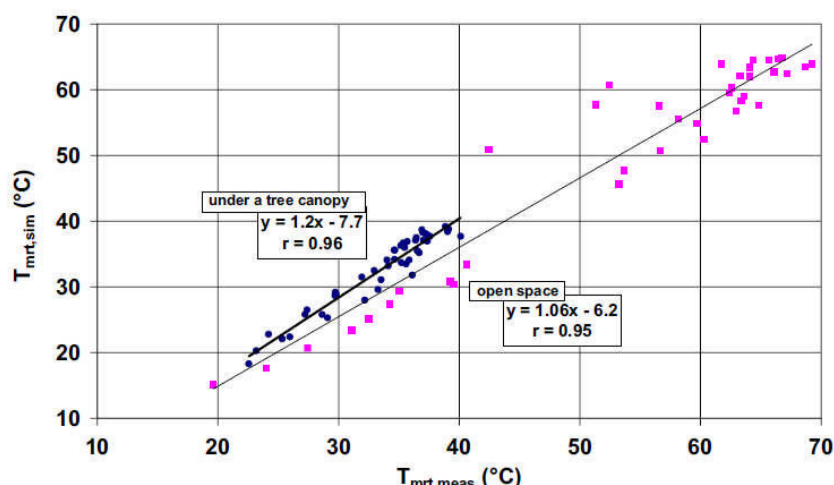


Figure VI.7. La corrélation entre la Tmrt mesurée et les valeurs de la Tmrt issues de la simulation par RayMan. Source: Matzarakis et al. (2010)

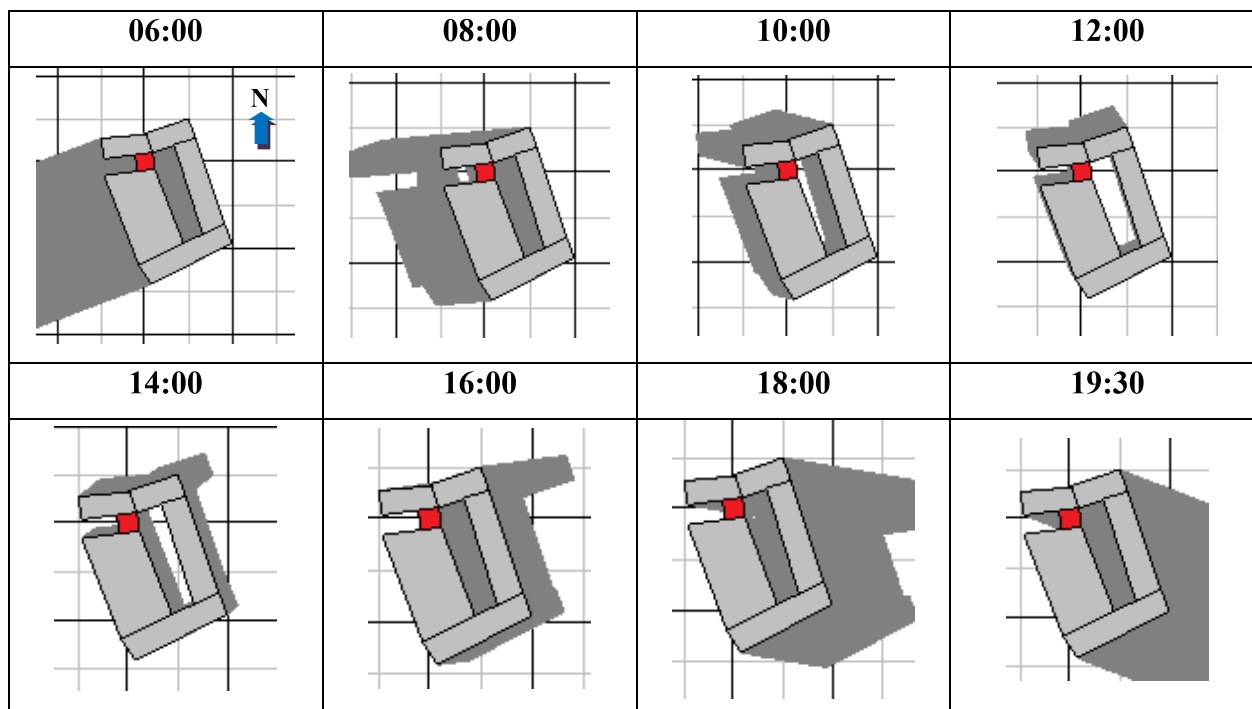
II. Présentation des résultats de la simulation:(voir annexe N°06)

II.1. Analyse de l'ombrage et de l'ensoleillement :

L'ombrage est un des facteurs inévitables à cerner dans cette étude. Afin de définir son tracé au cours de la journée, dans toutes les stations, on a effectué une simulation toutes les 02 heures, du lever jusqu'au coucher du soleil, afin de déterminer les secteurs où les ombres se produisent. Les résultats de simulation sont présentés dans un tableau dans l'annexe 11.

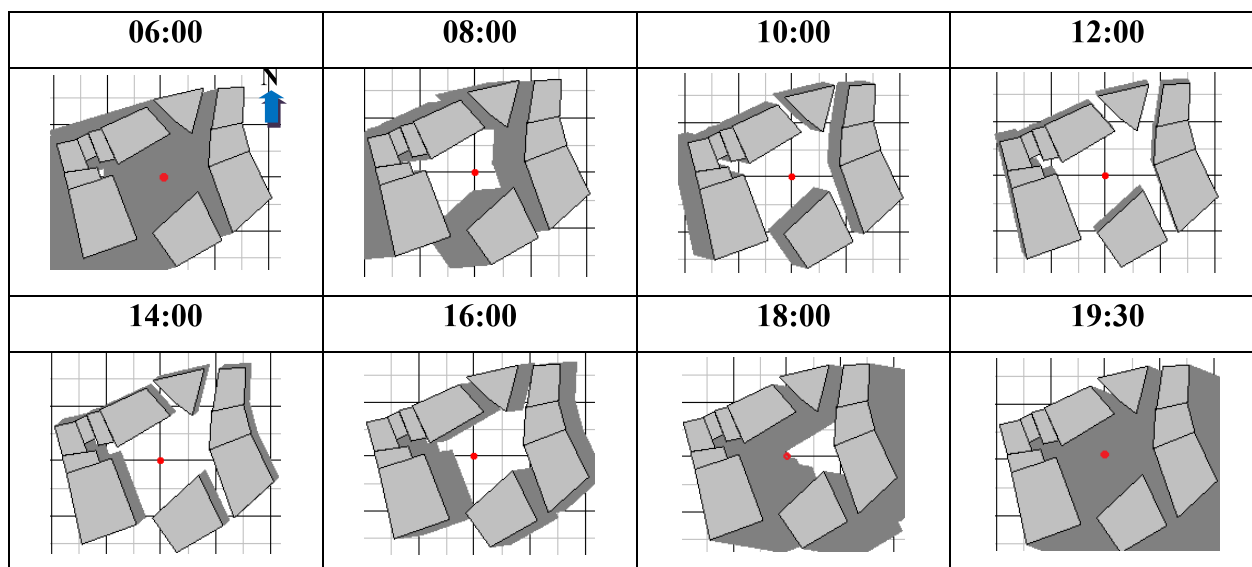
En comparant les tracés d'ombre des différents points, au cours de toute la journée, on constate que la quantité d'ombre dépend fortement du facteur de vue du ciel, tandis que, peu après 10h et jusqu'à 18h, la présence de l'ombre désirable commence à être liée à un faible FVC. Notant que les passages couverts pratiquement, sont obstrués au rayonnement direct et sont complètement à l'ombre durant toute la journée, c'est le cas des points 04 ; 06 ; 14 ; 15 ; 24 ; 30 où les durées d'ensoleillement effectives sont : 18 ; 6 ; 6 ; 4 ; 5 ; 5(min), respectivement. Le point 01 (Tableau VI.1) fait partie également des passages couverts, mais il affiche une valeur de 221 (min), valeur assez élevée pour être enregistrée dans cette typologie. Dans ce cas-là, l'orientation de la rue E-O et le manque d'obstruction pour protéger le côté O sont les seules raisons qui permettent la pénétration du soleil.

Tableau VI.1. Tracé d'ombre au point 01. Source : auteur (2016).



Par contre, dans les points 12 ; 20 ; 33 ; 34, autrement dit, dans les places (Tableau VI.2), le corps hypothétique est exposé au soleil de 08h jusqu'à 18h où on enregistre des valeurs de la durée d'ensoleillement effective (min) de 685 ; 629 ; 732 ; 678 ; respectivement correspondant aux valeurs les plus élevées du FVC et qui représentent un taux maximal d'accès solaire. Les plus grandes températures surfaciques et les valeurs les plus élevées des températures moyennes radiantes (T_{mrt}) ont été enregistrées en ces lieux.

Tableau VI.2. Tracé d'ombre au point 12. Source : auteur (2016)



Dans les impasses (Tableau VI.3), et plus précisément aux points 02 ; 07 ; 09 ; 19 ; les durées d'ensoleillement effectives (min) enregistrées sont de : 256 ; 130 ; 139 ; 266 ; respectivement. Cette différence est due, en premier lieu, à la variation des valeurs du FVC et à l'orientation solaire. Notons que l'orientation NO-SE correspond à la durée la plus faible et le corps hypothétique est à l'ombre durant toute la journée, à l'exception d'une heure avant et une heure après midi. La durée d'ensoleillement élevée de 11h à 13h au point 02, malgré l'orientation optimal (N – S), est due au FVC considérable.

Tableau VI.3. Tracé d'ombre au point 07. Source : auteur (2016)

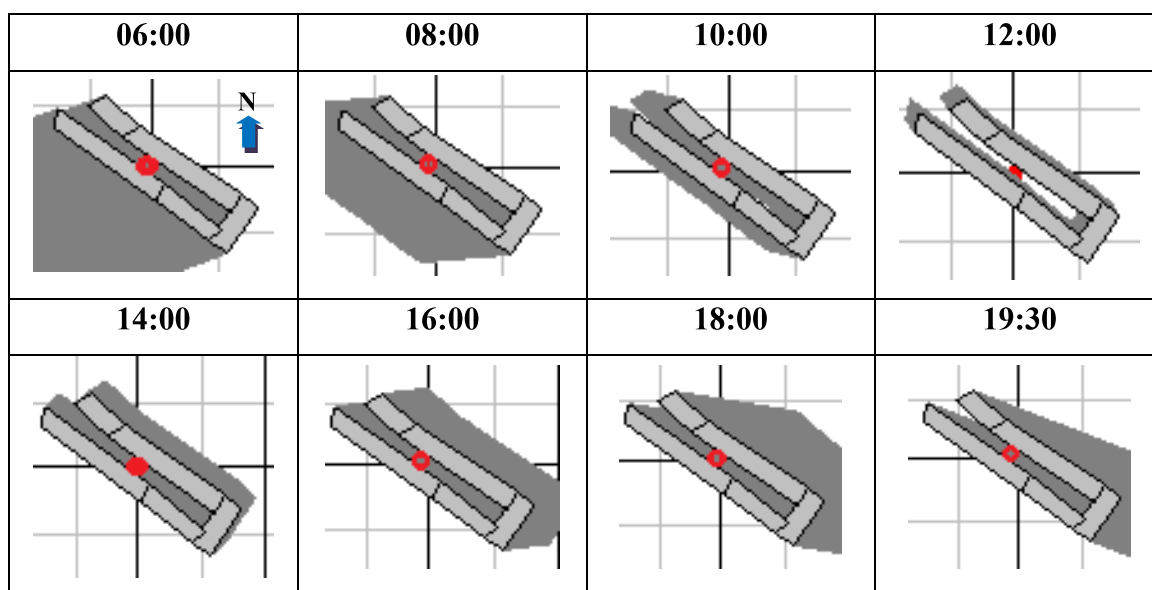
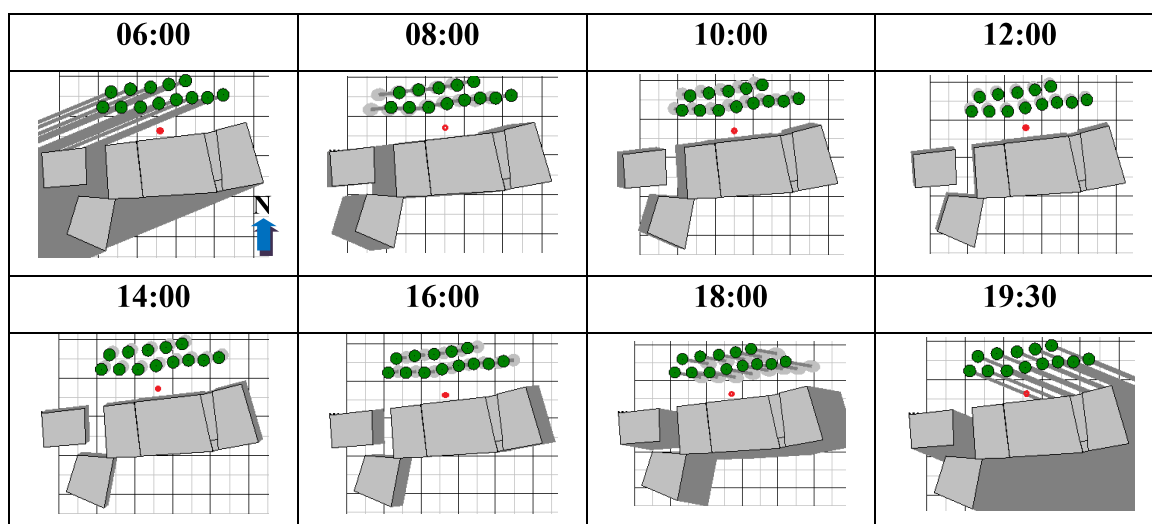


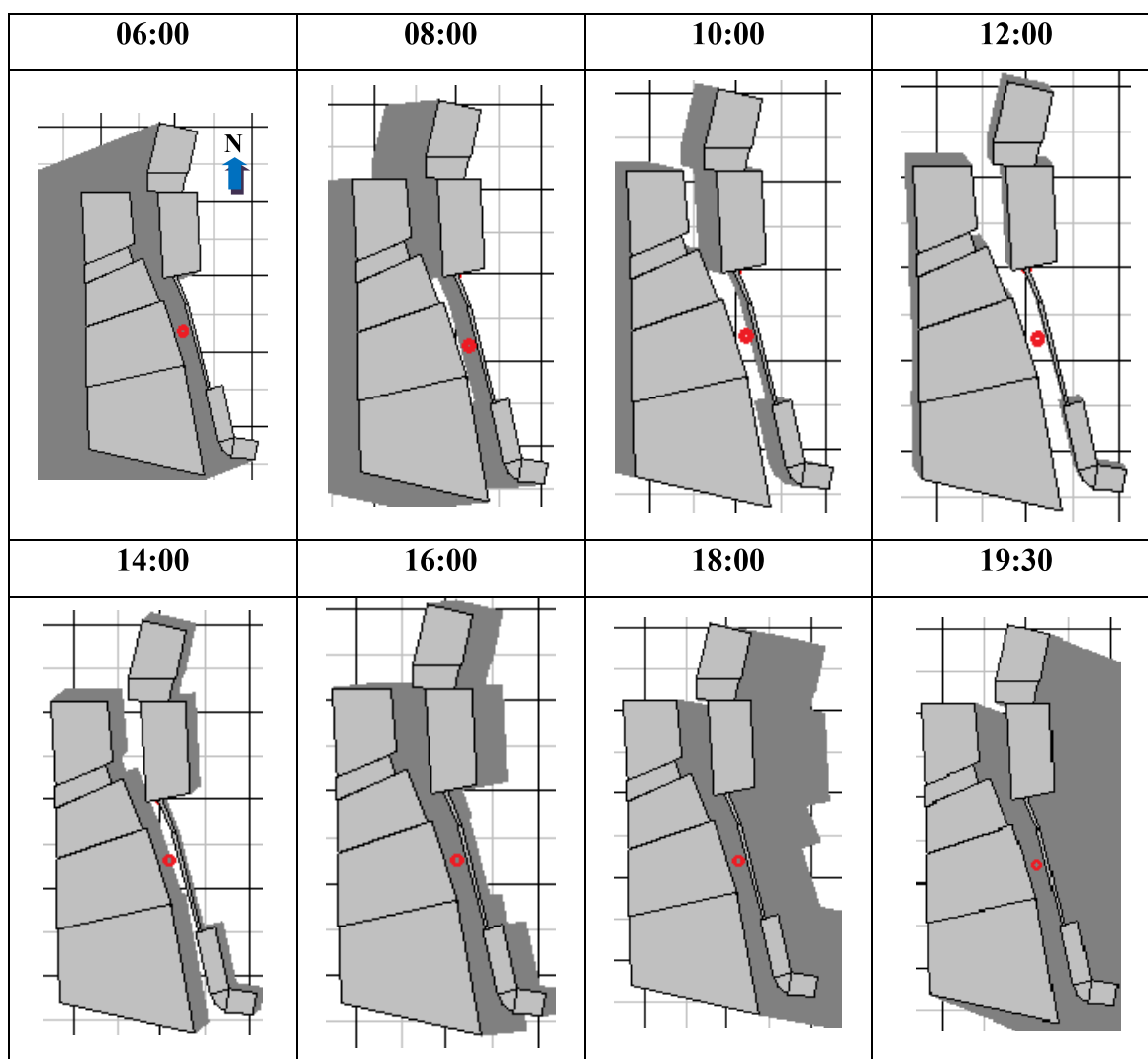
Tableau VI.4. Tracé d'ombre au point 23. Source : auteur (2016).



Une autre typologie, les rues en balcons surplombant l'oasis, qui se situent aux points 16 ; 23 ; 28 et qui s'exposent pour des durées d'ensoleillement effectives considérables : 462 ; 805 ; 487(min), respectivement.

Au point 23 (Tableau VI.4) orienté E-O, les conditions de protection contre les rayons solaires ne sont satisfaites en aucun cas. Le corps hypothétique est éclairé par le soleil toute la journée, du lever jusqu'au coucher du soleil, tandis que, au point 28, orienté NO-SE, le corps hypothétique ne s'expose au soleil que peu après 10h jusqu'au coucher du soleil. Par contre au point 16 (Tableau VI.5), orienté N-S, l'exposition au soleil va de 10h jusqu'à 14h.

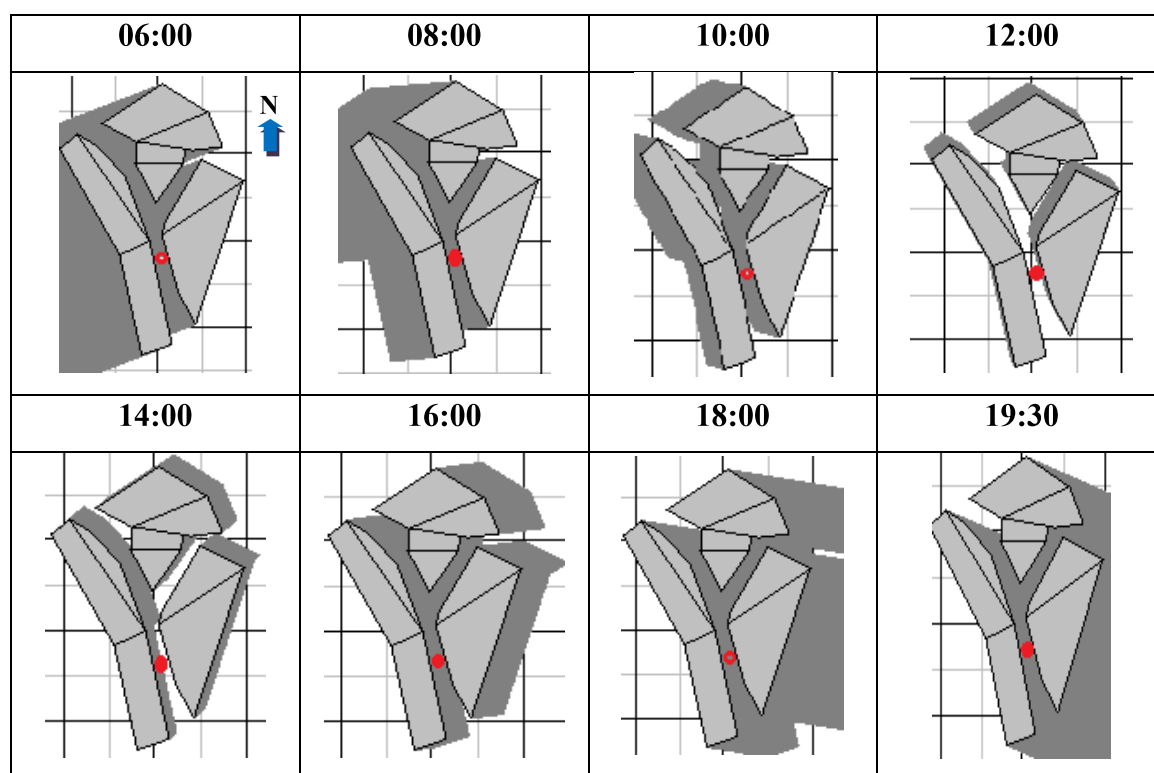
Tableau VI.5. Tracé d'ombre au point 16. Source : auteur (2016).



Par la comparaison des canyons urbains, et comme il a été indiqué précédemment, on a constaté que la durée d'ensoleillement effective dépend fortement du facteur de vue du ciel, en enregistrant des durées maximales de 428 ;585 ;465 aux points 22 ;25 ;35 ; respectivement.

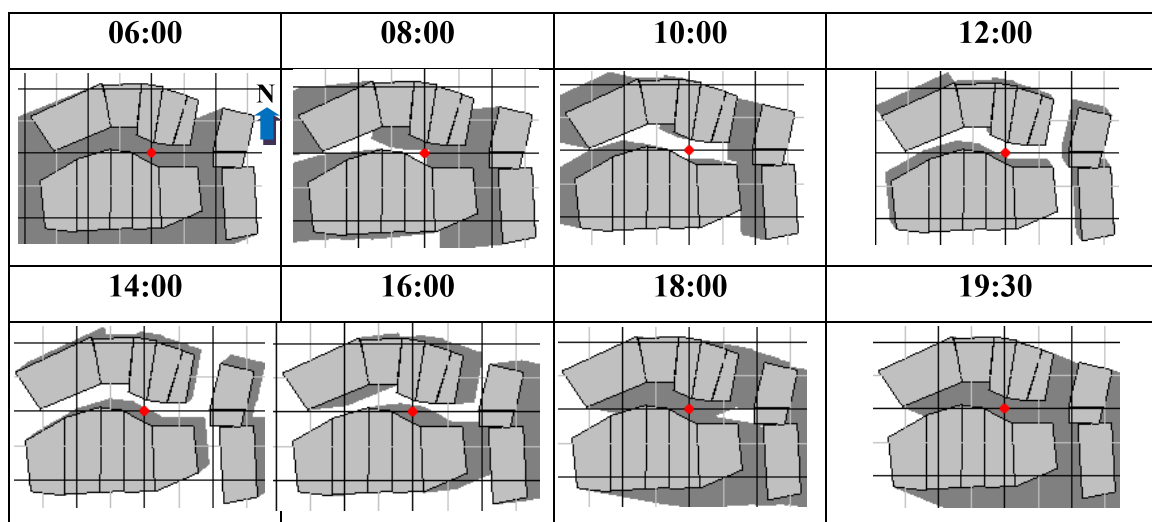
L'orientation des rues, influe également sur le tracé d'ombre ainsi que sur la quantité d'ensoleillement reçu par le corps hypothétique. Notons que les rues orientées N-S et qui possèdent un FVC moyen, sont exposées au rayonnement solaire de midi jusqu'à 15h, c'est le cas des points 05 (Tableau VI.6) et 17 ensoleillés pendant 212 et 254 (min), respectivement. Dans le cas des rues orientées NO-SE, les corps hypothétiques sont exposés au soleil de 10h à 15h. Ces deux orientations offrent des durées d'ensoleillement modérées en comparaison avec d'autres orientations E-O et N-ES-O où se localisent les points offrant des conditions d'ensoleillement assez importantes.

Tableau VI.6. Tracé d'ombre au point 05. Source : auteur (2016).



Grâce à sa forme curviligne qui génère un ombrage mutuel, la rue sur laquelle on a localisé le point 18 (Tableau VI.7), reçoit moins d'ensoleillement (377 min) en comparaison avec le point 21 qui possède la même valeur du FVC avec presque la même orientation et qui offre des durées d'ensoleillement de 688 minutes.

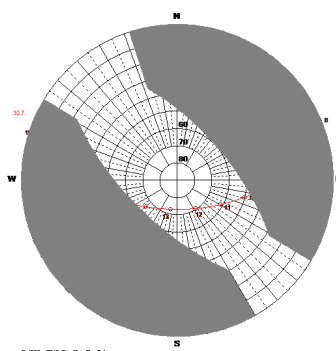
Tableau VI.7. Tracé d'ombre au point 18. Source : auteur (2016).



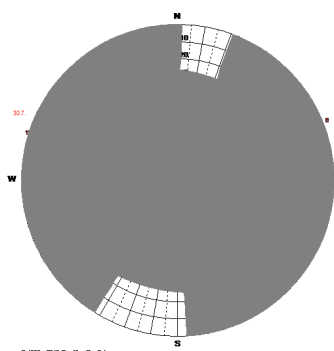
Station 03

Station 06

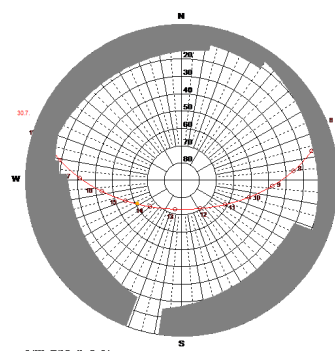
Station 12



SVF= 0.277



SVF= 0.016



SVF= 0.610

Figure VI.8. Diagrammes solaires pour les FVC aux points 03, 06, 12.

Source: auteur (2016).

La figure VI.8 représente les diagrammes solaires des points représentatifs du tissu urbain estimé à l'aide de RayMan pro 2.1, les diagrammes solaires de tous les points sont présentés dans l'annexe 07.

II.2. La durée d'ensoleillement :

La durée d'ensoleillement représente la période pendant laquelle le corps hypothétique reçoit directement de rayonnement solaire, retenue pour une date donnée et exprimée en minute. Le calcul de cet indicateur nous permet de localiser les points qui sont assez exposés au soleil et par conséquent, inconfortables pour les piétons.

Le calcul de la durée d'ensoleillement à chaque point, par le biais du logiciel (Voir annexe 12), nous a permis d'élaborer le graphe présenté dans la (Figure VI.9). La lecture de ce graphe, indique une augmentation très considérable dans la durée d'exposition du corps

hypothétique aux rayonnements solaires pour les points possédant un FVC majoritairement élevé. Durée inadmissible pour fréquenter ces espaces durant les journées d'été.

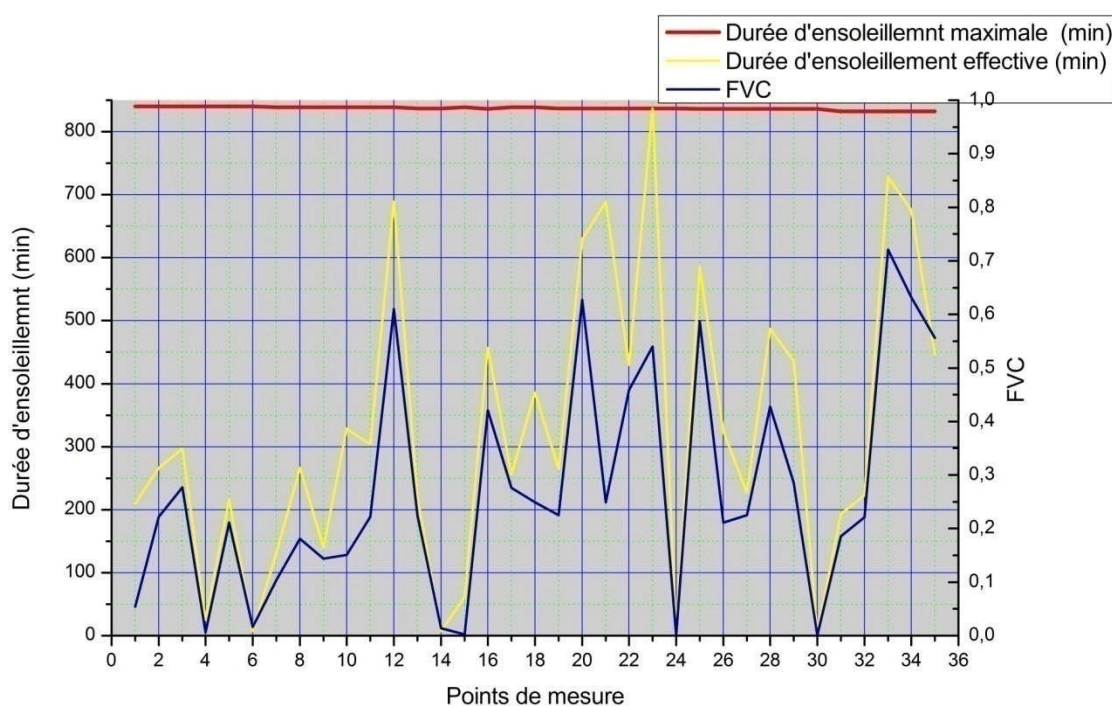


Figure VI.9. Variations de la durée d'ensoleillement effective en fonction du FVC des différents points de mesures. Source: auteur (2016).

Le calcul de la corrélation entre les valeurs du FVC et la durée d'ensoleillement effective révèle des valeurs significatives $R^2=0,81$, il y a, donc une grande concordance entre la durée d'ensoleillement effective et le FVC.

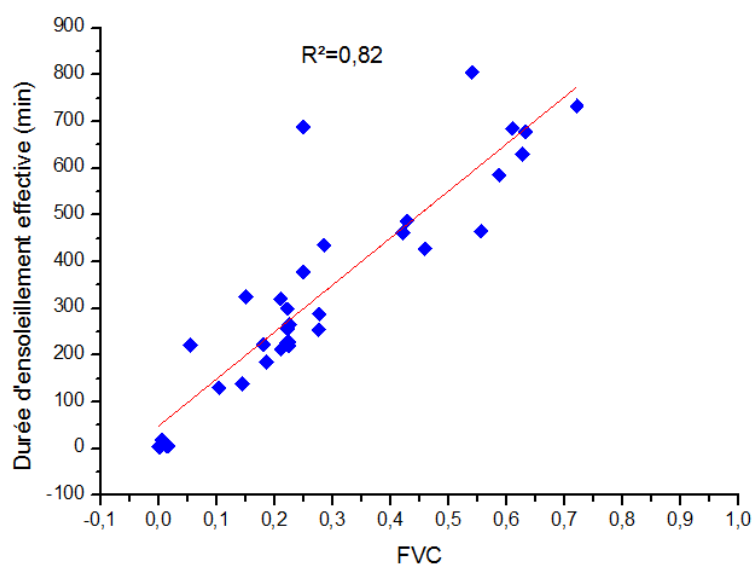


Figure VI.10. Corrélation de la durée d'ensoleillement effective et FVC. Source : auteur (2016).

II.3. Le rayonnement global, thermique et direct :

Les résultats acquis en calculant la durée d'ensoleillement dans chaque point se reflètent clairement sur le taux du rayonnement dans les différentes stations. Il y a été remarqué certaines contradictions, dans les espaces ombragés possédant un faible FVC, entre le rayonnement global (G_{act}) présenté dans la figure VI.11 et le rayonnement thermique (E) présenté dans la figure VI.12. Dans les espaces exposés au rayonnement solaire, on a enregistré, pratiquement, des taux du rayonnement global et du rayonnement thermique assez importants avec un écart faible entre eux. Cet écart s'accroît par l'augmentation du FVC accompagné par une diminution du taux du rayonnement global dans certaines espaces où le rayonnement thermique est assez élevé. Ce qui explique la température élevée dans les espaces à l'abri du rayonnement solaire.

Cette élévation de la température est générée par la dissipation de l'air chaud dans les espaces exposés par convection et par rayonnement vers les espaces abrités. Ces mouvements peuvent notamment être dus aux différences de température et de la charge thermique entre les espaces ensoleillés et ombragés. Donc, cet échange est le phénomène responsable de l'échauffement des endroits à l'abri du rayonnement solaire. Contrairement au rayonnement thermique, le rayonnement direct (S_{act}), présenté dans la figure VI.13, varie en cohérence avec le changement du rayonnement global (G_{act}). Ce paramètre présente une valeur « nulle » dans tous les espaces ombragés. Il dépend fortement de FVC et du moment de la prise de mesure.

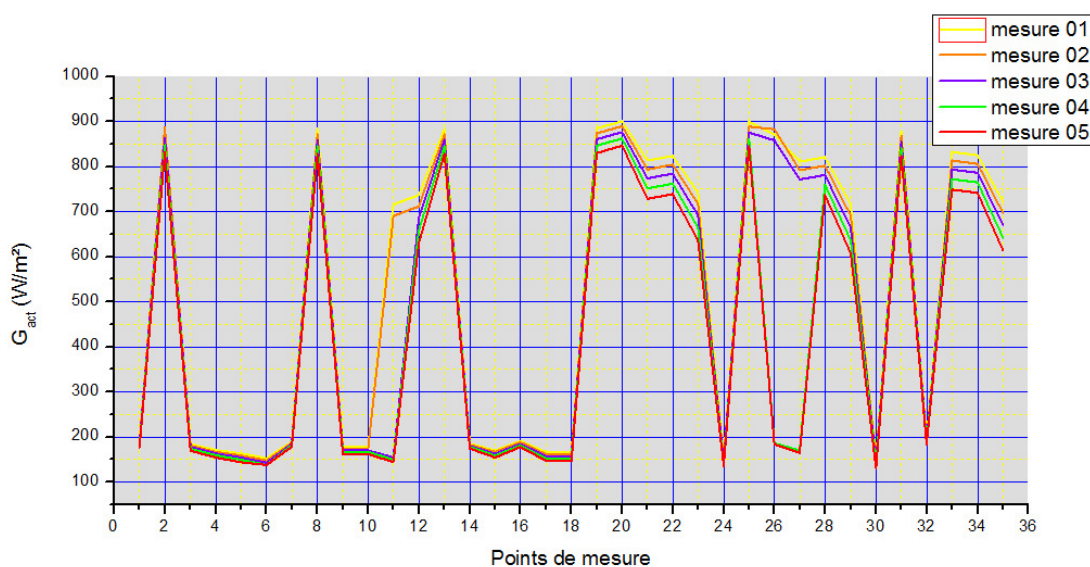


Figure VI.11. Variations du rayonnement global dans les différentes stations de mesures.
Source: auteur (2016).

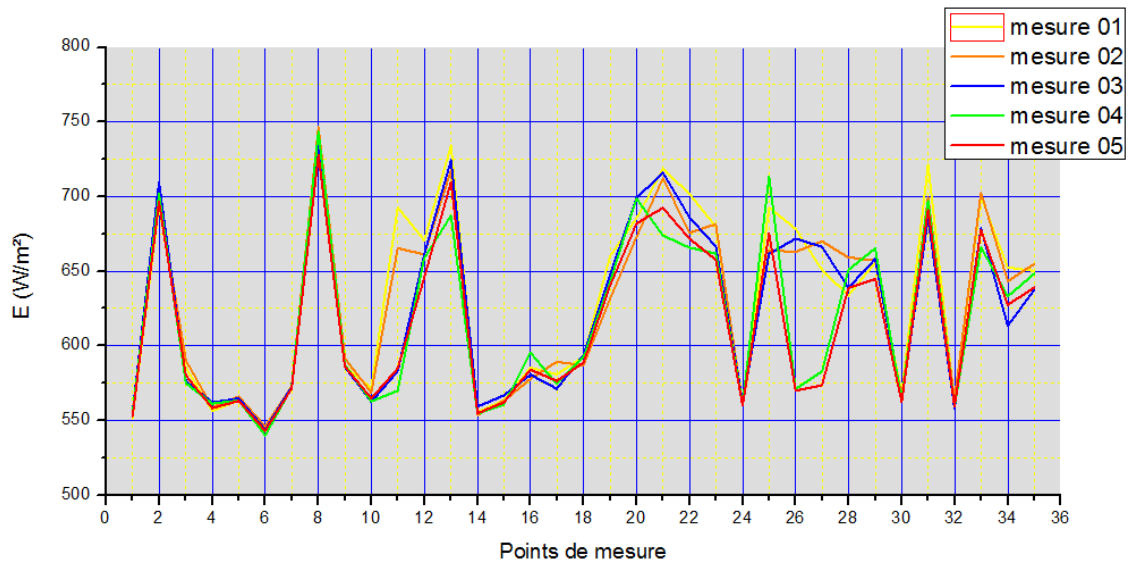


Figure VI.12. Variations rayonnement thermique dans les différentes stations de mesures.
Source: auteur (2016).

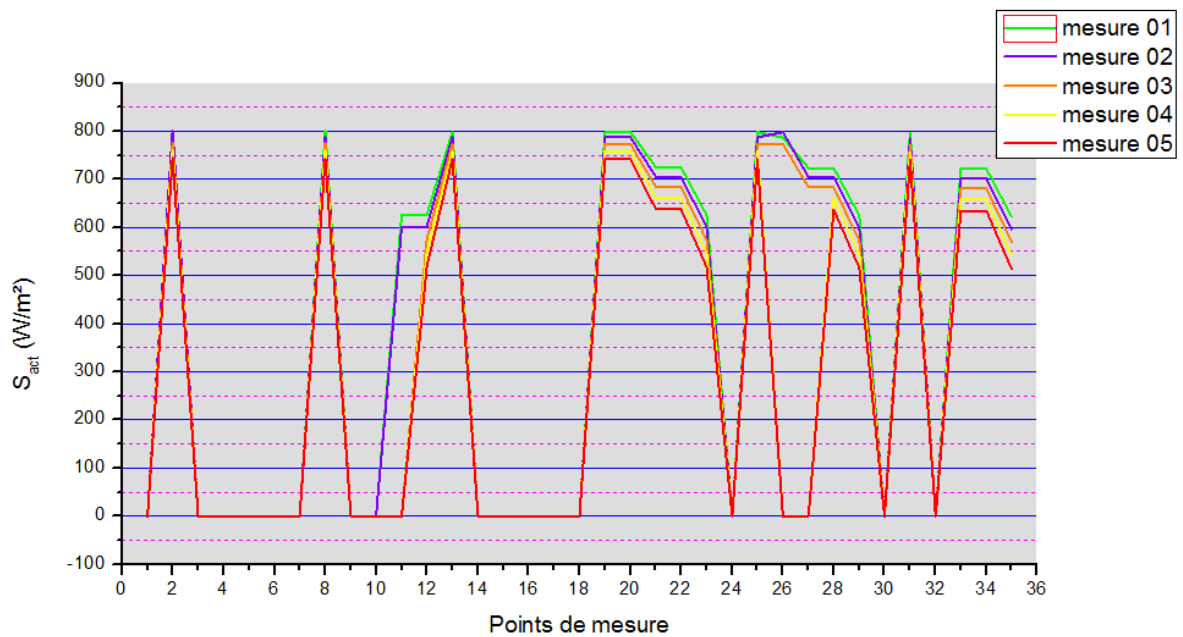


Figure VI.13. Variations des valeurs du rayonnement direct dans les différentes stations de mesures.
Source: auteur (2016).

II.4. impacte de la morphologie urbaine sur la température du sol:

Dans le graphe ci-après (Figure VI.14), une forte corrélation a été marquée entre la température surfacique mesurée et celle estimée par « Rayman Pro », cette corrélation déterminée par le coefficient de détermination $R^2= 0.91$.

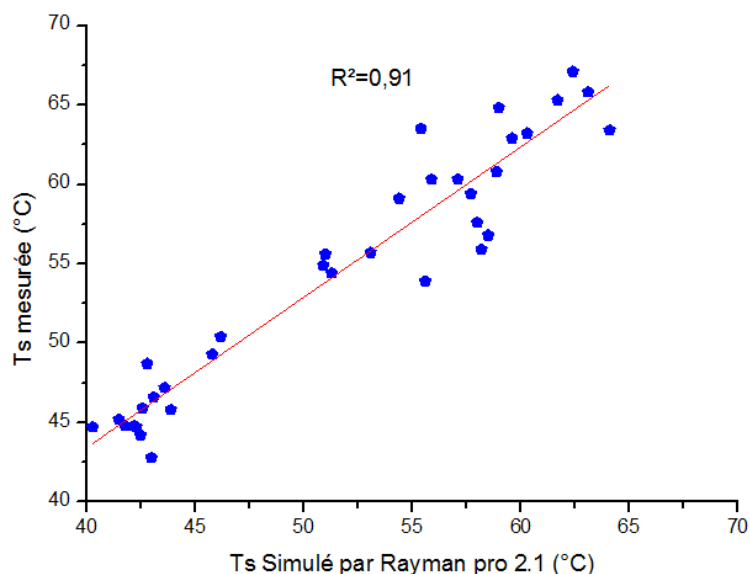


Figure VI.14. Corrélation entre la température du sol mesurée et celles estimées par RayMan pro.
source: auteur (2016)

Par l'analyse des valeurs de la température du sol, issues de la simulation (Figure VI.15) et celles mesurées, on a remarqué que la Ts augmente dans tous les espaces ouverts à grand FVC. D'ailleurs, les valeurs les plus faibles ont été enregistrées dans les espaces à l'abri des rayons solaires, notamment dans les passages couverts et les rues canyons. Autrement dit, les températures surfaciques du sol dépendent fortement des rayons solaires qui frappent le sol et l'ombre générée par les bâtiments environnants, préalablement discutés.

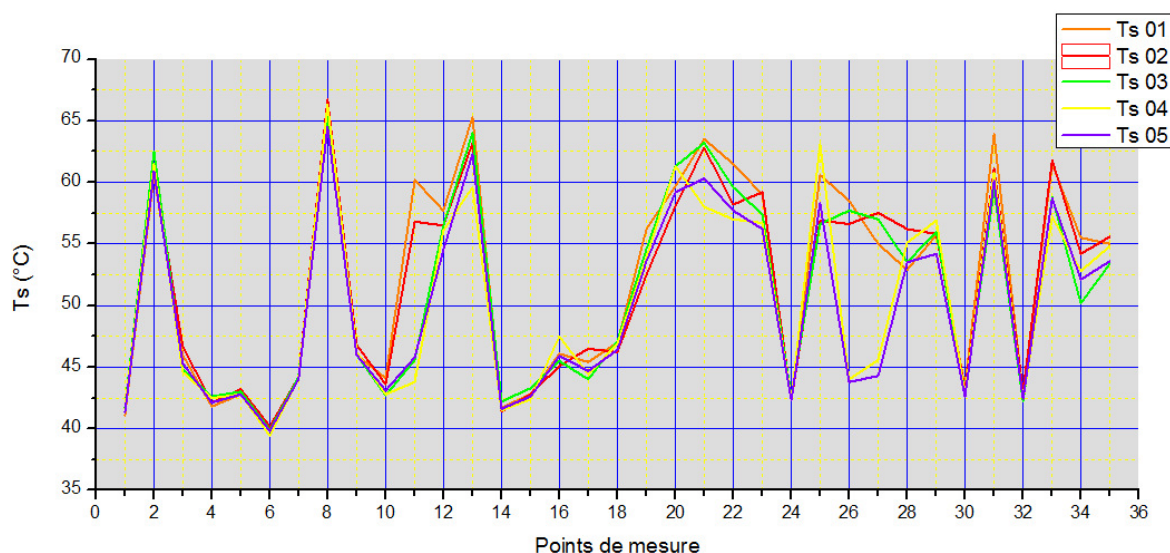


Figure VI.15. variation des températures du sol dans les différents points de mesure.
source: auteur (2016)

Un autre facteur affecte la température des surfaces et qui est le matériau du revêtement du sol, ou plus précisément son albédo qui se détermine par la capacité du matériau à réfléchir le rayonnement solaire, et sa perméabilité. L'albédo d'un sol dépend essentiellement de sa couleur, de l'eau contenue dans le sol, et l'angle d'incidence du flux solaire. Par la prise en compte de ce paramètre dans l'analyse comparative, on a remarqué que les points, où le revêtement du sol est en asphalte et qui servent à la circulation automobile, les températures du sol sont trop élevées. C'est le cas des points 02 et 25. Ces températures élevées sont dues au réchauffement excessif de ce matériau qui emmagasine plus de chaleur en comparaison avec d'autres matériaux du revêtement des rues en sol nu (terre naturelle). Celles-ci présentent les valeurs les plus faibles de la T_s notamment dans les endroits à faible FVC. En outre, un revêtement du sol en ciment engendre également des températures significatives enregistrées aux points 19 et 33.

Malgré leur ouverture considérable sur le ciel où les rayons solaires frappent le corps hypothétique toute la journée, les points 12 et 34 présentent des valeurs assez élevées. Ces températures sont pourtant plus faibles que dans d'autres points possédant des FVC similaires ou plus faibles, grâce au matériau du revêtement qui est la pierre. Celle-ci ayant un albédo considérable. Les rues dont le sol est couvert de gravier sont destinées à la circulation mécanique. Elles permettent l'accès des voitures dans quelques endroits du village. Ces rues présentent des valeurs assez élevées des températures surfaciques du sol, notamment dans les points : 22 ; 23 ; 28 ; 29 ; 35. Cela est dû en premier au FVC important généré par la création des accès à ces espaces aux véhicules et à l'albédo faible du gravier.

II.5. Évaluation du confort thermique par le vote moyen prévisible (PMV*) :

Dans le calcul des valeurs du PMV* dans la période du stress thermique qui s'étale de 14h00 à 16h00 pour 06 journées successives 27/28/29/30/31-07-2016 et 02/08/2016, on a enregistré les valeurs majoritairement élevées aux points les plus exposés, alors que les espaces à l'abri du rayonnement solaire ont les valeurs minimales de cet indice. C'est le cas du point 15 qui présente un passage couvert où il a été noté la valeur la plus faible du PMV ($PMV_{min}=3.8$) jugée « moyennement chaud » (Figure VI.16).

Par la classification des valeurs de PMV, selon les multiples sensations, on a trouvé que les différents points étudiés présentent un bilan thermique « extrêmement chaud ». L'intensité de cette sensation varie d'un point à un autre, autrement dit selon les valeurs du PMV. On a enregistré les maxima aux points 11 et 20.

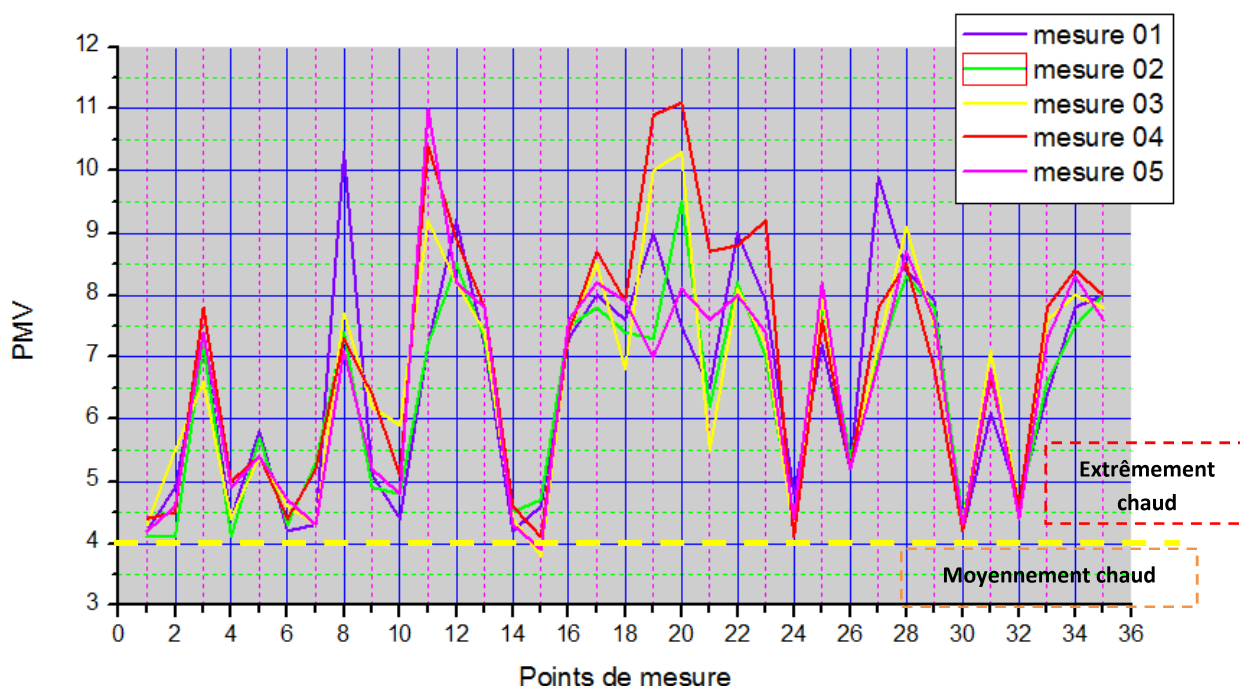


Figure VI.16. Variations des moyennes des valeurs du PMV dans les différents points de mesure.

Source: auteur (2016)

II.5. Évaluation du confort thermique par la température physiologique équivalente:

Cet indice a été discuté par (Höppe 1999). Il est défini comme étant la température de l'air à laquelle le bilan de l'énergie du corps humain (d'une personne pratiquant une activité légère du métabolisme égale à 80 W à ajouter au métabolisme de base et à la résistance thermique d'habillement = 0.9 clo) pour des conditions intérieures typiques, équilibrées avec la température de la peau et le taux de la sueur que dans les conditions extérieures complexes réelles à évaluer. Les conditions intérieures typiques sont: $T_{mrt} = T_a$, $V_a = 0,1$ m/s, $VP = 12,0$ hPa (équivalente à 50% d'humidité relative enregistrée à une ambiance thermique de la $T_a = 20^\circ\text{C}$, approximativement).

Dans l'évaluation des valeurs de la température physiologique équivalente présentées au graphique de la Figure VI.17, nous constatons une forte relation entre la PET et la T_{mrt} , sachant que l'augmentation de la T_{mrt} entraîne l'augmentation des valeurs du PET. Cela s'exprime clairement dans la figure VI.19 qui traduit une forte corrélation positive entre la température moyenne radiante et l'indice thermophysique PET avec un coefficient de corrélation considérablement élevé $R^2 = 0,97$. On enregistre un écart faible entre eux dans les espaces ayant un faible FVC.

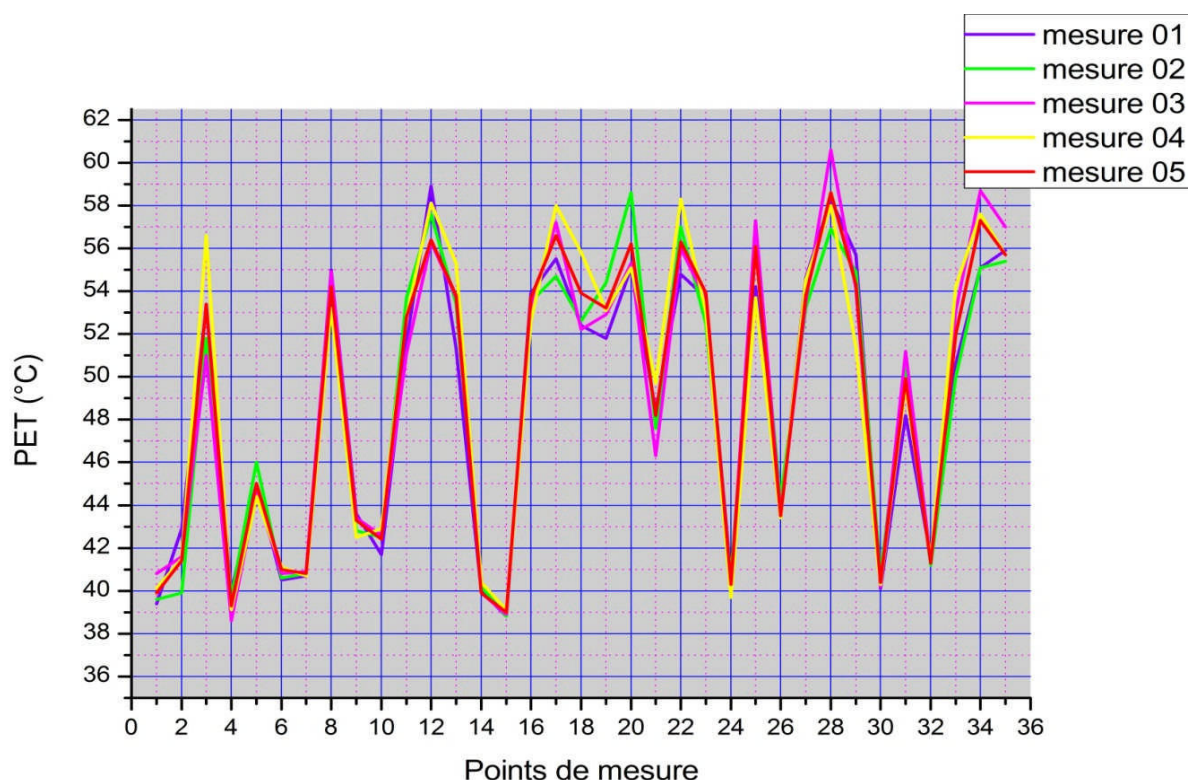


Figure VI.17. Les valeurs de PET dans les différents points de mesure.
Source: auteur (2016)

Il est à noter, également, que les valeurs de la T_{mrt} et du PET varient simultanément avec la variation des valeurs du FVC, dont l'accroissement entraîne l'augmentation des valeurs de cet indice. On enregistre les valeurs maximales aux points 12, 20, 34 qui présentent les valeurs extrêmes du FVC. En outre, les valeurs minimales du PET ont été enregistrées sous les passages couverts (notamment dans les points 04 et 15) grâce à l'ombre générée par ces derniers au niveau de la rue.

L'écart considérable entre FVC des deux points 13 et 16 n'a pas entraîné une grande différence entre les valeurs du PET qui y ont été enregistrées, grâce à l'orientation solaire du point 16. Celui-ci présente le FVC le plus élevé. L'orientation solaire, également, a un effet considérable quand on compare les deux points 18 et 21 qui présentent le même FVC et un écart apparent aux valeurs du PET. En trouvant que le point 21 orienté NO-SE possède la valeur la plus faible du PET dans ces deux points. Par la comparaison des deux points 26 et 27 qui possèdent presque le même FVC, on trouve un écart considérable dans les valeurs du PET. Cela est dû à l'orientation solaire des rues.

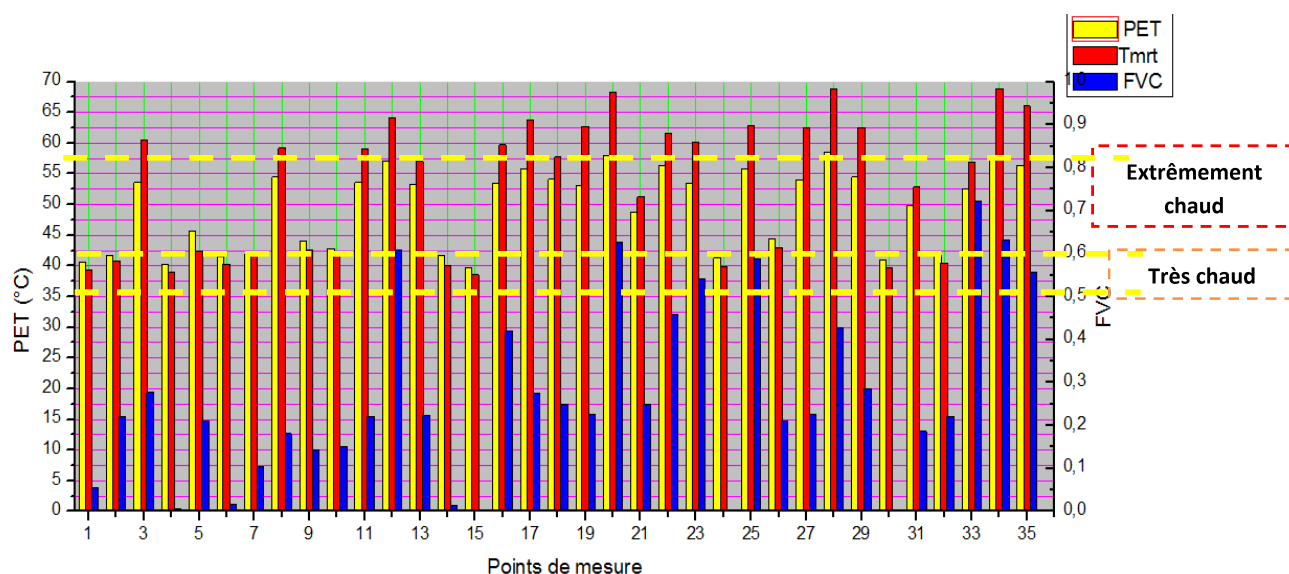


Figure VI.18. Variations des moyennes des valeurs du Tmrt et PET en fonction du FVC dans les différents points de mesure durant des journées typiques d'été. Source: auteur (2016).

Le point 28 possède la valeur maximale de PET, malgré une orientation favorable et un FVC faible en comparaison avec celui dans d'autres points possédant les mêmes valeurs de PET. Cela s'explique par l'absence du masque solaire aux côtés S et O, ce qui le rend exposé au rayonnement solaire de midi jusqu'à la fin de la journée.

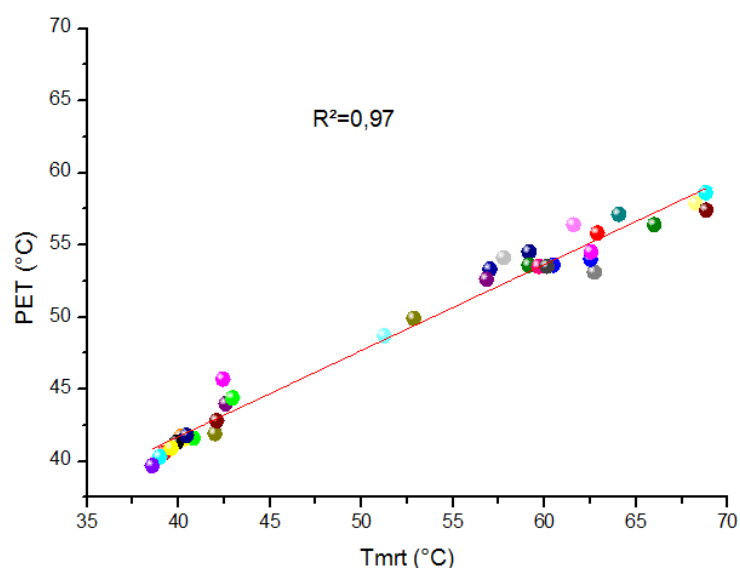


Figure VI.19. Corrélation des moyennes des valeurs de Tmrt et PET durant des journées typiques d'été. Source: auteur (2016)

afin de déterminer la qualité du stress thermique dans les points examinés, nécessaire à l'évaluation du confort thermique et en se basant sur l'indice thermique PET préalablement calculé par le logiciel de simulation thermique RayMan Pro 2.1®, on a classifié les valeurs du

PET selon différents niveaux du stress physiologique et de la perception thermique comme il est présenté à la figure VI.18 (voir annexe 13) et à partir duquel, nous avons relevé deux états différents : l'état « très chaud » et l'état « extrêmement chaud ». Les points 01 ; 04 ; 15 ; 30 présentent les valeurs les plus faibles du PET, pour lesquels l'état est considéré comme « très chaud ». Dans les autres points, l'indice thermophysique PET s'accroît pour dépasser le seuil de l'état « extrêmement chaud » avec des variations dans les valeurs d'un point à un autre. Ceci affecte le stress thermique d'une façon notable, malgré son classement au même niveau que le stress physiologique « extrêmement chaud ».

La corrélation entre la géométrie urbaine, représentée par le FVC et la température physiologique équivalente (PET) (Figure VI.21), révèle un facteur de corrélation $R^2=0,61$. Cette valeur n'est pas jugée assez importante pour dire que le PET dépend purement du FVC. Ceci nous a conduits à tenir compte, dans notre travail, d'un autre facteur, à notre avis, très influant et qui est l'orientation des espaces étudiés.

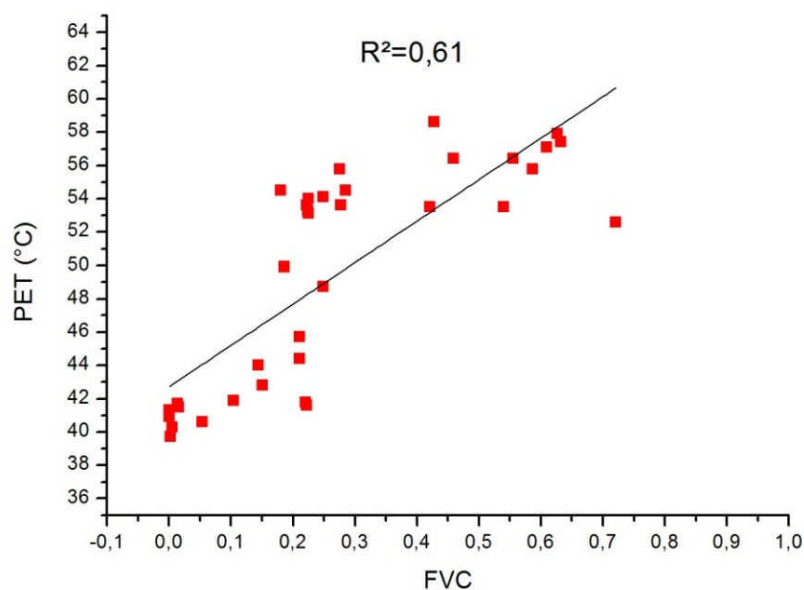


Figure VI.20. Corrélation des moyennes des valeurs de l'indice thermophysique PET et FVC.
Source: auteur (2016)

Dans l'histogramme ci-dessous (Figure VI.22), on a procédé à une classification des valeurs du PET retenues dans les points de mesure en fonction de leurs orientations solaires. Ce facteur, orientation solaire, a une influence négligeable dans les espaces ouverts et les passages couverts, dont les caractéristiques géométriques spécifiques mettent le corps hypothétique exposé où à l'abri des rayons solaires pendant de longues périodes de la journée, respectivement. Par la comparaison des valeurs du PET pour différentes orientations solaires,

on a trouvé que les rues orientées NO-SE et N-S présentent les valeurs du PET les plus faibles, pour des maxima dans les rues orientées NE-SO.

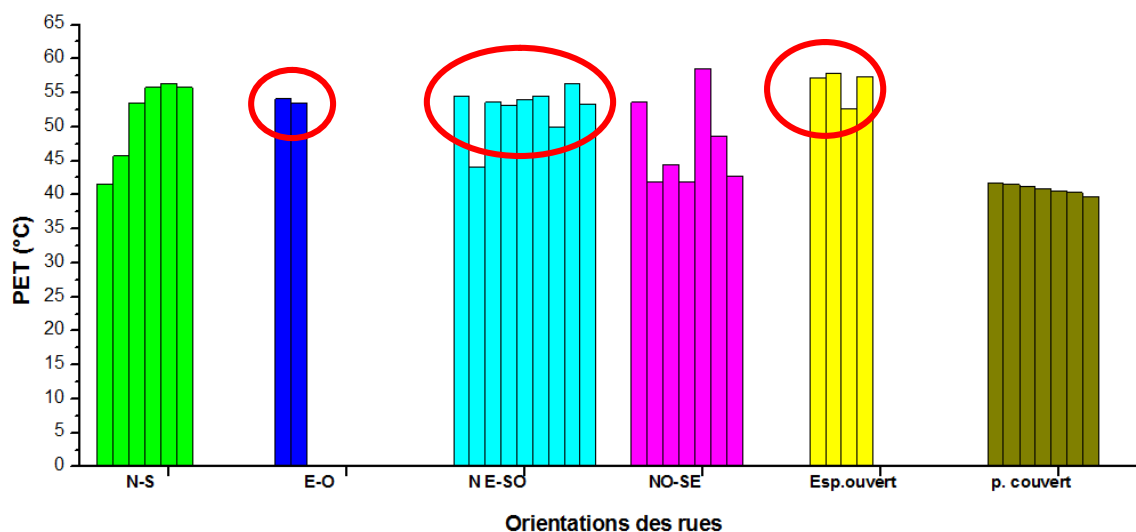


Figure VI.21. Classification des valeurs moyennes de PET selon les orientations des espaces étudiés.
Source: auteur (2016).

CONCLUSION

Contrairement aux conditions climatiques intérieures, aisément contrôlables par la conception optimale de l'enveloppe du bâtiment, il est plus difficile d'agir sur l'environnement climatique complexe extérieur imposé par la morphologie urbaine, de premier ordre. Par la comparaison et la confrontation des différents paramètres calculés et interprétés dans le cadre de l'évaluation du confort thermique, on trouve que le FVC est le paramètre géométrique prépondérant qui agit le plus au changement du microclimat dans la rue. Ainsi, l'étude des graphes ci-dessus en rapport avec les caractéristiques géométriques des points étudiés nous a permis d'atteindre un certain nombre de recommandations relatives à la conception urbaine dans les régions chaudes. À vrai dire, plus l'ouverture au soleil est basse, plus on remarque un taux minimum du rayonnement solaire, induisant une baisse de température souhaitable durant la période estivale. Cette ouverture au soleil est définie par un FVC maîtrisé (faible), un rapport H/L optimal (élevé) combinés avec une orientation solaire maîtrisée, en favorisant l'orientation « N-S » et l'orientation « NO-SE » qui offrent des conditions acceptables en termes de confort thermique, en comparaison avec les autres orientations solaires. En outre, la température de la surface du sol s'accroît dans tous les espaces ouverts à grand FVC, notamment ceux qui possèdent des ouvertures vers le S et l'O

et un albédo faible. Ce qui est remarquable, également, c'est la forte corrélation de la PET et la TMR dont les valeurs augmentent avec l'accroissement du FVC et la diminution du ratio H/L.

Finalement, on peut dire que malgré la possibilité de quantifier et de mesurer le niveau du confort thermique, il est nécessaire également de prendre en considération l'aspect psychologique indispensable à l'évaluation de la sensation thermique perçue, et ceci en faisant appel à la technique du questionnaire, élaborée et analysée dans le chapitre suivant (Chapitre VII).

CHAPITRE VII

CONFORT THERMIQUE ET
ADAPTATION PSYCHOLOGIQUE
QUESTIONNAIRE IN SITU

« *Nous avons tous besoin de patrimoine, de racine* »

(Marc COTE)¹

INTRODUCTION :

Chaque être humain réagit différemment aux conditions climatiques externes. Certains sont extrêmement sensibles au froid tandis que d'autres sont extrêmement sensibles à la chaleur, et pour caractériser le confort thermique en espaces extérieurs, nombreuses sont les méthodes et les approches d'évaluation. Les scientifiques en climatologie urbaine disposent d'un large éventail de moyens pour conduire à bien leurs recherches. Si la méthode expérimentale est ambitieuse par sa recherche de causalité, la technique d'enquête est grandiose par l'ampleur de son champ et plus prudente (méthode, historique) par sa critique des documents.

En effet, dans ce chapitre, notre objectif fondamental est d'examiner et de comprendre l'influence des conditions microclimatiques, dictées par la géométrie urbaine, sur la sensation thermique en espaces extérieurs du tissu urbain de notre cas d'étude. Donc, notre méthode revient à croiser les données morphologiques et climatiques urbaines avec les résultats d'enquête in situ. Dans le présent chapitre, on va présenter l'analyse et l'interprétation des résultats du questionnaire que nous avons mené, comme une des techniques utilisées dans cette étude.

- L'analyse univariée : dans laquelle on va décrire et présenter les caractéristiques de l'échantillon étudié distinctement.
- L'analyse bivariée : qui consiste à croiser deux variables et étudier l'interrelation entre elles.
- L'analyse factorielle des correspondances multiples : qui consiste à étudier l'interrelation entre trois variables ou plus, présentée sous forme d'une carte factorielle.

¹ « Le patrimoine saharien », Conférence du 16/11/2010 de Pr. Marc COTE au département d'architecture de Biskra.

I. Classification des enquêtes in situ :

I.1. Classification selon l'étendue et la précision de mesures réalisées :

D'après Moujalled (2007), trois niveaux, correspondant à la majorité des enquêtes rencontrées in situ, ont été distingués:

– **Niveau I :** S'effectue par des mesures physiques ponctuelles ou continues de la température de l'air, avec ou sans l'humidité de l'air dans un seul endroit dans l'espace. Les mesures peuvent être accompagnées d'une description succincte des sujets et de certaines caractéristiques du bâtiment ainsi que d'une évaluation asynchrone de l'ambiance thermique par les sujets. Ce type d'enquête permet d'avoir des informations sur l'ambiance thermique sans beaucoup impliquer les occupants.

– **Niveau II :** Ce niveau correspond à l'enquête classique sur le confort thermique pendant laquelle les différentes grandeurs physiques de l'ambiance thermique (température de l'air, température radiante, vitesse de l'air et humidité de l'air) sont mesurées conformément aux normes ISO 7730 et ISO 7726, et parallèlement à l'évaluation subjective de l'ambiance thermique à l'aide d'échelles de jugements subjectifs qui sont : vote de perception, vote d'évaluation et vote de préférence.

Niveau III : Dans ce niveau, les enquêtes doivent fournir, au-delà des informations fournies au niveau précédent, des informations sur les vêtements et les activités des sujets. Ces informations s'avèrent nécessaires au calcul des différents indices de confort, notamment le PMV/PPD et le SET. Pour une meilleure évaluation de confort, ces indices calculés peuvent être ainsi comparés au confort perçu par les sujets in situ. Les différentes mesures doivent être retenues conformément aux normes ISO 7730 et ISO 7726. Les enquêtes peuvent être accompagnées par des observations du comportement des sujets en ce qui concerne le choix des moyens de contrôle de l'ambiance thermique, selon l'étendue et l'objectif de l'enquête.

I.2. Classification selon le mode d'échantillonnage :

Moujalled (2007) a également donné une autre classification aux enquêtes, selon la méthode d'échantillonnage. Il a distingué deux catégories : les enquêtes transversales et les enquêtes longitudinales.

- Les enquêtes transversales sont réalisées avec une large population où chaque individu contribue à un seul ou un nombre limité de votes. Ce type d'enquête permet d'éviter un

échantillonnage biaisé et d'avoir une précision acceptable pour les résultats. Parmi ses inconvénients, ce type d'enquête ne permet pas de suivre le confort thermique sur un plan temporel, il permet d'explorer les conditions thermiques typiques dans les différents types de bâtiment et les comparer aux perceptions et aux attentes des occupants afin d'en dégager les conditions de confort thermique pour les différents cas.

- Les enquêtes longitudinales : s'intéressent à un nombre limité d'individus suivis sur une période prolongée. Ce type d'enquêtes permet ainsi de suivre l'évolution du confort thermique sur une séquence de temps. Dans les enquêtes transversales, le sujet doit remplir un questionnaire plusieurs fois par jour, il est donc difficile de trouver des personnes disponibles pour y participer vu l'importance du temps qu'ils doivent y consacrer. De plus, le faible nombre des participants peut biaiser les résultats ; les participants doivent constituer un échantillon représentatif de la population.

II. Elaboration Du Formulaire De Questions:

La conception du questionnaire est une phase très importante pour la mise en œuvre de notre hypothèse de recherche. Sa structure et les questions sont rédigées en rapport avec les concepts. Vu le temps limité de l'investigation et afin de cerner une grande variété des conditions d'ambiance thermique, nous avons opté pour une enquête « transversale de niveau III » dans les différents points de mesures. Ce type d'enquêtes correspond le mieux à nos objectifs qui visent à étudier différentes géométries de l'espace extérieur vis-à-vis de l'environnement thermique, durant la période du stress thermique d'été. Ce niveau d'enquête permet également de fournir des informations sur les caractéristiques des interviewés (Taille, poids, habillement, activité). Ces informations sont nécessaires au calcul des indices thermiques (PMV, PET) indispensable à la caractérisation du confort thermique et préalablement discutés au chapitre VI.

En premier lieu, le questionnaire a été élaboré en deux langues : français afin de l'intégrer aux documents de la thèse et pour sa saisie sur « Sphinx » et en arabe pour le rendre compréhensible aux sujets. On a essayé d'éviter les questions trop longues, inutiles et ambiguës et les rédiger d'une manière simple et compréhensible. Les questionnaires sont distribués aux participants au moment des mesures. Ils comportent trois parties :

- Une partie signalétique, portant le nom de la station (numérotation), le type de la rue (typologie de la rue sur le plan géométrique), la date et l'heure au moment de la saisie des réponses.
- Une partie destinée aux caractéristiques de la personne : elle sert à récolter des informations sur les participants telles que : le sexe, l'âge, la taille, le poids, la position afin de déterminer le taux d'activité et la vêtue pour définir la résistance vestimentaire, afin de calculer les différents indices de confort.
- Une partie destinée à recueillir les votes sensoriels et perceptifs des participants qui leur permettent d'évaluer l'état thermique personnel ainsi que le jugement de la qualité de l'environnement thermique dans l'espace étudié.

D'après Moujalled (2007), la meilleure évaluation d'une ambiance thermique c'est celle qui vise à cerner trois étapes qui sont : la sensation, l'évaluation et enfin la préférence (Tableau VII. 1). Ces méthodes d'évaluation des ambiances thermiques à l'aide des jugements subjectifs sont relatives à la norme internationale ISO 10551. Dans cette optique, Chaque question correspond aux variables tirés de l'analyse conceptuelle en correspondance avec ces trois échelles. (Voir formulaire de questions complet dans l'annexe N° 08).

Tableau VII.1. Les échelles de jugements subjectifs sur les conditions thermiques.
Source : Moujalled (2007)

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

Sur le plan statistique, le formulaire est composé de 34 questions fermées à choix unique et multiple avec un nombre moyen de modalités. 5 modalités ordonnées (ex : extrêmement inconfortable, très inconfortable, inconfortable, légèrement inconfortable, confortable) et des modalités quelconques (ex : canyon, dièdre, dégagé, impasse, passage couvert). Les modalités

sont les valeurs possibles d'une variable qualitative. 175 observations ont été retenues pour le processus de l'enquête. Le questionnaire a été distribué à cinq personnes pour chaque point.

III. Protocole de l'enquête :

Avant d'entamer la collecte de données auprès de l'ensemble de l'échantillon complet, une enquête pilote auprès d'un petit échantillon de la population interrogée (10 personnes) a été menée, au début de mois de juillet, afin de se situer sous les mêmes conditions climatiques. En vue de tester et d'affiner les outils de l'enquête (le questionnaire). Ainsi que la gestion du temps de la prise de mesure parallèlement à l'enquête, dans chaque point. Ce pas nous a permis également de vérifier la validité de l'échantillon, et prévoir les difficultés que rencontrera l'enquête et les surpasser au préalable.

L'échantillonnage choisi est de type exhaustif. Ce questionnaire doit être rempli par les participants parallèlement aux mesures ponctuelles. Comme il a été mentionné précédemment, le processus d'investigation a été mené pendant six journées typiques d'été qui présentent la période de pointe de la saison estivale, et durant la plage horaire qui s'étale de 13h45 à 16h00, au moment du stress thermique le plus aigu. Nous avons fourni beaucoup d'effort pour réunir les gens. Pour cela, nous avons été obligés de frapper aux portes des habitants. Les différents participants ont été questionnés pendant une durée moyenne de 10 minutes par participant et selon les étapes suivantes :

- ✓ Demander aux participants s'il est possible de remplir les questionnaires.
- ✓ Distribuer les formulaires des questions en arabe au sujet afin de les remplir sur place.
- ✓ Parallèlement, prendre les mesures ponctuelles, dans les points sélectionnés à l'aide des instruments portatifs cités au chapitre V, en notant les observations instantanément.
- ✓ À la fin de la tâche, les questionnaires sont récupérés et nous tentons de refaire l'opération.

IV. Présentation du logiciel « Sphinx » :

Sphinx est un logiciel d'enquête et d'analyse de données. Il aide dans les étapes majeures de la réalisation d'une enquête :

1. L'élaboration du questionnaire (création, rédaction, impression) ;

2. La saisie des réponses ;
3. Le traitement des données quantitatives ou qualitatives ;
4. La rédaction du rapport d'étude.

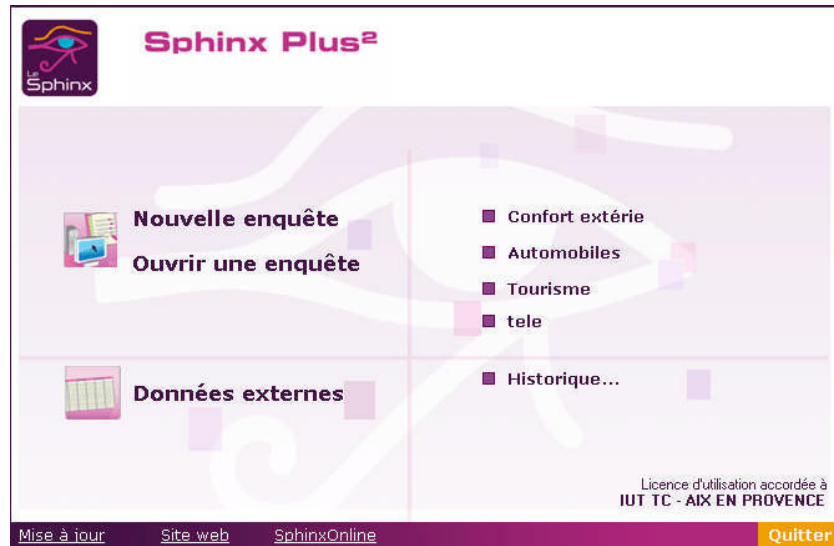


Figure VII.1. Fenêtre principale du logiciel Sphinx.



Figure VII.2. Les différentes étapes à suivre pour le traitement des données par "sphinx"

En fait, Sphinx est composé d'une suite de 3 logiciels :

- Le Sphinx Primo : il permet de créer un questionnaire, d'introduire et dépouiller les réponses et d'explorer les données enregistrées.

- Le Sphinx Plus² : il présente les mêmes fonctionnalités que "Primo" avec l'intégration des techniques d'analyse multidimensionnelle plus avancées telles que l'analyse factorielle et permet d'analyser tout fichier contenant des nombres et/ou du texte, quel que soit son origine.
- Le Sphinx Lexica : il permet d'enrichir les possibilités d'analyse lexicale et de contenu existantes dans "Primo" ou "Plus²" (traitement des questions ouvertes, des interviews non directives ou de tout autre texte quelle que soit son origine).

Chacun de ces logiciels permet d'accomplir toutes les étapes d'une étude (élaboration du questionnaire, saisie des réponses, traitements quantitatifs et qualitatifs), et se distingue donc par leur capacité de traitement (compétences plus étendues en analyses quantitatives pour "Plus²" et en analyse lexicale pour "Lexica") et par leur degré d'ouverture à des données externes (Primo ne traite que les données saisies par son intermédiaire, alors que "Plus²" peut traiter des bases de données déjà existantes et "Lexica" n'importe quel texte). Dans le présent travail, on va utiliser « Sphinx plus² » pour mener notre questionnaire.

V. Analyse et interprétation des résultats des questionnaires :

V.1. Analyse univariée : description et interprétation des réponses :

Les analyses univariées donnent une description incomplète d'une réalité qui est le plus souvent multi variée. Les résultats de cette phase de l'analyse sont présentés sous forme d'histogrammes et de tableaux qui donnent une description synthétique des observations par l'évaluation du nombre (effectif) et le pourcentage des citations (fréquence) de chaque modalité. Autrement dit, cette analyse consiste à décrire les caractéristiques des variables étudiées, en soumettant presque toutes les variables à cette description. Il s'agit en premier lieu de construire des tableaux d'effectif et des fréquences associées à des graphiques de chaque variable étudiée.

V.1.1. Types des rues :

Comme il a été indiqué précédemment au chapitre V, on a choisi 35 points dont les caractéristiques géométriques sont carrément différentes, afin de distinguer la géométrie urbaine la plus performante. Cela s'est fait en six journées successives 27/28/29/30/31 juillet

et 02 aout 2017 sur une plage horaire s'étalant entre 14h00 et 16h00, on remarque que le type « dièdre » couvre 34,3% de l'ensemble des points examinés. Tandis que les deux types « canyon » et « dégagé » présentent 20% et 25,7 % respectivement. En outre, le tissu urbain étudié se caractérise par deux types des rues adoptées souvent dans les villes arabo-islamiques, « les passages couverts » et « les impasses » qui représentent, respectivement, 19,4% et 12% de la totalité. À noter que le rapport entre les valeurs dédiées aux types des rues choisis pour l'examen, n'exprime pas le rapport entre elles dans la totalité urbaine.

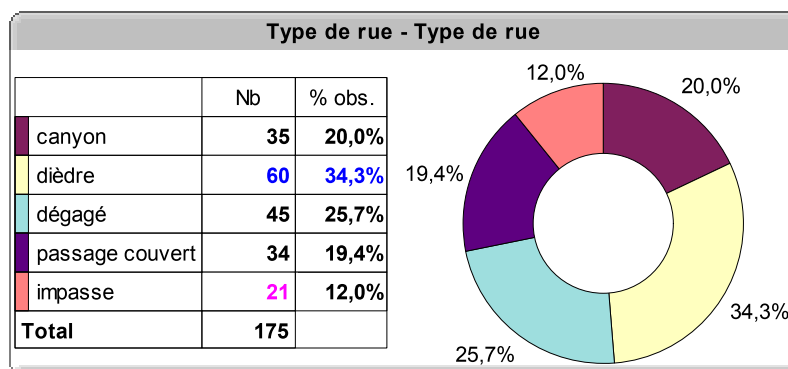


Figure VII.3. Tableau et graphique décrivant les typologies des rues étudiées.
Source: auteur (2017).

V.1.2. Genre desujets (Homme/Femme) et classes d'âge :

Lors de l'analyse des caractéristiques sociales des interviewés, notre échantillon étant constitué de 175 observations, on a remarqué que la plupart des utilisateurs de ces espaces sont des hommes avec un taux de 93,5%. Ce pourcentage majoritairement élevé en comparaison avec les femmes, qui présentent 13,7% de la population, s'explique par la culture des gens qui favorisent l'intimité ainsi que le moment choisi pour l'investigation (après-midi) qui n'est pas approprié pour une présence féminine« intense ».Les gens sont distribués sur différentes classes d'âge. La tranche d'âge dominante est celle comprise entre 18-24 ans, et qui représente 34,9% de la population.

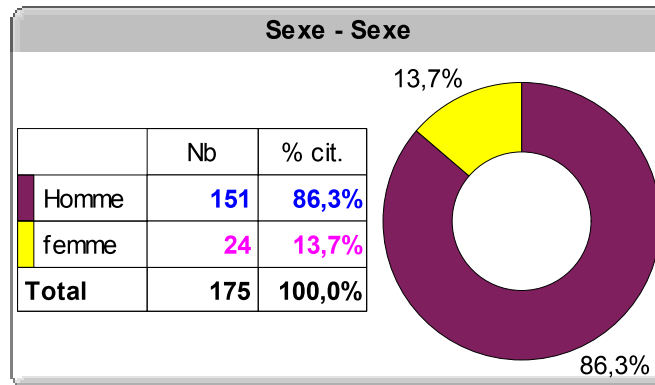


Figure VII.4. Tableau et graphique décrivant le genre des enquêtés.
Source: auteur (2017).

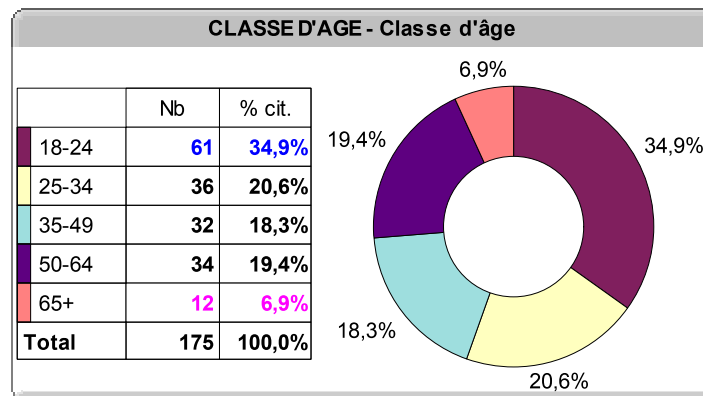


Figure VII.5. Tableau et graphique décrivant les tranches d'âge de l'échantillon.
Source: auteur (2017).

V.1.3. Caractéristiques physiques des sujets :

Les caractéristiques physiques, telles que la taille, le poids et le taux d'habillement, ont été prises, également, en considération, et présentées dans les tableaux ci-dessous. On a remarqué que le taux d'habillement varie en fonction du sexe, les femmes portant plus de vêtements que les hommes. Ceci est dicté par la culture et les préceptes religieux de la région.

Le taux vestimentaire de ces dernières diffère selon les classes d'âge. On trouve aussi que les hommes âgés présentent un taux d'habillement légèrement élevé, en comparaison avec celui des jeunes (Tableau VII. 2).

Tableau VII.2. Tableaux des caractéristiques physiques (Taille, poids, Habillement) des enquêtés.
Source : auteur (2017).

Taille - Taille			Poids - Poids			HABILLEMENT - Taux d'habillement		
Moyenne = 1,77 Min = 1,58 Max = 1,84			Moyenne = 81,14 Min = 65 Max = 95			Moyenne = 0,44 Min = 0,35 Max = 0,64		
	Nb	% cit.		Nb	% cit.		Nb	% cit.
Moins de 1,60	1	0,6%	Moins de 70	10	5,7%	Moins de 0,35	1	0,6%
De 1,60 à 1,64	6	3,4%	De 70 à 74	18	10,3%	De 0,35 à 0,40	81	46,3%
De 1,64 à 1,68	11	6,3%	De 75 à 79	44	25,1%	De 0,40 à 0,45	1	0,6%
De 1,68 à 1,72	14	8,0%	De 80 à 84	52	29,7%	De 0,45 à 0,50	60	34,3%
De 1,72 à 1,76	23	13,1%	De 85 à 89	29	16,6%	De 0,50 à 0,55	31	17,7%
1,76 et plus	120	68,6%	90 et plus	22	12,6%	0,55 et plus	1	0,6%
Total	175	100,0%	Total	175	100,0%	Total	175	100,0%

V.1.4. Comportement des sujets :

Lors du choix de l'échantillonnage, il était primordial que le questionnaire soit destiné seulement aux habitants originaires de ce tissu urbain. À l'analyse des taux de fréquentation des différents points examinés (Tableau VII. 3)., on remarque que 38,3% de la population visée par ce questionnaire fréquentent ces espaces de 06 à 07 fois/jour, 32,7% 04 à 05 fois ; 2,3% 02 fois ; 16% 02 à 03 fois ; 8,6% 08 à 09 fois et 2,3% plus de 10 fois, ce qui prouve que le questionnaire était destiné aux individus qui font partie de la population indigène du « Village rouge ».

À noter que le taux de fréquentation dépend des habitudes: économique (faire les courses, l'achat des produits alimentaires et tout ce qui est nécessaire pour la vie quotidienne), sociales (visites amicales ou familiales), religieuses (déplacements pour la prière dans la mosquée), agriculture (Soins des vergers, palmeraies et du bétail)... etc. La plage horaire convenable pour l'utilisation de chaque espace a été retenue dans le questionnaire sous forme de périodes bien distinguées, à partir desquelles, on a trouvé que 63,4% de la population favorisent la matinée qui offre, d'après eux, les conditions thermiques optimales pour fréquenter ces espaces. Le même taux d'individus favorise la période de fin d'après-midi, tandis que 40,6% préfèrent la fréquentation de certains espaces durant la soirée. Les valeurs minimales qui offrent les conditions extrêmes d'inconfort ont été enregistrées dans les

périodes de midi et de l'après-midi avec un taux de 19,4% et 28%, respectivement. Ces espaces sont donc plus fréquentés par les habitants quand la rue est ombragée ou semi ombragée.

Le taux d'activité est traduit par les différentes positions des individus au moment du questionnaire. À l'analyse de ce paramètre, on a trouvé que la majorité des individus (72,6%) étaient en position « marche », tandis que 25,7% étaient en position « debout », alors que 1,7% des individus étaient en position « assis ».

Tableau VII.3. Tableau représentant le nombre de passages des enquêtés.
Source : auteur (2017).

N_Passages - Combien de fois empruntez vous cette rue par jour?		
Moyenne = 4,86		
Min = 1 Max = 10		
	Nb	% cit.
Moins de 2	4	2,3%
De 2 à 3	28	16,0%
De 4 à 5	57	32,6%
De 6 à 7	67	38,3%
De 8 à 9	15	8,6%
10 et plus	4	2,3%
Total	175	100,0%

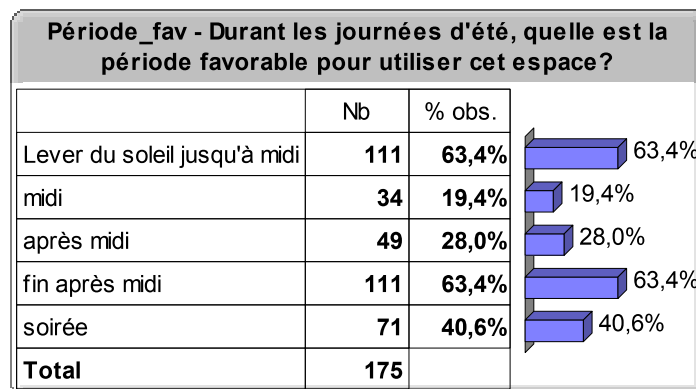


Figure VII.6. Tableau et figure représentant la période favorable de l'utilisation des points de mesure. Source : auteur (2017).

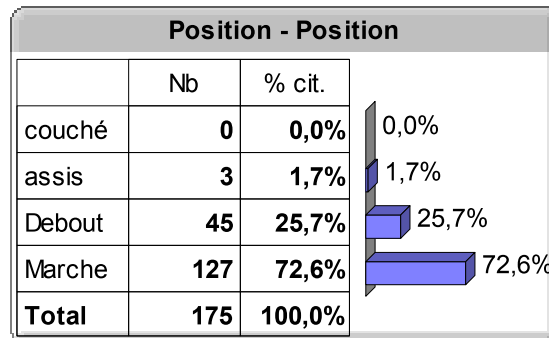


Figure VII.7. Tableau et figure représentant de la situation des enquêtés au moment du questionnaire. Source : auteur (2017).

V.1.5. Les conditions de l'ensoleillement et du vent en générale:

Concernant l'avis des enquêtées à propos de l'ensoleillement en générale, pendant la période d'étude, les résultats révèlent que 44,6% de la population trouvent que l'ensoleillement est fort, 29,7% considère que les conditions d'ensoleillement sont faibles, au moment où 25,7% notent que l'ensoleillement est moyen (Figure VII.8). La sensation des gens vis-à-vis des conditions du vent indique que 50,3% sentent que l'air est frais, alors que 49,7% estiment que l'air est chaud(Figure VII.9).

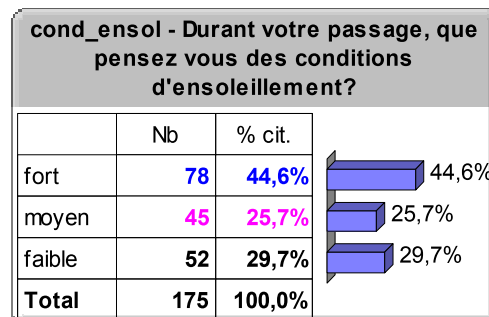


Figure VII.8. Tableau et figure représentatifs de la sensation des enquêtés vis-à-vis des conditions d'ensoleillement en générale. Source : auteur (2017).

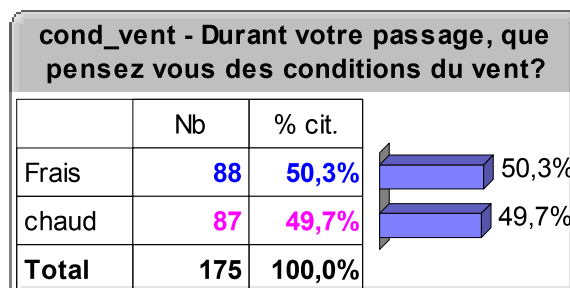


Figure VII.9. Tableau et figure représentatifs de la sensation des enquêtés vis-à-vis des conditions du vent en générale. Source : auteur (2017).

V.1.6. Conditions de température :

Le comportement des gens vis-à-vis des conditions de température repose sur 03 échelles : échelle de sensation, échelle évaluative et une échelle de préférence (Figure VII.10), desquelles on a tiré la valeur extrême de la population (51,4%) qui affirment qu'il fait « très chaud », ainsi que 15,4% des individus sentent qu'il fait « chaud ». Les valeurs les plus faibles des individus correspondent aux sensations : légèrement chaud, neutre, légèrement froid.

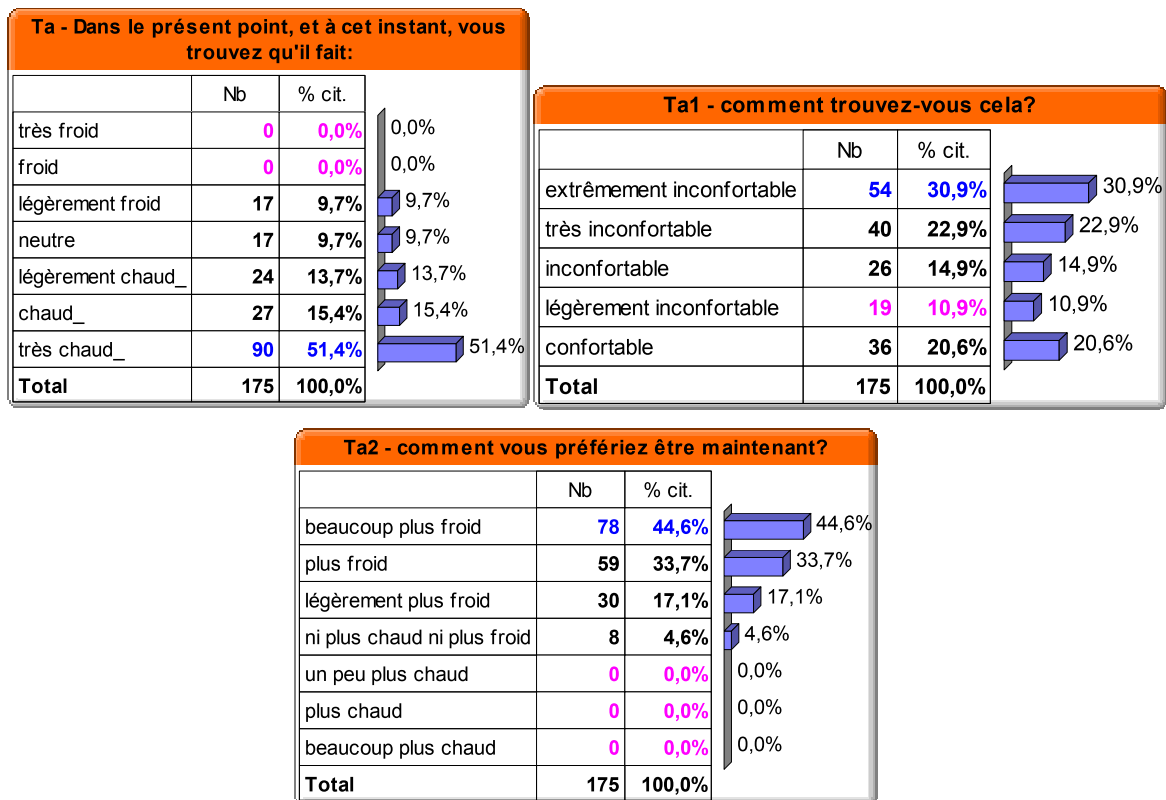


Figure VII.10. Tableaux et figures représentant la sensation des enquêtés vis-à-vis des conditions de température selon 03 échelles (Ta : sensation, Ta1 : évaluative, Ta2 : préférence).

Source : auteur (2017).

Et pour évaluer leurs sensations, les discussions entamées avec les enquêtés nous ont révélé que 30,9% d'eux se sentent « extrêmement inconfortable », 22,9% d'entre eux dans l'état « très inconfortable », alors que les individus qui ont voté pour l'état « confortable » représentent 20,6% de la totalité des enquêtés. Selon l'échelle des préférences, 44,6% des enquêtés souhaitent qu'il fasse « beaucoup plus froid », 33,7% préfèrent que l'ambiance soit « plus froide », certaines personnes dans certains espaces espèrent que l'air devienne

«légèrement plus froid », en notant que la valeur minimale correspond aux « ni plus chaud ni plus froid » avec un taux de 4,6%.

V.1.7. Conditions d'humidité :

L'humidité est un autre paramètre à prendre en compte dans cette étude, par la lecture des tableaux et des histogrammes ci-après (Figure VII.11). 41,7% des enquêtés ont trouvé que l'air est « sec », vient en deuxième position la sensation « très sec » avec un pourcentage de 18,9% ; 15,4% ont perçu que l'air est « légèrement sec », alors que la neutralité vis-à-vis des conditions d'humidité ne s'effectue que chez 16%, tandis que peu d'enquêtés (8%) ont senti que l'air est « légèrement humide ».

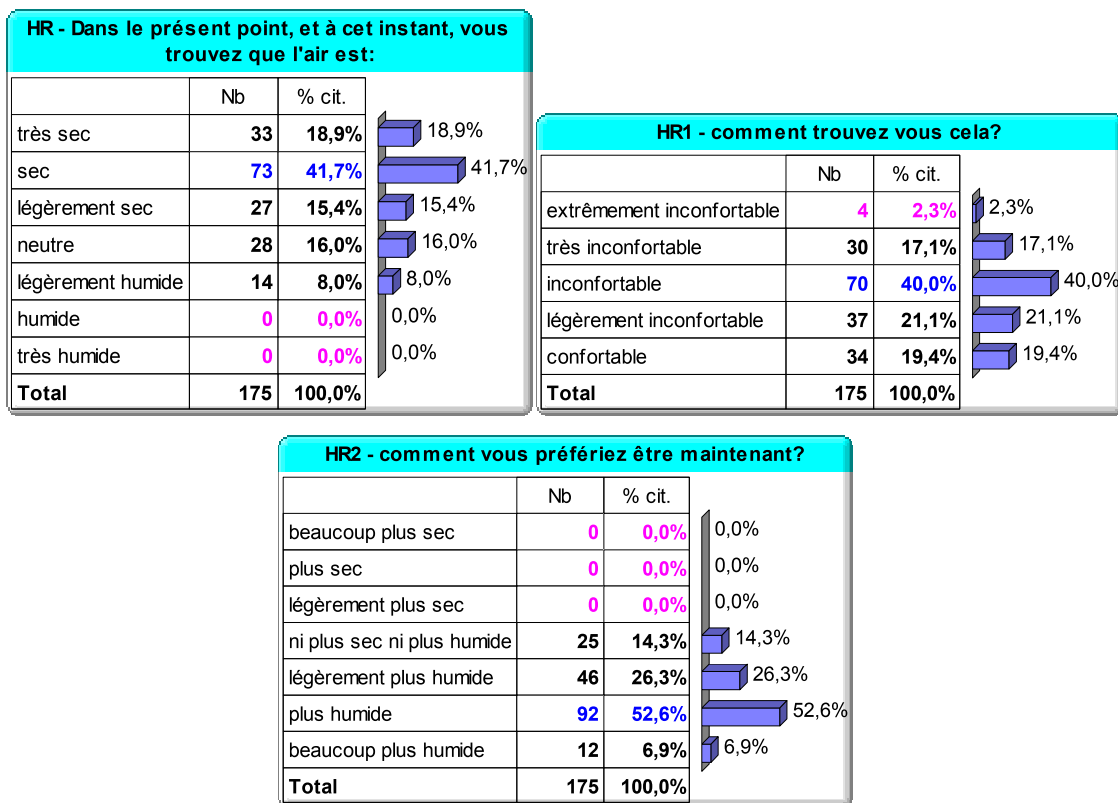


Figure VII.11. Tableaux et figures représentant la sensation des enquêtés vis-à-vis des conditions d'humidité selon 03 échelles (HR : sensation, HR1 : évaluative, HR2 : préférence).
Source : auteur (2017).

En mettant l'accent sur l'échelle évaluative du questionnaire, le tableau ci-dessous affiche une valeur extrême de 40% correspondant à l'état « inconfortable », les valeurs qui viennent en deuxième position : 21,1%, 19,4% correspondent aux individus qui ont considéré que l'ambiance est « légèrement inconfortable », « Confortable », respectivement, en termes

d'humidité de l'air. Tandis que 17,1% de la population sont « très inconfortables », en enregistrant la valeur minimale 2,3% pour la sensation : « extrêmement inconfortable ».

En étudiant les préférences des individus, on trouve que leurs réponses tendent vers le désir de l'humidification de l'air. La citation la plus répandue avec un pourcentage de 52,6% correspond à « plus humide », en deuxième rang, on a la citation « légèrement plus humide » qui correspond au taux de 26,3% nettement supérieur à la citation « ni plus sec ni plus humide » dont le taux est 14,3%. En dernier ordre, seulement 6,9% des enquêtés ont voté sur la citation « beaucoup plus humide » (Figure VII.11).

V.1.8. Conditions d'ensoleillement :

L'ensoleillement est un autre paramètre indispensable à l'évaluation du confort thermique. Le tableau de la Figure VII.12 nous indique qu'un taux maximal de 25,7% des enquêtés trouvent que le lieu est « très exposé », d'autres trouvent qu'il est « exposé », cet échantillon représente 17,1% de l'ensemble des enquêtés, peu d'entre eux (10,3%) ont dit que l'endroit est « partiellement exposé », un taux minimal (1,7%) des individus ont perçu que le site est « moyen ». D'ailleurs, d'autres personnes, dans certains points, ont senti que l'espace est « très ombragé », « ombragé » et chez certains « partiellement ombragé » avec des pourcentages de 17,1%, 14,9% et 13,1%, respectivement.

L'analyse des réponses vis-à-vis des conditions d'ensoleillement, attribuées selon l'échelle évaluative, révèle que les valeurs maximales 30,3% et 23,4% conviennent aux sensations « extrêmement inconfortable » et « confortable », en deuxième position, 22,3% tendent vers l'état « inconfortable », tandis que 14,3% se sentent « très inconfortable », un taux faible des individus (9,7%) ont voté pour la citation « légèrement inconfortable ».

Selon les réponses acquises suivant l'échelle des préférences, on remarque que les individus cherchent l'ombre. 36% d'entre eux souhaitent que l'espace soit « beaucoup plus ombragé », alors que 29,1% préfèrent qu'il soit « plus ombragé », 24,6% ne favorisent « ni plus ombragé ni plus exposé », en dernière position, 10,3% ont choisi la citation « légèrement plus ombragé » pour décrire leurs préférences.

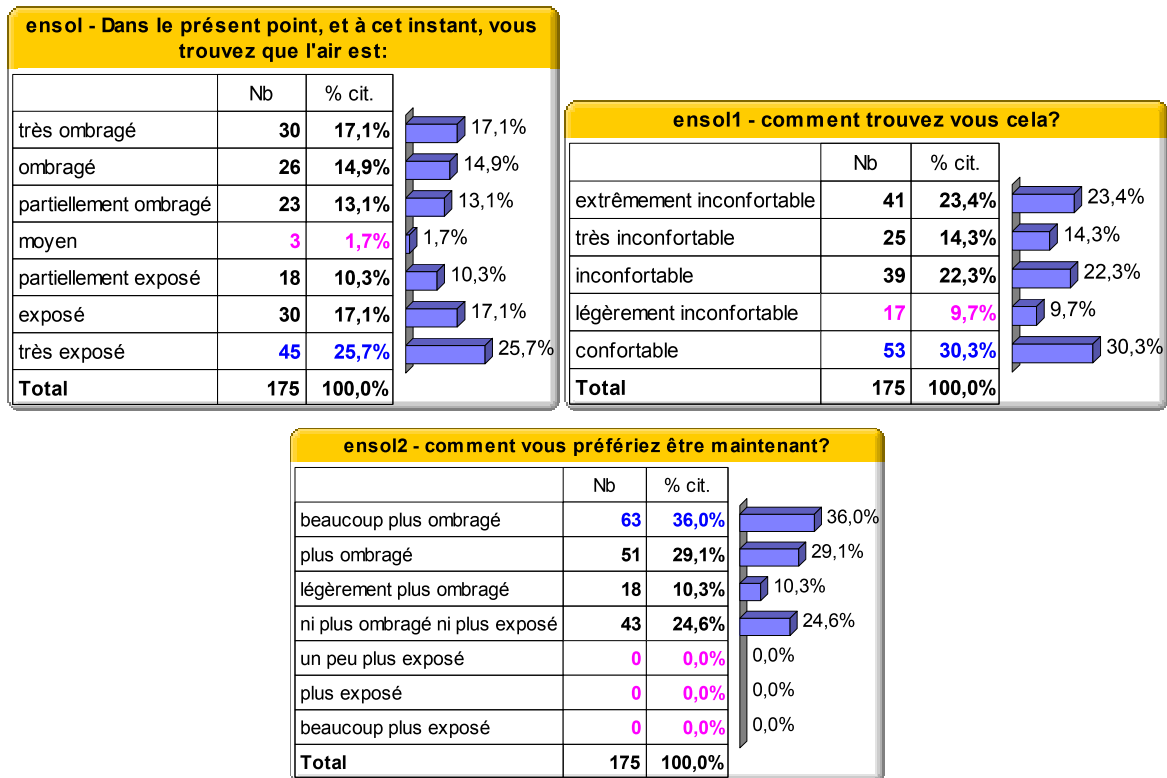


Figure VII.12. Tableaux et figures représentant la sensation des enquêtés vis-à-vis des conditions d'enseulement selon 03 échelles (ensol : sensation, ensol1 : évaluative, ensol2 : préférence). Source : auteur (2017).

V.1.10. Conditions du vent:

Concernant les conditions du vent (Figure VII.13), la valeur affichée comme la plus citée, indique 30,9% des individus qui trouvent que la vitesse du vent est « calme », vient en deuxième position, les modalités « moyenne », « légèrement calme » et « très calme » représentant les pourcentages : 21,7%, 19,4% et 18,3%, pendant que 9,7% des interviewés sentent que la vitesse du vent est « légèrement élevé ».

Le degré de la sensation du confort ou d'inconfort varie d'un individu à un autre. 25,1% ont senti que les conditions du vent sont « confortables », 21,7% trouvent que l'ambiance aéraulique est « légèrement inconfortable », alors que, 17,7% estiment que l'ambiance est « très inconfortable », en enregistrant la valeur maximale des citations (29,1%) dans la modalité « inconfortable », et la valeur maximale 6,3% dans la modalité « extrêmement inconfortable ».

Les préférences des individus tendent vers l'accélération de la vitesse du vent, 44% des enquêtés souhaitent que la vitesse du vent soit « plus élevé », tandis que 27,4% espèrent que la vitesse du vent deviennent « légèrement plus élevé ». Les modalités les moins citées sont « beaucoup plus élevé », avec un taux de 14,9%. À noter que 13,7% de la population ne veulent aucun changement.

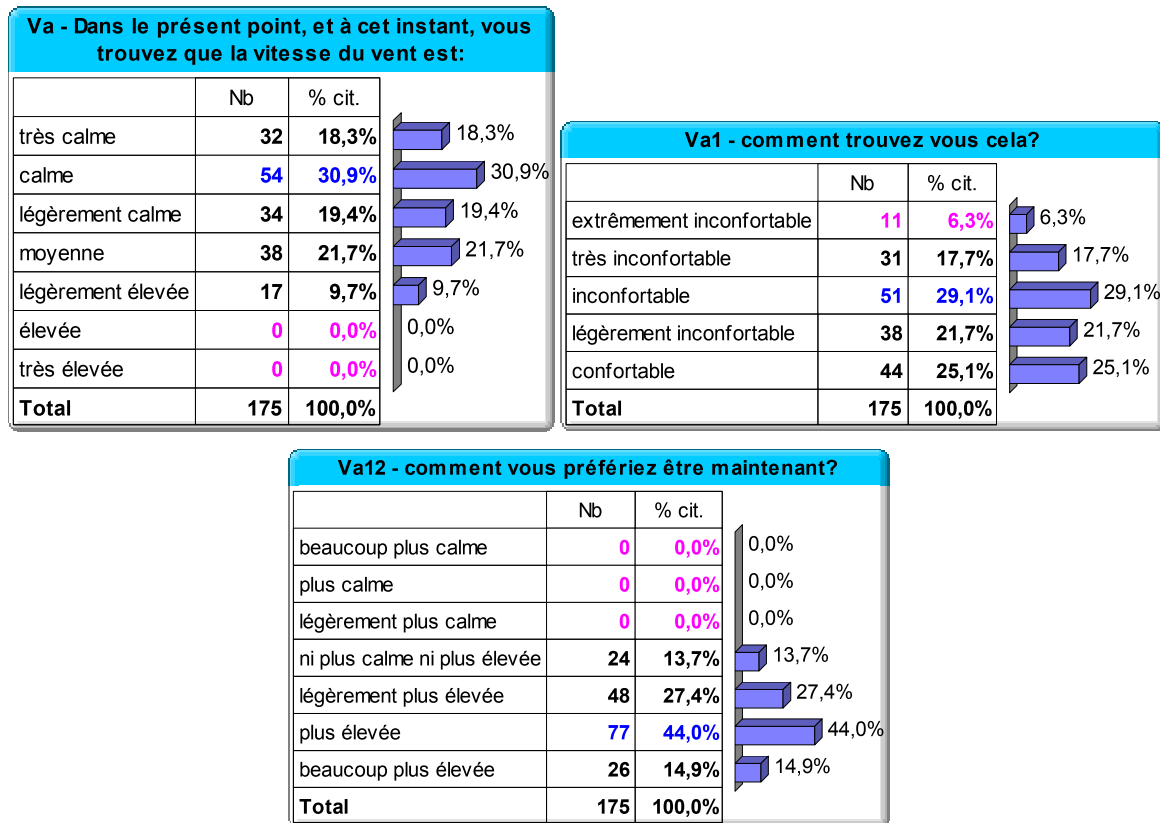


Figure VII.13. Tableaux et figures représentant la sensation des enquêtés vis-à-vis les conditions de l'ensoleillement selon 03 échelles (Va : sensation, Va1 : évaluative, Va12: préférence). Source : auteur (2017).

V.1.9. Ambiance thermique en général :

Relativement à l'ambiance thermique en général, présentée au (Figure VII.14), on a pu constater que l'ambiance thermique était « très insatisfaisante » du point de vue de 30,3% de la population, contrairement à 17,1% qui considéraient que l'ambiance thermique est « très satisfaisante », 25,1% des enquêtés ont dit que l'ambiance est « insatisfaisante », alors que 12,6%, trouvaient que l'ambiance était légèrement satisfaisante. Un taux de 14,9% correspond à une ambiance : « satisfaisante ».

Les tableaux ci-après (Tableau VII.4, VII.5) récapitulent les réponses des enquêtés et les synthétisent en définissant les modalités les plus citées et les moins cités pour répondre aux questions fermées, ainsi que les valeurs minimales, maximales et moyennes choisies comme réponses dans les questions numériques.

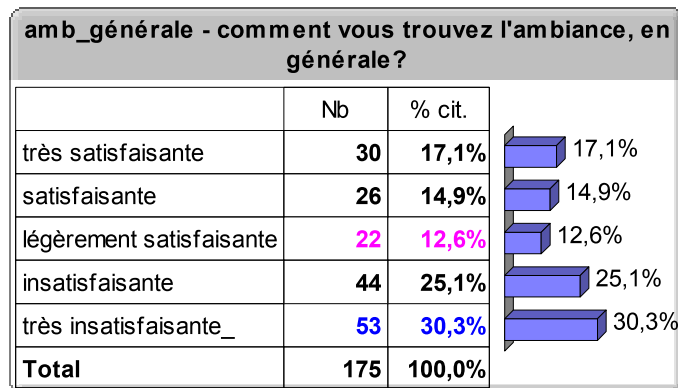


Figure VII.14. Tableau et figure représentant la sensation des enquêtés vis-à-vis l'ambiance en général selon 03 échelles (Va : sensation, Va1 : évaluative, Va2: préférence).
Source : auteur (2017).

Tableau VII.4. Tableau récapitulatif des questions fermées de l'enquête. Source : auteur (2017).

	Modalité citée en n° 1	Modalité citée en n° 2	Modalité la moins citée
Type de rue	dièdre : 60	dégagé : 45	impasse : 21
Sexe	Homme : 151		femme : 24
CLASSE D'AGE	18-24 : 61	25-34 : 36	65+ : 12
Position	Marche : 127	Debout : 45	couché : 0
Période_fav	Lever du soleil jusqu'à midi : 111	fin après midi : 111	midi : 34
cond_ensol	fort : 78	faible : 52	moyen : 45
Cond_humid	faible : 119	moyenne : 49	Elevée : 7
cond_temp	Elevée : 109	moyenne : 34	faible : 32
cond_vent	Frais : 88		chaud : 87
Ta	très chaud_ : 90	chaud_ : 27	très froid : 0
Ta1	extrêmement inconfortable : 54	très inconfortable : 40	légèrement inconfortable : 19
Ta2	beaucoup plus froid : 78	plus froid : 59	un peu plus chaud : 0
HR	sec : 73	très sec : 33	humide : 0
HR1	inconfortable : 70	légèrement inconfortable : 37	extrêmement inconfortable : 4
HR2	plus humide : 92	légèrement plus humide : 46	beaucoup plus sec : 0
ensol	très exposé : 45	très ombragé : 30	moyen : 3
ensol1	confortable : 53	extrêmement inconfortable : 41	légèrement inconfortable : 17
ensol2	beaucoup plus ombragé : 63	plus ombragé : 51	un peu plus exposé : 0
Va	calme : 54	moyenne : 38	élevée : 0
Va1	inconfortable : 51	confortable : 44	extrêmement inconfortable : 11
Va12	plus élevée : 77	légèrement plus élevée : 48	beaucoup plus calme : 0
amb_générale	très insatisfaisante_ : 54	insatisfaisante : 44	légèrement satisfaisante : 22

Tableau VII.5. Tableau récapitulatif des questions numériques de l'enquête.
Source : auteur (2017).

	Valeur minimum	Valeur maximum	Effectif
Taille	1,58	1,84	175
Poids	65	95	175
HABILLEMENT	0,35	0,64	175
N_Passages	1	10	175
PET	38,60	60,60	175
Ensemble	0	95	

V.2. Analyse bivariée : tableaux croisés :

Technique de l'analyse statistique des données, consistant à découvrir les relations qui peuvent exister entre les variables prises deux par deux. Elle consiste à croiser et traiter simultanément deux questions pour mettre en évidence les interactions des réponses apportées à l'une et qui coïncident ou dépendent des réponses apportées à l'autre. Il s'agit d'examiner, statistiquement, les réponses d'une question X en liaison avec les réponses à la question Y et de déterminer si cette relation a un sens dans la réalité ou non. L'analyse bivariée utilise les mesures d'association entre deux variables à différents niveaux de mesure (X²coefficient de contingence ; coefficients j et l de Guttman ; coefficient de différenciation ; coefficient de corrélation de rang de Spearman ; le t de Kendall ; le g de Goodman-Kruskal ; le coefficient point bi sérial et multi sérial ; le coefficient de corrélation de Pearson...) et les tests d'inférence pour des mesures observées sur deux groupes et sur plus de deux groupes².

V.2.1. Type de rue /Conditions de température :

L'analyse bivariée consiste à étudier l'interaction entre les différents types de rues et les réponses des individus en fonction des trois échelles, selon lesquelles on a construit notre formulaire de l'enquête.

Selon l'échelle de perception des conditions de la température(Figure VII.15), 62,9% des enquêtés ont trouvé qu'il fait « légèrement chaud » dans les rues canyons, tandis que, 31,4 %des interviewés ont trouvé qu'il fait« chaud ». Dans les passages couverts, les valeurs majoritairement élevées correspondent à la sensation « légèrement froid » et « neutre » avec

²<https://academie-des-sciences-commerciales.org> (Consulté 27/12/2018)

un taux de 47,1% ; 44,1%, respectivement. Contrairement aux espaces dégagés, où la totalité des enquêtés (100%) a convenu qu'il faisait « très chaud ». Dans les rues dièdres, 75% des questionnés ont trouvé que l'air était « très chaud », les autres (25% de la population) ont choisi la modalité « chaud ». Dans les impasses, 47,7% des enquêtés ont trouvé que l'air est « très chaud ». Sur le plan statistique, le teste Chi2 est nécessaire pour croiser ce genre de questions (fermées). On a constaté une relation très significative entre le type de la rue et la sensation thermique perçu, en marquant un Chi2=293,99.

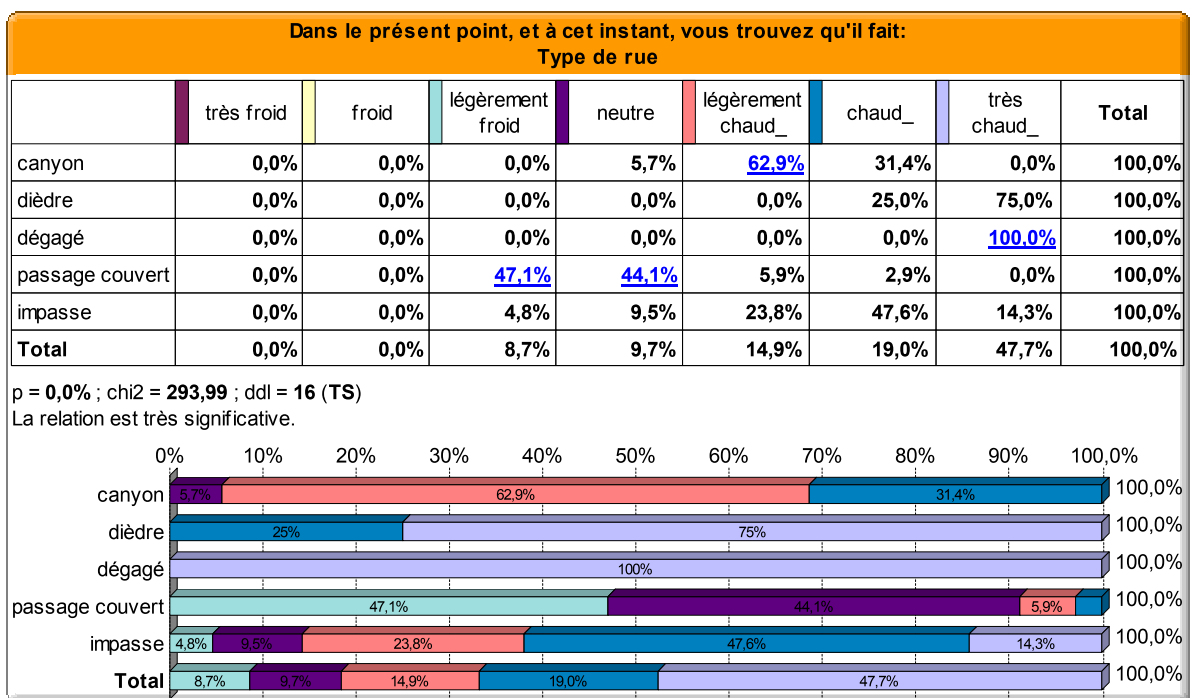


Figure VII.15. Tableau et figure représentant les variables croisées (Type de rue / Conditions de température) selon une échelle de sensation. Source : auteur (2017).

Selon l'échelle évaluative (Figure VII.16), 94,1% des enquêtés ont trouvé que l'ambiance thermique est confortable, dans les passages couverts ; 91,1% considèrent que l'ambiance thermique est «extrêmement inconfortable» dans les espaces dégagés. Dans les rues dièdres, les réponses des individus tendent vers la plage d'inconfort, en enregistrant 58,3% pour la modalité « très inconfortable », contrairement aux rues canyons, où les sujets trouvent que le stress thermique est légèrement modéré, en enregistrant 45,7% et 42,9% pour les modalités « légèrement inconfortable » et « inconfortable », respectivement. Pour les impasses, les réponses des individus s'étalent sur les différentes modalités.

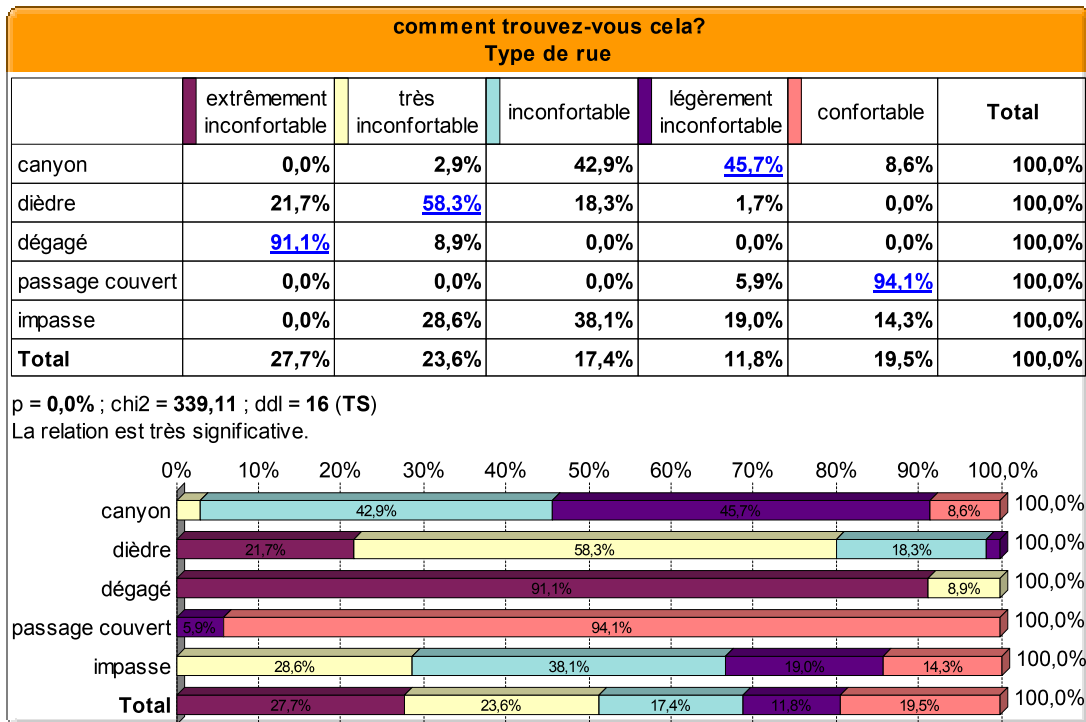


Figure VII.16. Tableau et figure présentant les variables croisées (Type de rue /Conditions de température) selon une échelle évaluative. Source : auteur (2017).

Suivant une échelle de préférence (Figure VII.17), les réponses des sujets se sont accordées sur la demande du rafraîchissement de l'air, notamment dans les espaces dégagés, où 93,3% des individus préfèrent que l'air soit « beaucoup plus froid ». Dans les rues dièdres, les réponses des individus sont partagées entre les deux modalités : « beaucoup plus froid » et « plus froid » avec un pourcentage de 56,7% et 43,3%, respectivement. Dans les rues canyons, la majorité des individus (74,3%) souhaitent que l'air soit « plus froid ». C'est également le cas des impasses, où il a été enregistré un pourcentage de 52,4% pour la modalité « plus froid », alors que 28,6% d'entre eux favorisent la modalité « légèrement plus froid ».

Pour le cas des passages couverts, on a constaté que les individus sont presque satisfaits vis-à-vis des conditions de la température et on a enregistré un taux de 64,7% pour la modalité « légèrement plus froid », pendant que 23,5% ont senti la neutralité thermique en sélectionnant la modalité « ni plus chaud ni plus froid ». Le croisement des réponses à ces deux questions, nous a permis d'obtenir un $\chi^2=191,77$ qui nous indique une relation très significative entre les deux questions.

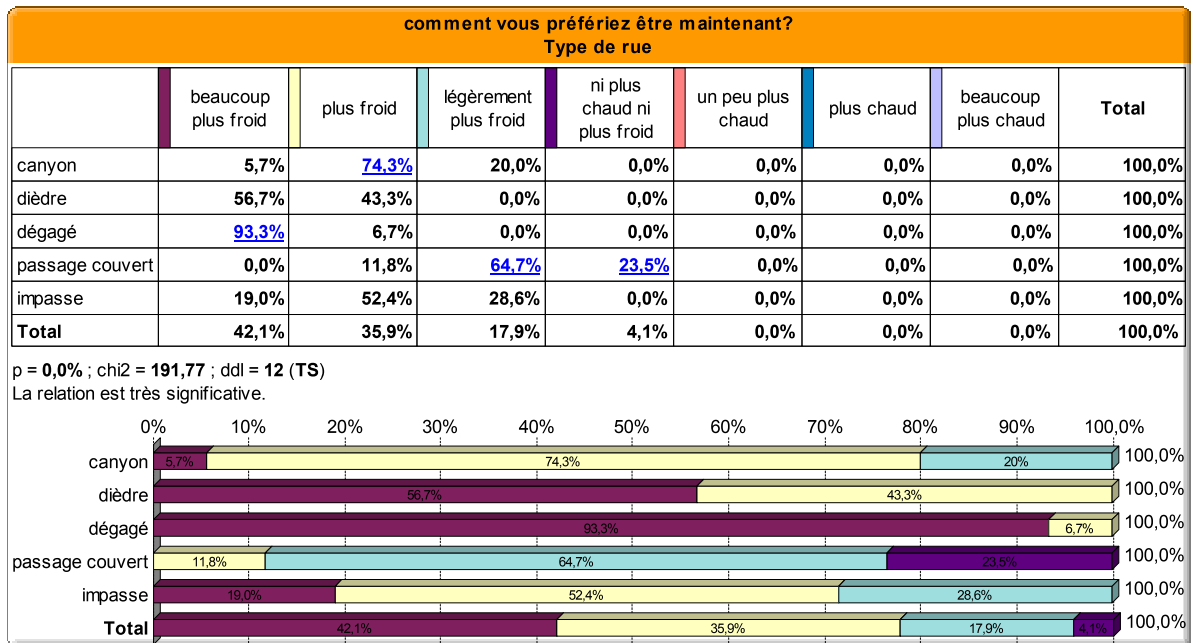


Figure VII.17. Tableau et figure représentant les variables croisées (Type de rue / Conditions de température) selon une échelle évaluative. Source : auteur (2017).

V.2.2. Type de rue/Conditions d'ensoleillement :

Dans cette phase, l'analyse bivariée cherche la dépendance entre les différents types des rues et les conditions d'ensoleillement. L'échelle de perception (Figure VII.18), nous révèle que 91,1% des individus considèrent que l'air est « très exposé », dans les espaces dégagés. Contrairement aux passages couverts où 85,3% trouvent qu'il est « très ombragé », tandis que 14,7% voient que l'air est « ombragé ». Dans la typologie « canyon », 54,3% des sujets ont choisi la modalité « ombragé ». Les réponses des individus dans les rues dièdres ont été partagées, majoritairement, sur les deux modalités : « exposé », « partiellement ombragé » avec un taux de 36,7% et 35%, respectivement. Pour les impasses, les réponses penchent vers les modalités de « très ombragé » à « exposé », mais l'avis des enquêtés s'est appuyé, particulièrement, sur les deux modalités « ombragé » et « partiellement exposé ».

Le croisement des questions nous révèle un $\chi^2=381,61$, une valeur assez élevée pour nous montrer un lien très significatif entre les deux variables croisées. Il est donc avéré que la typologie de l'espace extérieur et le degré de la perception des conditions d'ensoleillement sont fortement liés, dans notre enquête.

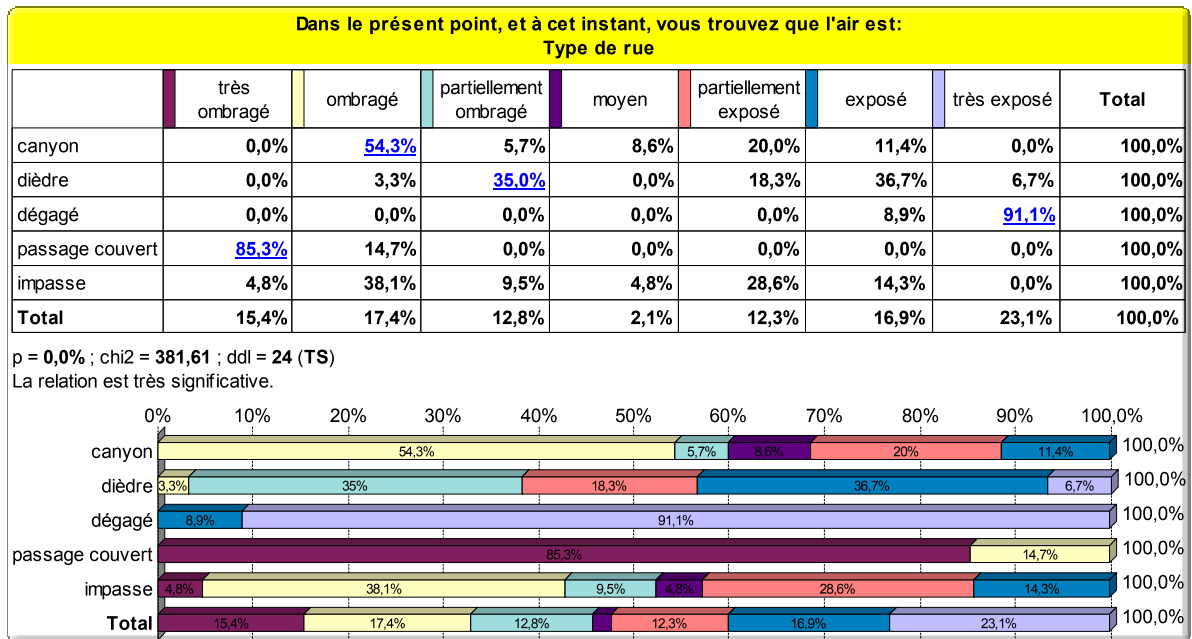


Figure VII.18. Tableau et figure représentant les variables croisées (Type de rue /Conditions d'enseillement) selon une échelle de sensation. Source : auteur (2017).

La même démarche a été suivie pour déterminer le lien entre la typologie de l'espace extérieur et le degré de satisfaction des enquêtés par rapport aux conditions d'enseillement, définies selon une échelle dite « évaluative » (Figure VII.19). Échelle, selon laquelle, tous les enquêtés ont convenu que les conditions sont « confortables » dans les passages couverts. Par contre, pour les espaces dégagés, 86,7% des enquêtés ont trouvé que les conditions sont « extrêmement inconfortables ». Pour les autres typologies, les réponses se partagent entre les différentes modalités.

Pour les impasses, la valeur 38,1% est attribuée aux modalités « confortable » et « légèrement inconfortable », alors que 56,7% des sujets dans les rues dièdres trouvent que les conditions d'enseillement dans cette typologie est « inconfortable ». 28,3% ont choisi la modalité « très inconfortable ». On a enregistré la valeur minimale de 3,3% pour les deux modalités extrêmes : « confortable » et « extrêmement inconfortable ». Parmi les sujets, 45,7% ont choisi la modalité « confortable » pour décrire leurs perceptions des conditions d'enseillement, alors que, 34,3% des interviewés ont trouvé que l'ambiance est « légèrement confortable ».

Dans cette corrélation, un $\chi^2=307,10$ nous indique une relation très significative entre la typologie de l'espace extérieur et le degré de confort ressenti par les utilisateurs de ces espaces.

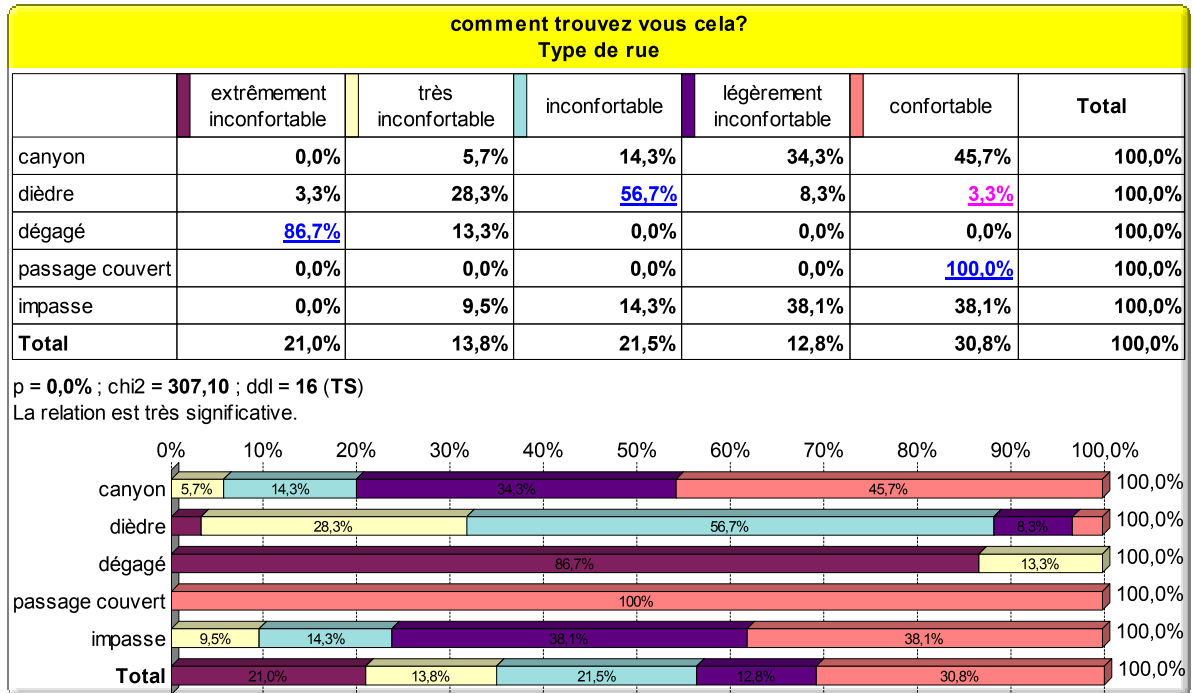


Figure VII.19. Tableau et figure représentant les variables croisées (Type de rue /Conditions d'ensoleillement) selon une échelle évaluative. Source : auteur (2017).

En croisant les préférences des individus et la typologie des différents espaces étudiés(Figure VII.20), on remarque que les enquêtés préfèrent être à l'abri du rayonnement solaire, et ceci se remarque clairement dans les espaces dégagés où 93,3% des sujets préfèrent que l'espace soit « beaucoup plus ombragé ». Dans les rues dièdres 61,7% des enquêtés souhaitent que l'endroit soit « plus ombragé ». 35% espèrent qu'il soit « beaucoup plus ombragé ». La modalité « ni plus ombragé ni plus exposé » a été choisie par 97,1% des interviewés dans les passages couverts, par 25,7% dans les rus canyons et par 23,8% des enquêtés dans les impasses. Impasses pour lesquelles 42,9% souhaitent que l'air soit « plus ombragé ». Dans cette corrélation, une relation très significative a été établie en enregistrant un $\chi^2=256,64$.

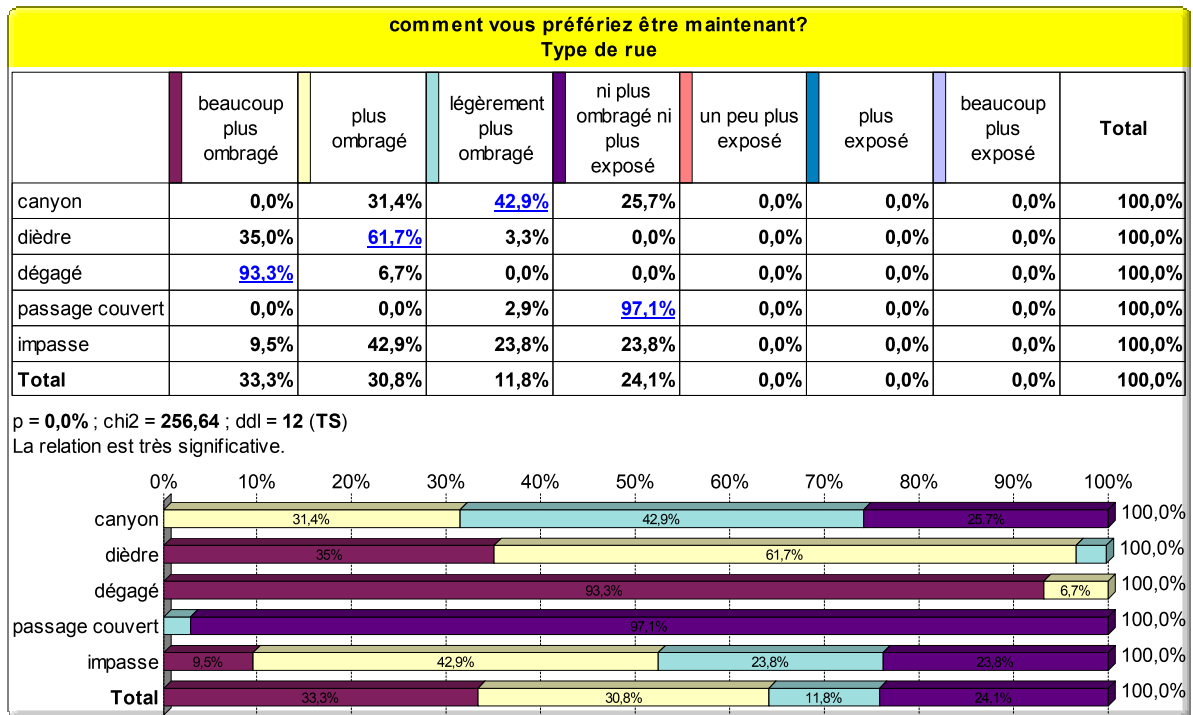


Figure VII.20. Tableau et figure représentant les variables croisées (Type de rue /Conditions d'ensoleillement) selon une échelle de préférence. Source : auteur (2017).

V.2.3.Type de rue / Conditions d'humidité:

Les conditions d'humidité sont un autre facteur à prendre en considération dans notre enquête, l'étude de la typologie des espaces extérieurs, en corrélation avec la perception des individus vis-à-vis de ce facteur(Figure VII.21),nous révèle que les valeurs majoritairement élevées dans les passages couverts ont été enregistrées pour les deux modalités « neutre » et « légèrement humide », contrairement aux espaces dégagés où la majorité des réponses tendent vers les modalités « sec », « très sec ». Dans les rues canyons, 51,4% des enquêtés ont convenu que l'air est « sec », cette modalité a été choisi par 60% des individus dans les rues dièdres et par 42,6% des personnes dans les impasses. De la corrélation entre les réponses à ces deux questions, il résulte un chi2=131,57.Cette valeur démontre une très forte relation entre les paramètres couplés.

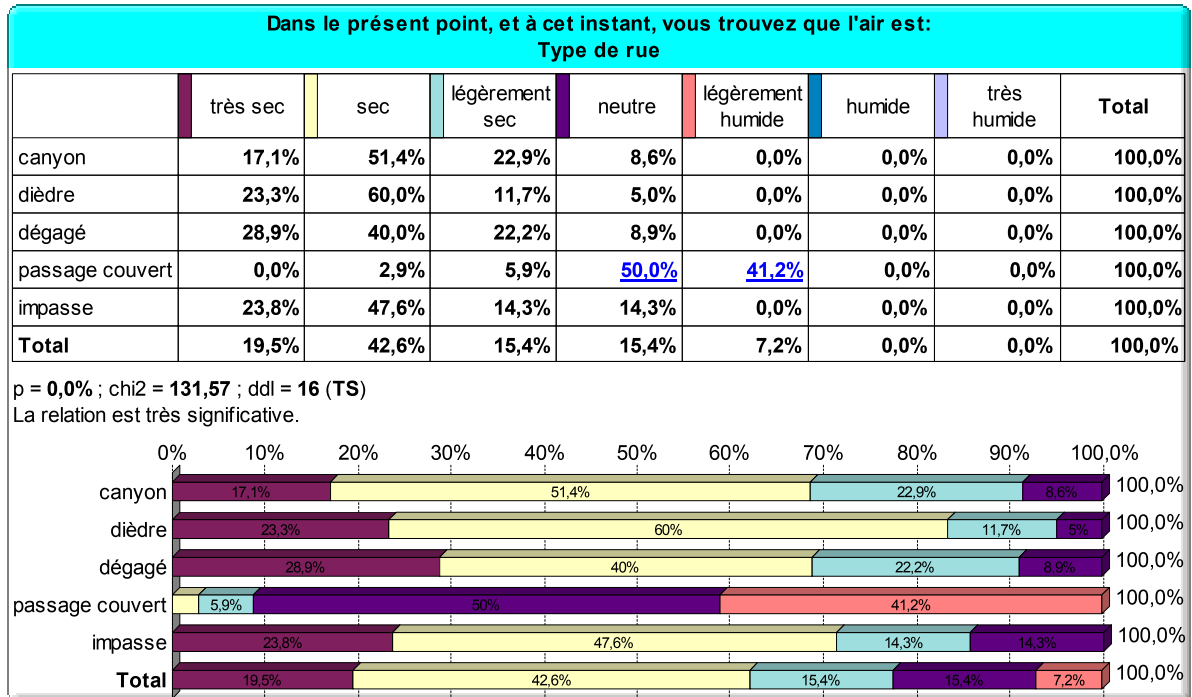


Figure VII.21. Tableau et figure représentant les variables croisées (Type de rue /Conditions d'humidité) selon une échelle de sensation. Source : auteur (2017).

Selon l'échelle d'évaluation (Figure VII.22), 88,2% des enquêtés trouvent que l'espace est « confortable », en termes de conditions d'humidité, dans les passages couverts. Cependant un taux de 51,4% des enquêtées ont choisi la modalité « inconfortable » pour les rues canyons, 60% pour les rues dièdres et 47,6% pour les impasses. La modalité « extrêmement inconfortable » a été choisie par 8,9% dans les espaces dégagés. 25% des enquêtés dans « les rues dièdres » ont senti que l'air est « très inconfortable ». Dans cette corrélation, un $\chi^2=168,55$ nous indique une relation très significative entre la typologie de l'espace extérieur et le degré de confort par rapport aux conditions d'humidité ressenties par les utilisateurs de ces espaces.

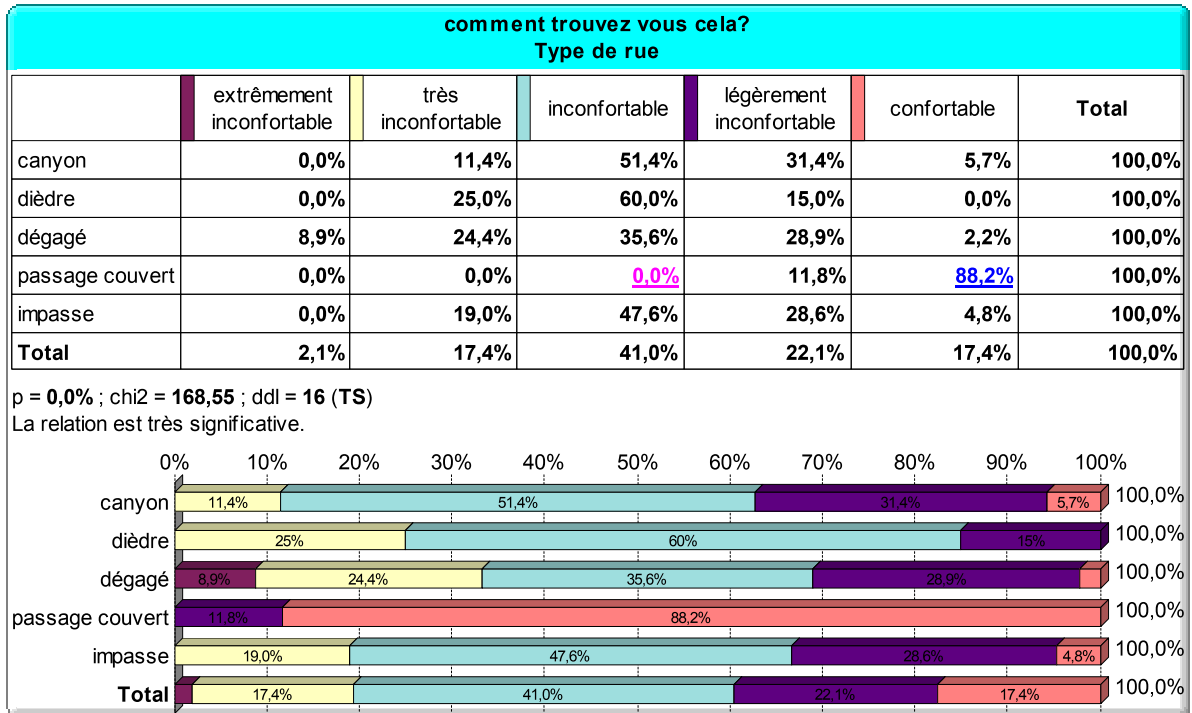


Figure VII.22. Tableau et figure représentant les variables croisées (Type de rue /Conditions d'humidité) selon une échelle évaluative. Source : auteur (2017).

Selon l'échelle des préférences (Figure VII.23), 61,8% des enquêtés se contentent des conditions existantes, c'est-à-dire « ni plus sec ni plus humide » ceci dans les passages couverts. Dans les rues canyons 57,1% préfèrent que l'air devienne « plus humide », cette modalité a été choisie également par 73,3%, dans les rues dièdres. Dans les espaces dégagés, 15,6% des individus souhaiteraient que l'air soit « beaucoup plus humide », pendant que 62,2% optent pour « plus humide ». La modalité « plus humide » est la plus fréquente chez les utilisateurs des impasses, avec un taux de 57,1%, alors que 33,3% d'entre eux préfèrent que l'air soit « plus humide ». Le croisement des réponses à ces deux questions nous a permis d'obtenir un $\chi^2=108,71$ qui nous indique une relation très significative entre ces deux paramètres (types de rue et préférences hygrométriques).

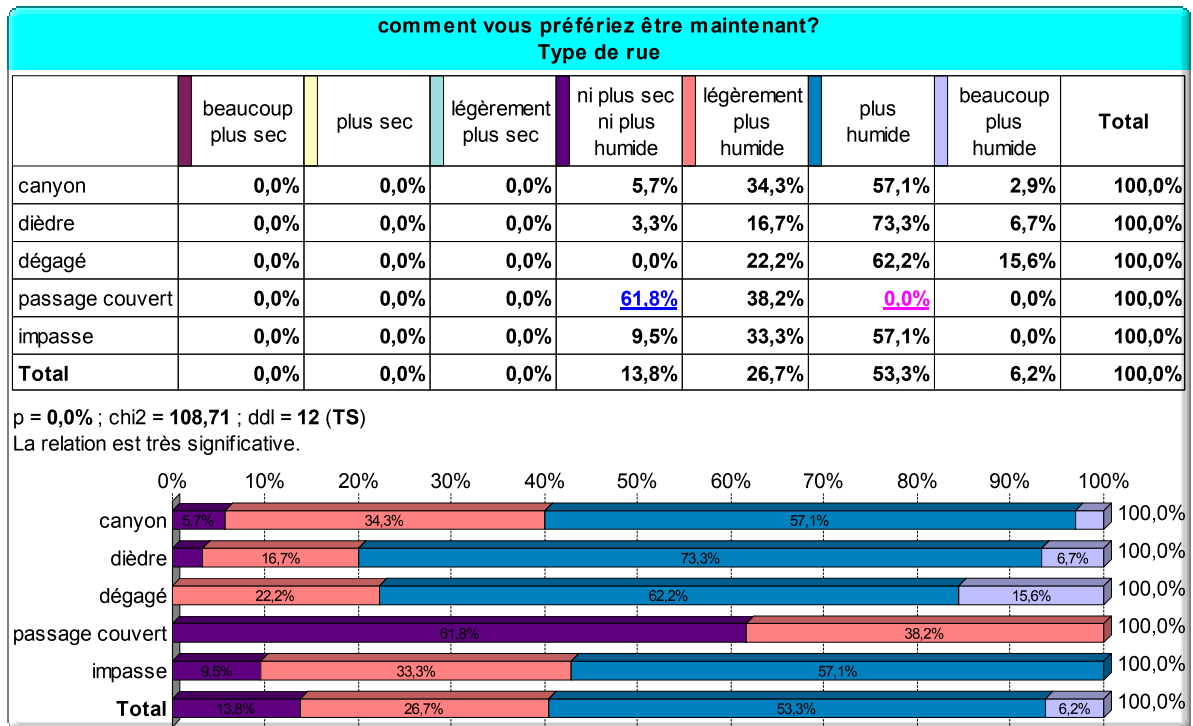


Figure VII.23. Tableau et figure représentant les variables croisées (Type de rue /Conditions d'humidité) selon une échelle de préférence. Source : auteur (2017).

V.2.4. Type de rue/Conditions du vent :

La même démarche a été suivie pour croiser les réponses des questions relatives à la typologie des espaces extérieurs et celles relatives aux conditions des vents afin de définir le lien entre eux. Par l'analyse des réponses des enquêtés selon l'échelle de perception (Figure VII.24), on a enregistré une valeur maximale dans les impasses où 42,9% ont convenu que la vitesse de l'air est « très calme », tandis que 33,3% ont trouvé qu'elle est « calme ». Dans les rues dièdres, 40% des individus ont choisi la modalité « calme » pour décrire la vitesse du vent. La modalité « légèrement élevé » a été choisie, majoritairement, dans les passages couverts par 26,5% des personnes. Une relation très significative a été notée lors de la corrélation de ces deux variables, d'où résulte un coefficient $\chi^2=32,95$.

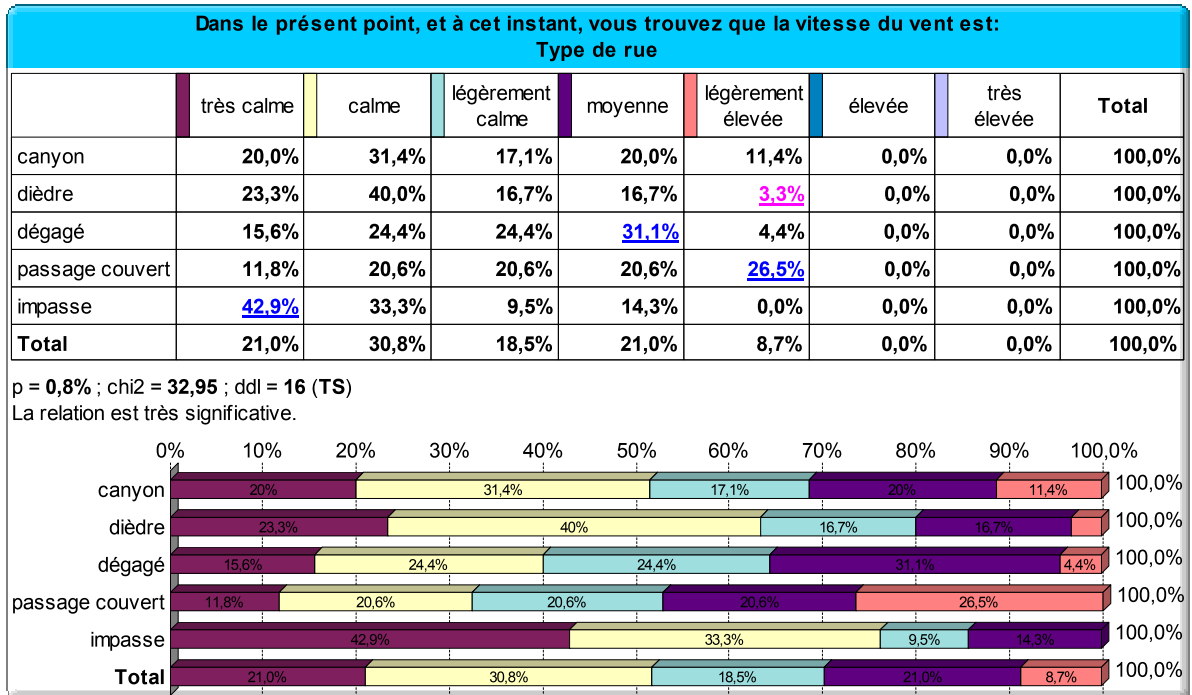


Figure VII.24. Tableau et figure représentant les variables croisées (Type de rue /Conditions du vent) selon une échelle de sensation. Source : auteur (2017).

Selon l'échelle évaluative (Figure VII.25), on trouve que 50% des enquêtés étaient satisfait de la vitesse de l'air, pendant que, 38,1% trouvent que la vitesse de l'air est « très inconfortable » pour eux. 14, 3% ont choisi la modalité « extrêmement inconfortable » dans les impasses. Dans les rues canyons, dièdres et les espaces dégagés, on remarque que les taux des réponses sont distribués équitablement sur les différentes modalités. Le croisement de ces deux variables nous révèle une très forte relation entre eux, un $\chi^2=39,46$ a été enregistré.

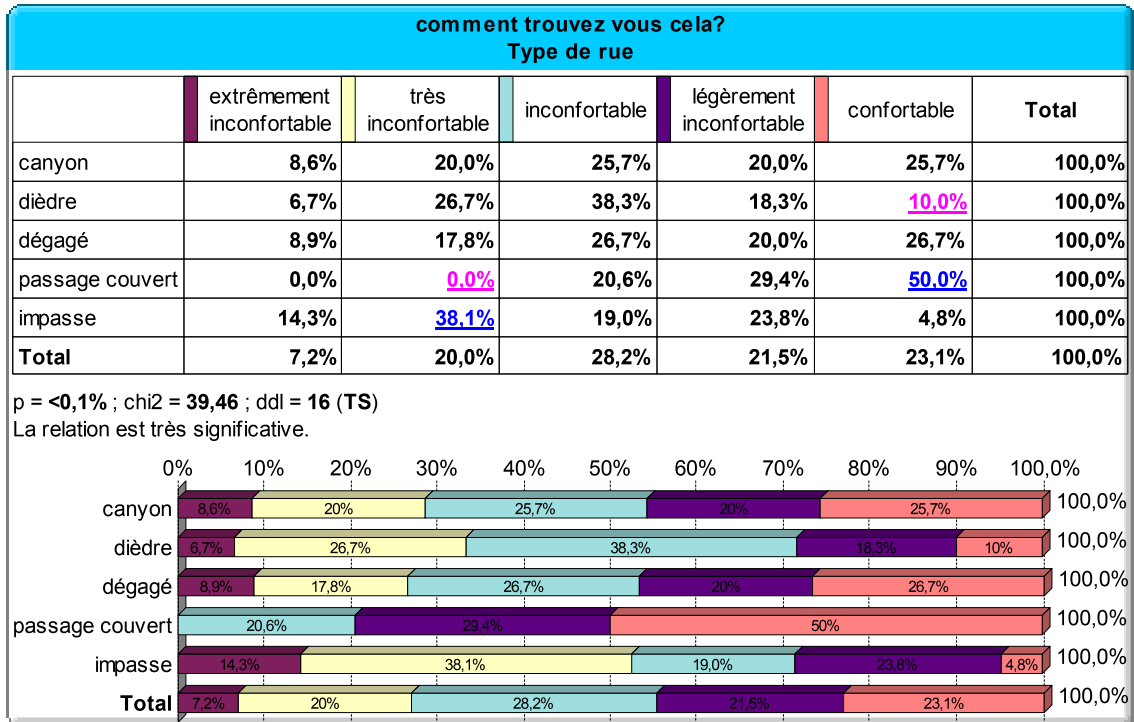


Figure VII.25. Tableau et figure représentant les variables croisées (Type de rue /Conditions du vent) selon une échelle évaluative. Source : auteur (2017).

En analysant les réponses selon l'échelle des préférences (Figure VII.26), on remarque que la majorité des individus favorisent une vitesse de vent relativement élevée dans les différentes typologies des espaces étudiés. Dans les rues canyons, 20% des enquêtés privilégient une vitesse du vent « ni plus calme ni plus élevée », 45,7% d'aux préfèrent que la vitesse du vent devienne « plus élevée », cette modalité a été choisie par 58,3% dans les rues dièdres. Dans les passages couverts 41,2% souhaitent que ce paramètre soit « légèrement plus élevée », alors que, 29,4% des personnes ont vu que l'ambiance aéraulique ne nécessitait aucun changement, en choisissant la modalité « ni plus calme ni plus élevée ». Contrairement aux impasses où la préférence d'une vitesse de vent élevée est assez importante, les taux de 47,6% pour une vitesse de vent « plus élevée » et de 38,1% pour la modalité « beaucoup plus élevée » ont été enregistrés. Dans cette corrélation, un $\chi^2=39,12$ nous indique une relation très significative entre la typologie de l'espace extérieur et les préférences des utilisateurs de ces espaces vis-à-vis les conditions aérauliques.

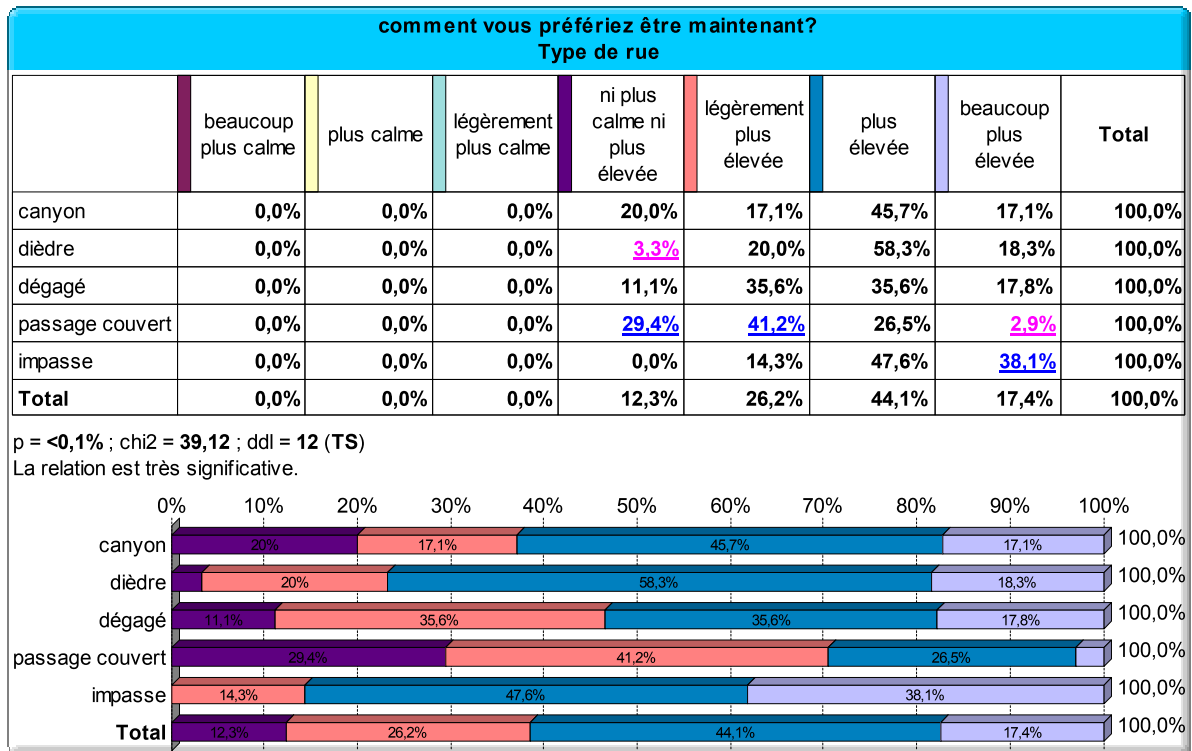


Figure VII.26. Tableau et figure représentant les variables croisées (Type de rue /Conditions du vent) selon une échelle de sensation. Source : auteur (2017).

V.2.5. Ambiance en général :

En résumant les paramètres préalablement étudiés, on a fait le croisement des typologies des espaces étudiés avec la sensation vis-à-vis de l'ambiance thermique en générale selon une échelle de satisfaction de cinq points allant de « très satisfaisante » jusqu'à « très insatisfaisante » (Figure VII.27). L'avis des enquêtés dans les rues canyons tend, surtout, vers les deux modalités « satisfaisante » et « légèrement satisfaisante » choisis par 51,4% et 37,1% des sujets, respectivement. Dans les rues dièdres, leurs réponses s'accordent pour une ambiance « insatisfaisante ».

La majorité des individus, représentant un taux de 97,8%, ont choisi la modalité « très insatisfaisante » pour décrire leurs sensations vis-à-vis de l'ambiance thermique, dans les espaces dégagés, contrairement aux passages couverts, où on a enregistré un taux de 76,5% des interviewés « très satisfaisants » et 23,5% « satisfaisants ». Dans les impasses, 42,9% ont considéré que l'ambiance thermique est « insatisfaisante », d'autres (38,1%) déclarent qu'elle

est « légèrement satisfaisante ». Cette corrélation nous indique une relation très significative, en enregistrant un $\chi^2=356,69$.

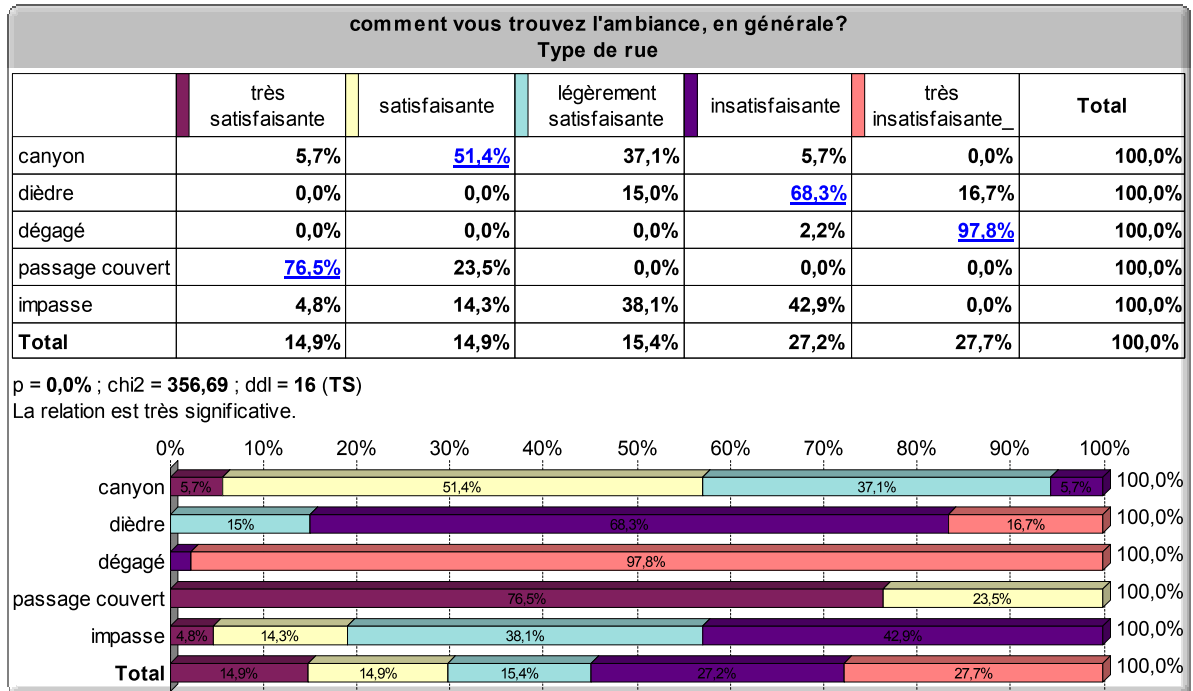


Figure VII.27. Tableau et figure représentant les variables croisées (Type de rue /Ambiance en général) selon une échelle de satisfaction. Source : auteur (2017).

Le tableau ci-après (Tableau VII.5) résume les valeurs déterminant le degré de signification d'une relation, qui sont : « p, χ^2 et ddl », ces valeurs qui correspondent aux corrélations entre le type de rue et les différentes variables qu'on a cernées, nous ont montré une relation très significative dans toutes les corrélations, mais les niveaux de signification demeurent différenciés et dépendent des valeurs de « χ^2 » et de « p ».

Ces valeurs sont diverses. On remarque que les valeurs maximales extrêmes de χ^2 sont liées aux conditions de température et d'ensoleillement accompagné d'un $p=0,0\%$, ce qui prouve la forte dépendance entre ces conditions et la typologie de l'espace urbain, contrairement aux conditions de vents qui, elles, présentent des valeurs minimales de χ^2 qui ne dépassent pas 40, avec un $p > 0$.

Tableau 6. Contribution au p, chi2 et ddl résultant de croisement des variables pour l'analyse bivariée

Source : auteur (2017).

Variabiles croisées	p	Chi²	ddl	Degrés de signification
Cond_ensol/type de rue	0,0%	194,29	8	TS
Cond_humid /type de rue	<0,1%	92,34	8	TS
Cond_temp /type de rue	0,0%	167,37	8	TS
Cond_vent /type de rue	<0,1%	67,46	4	TS
Ta/type de rue	0,0%	293,99	16	TS
Ta1/type de rue	0,0%	339,11	16	TS
Ta2/type de rue	0,0%	191,77	12	TS
HR/type de rue	0,0%	131,57	16	TS
HR1/type de rue	0,0%	168,55	16	TS
HR2/type de rue	0,0%	108,71	12	TS
ensol/type de rue	0,0%	381,61	24	TS
ensol1/type de rue	0,0%	307,10	16	TS
ensol2/type de rue	0,0%	256,64	12	TS
Va/type de rue	0,8%	32,95	16	TS
Va1/type de rue	<0,1%	39,46	16	TS
Va2/type de rue	<0,1%	39,12	12	TS
Ambiance générale / type de rue	0,0%	356,69	16	TS

V.3. Analyse factorielle des correspondances multiples :

Cette analyse sert à étudier globalement toutes les variables en fonction des appréciations des enquêtés. Similaire à l'analyse bivariée, l'analyse factorielle des correspondances multiples consiste à croiser et traiter simultanément plus de deux variables. Ce type d'analyse facilite l'établissement des typologies en les expliquant à travers des cartes factorielles issues d'une analyse factorielle des correspondances multiples qui présente les écarts dans l'interdépendance. L'analyse factorielle des correspondances multiples met en relation plusieurs variables à la fois.

Dans ce travail, on applique ce type d'analyse aux variables dont la signification est déjà testée au niveau de l'analyse bivariée et qui ont présenté des relations significativement importantes. Dans cette étape, on procède à la visualisation des résultats sur des cartes pour définir les modalités les plus liées.

V.3.1. Analyse des correspondances multiples : Variables: Type de rue, Ta, Ta1, Ta2 :

Pour visualiser les résultats de l'analyse factorielle multiples, une carte factorielle de correspondance est dressée (Figure VII.28) en tenant en compte des variables: Typologie de la rue, Ta : qui représente les réponses des sujets suivant l'échelle de perception, Ta1 : qui représente les réponses des sujets suivant l'échelle évaluative, Ta2 : qui représente les réponses des sujets suivant l'échelle des préférences. Cette carte nous montre les positions des 19 modalités et les coordonnées des 175 observations. Carte, sur laquelle, chaque observation est représentée par un point, sachant que les non-réponses ont été ignorées ainsi que cinq modalités qui n'ont pas été prises en compte, car elles représentent un effectif nul.

En visualisant les variables préalablement citées, la carte fait apparaître un pourcentage de variance de 36.66% expliqué par les deux axes représentés, selon lesquelles les différentes modalités sont mises en place sous forme de contributions négatives et positives. Selon l'axe 1, les contributions positives correspondent à la modalité : « passage couvert ». Cette typologie est intimement liée à une ambiance thermique « confortable » ressentie par les interviewés. Selon le même axe, mais dans le sens négatif, la modalité « très inconfortable » a été choisie par les sujets dans les rues « dièdres ». Selon l'axe 2, les contributions positives correspondent à la modalité « dégagé » représentative des conditions de températures « extrêmement inconfortables ». Les contributions négatives, selon cet axe, conviennent à la modalité « canyon » », dans laquelle les enquêtés considèrent que l'ambiance thermique est « légèrement inconfortable ». En deuxième lieu, la typologie: « impasse » est fortement liée à la modalité « inconfortable ».

Cette carte, donc, nous informe que les différentes modalités relatives aux conditions de température sont fortement liées aux modalités exprimant la typologie de l'espace extérieur. À noter que, les conditions de confort sont beaucoup plus liées à la modalité « passage couvert »,

alors que les conditions extrêmement désagréables conviennent à la modalité « dégagé », suivi par la modalité «dièdre ».

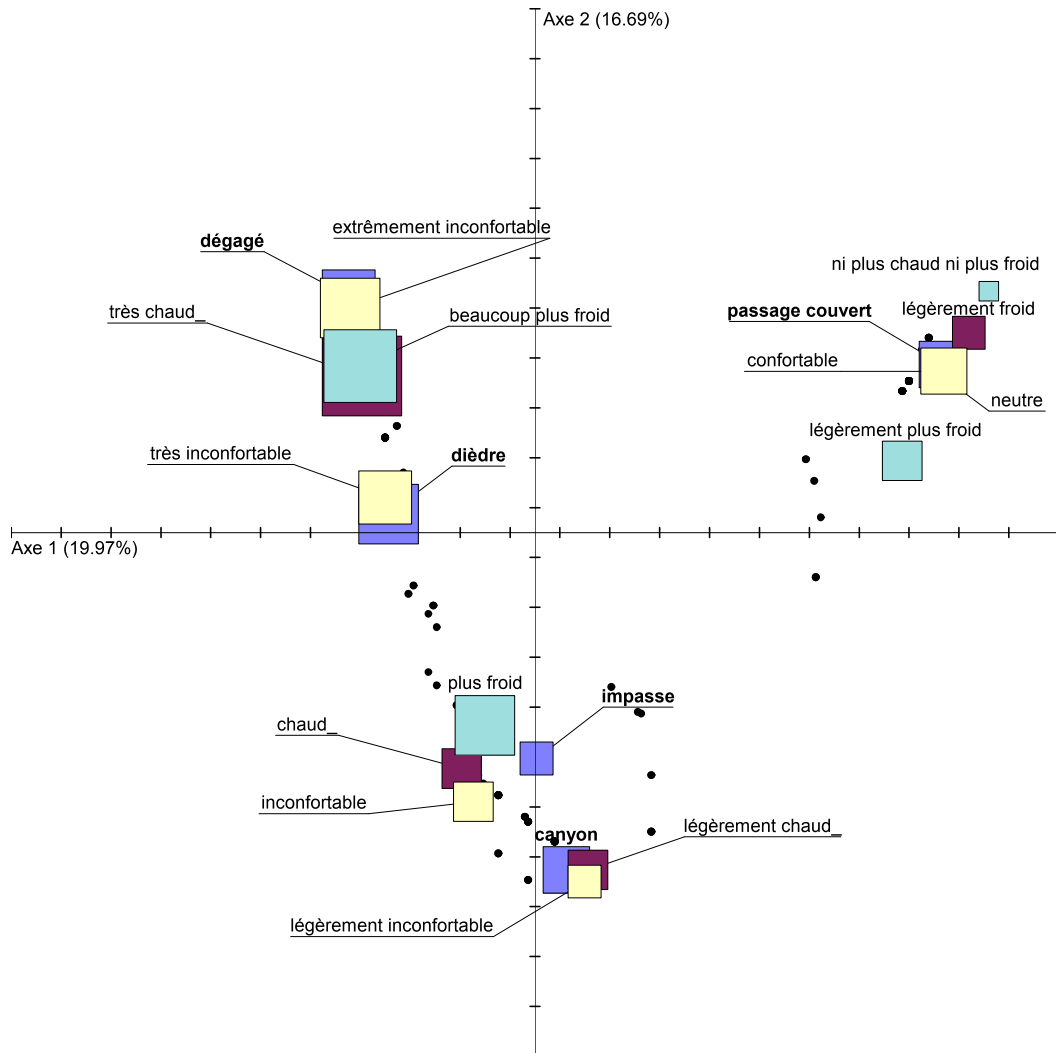
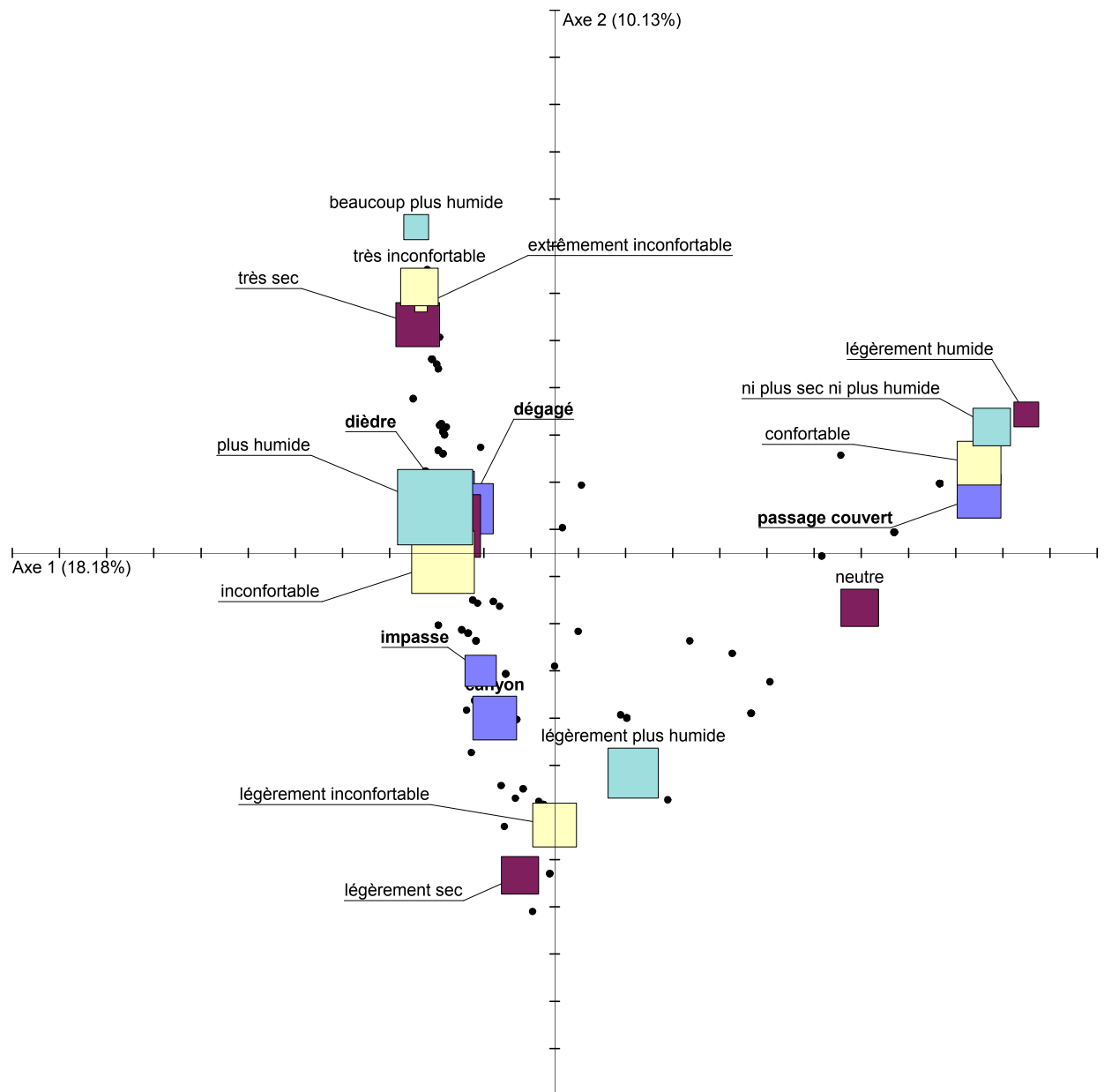


Figure VII.28. Carte factorielle de correspondance des variables croisées : Type de rue, Ta, Ta1, Ta2. Source : auteur (2017).

V.3.2. Analyse des correspondances multiples : Variables : Type de rue, HR, HR1, HR2 :

Les résultats de l'analyse factorielle multiples sont présentés sous forme d'une carte factorielle de correspondance qui tient compte des variables: Typologie de la rue, HR : qui représente les réponses des enquêtés suivant l'échelle de perception, HR1 : qui représente les réponses des enquêtés selon l'échelle évaluative, HR2 : qui représente les réponses des enquêtés selon l'échelle des préférences (Figure VII.29). Cette carte définit les positions des

19 modalités et les coordonnées des 175 observations. On y retrouve chaque observation, représentée par un point, et négligeant les non-réponses. Cinq modalités n'ont pas été considérées, car elles présentent un effectif nul.



En visualisant les variables déjà citées, la carte fait ressortir un pourcentage de variance de 28.31%, représenté sur les deux axes du graphe. Axes, selon lesquelles, la disposition des

différentes modalités était sous forme des contributions négatives et positives. Sur l'axe 1, les contributions positives correspondent à la modalité : « passage couvert », cette typologie est intimement liée à une ambiance hygrothermique « confortable » ressentie par les interviewés qui ont choisi la modalité : « ni plus sec ni plus humide » pour exprimer leurs préférences. Selon le même axe, et dans le sens négatif, les modalités « dégagé » et « dièdre » sont fortement liées aux modalités «très inconfortable » et « inconfortable ».La modalité la plus citée, en ce qui concerne les préférences des interviewés, est celle où il est demandé que l'atmosphère, dans les espaces étudiés, devienne « plus humide ».

Selon l'axe 2, les contributions positives correspondent aux modalités « très inconfortable » et « très sec » citées par les usagers des typologies « dégagé » et « dièdre ». Les contributions négatives, selon cet axe, conviennent à la modalité « canyon » et « impasse », dans lesquelles les enquêtés ont senti que l'air est « légèrement sec » et ont estimé que l'ambiance thermique est « légèrement inconfortable ».

L'analyse de cette carte nous révèle que les différentes modalités relatives aux conditions d'humidité sont liées aux modalités exprimant la typologie de l'espace extérieur. Il faut remarquer que les conditions de confort sont intimement liées à la typologie « passage couvert », alors que les conditions extrêmement désagréables ont été enregistrées dans la typologie : « dégagé », suivi par la modalité « dièdre ».

V.3.3. Analyse des correspondances multiples : Variables : Type de rue, ensol, ensol1, ensol2 :

La disposition des résultats de l'analyse factorielle multiples sur une carte factorielle de correspondance nous révèle -en fonction de la variable : « Typologie de la rue » ; de la variable« ensol » (enseulement) qui représente les réponses des interviewés suivant une échelle de perception ; la variable« ensol1 »qui représente les réponses des interviewés suivant une échelle évaluative et la variable« ensol2 » qui représente les réponses des interviewés suivant une échelle des préférences les positions des 21 modalités et les coordonnées des 175 observations(Figure VII.30).Chaque observation est représentée sur cette carte par un point. À noter que, les non-réponses ont été ignorées et trois modalités n'ont pas été prises en compte, car elles présentent un effectif nul. En visualisant les variables précédemment citées, la carte

met en exergue un pourcentage de variance de 33.08% expliqué par les deux axes représentés et selon lesquelles les différentes modalités sont mises en place sous forme des contributions négatives et positives.

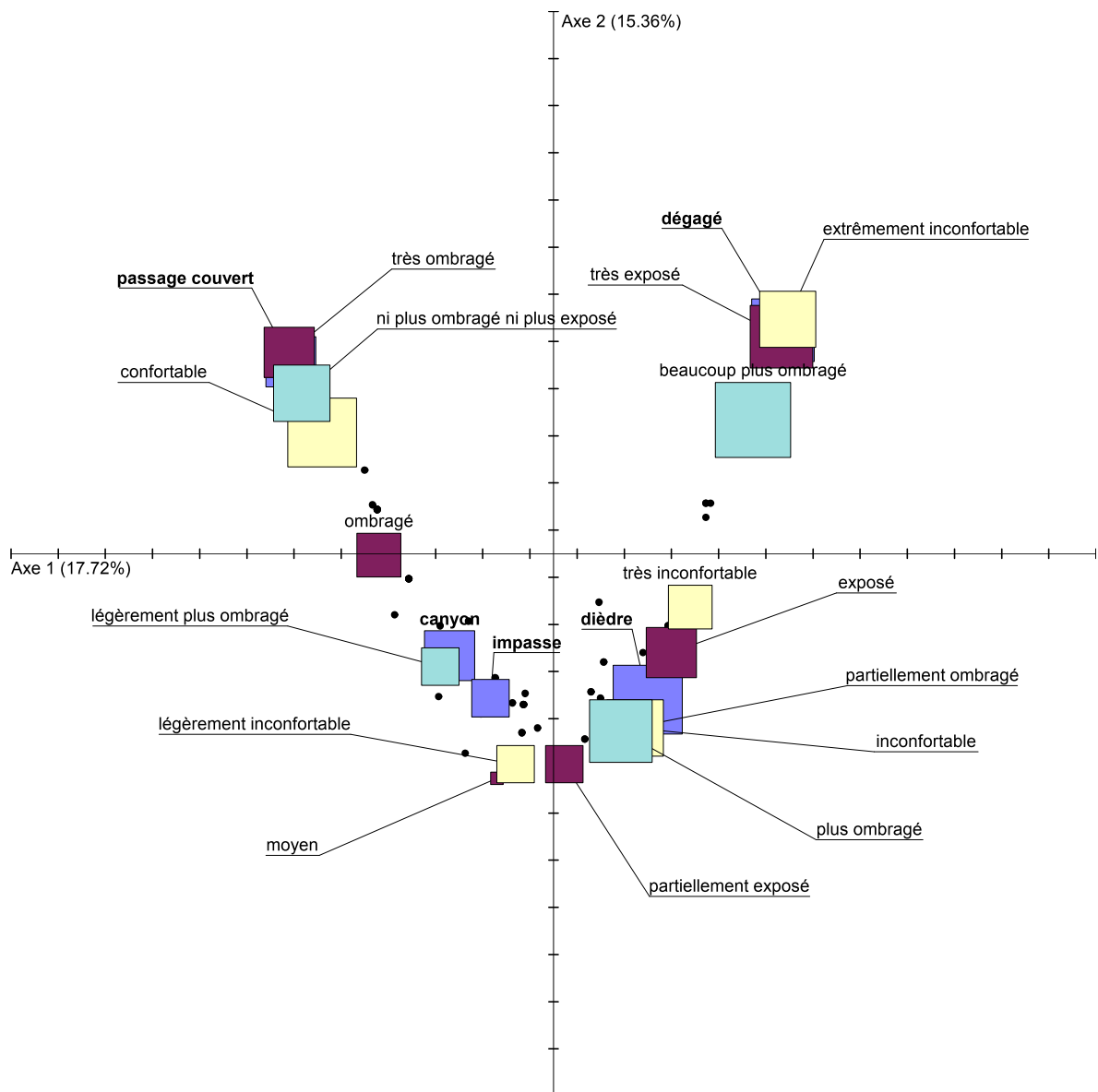


Figure VII.30. Carte factorielle de correspondance des variables croisées : Type de rue, ensol, ensol1, ensol2. Source : auteur (2017).

Selon l'axe 1, les contributions positives correspondent à la typologie : « dégagé ». Cette typologie est intimement liée à une ambiance thermique « très exposé » considéré comme « extrêmement inconfortable » par les interviewés. Ces derniers souhaiteraient que l'espace

devienne « beaucoup plus ombragé ». Selon le même axe et dans le sens négatif, les modalités « confortable » et « ni plus ombragé ni plus exposé » ont été choisies par les individus interrogés dans les « passages couverts ».

Selon l'axe 2, les contributions positives correspondent à la modalité « dégagé » dont l'ambiance vis-à-vis des conditions d'ensoleillement sont jugées « extrêmement inconfortables ». Les contributions négatives, selon cet axe, ont été attribuées à la modalité « dièdre », dans laquelle, la majorité des enquêtés considèrent que l'ambiance thermique est « inconfortable », car « exposé ». En deuxième lieu, les typologies: « impasse » et « canyon » sont fortement liées à la modalité « légèrement inconfortable », pour lesquelles, les enquêtés préfèrent que l'ambiance soit « légèrement plus ombragé ».

Le résultat acquis nous informe que les différentes modalités relatives aux conditions de l'ensoleillement sont fortement liées aux modalités exprimant la typologie de l'espace extérieur. Il est à remarquer que les conditions de confort sont classées préférentiellement de la modalité « passage couvert » à « impasse », en passant par « canyon ». Les conditions d'extrême inconfort correspondent à la modalité « dégagé », suivi par la modalité « dièdre ».

V.3.4. Analyse des correspondances multiples Variables : Type de rue, Va, Va1, Va12 :

Pour visualiser les résultats de l'analyse factorielle multiples, une carte factorielle de correspondance est dressée qui tient compte des variables: Typologie de la rue, Va : qui représente les réponses des sujets suivant une échelle de perception, Va1 : qui représente les réponses des sujets suivant une échelle évaluative et Va2 : qui représente les réponses des sujets suivant une échelle de perception (Figure VII.31). Cette carte nous montre les positions des 19 modalités et les coordonnées des 175 observations. Chaque observation y est représentée par un point. Les non-réponses ont été ignorées et cinq modalités n'ont pas été prises en compte, car elles représentent un effectif nul.

En visualisant les variables citées plus haut, un pourcentage de variance de 25.66% est repéré par les deux axes représentés sur la carte et selon lesquelles, les différentes modalités ont été disposées sous forme de contributions négatives et positives. Selon l'axe 1, les contributions positives correspondent à la modalité : « passage couvert ». Cette typologie est intimement liée à une ambiance aéroulque « confortable » ressentie par les interviewés qui ont

choisi la modalité : « ni plus calme ni plus élevée » pour exprimer leurs préférences. Enfin et selon le même axe, dans le sens négatif, la typologie « impasse » est fortement liée à la modalité «très inconfortable », car les répondants trouvent que la vitesse de l'air y est «très calme ». La modalité la plus citée, en ce qui concerne les préférences des interviewés, est celle où ils ont souhaité que la vitesse du vent devienne « beaucoup plus élevée ».

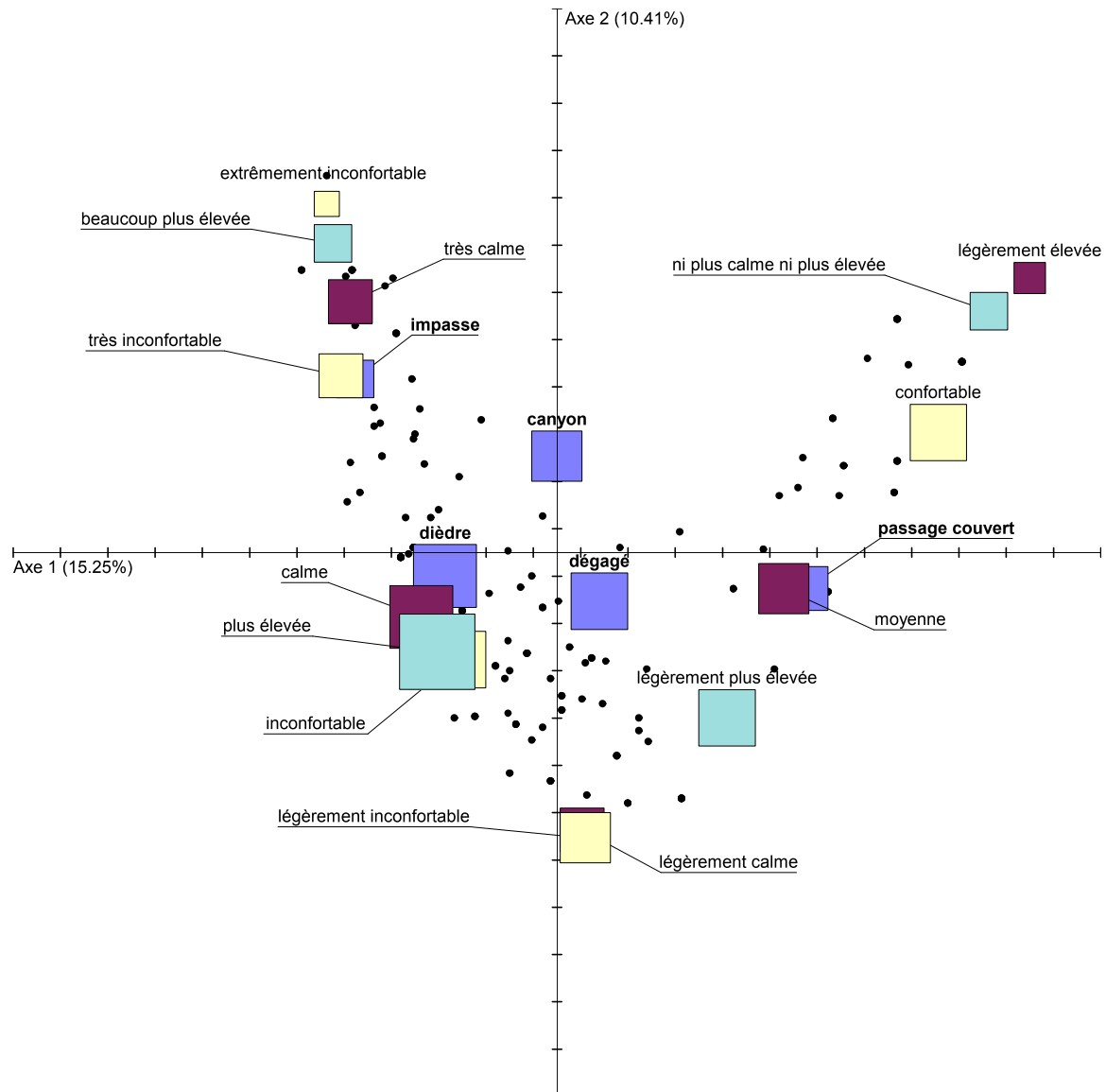


Figure VII.31. Carte factorielle de correspondance des variables croisées Type de rue, Va, Va1, Va2. Source : auteur (2017).

Selon l'axe 2, les contributions positives correspondent aux modalités « très calme » et « beaucoup plus élevée » citées par les usagers des typologies « canyon » et « impasse ». Les

contributions négatives, selon cet axe, conviennent aux modalités « légèrement calme » et « légèrement inconfortable » attribuées à la typologie « dégagé ».

L'analyse de cette carte nous révèle que la relation entre les différentes modalités relatives aux conditions du vent et la typologie de l'espace extérieur est modérée. On note que les conditions désagréables extrêmes ont été enregistrées dans la typologie « impasse ». Cette relation, moins significative, est exprimée par l'écoulement des vents qui est modulé par la disposition des bâtiments constituant le tissu urbain.

VI. Confrontation des résultats du questionnaire et des mesures :

VI.1. La température moyenne radiante/type de rue :

L'interprétation des valeurs de la température moyenne radiante calculées pour chaque point de mesure (Figure VII.32), nous révèle une relation très significative entre les différentes typologies des espaces extérieurs étudiés et les valeurs de ce paramètre microclimatique (T_{mrt}), cotée par un $\chi^2=215,51$. Ainsi, la carte factorielle des correspondances, qui convient à cette corrélation, nous indique un pourcentage de variance de 92%, déterminé par les deux axes qui y sont représentés. Cette carte nous montre que les valeurs extrêmes de T_{mrt} (plus de 60°) ont été enregistrées dans les espaces extérieurs dégagés. Les valeurs de ce paramètre entre 54° et 60° sont liées, beaucoup plus, aux rues dièdres. Dans les rues canyons, les valeurs de T_{mrt} se trouvent dans la plage de 42° à 48° , contrairement aux passages couverts où les valeurs de cet indice diminuent à moins de 36° .

Par l'étude de la corrélation, une relation très significative, entre les deux variables, a été cotée par un $\chi^2=215,51$, un $ddl=20$ et un $p=0,0\%$.

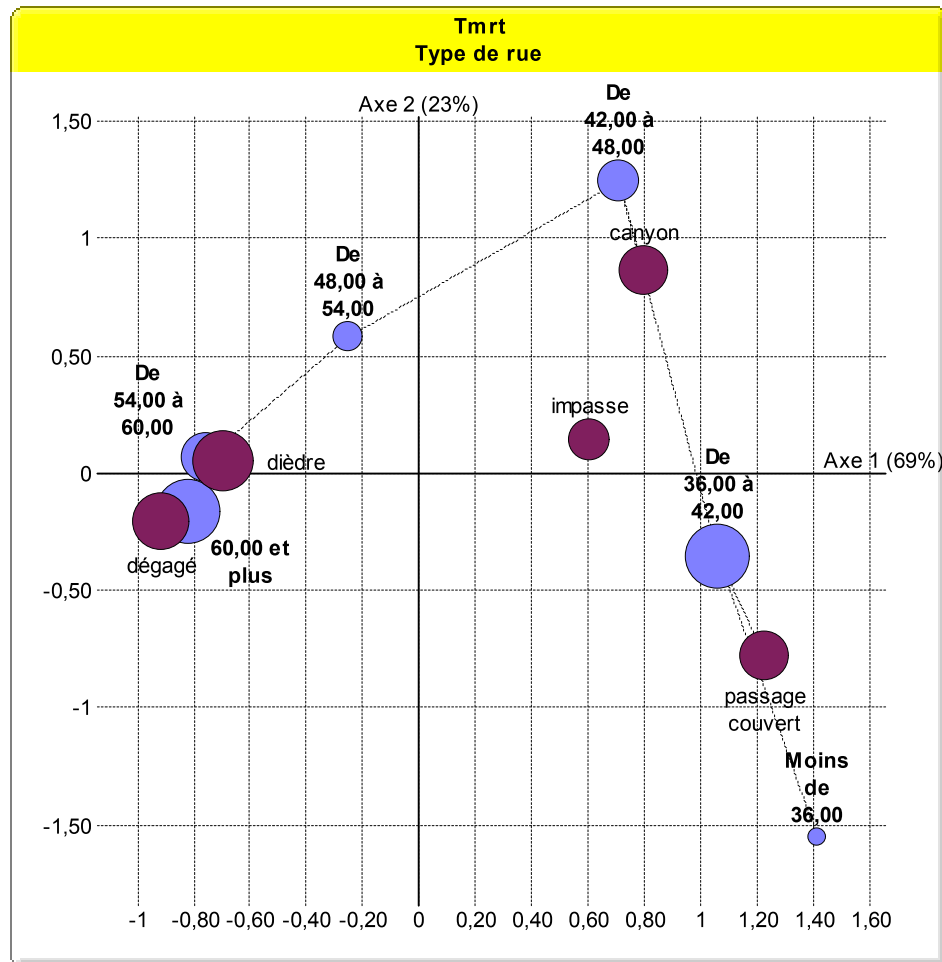


Figure VII.32. Carte factorielle de correspondance des variables croisées Type de rue /Tmrt.
Source : auteur (2017).

VI.1. La température moyenne radiante/ Perception :

Par l'analyse des résultats de cette corrélation présentée dans la carte factorielle (Figure VII.33), il apparaît que 100% des enquêtés trouvent qu'un environnement thermique ayant une température moyenne radiante de moins de 36° correspond à « neutre ». Ainsi, une température entre « 36° et 42° » a été jugée, par 32,7% comme « légèrement froid », par 30,8% comme « neutre » et par 23,1% comme « légèrement chaud ». 52,9% des sujets ont considéré que l'air est « légèrement chaud » quand la Tmrt est entre « 42° et 48° », ainsi, 47,1% trouvent qu'il fait « chaud », dans cette plage. Pendant que, 55,6% avec une Tmrt entre « 48° et 54° ». La modalité « très chaud » a été sélectionnée par 75,8% et par 95,2% de la population en correspondance avec des valeurs de Tmrt entre « 54° et 60° » et 60° et plus, respectivement.

Par l'étude de la corrélation, un pourcentage de variance de 98% a été défini par les deux axes représentés sur la carte factorielle. Une relation très significative, entre les deux variables, a été exprimée par un $\chi^2=198,96$, un $ddl=20$ et un $p=0,0\%$.

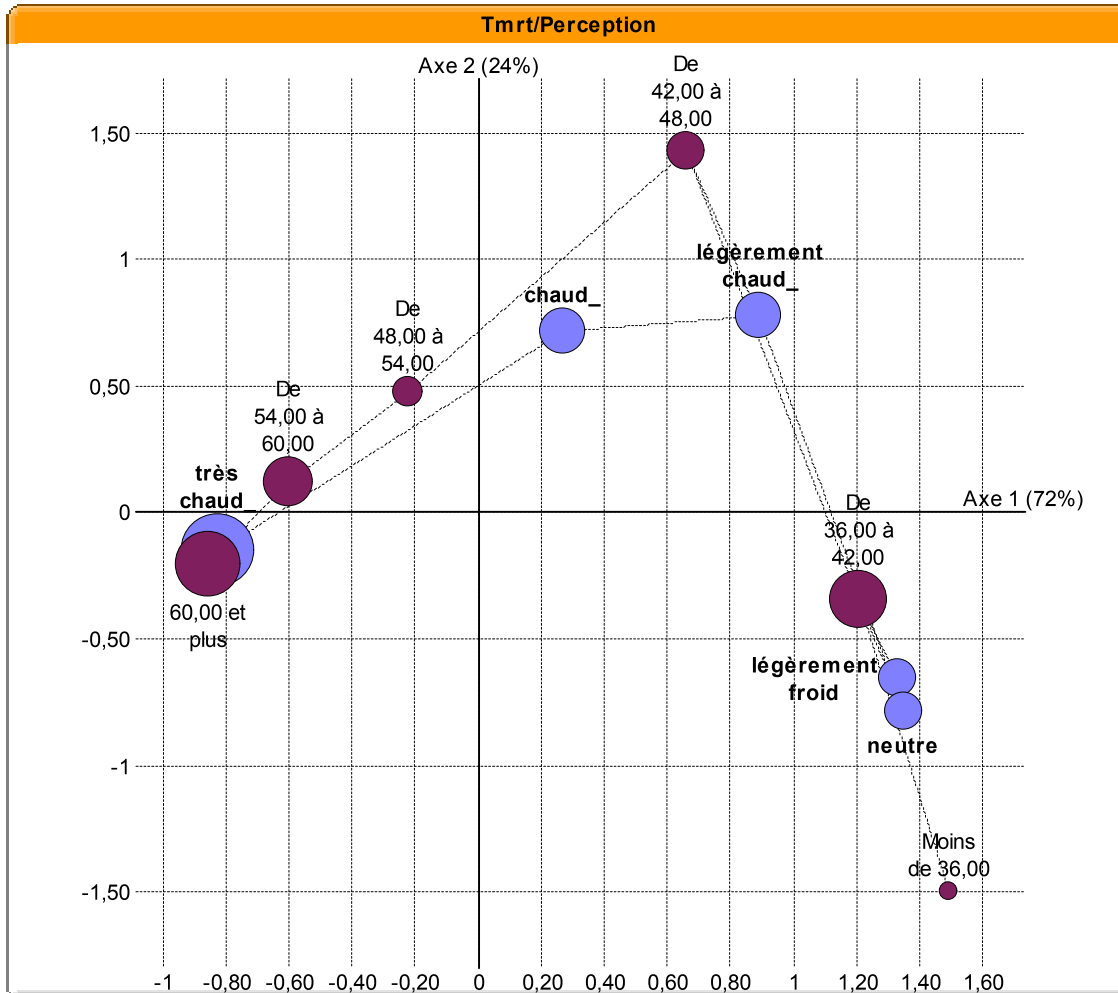


Figure VII.33. Carte factorielle de correspondance des variables croisées Tmrt/perception.
Source : auteur (2017).

VII. Confrontation des résultats du questionnaire et de la simulation :

VII.1. Le rapport température physiologique équivalente /type de rue :

L'interprétation des valeurs de la température physiologique équivalente retenues pour chaque point de mesure en tenant compte des caractéristiques physiques, de l'activité et du taux d'habillement de chaque enquêté (Figure VII.34), nous révèle une relation très significative entre les différentes typologies des espaces extérieurs étudiés et les valeurs de cet

indice (PET), cotée par un $\chi^2=241,59$. Ainsi, la carte factorielle des correspondances, qui convient à cette corrélation, nous indique un pourcentage de variance de 83%, déterminé par les deux axes qui y sont représentés. Cette carte nous montre que les valeurs extrêmes de PET (plus de 56°) ont été enregistrées dans les espaces extérieurs dégagés. Les valeurs de cet indice entre 48° et 56° sont liées, beaucoup plus, aux rues dièdres. Dans les impasses et les rues canyons, les valeurs de PET se trouvent dans la plage de 40° à 48° , contrairement aux passages couverts où les valeurs de cet indice diminuent à moins de 40° .

Par l'étude de la corrélation, une relation très significative, entre les deux variables, a été coté par un $\chi^2=241,59$, un $ddl=20$ et un $p=0,0\%$.

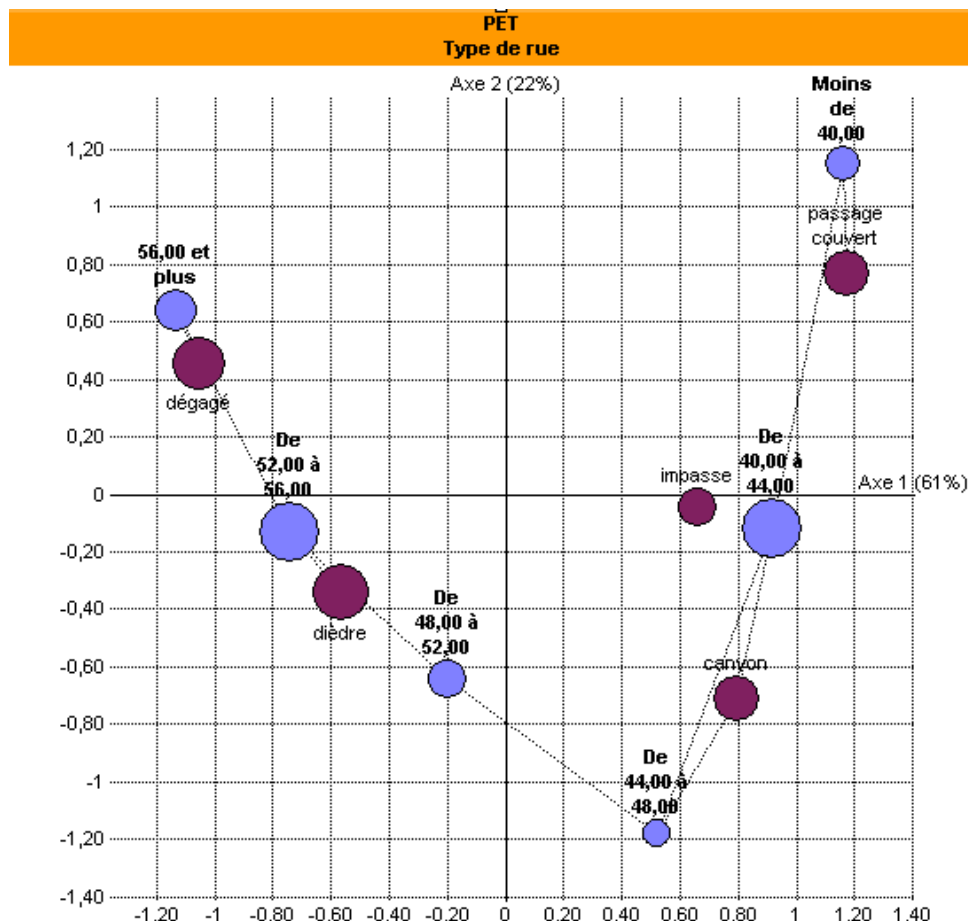


Figure VII.34. Carte factorielle de correspondance des variables croisées Type de rue /PET.
Source : auteur (2017).

VII.2. Le rapport température physiologique équivalente /perception :

Par l'analyse des résultats de cette corrélation présentée dans le tableau VII.6 et la carte factorielle (Figure VII.35), il apparaît que 56,3% des enquêtés trouvent qu'un environnement thermique ayant une température physiologique équivalente de moins de 40° correspond à « légèrement froid », pendant que 37,5% d'eux le considèrent comme « neutre ». Ainsi, une température entre « 40° et 44° » a été jugé, par 35,4% comme « légèrement chaud », par 25% comme « chaud » et par 22,9% comme « neutre » ou autrement dit « confortable ». 50% des sujets ont considéré que l'air est « légèrement chaud » quand le PET est entre « 44° et 48° », pendant que, 52,9% trouvent qu'il fait « très chaud » avec un PET entre « 48° et 52° ». La modalité « très chaud » a été sélectionnée par 88,1% et par 100% de la population en correspondance avec des valeurs de PET entre « 52° et 56° » et 56° et plus, respectivement.

Par l'étude de la corrélation, un pourcentage de variance de 98% a été défini par les deux axes représentés sur la carte factorielle. Une relation très significative, entre les deux variables, a été exprimée par un $\chi^2=192,15$, un $ddl=20$ et un $p=0,0\%$.

Tableau 7. Tableau présentant les valeurs du croisement des deux variables PET et la perception.
Source : auteur (2017).

PET/perception								
	très froid	froid	légèrement froid	neutre	légèrement chaud_	chaud_	très chaud_	Total
Moins de 40,00	0,0%	0,0%	56,3%	37,5%	0,0%	6,3%	0,0%	100,0%
De 40,00 à 44,00	0,0%	0,0%	16,7%	22,9%	35,4%	25,0%	0,0%	100,0%
De 44,00 à 48,00	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	50,0%	25,0%	25,0%	100,0%
De 48,00 à 52,00	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	17,6%	29,4%	52,9%	100,0%
De 52,00 à 56,00	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	11,9%	88,1%	100,0%
56,00 et plus	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%	100,0%

En fonction des résultats obtenus, dans cette corrélation, on a essayé de classifier les valeurs de PET selon une nouvelle échelle de perception adaptée à notre cas d'étude, autrement dit, adaptée à une région à climat chaud, selon la sensation thermique exprimée par les enquêtés. En le comparant avec l'échelle de perception connue, dans le tableau VII.7, on a constaté un écart notable entre le PET théorique et le PET adapté. Ce dernier a été déterminé en fonction des paramètres relevés sur le site de notre étude. Cet écart prouve la relativité de

l'évaluation des sensations des échantillons étudiés et l'importance de l'aspect psychologique dans la recherche sur le confort thermique en espaces extérieurs. Aspect qui dépend de beaucoup de facteurs liés aux individus, indépendamment.

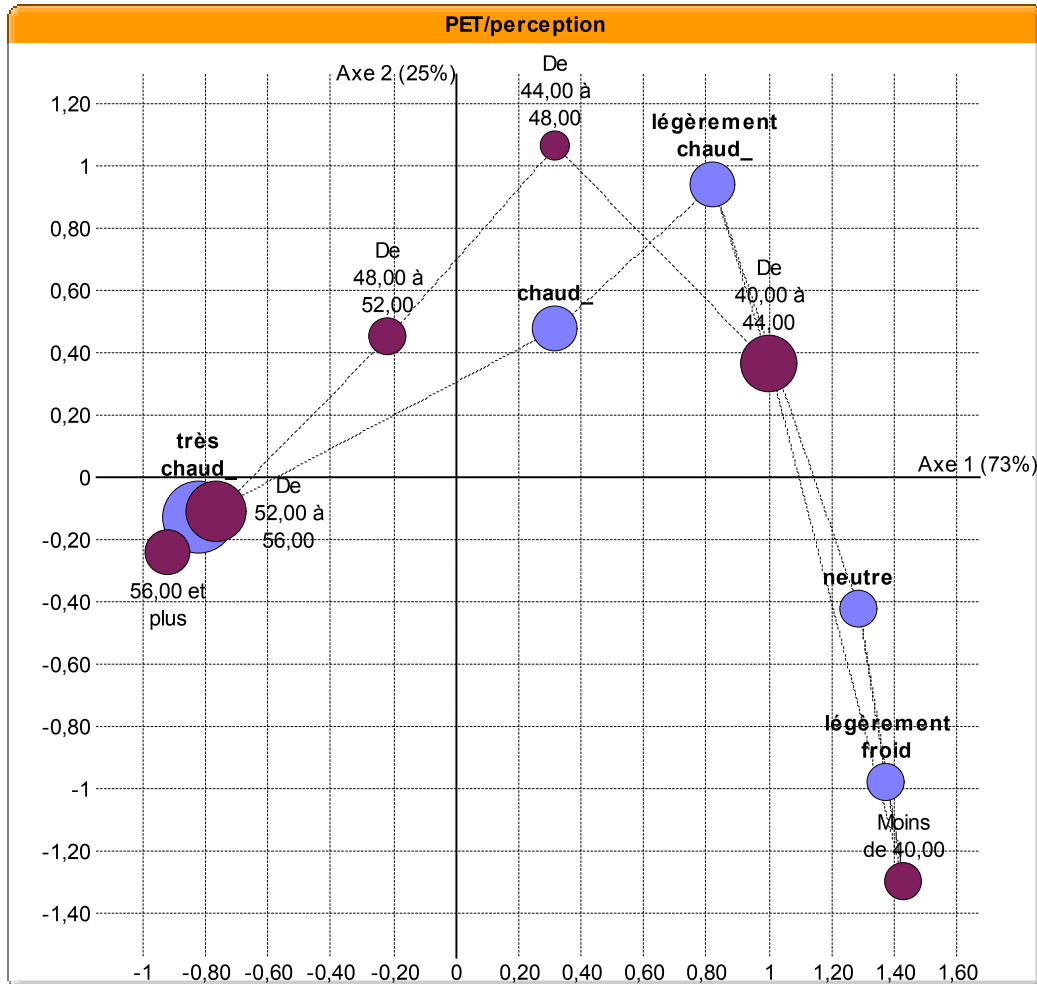


Figure VII.35. Carte factorielle de correspondance des variables croisées PET, perception. Source : auteur (2017).

Tableau 8. Classification des valeurs de PET selon une nouvelle échelle de perception adaptée au cas d'étude. Source : auteur (2017).

PET théorique (°C)	PET adapté (°C)	La perception thermique
13 – 18°	<40°	Légèrement frais
18 – 23°	40– 44°	Confortable
23 – 29°	44– 48°	Légèrement chaud
29 – 35°	48– 52°	Chaud
35 – 41°	52– 56°	Très chaud
> 41°	>56°	Extrêmement chaud

CONCLUSION

Notre espace vital, de par ses multiples caractéristiques, exerce sur nos comportements et attitudes une influence significative. Pour cela, dans un environnement thermique, les individus s'accommodent des conditions climatiques du milieu où ils vivent. Dans ce chapitre, on a opté pour la technique du questionnaire fourni à un panel d'usagers d'un milieu bien défini nous permettant de collecter des informations nécessaires à l'étude du confort thermique du point de vue subjectif de ces échantillons, utilisateurs des espaces extérieurs. L'enquête basée sur ce questionnaire a été effectuée simultanément au relevé des mesures des grandeurs microclimatiques au niveau des points choisis pour l'investigation. Donc cette partie de la recherche s'articule autour de l'aspect psychologique dans l'évaluation des conditions microclimatiques dans cet environnement.

Les réponses recueillies sur les questionnaires servent à qualifier l'environnement thermique dans les espaces extérieurs (rue, place) au point de vue des usagers, ainsi que la réévaluation de l'indice du confort thermique (PET) en le comparant aux résultats de votes sensoriels et perceptifs des participants. Dans l'approche adaptative, les questionnaires jouent un rôle primordial. Ils sont utilisés avec les mesures physiques et les résultats de la simulation pour confirmer nos hypothèses. Et à travers une analyse statistique, le traitement des données s'est fait en trois phases : l'analyse univariée qui est une approche descriptive reposant sur le calcul des effectifs et des fréquences; l'analyse bivariée qui met en relation deux variables hypothétiques, et grâce à laquelle le degré de lien entre les variables croisées est estimé en fonction du test « chi2 » et du degré de signification ainsi que par l'analyse multi variée qui, elle, met en corrélation plusieurs variables à la fois à l'aide des cartes factorielles de correspondances multiples pour définir les modalités les plus liées.

Dans la synthèse des trois phases qui font partie du questionnaire élaboré, une relation de dépendance a été confirmée entre la typologie de l'espace extérieur et les conditions microclimatiques représentées, dans ce travail, par les variables microclimatiques, ce qui valide notre hypothèse et confirme les mêmes propos concernant la dépendance de ces variables microclimatiques notamment, la température de l'air et l'ensoleillement à la géométrie de l'espace urbain.

CONCLUSION GENERALE

« Il serait vain de se détourner du passé pour ne penser qu'à l'avenir... l'avenir ne nous apporte rien, ne nous donne rien; c'est nous qui pour le construire devons tout lui donner... mais pour donner il faut posséder et nous ne possédons d'autre vie, d'autre sève, que les trésors du passé »¹

Simone Weil

CONCLUSION GÉNÉRALE :

I. Introduction :

L'architecture traditionnelle en Algérie en général et dans le Sud en particulier est le résultat de milliers d'années d'expérience, elle est adaptée aux modes de vie des hommes et de leur culture. Elle a évolué au fil du temps en fonction des techniques issues d'une longue expérience en utilisant les matériaux de diverses manières. Les ksour, qui donnent au sud de notre pays son cachet particulier, sont construits en majorité en terre et représentent un patrimoine d'une valeur sociale et historique. La morphologie des ksour présente des formes compactes, de couleur de la terre, au sein d'un espace vert (la palmeraie). En fait, nul n'ignore les avantages de la morphologie et de la structure du tissu ksourien et ses divers avantages au plan climatique et l'harmonie entre l'habitat, sa genèse et le monde extérieur où l'espace, le climat, l'économie, le social et le culturel supposent une perception et un usage d'ensemble.

La ville, en modifiant le climat, agit directement sur les problèmes de santé liés à la pollution et aux vagues de chaleur, sur le confort en espace extérieur et sur l'utilisation de l'énergie dans les bâtiments. L'influence indirecte du microclimat apparaît lorsque le comportement humain intervient dans la chaîne cause-effet.

Durant les dernières décennies, la relation et l'interaction entre le climat et la morphologie urbaine sont devenues une préoccupation importante. En effet, le climat urbain est fortement perturbé par la structure même de la ville, les matériaux utilisés, les surfaces de végétation, ainsi que les activités anthropogéniques qui s'y développent. La ville en modifiant le climat agit directement sur les problèmes de santé liés aux vagues de

¹ Simone Weil, *Extrait de l'enracinement*, édition Galimard, Paris, 1950.

chaleur et à la pollution, sur le confort en espace extérieur et sur la consommation d'énergie dans les bâtiments.

II. Synthèse de la recherche et principaux résultats :

Cette recherche avait pour objectif de décrire et d'analyser la relation entre la morphologie urbaine, le microclimat et les conditions du confort thermique dans les espaces publics extérieurs. Son but principal était d'identifier les paramètres importants qui doivent être intégrés dans le processus de conception des espaces publics urbains et classifiés selon les différents niveaux scalaires comme échelle microclimatique. L'accent est donc mis sur les éléments qui caractérisent l'ambiance thermique à ce niveau spatial.

La relation entre la morphologie urbaine et les microclimats a été analysée via une étude corrélationnelle. Cette étude permet de démontrer la nature de la relation entre les paramètres morphologiques et l'environnement thermique en milieu urbain. Les résultats montrent, ainsi, que les corrélations entre ces paramètres et la température physiologique équivalente sont plus ou moins significatives.

Si nous reprenons la structure du manuscrit, nous pouvons rappeler que cette recherche a nécessité deux phases d'intervention sur lesquelles nous avons articulé notre travail. C'est dans ce contexte que ce travail de thèse a été initié par la partie théorique. Nous y avons développé une étude bibliographique profonde, basée sur une variété de concepts. Cette phase est subdivisée en cinq chapitres : Le premier est une synthèse bibliographique des travaux relatifs à des domaines aussi variés que la micro climatologie urbaine, l'étude des relations entre la géométrie urbaine, le microclimat et le confort thermique des piétons. Dans ce chapitre, l'accent a été mis sur les différentes méthodes et les approches adoptées par les chercheurs en climatologie urbaine.

Dans le deuxième chapitre, il était impératif de cerner les différentes notions relatives au confort thermique. À travers quelques rappels sur cette notion, nous avons pu insister sur la difficulté inhérente à la quantification de ce concept. Même en ne considérant que des paramètres physiques objectifs, il nous est apparu difficile de trouver une définition bien précise à cette notion complexe.

On y a exposé les paramètres usuels qui interviennent dans les échanges thermiques, entre l'individu et son environnement, tels que : la température de l'air, l'humidité, la vitesse du vent, la température moyenne radiante, l'activité et le taux d'habillement des usagers. L'analyse de ce bilan nous a conduits à la définition de certains indices

thermiques servant à rationaliser cette notion subjective, indices qui sont présentés en détail dans ce chapitre.

Dans le quatrième chapitre, l'impact de la morphologie urbaine sur le climat a été envisagé à une échelle que nous avons qualifiée de microclimatique. Cette analyse constitue un support pour l'étude expérimentale. On y tente de définir un ensemble de variables déterminantes, caractérisant la forme urbaine, et ayant un impact sur le climat. À travers cette étude, on a pu dégager des relations très étroites entre les différentes variables.

La forme urbaine par le biais du profil et de l'orientation des rues peut avoir des répercussions sur les gains et les pertes énergétiques ainsi que sur l'amélioration des conditions d'écoulement de l'air. La densité urbaine influe donc considérablement sur le rythme thermique et aérodynamique.

Cette collecte de connaissances, dans tous ces domaines, était nécessaire pour choisir notre méthodologie de travail et passer à l'étape suivante de cette recherche qui correspond à notre contribution.

Une méthodologie à la croisée de trois approches :

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 de travail et les outils nécessaires. Cette phase concerne plus spécifiquement notre contribution dans la mesure où nous avons essayé de cerner trois approches qui nous ont semblé plus opérationnelles pour l'étude de la climatologie urbaine en relation avec le confort thermique. Pour cela, nous avons fait appel aux techniques de mesure des variables microclimatiques, de la simulation et du questionnaire. Cette partie se termine par l'analyse et l'interprétation des résultats et comprend trois chapitres. Nous essayons dans ce qui suit, de souligner une dernière fois, les éléments qui nous semblent les plus importants à retenir à travers les différents chapitres.

L'objet du cinquième chapitre consiste, en premier lieu, à clarifier les différentes données de notre contexte d'étude, à savoir « le Village rouge » à « El Kantara » dans la wilaya de Biskra. Procéder à une recherche pratique sur terrain a exigé une analyse climatique sur cette ville. Ceci nous a permis la classification de son climat, en se basant sur des méthodes d'analyse climatiques et bioclimatiques universelles. Afin d'aboutir à des recommandations et des principes de base de la conception urbaine bioclimatique dictés par l'environnement climatique.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Ainsi, une étude typo-morphologique des espaces extérieurs fut nécessaire. Cette démarche nous a permis de comprendre la composition morphologique du tissu urbain. Le premier résultat obtenu par cette investigation a été la distinction entre trois types d'espaces urbains caractérisant notre site d'étude : espace dégagé, espace dièdre et espace canyon, ainsi que deux autres variantes urbanistiques qui sont l'impasse et les passages couverts, spécifiques dans les régions sahariennes. Ce chapitre rapporte, également, l'approche physique adoptée pour le traitement des résultats obtenus. Ces résultats, issus de la campagne de mesure expérimentale, ont établi et permis d'avoir une idée sur l'effet de la géométrie urbaine sur les conditions microclimatiques. Ceci grâce à une comparaison des grandeurs physiques entre une situation de référence et la situation urbaine analysée retenue pendant six journées typiques d'été.

L'approche physiologique présentée par la simulation numérique constitue l'objet du sixième chapitre de cette étude. Elle s'est appuyée sur l'utilisation d'un logiciel appelé « RayMan pro 2.1 », qui a permis de vérifier et de valider les résultats obtenus lors de la campagne de mesure. Ainsi on a pu évaluer le confort thermique au niveau des canyons urbains en calculant l'indice PMV et l'indice thermo-physiologique PET. Dans ce chapitre, on a constaté que les paramètres géométriques des rues, orientation et le facteur de vue du ciel, ont une influence directe sur les paramètres microclimatiques et par conséquent, sur le confort thermique en espaces extérieurs.

En nous aidant d'un questionnaire et du traitement des résultats par le logiciel « Sphinx », déterminant l'approche psychologique de notre étude, on a pu quantifier l'aspect qualitatif de « la sensation thermique » et établi ainsi la relation de cause à effet avec la géométrie urbaine dans les espaces étudiés. Ce travail a été effectué par l'analyse univariée, bivariée et multi variée (analyse factorielle des correspondances multiples). Les résultats ont permis la confirmation de la relation entre la typologie de l'espace extérieur, les conditions microclimatiques et la perception de l'environnement thermique par les usagers de ces espaces.

Finalement, on a pu conclure qu'un tissu urbain compact est plus avantageux en période chaude ; offrant plus d'ombre et de fraîcheur. Une forte corrélation existe entre la température de l'air dans un canyon urbain et son ratio H/L. En outre, plus l'ouverture au soleil est basse, plus on remarque un taux minimum du rayonnement solaire, induisant une baisse de température souhaitable durant la période estivale. Cette ouverture au soleil est définie par un FVC contrôlé (faible), un rapport H/L optimal (élevé) combinés avec une

orientation solaire maîtrisée, en favorisant l'orientation N-S et l'orientation NO-SE qui offrent des conditions acceptables en termes de confort thermique, en comparaison avec les autres orientations solaires. Parmi les canyons étudiés, celui orienté NE-SO avec un ratio H/L élevé, offre plus de fraîcheur que le canyon orienté NO-SE avec un ratio H/L faible. Donc, le rapport H/L est de prime abord, en comparaison avec l'orientation solaire de la rue, aux modifications engendrées sur les paramètres microclimatiques notamment sur la température de l'air, la température des surfaces et la température moyenne radiante. Ces modifications peuvent avoir une influence sur le confort thermique des piétons.

Une corrélation existe également entre le facteur d'ouverture au ciel et la température des surfaces qui s'accroît dans tous les espaces ouverts à grand FVC, notamment ceux qui possèdent des ouvertures vers le S et l'O. Les caractéristiques thermiques matériaux du revêtement du sol, y compris la réflectivité et la restitution, participent notablement aux variations des températures et agissent significativement sur l'aspect thermique. Ces deux caractéristiques constituent la notion de l'albédo. Ensuite, une faible valeur du facteur de vue du ciel favorise la création des zones ombragées, et ainsi la diminution du flux d'énergie solaire direct qui arrive aux surfaces.

Le processus de la simulation a permis l'obtention des indices de confort thermique tels que le PMV (vote moyen prévisible) et la PET (température physiologique équivalente), les valeurs de ces deux indices varient d'un point à l'autre et ils n'ont pas abouti à une zone de confort (selon les échelles de classifications d'ASHRAE), sur les trente-cinq sites évoqués. Ce qui était remarquable, aussi, c'est la forte corrélation de la PET et la T_{mrt} . Une très forte corrélation existe, aussi, entre le FVC et les valeurs du PMV et PET.

Concernant les différentes typologies des rues issues de l'analyse typomorphologique (l'espace dégagé, la rue dièdre, la rue canyon, l'impasse et les passages couverts), on a constaté que chaque typologie identifie son propre état thermique, plus l'ouverture au soleil était basse plus on requiert un taux minimum du rayonnement solaire, ce qui est bénéfique pour modérer le stress thermique.

Concernant l'aspect aéraulique, on a constaté que ce phénomène est généré par la convection naturelle entre les zones à l'ombre et au soleil, et par l'orientation des vents dominants, en enregistrant les valeurs les plus basses dans les impasses et les rues profondes. En outre, une ventilation transversale des espaces ouverts a été générée par la proximité de deux espaces, l'un à faible FVC et l'autre à grand FVC, ce qui favorise une

convection forcée. En outre, on a déduit que les espaces dans lesquels l'air circule plus fortement sont plus confortables aux usagers, indépendamment de la valeur du FVC.

Dans un contexte urbain, les conditions du confort thermique varient non seulement en fonction de l'espace et du temps, mais aussi grâce à l'adaptation physique du piéton qui s'ajuste à son environnement. Le mouvement du piéton et son niveau d'habillement sont considérés comme deux opportunités d'adaptation physique. En outre, la notion d'adaptation psychologique en milieu urbain a également été explorée à travers cette recherche dans laquelle on a trouvé que l'effet d'ombrage et la ventilation sont toujours considérés comme des solutions efficaces pour assurer le confort thermique des usagers.

Dans cette phase, on est arrivé à classifier les valeurs de PET selon une nouvelle échelle de perception adaptée à notre cas d'étude. En comparaison avec l'échelle de classification théorique, on a constaté un écart notable entre le PET théorique et le PET adapté. Ce dernier a été calculé en fonction des paramètres relevés in situ. Cet écart affirme l'importance de l'aspect psychologique dans notre recherche, quant à la caractérisation du confort thermique en espaces extérieurs. Ainsi, cette différence nous a conduits à la perception de la nécessité de développer des indices thermiques adaptés aux régions désertiques ou adapter les indices développés en usage dans les pays dont les caractéristiques climatiques sont différentes.

En conclusion, la problématique était examinée en approuvant l'impact de la morphologie urbaine sur les conditions microclimatiques; à travers un croisement de données climatiques, morphologiques et psychologiques. Les objectifs précédemment tracés ont été atteints et les hypothèses mises en place ont été largement vérifiées. Finalement, on peut dire que ces établissements humains sont le produit d'une planification rigoureuse, pensée et autrement plus complexe, en comparaison avec la planification de nos jours, contrairement à ce qui peut paraître du premier abord, qu'elles sont un produit d'une spontanéité.

III. Recommandations :

Bien qu'il soit difficile de proposer des recommandations détaillées pour l'aménagement des espaces urbains, 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 dans les espaces extérieurs. Même si de nombreux objectifs de départ sont atteints, ces recommandations apportent certaines considérations

que le concepteur doit absolument prendre en compte dès les premières phases de la planification. Car il est possible, avec une bonne compréhension des conditions climatiques, de créer des microclimats plus propices que le contexte climatique initial. L'intervention se fait sur les formes urbaines, les densités, les orientations et expositions optimales, ainsi que par le recours à la végétation et l'eau.

Le premier point qui émerge lors du processus de conception est le profil saisonnier de l'usage de l'espace extérieur. Durant la saison estivale, le contrôle de la température est essentiel afin d'atteindre le confort. Plus particulièrement, l'ombre, qui est le facteur le plus important permettant le contrôle de la température ainsi qu'un facteur déterminant du confort thermique. En hiver en revanche, le point principal du processus de conception est de favoriser l'ensoleillement. Entre se protéger du rayonnement solaire d'été et assurer un bon ensoleillement en hiver, les recommandations issues de nos conclusions et qui peuvent s'appliquer dans les régions désertiques consistent en :

III.1. Orientation des rues :

- Favoriser les axes orientés N-S, NO-SE plus que les axes orientés E-O, NE-SO en termes de confort et privilégier l'orientation des axes piétonniers principalement dans l'axe N-S vu que le stress thermique journalier du piéton est moins sévère dans ces rues en été.
- Une orientation intermédiaire des rues dans l'axe NO-SE pourra concilier à la fois les exigences de protection du rayonnement solaire et des vents indésirables de direction S et O, tout en permettant l'exposition aux vents frais d'été de direction E, et N-E.
- Orienter les axes mécaniques selon un axe E-O, NE-SO. Les prospectes de ces rues seront plus larges afin que les façades SUD bordant ces rues puissent profiter du rayonnement solaire souhaitable en hiver.

III.2. Profils de rue :

- Les rues étroites avec un ratio H/L élevé procurent plus d'ombre désirable, durant la période estivale, aux piétons sur les trottoirs en comparaison avec celles ayant un faible ratio H/L et dont l'ombre peut être fournie par la prévention de quelques détails de conception (galeries couvertes, arcades...) ou par la plantation d'arbres.
- Préférence des profils asymétriques où les murs face au Sud sont plus élevés que les murs face au nord dans les rues orientées E-O.
- Les facteurs géométriques tels que le ratio H/L et le FVC doivent être inscrits au processus de la planification urbaine, dans le but de rationaliser les droits de bâtir.

III.3. Matériaux et revêtement des surfaces :

- Les matériaux locaux et les techniques de construction locales devraient être étudiés non seulement pour leur aspect morphologique potentiel, mais aussi en tant que matériaux durables et respectueux de l'environnement.
- Éviter les matériaux sombres qui ont des surfaces de couleurs foncées et ont tendance à absorber plus de rayonnement solaire.
- Un usage rationnel des matériaux sains, moins réfléchissants, dotés de couleurs claires, de haut albédo pour les surfaces extérieures (revêtement du sol, les murs et les toitures), ce qui minimise la quantité d'énergie restituée à l'atmosphère.
- Remplacer le bitume par le gazon et des bandes de verdure qui agissent efficacement comme régulateurs thermiques. Il est aussi possible de remplacer le béton de pavage par de la pelouse.

III.4. Protections horizontales et verticales :

- Des protections horizontales, incluant les passages couverts, les pergolas et les arcades, aménagées le long des rues piétonnières, sont à privilégier, car offrant de l'ombre durant une grande période de la journée.
- La plantation d'arbres et de végétation procure de l'ombre, afin de contre carter les effets des surfaces au sol pavées et foncées à faible albédo.
- Il est recommandé également de choisir des arbres à planter qui possèdent une résistance plus forte face à la sécheresse et aux conditions climatiques extrêmes de la région, ainsi, les arbres à feuillage caduc et ceux à faible hauteur des tiges avec une grande largeur de la couronne, ayant un feuillage dense et peu de branchage, sont plus avantageux en termes de confort en été comme en hiver. Cette géométrie peut réduire l'ombre au minimum pendant l'hiver.

IV. Limites de recherche :

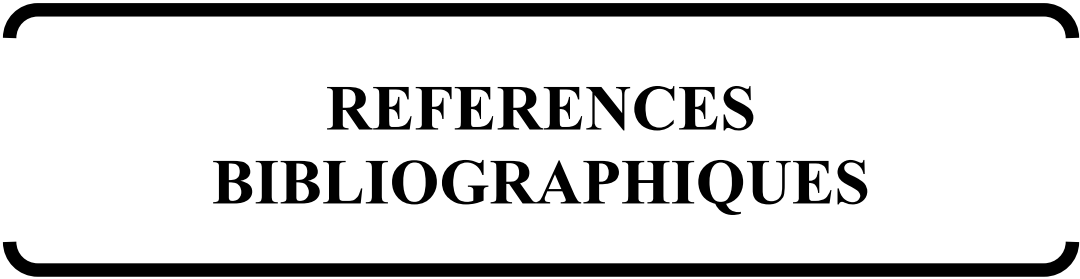
Pour l'exactitude des résultats de notre étude, il aurait été préférable de comparer nos mesures à ceux d'une station météorologique située à El Kantara. L'absence de celle-ci en ce lieu, nous a obligés à prendre celles de la station la plus proche, c'est-à-dire Biskra.

La période relevée ne prend pas en considération la saison d'hiver. Il aurait été plus pertinent dans un climat comme celui d'El Kantara, d'intégrer des relevés d'hiver, ce qui aurait permis de faire une comparaison plus exhaustive entre les différentes géométries en termes de confort thermique.

V. Perspectives de la recherche :

L'ensemble du travail réalisé dans cette étude ouvre de nombreuses perspectives tant au niveau du microclimat urbain qu'au niveau des performances énergétiques des bâtiments. D'autres axes de recherche s'ouvrent et beaucoup d'interrogations se posent sur les régions à climat chaud et aride. Ces axes de recherches porteront sur l'impact de la géométrie urbaine sur le confort thermique à l'intérieur des bâtiments et l'impact de la géométrie urbaine sur la consommation énergétique intérieure. Notre travail permettra aussi le développement des indices thermiques adaptés aux régions désertiques ou adapter les indices développés en usage dans les pays possédants des climats différents, et en dégagant des zones de confort spécifiques au climat chaud et sec, pour être fiable dans notre région d'étude. En outre, l'adoption d'autres indices thermiques extérieurs (OUT_SET, UTCI...) pour une évaluation précise et rationnelle.

Finalement, la microclimatologie urbaine est un domaine de recherche qui est en plein développement et est amené à croître à l'avenir



REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques:

- AHMED OUAMEUR. F (2007)**, *Morphologie urbaine et confort thermique dans les espaces publics, Etude comparative entre trois tissus urbains de la ville de Québec*, Mémoire pour l'obtention du grade de Maître en Sciences. Université de Laval.
- ADAD. M C, MAZOUZ. T (2013)**, les anciens et nouveaux ksour : étude comparative, cas du m'zab, *Courrier du Savoir*, n°16, pp.77-87.
- AKBARI, H., M. POMERANTZ ET H. TAHA (2001)**, "Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy*, n° 70(3), pp. 295-310.
- ALI-TOUDERT. F, DJENANE. M, BENSALÉM. R, MAYER. H (2005)**, Outdoor thermal comfort in the old desert city of Beni-Isguen, Algeria, *CLIMATE RESEARCH (Clim Res)*, Vol. 28, pp. 243–256.
- ALI-TOUDERT. F, MAYER. H (2005)**, Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate, *Building and Environment*, n° 41, pp.94–108
- ALKAMA.D, TACHERIFT.A (2001)**, Essai d'analyse typo-morphologique des noyaux urbains traditionnels dans la région des Ziban, *Courrier du Savoir*, n° 01, pp. 81-88.
- ANDRADE.H (2003)**, Microclimatic variations of thermal comfort thermal comfort in Lisbon city district, *the 5th international conference on urban climate*, Lodz, Poland.
- ANGELOTTI.V. DESSÌ, SCUDO. G (2007)**, the evaluation of thermal comfort conditions in simplified urban spaces: the COMFA+ model, *2nd PALENC Conference and 28th AIVC Conference on Building Low Energy Cooling and 65 Advanced Ventilation Technologies in the 21st Century*, n° 01, pp 65 – 69.
- AYMONINO. C (1970)**, *Lacitta di Padova*, Ed.Officina Edizioni, Roma, 524p.
- B. KOTZENN (2003)**, Investigation of Shade under Six Different Tree Species of the Niger, *Journal of Arid Environment*.
- BARBIRATO. G.M, TORRESE. S.C, LISBOA. T.L (2005)**, Microclimatic conditions of urban public spaces in tropical city.
- BEKKOUCHE. A (2005)**, *éléments d'analyse urbaine, théories et applications*, CRASC.
- BLĄŻEJCZYK. K, BROEDE. P, D. FIALA, G. HAVENITH, I. HOLMÉR (2010)**, Principles of the new universal thermal climate index (UTCI) and its application to bioclimatic research in European scale, *Miscellanea Geographica*, n° 14, pp 91-102.
- Blazejczyk. K, Jendritzky. G, Epstein. Y, Tinz. B(2011)**, Comparison of UTCI to selected

thermal indices, *International Journal of Biometeorology*, n°56, pp 515-535.

BOKO N. P. M.1; VISSIN E. W1. ; HOUSSOU S. C.1, BŁAŚEJCZYK K (2010), application de l'indice universel de charge thermique dans le contexte africain : exemple de Cotonou (république du benin), *XXVIème colloque de l'association internationale de climatologie*, n°25, pp.105-109.

BOUCHERIBA. F, BOURBIA. F. (2011), Impact De La Géométrie Des Canyons urbains Sur Le Confort Thermique Extérieur Dans Un Climat Semi Aride-Cas Du Coudiat De Constantine, *The Egyptian Journal Of Environmental Change*, Vol 3, pp 62-67.

BOUKHABLA. M, ALKAMA. D, BOUCHAIR. A (2012), the effect of urban morphology on urban heat island in the city of Biskra in Algeria, *International Journal of Ambient Energy*, Vol 34, pp 100-110.

BOUKHELKHAL. I (2014), *impact de la morphologie urbaine sur le confort thermique extérieur dans les climats chauds et arides, cas de la nouvelle ville de Tafilet à Ghardaïa*, mémoire de magistère, université de Constantine.

BOURBIA. F, AWBI. H (2004), Building cluster and shading in urban canyon for hot dry climate, part 1: Air and surface temperature measurements, *Renewable Energy*, n° 29, pp.249-262.

BOUSSOUALIM. A (2002), *Contribution à la caractérisation de l'impact et de l'incidence du microclimat sur l'usage et les activités en espace public extérieur, Etude de cas à Blagnac*, Thèse de doctorat, école doctorale mécanique, thermique et génie civil de Nantes, France.

BOUTAGHANE. M (2007), *Mutations et formes d'appropriation de l'habitat rural dans les zones semi-arides, Cas d'étude : l'agglomération de Lichana (Biskra)*, mémoire de magister, université de Biskra.

BOZONNET. E (2005), *Impact des microclimats urbains sur la demande, énergétique des bâtiments -cas des rues canyons*. Thèse de doctorat, Université de la Rochelle.

BUTERA. F (1998), Principles of thermal comfort, pp39-66, issue du livre: *architecture, confort and energy*, Ed. Pergamon.

CHAUCHE-BENCHERIF. M (2007), *La Micro-urbanisation et la ville-oasis; une alternative à l'équilibre des zones arides pour une ville saharienne durable, cas du Bas-Sahara*. Thèse de doctorat, université de Constantine.

CHARLES. KATE E (2003), Fanger's Thermal Comfort and Draught Models, IRC Research Report RR-162, *National Research Council Canada*, n° 162.

- CLOQUET.L (1985)**, *places publiques, Places et monuments*, Ed. Mardaga, p 56-57.
- COMINARDI, F. (1994)**, Au cœur des monts des Ksour: le Ksar de Chellala-Dahrania", *revue d'architecture et d'urbanisme*, Alger., n°8, pp.135-158.
- COTE. M (2005)**, *la ville et le désert, le Bas- Sahara algérien*, Ed. Iremam, Karthala.
- DE HERDE ANDRE, LIEBARD ALAIN (2005)**, *Traité d'Architecture et d'urbanisme bioclimatiques: concevoir, édifier et aménager avec le développement durable*, Ed. Observatoire des Energies Renouvelables, Paris, 736p.
- DEKAY. R.M (2015)**, Climatic urban design: configuring the urban fabric to support daylighting, passive cooling, and solar heating, *The Sustainable City VII*, Vol. 2, pp. 619 - 630.
- DJERADI. M A (2013)**, L'architecture ksourienne (Algérie) entre signes et signifiants, dans *L'architecture vernaculaire*, tome 36-37.
- DRIS. N (2004)**, Espaces publics et limites. Les implications du genre dans les usages de la ville à Alger, in S. Denèfle (dir.), *Femmes et villes*, Tours : Presses universitaires François-Rabelais, p. 249-264
- DUVEAU. D (1994)**, *La composition urbaine : vers une méthode de production de la forme urbaine*, Collection des travaux de la MSV.
- ERELL. E, PEARLMUTTER. D, WILLIAMSON.T (2011)**, *Urban Microclimate: Designing the Spaces between Buildings*, Ed. Routledge, 288 p.
- FERNANDEZ.P, LAVIGNE.P (2009)**, *concevoir des batiments bioclimatiques : fondements et méthodes*, Ed. Le moniteur, 430p.
- GAGGE, A. P., FOBELETS, A. P. and BERGLUNG, L. G. (1986)**, A standard predictive index of human response to the thermal environment, *Transaction ASHRAE*, vol. 92, n°01, pp.709-731.
- GANDEMER, J et GUYOT, A. (1981)**, *La protection contre le vent*. Paris : CSTB, 132 p.
- GANDEMER. J, GUYOT. A (1976)**, *Intégration du phénomène vent dans la conception du milieu bâti*, Guide méthodologique et conseils pratiques. Paris : Ministère de l'Equipement, 130 p.
- GAUTHIER. B (2003)**, *espace urbain vocabulaire et morphologie*, Ed. le patrimoine, 496 p.
- GHUGE. V. V, BHARAT. A, RALEGAONKAR. R.V (2013)**, Study on variation of thermal environment and shading within an urban open space, *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)*, Vol. 5 N°.11, pp. 1865-1870.
- GIRIDHARAN. R, GANESAN. S, Lau. S.S.Y (2004)**, Daytime urban heat island effect in

high rise and high density residential developments in Hong Kong. *Energy and buildings*, n°30, pp.525-532.

GIVONI B., ORLICK L. (1985), Planning for Comfort in Hot Dry Climatic Regions, *The GeoJournal Library*, vol 4, pp. 60-80.

GIVONI, B (1978), *L'homme, l'architecture et le climat*, Ed. Le Moniteur, 400p.

GIVONI, B (2003), Outdoor comfort research issues, *Energy and Buildings*, Vol. 35, pp. 77-86.

GIVONI. B (2001), *Climate considerations in building and urban design*, Ed. John Wiley & Sons, London, 480 p.

GRUNDSTRÖM.K, JOHANSSON.E, MRAISSLM, OUAHRANI.D (2003), *Climat & Urbanisme, La relation entre le confort thermique et la forme du cadre bâti*, Housing Development & Management (HDM) et Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes (LPEE), 113p.

GULYÁS. Á, MATZARAKIS. A (2009), Seasonal and spatial distribution of physiologically equivalent temperature (PET) index in Hungary, *Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, Vol. 113, n°.3, pp. 221–231.

GULYAS.A, UNGER.J, MATZARAKIS.A (2006), assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: Modelling and measurements, *Building and environment*, Vol.41, pp. 1713-1722.

HAMEL. K (2005), *la ville compacte : une forme urbaine d'une ville durable en régions arides, étude du cas de la ville de Biskra*, mémoire de magister, université de Biskra.

HAMMOUDI. A (2014), *Le patrimoine ksourien, mutation et devenir, le cas du Zab El Gherbi-Tolga*, thèse de magister, université de Biskra.

HAOUI BENSADA.S (2010), Contribution à la connaissance et à la préservation des architectures ksouriennes. Le cas du Touât Gourara (Sud Ouest de l'Algérie), un papier de la conférence : *Congrès international WOCMES Barcelone 201, n°01, pp.01-06*.

HOFFMAN.M.E, SHASHUA.L (2003), geometry and orientation aspects in passive cooling of canyon streets with trees, *Energy and building*, Vol.35, pp. 61-68.

HOFMANN. J. B. (1994), *Ambiances climatisées et confort thermique*. Ed. COSTIC, 120 p.

HÖPPE. P (1999), The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment, *International Journal of Biometeorology*, Vol.43, pp.71–75.

HOPPE. P (2002), Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort, *energy and buildings*, Vol.34, pp.661- 665.

- HWANG. R, LIN. T, MATZARAKIS. A (2011)**, Seasonal effects of urban street shading on long-term outdoor thermal comfort, *Building and Environment*, Vol.46, pp. 863-870.
- ISO 7730: (1994)**, Ambiances thermiques modérées -- Détermination des indices PMV et PPD et spécifications des conditions de confort thermique.
- IZARD. J L, GUYOT. A (1979)**, *Archi. Bio*, Ed. Parenthèses, Paris, 96 p.
- JOHANSSON. E (2006)**, Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in hot dry climate: A study in Fez, Morocco, *Building and Environment*, Vol.4, pp.1326–1338.
- JOSÉ. A, OLIVEIRA. A, (2011)**, A new thermal comfort approach comparing adaptive and PMV models, *Renewable Energy*, Vol.36, pp. 951-956.
- KATZSCHENER. L (2004)**, Open space design strategies based on thermal comfort analysis, *proceedings PLEA 2004*, vol. 01, pp.47-52
- KATZSCHNER.L, THORSSON.S (2009)**, Microclimatic Investigations as Tool for Urban Design, *the seventh International Conference on Urban Climate*.
- KEDISSA. C (2010)**, *impact de la géométrie des espaces extérieurs sur le microclimat urbain, cas des places*, mémoire de magister, université de Constantine.
- KITOUS. S (2012)**, *Forme urbaine et environnement thermo aéraulique en climat chaud et sec : Cas du ksar de Ghardaïa dans le Sahara algérien*, Thèse de Doctorat à l'école Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme.
- LANDSBERG H.E (1981)**, *The urban climate*, Academic Press, 275p.
- LATINI. G, R. GRIFONI. C, TASCINI. S (2010)**, Thermal Comfort and Microclimates in Open Spaces, *Building XI conference, ASHRAE*.
- LAVIGNE.P, FERNANDEZ.P (1994)**, *Architecture climatique: une contribution au développement durable, Tome 01: Bases physiques*, Ed. EDISUD, 192p.
- LIN.T, MATZARAKIS. A, HWANG.R (2010)**, Shading effect on long-term outdoor thermal comfort *Building and Environment* 45, pp.213–221
- LOUAFI. S, ABDOU. S (2013)**, Benefits and well-being perceived by pedestrian in vegetated urban space in periods of heat stress, *International Journal of Engineering and Technology*, Vol. 5, pp. 20-24.
- MAALOUF.A (1986)**, *Léon l'Africain*, Ed. Jean-Claude Lattès, Paris, 363p.
- MAATALLAH. M. E. H (2015)**, *L'impact de la morphologie des tissus urbains sur le confort thermique extérieur, Cas d'étude ville de Tolga*, mémoire de magister, université de Biskra.
- MAKAREMI. N, SALLEH. E, JAAFAR. M.Z, HOSEINI. A.H.G (2012)**, Thermal comfort conditions of shaded outdoor spaces in hot and humid climate of Malaysia, *Building and*

Environment, Vol.48, pp.7-14.

MATZARAKIS. A, HÄMMERLE. M, GÁL. T, UNGER. J (2011), Comparison of models calculating the sky view factor used for urban climate investigations, *Theoretical of Applied Climatology*, Vol.105, pp.521–527.

MATZARAKIS. A, MAYER. H, IZIOMON M. G (1999), Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature, *International Journal of Biometeorology*, Vol.43, pp. 76–84.

MATZARAKIS. A, RayMan A tool for Applied Climatology, *RayMan help*.

MATZARAKIS. A, RUTZ. F, MAYER. H (2010), Modeling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model, *International Journal of Biometeorology*, Vol.54, pp.131–139.

MAYER.H, HÖPPE. P (1987), Thermal comfort of man in different urban environments, *Theoretical of Applied Climatology*, Vol. 38, pp. 43–49.

MERLIN. P, CHOAY. F (2009), *dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement*, Ed. Presses universitaires De France, 963 pages.

MESTAYER. P, ANQUETIN. S (1995), *Diffusion and transport of pollutants in atmospheric mesoscale flow fields*, Ed. Springer, Dordrecht.

MICHAEL BRUSE (2000), *The influences of local environmental design on microclimate*, thèse de doctorat, Université de Bochum, Allemagne. .

MILLS. G M (2005), An urban canopy-layer model, *Theoretical and Applied Climatology*, Vol.57, pp.229-244.

Msellem. H (2007), *Le confort thermique entre perception et évaluation par les techniques d'analyse bioclimatique, Cas des lieux de travail à Biskra*. Mémoire de magister, université de Biskra.

MUSY. M (2014), *Une ville verte : les rôles du végétale en ville*. Ed.QUAE, 200 p.

NAJJAR. G, KASTENDEUCH. P, GRUSSENMEYER. P (2010), Topographie et climatologie urbaine, *Revue XYZ*, n° 123 – 2e trimestre.

NAKAMURA. Y., OKE T.R (1988), Wind, temperature and stability conditions in an east west oriented urban canyon, *Atmospheric Environment*, vol. 22, n°12, pp. 2691-2700.

NDETTO E. L, MATZARAKIS. A (2013), Effects of Urban Configuration on Human Thermal Conditions in a Typical Tropical African Coastal City, *Hindawi Publishing Corporation Advances in Meteorology*, Vol.2013, 12 p.

- NIKOLOPOULOU. M, BAKER. N, STEEMERS. K (2001)**, Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter, *Solar Energy*, Vol. 70, n° 03, pp. 227–235.
- NIKOLOPOULOU. M (2004)**, Designing open spaces in the urban environment: A bioclimatic approach, pp.22-26.
- NIKOLOPOULOU. M, LYKOUDIS. S, KIKIRA. M (2003)**, Thermal comfort in outdoor spaces: field studies in Greece, *5th International Conference on Urban Climate*.
- NIKOLOPOULOU. M, STEEMERS. K (2003)**, Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces, *Energy and Buildings*, Vol.35, n°01, pp.95–10.
- NIKOLOPOULOU. M (2004)**, Designing open spaces in the urban environment: A bioclimatic approach, pp.22-26.
- OKE T.R (1973)**, City size and the urban heat island, *Atmospheric environment*, Vol. 7, n°8, pp. 769- 779.
- OKE T.R. (2006)**, initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites, *World Meteorological Organization*.
- OKE. T.R (1981)**, Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations, *J Climatol*, n°01, pp.237- 254.
- OKE. T.R (1988)**, Street design and urban canopy layer climate. *Energy and building*, vol. 11, pp. 103-113.
- OKE.T.R (1987)**, *Boundary layer climates*. Ed. Routledge, London, 423p.
- PALLADIO.A (1980)**, *Les quatre livres d'architecture*, Ed. Arthaud, Paris.
- PANERAI. P, MANGIN.D (1999)**, *Projet urbain*, Ed. Parenthèse, 185p.
- PEARLMUTTER. D, BERLINER. P, SHAVIV. E (2005)**, Evaluation of urban surface energy fluxes using an open-air scale model, *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 44, n° 04, pp.532-545.
- PRIGENT. X, LE CABELLEC. A.L, LE THIEC. A (2007)**, *La forme urbaine et l'enjeu de sa qualité*, Ed Lavoisier, 90p.
- RAVEREAU. A, FATHY.H (1981)**, *Le M'Zab, une leçon d'architecture*, Ed. SINDBAD, 220 p.
- REITER. S (2007)**, *Elaboration d'outils méthodologiques et techniques d'aide à la conception des ambiances urbaines de qualité pour favoriser le développement durable des villes*. Thèse de doctorat, Université de Louvain.

- REMY. A (2004)**, *Morphologie urbaine. Géographie, aménagement et architecture de la ville*, Ed. Armand Colin, Paris, 256p.
- SANTAMORIS. M (2001)**, Thermal Balance in the urban environment, Energy and climate in the urban built environment, *James & James*, London, pp. 39-47.
- SANTAMOURIS. M, DOULOS. L, LIVADA. I (2004)**, Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials, *Solar Energy*, Vol.77, pp.231–249.
- SEBTI. M, (2011)**, *Le ksar entre adaptation bioclimatique et transformation au Bas Sahara Cas d'étude : ksar de Ouargla*, mémoire de magister, université de Biskra.
- SEBTI. M, ALKAMA. D, BOUCHAIR. A (2013)**, Assessment of the effect of modern transformation on the traditional settlement 'Ksar' of Ouargla in southern Algeria, *Frontiers of Architectural Research*, n° 02, pp. 322-337.
- SHISHEGAR. N (2013)**, Street design and urban microclimate, *Journal of Clean Energy Technologies*, Vol. 01, n° 01, pp. 52-56.
- SOUICI.M (2009)**, Méthodologie de réhabilitation et de reconstruction des ksour, *Atelier International de Formation sur les Risques Majeurs et les Catastrophes Naturelles Stratégies de prévention et de protection*, pp.235-241.
- STATHOPOULOS. T, WU. H, ZACHARIAS. J (2004)**, Outdoor human comfort in an urban climate, *Building and Environment*, Vol.39, pp. 297-305.
- TAHA. H, DOUGLAS. S, HANEY. J (1997)**, Mesoscale meteorological and air quality impacts of increased urban albedo and vegetation, *Energy and Buildings*, Vol.25, pp. 169-177.
- TAHA.H (1997)**, Modeling the impacts of large-scale albedo changes on ozone air quality in the South Coast Air Basin, *Atmospheric environment*, vol. 11, no. 31, pages 1667-1676.
- THORSSON. S, LINDBERG. F, ELIASSON. I, HOLMER. B (2007)**, Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting. *International Journal of Biometeorology*, Vol.27, pp.1983-1993.
- THORSSON. S, LINDBERG. F, ELIASSON. I, HOLMER. B (2007)**, Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting. *International Journal of Biometeorology*, Vol.27, pp.1983-1993.
- THORSSON. S, LINDQVIST. M, LINDQVIST. S (2004)**, Thermal bioclimatic conditions and patterns of behavior in an urban park in Goteborg, Sweden, *international journal of biometeorology*, Vol.48, pp. 149-156.
- TSOKA. S (2011)**, *Relations entre morphologie urbaine, microclimat et confort des piétons, Application au cas des éco-quartiers*, mémoire de master STEU, Ecole supérieurs d'architecture de Nantes, Université de Nantes.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (2008)**, reducing urban heat islands: compendium of strategies, urban heat island basics. Ed. *USEPA, Washington*, 19 p.

VINET. J (2002), *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, l'Ecole d'Architecture de Nantes.

ZEROULA. I (2009), *la qualité des espaces extérieurs dans les cités collectives, cas de la cité des 500 logements, El Alia, Biskra*, mémoire de magistère en architecture, université de Biskra.

Sites web:

- <https://www.wunderground.com> (Consulté 19/09/2016)
- <http://www.opvm.dz> (Consulté 16/06/2019)
- www.meteoblue.com (Consulté 04/05/2016)

Cours en ligne :

MATZARAKIS. A (2005), Rayman: possibilities and limitations, *Meteorological Institute Faculty of Forest and Environmental Sciences*. Disponible sur le lien: (<https://fr.scribd.com/document/143187554/Rayman-Manual-Small>)

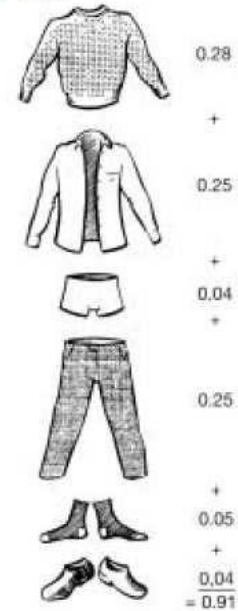
ANNEXES

ANNEXE 01 : LES VALEURS DE LA RESISTANCE D'HABILLEMENT (CLO). SOURCE: INNOVA BOOKLET, 2002

Garment description		I_{cl} Clo	I_{cl} m ² °C/W
Jacket	Vest	0.13	0.020
	Light summer jacket	0.25	0.039
	Jacket	0.35	0.054
	Smock	0.30	0.047
Coats and overjackets and overtrousers	Coat	0.60	0.093
	Down jacket	0.55	0.085
	Parka	0.70	0.109
	Overalls multi-component	0.52	0.081
Sundries	Socks	0.02	0.003
	Thick, ankle socks	0.05	0.008
	Thick, long socks	0.10	0.016
	Slippers, quilted fleece	0.03	0.005
	Shoes (thin soled)	0.02	0.003
	Shoes (thick soled)	0.04	0.006
	Boots	0.10	0.016
Skirts, dresses	Gloves	0.05	0.008
	Light skirt, 15 cm. above knee	0.10	0.016
	Light skirt, 15 cm. below knee	0.18	0.028
	Heavy skirt, knee-length	0.25	0.039
Sleepwear	Light dress, sleeveless	0.25	0.039
	Winter dress long sleeves	0.40	0.062
	Long sleeve, long gown	0.30	0.047
	Thin strap, short gown	0.15	0.023
	Hospital gown	0.31	0.048
	Long sleeve, long pyjamas	0.50	0.078
Robes	Body sleep with feet	0.72	0.112
	Undershorts	0.10	0.016
Chairs	Long sleeve, wrap, long	0.53	0.082
	Long sleeve, wrap, short	0.41	0.064
	Wooden or metal	0.00	0.000
Chairs	Fabric-covered, cushioned, swivel	0.10	0.016
	Armchair	0.20	0.032

The insulation for the entire clothing:

$$I_{cl} = \sum I_{cl}$$



Garment description		I_{cl} Clo	I_{cl} m ² °C/W
Underwear, pants	Pantyhose	0.02	0.003
	Panties	0.03	0.005
	Briefs	0.04	0.006
	Pants 1/2 long legs, wool	0.06	0.009
	Pants long legs	0.10	0.016
Underwear, shirts	Bra	0.01	0.002
	Shirt sleeveless	0.06	0.009
	T-shirt	0.09	0.014
	Shirt with long sleeves	0.12	0.019
	Half-slip, nylon	0.14	0.022
Shirts	Tube top	0.06	0.009
	Short sleeve	0.09	0.029
	Light weight blouse, long sleeves	0.15	0.023
	Light weight, long sleeves	0.20	0.031
	Normal, long sleeves	0.25	0.039
	Flannel shirt, long sleeves	0.30	0.047
Trousers	Long sleeves, turtleneck blouse	0.34	0.053
	Shorts	0.06	0.009
	Walking shorts	0.11	0.017
	Light-weight trousers	0.20	0.031
	Normal trousers	0.25	0.039
Coveralls	Flannel trousers	0.28	0.043
	Overalls	0.28	0.043
Highly-insulating coveralls	Daily wear, belted	0.49	0.076
	Work	0.50	0.078
Sweaters	Multi-component, filling	1.03	0.160
	Fibre-pelt	1.13	0.175
	Sleeveless vest	0.12	0.019
	Thin sweater	0.20	0.031
	Long sleeves, turtleneck (thin)	0.26	0.040
	Sweater	0.28	0.043
Sweaters	Thick sweater	0.35	0.054
	Long sleeves, turtleneck (thick)	0.37	0.057

The insulation for the entire clothing:

$$I_{cl} = \sum I_{cl}$$



**ANNEXE 02 : CHALEUR METABOLIQUE SELON DIFFERENTES
ACTIVITES. SOURCE: ASHRAE, 1997**

<i>Activités</i>	<i>Chaleur métabolique</i>	
	<i>W</i>	<i>met</i>
Dormant	75	0,7
Au repos, assis	110	1,0
Au bureau	110–145	1,0–1,4
Marche lente	135–180	1,3–1,7
Ménage	210–360	2,0–3,4
Marche rapide	270–395	2,6–3,8
Travaux manuels	425–505	4,0–4,8

(Source : ASHRAE 1997)

ANNEXE 03 : LA TEMPERATURE DE L'AIR MOYENNE DU MOIS DE JUIN D'UNE DECENNIE (2006-2015)

mois _jour	juin- 2006	juin- 2007	juin- 2008	juin- 2009	juin- 2010	juin- 2011	juin- 2012	juin- 2013	juin- 2014	juin- 2015	moyenne
1	22	29	30	29	30	26	28	24	30	26	27,4
2	22	26	28	33	32	24	30	23	23	26	26,7
3	22	22	26	29	32	24	30	27	24	26	26,2
4	22	24	25	29	31	26	32	26	24	26	26,5
5	24	24	26	31	28	26	31	28	26	30	27,4
6	26	29	27	32	29	28	30	30	28	28	28,7
7	28	34	26	30	32	27	34	28	30	30	29,9
8	28	30	26	30	32	26	33	28	31	30	29,4
9	30	28	27	32	35	26	34	28	30	30	30
10	30	30	28	32	38	28	31	27	30	31	30,5
11	28	32	28	32	34	28	30	28	29	34	30,3
12	26	30	28	34	31	27	33	28	29	38	30,4
13	26	34	28	32	32	28	32	29	29	31	30,1
14	28	33	28	33	31	30	32	30	24	32	30,1
15	30	34	28	30	28	30	34	31	30	32	30,7
16	32	32	33	32	29	28	37	34	31	32	32
17	36	32	38	31	32	30	34	33	28	33	32,7
18	36	34	35	31	32	32	32	35	28	28	32,3
19	34	38	32	32	30	34	34	34	30	28	32,6
20	30	37	30	34	28	32	35	32	33	30	32,1
21	34	37	30	32	28	32	36	33	34	30	32,6
22	34	38	31	30	28	32	36	33	32	30	32,4
23	36	40	31	33	26	32	36	30	31	32	32,7
24	37	38	31	32	30	32	37	30	36	36	33,9
25	36	36	36	32	31	34	34	29	32	33	33,3
26	37	36	34	32	30	32	34	30	30	31	32,6
27	40	35	33	31	30	30	34	28	30	32	32,3
28	40	32	32	31	31	29	36	28	32	30	32,1
29	38	32	32	32	30	32	37	27	34	33	32,7
30	38	34	32	33	32	35	36	28	34	33	33,5

ANNEXE 04 : LA TEMPERATURE DE L'AIR MOYENNE DU MOIS DE JUILLET D'UNE DECENNIE (2006-2015)

mois _jour	juil- 2006	juil- 2007	juil- 2008	juil- 2009	juil- 2010	juil- 2011	juil- 2012	juil- 2013	juil- 2014	juil- 2015	moyenne
1	36	33	32	34	31	35	34	28	30	33	32,6
2	35	32	32	32	32	34	34	29	32	32	32,4
3	35	34	34	34	34	35	35	32	34	32	33,9
4	39	34	36	35	34	34	36	34	38	33	35,3
5	37	35	37	36	34	35	36	25	38	31	34,4
6	36	30	37	36	34	31	37	30	34	30	33,5
7	36	31	38	36	32	32	38	30	36	30	33,9
8	36	32	40	36	34	34	38	31	38	32	35,1
9	32	36	40	34	34	36	38	32	34	36	35,2
10	32	37	40	32	34	38	38	34	32	34	35,1
11	32	32	40	34	34	38	40	32	30	34	34,6
12	32	28	40	35	34	37	40	34	30	33	34,3
13	32	29	39	36	34	38	40	36	34	34	35,2
14	34	31	38	35	38	35	39	36	32	35	35,3
15	34	32	34	36	36	32	38	32	34	34	34,2
16	33	31	34	36	36	34	36	33	32	33	33,8
17	32	30	34	36	36	35	34	34	33	32	33,6
18	31	31	36	36	38	35	31	34	32	34	33,8
19	32	33	35	31	36	38	32	33	33	32	33,5
20	33	34	34	32	34	36	34	34	36	36	34,3
21	34	34	36	34	36	34	36	37	35	35	35,1
22	33	34	36	36	37	36	36	36	32	37	35,3
23	33	34	32	36	38	35	30	34	31	35	33,8
24	34	34	32	36	37	32	29	34	33	33	33,4
25	35	34	35	36	35	30	30	34	36	35	34
26	35	34	36	36	30	30	34	36	38	36	34,5
27	35	34	33	36	30	31	37	37	38	36	34,7
28	34	34	32	37	31	34	36	36	33	36	34,3
29	36	34	34	37	34	34	38	34	36	36	35,3
30	36	34	34	37	33	32	38	36	34	37	35,1
31	34	40	34	34	34	32	36	33	33	37	34,7

ANNEXE 05 : LA TEMPERATURE DE L'AIR MOYENNE DU MOIS D'AOUT D'UNE DECENNIE (2006-2015)

mois jour	aout 2006	aout 2007	aout 2008	aout 2009	aout 2010	aout 2011	aout2 012	aout2 013	aout2 014	aout 2015	moyenne
1	36	24	32	34	33	32	36	32	33	38	33
2	36	33	34	34	34	34	38	32	36	38	34,9
3	36	34	31	36	36	35	39	33	38	38	35,6
4	36	35	34	34	34	34	38	32	37	36	35
5	32	34	36	34	32	35	38	34	38	36	34,9
6	32	31	36	33	32	35	40	34	33	37	34,3
7	32	32	34	34	34	36	37	34	32	36	34,1
8	31	37	35	34	34	39	37	32	32	35	34,6
9	30	35	35	35	32	38	38	34	32	35	34,4
10	28	30	33	36	32	33	38	32	34	35	33,1
11	30	30	34	37	34	31	38	30	36	34	33,4
12	33	32	36	38	34	32	34	30	38	36	34,3
13	35	34	38	38	34	32	36	32	38	35	35,2
14	32	34	37	37	35	34	38	33	38	34	35,2
15	34	34	38	38	34	36	36	30	34	32	34,6
16	34	..	32	38	34	32	38	32	34	33	34,11
17	36	37	32	36	34	32	40	33	32	31	34,3
18	38	34	34	34	34	32	36	28	32	34	33,6
19	40	36	36	34	38	32	32	32	34	32	34,6
20	38	34	36	32	36	32	32	33	36	32	34,1
21	35	38	35	32	35	32	32	30	36	32	33,7
22	34	32	34	32	36	32	32	27	34	32	32,5
23	36	36	33	32	34	32	32	29	34	30	32,8
24	35	34	32	34	34	34	34	32	33	34	33,6
25	36	33	32	35	36	34	34	33	32	36	34,1
26	34	32	32	36	34	34	36	33	33	33	33,7
27	32	34	30	36	34	35	34	33	34	36	33,8
28	31	34	30	32	35	32	32	32	34	32	32,4
29	32	34	31	32	34	32	31	30	33	30	31,9
30	32	36	32	32	33	32	32	32	33	30	32,4
31	32	..	32	31	32	33	32	30	32	32	31,77

ANNEXE 06 : RESULTAT DE SIMULATION « RAYMAN » :

RayMan Pro 2.1 © 1999 - 2010

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

Place:**station 01**

Geogr. Longitude:5°43' latitude: 34°51' time zone: UTC +1.0 h

Horizon limitation: 94.6% sky view factor (RayMan):0.054

Personal Data: height: 1.84 Weight: 88 Age: 23 sex: m clothing: 0.38

Activity: 180.0W

Date	Time	Gact	Sact	E	Ts	Ta	RH	V	Tmrt	PMV	PET
d.m.yyyy	h:mm	w/m ²	w/m ²	w/m ²	°C	°C	%	m/s	°C		°C
30.07.2016	14:00	182.6	0.0	554.5	41.5	38,44	17,8	1,5	39,23	3.7	40.6

RayMan Pro 2.1 © 1999 - 2010

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

Place:**station 02**

Geogr. Longitude:5°43' latitude: 34°51' time zone: UTC +1.0 h

Horizon limitation: 77.8% sky view factor (RayMan):0.222

Personal Data: height: 1.84 Weight: 88 Age: 23 sex: m clothing: 0.38

Activity: 180.0W

Date	Time	Gact	Sact	E	Ts	Ta	RH	V	Tmrt	PMV	PET
d.m.yyyy	h:mm	w/m ²	w/m ²	w/m ²	°C	°C	%	m/s	°C		°C
30.07.2016	14:10	865.4	780.2	703.6	61.7	40,1	16,54	0,42	40,82	3.9	41.6

RayMan Pro 2.1 © 1999 - 2010

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

Place:**station 03**

Geogr. Longitude:5°43' latitude: 34°51' time zone: UTC +1.0 h

Horizon limitation: 72.3% sky view factor (RayMan):0.277

Personal Data: height: 1.87 Weight: 80 Age: 54 sex: m clothing: 0.48

Activity: 180.0W

Date	Time	Gact	Sact	E	Ts	Ta	RH	V	Tmrt	PMV	PET
d.m.yyyy	h:mm	w/m ²	w/m ²	w/m ²	°C	°C	%	m/s	°C		°C
30.07.2016	14:25	838.9	750.2	709.3	62.4	42,52	14,22	0,54	60,48	6.9	53.6

RayMan Pro 2.1 © 1999 - 2010

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

Place: **station 04**

Geogr. Longitude: 5°43' latitude: 34°51' time zone: UTC +1.0 h

Horizon limitation: 99.4% sky view factor (RayMan): 0.006

Personal Data: height: 1.62 Weight: 66 Age: 54 sex: f clothing: 0.53

Activity: 180.0W

Date	Time	Gact	Sact	E	Ts	Ta	RH	V	Tmrt	PMV	PET
d.m.yyyy	h:mm	w/m ²	w/m ²	w/m ²	°C	°C	%	m/s	°C		°C
30.07.2016	14:42	171.6	0.0	559.5	42.2	38,76	17,12	1,1	38,97	4.3	40.3

RayMan Pro 2.1 © 1999 - 2010

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

Place: **station 05**

Geogr. Longitude: 5°43' latitude: 34°51' time zone: UTC +1.0 h

Horizon limitation: 78.8% sky view factor (RayMan): 0.211

Personal Data: height: 1.80 Weight: 83 Age: 29 sex: m clothing: 0.38

Activity: 180.0W

Date	Time	Gact	Sact	E	Ts	Ta	RH	V	Tmrt	PMV	PET
d.m.yyyy	h:mm	w/m ²	w/m ²	w/m ²	°C	°C	%	m/s	°C		°C
30.07.2016	14:56	172.4	0.0	565.2	43.1	41,1	15,52	2,5	42,44	5.1	45.7

RayMan Pro 2.1 © 1999 - 2010

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

Place: **station 06**

Geogr. Longitude: 5°43' latitude: 34°51' time zone: UTC +1.0 h

Horizon limitation: 98.5% sky view factor (RayMan): 0.016

Personal Data: height: 1.80 Weight: 83 Age: 29 sex: m clothing: 0.38

Activity: 180.0W

Date	Time	Gact	Sact	E	Ts	Ta	RH	V	Tmrt	PMV	PET
d.m.yyyy	h:mm	w/m ²	w/m ²	w/m ²	°C	°C	%	m/s	°C		°C
30.07.2016	15:10	172.1	0.0	546.1	40.3	38,2	16,98	3,22	40,25	3.9	41.5

RayMan Pro 2.1 © 1999 - 2010

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

Place: **station 07**

Geogr. Longitude: 5°43' latitude: 34°51' time zone: UTC +1.0 h

Horizon limitation: 89.6% sky view factor (RayMan): 0.104

Personal Data: height: 1.77 Weight: 78 Age: 68 sex: m clothing: 0.64

Activity: 70.0W

Date	Time	Gact	Sact	E	Ts	Ta	RH	V	Tmrt	PMV	PET
d.m.yyyy	h:mm	w/m ²	w/m ²	w/m ²	°C	°C	%	m/s	°C		°C
30.07.2016	15:22	155.7	0.0	568.9	43.6	39,8	16,28	0,36	41,99	3.6	41.9

RayMan Pro 2.1 © 1999 - 2010

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

Place: **station 08**

Geogr. Longitude: 5°43' latitude: 34°51' time zone: UTC +1.0 h

Horizon limitation: 81.7% sky view factor (RayMan): 0.181

Personal Data: height: 1.58 Weight: 65 Age: 58 sex: f clothing: 0.53

Activity: 70.0W

Date	Time	Gact	Sact	E	Ts	Ta	RH	V	Tmrt	PMV	PET
d.m.yyyy	h:mm	w/m ²	w/m ²	w/m ²	°C	°C	%	m/s	°C		°C
30.07.2016	15:30	817.5	732.9	724.9	64.1	45,26	11,94	0,58	59,17	7.6	54.5

RayMan Pro 2.1 © 1999 - 2010

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

Place: **station 09**

Geogr. Longitude: 5°43' latitude: 34°51' time zone: UTC +1.0 h

Horizon limitation: 85.7% sky view factor (RayMan): 0.144

Personal Data: height: 1.84 Weight: 89 Age: 23 sex: m clothing: 0.38

Activity: 180.0W

Date	Time	Gact	Sact	E	Ts	Ta	RH	V	Tmrt	PMV	PET
d.m.yyyy	h:mm	w/m ²	w/m ²	w/m ²	°C	°C	%	m/s	°C		°C
30.07.2016	15:40	149.2	0.0	584.5	45.8	42,54	13,96	0,42	42,58	4.6	44

RayMan Pro 2.1 © 1999 - 2010

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

Place: **station 10**

Geogr. Longitude: 5°43' latitude: 34°51' time zone: UTC +1.0 h

Horizon limitation: 84.9% sky view factor (RayMan): 0.151

Personal Data: height: 1.60 Weight: 65 Age: 49 sex: f clothing: 0.53

Activity: 180.0W

Date	Time	Gact	Sact	E	Ts	Ta	RH	V	Tmrt	PMV	PET
d.m.yyyy	h:mm	w/m ²	w/m ²	w/m ²	°C	°C	%	m/s	°C		°C
30.07.2016	15:50	144.5	0.0	563.4	42.8	40,18	15,14	0,92	42,1	5.1	42.8

RayMan Pro 2.1 © 1999 - 2010

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

Place: **station 11**

Geogr. Longitude: 5°43' latitude: 34°51' time zone: UTC +1.0 h

Horizon limitation: 77.8% sky view factor (RayMan): 0.222

Personal Data: height: 1.88 Weight: 85 Age: 69 sex: m clothing: 0.64

Activity: 70.0W

Date	Time	Gact	Sact	E	Ts	Ta	RH	V	Tmrt	PMV	PET
d.m.yyyy	h:mm	w/m ²	w/m ²	w/m ²	°C	°C	%	m/s	°C		°C
30.07.2016	15:55	148.7	0.0	587.7	46.2	43,9	14,02	1,08	59,16	4.7	53.6

RayMan Pro 2.1 © 1999 - 2010

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

Place: **station 12**

Geogr. Longitude: 5°43' latitude: 34°51' time zone: UTC +1.0 h

Horizon limitation: 39% sky view factor (RayMan): 0.610

Personal Data: height: 1.85 Weight: 90 Age: 47 sex: m clothing: 0.48

Activity: 180.0W

Date	Time	Gact	Sact	E	Ts	Ta	RH	V	Tmrt	PMV	PET
d.m.yyyy	h:mm	w/m ²	w/m ²	w/m ²	°C	°C	%	m/s	°C		°C
30.07.2016	16:00	626.9	516.5	654.9	55.6	44,56	13,06	1,1	64,07	7.2	57.1

RayMan Pro 2.1 © 1999 - 2010

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

Place: **station 13**

Geogr. Longitude: 5°43' latitude: 34°51' time zone: UTC +1.0 h

Horizon limitation: 76.6% sky view factor (RayMan): 0.224

Personal Data: height: 1.87 Weight: 92 Age: 20 sex: m clothing: 0.48

Activity: 180.0W

Date	Time	Gact	Sact	E	Ts	Ta	RH	V	Tmrt	PMV	PET
d.m.yyyy	h:mm	w/m ²	w/m ²	w/m ²	°C	°C	%	m/s	°C		°C
31.07.2016	14:00	865.9	780.2	716.2	63.1	44,56	13,78	0,8	57,02	6.8	53.3

RayMan Pro 2.1 © 1999 - 2010

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

Place: **station 14**

Geogr. Longitude: 5°43' latitude: 34°51' time zone: UTC +1.0 h

Horizon limitation: 98.6% sky view factor (RayMan): 0.014

Personal Data: height: 1.87 Weight: 92 Age: 20 sex: m clothing: 0.48

Activity: 180.0W

Date	Time	Gact	Sact	E	Ts	Ta	RH	V	Tmrt	PMV	PET
d.m.yyyy	h:mm	w/m ²	w/m ²	w/m ²	°C	°C	%	m/s	°C		°C
31.07.2016	14:10	180.8	0.0	556.7	41.8	39	17,8	2,02	40,14	3.8	41.7

RayMan Pro 2.1 © 1999 - 2010

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

Place: **station 15**

Geogr. Longitude: 5°43' latitude: 34°51' time zone: UTC +1.0 h

Horizon limitation: 99.8% sky view factor (RayMan): 0.002

Personal Data: height: 1.79 Weight: 83 Age: 24 sex: m clothing: 0.38

Activity: 70.0W

Date	Time	Gact	Sact	E	Ts	Ta	RH	V	Tmrt	PMV	PET
d.m.yyyy	h:mm	w/m ²	w/m ²	w/m ²	°C	°C	%	m/s	°C		°C
31.07.2016	14:20	164.1	0.0	562.2	42.6	38,56	18	0,46	38,56	3.3	39.7

RayMan Pro 2.1 © 1999 - 2010

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

Place: **station 16**

Geogr. Longitude: 5°43' latitude: 34°51' time zone: UTC +1.0 h

Horizon limitation: 57.9% sky view factor (RayMan): 0.421

Personal Data: height: 1.84 Weight: 89 Age: 55 sex: m clothing: 0.48

Activity: 180.0W

Date	Time	Gact	Sact	E	Ts	Ta	RH	V	Tmrt	PMV	PET
d.m.yyyy	h:mm	w/m ²	w/m ²	w/m ²	°C	°C	%	m/s	°C		°C
31.07.2016	14:30	191.5	0.0	586.7	46.3	43,1	14,02	0,64	59,68	7.0	53.5

RayMan Pro 2.1 © 1999 - 2010

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

Place: **station 17**

Geogr. Longitude: 5°43' latitude: 34°51' time zone: UTC +1.0 h

Horizon limitation: 72.3% sky view factor (RayMan): 0.276

Personal Data: height: 1.84 Weight: 89 Age: 55 sex: m clothing: 0.48

Activity: 180.0W

Date	Time	Gact	Sact	E	Ts	Ta	RH	V	Tmrt	PMV	PET
d.m.yyyy	h:mm	w/m ²	w/m ²	w/m ²	°C	°C	%	m/s	°C		°C
31.07.2016	14:40	181.4	0.0	584.6	45.9	42,94	13,38	1,1	63,73	7.5	55.8

RayMan Pro 2.1 © 1999 - 2010

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

Place: **station 18**

Geogr. Longitude: 5°43' latitude: 34°51' time zone: UTC +1.0 h

Horizon limitation: 75.1% sky view factor (RayMan): 0.249

Personal Data: height: 1.84 Weight: 89 Age: 55 sex: m clothing: 0.48

Activity: 180.0W

Date	Time	Gact	Sact	E	Ts	Ta	RH	V	Tmrt	PMV	PET
d.m.yyyy	h:mm	w/m ²	w/m ²	w/m ²	°C	°C	%	m/s	°C		°C
31.07.2016	14:50	176.5	0.0	594.1	47.1	44,38	13,46	1,22	57,77	7.2	54.1

RayMan Pro 2.1 © 1999 - 2010

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

Place: **station 19**

Geogr. Longitude: 5°43' latitude: 34°51' time zone: UTC +1.0 h

Horizon limitation: 77.5% sky view factor (RayMan): 0.225

Personal Data: height: 1.70 Weight: 95 Age: 45 sex: f clothing: 0.53

Activity: 70.0W

Date	Time	Gact	Sact	E	Ts	Ta	RH	V	Tmrt	PMV	PET
d.m.yyyy	h:mm	w/m ²	w/m ²	w/m ²	°C	°C	%	m/s	°C		°C
31.07.2016	15:00	781.2	693.8	636.6	53.1	40,8	14,82	1,94	62,72	6.8	53.1

RayMan Pro 2.1 © 1999 - 2010

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

Place: **station 20**

Geogr. Longitude: 5°43' latitude: 34°51' time zone: UTC +1.0 h

Horizon limitation: 37.3% sky view factor (RayMan): 0.627

Personal Data: height: 1.77 Weight: 75 Age: 67 sex: m clothing: 0.53

Activity: 180.0W

Date	Time	Gact	Sact	E	Ts	Ta	RH	V	Tmrt	PMV	PET
d.m.yyyy	h:mm	w/m ²	w/m ²	w/m ²	°C	°C	%	m/s	°C		°C
31.07.2016	15:07	763.7	654.9	656.0	55.9	42	14,92	1,08	68,24	7.9	57.9

RayMan Pro 2.1 © 1999 - 2010

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

Place: **station 21**

Geogr. Longitude: 5°43' latitude: 34°51' time zone: UTC +1.0 h

Horizon limitation: 75.1% sky view factor (RayMan): 0.249

Personal Data: height: 1.84 Weight: 95 Age: 30 sex: m clothing: 0.38

Activity: 180.0W

Date	Time	Gact	Sact	E	Ts	Ta	RH	V	Tmrt	PMV	PET
d.m.yyyy	h:mm	w/m ²	w/m ²	w/m ²	°C	°C	%	m/s	°C		°C
31.07.2016	15:15	725.0	635.8	694.6	60.5	42,66	13,38	0,38	51,25	5.9	48.7

RayMan Pro 2.1 © 1999 - 2010

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

Place: **station 22**

Geogr. Longitude: 5°43' latitude: 34°51' time zone: UTC +1.0 h

Horizon limitation: 54.1% sky view factor (RayMan): 0.459

Personal Data: height: 1.84 Weight: 95 Age: 30 sex: m clothing: 0.38

Activity: 180.0W

Date	Time	Gact	Sact	E	Ts	Ta	RH	V	Tmrt	PMV	PET
d.m.yyyy	h:mm	w/m ²	w/m ²	w/m ²	°C	°C	%	m/s	°C		°C
31.07.2016	15:23	716.7	616.0	674.5	58.0	44,8	12,16	1,12	61,59	7.8	56.4

RayMan Pro 2.1 © 1999 - 2010

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

Place: **station 23**

Geogr. Longitude: 5°43' latitude: 34°51' time zone: UTC +1.0 h

Horizon limitation: 46% sky view factor (RayMan): 0.540

Personal Data: height: 1.84 Weight: 95 Age: 30 sex: m clothing: 0.38

Activity: 180.0W

Date	Time	Gact	Sact	E	Ts	Ta	RH	V	Tmrt	PMV	PET
d.m.yyyy	h:mm	w/m ²	w/m ²	w/m ²	°C	°C	%	m/s	°C		°C
31.07.2016	15:30	703.4	598.0	680.3	58.9	42,58	14,7	0,36	60,14	7.2	53.5

RayMan Pro 2.1 © 1999 - 2010

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

Place: **station 24**

Geogr. Longitude: 5°43' latitude: 34°51' time zone: UTC +1.0 h

Horizon limitation: 99.9% sky view factor (RayMan): 0.001

Personal Data: height: 1.87 Weight: 80 Age: 42 sex: m clothing: 0.48

Activity: 70.0W

Date	Time	Gact	Sact	E	Ts	Ta	RH	V	Tmrt	PMV	PET
d.m.yyyy	h:mm	w/m ²	w/m ²	w/m ²	°C	°C	%	m/s	°C		°C
31.07.2016	15:40	140.7	0.0	561.4	42.5	39,52	16,62	0,94	39,88	3.7	41.3

RayMan Pro 2.1 © 1999 - 2010

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

Place: **station 25**

Geogr. Longitude: 5°43' latitude: 34°51' time zone: UTC +1.0 h

Horizon limitation: 41.3% sky view factor (RayMan): 0.587

Personal Data: height: 1.77 Weight: 80 Age: 21 sex: m clothing: 0.38

Activity: 180.0W

Date	Time	Gact	Sact	E	Ts	Ta	RH	V	Tmrt	PMV	PET
d.m.yyyy	h:mm	w/m ²	w/m ²	w/m ²	°C	°C	%%	m/s	°C		°C
31.07.2016	15:50	679.8	571.3	655.3	55.7	43,06	13,58	1	62,88	7.5	55.8

RayMan Pro 2.1 © 1999 - 2010

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

Place: **station 26**

Geogr. Longitude: 5°43' latitude: 34°51' time zone: UTC +1.0 h

Horizon limitation: 78.9% sky view factor (RayMan): 0.211

Personal Data: height: 1.77 Weight: 80 Age: 21 sex: m clothing: 0.38

Activity: 180.0W

Date	Time	Gact	Sact	E	Ts	Ta	RH	V	Tmrt	PMV	PET
d.m.yyyy	h:mm	w/m ²	w/m ²	w/m ²	°C	°C	%	m/s	°C		°C
31.07.2016	16:00	142.5	0.0	564.4	43.0	40,84	15,02	1,2	42,96	4.7	44.4

RayMan Pro 2.1 © 1999 - 2010

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

Place: **station 27**

Geogr. Longitude: 5°43' latitude: 34°51' time zone: UTC +1.0 h

Horizon limitation: 77.5% sky view factor (RayMan): 0.225

Personal Data: height: 1.60 Weight: 75 Age: 58 sex: f clothing: 0.53

Activity: 180.0W

Date	Time	Gact	Sact	E	Ts	Ta	RH	V	Tmrt	PMV	PET
d.m.yyyy	h:mm	w/m ²	w/m ²	w/m ²	°C	°C	%	m/s	°C		°C
01.08.2016	14:00	863.4	778.3	676.3	58.2	41,76	13,3	1,18	62,53	7.1	54.0

RayMan Pro 2.1 © 1999 - 2010

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

Place: **station 28**

Geogr. Longitude: 5°43' latitude: 34°51' time zone: UTC +1.0 h

Horizon limitation: 57.2% sky view factor (RayMan): 0.428

Personal Data: height: 1.86 Weight: 82 Age: 24 sex: m clothing: 0.38

Activity: 180.0W

Date	Time	Gact	Sact	E	Ts	Ta	RH	V	Tmrt	PMV	PET
d.m.yyyy	h:mm	w/m ²	w/m ²	w/m ²	°C	°C	%	m/s	°C		°C
01.08.2016	14:10	872.5	778.3	653.7	55.4	42,14	13,1	1,9	68,82	8.1	58.6

RayMan Pro 2.1 © 1999 - 2010

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

Place: **station 29**

Geogr. Longitude: 5°43' latitude: 34°51' time zone: UTC +1.0 h

Horizon limitation: 71.5% sky view factor (RayMan): 0.285

Personal Data: height: 1.86 Weight: 82 Age: 24 sex: m clothing: 0.38

Activity: 180.0W

Date	Time	Gact	Sact	E	Ts	Ta	RH	V	Tmrt	PMV	PET
d.m.yyyy	h:mm	w/m ²	w/m ²	w/m ²	°C	°C	%	m/s	°C		°C
01.08.2016	14:20	836.9	748.2	686.5	59.6	41,68	13,32	0,76	62,54	7.2	54.5

RayMan Pro 2.1 © 1999 - 2010

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

Place: **station 30**

Geogr. Longitude: 5°43' latitude: 34°51' time zone: UTC +1.0 h

Horizon limitation: 99.9% sky view factor (RayMan): 0.001

Personal Data: height: 1.86 Weight: 82 Age: 24 sex: m clothing: 0.38

Activity: 180.0W

Date	Time	Gact	Sact	E	Ts	Ta	RH	V	Tmrt	PMV	PET
d.m.yyyy	h:mm	w/m ²	w/m ²	w/m ²	°C	°C	%	m/s	°C		°C
01.08.2016	14:30	174.2	0.0	571.1	43.9	39,64	14,5	0,5	39,62	3.8	40.9

RayMan Pro 2.1 © 1999 - 2010

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

Place: **station 31**

Geogr. Longitude: 5°43' latitude: 34°51' time zone: UTC +1.0 h

Horizon limitation: 81.4% sky view factor (RayMan): 0.186

Personal Data: height: 1.86 Weight: 82 Age: 24 sex: m clothing: 0.38

Activity: 180.0W

Date	Time	Gact	Sact	E	Ts	Ta	RH	V	Tmrt	PMV	PET
d.m.yyyy	h:mm	w/m ²	w/m ²	w/m ²	°C	°C	%	m/s	°C		°C
01.08.2016	14:40	796.8	711.9	693.2	60.3	42,52	13,02	0,68	52,86	6.2	49.9

RayMan Pro 2.1 © 1999 - 2010

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

Place: **station 32**

Geogr. Longitude: 5°43' latitude: 34°51' time zone: UTC +1.0 h

Horizon limitation: 77.9% sky view factor (RayMan): 0.221

Personal Data: height: 1.77 Weight: 95 Age: 58 sex: m clothing: 0.48

Activity: 70.0W

Date	Time	Gact	Sact	E	Ts	Ta	RH	V	Tmrt	PMV	PET
d.m.yyyy	h:mm	w/m ²	w/m ²	w/m ²	°C	°C	%	m/s	°C		°C
01.08.2016	14:55	172.7	0.0	559.1	42.3	39,36	14,5	1,08	40,45	4.0	41.8

RayMan Pro 2.1 © 1999 - 2010

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

Place: **station 33**

Geogr. Longitude: 5°43' latitude: 34°51' time zone: UTC +1.0 h

Horizon limitation: 27.9% sky view factor (RayMan): 0.721

Personal Data: height: 1.75 Weight: 78 Age: 19 sex: m clothing: 0.30

Activity: 70.0W

Date	Time	Gact	Sact	E	Ts	Ta	RH	V	Tmrt	PMV	PET
d.m.yyyy	h:mm	w/m ²	w/m ²	w/m ²	°C	°C	%	m/s	°C		°C
01.08.2016	15:15	748.7	634.5	680.4	59.0	43,38	13,9	0,62	56,84	7.1	52.6

RayMan Pro 2.1 © 1999 - 2010

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

Place: **station 34**

Geogr. Longitude: 5°43' latitude: 34°51' time zone: UTC +1.0 h

Horizon limitation: 36.8% sky view factor (RayMan): 0.632

Personal Data: height: 1.78 Weight: 84 Age: 42 sex: m clothing: 0.48

Activity: 180.0W

Date	Time	Gact	Sact	E	Ts	Ta	RH	V	Tmrt	PMV	PET
d.m.yyyy	h:mm	w/m ²	w/m ²	w/m ²	°C	°C	%	m/s	°C		°C
01.08.2016	15:30	707.0	596.6	619.3	51.0	41,72	13,9	2,26	68,83	7.3	57.4

RayMan Pro 2.1 © 1999 - 2010

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

Place: **station 35**

Geogr. Longitude: 5°43' latitude: 34°51' time zone: UTC +1.0 h

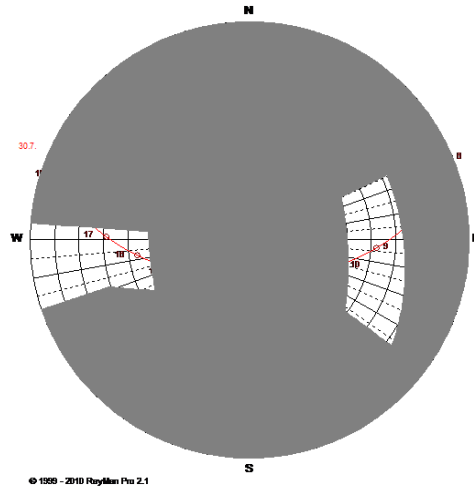
Horizon limitation: 44.4% sky view factor (RayMan): 0.556

Personal Data: height: 1.78 Weight: 84 Age: 42 sex: m clothing: 0.48

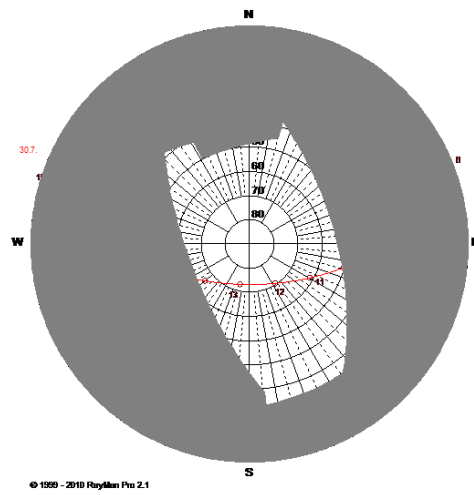
Activity: 180.0W

Date	Time	Gact	Sact	E	Ts	Ta	RH	V	Tmrt	PMV	PET
d.m.yyyy	h:mm	w/m ²	w/m ²	w/m ²	°C	°C	%	m/s	°C		°C
01.08.2016	15:40	676.5	569.9	645.0	54.4	42,1	13,14	1,14	66	7.2	56.4

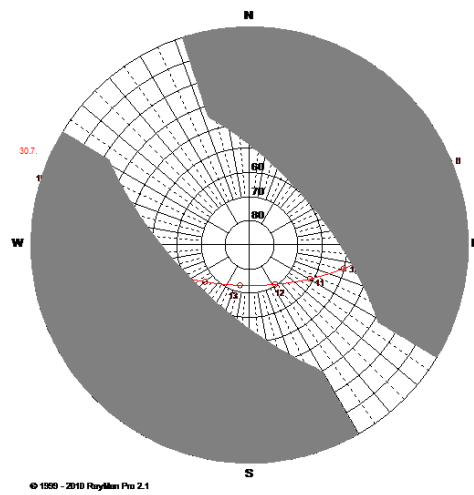
ANNEXE 07 : DIAGRAMMES SOLAIRES



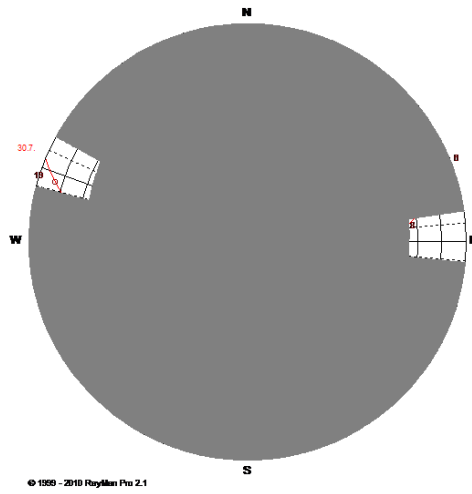
1 Diagramme solaire de la station 01 (SVF= 0.054)



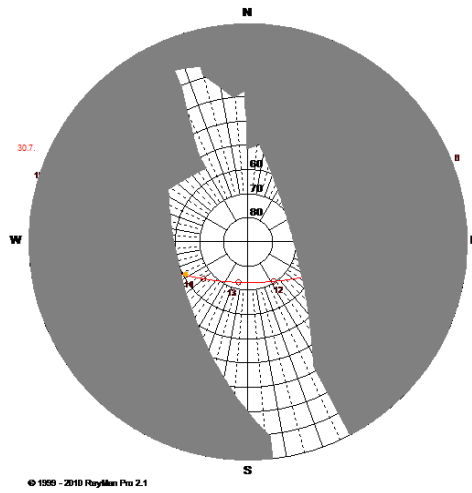
2 Diagramme solaire de la station 02 (SVF= 0.222)



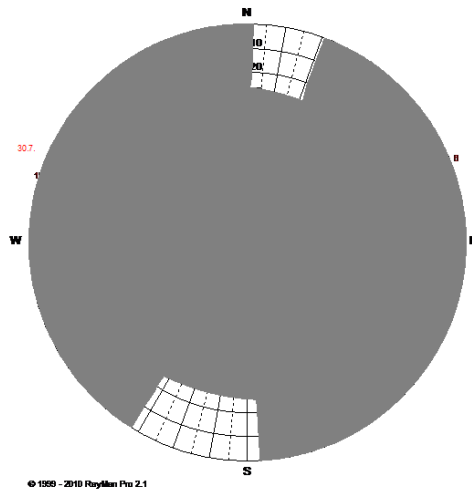
3 Diagramme solaire de la station 03 (SVF= 0.277)



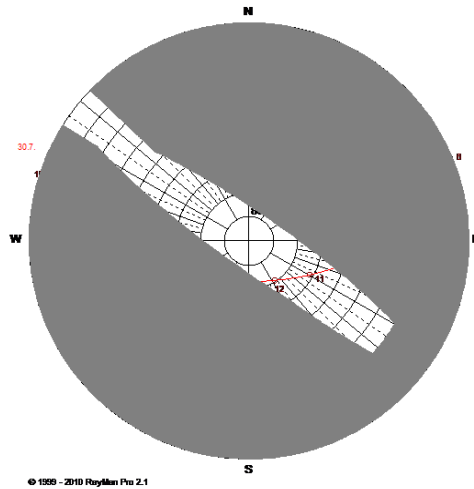
4 Diagramme solaire de la station 04 (SVF= 0.006)



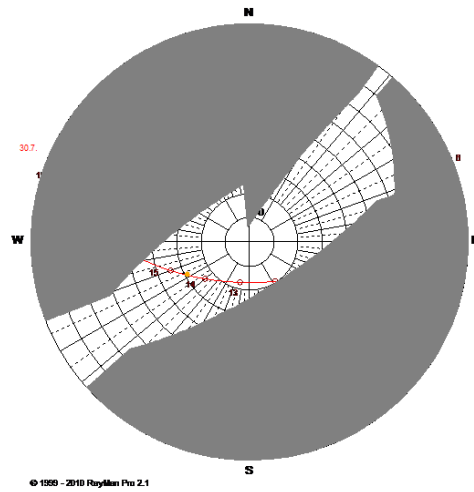
5 Diagramme solaire de la station 05 (SVF= 0.211)



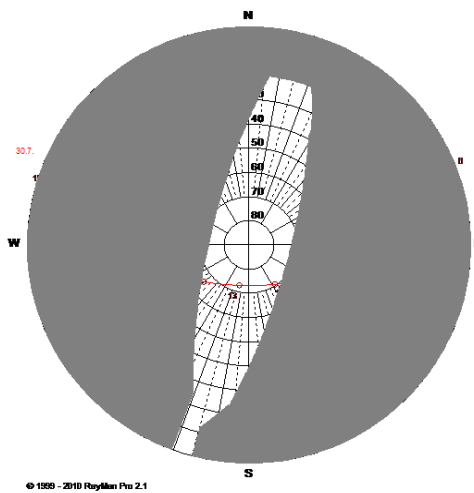
6 Diagramme solaire de la station 06 (SVF= 0.016)



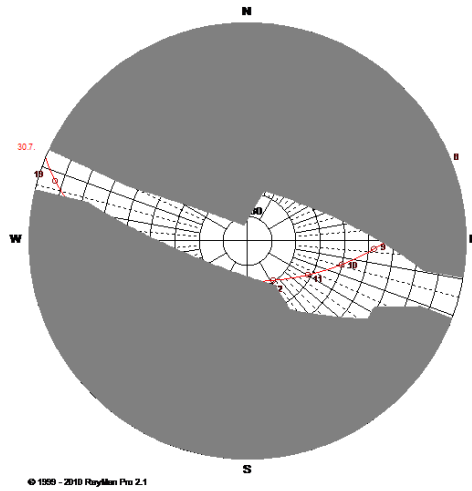
7 Diagramme solaire de la station 07 (SVF= 0.104)



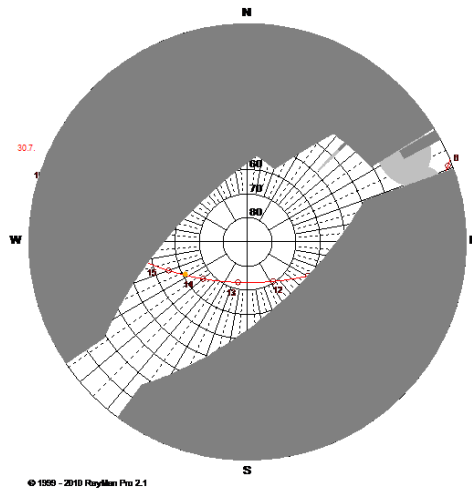
8 Diagramme solaire de la station 08 (SVF= 0.181)



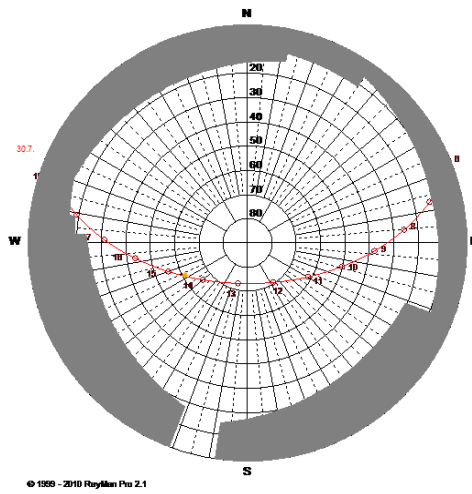
9 Diagramme solaire de la station 09 (SVF= 0.144)



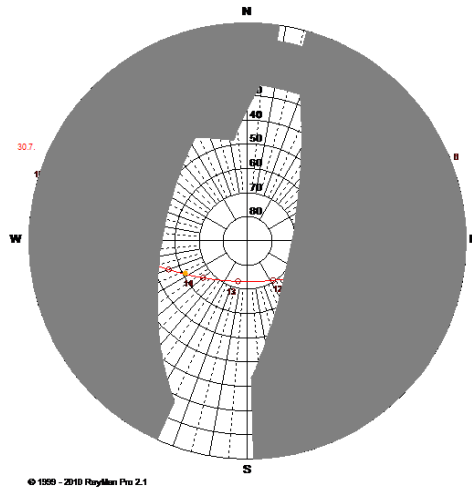
10 Diagramme solaire de la station 10 (SVF= 0.151)



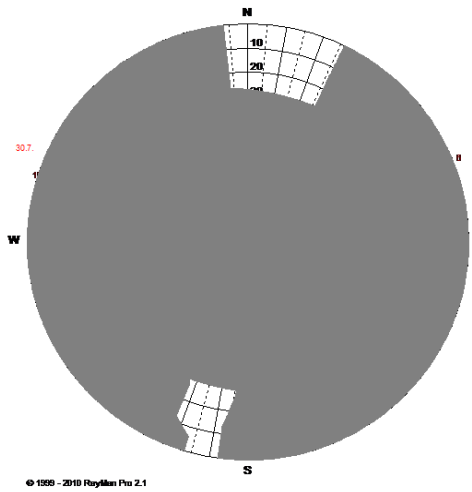
11 Diagramme solaire de la station 11 (SVF= 0.222)



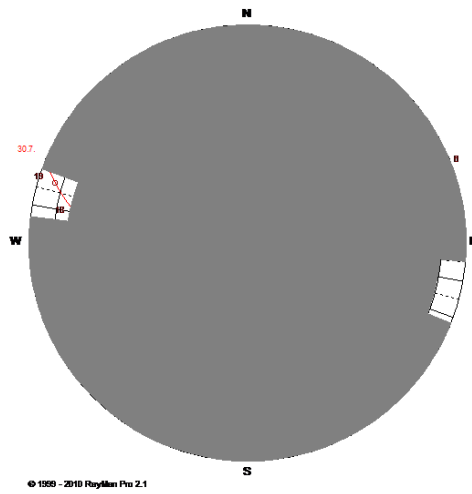
12 Diagramme solaire de la station 12 (SVF= 0.610)



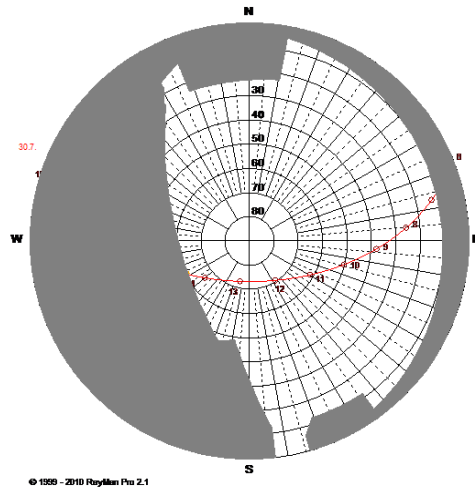
13 Diagramme solaire de la station 13 (SVF= 0.224)



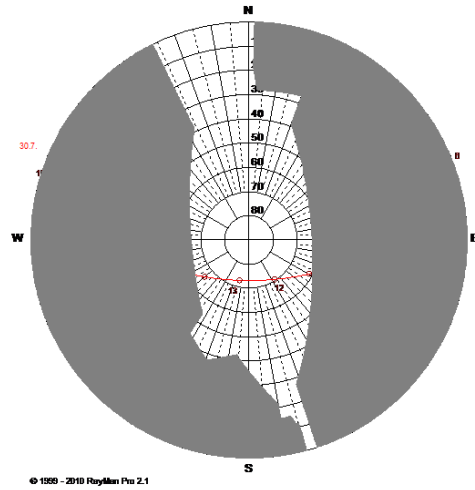
14 Diagramme solaire de la station 14 (SVF= 0.014)



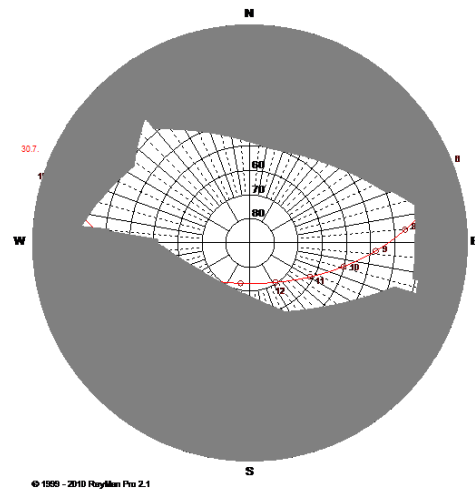
15 Diagramme solaire de la station 15 (SVF= 0.002)



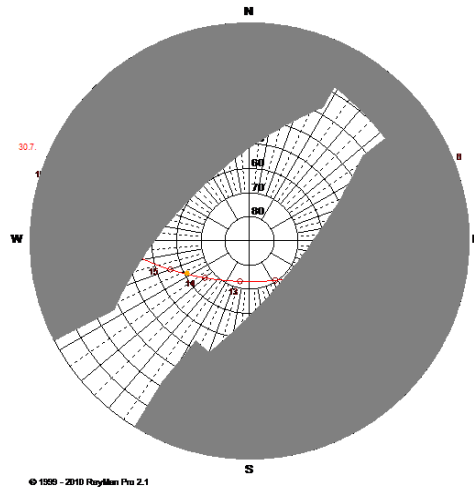
16 Diagramme solaire de la station 16 (SVF= 0.421)



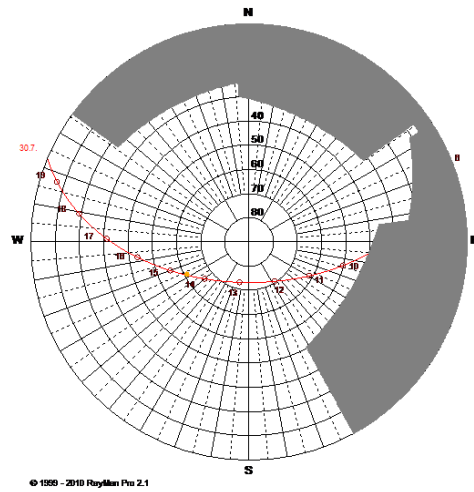
17 Diagramme solaire de la station 17 (SVF= 0.276)



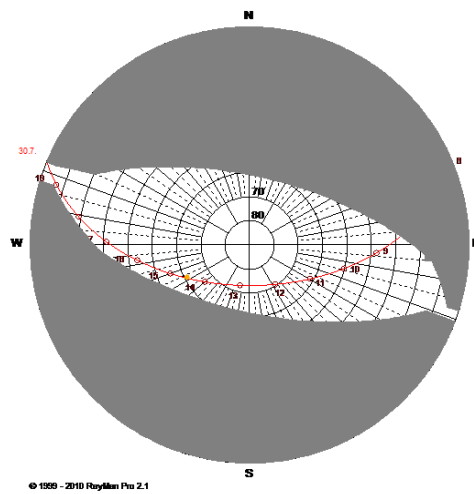
18 Diagramme solaire de la station 18 (SVF= 0.249)



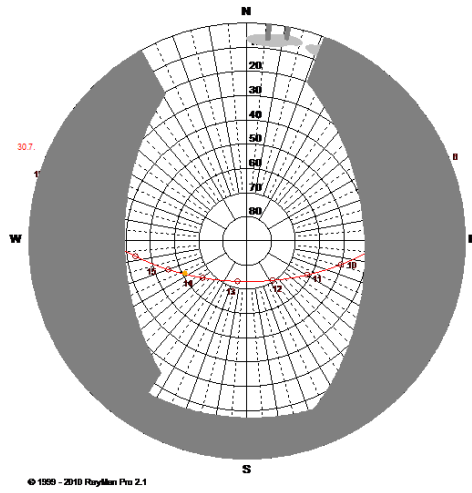
19 Diagramme solaire de la station 19 (SVF= 0.225)



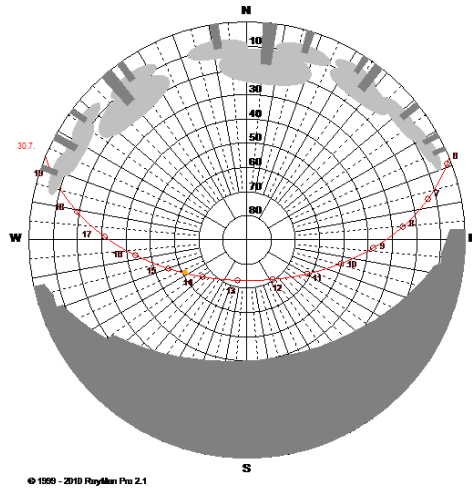
20 Diagramme solaire de la station 20 (SVF= 0.627)



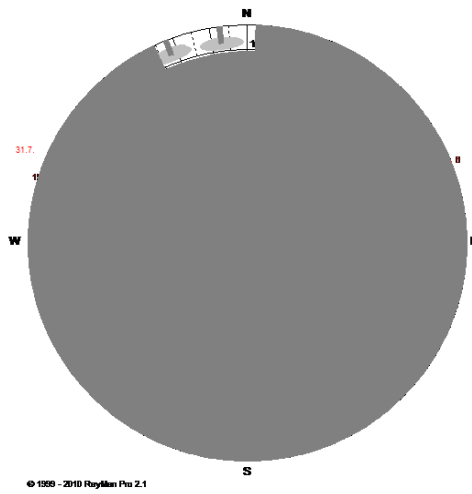
21 Diagramme solaire de la station 21 (SVF= 0.249)



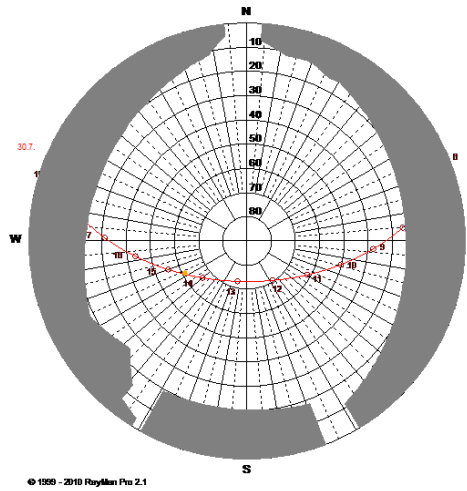
22 Diagramme solaire de la station 22 (SVF= 0.259)



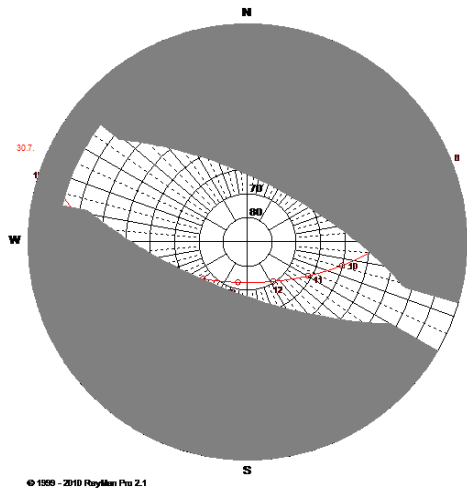
23 Diagramme solaire de la station 23 (SVF= 0.540)



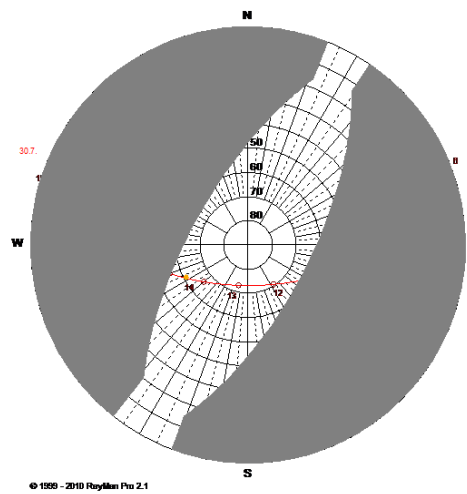
24 Diagramme solaire de la station 24 (SVF= 0.001)



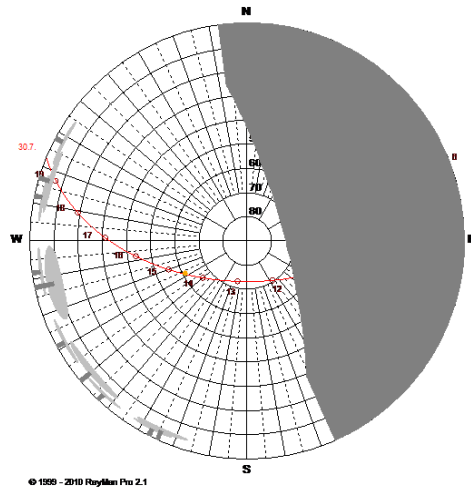
25 Diagramme solaire de la station 25 (SVF= 0.587)



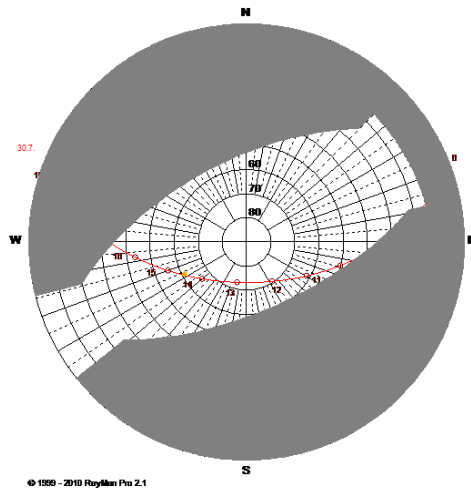
26 Diagramme solaire de la station 26 (SVF= 0.211)



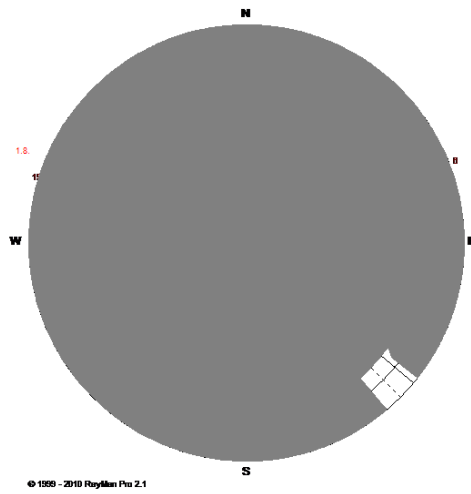
27 Diagramme solaire de la station 27 (SVF= 0.225)



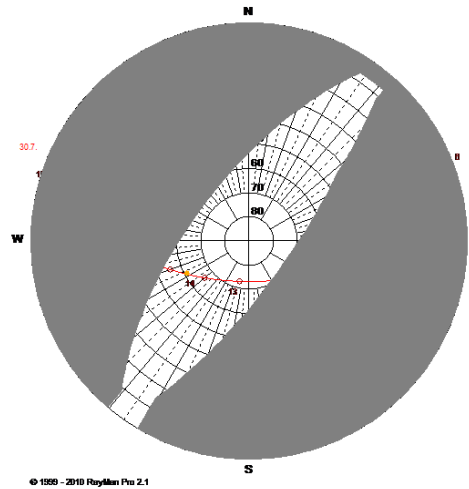
28 Diagramme solaire de la station 28 (SVF= 0.428)



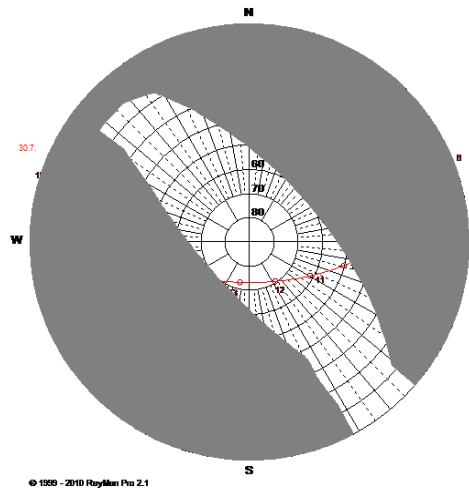
29 Diagramme solaire de la station 29 (SVF= 0.285)



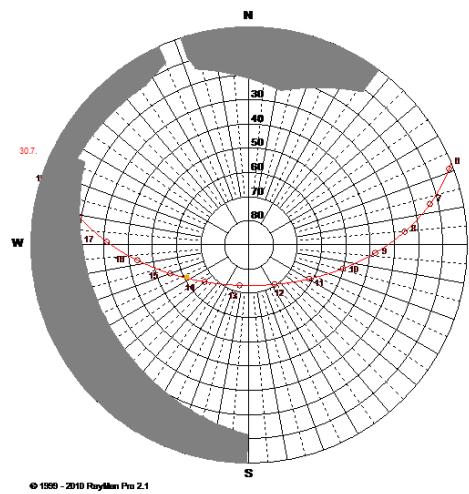
30 Diagramme solaire de la station 30 (SVF= 0.001)



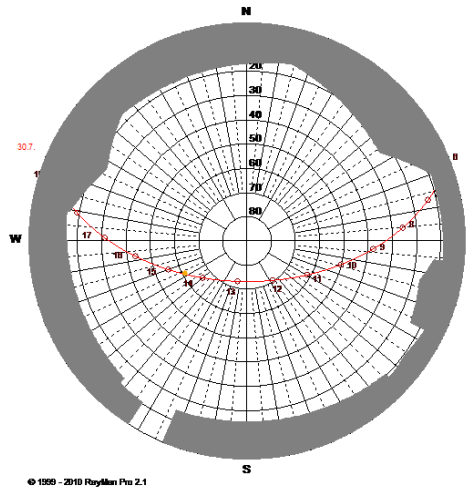
31 Diagramme solaire de la station 31 (SVF= 0.186)



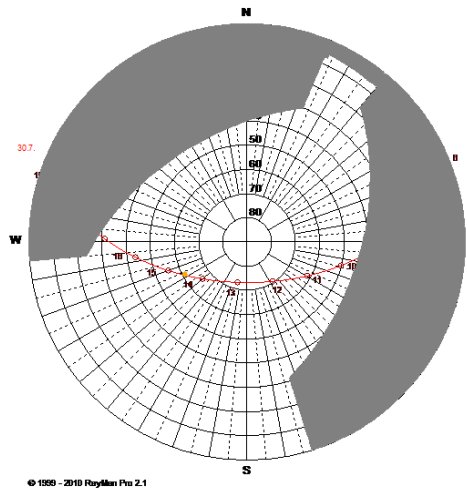
32 Diagramme solaire de la station 32 (SVF= 0.221)



33 Diagramme solaire de la station 33 (SVF= 0.721)



34 Diagramme solaire de la station 34 (SVF= 0.632)



35 Diagramme solaire de la station 35 (SVF= 0.556)

ANNEXE 08 : FORMULAIRE DE QUESTIONS

La partie signalétique :	
Le nom de la station	
Type de la rue	canyon <input type="checkbox"/> dièdre <input type="checkbox"/> dégagé <input type="checkbox"/>
Date et heure	
Caractéristiques de la personne	
Sexe	Homme <input type="checkbox"/> Femme <input type="checkbox"/>
Age	06-12ans <input type="checkbox"/> 13-18ans <input type="checkbox"/> 19-30ans <input type="checkbox"/> 31-60ans <input type="checkbox"/> plus de 60ans <input type="checkbox"/>
Taille (m)	
Poids (kg)	
Position	
Activité (W)	
Taux d'habillement (clo)	
Les questions :	
En été, combien de fois passez vous dans cette rue ?	
Durant les journées d'été, quelle est la période favorable pour utiliser cet espace ?	<ul style="list-style-type: none"> • De la levée du soleil - midi <input type="checkbox"/> • A midi <input type="checkbox"/> • L'après midi <input type="checkbox"/> • 16 :00 – coucher du soleil <input type="checkbox"/>
Durant votre passage, que pensez-vous des conditions climatiques suivantes :	<ul style="list-style-type: none"> • Ensoleillement : Fort <input type="checkbox"/> moyen <input type="checkbox"/> faible <input type="checkbox"/> • Température de l'air : Elevée <input type="checkbox"/> moyenne <input type="checkbox"/> faible <input type="checkbox"/> • Humidité : Elevée <input type="checkbox"/> moyenne <input type="checkbox"/> faible <input type="checkbox"/> • Vent : frais <input type="checkbox"/> chaud <input type="checkbox"/>
Echelle de perception	<p>Dans le présent point, et à cet instant, vous trouvez qu'il fait :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Très chaud (3) <input type="checkbox"/> ▪ Chaud (2) <input type="checkbox"/> ▪ Légèrement chaud (1) <input type="checkbox"/> ▪ Neutre (0) <input type="checkbox"/> ▪ Légèrement froid (-1) <input type="checkbox"/> ▪ Froid (-2) <input type="checkbox"/> ▪ Très froid (-3) <input type="checkbox"/>

Echelle évaluative	Comment trouvez-vous cela ?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Extrêmement inconfortable <input type="checkbox"/> ▪ Très inconfortable <input type="checkbox"/> ▪ inconfortable <input type="checkbox"/> ▪ légèrement inconfortable <input type="checkbox"/> ▪ confortable <input type="checkbox"/>
Echelle de préférence	Comment vous préféreriez être maintenant ?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ beaucoup plus chaud <input type="checkbox"/> ▪ plus Chaud <input type="checkbox"/> ▪ un peu plus chaud <input type="checkbox"/> ▪ ni plus chaud ni plus froid <input type="checkbox"/> ▪ Légèrement plus froid <input type="checkbox"/> ▪ Plus froid <input type="checkbox"/> ▪ Beaucoup plu froid <input type="checkbox"/>
Echelle de perception	Dans le présent point, et à cet instant, vous trouvez que l'air est:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Très humide <input type="checkbox"/> ▪ Humide <input type="checkbox"/> ▪ Légèrement humide <input type="checkbox"/> ▪ Neutre <input type="checkbox"/> ▪ Légèrement sec <input type="checkbox"/> ▪ Sec <input type="checkbox"/> ▪ Très sec <input type="checkbox"/>
Echelle évaluative	Comment trouvez-vous cela ?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Extrêmement inconfortable <input type="checkbox"/> ▪ Très inconfortable <input type="checkbox"/> ▪ inconfortable <input type="checkbox"/> ▪ légèrement inconfortable <input type="checkbox"/> ▪ confortable <input type="checkbox"/>
Echelle de préférence	Comment vous préféreriez être maintenant ?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ beaucoup plus humide <input type="checkbox"/> ▪ plus humide <input type="checkbox"/> ▪ un peu plus humide <input type="checkbox"/> ▪ ni plus sec ni plus humide <input type="checkbox"/> ▪ Légèrement plus sec <input type="checkbox"/> ▪ Plus sec <input type="checkbox"/> ▪ Beaucoup plu sec <input type="checkbox"/>
Echelle de perception	Dans le présent point, et à cet instant, vous trouvez que l'air est:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Très exposé <input type="checkbox"/> ▪ exposé <input type="checkbox"/> ▪ partiellement exposé <input type="checkbox"/> ▪ moyen <input type="checkbox"/> ▪ partiellement ombragé <input type="checkbox"/> ▪ ombragé <input type="checkbox"/> ▪ Très ombragé <input type="checkbox"/>

Echelle évaluative	Comment trouvez-vous cela ?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Extrêmement inconfortable <input type="checkbox"/> ▪ Très inconfortable <input type="checkbox"/> ▪ inconfortable <input type="checkbox"/> ▪ légèrement inconfortable <input type="checkbox"/> ▪ confortable <input type="checkbox"/>
Echelle de préférence	Comment vous préféreriez être maintenant ?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ beaucoup plus exposé <input type="checkbox"/> ▪ plus exposé <input type="checkbox"/> ▪ un peu plus exposé <input type="checkbox"/> ▪ ni plus ombragé ni plus exposé <input type="checkbox"/> ▪ Légèrement plus ombragé <input type="checkbox"/> ▪ Plus ombragé <input type="checkbox"/> ▪ Beaucoup plus ombragé <input type="checkbox"/>
Echelle de perception	Dans le présent point, et à cet instant, vous trouvez que la vitesse du vent est:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Très élevée <input type="checkbox"/> ▪ Elevée <input type="checkbox"/> ▪ Légèrement élevée <input type="checkbox"/> ▪ Moyenne <input type="checkbox"/> ▪ Légèrement calme <input type="checkbox"/> ▪ Calme <input type="checkbox"/> ▪ Très calme <input type="checkbox"/>
Echelle évaluative	Comment trouvez-vous cela ?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Extrêmement inconfortable <input type="checkbox"/> ▪ Très inconfortable <input type="checkbox"/> ▪ inconfortable <input type="checkbox"/> ▪ légèrement inconfortable <input type="checkbox"/> ▪ confortable <input type="checkbox"/>
Echelle de préférence	Comment vous préféreriez être maintenant ?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ beaucoup plus élevée <input type="checkbox"/> ▪ plus élevée <input type="checkbox"/> ▪ un peu plus élevée <input type="checkbox"/> ▪ ni plus calme ni plus élevée <input type="checkbox"/> ▪ Légèrement plus calme <input type="checkbox"/> ▪ Plus calme <input type="checkbox"/> ▪ Beaucoup plus calme <input type="checkbox"/>
Comment vous trouvez l'ambiance, en générale ?		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Très satisfaisante <input type="checkbox"/> ▪ Satisfaisante <input type="checkbox"/> ▪ Légèrement satisfaisante <input type="checkbox"/> ▪ Insatisfaisante <input type="checkbox"/> ▪ Très insatisfaisant <input type="checkbox"/>

Autres commentaires :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ANNEXE 09 : RESULTATS DES MESURES : LES QUATRES 04 MESURES PAR POINTS + LEURS MOYENNES (EN JAUNE)

Point	Ta (°C)	Tg (°C)	Va (m/s)	HR
1	38,8	38,1	1,8	17,6
	38,1	38,1	1,7	18,4
	38,4	38,1	1,3	17,7
	38,6	38,1	1,5	17,8
	38,3	38,1	1,2	17,5
	38,44	38,1	1,5	17,8
2	39,9	39,5	0,3	16,7
	40,1	41,3	0,6	16,1
	39,8	39,2	0,5	17
	40,2	41,1	0,3	16,6
	40,5	40,8	0,4	16,3
	40,1	40,38	0,42	16,54
3	44	49,7	0,7	14,1
	42,4	51,4	0,4	13,9
	43,2	49,9	0,4	14,3
	41,2	50,5	0,3	14,4
	41,8	51,6	0,9	14,4
	42,52	50,62	0,54	14,22
4	38,1	38,7	1,5	17
	38,9	38,6	1,7	16,8
	38,9	38,6	1,2	17,3
	39	38,5	0,4	17,6
	38,9	38,5	0,7	16,9
	38,76	38,58	1,1	17,12
5	40,4	41,1	2,2	15,8
	41,1	41,2	2,7	15,6
	41,5	42,1	2,6	15,6
	41,1	41,6	1,9	15,1
	41,4	41	3,1	15,5
	41,1	41,4	2,5	15,52
6	38,4	38,7	3,3	16,9
	38	38,6	2,7	17,1
	38,4	38,6	2,9	16,9
	38,3	38,5	3,4	16,8
	37,9	38,6	3,8	17,2
	38,2	38,6	3,22	16,98
7	39,9	40	0,3	16,7

	39,8	40,1	0,4	15,9
	39,8	40,2	0,4	16,5
	39,7	40,5	0,3	16,1
	39,8	40,1	0,4	16,2
	39,8	40,18	0,36	16,28
8	44,1	51,3	0,7	12
	45,9	51,2	0,8	11,1
	45,2	51,4	0,4	12,1
	45,6	51,7	0,6	12
	45,5	51,3	0,4	12,5
	45,26	51,38	0,58	11,94
9	42,9	42,4	0,5	13,5
	42,1	42,6	0,4	14,3
	42,8	42,1	0,3	14,1
	42,1	42,8	0,3	13,9
	42,8	41,5	0,6	14
	42,54	42,28	0,42	13,96
10	40,4	40,7	0,9	14,8
	40,3	40,8	0,5	14,8
	40,4	41	0,9	15,2
	39,8	40,9	1,1	15,1
	40	40,8	1,2	15,8
	40,18	40,84	0,92	15,14
11	44,6	48,2	1,1	13,7
	45,5	48,1	0,9	13,7
	44,9	48,2	1,5	14,2
	42,9	48,3	0,7	14,2
	41,6	48,2	1,2	14,3
	43,9	48,2	1,08	14,02
12	44,7	51,5	0,9	12,6
	45,8	51,6	1,4	12,5
	43,5	51,7	1	13,6
	43,2	51,5	0,8	13,4
	45,6	51	1,4	13,2
	44,56	51,46	1,1	13,06
13	44,5	48,7	0,7	13,9
	44,3	48,9	0,5	13,7
	45,2	49,4	0,9	13,3
	45,7	49,9	0,8	14,1

	43,1	50,1	1,1	13,9
	44,56	49,4	0,8	13,78
14	39	38,4	1,2	18,1
	38,6	38,5	1,7	18
	39	38,4	2,7	17,6
	39,2	38,5	1,7	17,1
	39,2	38,5	2,8	18,2
	39	38,46	2,02	17,8
15	38,2	38,4	0,6	17,7
	38,3	38,5	0,3	18
	38,7	38,4	0,5	18,4
	38,8	38,7	0,2	17,9
	38,8	38,4	0,7	18
	38,56	38,48	0,46	18
16	42,5	49,9	0,7	15,4
	43,4	50	0,8	13,2
	42,2	50,5	0,6	14
	42,7	50,3	0,6	14
	44,7	50	0,5	13,5
	43,1	50,14	0,64	14,02
17	43,3	50,7	0,4	13,5
	42,9	50,2	1,1	13,8
	44	50,3	0,9	12
	41,9	50,1	1,4	13,9
	42,6	50	1,7	13,7
	42,94	50,26	1,1	13,38
18	44,5	48,7	1,7	13,8
	44,3	48,3	0,9	13,9
	43,5	49	0,8	13,6
	44,4	49,4	0,6	13,3
	45,2	48,7	2,1	12,7
	44,38	48,82	1,22	13,46
19	40,8	46,5	1,8	15
	41,2	46,8	1,6	15,1
	40	47	2,3	14,7
	41,1	47,1	1,9	14,6
	41,3	47	2,1	14,7
	40,8	46,88	1,94	14,82
20	41,3	50,5	2,2	15
	41,4	51	0,8	15,3

	42,2	51,7	1,2	15
	42,4	52,1	0,6	14,5
	42,7	52	0,6	14,8
	42	51,46	1,08	14,92
21	43,4	46,6	0,3	13,3
	43,6	47	0,4	13,2
	42,5	46,7	0,3	13,4
	41,8	47,1	0,1	13,6
	42	46,9	0,8	13,4
	42,66	46,86	0,38	13,38
22	45,6	50,6	0,9	11,6
	44,8	50,5	0,8	11,6
	44,6	50,6	1,4	12,6
	44,2	50,9	0,9	12,5
	44,8	50,6	1,6	12,5
	44,8	50,64	1,12	12,16
23	42,9	51,6	0,3	14,1
	42,6	51,6	0,4	14,4
	42,8	51,4	0,3	15,7
	42,3	51,7	0,4	14
	42,3	51,6	0,4	15,3
	42,58	51,58	0,36	14,7
24	39,6	39,1	0,6	16,7
	39,8	39	1,6	17,2
	39,5	39,4	1,1	16,2
	39,6	39,2	0,9	16,6
	39,1	39	0,5	16,4
	39,52	39,14	0,94	16,62
25	43,7	50,4	0,6	13,1
	41,8	50,5	0,7	13,4
	42	50	1,4	14,6
	43,1	50,1	1,7	13,6
	44,7	50,4	0,6	13,2
	43,06	50,28	1	13,58
26	41	41,5	1,6	15,3
	40,7	41,6	1,4	14,9
	40,9	41,5	1	15,4
	40,9	41,4	1,1	14,8
	40,7	41,5	0,9	14,7
	40,84	41,5	1,2	15,02

27	41,7	48,9	1,1	13,7
	40,9	48,8	1,5	14,3
	41,1	49	0,9	13,2
	42	48,7	1,1	13
	43,1	48,7	1,3	12,3
	41,76	48,82	1,18	13,3
28	40,8	49,2	1,8	13,4
	41,6	49	2,3	13,3
	42,5	50	1,4	12,9
	43,3	50,2	2,5	12,9
	42,5	50,4	1,5	13
	42,14	49,76	1,9	13,1
29	42,1	49,9	0,8	12,6
	42	49,9	1,1	13,2
	41,8	50	0,9	13,3
	41,6	50,2	0,7	13,6
	40,9	50,4	0,3	13,9
	41,68	50,08	0,76	13,32
30	39,7	39,5	0,3	14,5
	39,6	39,5	0,4	14,7
	39,8	39,7	0,7	14,3
	39,6	39,4	0,6	14,3
	39,5	39,6	0,5	14,7
	39,64	39,54	0,5	14,5
31	42,9	46,5	0,3	12
	42	46,7	0,4	12,4
	42,4	47,1	0,8	12,4
	42,6	46,8	1,1	13,6
	42,7	46,4	0,8	14,7
	42,52	46,7	0,68	13,02
32	39,5	39,9	1,4	14,2
	39,7	39,9	1,3	14,8
	39,5	40	0,8	14,4
	39	39,9	1	14,5
	39,1	40	0,9	14,6
	39,36	39,94	1,08	14,5
33	43,8	49,5	0,5	14
	43	49	0,4	13,9
	42,9	48,9	0,3	13,7
	43,5	49,1	0,8	13,9

	43,7	49	1,1	14
	43,38	49,1	0,62	13,9
34	42,2	48,7	3,3	14
	41,6	49,1	1,4	13,9
	41,5	48,7	1,6	13,7
	40,8	49	2,8	13,9
	42,5	48,9	2,2	14
	41,72	48,88	2,26	13,9
35	42,5	50,6	1,5	12,9
	41,7	50,1	1,1	13,2
	42	50,4	0,9	13,2
	41,8	50,6	1,3	13
	42,3	50,6	0,9	13,4
	42,1	50,46	1,14	13,14

ANNEXE 10: TABLEAU RECAPITULATIF DES COEFFICIENTS D'EMISSIVITES DES MATERIAUX

Source : www.thethermographiclibrary.org (consulté 12/05/2016)

Description du matériau	Coefficient d'émissivité
Acier doux	0.20 - 0.32
Acier inoxydable (boulon)	0.32
Acier inoxydable oxydé à 800°C	0.85
Acier inoxydable poli	0.075
Acier inoxydable meulé	0.11
Acier inoxydable sablé	0.38 - 0.44
Acier inoxydable de type 301	0.54 - 0.63
Acier galvanisé (ancien)	0.88
Acier galvanisé (neuf)	0.23
Acier laminé à froid	0.7 - 0.9
Acier meulé	0.4 - 0.6
Acier nickelé	0.11
Acier oxydé	0.7 - 0.9
Acier poli	0.07
Acier doux terni	0.70
Alumine	0.8
Clinquant d'aluminium	0.04
Feuille d'aluminium	0.09 / 0.04
Aluminium anodisé	0.77
Aluminium abrasé	0.83 - 0.94
Aluminium oxydé	0.2 - 0.55
Aluminium oxydé à 600°C	0.11 - 0.19
Aluminium poli	0.039 - 0.057
Aluminium sablé	0.210
ALZAC A-2 (aluminium purifié)	0.73
Anodisation noire	0.82 - 0.88
Anodisation bleue	0.82 - 0.87
Antimoine poli	0.28 - 0.31
Ardoise	0.85
Ardoise d'amiante	0.96
Autocollant isolant électrique	0.92-0.97
Carton d'amiante	0.96
Matériaux à base d'amiante	0.78
Papier ou panneau d'amiante	0.94
Argent poli	0.02 - 0.03
Argile cuit	0.91
Asphalte	0.93
Basalte	0.72
Beryllium	0.18
Beryllium anodisé	0.9
Béton	0.91


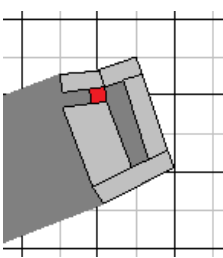
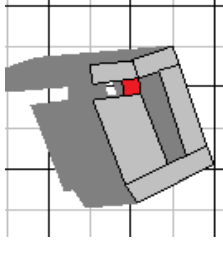
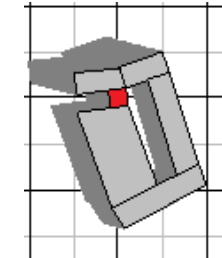
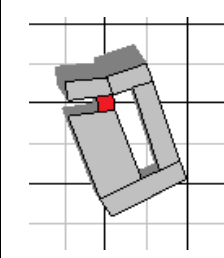
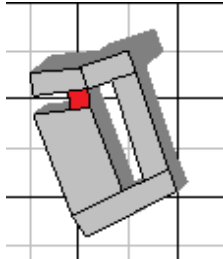
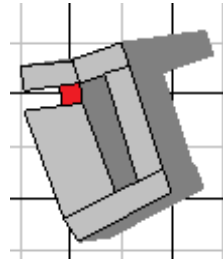
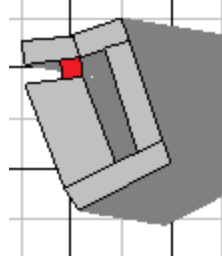
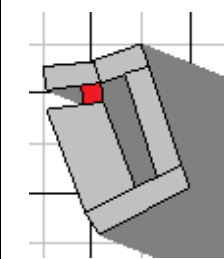

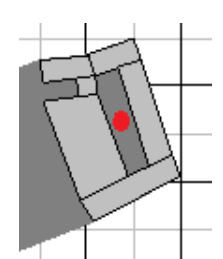
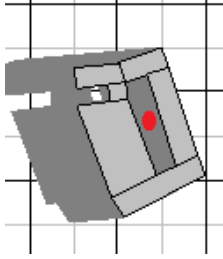
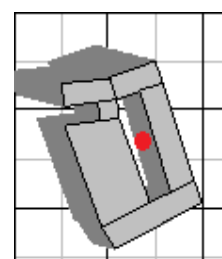
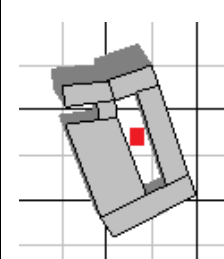
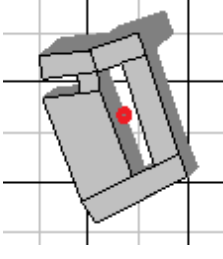
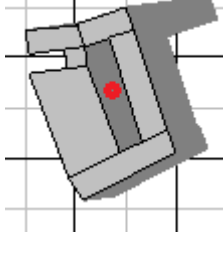
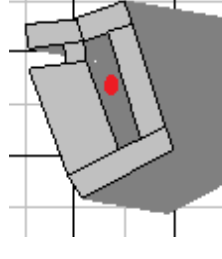
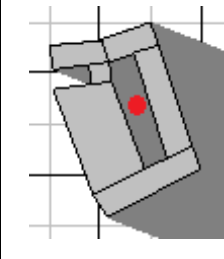

Béton rugueux	0.92 - 0.97
Béton sec	0.95
Béton aggloméré	0.63
Bismuth poli	0.34
Bitume en bandes	0.91
Bois dur à contre fibre	0.82
Bois dur dans le sens des fibres	0.68 - 0.73
Bois naturel	0.90 - 0.95
Bois de chêne	0.90
Bois vernis	0.93
Brique à l'argile (réfractaire)	0.59 - 0.85
Brique d'alumine	0.68
Brique commune / vitrifiée	0.81 - 0.86
Brique à maçonner	0.94
Brique flammée	0.88
Brique rouge	0.9 - 0.93
Bronze poli	0.1
Bronze poreux/rugueux	0.55
Cadmium	0.02
Calcaire	0.95 - 0.96
Caoutchouc	0.95
Caoutchouc naturel dur	0.91
Caoutchouc naturel souple	0.86
Carbone en fibres	0.77
Carbone (graphite)	0.98
Carbone pur	0.81
Carbure de silicium	0.83 - 0.96
Carreau céramique "black shiny"	0.85
Carreau de plâtre	0.87
Carton (boite en)	0.81
Carton décoratif de recouvrement	0.85
Carton gris non traité	0.90
Céramique	0.95
Charbon de bois	0.91
Charbon pulvérisé	0.96
Chrome poli	0.08 - 0.36
Ciment	0.54
Conifère (feuilles)	8 - 14
Conifère (écorce)	0.976
Contreplaqué	0.83 - 0.98
Constantan	0.09
Corps noir théorique	1.0
Coton (tissu)	0.77
Craie	0.65 - 0.88
Cuivre oxydé	0.34
Cuivre déposé électriquement	0.03
Cuivre poli	0.023 - 0.052

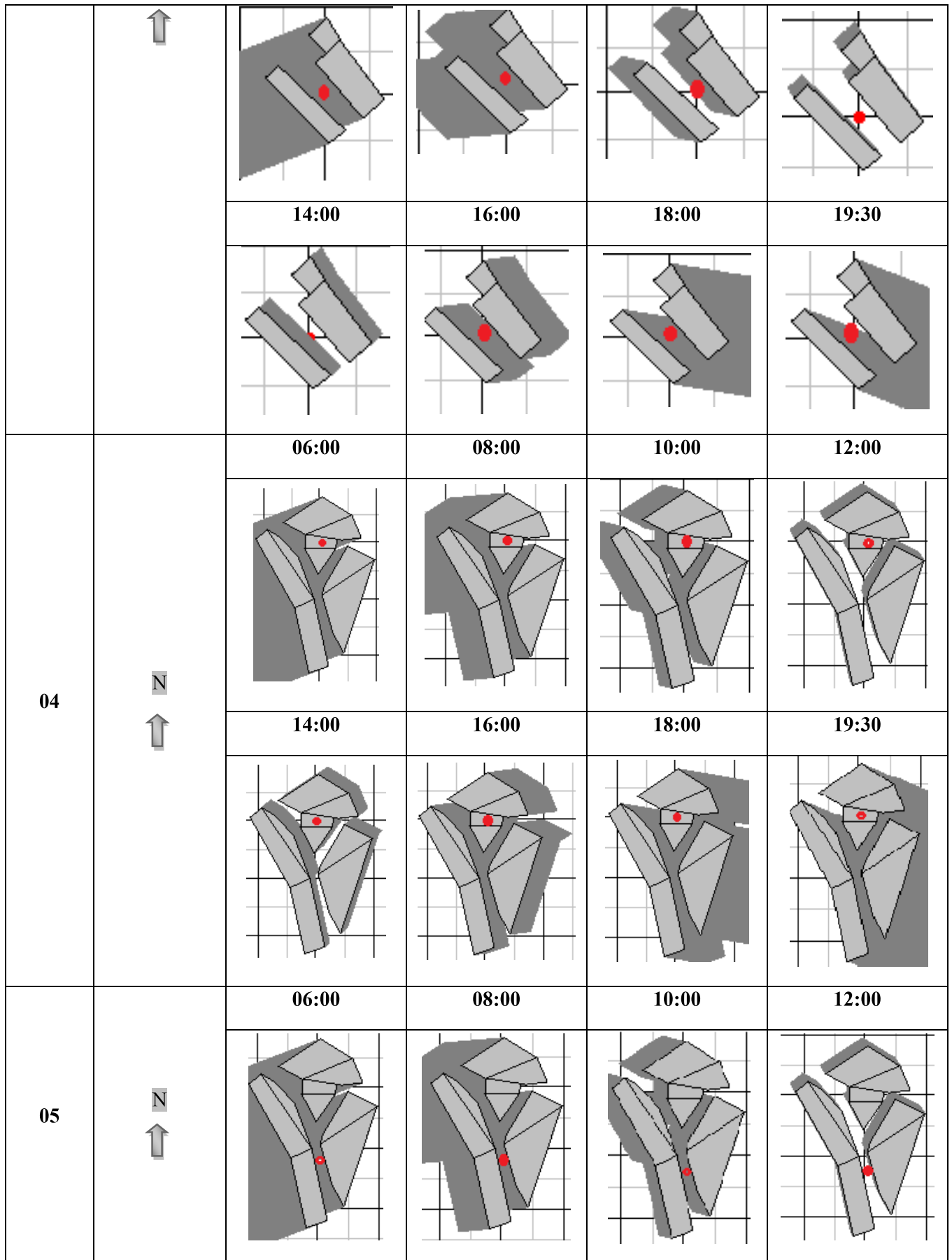
Cuivre recuit	0.07
Cuivre revêtu d'argent	0.30
Dalle plastique de sol	0.90
Eau	0.95 - 0.963
Étain	0.05 - 0.07
Fer forgé lisse	0.30
Fer forgé terne	0.70
Fer en lingot rugueux	0.87 - 0.95
Fer oxydé	0.5 - 0.9
Fer laminé	0.77
Fer poli	0.14 - 0.38
Fer rouillé	0.61
Fibre de verre	0.750
Fibrociment	0.94
Formica	0.937
Fonte brute de fonderie	0.81
Fonte décalaminée	0.44
Fonte fondue	0.2 - 0.3
Fonte oxydée	0.6 - 0.95
Fonte polie	0.21
Gazon	0.8 - 0.75
Glace	0.97
Granite	0.971
Gravier	0.95
Grès émaillé	0.87
Gris	0.92
Gypse	0.85
Herbe	0.76 - 0.74
Hêtre (feuilles)	0.993
Hêtre (écorce)	0.976
Huile (film sur base de nickel) ep 0mm	0.05
Huile ep 1 mm	0.27
Huile ep 2 mm	0.46
Huile ep 5 mm	0.72
Huile couche épaisse	0.82
Inconel X oxydé	0.71
Inconel X en feuille (1mm)	0.10
Laiton abrasé (grain de 80)	0.20
Laiton laminé en plaque	0.06
Laiton mat / terni	0.22
Laiton oxydé	0.5
Laiton oxydé à 600°C	0.6
Laiton poli	0.03 - 0.05
Laque bakélite	0.93
Laque blanche	0.87 - 0.92
Laque Enamel	0.90
Laque Noir de Parson	0.95

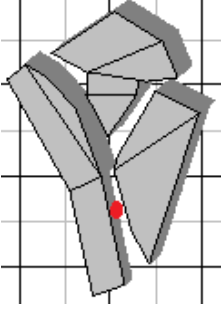
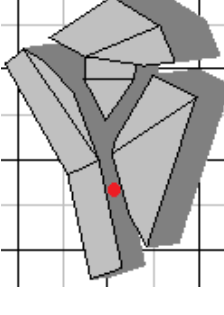
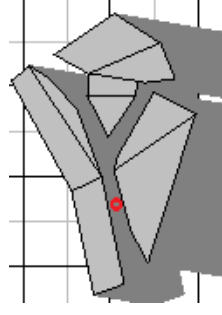
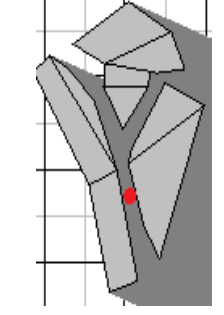

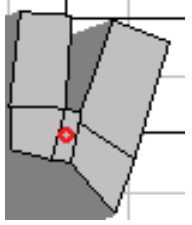
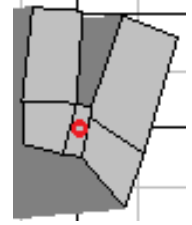
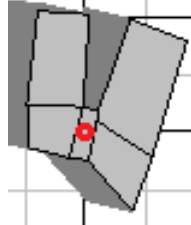
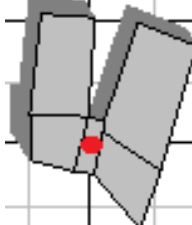
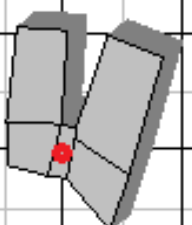
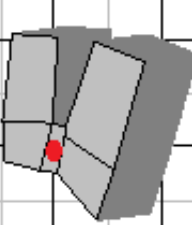
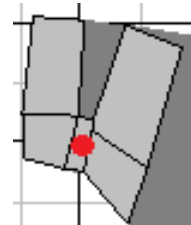


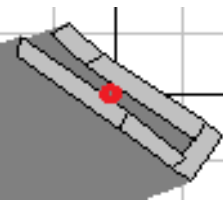
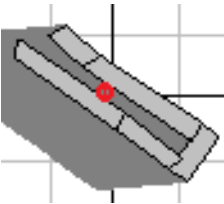
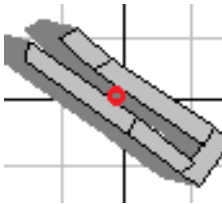
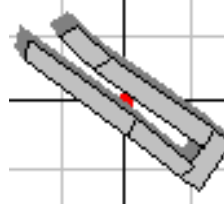
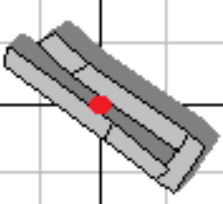
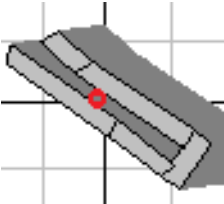
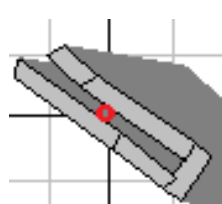
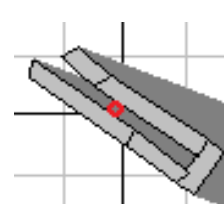
Laque noire brillante sur métal	0.87
Laque noire mate	0.97
Lichens	0.986
Liège décoratif	0.82
Litière (conifère)	0.979
Litière (feuillus)	0.986
Oxyde de magnésium	0.20 - 0.55
Magnésium poli	0.07 - 0.13
Marbre blanc	0.95
Mercure liquide	0.1
Molybdène en filament	0.096 - 0.202
Molybdène poli	0.05 - 0.18
Monel (NiCuMo)	0.1 - 0.4
Moquette commune	0.75-0.85
Mortier	0.87
Mortier sec	0.94
Neige	0.99
Nickel-chrome en fil poli	0.65 - 0.79
Nickel Electro déposé (poli / brut)	0.05 - 0.11
Nickel poli	0.072
Nickel oxydé	0.59 - 0.86
Noir de fumée	0.96
Or poli	0.018 - 0.035
Panneau de particules léger	0.85
Panneau de particules renforcé	0.85
Papier adhésif blanc	0.93
Papier blanc	0.68 / 0.90
Papier plastique rouge	0.94
Papier plastique blanc	0.84
Papier noir brillant	0.90
Papier noir mat	0.94
Papier glacé	0.55
Peau humaine	0.98
Peinture aluminium	0.45
Peinture blanche	0.77
Peinture Epoxy noire	0.89
Peinture "faible émissivité"	0.87
Peinture Glycéro noire	0.80
Peinture à l'huile	0.94
Peinture Jaune cadmium	0.33
Peinture non métallique	0.90 - 0.95
Peinture plastifiée blanche	0.84
Peinture plastifiée noire	0.95
Peinture silicone noire	0.93
Peinture verte chrome	0.70
Pierre brute propre	0.85-0.93
P.V.C.	0.91 - 0.93


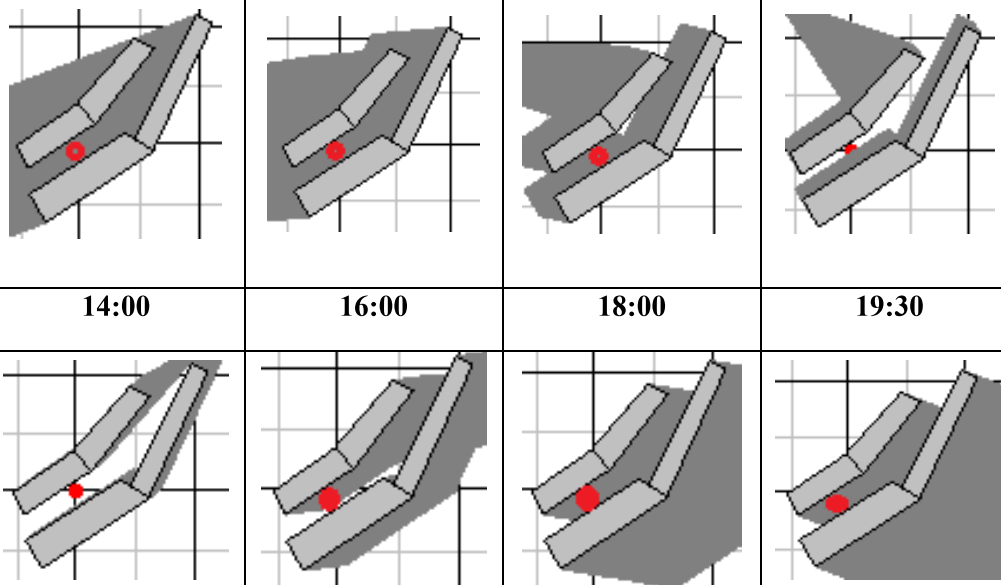
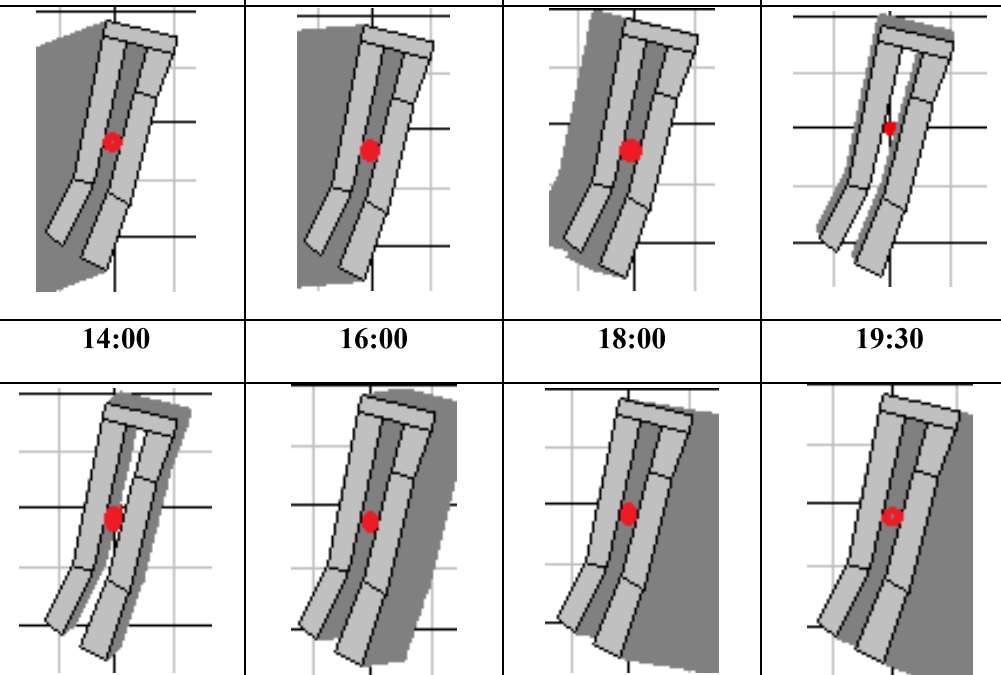
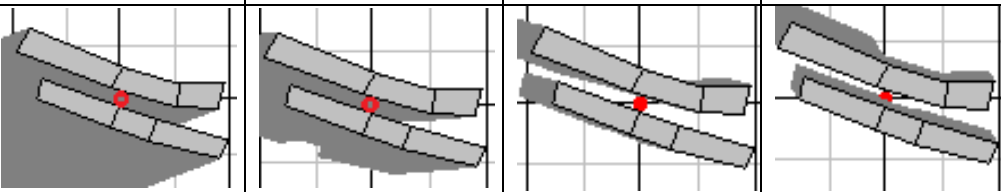
Plastique acrylique	0.94	
Plastique blanc	0.84	
Plastique noir	0.94	
Platine poli	0.054 - 0.104	
Plâtre	0.86 - 0.9	
Plexiglas	0.86	
Plomb oxydé	0.4 - 0.6	
Plomb poli	0.5 - 0.1	
Plomb pur non oxydé	0.057 - 0.075	
Polypropylène	0.97	
Polystyrène	0.97	
Polyuréthane (mousse de)	0.6	
Porcelaine vitrifiée	0.92	
PVC pour gaine de câbles	0.95	
PVC	0.91	
Quartz vitrifié	0.93	
Sable	0.76	
Sciure	0.75	
séquoïa travaillé	0.83	
séquoïa brut	0.84	
Shingle noir	0.88	
Sol aride	0.981	
Sol humide	0.996	
Tantale (feuille)	0.05	
Teflon (revêtement)	0.38	
Titane poli	0.19	
Toile de jute incolore	0.87	
Toile de jute verte	0.88	
Tuile en terre cuite	0.88	
Ancien filament de tungstène	0.032 - 0.35	
Tungstène poli	0.03 - 0.04	
UHMW (polyéthylène à très haut degré de polymérisation)	0.87	
Vernis	0.93	
Verre	0.92	
Verre poli	0.94	
Verre utilisé en chimie (Pyrex(c))	0.97	
Zinc naturel	0.18	
Zinc recouvert en non-métallique	0.60-0.90	
Zinc oxydé	0.10	
Zinc poli	0.03	

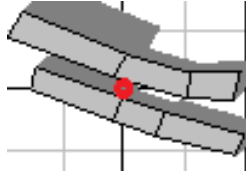
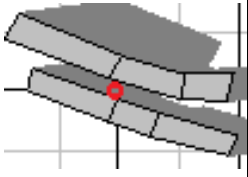
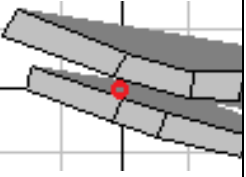
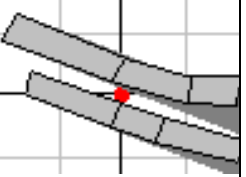

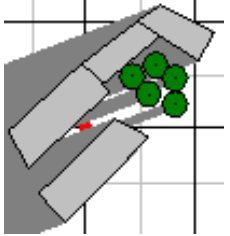
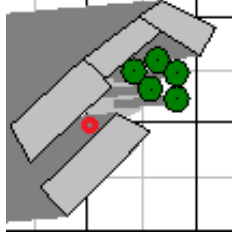
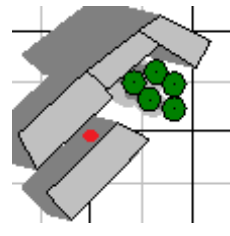
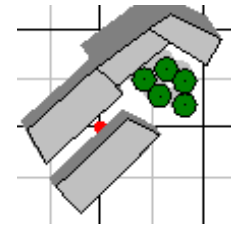
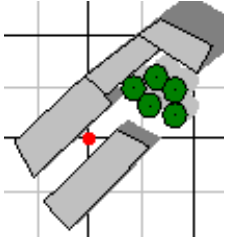
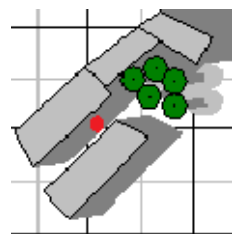
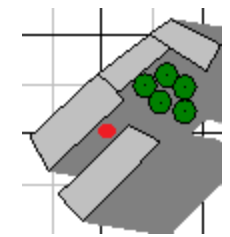
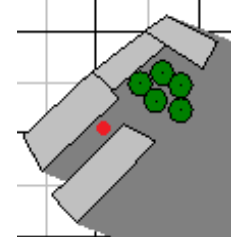

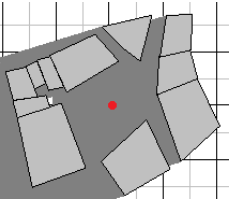
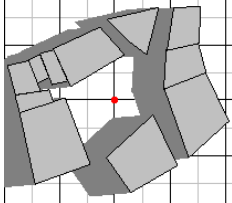
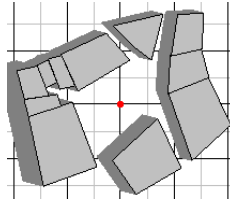
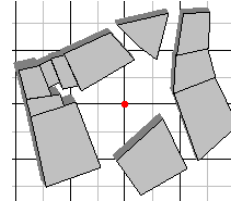
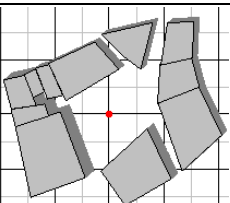
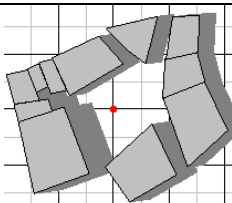
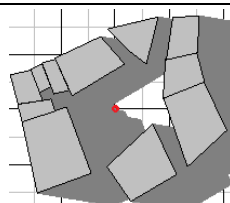
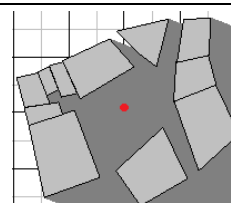

ANNEXE 11: TABLEAU DES TRACEES D'OMBRE AU COURS DE LA JOURNEE DANS DIFFERENTS POINTS DE MESURE. SOURCE: AUTEUR, 2016.


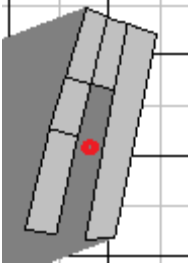
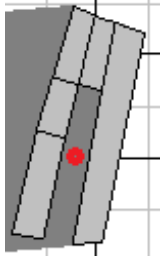
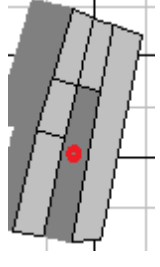
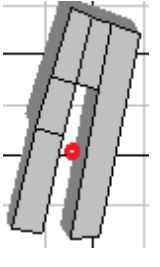
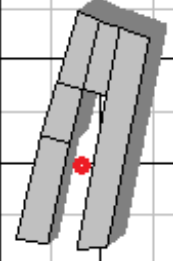
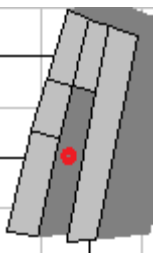
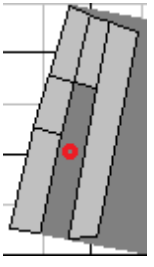
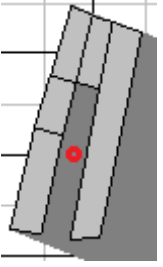


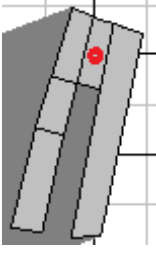
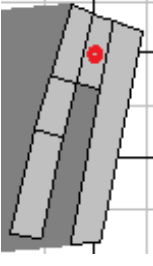
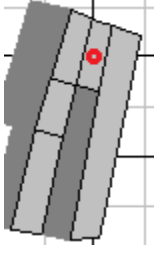
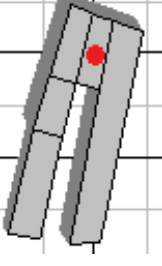
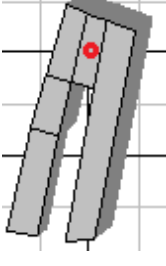
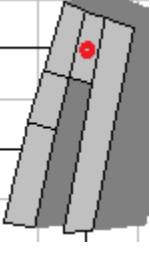
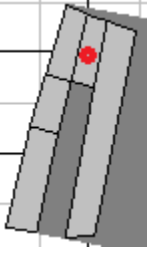
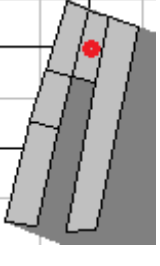


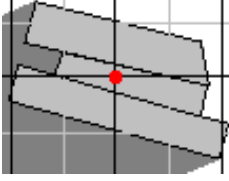

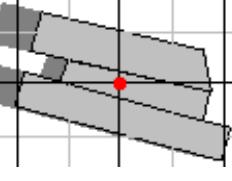
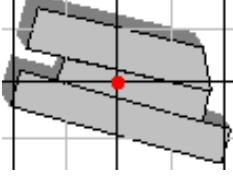
Points	Orientation	06:00	08:00	10:00	12:00
01					
		14:00	16:00	18:00	19:30
					
02		06:00	08:00	10:00	12:00
					
		14:00	16:00	18:00	19:45
					
03		06:00	08:00	10:00	12:00

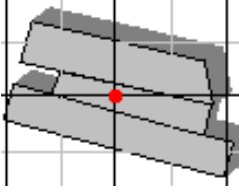
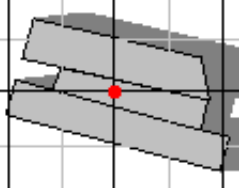
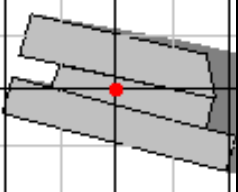
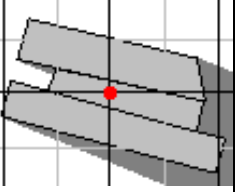

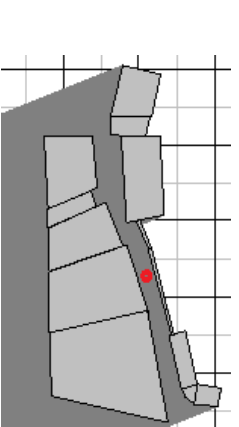
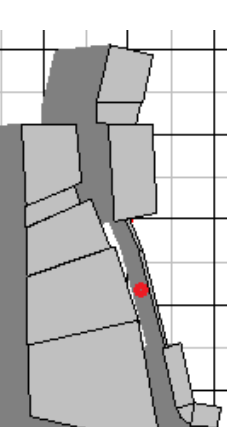
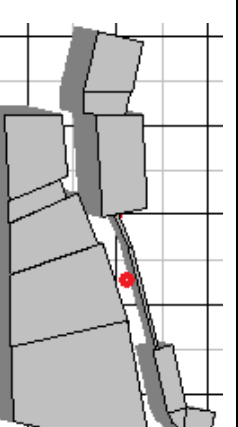
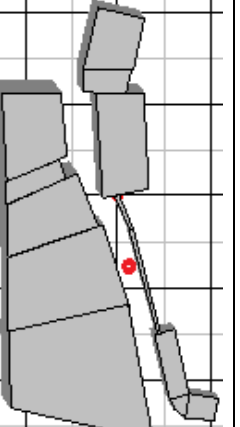
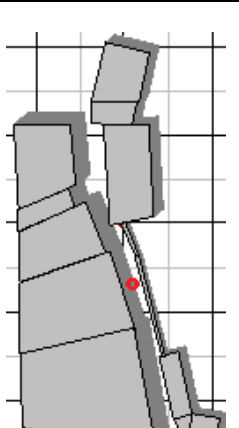
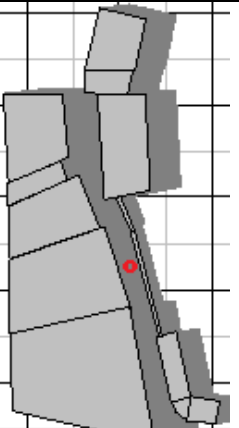
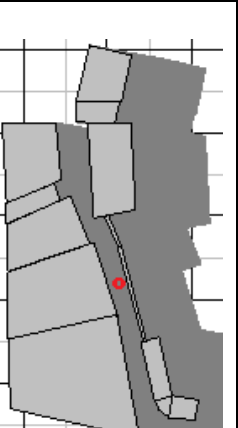
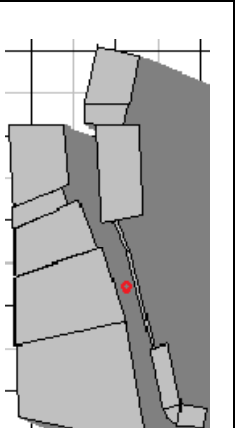



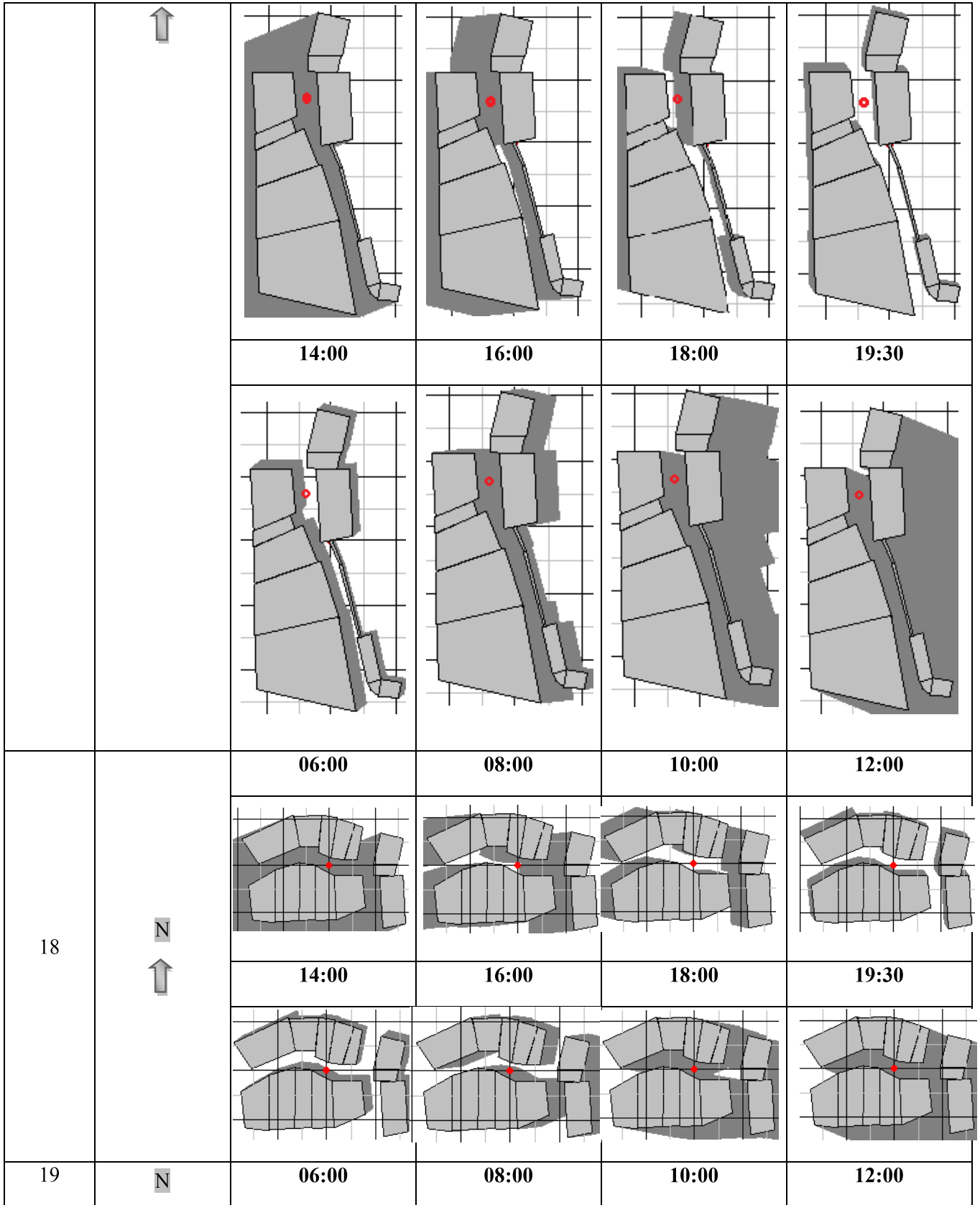
		14:00	16:00	18:00	19:30
					
06		06:00	08:00	10:00	12:00
					
		14:00	16:00	18:00	19:30
					
07		06:00	08:00	10:00	12:00
					
		14:00	16:00	18:00	19:30
					

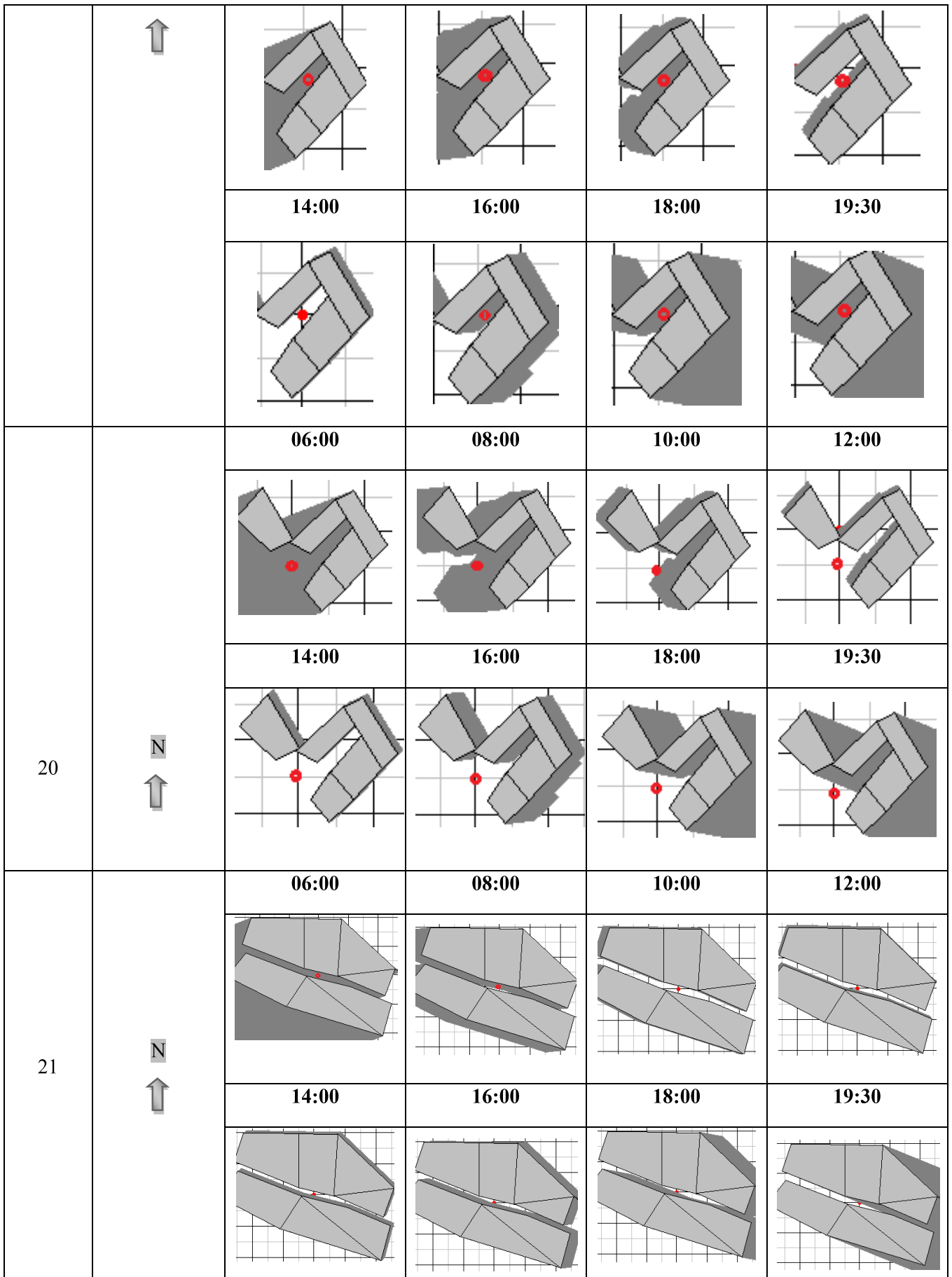
08		06:00	08:00	10:00	12:00
		14:00	16:00	18:00	19:30
					
		06:00	08:00	10:00	12:00
		14:00	16:00	18:00	19:30
					
		06:00	08:00	10:00	12:00
		14:00	16:00	18:00	19:30
					


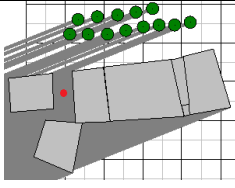
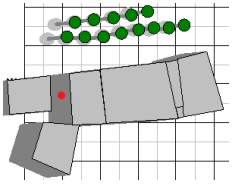
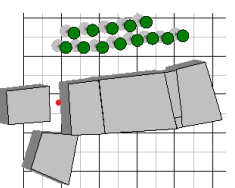
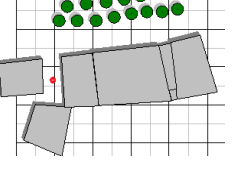
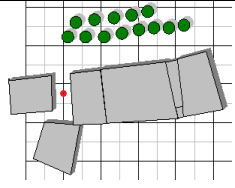
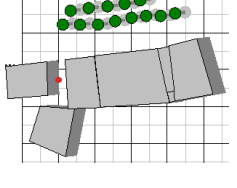
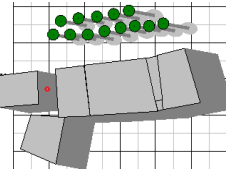
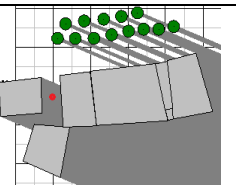

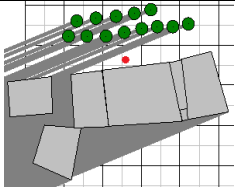
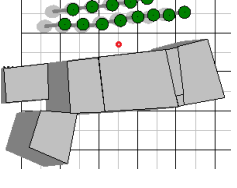
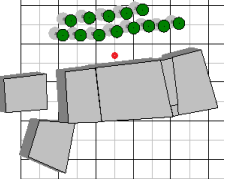
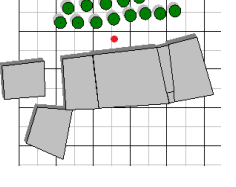
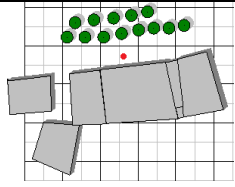
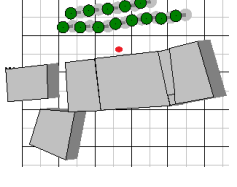
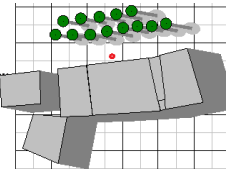
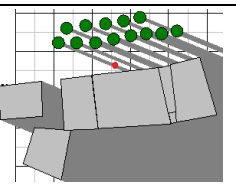

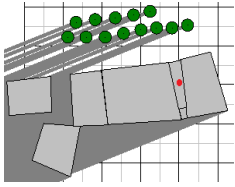
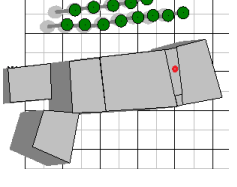
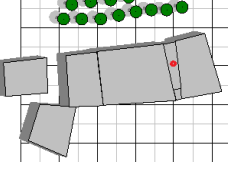
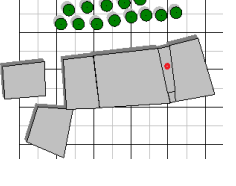
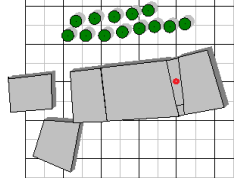
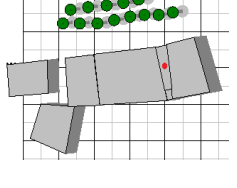
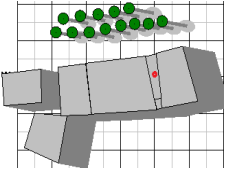
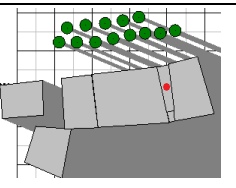


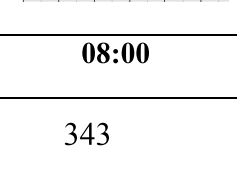
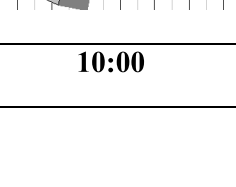
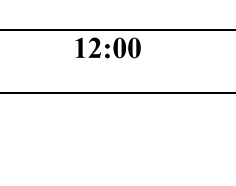
					
11		06:00	08:00	10:00	12:00
					
		14:00	16:00	18:00	19:30
					
12		06:00	08:00	10:00	12:00
					
		14:00	16:00	18:00	19:30
					
13		06:00	08:00	10:00	12:00

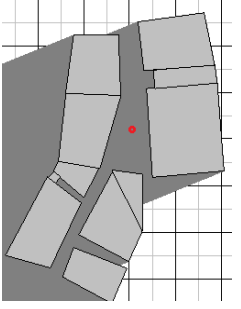
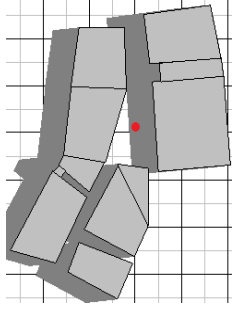
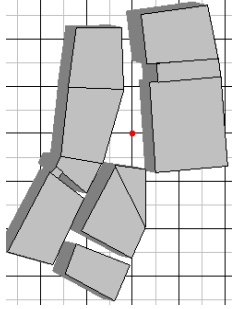
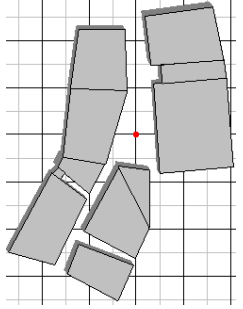
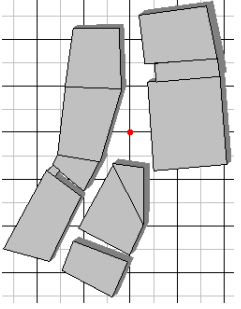
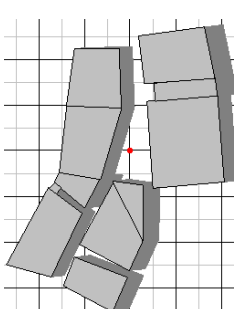
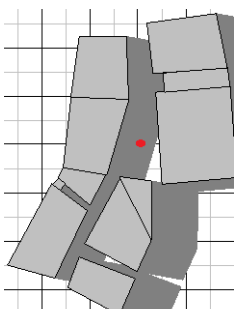
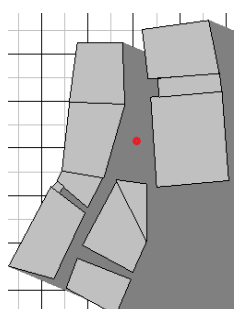
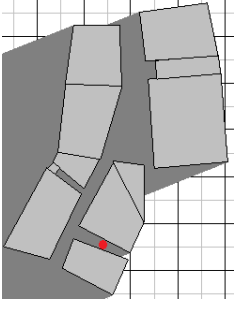
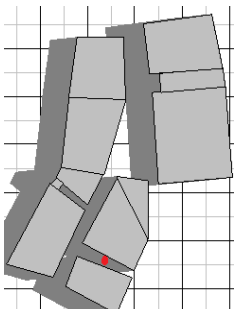
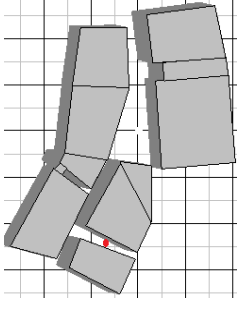
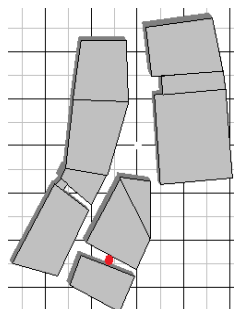
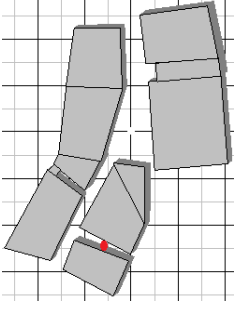
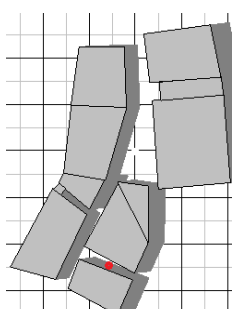
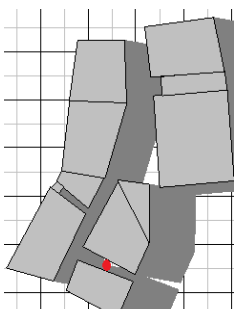
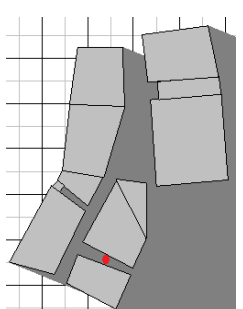
					
		14:00	16:00	18:00	19:30
					
14	 				
		06:00	08:00	10:00	12:00
					
15	 				
		14:00	16:00	18:00	19:30

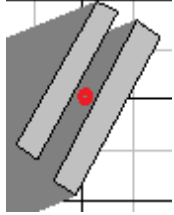
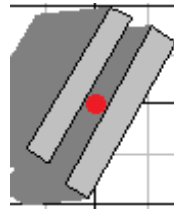
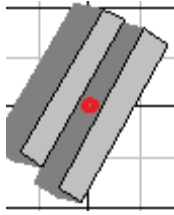
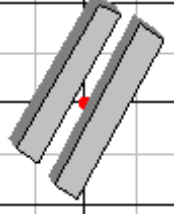
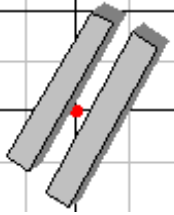
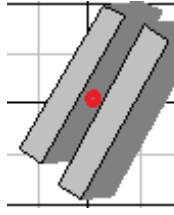
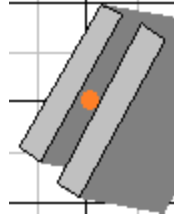
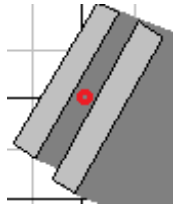
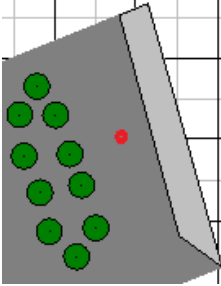
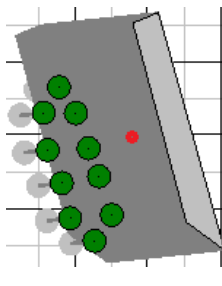
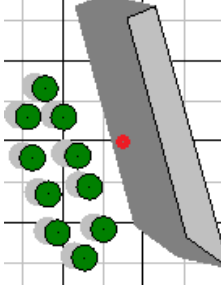
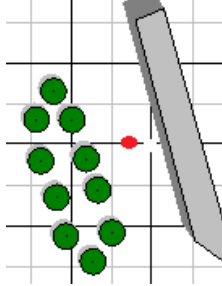
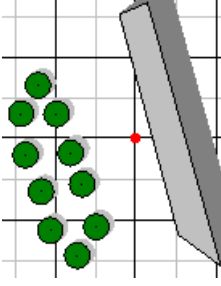
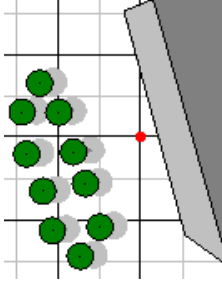
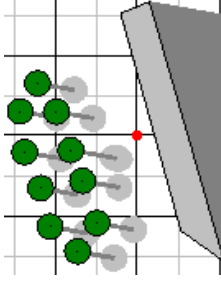
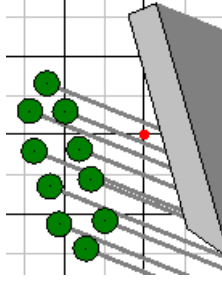
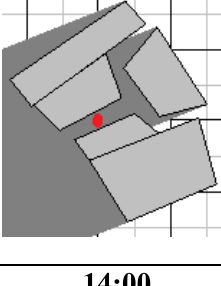
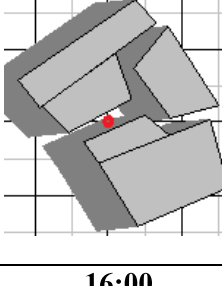
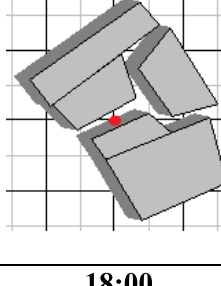
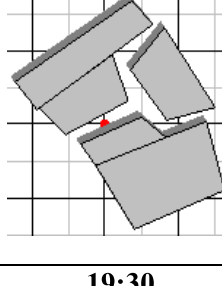




					
		06:00	08:00	10:00	12:00
16					
		14:00	16:00	18:00	19:30
					
		06:00	08:00	10:00	12:00
17		06:00	08:00	10:00	12:00



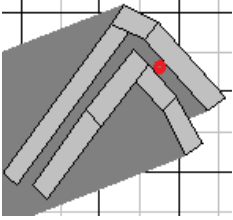
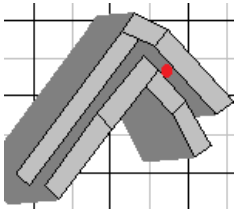
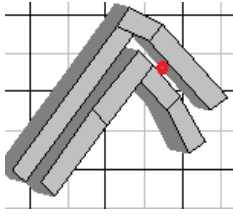
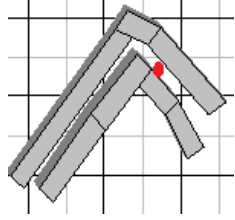
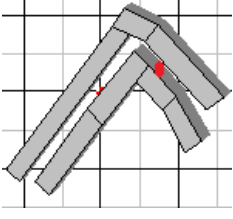
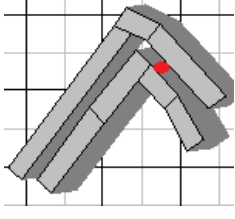
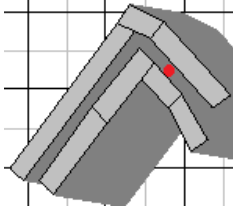
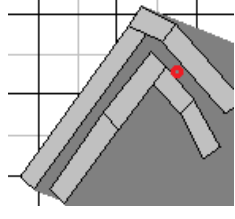
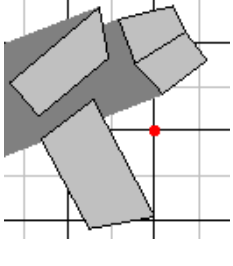
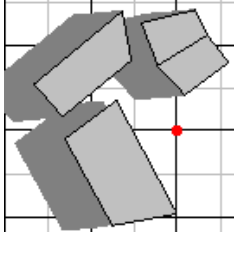
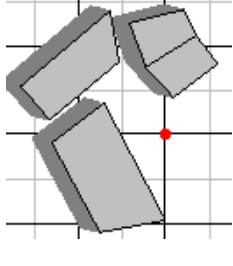
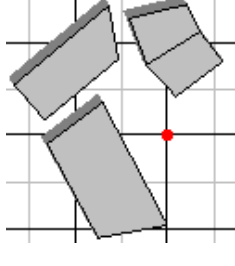
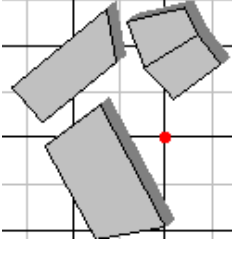
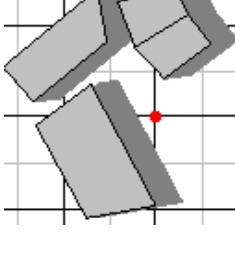
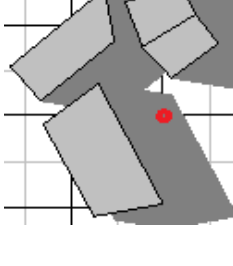
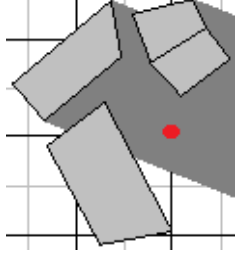
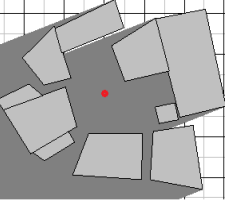
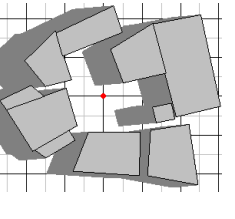
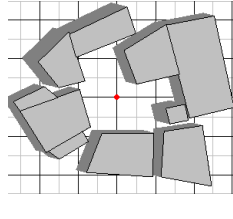
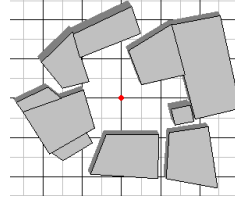


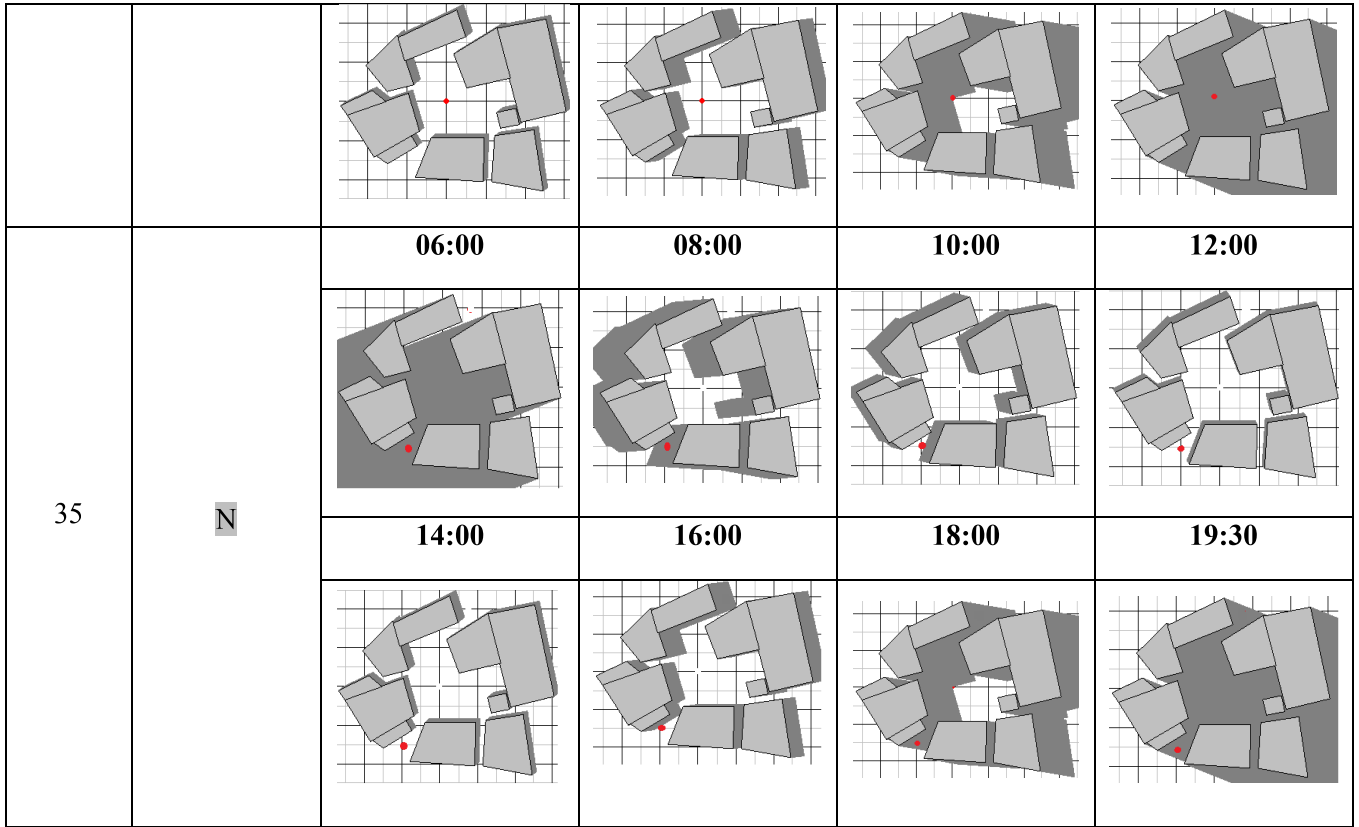
22		06:00	08:00	10:00	12:00		
							
		14:00	16:00	18:00	19:30		
							
		23		06:00	08:00	10:00	12:00
							
				14:00	16:00	18:00	19:30
							
24				06:00	08:00	10:00	12:00
							
				14:00	16:00	18:00	19:30
							
		25		06:00	08:00	10:00	12:00
							

					
		14:00	16:00	18:00	19:30
					
		06:00	08:00	10:00	12:00
26	N				
		14:00	16:00	18:00	19:30
					
27	N	06:00	08:00	10:00	12:00

					
		14:00	16:00	18:00	19:30
					
		06:00	08:00	10:00	12:00
28	N				
		14:00	16:00	18:00	19:30
					
		06:00	08:00	10:00	12:00
29	N				
		14:00	16:00	18:00	19:30
					
		06:00	08:00	10:00	12:00

		06:00	08:00	10:00	12:00
30	N				
		14:00	16:00	18:00	19:30
		06:00	08:00	10:00	12:00
31	N				
		14:00	16:00	18:00	19:30
		06:00	08:00	10:00	12:00
32	N	06:00	08:00	10:00	12:00

					
		14:00	16:00	18:00	19:30
					
		06:00	08:00	10:00	12:00
33	N				
		14:00	16:00	18:00	19:30
					
		06:00	08:00	10:00	12:00
34	N				
		14:00	16:00	18:00	19:30



Annexe 12: TABLEAU PRESENTE LES DUREES D'ENSOLEILLEMENT EFFECTIVES EN COMPARAISON AVEC LES DUREES D'ENSOLEILLEMENT MAXIMALES DE DIFFERENTES STATIONS DANS DES JOURNEES TYPIQUES D'ETE.

Point	Date	Durée d'ensoleillement maximale (min)	Durée d'ensoleillement effective (min)
01	27/07/2016	840	210
02	27/07/2016	840	266
03	27/07/2016	840	297
04	27/07/2016	840	25
05	27/07/2016	840	216
06	27/07/2016	840	7
07	28/07/2016	839	131
08	28/07/2016	839	266
09	28/07/2016	839	140
10	28/07/2016	839	329
11	28/07/2016	839	304
12	28/07/2016	839	689
13	29/07/2016	837	220
14	29/07/2016	837	7
15	29/07/2016	839	62
16	29/07/2016	836	457
17	29/07/2016	839	256
18	29/07/2016	839	386
19	30/07/2016	837	265
20	30/07/2016	837	629
21	30/07/2016	837	688
22	30/07/2016	837	430

23	30/07/2016	837	837
24	30/07/2016	837	7
25	31/07/2016	836	585
26	31/07/2016	836	325
27	31/07/2016	836	227
28	31/07/2016	836	487
29	31/07/2016	836	436
30	31/07/2016	836	5
31	02/08/2016	832	193
32	02/08/2016	832	223
33	02/08/2016	832	728
34	02/08/2016	832	676
35	02/08/2016	832	447

ANNEXE 13: CLASSIFICATION DES VALEURS DE PET SELON LES DIFFERENTS NIVEAUX DU STRESS PHYSIOLOGIQUE ET LA PERCEPTION THERMIQUE.

Points	PET	Niveau du stress physiologique	Perception thermique
1	40.6	Très chaud	Fort stress de chaleur
2	41.6	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur
3	53.6	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur
4	40.3	Très chaud	Fort stress de chaleur
5	45.7	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur
6	41.5	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur
7	41.9	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur
8	54.5	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur

9	44	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur
10	42.8	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur
11	53.6	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur
12	57.1	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur
13	53.3	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur
14	41.7	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur
15	39.7	Très chaud	Fort stress de chaleur
16	53.5	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur
17	55.8	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur
18	54.1	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur
19	53.1	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur
20	57.9	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur
21	48.7	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur
22	56.4	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur
23	53.5	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur
24	41.3	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur
25	55.8	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur
26	44.4	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur
27	54.0	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur
28	58.6	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur
29	54.5	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur
30	40.9	Très chaud	Fort stress de chaleur
31	49.9	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur
32	41.8	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur
33	52.6	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur
34	57.4	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur
35	56.4	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur

