

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR &
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

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

N° d'ordre.....
Série.....

MEMOIRE
POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MAGISTERE
OPTION : ARCHITECTURE BIOCLIMATIQUE

Présenté par : BOUKHELKHAL ISLAM

THEME :

**IMPACT DE LA MORPHOLOGIE URBAINE
SUR LE CONFORT THERMIQUE EXTERIEUR
DANS LES CLIMATS CHAUDS ET ARIDES**

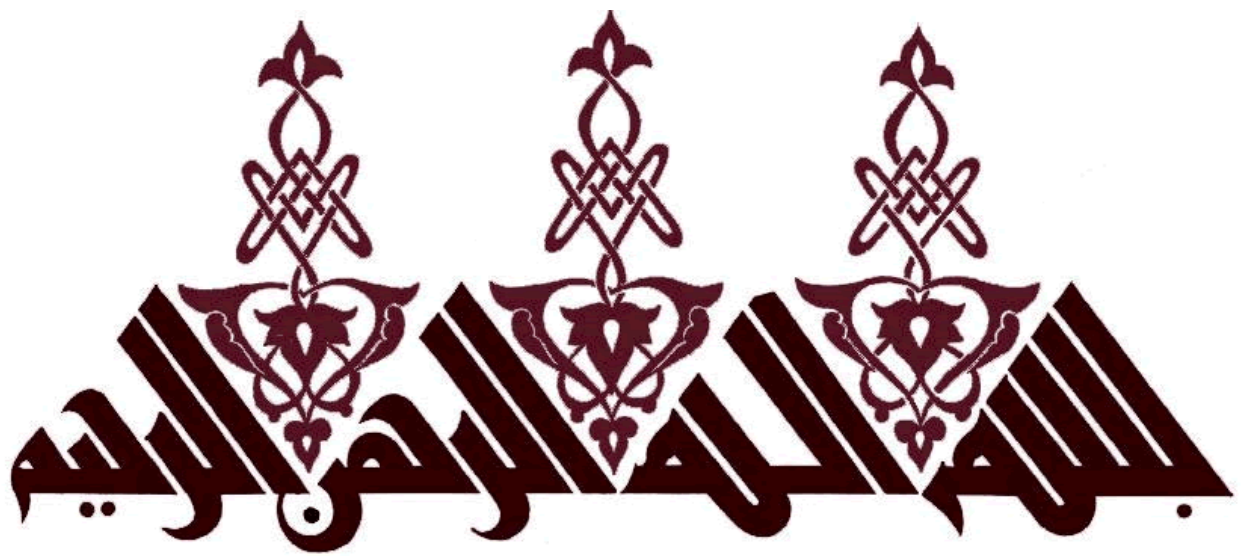
Cas de la nouvelle ville de Tafilelt à Ghardaïa

Sous la direction du PR : BOURBIA FATIHA

Jury d'examen :

ABDOU Saliha	Président	Professeur	Université Constantine 3
BOUCHEHAM Yasmina	Membre	Professeur	Université Constantine 3
DEBACHE Samira	Membre	Professeur	Université Constantine 3
BOURBIA Fatiha	Rapporteur	Professeur	Université Constantine 3

2013 / 2014



وَبِرَّ شَيْعَيْنِ

REMERCIEMENTS

De nombreuses personnes m'ont apporté leur soutien et leur appui tout au long de ce travail de thèse. Je tiens à les remercier pour leur confiance et pour leur aide.

J'aimerais exprimer tout particulièrement ma gratitude à mon encadreur, **PROFESSEUR BOURBIA FATIHA**, pour la confiance qu'elle m'a accordé, pour son dévouement, la compétence scientifique dont elle a fait preuve en m'offrant la possibilité de mener à bien ce travail de recherche et pour ses précieux conseils et ses encouragements constants tout en long de celui-ci, ses critiques constructives, pour sa droiture et sa franchise.

Mes vifs remerciements vont également aux PR BOUCHEHAM Yasmina et PR ABDOU Saliha pour leur soutien, leurs efforts fournis au labo ABE et à la section magistère bioclimatique. Je remercie également le PR DEBACHE Samira pour avoir accepté de participer au jury d'évaluation de ce travail.

Je remercie également Mme NINI Garmia pour ses encouragements et ses conseils ainsi que tous les autres membres du labo, mes collègues et enseignants de l'institut d'architecture, tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

Et enfin, à cette occasion je pense à mes parents qui m'ont toujours soutenu et supporté sans aucune faille depuis toujours. Je remercie Mon Père et Ma Mère (que Dieu les bénissent) pour tout et le reste. Je remercie également mon frère et mes sœurs, pour l'aide et l'encouragement durant toute la période du travail.

RESUME :

L'urbanisme climatique vise à réaliser des villes durables, ses objectifs sont multiples à savoir : le confort, l'économie d'énergie et l'amélioration des conditions microclimatiques en milieu urbain. Le contrôle de la radiation solaire est l'un des objectifs pour atteindre un niveau de confort thermique élevé.

Ce présent travail guide l'urbaniste dans le choix de la morphologie urbaine par rapport à des conditions climatiques, cette morphologie est basée sur des paramètres urbains simples. Ce travail a été entamée par une approche sur les notions du confort thermique et la climatologie, puis de procéder à une analyse sur le microclimat et l'îlot de chaleur urbains dans les climats chauds et secs, et enfin, une évolution de recherches sur les paramètres constituant l'espace public extérieur (Orientation, SVF, Ratio H/L, Végétation, matériaux de construction).

Une investigation sur site s'avère nécessaire pour tester l'influence de la morphologie urbaine des espaces publics extérieurs, avec l'utilisation de la méthode d'habitabilité qui est basée sur le nombre d'heures utile de confort thermique. L'évaluation thermique des espaces urbains est basée sur une utilisation de deux indices de confort thermique, le PMV (vote moyen prévisible) et TB (Thermal Balance) obtenu par la méthode thermique COMFA (**COMfort Formul**A**). L'amélioration du confort thermique extérieur a été évaluée par deux variantes de simulations numériques, par un programme numérique « ENVI-met3 » dont on a essayé de trouver la meilleure façon de concevoir un espace urbain qui s'adapte avec le climat chaud et aride.**

MOTS CLES : Confort extérieur, Contrôle solaire et énergétique, morphologie urbaine, climat chaud, Tafilelt, Méthode d'Habitabilité, ENVI-met3.

INTRODUCTION GENERALE

1- INTRODUCTION	01
2- PROBLEMATIQUE	04
3- HYPOTHESE DE LA RECHERCHE	05
4- OBJECTIF DE LA RECHERCHE	06
5- METHODOLOGIE DE LA RECHERCHE	07

CHAPITRE I : CLIMAT ET CONFORT THERMIQUE

I -1-INTRODUCTION	09
I -2-LE CLIMAT	11
I -2-1- DEFINITION.....	11
I - 2-2-CLASSIFICATION DES CLIMATS MONDIAUX.....	12
I - 2-2-1- LES CLIMATS TROPICAUX	12
I -2-2-2- LES CLIMATS DE MOUSSON.....	12
I - 2-2-3- LES CLIMATS SECS.....	12
I - 2-2-4- LES CLIMATS FROIDS	13
I - 2-3-LES ECHELLES CLIMATIQUES.....	14
I - 2-3-1-LES ECHELLES CLIMATIQUES HORIZONTALES.....	14
I -2-3-1-1-ECHELLE DES CLIMATS REGIONAUX OU MESOCLIMATS.....	14
I -2-3-1-2-ECHELLE DES CLIMATS LOCAUX.....	14
I -2-3-1-3-ECHELLE DES MICROCLIMATS	15
I -2-3-2-LES ECHELLES CLIMATIQUES VERTICALES.....	15
I -2-3-2-1-LA COUCHE LIMITE ATMOSPHERIQUE.....	15
I -2-3-2-2-LA COUCHE LIMITE URBAINE.....	16
I -2-3-2-3-LA COUCHE DE LA CANOPEE URBAINE.....	16
I -2-3-2-4-LA SOUS-COUCHE DE RUGOSITE.....	17
I -2-3-2-5-LA SOUS-COUCHE INERTIELLE.....	17
I -3-LE CONFORT THERMIQUE DANS LES ESPACES PUBLICS EXTERIEURS.....	18
I -3-1- LES PARAMETRES CLIMATIQUES (ENVIRONNEMENTALES)	18
I -3-1-1- TEMPERATURE DE L'AIR.....	18
I -3-1-2- TEMPERATURE DE SURFACE.....	19

SOMMAIRE

-3-1-3- TEMPERATURE MOYENNE RADIANTE.....	19
-3-1-4-HUMIDITE DE L’AIR.....	20
-3-1-5- VITESSE DE L’AIR.....	21
-3-1-6- LE RAYONNEMENT SOLAIRE.....	24
-3-2- LE CONFORT THERMIQUE	26
-3-3- BILAN THERMIQUE CHEZ L’ETRE HUMAIN.....	28
-3-3-1- La conduction	29
-3-3-2- La convection	29
-3-3-3- Le rayonnement	30
-3-3-4- L’évaporation	31
- 4- LES INDICES D’EVALUATION DU CONFORT THERMIQUE	31
-4-1- INDICES THERMIQUES EMPIRIQUE	32
- 4-2- INDICES PSYCHO-SOCIOLOGIQUE-CLIMATIQUES	32
-4-3-INDICES DE L’EQUATION DU BILAN D’ENERGIE	32
- 4-4-INDICES DE L’EQUATION DU BILAN THERMIQUE.....	32
- 4-5- LE VOTE MOYEN PREVISIBLE (PMV)	35
- 4-6-LA METHODE COMFA	36
- 4-7- POURCENTAGE PREVISIBLE D’INSATISFAITS (PPD)	38
-4-8- LA TEMPERATURE PHYSIOLOGIQUE EQUIVALENTE (PET)	39
- 4-9- INDICE DE «TEMPERATURE OPERATIVE»	40
- 4-10- INDICE DE LA « TEMPERATURE STANDARD EFFECTIVE - SET-»	41
- 4-11-LA SENSATION THERMIQUE -TS-	42
- 4-12- LE VOTE DE SENSATION EFFECTIVE (Actual Sensation Vote) -ASV-	42
-5-EFFETS THERMIQUE SUR L’HOMME	43
-5-1- EFFET BIOLOGIQUE	43
-5-2- EFFETS PHYSIOLOGIQUES	43
- 5-3-ADAPTATION THERMIQUE SUR L’HOMME.....	44
-5-3-1- ADAPTATION PHYSIQUE	44
-5-3-2-ADAPTATION PHYSIOLOGIQUE	45
- 5-3-3-ADAPTATION PSYCHOLOGIQUE	45
-6-CONCLUSION	45

CHAPITRE II : MICROCLIMAT URBAIN ET ESPACE PUBLICS EXTERIEURS

II-1-INTRODUCTION.....	48
II-2-CHANGEMENT CLIMATIQUE.....	50
II-2-1-FACTEURS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE.....	52
II-2-1-1- FACTEURS NATURELLES	52
II-2-1-2- FACTEURS ANTHROPIQUES	52
II-2-1-3- FACTEURS ASTRONOMIQUES.....	54
II-3- L'ILOT DE CHALEUR URBAIN (ICU)	55
II-3-1-FACTEURS DE L'ILOT DE CHALEUR URBAIN.....	58
II-3-1-1-LA MORPHOLOGIE URBAINE.....	59
II-3-1-2- ALBEDO DES SURFACES EN MILIEU URBAIN.....	59
II-3-1-3- LA CIRCULATION D'AIR EN MILEU URBAIN.....	60
II-3-1-4- LES MATERIAUX DE CONSTRUCTIONS	61
II-3-2- CONSEQUENCES DE L'ILOT DE CHALEUR URBAIN.....	62
II-4- LES ESPACES PUBLICS EXTERIEURS	63
II-4-1- RUES ET RUELLES	65
II-4-2- LES FORMES GEOMETRIQUES DE LA RUE.....	65
II-4-2-1- LA FORME CANYON.....	65
II-4-2-2- LA FORME DIEDRE.....	66
II-4-2-3- LA FORME DEGAGEE.....	66
II-4-3- PLACES ET PLACETTES.....	67
II-4-4- INFLUENCE DES ESPACES PUBLICS SUR L'ENVIRONNEMENT.....	68
II-4-5-BILAN THERMIQUES DANS LES ESPACES PUBLICS	68
II- 4-5-1- LE FLUX RADIATIF	71
II-4-5-2- LE FLUX CONVECTIF	71
II-4-5-3- LE FLUX CONDUCTIF	71
II-4-5-4- LE FLUX DE CHALEUR LATENTE.....	71
II-4-5-5- LE FLUX DE CHALEUR SENSIBLE	71
II-5- CONCLUSION	72

CHAPITRE III : IMPACT DE LA MORPHOLOGIE URBAINE SUR LE MICROCLIMAT

III -1-INTRODUCTION.....	74
III -2- CLIMAT ET RELIEFS DANS LES REGIONS CHAUDES.....	75
III-2-1- EFFET DU RELIEF SUR LE CONFORT DES VILLES MOZABITES.....	76
III-2-1-1- LE FOND DE LA VALLEE.....	77
III-2-1-2- LES VERSANTS.....	78
III-2-1-3- LES BORDS DE PLATEAUX.....	79
III -3- EFFET DU TISSU URBAIN SUR LE CONFORT THERMIQUE.....	80
III-3-1- DENSITE URBAINE.....	81
III-3-2- RUGOSITE URBAINE.....	83
III-3-3- DENSITE VEGETALE.....	84
III-3-4- POROSITE URBAINE.....	85
III -4-EFFET DE LA MORPHOLOGIE URBAINE SUR LE CONFORT THERMIQUE.....	85
III-4-1- EFFET DE RATIO (H/L) SUR LE CONFORT THERMIQUE EXTERIEUR.....	86
III-4-2- EFFET DU FACTEUR DE VU DU CIEL, Sky View Factor (SVF).....	89
III-4-3- EFFET DE L'ORIENTATION SUR LE CONFORT THERMIQUE EXTERIEUR.....	90
III-4-4- EFFET DE L'ALBEDO SUR LE CONFORT THERMIQUE EXTERIEUR.....	94
III-4-5- EFFET DE LA VEGETATION SUR LE CONFORT THERMIQUE EXTERIEUR.....	96
III-4-6- EFFET DE L'EAU SUR LE CONFORT THERMIQUE EXTERIEUR.....	105
III-4-7- EFFET DES MATERIAUX SUR LE CONFORT THERMIQUE EXTERIEUR.....	107
III -5- CONCLUSION.....	108

PARTIE PRATIQUE

CHAPITRE IV : INVESTIGATION

IV -1- INTRODUCTION.....	109
IV -2- PRESENTATION DU SITE D'INTERVENTION.....	111
IV-2-1- ETUDE URBANISTIQUE.....	115
IV-2-1-1- Géométrie du tissu urbain.....	115
IV-2-1-2- Orientation et densité des voiries.....	118
IV-2-1-3- Géométrie des placettes.....	119

SOMMAIRE

IV-2-1-4- Ensoleillement	120
IV-2-1-5- La ventilation naturelle	124
IV-2-1-6- Densité végétale	125
IV-2-2- ETUDE ARCHITECTURALE.....	125
IV-2-2-1- Matériaux de construction	125
IV-2-2-2- Les Ouvertures Et Protection Solaire.....	127
IV-2-2-3- Couleurs Utilisées.....	128
IV-2-2-4- Les Symboles Traditionnels	130
IV-2-3- ETUDE SOCIOLOGIQUE.....	130
IV -3- METHODOLOGIE DU TRAVAIL.....	131
IV-3-1-CHOIX DES INSTRUMENTS DE MESURES	131
IV-3-2- CHOIX DES STATION DE MESURES.....	135
IV-3-3-CHOIX DE LA PERIODE DE MESURE	140
IV-3-4-CHOIX DE LA METHODE DU TRAVAIL.....	140
IV -4-RESULTATS ET DISCUSSION	144
IV-4-1-TEMPERATURE DE L'AIR.....	144
Effet De L'orientation	
Effet Du SVF	
Effet De L'Albédo	
Effet De La végétation	
IV-4-2- HUMIDITE RELATIVE.....	153
Effet De La végétation	
Effet De L'orientation	
IV-4-3- LA METHODE D'HABITABILITE.....	155
PMV	
TB (BUDJET)	
IV -5-CONCLUSION	160

CHAPITRE V : SIMULATION NUMERIQUE

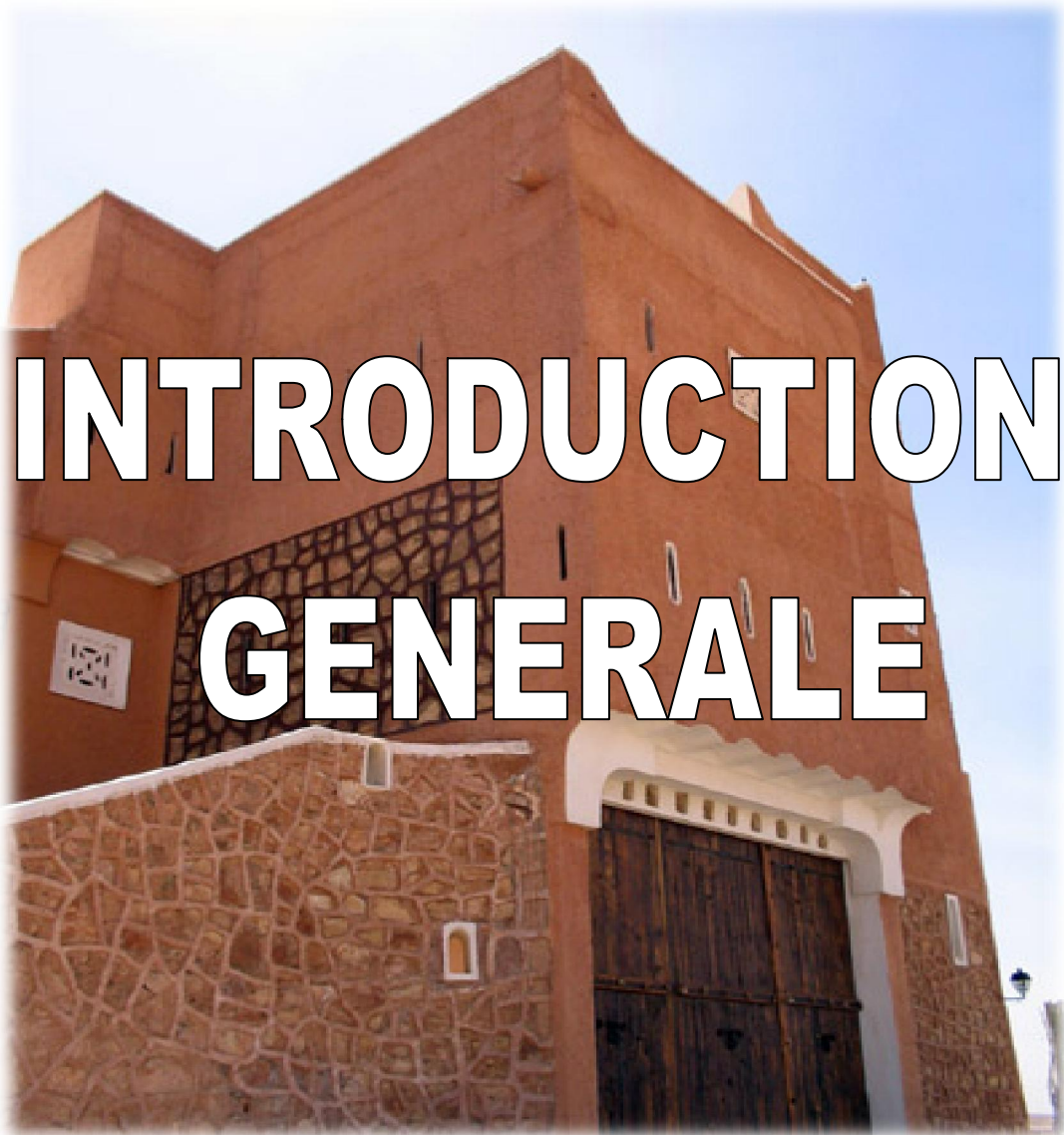
V -1-INTRODUCTION.....	163
V -2-DESCRIPTION DU LOGICIEL ENVI-MET 3.0.	165
V -3-DEROULEMENT DE LA SIMULATION.....	170
V -4-DISCUSSION ET ANALYSE DES RESULTATS DE SIMULATION.....	174

SOMMAIRE

V-4-1- Température de l'Air (T air)	174
V-4-2- Température Moyenne Radiante (MRT)	178
V-4-3- Vote Moyen Prévisible (PMV)	185
V -5- RESULTATS DE LA SIMULATION PAR LA METHODE D'HABITABILITE.....	189
V -6- AMELIORATION DU MICROCLIMAT ET SIMULATION DU 2eme SCENARIO.....	192
V-6-1- Alternatives liée à la géométrie	192
V-6-2- Alternative liées à la végétation	195
V-6-3- Alternatives liées à l'Albédo et Matériaux de construction	199
V -7- CONCLUSION.....	207

CONCLUSION GENERALE

Bibliographie	213
Liste des figures	221
Liste des tableaux	225
Annexes	226



1- INTRODUCTION

Les villes sont de plus en plus en expansion de leurs limites et populations, La santé de l'être humain dépend en grande partie des effets du milieu ambiant de ces villes parce que les conditions climatiques peuvent stimuler ou bien déprimer l'effort physique et intellectuel de l'individu.

En effet, l'histoire humaine est l'histoire de l'urbanisation et de l'industrialisation qui ont affecté considérablement le nombre de bâtiments urbains avec des effets majeurs sur leur consommation d'énergie. Il est prévu que 700 millions de personnes se déplacent vers les zones urbaines au cours des prochaines années. (Santamouris M, 2002).

Le nombre de citadins a augmenté, passant de 600 millions en 1950 à 2 milliards en 1986 et si cette croissance se poursuit, plus de la moitié de la population mondiale vivra dans des villes d'ici la fin de ce siècle. Il y a 100 ans, seuls 14 % vivaient dans les villes et en 1950, moins de 30 % de la population mondiale était urbanisée. Comme mentionné par les Nations Unies, notre planète compte 19 villes de 10 millions de personnes ou plus, 22 villes avec 5-10 millions, 370 villes avec 1-5 millions d'habitants et 433 villes avec 0,5 à 1 million de personnes (Santamouris M, 2002). Les estimations montrent que les populations urbaines vont occuper 80% de la population totale du monde en 2100. Aujourd'hui, au moins 170 villes supportent plus d'un million d'habitants. Selon les estimations, aux États-Unis, 90 % de la population devrait vivre dans ou autour des zones urbaines (Santamouris M, 2002).

L'augmentation de l'urbanisation et l'industrialisation ont détérioré l'environnement urbain. Les déficiences dans le contrôle du développement ont des conséquences importantes. La taille des parcelles ont été réduites, augmentant ainsi la densité et le potentiel de la congestion du trafic. Augmentation du nombre de bâtiments à la place de la végétation et des arbres. New York a perdu 175 000 arbres, soit 20% de sa forêt urbaine au cours des dix dernières années. (Santamouris M, 2002).

En effet, les pressions sociales et les revenus plus élevés associés à la vie urbaine ont augmenté la capacité des citadins à consommer, plus de 25% de la population humaine consomme près de 80% de la production économique du monde. Cependant, une telle surconsommation a un impact important sur la ville ainsi que sur l'environnement mondial, tandis que d'autres problèmes environnementaux comme l'îlot de chaleur et la qualité de l'air ont un impact important sur la qualité globale de l'environnement des villes et la santé des habitants.

Le soleil constitue la source énergétique fondamentale de ces villes. Les caractéristiques du système solaire soumettent la terre à des variations saisonnières affectant la variation de l'ensoleillement et des températures¹.

En raison du changement climatique, les températures de l'air mondiales vont augmenter de 0,2° C par décennie au cours du siècle prochain (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat GIEC, 2007). Par ailleurs, les événements météorologiques extrêmes seront plus fréquents à l'avenir. C'est un problème mondial dont les conséquences comprennent l'augmentation de l'occurrence de stress thermique et d'autres maladies liées à la chaleur. En outre, la performance humaine mentale et physique diminue à des températures dangereusement élevées ainsi que les décès et les maladies causées par la pollution de l'air ont tendance à augmenter par temps extrêmement chaud².

Afin de réduire les impacts climatiques négatifs dans nos villes, la planification et la conception doivent commencer par la connaissance du climat, ainsi que créer des liens entre le microclimat, le confort thermique, la conception et la réglementation d'urbanisme, ces règlements comprennent les instructions qui conduisent au développement durable de la ville. En outre, la forme urbaine est fortement influencée par les règlements d'urbanisme, tels que les règlements de zonage qui régissent les espaces entre bâtiments, la hauteur des bâtiments...etc.

Szokolay (1995) définit l'objectif de la conception bioclimatique comme la nécessité de «garantir le développement et le bien-être de la diversité biologique (principalement humain) soumis à des conditions climatiques particulières ». Lloyd Jones (2002) a également proposé un large champ d'application et le définit comme «une approche de conception basée sur la nature », et il applique la logique de la durabilité dans tous les aspects d'un projet, dont l'objectif est d'utiliser le climat et d'optimiser l'utilisation de l'environnement naturel.

¹ « Liebard A, De herde A, Traité de l'architecture et l'urbanisme bioclimatique, édition Observer, Paris, 2005, P 03 »

² « Liang Chen & Edward Ng, Outdoor thermal comfort and outdoor activities: A review of research in the past decade, Cities 29 (2012) PP 118–125»

2- PROBLEMATIQUE:

Plus de la moitié de la population mondiale vit actuellement dans des villes, les centres de ces derrières sont particulièrement vulnérables à l'extrême, dans le contexte global du changement climatique. Dans ces circonstances, il faut veiller à ce que les piétons soient bien desservis par les espaces extérieurs, ce qui rend ces espaces attrayants aux gens. Ce problème a été de plus en plus reconnu comme un objectif en matière d'urbanisme et de design (Carr, Francis, Rivlin, & Stone, 1993; Gehl & Gemzøe, 2004; Marcus & Francis, 1998; Maruani & Amit-Cohen, 2007).

En Algérie comme ailleurs dans le monde, il y a un fort intérêt public dans la qualité des espaces urbains et il est reconnu qu'ils peuvent contribuer à la qualité de vie des habitants, cela est en relation avec les aspects physiques de l'espace urbain (c.-à-d. morphologie urbaine, microclimat, confort thermique, confort visuel et acoustique, etc.).

Le microclimat urbain change en fonction de la structure, de la typologie et de la morphologie de cette espace urbain (matériaux, végétation, eau, etc.). Nous savons tous que nos villes, aujourd'hui, souffrent de plusieurs problèmes d'inconfort des habitants, soit à l'intérieur ou à l'extérieur, et qui ont une relation directe avec :

- Les effets du vent intense en raison des immeubles en hauteur.
- Les obstacles imposants (immeubles et autres) ce qui influe sur la ventilation des espaces et de leur éclairage ainsi que l'effet radiatif et thermique.
- Faible capacité thermique.
- Faible albédo des matériaux de construction.
- Conductivité thermique élevée (asphalte, briques, etc.)
- Augmentation de la pollution filtrant le rayonnement solaire incident.
- Augmentation de la chaleur provenant de sources anthropiques (activités humaines).
- Taux d'humidité très faible dû aux systèmes d'échappement des véhicules ou aux rejets industriels.
- Faible taux d'évapotranspiration attribuable à la rareté des espaces verts.

Tous ces paramètres et certainement d'autres devront être pris en considération sur l'échelle microclimatique dans la conception de nouveaux espaces urbains, afin d'atteindre le niveau de confort thermique souhaitable dans les espaces extérieurs en particulier, et le climat urbains en général, et chacun d'eux modifie le microclimat à un certain degré, en partant de la géométrie

urbaine, l'implantation, la hauteur des bâtiments, la densité du tissu urbain, les protections solaires des espaces extérieurs, le rafraîchissement par humidification, la végétation.....etc.³

Tafilelt est une nouvelle cité mozabite achevée dans un délai record (1997-2006), notre objectif de recherche est de vérifier « **l'effet de la morphologie urbaine sur le confort thermique extérieur dans les climats chauds et secs** » **Cas de la ville de Tafilelt dans la vallée de Mzab.**

Afin d'atteindre l'objectif de notre étude, les questions suivantes seront posées:

- **Est-ce que ce projet répond vraiment aux exigences climatiques ainsi qu'à la protection de l'environnement ?**
- **Quel est l'effet de la morphologie urbaine sur le microclimat urbain et quelles sont les formes et les paramètres urbains qui peuvent être intégrés et qui vont répondre aux exigences climatiques par rapport à un climat chaud et sec ?**
- **Comment peut-on améliorer le confort thermique extérieur tout en modifiant la morphologie urbaines afin d'obtenir un confort thermique recommandé dans les climats chaud et sec ?**

Cela exige une connaissance profonde du climat dans ces régions chaudes et arides, basée sur des informations locales et des mesures sur site, ainsi que sur des données météorologiques.

3- HYPOTHESE DE LA RECHERCHE :

Plusieurs variables vont agir sur le microclimat urbain, Certains chercheurs pensent que l'effet de diminution de l'îlot de chaleur urbain varie d'un paramètre à un autre. D'autres pensent que la combinaison de ces paramètres peut modifier le niveau de confort thermique extérieur, ce qui va nous aider à formuler les hypothèses suivantes :

1. Le microclimat urbain est directement lié (dans un premier degré) au climat général de la région.
2. Le microclimat urbain est en fonction (dans un deuxième degré) des paramètres suivants:
La structure de l'espace urbain tel que ; la compacité du tissu urbain, la structure organique des espaces publics, le réseau routier, les places publics, les jardins...etc

³ «BALLOUT AMOR, le rôle de la végétation et l'eau dans la création d'un microclimat urbain «Place de Ain el Fouara», Mémoire de Magister, Département d'Architecture et d'Urbanisme, Université Mentouri, 2010, P 03»

3. La présence de la végétation joue un rôle fondamental dans l'amortissement des excès de chaleur, elle modifie l'impact du rayonnement solaire, la température et l'humidité de l'air.
4. Le confort thermique est très difficile à atteindre passivement dans les régions extrêmement chaudes et sèches, mais une amélioration est possible, par le facteur d'adaptation thermique.

4- OBJECTIF DE LA RECHERCHE :

L'objectif de cette recherche est d'analyser la relation entre la morphologie urbaine, le microclimat et les conditions du confort thermique dans les espaces publics extérieurs, elle permet de démontrer la corrélation entre les indicateurs morphologiques et l'environnement thermique extérieur. Le but principal est d'identifier des paramètres importants qui peuvent être intégrés dans le processus de conception des espaces publics urbains. Dans la même logique, les étapes suivantes vont être suivies dans le but d'atteindre les objectifs cités ci-dessus

En premier lieu, acquérir une méthodologie de travail concernant la recherche en général, et celle dans le domaine du confort humain plus spécialement.

- a. Acquérir des notions sur le confort extérieur dans les régions à climat chaud et aride, qui vont non seulement nous aider dans ce travail mais aussi dans les futures recherches.
- b. Evaluer le microclimat urbain dans les régions à climat chaud et sec par une étude de la morphologie des espaces extérieurs.
- c. Evaluer les conditions du confort thermique et démontrer la variabilité et la dynamique de l'environnement thermique en milieu urbain
- d. Démontrer l'effet de cette dynamique sur la perception de l'ambiance thermique extérieure

Pour atteindre ces objectifs, les points suivants vont être discutés :

- Etudier le mode de conception au niveau du plan de masse: en damier, ou radioconcentrique.
- Etudier la compacité du tissu urbain (pour réduire les surfaces exposées au soleil).
- Etudier la structure organique des espaces publics.
- Etudier le réseau routier (grandes artères, routes, ruelles, impasses)
- Etudier les places publiques, les placettes, les esplanades, les aires de jeux, etc.
- Etudier la répartition des espaces ombrés et ensoleillés qui ont un rapport avec les hauteurs des constructions, l'orientation des axes, et la largeur des rues par rapport à l'ensoleillement.

5- METHODOLOGIE :

Notre recherche s'organise en trois parties principales. Premièrement, une familiarisation avec les différents concepts propres à l'urbanisme bioclimatique et à notre objet d'étude. Cette première phase sera développée en trois chapitres, elle consiste en une approche théorique sur les notions de confort thermique et de climatologie, puis à procéder à une analyse sur le microclimat et les espaces extérieurs urbains par rapport au confort thermique dans les climats chauds et secs, et enfin, une évolution de recherches de tous les paramètres fondamentaux constituant l'espace public extérieur.

Après avoir acquis toutes les notions élémentaires au cours de la partie théorique, la deuxième partie est pratique, elle comprendra le quatrième chapitre qui consiste en un travail sur terrain qui comporte la prise des mesures par des instruments de mesures scientifiques et un questionnaire sur site relatives aux différents paramètres climatiques de la région, cette partie sera analysée par deux méthodes qu'on va voir ultérieurement. Le cinquième chapitre comprendra la simulation utilisant un logiciel de simulation pour avoir le plus de paramètres et de données. Le logiciel utilisé est Envi-met 3.0 conjugué à d'autres programmes qu'on va voir ultérieurement (COMFA). L'utilisation des logiciels permettra d'étendre la marge de la recherche et de compléter la première phase. Les résultats de l'investigation et de la simulation constitueront une base pour établir quelques recommandations.



I-1- INTRODUCTION

Dès la fin des années 60, l'humanité a pris conscience de la tendance vers l'épuisement des ressources et la première conférence internationale sur l'environnement de Stockholm en 1972 en est le symbole. Un an plus tard, le premier choc pétrolier illustre la fragilité des systèmes dépendant des énergies fossiles. Ainsi, est apparue la nécessité de revenir aux énergies naturelles et climatiques.

En 1988, l'ONU adopte la notion de développement durable qui signifie un développement social, économique et politique répondant aux besoins présents, sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire leur propre développement. Cette notion fait apparaître la nécessité d'une double solidarité : solidarité entre les peuples et solidarité entre les générations. Chaque acteur, de chaque secteur de la vie économique, est donc confronté à la responsabilité qui lui incombe dans la gestion globale des ressources et de l'environnement.¹

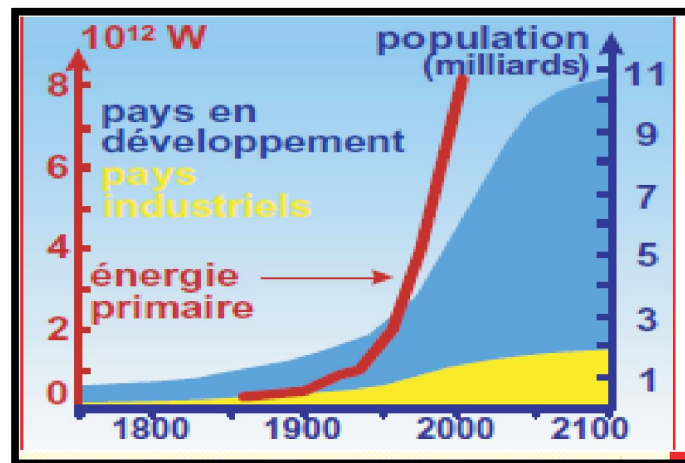


Figure 1: Courbe prévisible de la population mondiale (1750-2100) et la consommation d'énergie primaire
(Source : traité d'architecture bioclimatique, 2006)

Pour le secteur du bâtiment qui est très énergivore (de 30 % à 40 % de la consommation d'énergie mondiale) le concepteur doit continuer à assurer le confort de l'utilisateur ainsi que la protection de l'environnement. D'après André Ravereau, l'architecture n'est pas une recherche de forme pour l'œil, elle est avant tout une recherche de forme maximale avec le climat qui, lui, est permanent.

Au cours des dernières années, la qualité de l'environnement thermique extérieur est devenue aussi importante que celle de l'environnement thermique intérieur. Plusieurs recherches ont mis en évidence l'importance des paramètres climatiques tels que la température de l'air, l'humidité relative et le rayonnement solaire dans le niveau de confort thermique de l'homme. La relation climat-confort

¹ « Brahimi K et al, Architecture et confort thermique dans les zones arides, cas de la ville de Béchar, *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 11 N°2 (2008) 307 – 315 »

constitue un concept introduit dans la majorité des travaux de recherches sur la conception bioclimatique, comme le montrent plusieurs chercheurs dans ce domaine :

Olgay (1970) a développé la séquence «climat-biologie-technologie-architecture», pour l'évaluation biologique (du confort) par des solutions technologiques et architecturales mis en œuvre.

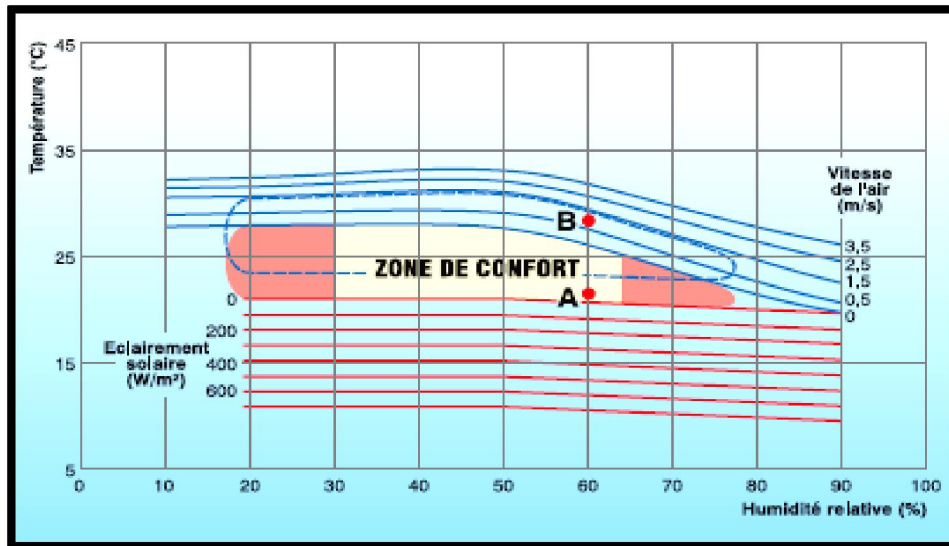


Figure 2 : Zone de confort thermique D'après Olgay (Source : De Herde A. et Liébard A, 2005)

Givoni (1978) emploie les termes «climat-confort-architecture», qu'il a utilisés dans son livre.

Markus et Morris (1980) identifient les éléments du système environnemental pour les bâtiments sans climatisation artificielle et systèmes de protection (sol, végétation, éléments de construction), et dans la même logique de recherche, Evans (1980) lui aussi, propose la séquence «climat-confort-design» dans son livre «Climat, Confort et logement ».

Plusieurs travaux de recherches montrent qu'il y a un intérêt accru dans les dernières décennies sur le microclimat urbain et le confort thermique. Un grand nombre de chercheurs ont discuté le climat et le confort thermique, d'une part, les travaux d'Olgay, Koenigsberger et Evans se concentrent principalement sur le climat et le confort intérieur dont ils parlent sur la conception des bâtiments dans différents climats. D'autre part, les travaux de Oke, Emmanuel, Evyatar et Givoni (dans une certaine mesure) se concentrent sur le niveau urbain plutôt que sur l'intérieur des bâtiments. Plus précisément, on peut citer les travaux de Eliasson (2007), d'Emmanuel (2005), Evyatar (2011) Arnfield (1990), Mills (1997), Bourbia et AWBI (2004) et d'autres qui traitent du confort thermique à l'échelle urbaine. Toutes ces études soulignent l'importance primordiale de la relation entre le CONFORT EXTERIEUR et le MICROCLIMAT URBAIN.

I-2- LE CLIMAT :

I-2-1- DEFINITION :

Le terme « **climat** » apparaît dans la langue française au XII^e siècle comme dérivé du latin **climatis** qui provient du grec **klima** qui désigne l'inclinaison de la Terre par rapport au Soleil. Les premiers découpages climatiques ont été établis selon l'inclinaison des rayons du soleil par rapport à l'horizon.

Selon LAROUSSE, le climat est un ensemble de phénomènes météorologiques d'une région ou d'un lieu, qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère dans ce lieu donné.² Le climat peut être défini comme étant les conditions moyennes qu'il fait dans un endroit donné (température, précipitations, pression atmosphérique, ensoleillement, humidité, vitesse du vent) calculées d'après les observations d'au moins 30 ans (défini par l'Organisation Météorologique Mondiale). Il est donc caractérisé par des valeurs moyennes, mais également par des variations et des extrêmes. A l'échelle de la planète, le climat représente une machinerie complexe qui est le produit, dans l'espace et dans le temps, de toute une série d'interactions entre les éléments qui composent les différents compartiments³ :

l'atmosphère ; la lithosphère (la croûte terrestre) ; l'hydrosphère (l'ensemble des mers, des océans, des lacs de la planète) ; la cryosphère (les glaces du monde entier) ; la biosphère (l'ensemble des êtres vivants, en particulier la végétation).

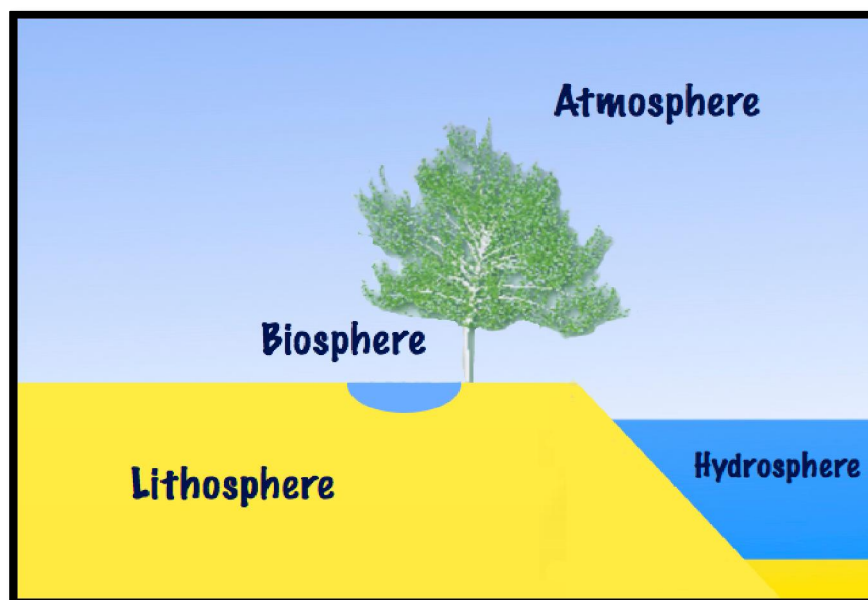


Figure 3 : les différents éléments qui caractérisent notre terre (Source : bv.alloprof.qc.ca, 2013)

² « www.larousse.fr/dictionnaires »

³ « <http://www.actu-environnement.com/ae/> environnement »

Selon **Oke**, le climat de la ville est une combinaison de différents microclimats, coexistant dans la canopée urbaine et fortement liée à la géométrie urbaine. Il peut être supposé que les caractéristiques géométriques de l'espace ouvert déclenchent des variations microclimatiques qui peuvent influencer sur les conditions environnementales dans ces régions.

I-2-2-CLASSIFICATION DES CLIMATS MONDIAUX :

Il existe de nombreuses méthodes de classification des climats, elles dépendent des données observées, leur choix est fonction des buts recherchés par les observateurs. La terre connaît cinq grands types de climats classés selon la température et l'humidité : climat tropical, climat sec, climat tempéré chaud, climat tempéré froid et climat froid. Cette classification peut encore être affinée par les cycles saisonniers tels que la mousson ou des caractéristiques géographiques comme la proximité des océans, l'altitude, les forêts, etc. (Voir Figure 4).

I-2-2-1- LES CLIMATS TROPICAUX :

Ils se rencontrent entre les latitudes 15°N et 15°S et ils sont caractérisés par une faible fluctuation saisonnière. La température de l'air varie entre 27 et 32 °C le jour et entre 21 et 27 °C la nuit, l'humidité relative tourne autour de 75 % toute l'année, le rayonnement solaire est important, même s'il est partiellement atténué par la couverture nuageuse, le vent est faible et les précipitations sont importantes.

I-2-2-2- LES CLIMATS DE MOUSSON :

Ils se rencontrent autour des tropiques du Cancer et du Capricorne. Ils sont caractérisés par une longue saison chaude et sèche et une courte saison chaude et humide. La température de l'air varie entre 32 et 43 °C le jour et entre 21 et 27 °C la nuit, en période sèche. En saison humide, la température de l'air varie entre 27 et 32 °C le jour et entre 24 et 27 °C la nuit. Le différentiel de température jour / nuit est très réduit, l'humidité relative pendant le jour est faible (20 à 55 %) mais augmente considérablement en saison humide (55 à 95 %), le rayonnement solaire est intense, les vents sont forts et continus, essentiellement pendant la mousson, et les précipitations peuvent atteindre 200 à 250 mm pour le mois le plus pluvieux.

I-2-2-3- LES CLIMATS SECS :

Ils se rencontrent entre les latitudes 15° et 30° N et S. Ils sont caractérisés par une saison chaude et une saison froide. La température de l'air varie entre 43 et 49 °C le jour et entre 24 et 30 °C la nuit. En saison froide, la température de l'air varie entre 27 et 32 °C le jour et entre 10 et 18 °C la nuit. Le différentiel de température entre le jour et la nuit est important, l'humidité relative est faible

(10 à 55 %) et le rayonnement solaire est intense, les vents sont souvent chauds et localisés, porteurs de sable et de poussières et les précipitations sont très faibles (50 à 155 mm/an). Au voisinage des masses océaniques, ces climats subissent l'influence de l'évaporation importante des mers.

I-2-2-4- LES CLIMATS FROIDS :

Ils se rencontrent en Amérique du Nord et en Asie. Ce climat continental connaît un été très bref et humide et un hiver long et faiblement enneigé (continent nord-américain) ou très sec et très froid (nord-est asiatique). Les climats polaires se rencontrent au-delà du cercle polaire.⁴

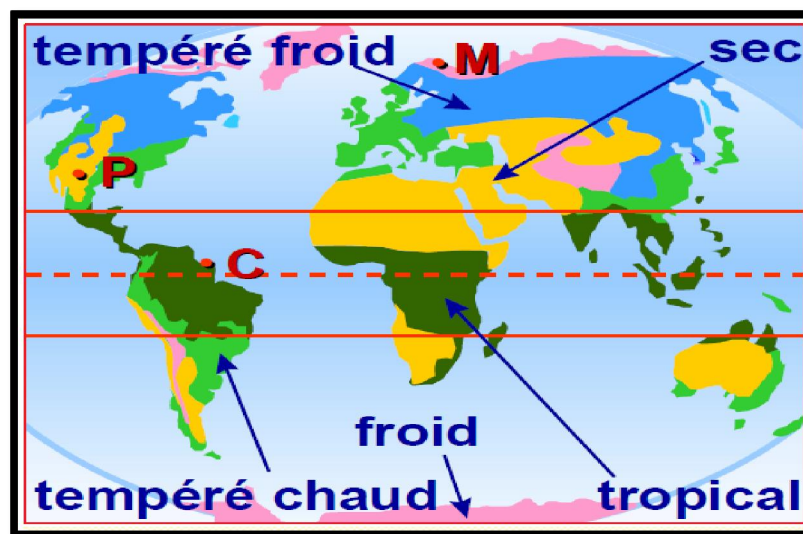


Figure 4 : Distribution des différents climats. (Source : Traité d'architecture bioclimatique, 2006)

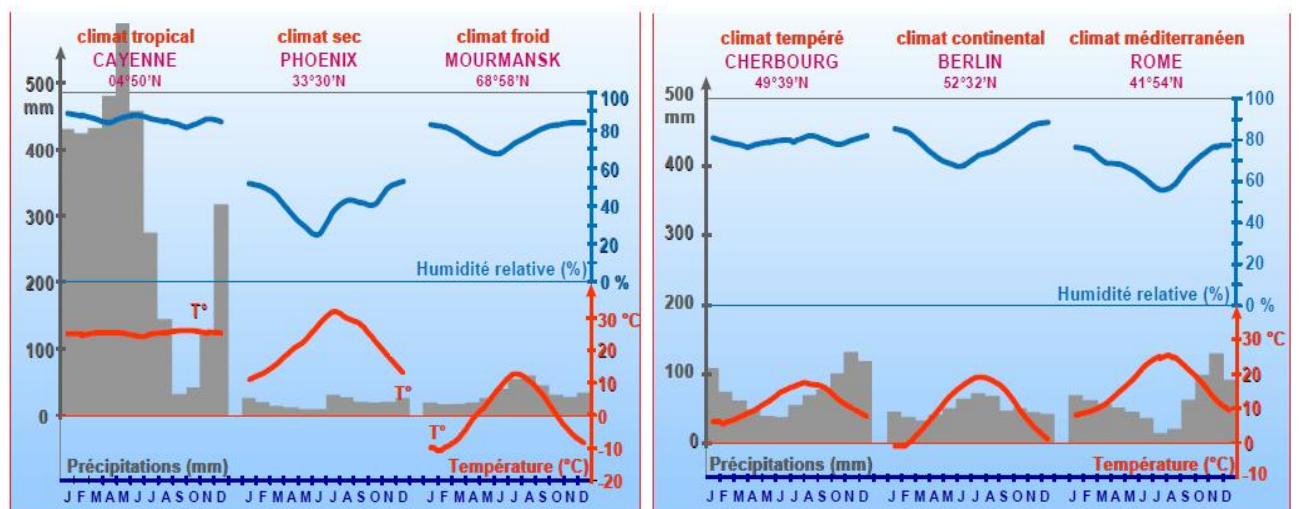


Figure 5 : Données climatique distribués pour différents climats (Source : Traité d'architecture bioclimatique, 2006)

⁴ « Liebard A, De herde A, Traité de l'architecture et l'urbanisme bioclimatique, édition Observer, Paris, 2005, P 10 »

Plusieurs études sur le microclimat urbain et le confort thermique extérieur ont porté sur divers climats. Plusieurs chercheurs ont étudié les climats froids (par exemple Nikolopoulou, 2001); (Thorsson et al, 2004); (Eliasson et al, 2007). D'autres ont effectué des recherches dans les climats chauds et humides (par exemple, Emmanuel et al, 2007); (Lin, 2009). D'autres ont étudié le climat subtropical (par exemple Spagnolo et de Cher, 2003). Ainsi que d'autres ont étudié les climats tempérés (par exemple Thorsson et al, 2007). D'autres ont fait des études dans les climats chauds et secs (par exemple Ali-Toudert et Mayer, 2006); (Johansson, 2006); (Djenane et al, 2008); (Al Jawabra et Nikolopoulou 2009); (Bourbia et AWBI, 2004); (Pearlmutter et al, 2006 et 2007); (Shashua-Bar et al, 2011); (Mahmoud, 2011). Pour cette recherche, c'est le climat chaud et sec qui est l'objet d'étude.

I-2-3-LES ECHELLES CLIMATIQUES :

L'influence des phénomènes météorologiques appartient à des échelles spatio-temporelles plus réduites. Plusieurs modifications se produisent soit en un lieu, soit à une période annuelle de plus ou moins longue durée, soit à la fois en un lieu et à une période donnée. Ces modifications sont associées à des critères de dimension et de topographie d'espace⁵. Il existe deux types d'échelle climatique : horizontale et verticale.

I-2-3-1-LES ECHELLES CLIMATIQUES HORIZONTALES:

I-2-3-1-1-ECHELLE DES CLIMATS REGIONAUX OU MESOCLIMATS :

Elle s'applique à des régions de plusieurs milliers de kilomètres carrés, soumises à certains phénomènes météorologiques bien particuliers (vents régionaux par exemple) du fait de l'interaction entre la circulation générale et le relief. Le climat de l'Alsace, asséché par l'effet de foehn, fournit un exemple typique de climat régional (Voir figure 6).

I-2-3-1-2-ECHELLE DES CLIMATS LOCAUX:

Elle s'applique à des sites s'étendant sur plusieurs dizaines de kilomètres carrés en moyenne. Les particularités environnementales sont la cause des phénomènes de vents locaux, d'écarts de température et d'humidité que l'on peut observer sur plusieurs sites par rapport au climat général. Ces particularités peuvent avoir une origine humaine (il s'agit essentiellement du climat urbain) ou être entretenues par un milieu naturel tel qu'un rivage marin ou lacustre, une forêt ou bien une vallée (Voir figure 6).

⁵ «<http://comprendre.meteofrance.com/pedagogique> »

I-2-3-1-3-ECHELLE DES MICROCLIMATS :

Elle s'applique à des sites peu étendus (une centaine de mètres carrés en moyenne, parfois beaucoup moins), situés sous la couche de surface de l'atmosphère, là où l'écoulement turbulent de l'air exerce un rôle prépondérant. Les caractéristiques spécifiques de l'environnement à petite échelle (bâtiments et obstacles divers, couvert végétal) modifient dans ce cas le comportement du courant aérien, de l'ensoleillement, de la température et de l'humidité.⁶ La figure ci-dessous démontre les trois échelles Climatiques Horizontales.

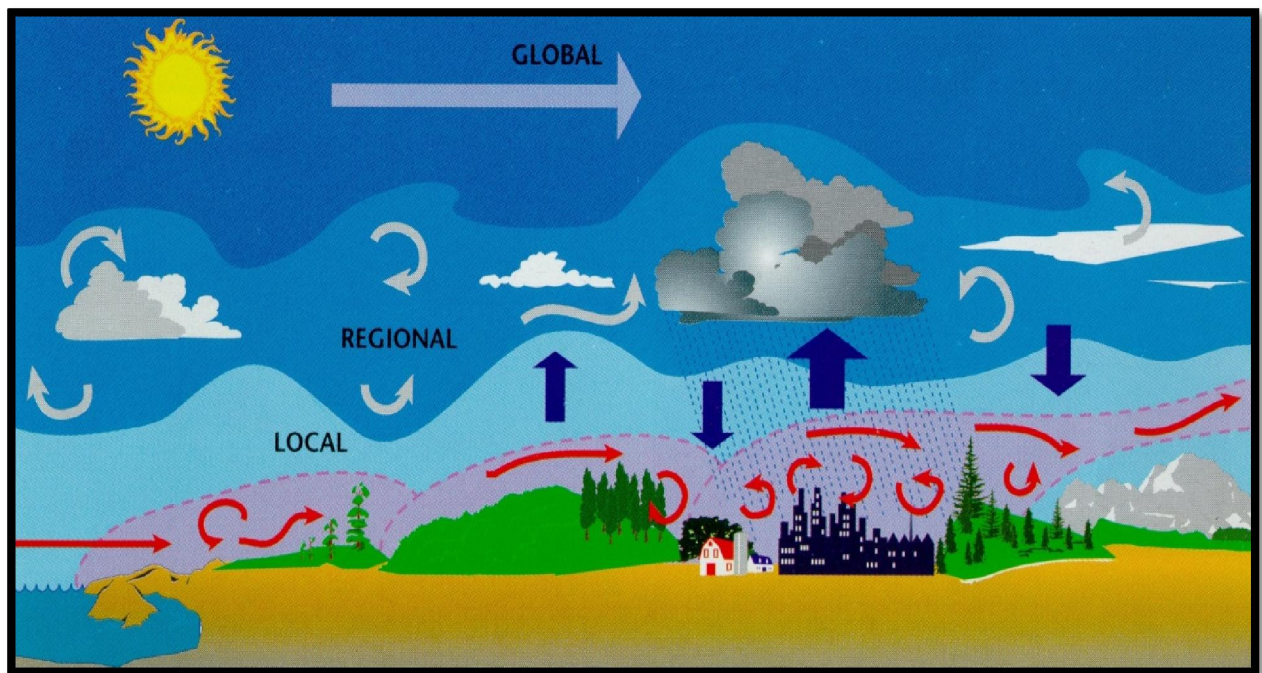


Figure 6 : Les Echelles Climatiques Horizontales (Source : lecercle.lesechos.fr,2013)

I-2-3-2-LES ECHELLES CLIMATIQUES VERTICALES:

I-2-3-2-1-LA COUCHE LIMITE ATMOSPHERIQUE :

La Couche Limite Atmosphérique (C.L.A. – PBL pour Planetary Boundary Layer en anglais) est définie comme la partie de la troposphère directement soumise à l'influence de la surface terrestre (terres, mers, lacs,...) à l'échelle de la journée. C'est la couche d'atmosphère comprise entre la surface de la terre et environ 1 km d'altitude en moyenne mais son épaisseur est très variable. Cette couche est caractérisée par des transferts d'énergie entre la surface de la terre et l'atmosphère, et son étude est essentielle pour la compréhension des échanges du bilan radiatif au dessus d'une ville⁷.

⁶ « www.meteofrance.com »

⁷ « <http://sup.ups-tlse.fr/uved/Ozone/BasesScientifiques> »

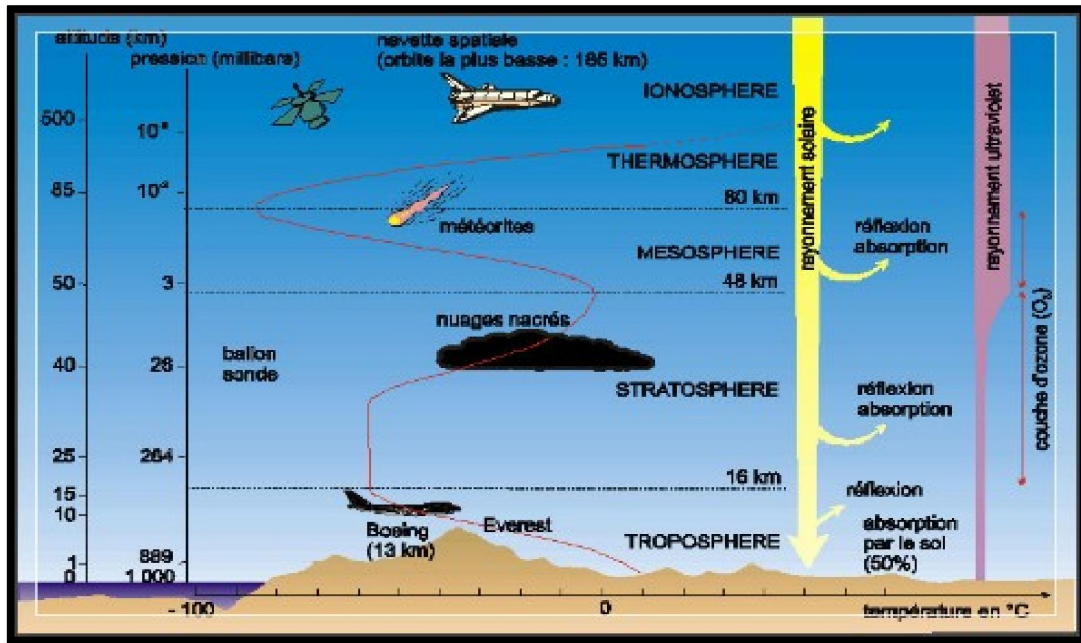


Figure 7 : les différentes couches verticales (Source : www.meteo45.com, 2013)

I-2-3-2-2-LA COUCHE LIMITE URBAINE :

La couche limite urbaine est la portion de la couche limite atmosphérique au dessus d'une surface urbaine et dont les caractéristiques climatiques sont modifiées par la présence de la ville. Les caractéristiques de l'écoulement et de la turbulence dans la couche limite urbaine sont largement déterminées par le caractère rugueux de la surface et les matériaux des surfaces qui sont caractérisés par une conductivité thermique relativement importante. Ces deux facteurs déterminent les caractéristiques générales de la structure de la couche limite urbaine. Les éléments de rugosité sont essentiellement les bâtiments, ainsi que les sites d'implantation des villes (ex : terrain en pente, zone côtière, villes continentales) peuvent fortement affecter la formation de la couche limite urbaine.⁸

I-2-3-2-3-LA COUCHE DE LA CANOPEE URBAINE

Elle se développe à partir du niveau du sol jusqu'à la hauteur moyenne des éléments de rugosité (bâtiments et arbres), elle se caractérise par son propre champ d'écoulement généré et déterminé par l'interaction du champ d'écoulement au-dessus (dans la couche limite urbaine) et les caractéristiques locales du site comme la topographie, la géométrie des constructions et leurs dimensions, les rues, le trafic routier, la présence des arbres (Voir figure 8).

⁸ «Rotach, 2005 IN Kitous S, Forme Urbaine et environnement thermo-aérolitique en climat chaud et sec, thèse de doctorat, EPAU 2013, P19»

Dans cette couche, les processus des échanges énergétiques sont gouvernés par les caractéristiques spécifiques du site. Entre la couche limite urbaine et la couche de la canopée urbaine, se développent deux sous-couches limites, ce sont la sous-couche inertielle et la sous-couche de rugosité.

I-2-3-2-4-LA SOUS-COUCHE DE RUGOSITE :

Elle englobe toute la hauteur dans laquelle l'écoulement de l'air est directement influencé par la rugosité des éléments, c'est une zone de mélange des sillages des éléments de rugosité rencontrés par le vent. Les champs de vitesse y sont fortement hétérogènes, souvent les forces de frottement y sont prépondérantes et les champs d'écoulement y sont tridimensionnels.

Cette sous-couche s'étend à partir du sommet des éléments de rugosité, et sa hauteur est dépendante de la hauteur et la densité des éléments de rugosité. C'est à travers cette couche que se font les échanges de masse, d'énergie et d'humidité entre le sol et la couche limite atmosphérique. Elle est caractérisée par la longueur de rugosité (Voir figure 8).

I-2-3-2-5-LA SOUS-COUCHE INERTIELLE :

Au-dessus de la sous-couche de rugosité se développe une sous-couche inertielle. Dans cette couche, les turbulences sont constantes avec la hauteur, l'écoulement est bidimensionnel et une distribution uniforme de la vitesse du vent moyenne peut être observée. C'est dans cette couche que sont prises les mesures du vent local parce qu'il n'est pas perturbé par la rugosité des éléments du sol.

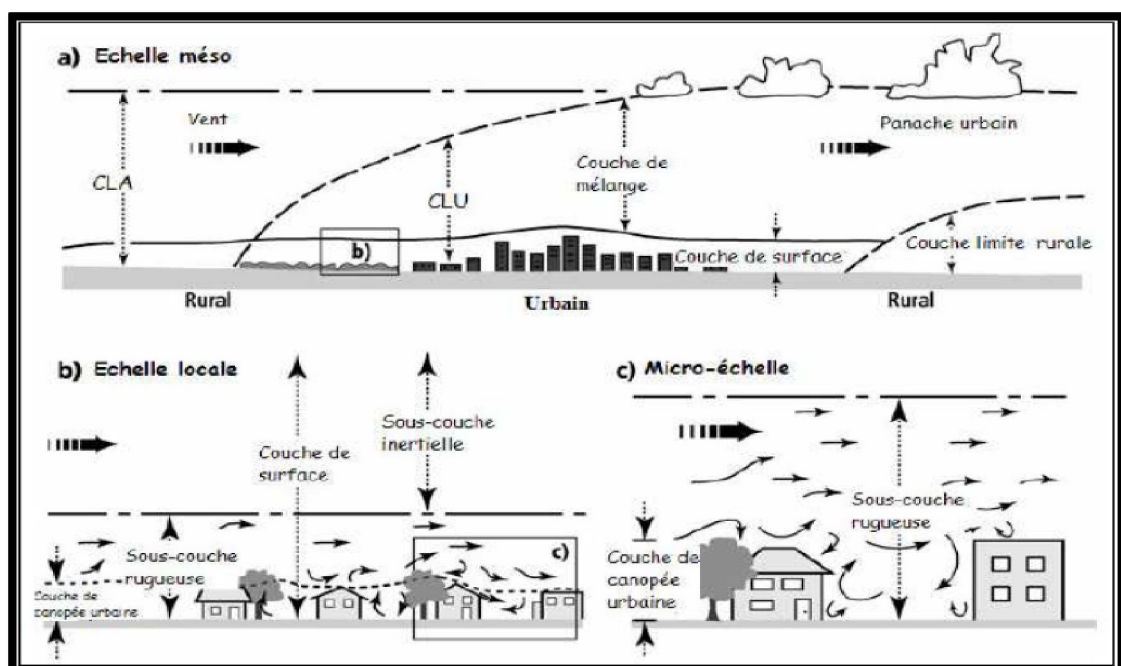


Figure 8 : représentation schématique de la couche limite urbaine (Source : Sylvie, 2006)

I-3-LE CONFORT THERMIQUE DANS LES ESPACES PUBLICS EXTERIEURS :**I-3-1- LES PARAMETRES CLIMATIQUES (ENVIRONNEMENTAUX):****I-3-1-1- TEMPERATURE DE L'AIR :**

La température de l'air (°C) est simplement la température du fluide qui circule autour d'un individu et qui détermine le flux de chaleur entre l'air et l'individu. En réalité, la température de l'air n'est pas uniforme autour de l'individu, elle est différente à proximité du corps. Par exemple, dans un environnement à 20°C, la température de l'air sera plus élevée à proximité de la peau d'un homme qu'à proximité du vêtement chez l'homme vêtu. Mais à l'inverse, la température de l'air entre la peau et le vêtement sera supérieure à celle de l'air extérieur⁹.

La température est un état instable dont les variations au voisinage de l'environnement humain dépendent du rayonnement solaire, du vent, de l'altitude et de la nature du sol.

Le soleil réchauffe l'atmosphère indirectement par l'intermédiaire de la surface de la terre car celle-ci stocke et réémet la chaleur par rayonnement et par convection. La propagation de cette chaleur est alors assurée soit par conduction, soit par diffusion due aux turbulences créées par le vent. La température varie également suivant la couverture nuageuse. Par journée claire, la température tend à s'élever parce que le rayonnement direct est plus important. A l'inverse, la terre et l'atmosphère se refroidiront la nuit par rayonnement infrarouge vers la voûte céleste¹⁰.

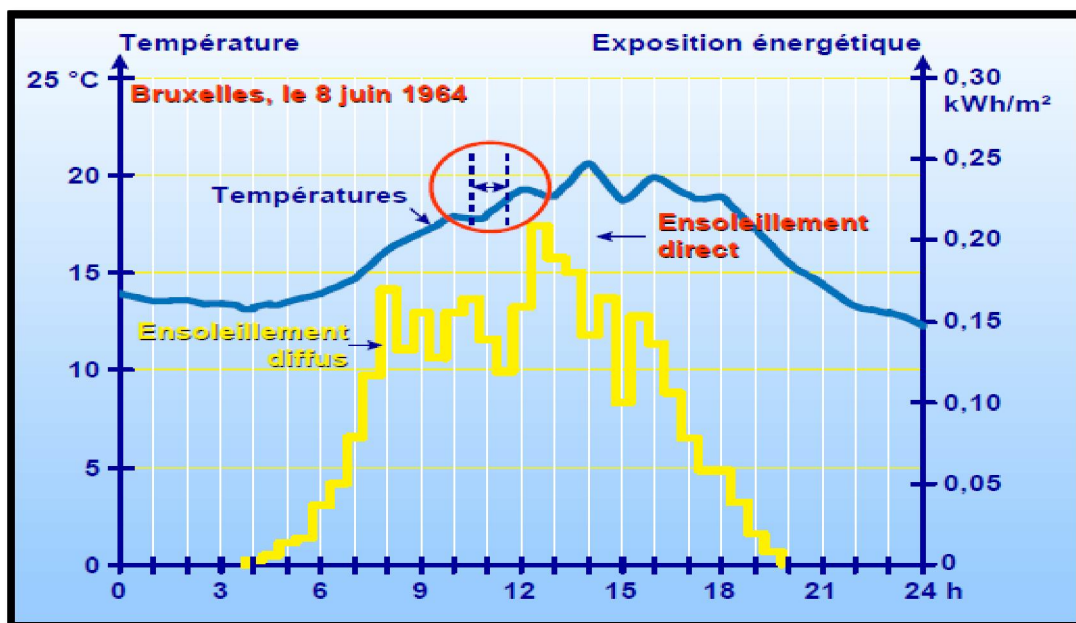


Figure 9 : La température est influencée par l'insolation (Source : traité d'architecture bioclimatique, 2006)

⁹ « Actes de la 13ème Journée du Cuepe, Colloque du cycle de formation du Cuepe 2002-2003 »

¹⁰ « T Liebard A, De herde A, Traité de l'architecture et l'urbanisme bioclimatique, édition Observer, Paris, 2005, P 15 »

I-3-1- 2- TEMPERATURE DE SURFACE

Les objets qui nous environnent (les murs, les sols...) ont des températures propres qui résultent de plusieurs effets des paramètres et des caractéristiques de l'environnement. Le fait de toucher une surface engendre un flux thermique, tout comme le fait d'être exposé à cette surface, même sans la toucher¹¹.

Plusieurs recherches ont travaillé sur ce paramètre. La distribution spatiale de la température de surface et de l'air dans un espace urbain a été d'abord examinée par Nakamura et Oke (1988). Un réseau de 63 mesures des points a été mis dans une coupe verticale d'un canyon urbain situé à Kyoto, au Japon pendant une journée d'été. Le réseau de la grille a été organisée avec des points vers le sol et les murs, et la rue était orientée E-O. Nakamura et Oke (1988) ont observé de grandes différences entre la température de surface T_s et la température de l'air T_a . Près de midi, la différence ($T_s - T_a$) était supérieure à 10 K. La nuit, la température des surfaces était plus chaude de quelques degrés. Cette différence est beaucoup plus faibles dans la partie ombragée du canyon qui ne reçoit pas le rayonnement solaire direct que la partie ensoleillée. Les mêmes auteurs de cette recherche (1988) ont observé qu'à l'ombre, la température de l'air peut même être plus élevée que la température de surface, probablement due au réchauffement de l'ensemble du volume d'air par transfert de flux de chaleur sensible turbulent des surfaces ensoleillées et son mélange par la circulation d'air. Ces conclusions ont été confirmées par Yoshida (1990/91) pour un canyon similaire, et par Santamouris (1999) qui ont effectué des mesures dans des conditions météorologiques chaudes à Athènes (30°N), la température de surface était plus importante pour l'orientation E- O (de 0 à 10 K) par rapport à l'orientation N-S (0 à 3 K), en raison de l'exposition solaire qui est différente et les températures les plus élevées ont été enregistrées pour la partie supérieure des canyons dans les deux cas.

I-3-1-3- TEMPERATURE MOYENNE RADIANTE

La température moyenne radiante (MRT) est une notion qui découle du fait que l'échange d'énergie rayonnante nette entre deux objets est approximativement proportionnel à leur différence de température multiplié par leur capacité d'émissivité. Il est tout simplement la zone de température moyenne pondérée de tous les objets qui entourent le corps. Ceci est valable tant que les températures absolues des objets environnants sont grandes par rapport aux différences de température.

L'émissivité des surfaces environnantes ont une certaine influence sur la MRT, qui a également une forte influence sur les indices de confort thermique tels que la température physiologique équivalente

¹¹ « Actes de la 13ème Journée du Cuepe, Colloque du cycle de formation du Cuepe 2002-2003 »

(PET) et le vote moyen prévisible (PMV).

MRT est le paramètre le plus important qui régit l'équilibre de l'énergie humaine, surtout les journées chaudes et ensoleillées. En effet, dans les climats chauds, la température moyenne radiante est environ deux fois plus importante que la température de l'air, tandis que dans les climats plus froids, elle a environ la même influence que la température de l'air¹².

I-3-1-4-HUMIDITE DE L'AIR

L'humidité de l'air est un mélange d'air sec et de vapeur d'eau. L'humidité relative HR est le rapport exprimé en pourcentage entre la quantité d'eau contenue dans l'air sous forme de vapeur à la température ambiante, et la quantité maximale qu'il peut contenir à cette même température. Elle dépend des précipitations, de la végétation et du type de sol, du régime des vents et de l'ensoleillement qui peuvent favoriser son assèchement. L'humidité de l'air s'exprime en unité de pression de vapeur d'eau dans l'air (millibar ou hecto Pascal, kilo Pascal, millimètre de mercure ou Torr) ou plus simplement en gramme d'eau par kilo d'air sec ou aussi en gramme d'eau par mètre cube d'air sec.

L'humidité relative influence la sensation de confort thermique car dans des conditions de températures données, les échanges thermiques se réalisent surtout par évaporation à la surface de la peau. Aussi, dans une ambiance saturée où il n'est plus possible de transpirer, le corps est en situation d'inconfort. La quantité maximale de vapeur d'eau absorbée est en fonction de la température de l'air, plus l'air est chaud, plus il peut contenir d'humidité.

Les valeurs de saturation sont obtenues à la température de rosée qui correspond à la température pour laquelle la pression existante serait saturante 100%. Quand l'air n'est pas saturé (c'est la majeure partie des cas) l'humidité relative peut varier de 0 % (air complètement sec) à 99% : à ce moment la pression existante est dite partielle. La relation qui lie l'humidité à la pression de vapeur d'eau est linéaire : c'est ainsi qu'un air à 20°C contenant 50 % d'humidité aura un contenu en eau égal à la moitié d'un air saturé à cette température et la pression partielle de vapeur d'eau y sera égale à la moitié de la pression saturante à 20°C.

¹² « Actes de la 13ème Journée du Cuepe, Colloque du cycle de formation du Cuepe 2002-2003 »

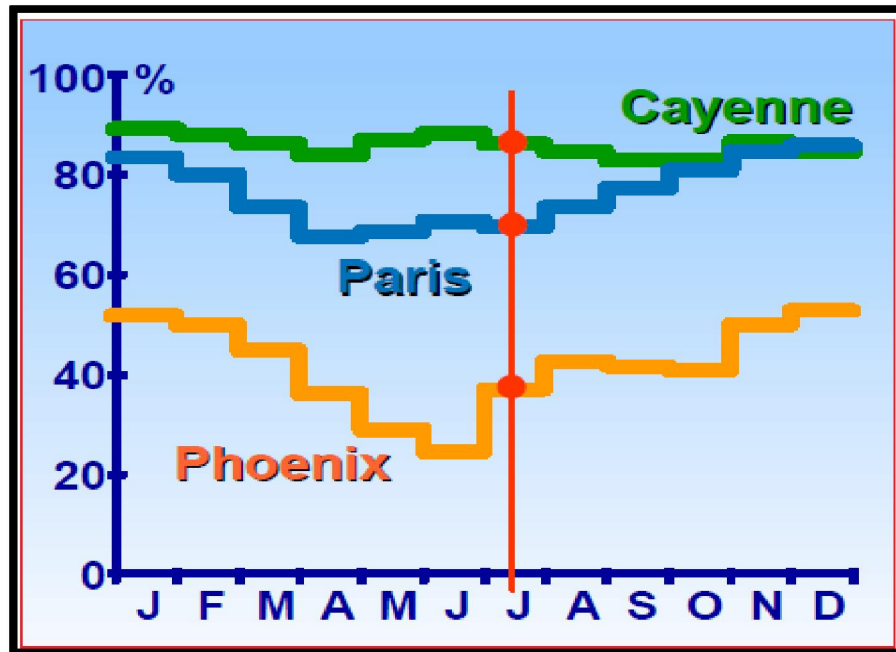


Figure10 : Evolution d'humidités relatives des villes d'Europe (Source : Traité d'architecture bioclimatique, 2006)

L'humidité de l'air intervient peu dans la perception microclimatique, elle est largement associée à la pluie, elle ne doit pas être inférieure à 20%-30% qui serait une limite en-dessous de laquelle on augmente sensiblement la fréquence des allergies dues à la mise en circulation des poussières sèches. Elle ne doit pas être supérieure à 80%, ceci peut causer un problème de condensation sur les parois avec possibilité de gêne respiratoire.¹³

I-3-1-5- VITESSE DE L'AIR

La vitesse de l'air correspond au mouvement de l'air par rapport à un objet, elle varie dans le temps et dans l'espace à trois dimensions et elle est souvent multidirectionnelle (courant d'air). Son intensité varie, impliquant une fréquence de variation que l'on quantifie par la vitesse moyenne (Mètre/Seconde)¹⁴.

Le principe du vent est un déplacement d'air horizontal d'une zone de haute pression (masse d'air froid) vers une zone de basse pression (masse d'air chaud). Les différences de température entre les masses d'air résultent de l'action du soleil. Le régime des vents à un lieu est représenté par une rose des vents (Voir Figure11) qui exprime la distribution statistique des vents suivant leur direction.

¹³ « Louafi, impact de la végétation sur la qualité des ambiances thermique et visuelle dans les espaces publics urbains, thèse de doctorat, université Constantine 3, 2013, P39 »

¹⁴ « Actes de la 13ème Journée du Cuepe, Colloque du cycle de formation du Cuepe 2002-2003 »

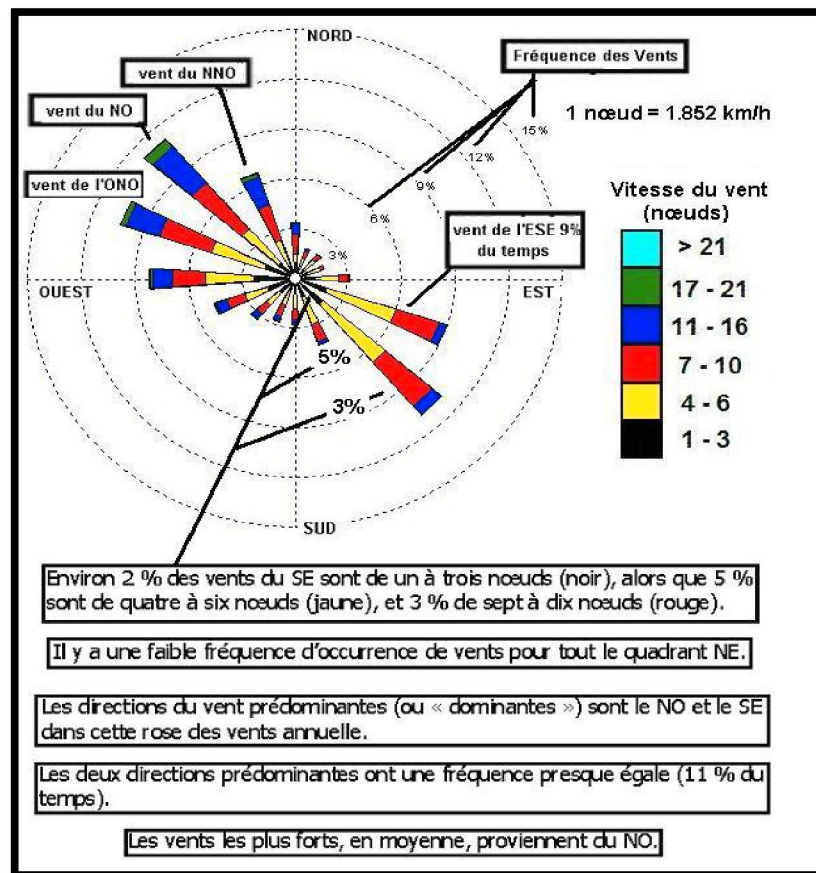


Figure 11 : Rose des vents (1971-2000) Région de l'Ontario, Canada.

Plusieurs paramètres agissent sur le vent et sa vitesse, son effet est associé à celui de la température de l'air (convection) et l'humidité de l'air (évaporation), sa vitesse augmente avec l'altitude.

D'autre part, le régime des vents peut être défini par trois échelles : à l'échelle régionale (de l'ordre de centaine de km), à l'échelle méso (dizaine de km), et à l'échelle microclimatique (quelques centaine de mètre)¹⁵. Cette dernière échelle est largement conditionnée par la topographie locale (vallées, pentes, etc.) et par la rugosité des surfaces, des obstacles tels que des écrans de végétation peuvent également freiner de façon significative la vitesse du vent. Ces considérations sont synthétisées dans la figure 14. Plus la rugosité est importante, plus les turbulences au niveau du sol sont fréquentes (plus de 25 % du temps en ville) et provoquent localement des bourrasques inconfortables qui dépendent de la configuration du lieu, cette dernière peut modifier localement le régime général des vents (effet des vents)¹⁶. (Voir Figures 12 et 13)

¹⁵ « Louafi S, impact de la végétation sur la qualité des ambiances thermique et visuelle dans les espaces publics urbains, thèse de doctorat, université Constantine 3, 2013, P40 »

¹⁶ « Liebard A, De herde A, Traité de l'architecture et l'urbanisme bioclimatique, édition Observer, Paris, 2005, P 18 »

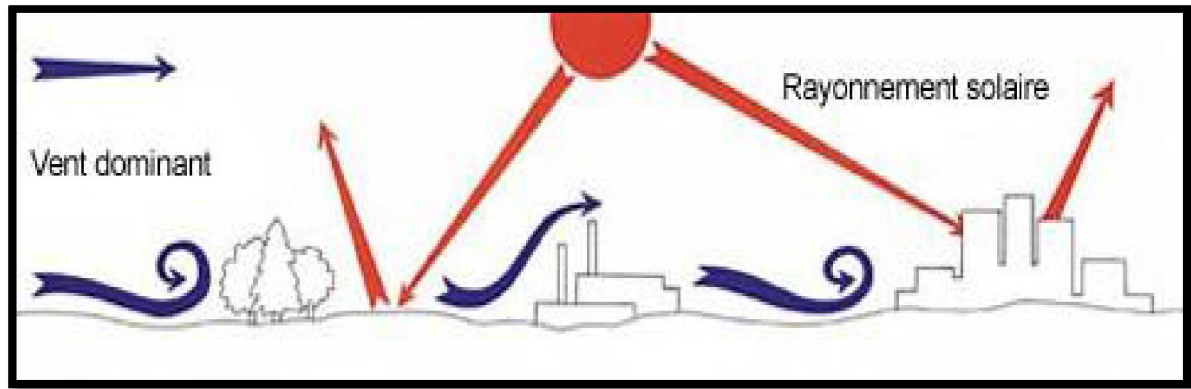


Figure 12 : Comportement du vent en rencontre de plusieurs obstacles (Source : [http:// www.partnairsinaire.org](http://www.partnairsinaire.org))

D'après des recherches faites par **Oke** en 1987 à l'intérieur de la canopée urbaine, la vitesse de vent est généralement réduite en comparaison avec les vents ruraux à la même hauteur. Cependant, lorsque les vents régionaux sont faibles ou calmes et avec le développement de l'îlot de chaleur urbain, le gradient de température horizontal existant entre la zone rurale et la ville peut être suffisant pour induire une brise thermique de la campagne vers la ville et peut avoir une vitesse légèrement supérieure que dans la campagne environnante.

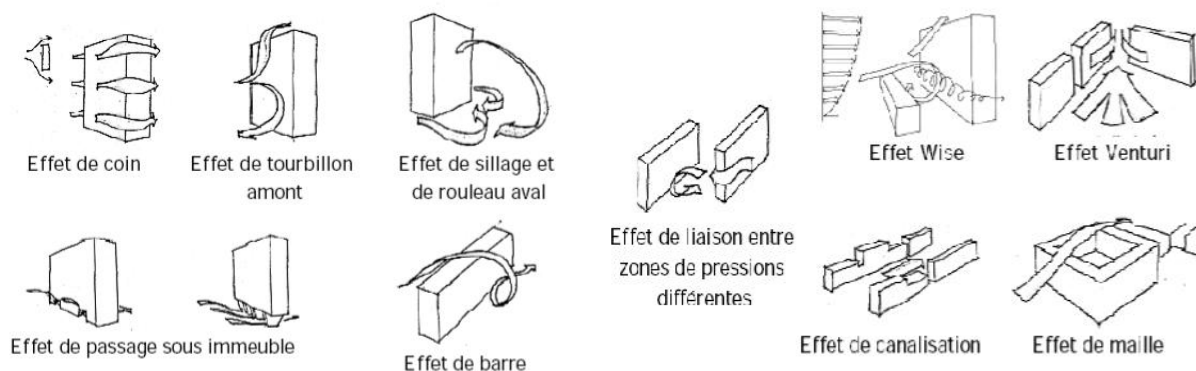


Figure 13 : Différents effets du vent au niveau du sol (Source : Jean Louis Izard ,2000)

D'après des recherches faites par Kitous (2013), la ventilation peut réduire les niveaux de stress thermique dans les espaces extérieurs même aux heures les plus chaudes de la journée¹⁷. La géométrie de la rue semble avoir une forte influence sur le mécanisme de la ventilation. Chan et al (2001) ont constaté que la hauteur des bâtiments non uniforme assure une meilleure ventilation, les immeubles de grande hauteur ne favorisent pas nécessairement un blocage, et la géométrie de la rue

¹⁷ « Kitous S, Forme Urbaine et environnement thermo-aérolitique en climat chaud et sec, thèse de doctorat, EPAU, 2013, P19»

devrait être limitée à une valeur-seuil (H/L) pour un bon écoulement¹⁸. La géométrie de la toiture semble également avoir une forte influence sur le comportement du vent, Kastner-Klein (1997), dans une étude en soufflerie atmosphérique, ont confirmé cette influence en utilisant des bâtiments avec des toitures inclinées et observant cette influence sur les caractéristiques des turbulences dans et au-dessus de la rue. Cette étude révèle que seule la toiture inclinée face au vent altère l'écoulement de manière significative, elle provoque une séparation d'écoulement au niveau haut de la rue qui induit une forte réduction de l'échange vertical entre l'intérieur de la rue qui devient presque stagnant et au-dessus de la canopée urbaine, ce qui réduit fortement l'écoulement en comparaison avec celle d'une rue de toiture plate.

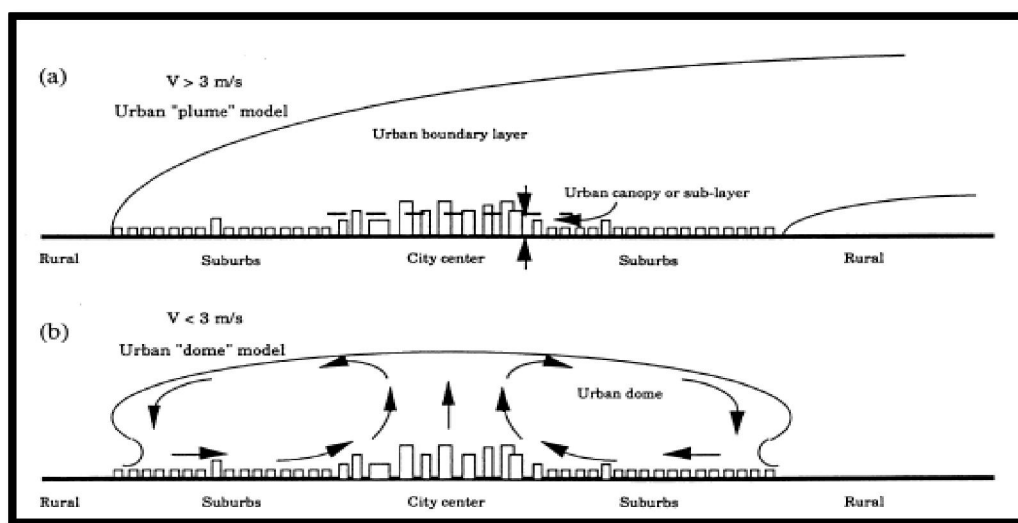


Figure 14: Phénomènes de panache et de dôme urbains au-dessus des villes (Source : Stéphane Glockner, 2000)

I-3-1-6- LE RAYONNEMENT SOLAIRE

L'ensoleillement est caractérisé par la trajectoire solaire et la durée d'ensoleillement, elle est l'ensemble des ondes électromagnétiques émises par le Soleil composé de toute la gamme des rayonnements, de l'ultraviolet lointain comme les rayons gamma aux ondes radio en passant par la lumière visible. Le rayonnement solaire contient aussi des rayons cosmiques de particules animées d'une vitesse et d'une énergie extrêmement élevées. Ce rayonnement est partiellement absorbé et réfléchi par les poussières et les microgouttelettes d'eau en suspension. Une partie du rayonnement est également diffusée dans toutes les directions par les molécules d'air et les particules contenues dans l'atmosphère, une faible partie du rayonnement solaire parvient jusqu'à la surface de la Terre constituent le rayonnement solaire diffus. Le reste du rayonnement atteint directement la terre : c'est le rayonnement solaire direct.

¹⁸ « Ali Toudert Fazia, Dependence of Outdoor Thermal Comfort on Street Design in Hot and Dry Climate, Berichte des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg, 2005, P33 »

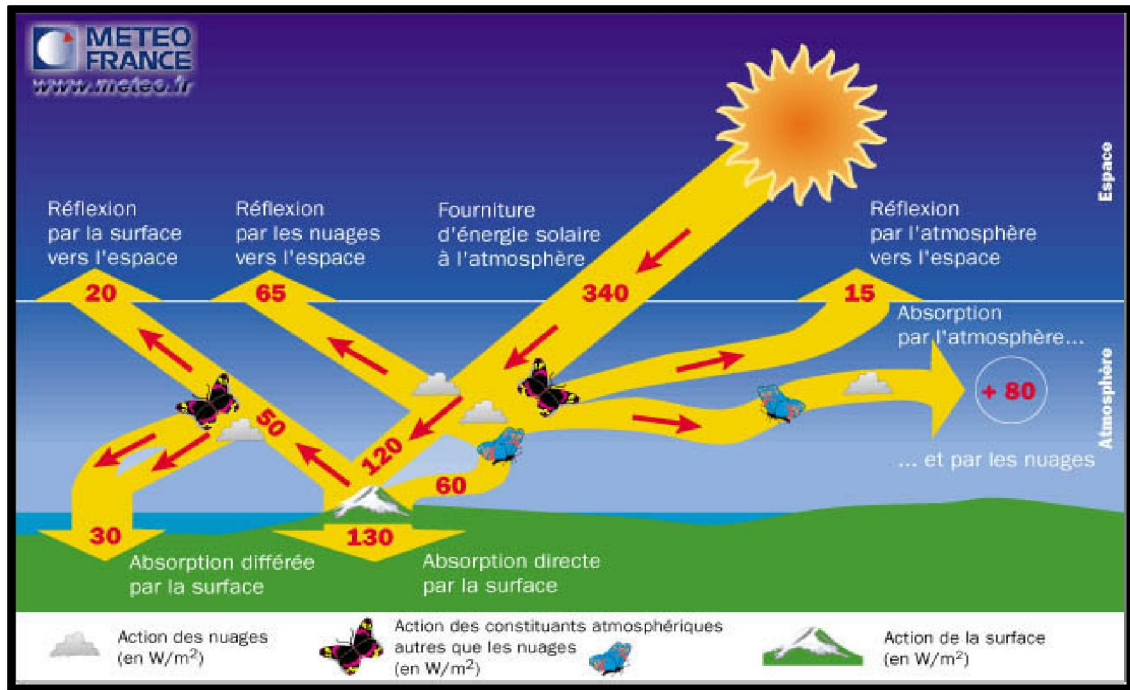


Figure 15 : L'atmosphère traversée par les rayons solaires (Source : comprendre.meteofrance.com, 2000)

Lorsque ce rayonnement atteint la surface de la Terre et en fonction de l'albédo, une partie plus ou moins importante du rayonnement est réfléchi, l'autre partie de ce rayonnement est absorbée par la surface de la Terre (convertie en chaleur) ou par les êtres vivants qui y vivent, en particulier les végétaux (photosynthèse). Cette source d'énergie, appelée énergie solaire.

Les conditions géométriques du système terre-soleil déterminent la position relative du soleil, qui est repéré par son azimut et sa hauteur angulaire. L'azimut est l'angle horizontal formé par un plan vertical passant par le soleil et le plan méridien du point d'observation. Par convention, on donne au sud la valeur zéro, la hauteur angulaire du soleil est l'angle que fait la direction du soleil avec le plan de l'horizon.

Compte tenu de l'influence de la nébulosité, la course solaire détermine l'exposition énergétique (durée d'ensoleillement) et l'angle d'incidence (intensité). On considère généralement que le rayonnement solaire n'est utile que pour une hauteur $> 10^\circ$, pour tenir compte des obstacles généralement présents dans l'environnement et du faible rayonnement énergétique du soleil au lever et au coucher. L'intensité du rayonnement varie en fonction de l'angle d'incidence ou plus précisément, de l'épaisseur de la couche d'air traversée. Géométriquement, il apparaît que pour une hauteur solaire de 30° , les rayons doivent traverser une masse d'air égale au double de l'épaisseur de l'atmosphère. A des hauteurs de 20° et 15° , les rayons doivent traverser l'équivalent de 3 à 4 fois cette épaisseur¹⁹.

¹⁹ « Liebard A, De herde A, Traité de l'architecture et l'urbanisme bioclimatique, édition Observer, Paris, 2005, P 13 »

L'ensoleillement est l'un des facteurs les plus influents sur le confort thermique extérieur, surtout en période estivale dans les régions à climat chauds et sec. Arnfield (1990) a étudié à l'aide d'une méthode numérique l'accès solaire à l'intérieur des différents canyons. L'objectif était d'étudier le ratio et l'orientation de la rue canyon (murs et planchers), l'étude a été réalisée pour des rapports H/L allant de 0,25 à 4 et pour des orientations E-W et N-S pour toutes les latitudes et les saisons. Les irradiances moyennes mensuelles ont révélé que le rapport H/L détermine d'abord la quantité d'énergie reçue sur la totalité des surfaces urbaines. L'exposition au soleil des surfaces urbaines diminue au fur et à mesure que le profil devient plus profond²⁰. D'autre part, l'orientation a été également plus importante en été qu'en hiver, l'exposition des murs du bâtiment orientés N-S permet un contrôle solaire plus facile car les murs sont protégés pendant l'été et exposés pendant l'hiver à cause de la position du soleil qui est plus basse. Cela suggère que la géométrie urbaine est d'une importance primordiale dans le contrôle solaire.

Cette conclusion a été confirmée par les chercheurs Bourbia et AWBI (2004) qui ont examiné le même sujet dans la latitude 33°N (Oued Souf en Algérie). Donc ils ont utilisé le facteur d'ombrage qui a été calculé sur une base mensuelle avec une variété d'orientations. Pour une orientation N-S, la différence est modeste entre l'été et l'hiver et l'ombrage augmente au fur et à mesure que le ratio augmente, soit environ 0,6 pour H/L = 1 et environ 0,8 pour H/L = 4. Les murs sont plus ombragés en hiver qu'en été au fur et à mesure que le rapport H/L augmente.

Dans cette recherche, Bourbia et AWBI (2004) ont conclu qu'un certain nombre de relations utiles peut être développé entre la géométrie et le microclimat des canyons²¹.

I-3-2- LE CONFORT THERMIQUE :

Sensation ou confort ?

Chez l'homme, de nombreuses études physiologiques ou psychophysiques ont montré des relations entre l'intensité de la sensation et celle du stimulus. La sensation augmente en fonction de l'intensité du stimulus. L'organisme possédant de multiples voies sensorielles (visuelles, auditives, olfactives, thermiques, nociceptives, pression,...), les réponses dépendent des capteurs mis en jeu, des voies sensibles et des centres nerveux supérieurs spécifiques. Pour les aspects thermiques, le confort

²⁰ « Ali Toudert Fazia, Dependence of Outdoor Thermal Comfort on Street Design in Hot and Dry Climate, Berichte des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg, 2005, P35 »

²¹ « Bourbia.F, Awbi.H.B, "Building cluster and shading in urban canyon for hot dryclimate. Part 2 : Shading simulations", renewable energy 29(2004) 291-301.»

s'appréhende à partir de réponses à des questions relatives à la satisfaction ou l'agrément vis-à-vis de l'état thermique de l'individu. Il apparaît donc très important de faire la différence entre :

- l'état thermique qui amène à donner une expression de la sensation personnelle.
- l'état thermique de l'ambiance qui est jugée à travers la perception sensorielle du climat.

Le sentiment de confort ou d'inconfort, exprimé à partir de l'état thermique du sujet, qui peut être très influencé par des perceptions locales désagréables²². La notion de confort restant confuse pour de nombreuses personnes, on peut tenter de la mieux décrire en utilisant des termes se référant au bien être de l'individu.

En effet, Le confort thermique pourrait se définir comme un sentiment de bien être vis-à-vis d'un environnement thermique. Cet état de satisfaction peut être ressenti en toute circonstance : chez soi, au bureau ou à l'extérieur, en fonction des échanges thermiques s'effectuant entre le corps et son environnement²³. Cette notion du **confort thermique** est le plus souvent appliquée à l'être humain, bien qu'elle puisse s'appliquer à tout être vivant, cette notion est essentielle dans le bilan énergétique dans le sens où c'est le premier critère à obtenir, avec certes la meilleure efficacité énergétique possible et l'économie d'énergie les plus importantes possibles. Le confort thermique dépend également de la sensibilité de notre corps, selon l'activité menée. Ainsi, la plage de températures idéale n'est pas la même au repos, au travail ou en pleine activité sportive. Le confort thermique peut encore dépendre des courants d'air, de l'humidité relative et de la perception subjective (état de santé, âge, sexe, fébrilité, contexte social).

Santamouris (2002) a défini le confort thermique ainsi: « *Le confort thermique est la sensation de bien-être physique et bien-être mental. Neutralité thermique, où un individu ne désire ni un environnement plus chaud ni un environnement plus froid, c'est une condition nécessaire pour le confort thermique. Les facteurs qui influent sur le confort sont divisées en variables personnelles (activité et vêtements), et les variables environnementales (température de l'air, température rayonnante, vitesse de l'air et de l'humidité de l'air moyenne)* ».

Les vêtements offrent une isolation thermique de l'homme et son environnement, cette isolation thermique est exprimée en unités CLO, ce qui correspond à un costume d'hiver égal à 0,155 m²K/W

²² « Actes de la 13ème Journée du Cuepe, Colloque du cycle de formation du Cuepe 2002-2003 »

²³ « www.temperatureideale.fr »

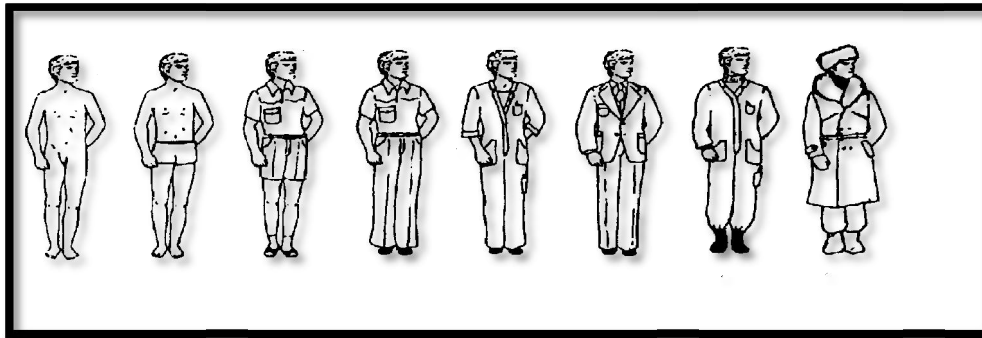
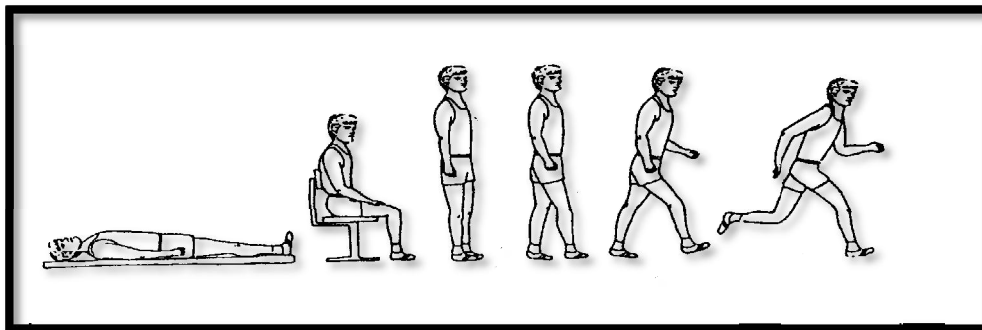


Figure 16 : Isolation thermique des vêtements (Source : M.Santamouris, 2002)

L'activité qui désigne le taux métabolique est la quantité d'énergie produite par unité de temps, elle est influencée par le niveau d'activité et exprimé en MET. (exp : 1= une personne relaxant assis)



(0.8 met) (1 met) (4 met) (8 met)

Figure 17 : Différents activités agissant sur le confort thermique (Source : M.Santamouris, 2002)

Le confort thermique est influencé par le microclimat urbain, ainsi que les effets des différents paramètres relatifs au climat et relatifs à l'individu²⁴.

I-3-3- BILAN THERMIQUE CHEZ L'ETRE HUMAIN:

Le bilan thermique d'un individu correspond à l'ensemble des échanges de chaleur subis par l'organisme. Il s'évalue par la somme algébrique des différents flux de chaleurs produits et échangés avec l'environnement.

La stabilité de la température corporelle chez l'homme impose un équilibre entre la production de chaleur endogène (à l'intérieur du corps), résultat du métabolisme (M) de base, du travail physique (W) et des pertes de chaleur par échange, vers le milieu extérieur. L'équation du bilan thermique à l'équilibre met en jeu beaucoup de phénomènes interactifs. Elle peut s'écrire sous la forme²⁵ :

$$M = C_{res} + E_{res} + K + C + R + E \quad \text{Avec:}$$

²⁴ « Evans John Martin, The Comfort Triangles: A New Tool For Bioclimatic Design, September 2007. »

²⁵ « 6ème congrès Européen de Science des Systèmes Paris 19-22 septembre 2005 »

- M** : Production de chaleur interne du corps (en W/m^2) ;
C_{res} : Echange de chaleur au niveau des voies respiratoires par convection (en W/m^2) ;
E_{res} : Echange de chaleur au niveau des voies respiratoires par évaporation (en W/m^2) ;
K : Echange de chaleur au niveau de la peau par conduction (en W/m^2) ;
C : Echange de chaleur au niveau de la peau par convection (en W/m^2) ;
R : Echange de chaleur au niveau de la peau par rayonnement (en W/m^2) ;
E : Echange de chaleur au niveau de la peau par évaporation (en W/m^2).

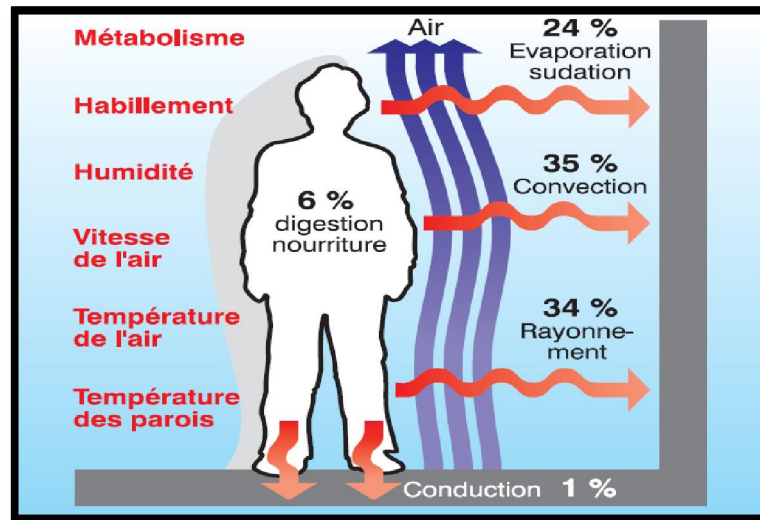


Figure 18 : Les pertes thermiques du corps humain (Source : Liébard et al. 2005)

I-3-3-1- La conduction :

C'est l'échange de chaleur entre deux corps solides en contact, (organisme peut être assimilé à un solide). La conduction thermique est fonction de :

- La différence de température entre les deux corps,
- La conductivité thermique du solide en contact,
- L'épaisseur du solide,
- La surface de contact entre la peau et le solide.

I-3-3-2- La convection :

C'est l'échange de chaleur entre l'organisme et le fluide qui l'entoure (liquide ou gaz). La convection thermique dépend de :

- La vitesse du fluide,
- La température de l'air,
- La température de la peau.

Si l'air est plus froid, le corps se refroidit par mouvement de l'air qui se réchauffe au contact du corps et s'élève au dessus de la tête avant d'être dissipé dans l'environnement (Nicol,1993). Quand l'air est plus chaud que la surface de contact, la convection induit un réchauffement du corps qui facilite l'élimination de la sueur et donc le refroidissement extérieur, elle est représentée par la lettre «C».

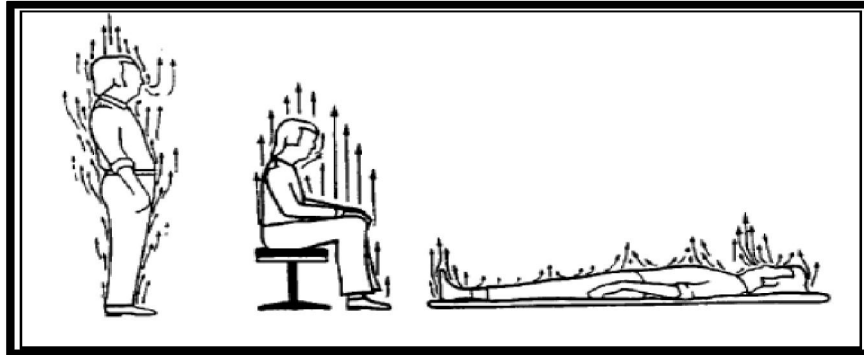


Figure19: échange par convection entre l'être humain et l'air (Source : auteur, 2013)

I-3-3-3- Le rayonnement :

C'est l'échange de chaleur entre un organisme vivant et un corps, c'est à dire l'émission d'infrarouge des corps chauds vers les corps froids. Le corps humain émet en permanence une chaleur radiative liée à sa température cutanée et son émissivité, de même que les parois qui l'entourent. Ce flux radiatif échangé par le corps correspond à la différence entre le rayonnement émis par celui-ci et le rayonnement reçu de son environnement, si le rayonnement reçu par le corps est supérieur à sa propre émission, le corps se réchauffe et se refroidit dans le cas inverse. Elle est représentée par la lettre «R».

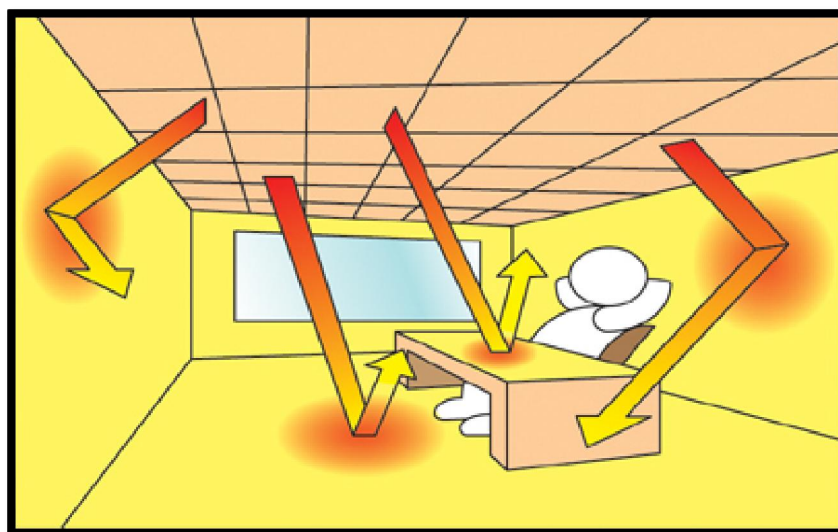


Figure20: échange de chaleur entre des corps chauds vers des corps froids (Source : www.firewall8.ch, 2013)

I-3-3-4- L'évaporation :

Elle est le moyen le plus efficace pour éliminer la chaleur produite par les corps humains et constitue le meilleur indice physiologique de stress thermique, et elle peut s'effectuer sous différentes formes :

- Par la perte de vapeur d'eau par les poumons,
- Par la respiration,
- Par la sudation (évaporation d'eau par la voie cutanée).

La sudation reste le moyen le plus efficace pour l'évaporation d'eau et de chaleur, un litre de sueur évaporé correspond à une perte de chaleur de 580 kcal. L'évaporation correspond à la lettre «E».

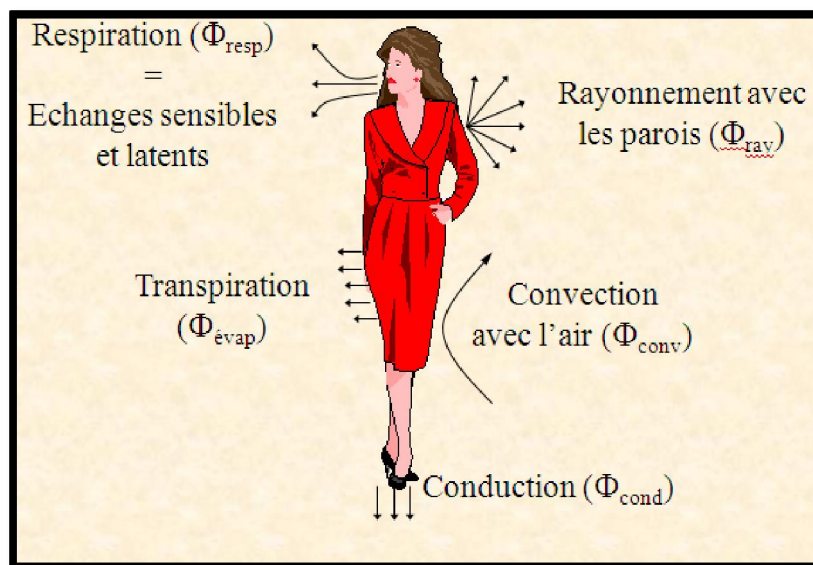


Figure 21 : Bilan thermique du corps humain (Source : Auteur 2013)

Environ 60% des pertes de chaleur du corps humain sont perdues par convection avec l'air ambiant (par respiration ou par la surface de la peau), les échanges de rayonnement représentent jusqu'à 35% du bilan alors que les pertes par conduction (par contact) sont presque négligeables (1%), le corps perd 6% de chaleur à réchauffer la nourriture ingérée. Cette importance de nos échanges par rayonnement explique que nous sommes très sensibles à la température des parois qui nous environnent.

I-4-LES INDICES D'EVALUATION DU CONFORT THERMIQUE :

Le confort thermique a été défini de différentes façons dans la littérature, un grand nombre d'indices tentent de prédire l'état de confort thermique, principalement pour les applications intérieures, mais aussi bien que pour l'extérieur. Cette sensation du confort est approchée à travers la connaissance des différents paramètres du confort thermique ainsi que les échanges thermiques entre l'individu et son environnement.

Selon Latini (2010), les indices thermiques peuvent être classés dans quatre groupes fondamentaux.

I-4-1- INDICES THERMIQUES EMPIRIQUE :

Ils établissent la corrélation seulement dans quelques paramètres climatiques et généralement élaborés pour les climats spécifiques, comme l'indice de refroidissement éolien (Siple et Passel 1945) et l'inconfort index (Thom et Bosen 1959).

I-4-2- INDICES PSYCHO-SOCIOLOGIQUE-CLIMATIQUES :

Ils sont élaborés à partir d'interviews réalisées dans des espaces publics urbains, ils créent une corrélation entre une perception subjective et des variables microclimatiques. À titre d'exemple on peut citer (Actual Sensation Vote -ASV- et satisfaction index).

I-4-3-INDICES DE L'EQUATION DU BILAN D'ENERGIE :

Ils reposent sur un à deux modèles simplifié du corps humain et sur l'évaluation de tous les paramètres climatiques thermiques pertinents, couplant les équations de la chaleur avec un modèle simplifié pour évaluer le confort thermique extérieurs. On prend comme exemple (**Perceived temperature -PT-**) qui est un modèle qui correspond au modèle de Fanger associé à un modèle d'évaluation du rayonnement extérieur mais qui ne tient pas compte du vent), et aussi (**COMfort Formula -COMFA-**) de R.D.BROWN qui est un modèle simplifié intégrant l'ensemble des paramètres climatiques, plus un modèle d'évaluation du rayonnement extérieur (Jendritzki 1990)²⁶.

I-4-4-INDICES DE L'EQUATION DU BILAN THERMIQUE :

Basées sur un modèle complexe du corps humain et sur l'évaluation des paramètres climatiques, ces méthodes ont été élaborées pour évaluer les différents scénarios climatiques pour des activités et un habillement standard.

Les indices du confort thermiques comme le vote moyen prédictive (PMV), la température effective standard (SET) et la nouvelle température effective (ET), ont tous été mis au point pour des conditions intérieures (McIntyre, 1980). En outre, de nombreux indices ont été principalement conçus pour les applications extérieures, par exemple, la température potentielle (PT), qui est basée sur l'équation de confort de Fanger (Jendritzky et al, 2000), et le OUT_SET qui est une adaptation de la température effective standard SET pour une utilisation en extérieur (Cher, 2000), et la température équivalente physiologique PET (Hoppe, 1999).

²⁶ « Latini G et al. Thermal Comfort and Microclimates in Open Spaces, 2010 ASHRAE.PP 3 –10”

Kitous dans sa thèse de doctorat (2013) a indiqué que ces indices peuvent être de deux catégories :

- **les indices empiriques :**

Dérivés de manière empirique, ces indices du confort thermiques sont des modèles qui se calculent sur la base de plusieurs paramètres qui sont la température d'air, le rayonnement solaire, l'humidité et la vitesse de vent. Ces types d'indice thermique peuvent donner l'évaluation du confort thermique de manière précise mais ont l'inconvénient d'être restreints au type d'environnement et de climat dans lequel l'étude a pris place. Le tableau ci-dessous présente les indices empiriques (Fanger, 1970, Givoni, 1987, et ASHRAE, 2001)²⁷:

Tableau 1 : Indices du confort thermiques empiriques (Fanger, 1970, Givoni, 1987, et ASHRAE, 2001)

Source : (Kitous, 2013)

Indice	Définition
ET : température effective	Etabli 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.
OP : Température opérative	Moyenne arithmétique de Ta et Tmrt qui inclut les flux 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 causé par le vent et le froid et fonction de Ta et V, il est approprié pour la condition d'hiver.

- **les indices rationnels ou physiologiques :**

Ces indices rationnels sont plus complets par rapport aux premiers cas, ils intègrent tous les paramètres environnementaux et sont basés sur les calculs impliquant l'équation du bilan thermique de l'être humain (ASHRAE, 2001). Son application permet le calcul de la perception thermique moyenne d'un groupe de personnes dans certains endroits au cours de certaines activités, basée sur la

²⁷ « Kitous S, forme et environnement thermo-aéraulique en climat chaud et sec, thèse de doctorat, EPAU, 2013, P120 »

disponibilité des données climatiques. Le tableau ci-dessous présente les indices rationnels (Fanger, 1970, Givoni, 1987, et ASHRAE, 2001)²⁸:

Tableau 2 : Indices du confort rationnels (Fanger, 1970, Givoni, 1987, et ASHRAE, 2001) Source : (Kitous, 2013)

Indice	Définition
ICT : Indice de contrainte thermique	Considère que la plage de conditions ou 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 la perte de chaleur totale évaporative E_{hr} requise à l'équilibre thermique à la perte de chaleur évaporative maximale E_{mx} pour l'environnement, pour des conditions de régime stable.
ET : Nouvelle température effective.	Température de l'environnement standard (RH= 50%, $T_a = T_{mrt}$, $V \leq 0.15$ m/s) dans laquelle le sujet pourrait éprouver la même sudation S_W 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 vêtues variables, la vêtue est standardisée pour l'activité concernée.
OUT-SET : Température effective standard extérieurs	Similaire pour SET mais adapté à l'extérieur par la prise en compte des flux du rayonnement solaire, les conditions intérieures de référence sont : $T_{mrt} = T_a$, RH = 50%, $V = 0.15$ m/s.
PMV et PT : Vote moyen prévisible et la température perçue	Le PMV exprime la variance sur une échelle de -3 à +3 du bilan thermique de l'homme et PT est 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 = 12h Pa, $V = 0.1$ 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 celles sous des conditions réelles, unité ° C.
WBGT : Indice de température	C'est un indice composite de température utilisé pour estimer les effets de la température, de l'humidité, et du rayonnement solaire sur l'homme. L'indice WBGT a été élaboré par le <i>United States Marine Corps</i> à Parris Island en 1956 pour réduire le risque de traumatismes

²⁸ « Kitous S, forme et environnement thermo-aéraulique en climat chaud et sec, thèse de doctorat, EPAU, 2013, P120 »

Globe de bulbe humide.

liés au stress thermique chez les nouvelles recrues et a été révisé à plusieurs reprises. Il est utilisé en hygiène industrielle, mais aussi par les athlètes et les militaires pour déterminer les niveaux d'exposition à des températures élevées, Il est dérivé de la formule suivante :

$$WBGT = 0.7T_w + 0.2T_g + 0.1T_d \quad \text{avec :}$$

- T_w = Température du thermomètre mouillé
- T_g = Température de globe (mesurée avec un thermomètre à globe, également connu sous le nom de thermomètre à globe noir, pour mesurer le rayonnement solaire).
- T_d =Température de l'air (mesurée par un thermomètre dont le bulbe est protégé du rayonnement par un écran, comme dans un abri Stevenson). Parfois appelée température sèche.

Pour comprendre le rôle et le cas d'application de chaque indice dans notre cas d'étude, une présentation détaillée des indices d'évaluation du confort thermique les plus employés dans les recherches est nécessaire :

I-4-5- LE VOTE MOYEN PREVISIBLE (PMV) :

Aujourd'hui, un des indices thermiques les plus connus est l'équation de confort de Fanger, qui permet le calcul du vote moyen prévisible (PMV). Cet indice est certainement le plus connu et le plus utilisé en thermique du bâtiment. L'équation relie les paramètres classiques qui sont la température de l'air, la température radiante moyenne, l'hygrométrie, la vitesse de l'air, le métabolisme et la résistance thermique des vêtements. De plus, deux paramètres physiologiques s'ajoutent, la température moyenne de la peau et l'évacuation de la chaleur par sudation. Fanger est arrivé à l'évaluation moyenne de l'environnement thermique par le PMV qui varie sur une échelle de 7 degrés allant de - 3 (très froid) à + 3 (très chaud).

Tableau 3 : valeurs du PMV selon sept échelles de confort, (Source: Adaptée par l'auteur, 2013)

PMV	Description
-3	Froid
-2	Frais
-1	Légèrement frais
0	Confortable
+1	Légèrement chaud
+2	chaud
+3	Très chaud

Michael Bruse, dans ses travaux effectués lors de l'actualisation de son programme de simulation, a adopté neuf échelles de confort propres aux espaces extérieurs, où la zone théorique de confort extérieur est comprise entre -3 et +3, ce qui fera la base de l'évaluation du confort thermique dans les prochains chapitres.

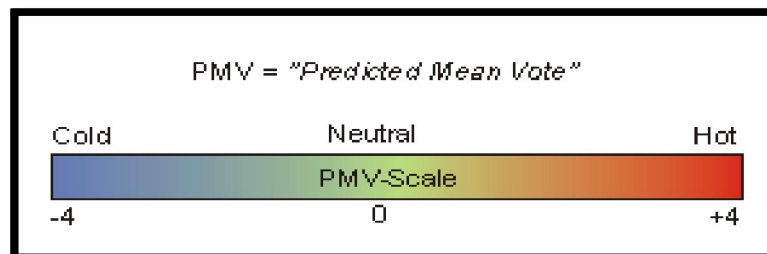


Figure 22 : Classification des valeurs du PMV selon neuf échelles de confort (Source : Michael bruse, 2000)

Tableau 4 : valeurs du PMV selon neuf échelles de confort (Source : Michael bruse, 2000)

PMV	Description
Moins de -4	Extrêmement Froid
Entre -3 et -4	Moyennement Froid
Entre -2 et -3	Frais
Entre -1 et -2	Légèrement frais
Entre -1 et +1	Neutre
Entre +1 et +2	Légèrement tiède
Entre +2 et +3	Tiède
Entre +3 et +4	Moyennement chaud
Plus de +4	Extrêmement chaud

I-4-6-LA METHODE COMFA :

Cette méthode a été proposée en 1995 par les chercheurs Brown et Gillespie, elle est utilisée pour le calcul du bilan énergétique d'une personne dans un espace en plein air. Le principe est de calculer les gains et les pertes de l'énergie en fonction des paramètres suivants:

$$\text{Budget} = M + \text{Rabs} - \text{Conv} - \text{Evap} - \text{TRemitted}$$

AVEC : M = énergie métabolique utilisée pour chauffer la personne

Rabs = rayonnement solaire et terrestre absorbé

Conv = chaleur sensible perdue ou gagnée par convection

Evap = perte de chaleur par évaporation

TRemitted = Rayonnement terrestre émis

Cette méthode varie sur une échelle de 5 degrés allant de - 150 à + 150.

Tableau 5 : Valeurs de BUDJET (Source : Microclimatic Landscape Design, ROBERT D brown & Terry J, 1995)

BUDJET w/m ²	Description
BUDJET ≤ -150	Froid
-150 ≤ BUDJET ≤ -50	Frais
-50 ≤ BUDJET ≤ +50	Neutre
+50 ≤ BUDJET ≤ +150	Légèrement chaud
+150 ≤ BUDJET	chaud

Robert D.Brown (2009), dans ses travaux effectués lors de l'actualisation de cette méthode, a adopté sept échelles de confort propres aux espaces extérieurs, compris entre -200 et +200, ce qui fera la base de l'évaluation du confort thermique dans notre cas d'étude.

Tableau 6 : Nouveau tableau d'évaluation de BUDJET énergétique (Source: ROBERT D brown & Terry J, 2009)

BUDJET w/m ²	Description
BUDJET ≤ -201	Froid
-200 ≤ BUDJET ≤ -120	Frais
-120 ≤ BUDJET ≤ -50	Légèrement frais
-50 ≤ BUDJET ≤ +50	Confortable
+50 ≤ BUDJET ≤ +120	Légèrement chaud
+120 ≤ BUDJET ≤ +200	chaud
+201 ≤ BUDJET	Très chaud

Lorsque le budget est proche de zéro, une personne peut s'attendre à être thermiquement confortable. Si le budget est d'une grande valeur positive, la personne recevrait plus d'énergie et la personne serait trop chaude. Inversement, si le budget est d'une grande valeur négative, la personne serait trop froide.

La partie ANNEXE de ce travail, démontre en détail toute les équations de calcul ainsi que les tableaux de données et les programmes BASIC utilisés pour le calcul de la balance thermique dans la méthode COMFAT. (VOIR ANNEXE A).

Plusieurs recherches ont été basées sur cette méthode COMFA. On peut citer les travaux de Santamouris (2005), dans le but d'améliorer le microclimat urbain à Athènes, douze points en plein air de l'espace étudié pour la période estivale ont été calculés en utilisant deux différentes méthodes, la méthode COMFA et l'indice de Sensation thermique (TS). Pour le calcul, deux différents scénarios ont été envisagés, le premier comprend la zone étudiée en état réel, alors que le deuxième comprend diverses améliorations. Les deux indices ont montré que les conditions du confort thermique étaient significativement améliorées grâce à l'utilisation du deuxième scénario, en raison de l'utilisation des espaces et des matériaux de construction à haute émissivité²⁹.

²⁹ « Gaitani.N, Mihalakakou.G, Santamouris.M, "On The Use Of Bioclimatic Architecture Principles In Order To Improve Thermal Comfort Conditions In Outdoor Spaces", Building And Environment 42 (2007) 317-324»

G. Latini en 2010, afin d'évaluer l'efficacité des différents choix de conception, a appliqué plusieurs propositions techniques, plus précisément le modèle ENVI-met, et la méthode CoMFA + qui ont été examinés pour qu'un nouvel outil soit développé et nommé EnviCom +, visant à la fois à automatiser le processus de calcul dans une approche stable telle que COMFA et d'améliorer la simulation. Cette expérience a été réalisée en introduisant au modèle COMFA un paramètre d'entrée (la température des parois), simulé par le ENVI-met, au lieu de l'estimer au moyen d'un modèle extérieur, et une comparaison a été possible depuis un étalonnage de différents indices (PMV et TS) utilisé. Les simulations montrent comment les matériaux de revêtement affectent le confort thermique local, ainsi que des solutions et des améliorations ont été proposées. En outre, la création des espaces verts semble être insuffisante pour assurer un confort acceptable sans autre protection contre le rayonnement solaire. La mise en place de dispositifs d'ombrage comme des pergolas ou des arbres présente une forte amélioration du confort local³⁰.

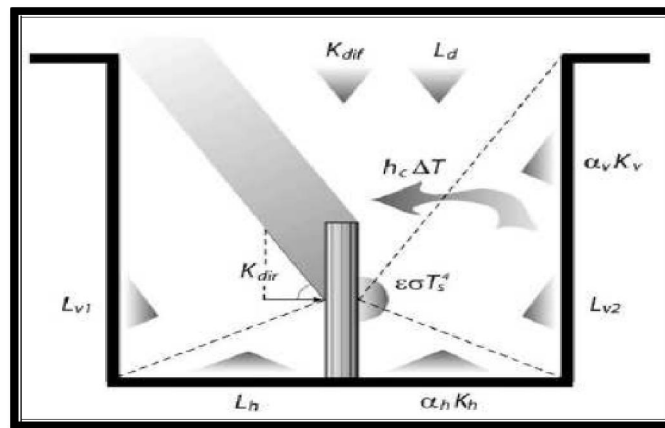


Figure 23 : Estimation des échanges énergétiques d'un piéton avec son environnement (Source : pearlmutter, 2006)

Dans notre étude, le vote moyen prévisible **PMV** et l'indice **TB** présenté par **BUDJET** de la méthode **COMFA** ont été utilisés pour évaluer l'environnement thermique extérieur à la nouvelle ville de Tafilelt à Ghardaïa (Algérie). Une application de deux logiciels numériques s'avère donc nécessaire afin de calculer le **PMV** et **BUDJET** de **COMFA**.

I-4-7- Pourcentage prévisible d'insatisfaits (Predicted Percentage Dissatisfied- PPD-) :

Cet indice peut être utilisé en fonction de l'indice PMV dans une situation thermique précise, c'est le pourcentage de personnes insatisfaites par rapport à cette situation. Le PPD est une formule dérivée d'analyses statistiques. Les personnes sont considérées comme insatisfaites si elles votent ± 2 ou ± 3 sur l'échelle de 7 points de ASHRAE (Figure 24).

³⁰ « Latini G et al. Thermal Comfort and Microclimates in Open Spaces, 2010 ASHRAE.PP 3 –10.»

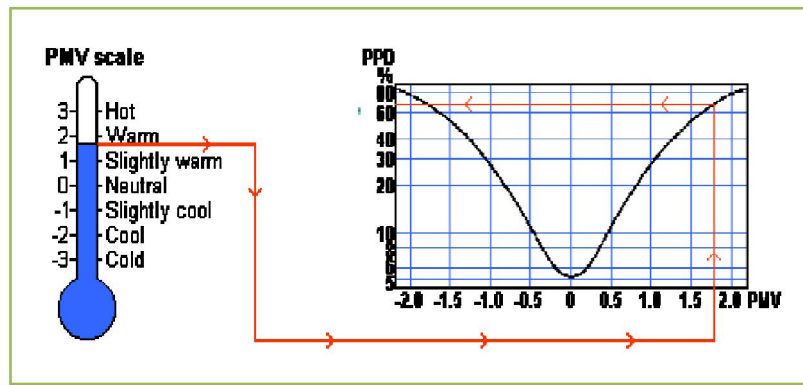


Figure 24 : Correspondance entre le PMV et le PPD (Source : <http://www.innova.dk>, 2013)

La figure ci-dessous permet d'évaluer directement le PPD à partir du PMV. Si par exemple le PMV est de -1 ou +1, l'indice PPD montre que près de 25 % de la population n'est pas satisfaite. Pour ramener le PPD à une valeur maximale de 10 % (ce qui est généralement l'objectif à atteindre), le PMV doit se situer entre -0,5 et +0,5. Et pour une valeur 0 de PMV, soit un état de confort thermique optimal, il y a encore 5 % d'insatisfaits.

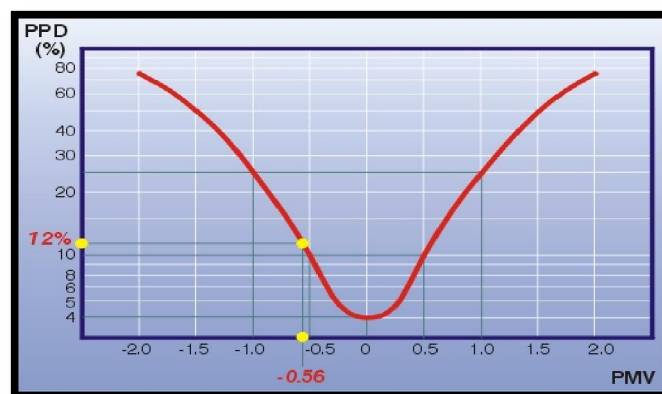


Figure 25: Correspondance entre le PMV et le PPD (Source : www-energie2.arch.ucl.ac.be, 2013)

I-4-8- LA TEMPERATURE PHYSIOLOGIQUE EQUIVALENTE (PET) :

Le PET est défini comme étant la température de l'air à laquelle le bilan énergétique pour des conditions d'intérieur est caractérisé par la même température du corps humain et de la peau calculés pour les conditions extérieures réelles. Il est la température d'un environnement avec ou sans rayonnement solaire à laquelle, l'équilibre thermique de la peau et la température sont les mêmes que ceux trouvés dans l'environnement donné³¹. Par exemple dans une journée chaude et ensoleillée, la valeur de la PET peut valoir de 43°C, cela signifie qu'un individu dans une pièce avec une température d'air de 43°C atteint le même état thermique que dans les conditions en extérieur. Cet indice est basé sur le modèle du bilan d'énergie MEMI (Munich Energy Balance Model for Individuals) et le tableau ci-dessous indique les classes de sensation par le PET :

³¹ « Hoppe P, IN LOUAFI Samira, Impact de la végétation sur la qualité des ambiances thermiques et visuelles dans les espaces publics urbains, thèse de doctorat, université Constantine 3, 2013, P95 »

Tableau 7 : Valeurs de PET (Source : Louafi samira, 2013)

PET (° C)	Sensation thermique
≤ 4 ° C	Très froid
Entre 4 et 8° C	Froid
Entre 8 et 13° C	Frais
Entre 13 et 18° C	Légèrement Frais
Entre 18 et 23° C	Confortable
Entre 23 et 29° C	Légèrement Chaud
Entre 29 et 35° C	Chaud
Entre 35 et 41° C	Très Chaud
≥ 41° C	Extrêmement Chaud

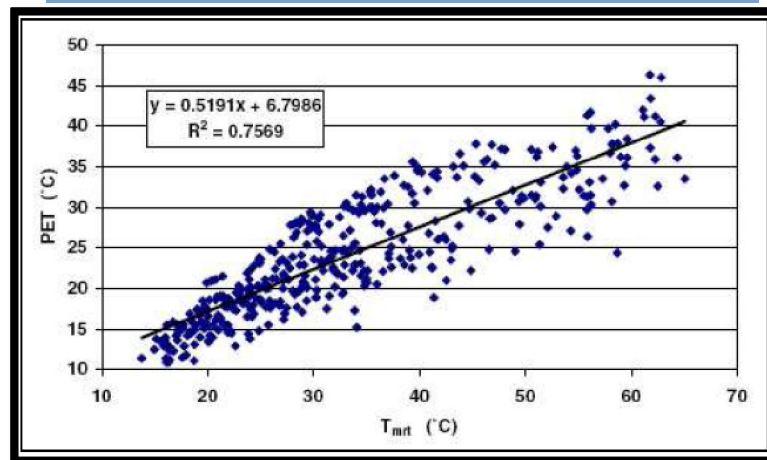


Figure26: relation entre PET et Tmrt durant les journées d'été 2001à Fribourg (Source : Matzaraki, 2007)

I-4-9- INDICE DE «TEMPERATURE OPERATIVE» :

Cet indice combine la température d'air supposée égale à celle des parois, l'hygrométrie sous forme de la température humide, la vitesse d'air et l'influence du métabolisme et des vêtements (Missenard 1972). Il est défini comme étant la température d'une ambiance saturée d'humidité en air calme qui procure la même sensation que celle étudiée dans un cadre explicite d'une équivalence de séjour.

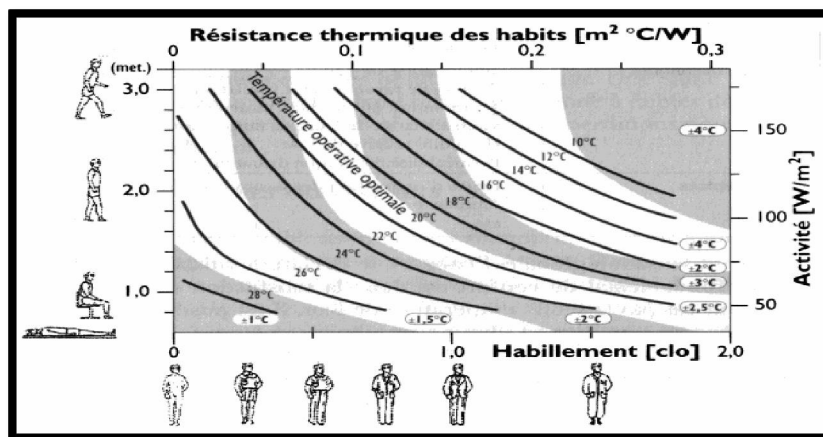


Figure27: Température Opérative optimale selon l'habillement et le métabolisme (Source : www.ader.ch, 2013)

4-10- INDICE DE LA « TEMPERATURE STANDARD EFFECTIVE - SET-» :

La température standard effective est définie comme étant la température d'un environnement de référence isotherme dont les températures de surface et d'air sont équivalentes, où l'humidité relative est de 50 % et la vitesse de l'air est de (0,12 m/s). 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 et la même mouillure cutanée que dans l'environnement réel et avec des vêtements pas nécessairement standards. Le niveau d'activité est le même dans la situation réelle et dans la situation standard, l'environnement de référence est défini par un métabolisme (M) = 1.2 met ainsi qu'une résistance des vêtements (Rclo) = 0.9 clo.

Tableau 8 : Correspondance entre SET sensation et état physiologique (Mc Intyre 1980)

SET (°C)	Sensation	Etat 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, vasodilatation
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

4-11-La Sensation Thermique -TS- : La sensation thermique a été étudiée par Givoni et Noguchi (2000) dans un parc en Yokohama, au Japon, afin de mesurer l'effet du projet architectural sur l'incidence du rayonnement solaire et du vent. Un questionnaire a été appliqué à trois couples, chacun d'eux en différents états d'environnement ombré, exposé au soleil et exposé au soleil mais protégé du vent. La sensation thermique (TS) était mesurée sur une échelle de 1 (très froid) à 7 (très chaud) où la valeur 4 représente la neutralité.

$$TS = 1.7 + 0.118 t_a + 0.0019 I_h - 0.322 v + 0.0073 RH + 0.0054 t_{s,ent}$$

Ta : température de l'air ; Ih : rayonnement solaire incident, w/m² V : vitesse de l'air, M/S ;

RH : humidité relative, % ; Ts,ent : température moyenne de l'air superficielle de l'environnement.

I-4-12- LE VOTE DE SENSATION EFFECTIVE (Actual Sensation Vote) -ASV- :

En 2004, Nikolopoulo a présenté les travaux développés par le projet appelé (RUROS), les conditions de confort thermique extérieurs ont été évaluées à travers des enquêtes sur terrain dans 14 villes européennes afin d'élaborer une nouvelle méthode simplifiée pour l'évaluation du confort thermique extérieurs, elle propose un modèle représentant différentes conditions climatiques. Cet indice est basé sur près de 10 000 interviews réalisées dans les espaces publics des centres urbains, dont les classes sont indiquées par le tableau ci-dessous³² :

Tableau 9 : Valeurs de ASV (Source : Nikolopoulo, 2004)

ASV	Sensation
≥ 1.5	Très chaud
Entre 0.5 et 1.5	Chaud
Entre -0.5 et 0.5	Confortable
Entre -1.5 et 0.5	Froid
≤ -1.5	Très froid

L'équation de (ASV) est donnée par : $ASV = 0.049 T_{air} + 0.001 T_{sol} + 0.051 V + 0.014 RH - 2.079$

Avec : **T_{air}** : température de l'air ; **V** : vitesse de l'air, M/S ; **RH** : humidité relative, % ;

L'équation est valide à $5^{\circ} C \leq t_{air} \leq 35^{\circ} C$ et les données à employer sont celles des stations météo.

Ainsi, les conditions spécifiques d'une situation donnée ne peuvent pas être considérées.

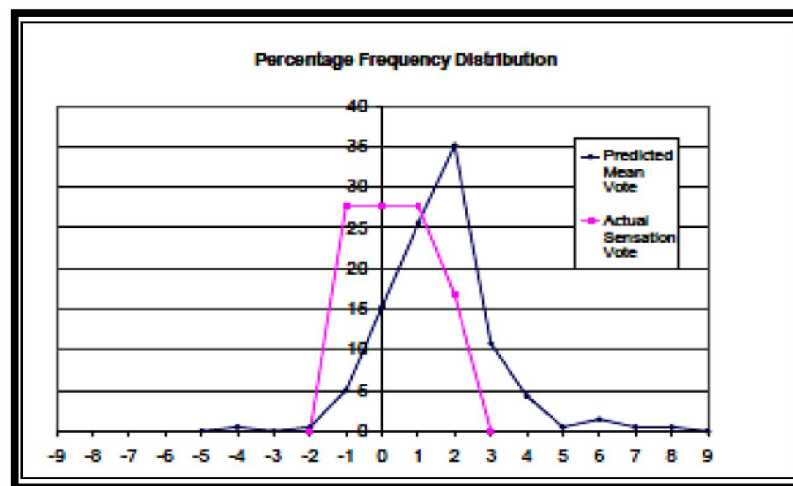


Figure28 : Comparaison entre (ASV) obtenu des questionnaires (PMV). (Source : Nikolopoulo, 2002).

³² « Nikolopoulo M et al, IN LOUAFI Samira, Impact de la végétation sur la qualité des ambiances thermiques et visuelles dans les espaces publics urbain, thèse de doctorat, université Constantine 3, 2013, P 92 »

I-5-EFFETS THERMIQUES SUR L'HOMME :

I-5-1- EFFET BIOLOGIQUE :

La régulation thermique a pour objet le maintien à un niveau relativement constant du niveau des températures corporelles : on parle d'homéothermie. L'homme est un homéotherme, il doit donc stabiliser sa température interne à 37°C, en dépit des variations de la température extérieure, il s'agit d'un équilibre entre la thermogénèse (production de chaleur) et la thermolyse (perte de chaleur).

Pour adapter la production et les pertes caloriques, l'organisme dispose de :

- Thermo détecteurs au chaud et au froid répartis dans les organes du corps humain
- Thermorégulateurs dans le cerveau qui comparent la température du corps à un moment "t" à la température de référence (37°C) et commandent les différentes adaptations qui sont :
- La thermogénèse de réchauffement déclenchée par la lutte contre le froid,
- Le transfert de chaleur par redistribution de débit sanguin en modifiant la fréquence cardiaque.
- Le transfert externe de la chaleur (régulation par sudation).
- L'acclimatation.

I-5-2- EFFETS PHYSIOLOGIQUES :

Les ambiances thermiques des locaux ont sur l'homme des effets physiologiques, en ambiances chaudes. L'augmentation de la température dans de locaux provoque, chez l'individu, des contraintes physiologiques importantes et de ce fait, différents effets en découlent :

- Astreintes physiologiques de l'organisme sont les conséquences de contraintes s'exerçant sur lui.
- Astreintes thermostatiques qui sont liées aux variations de température des différentes parties de l'organisme. L'organisme mettra en place différents processus afin de maintenir sa température.
- Astreinte circulatoire, le réchauffement du corps oblige l'augmentation du débit sanguin.
- Astreinte sudorale, pour lutter contre l'excès de chaleur, grâce à processus d'évaporation, l'organisme va éliminer de la sueur proportionnellement à la quantité de chaleur excédentaire.

Les répercussions de l'augmentation de température se manifestent chez l'homme de différentes manières telle que la déshydratation, les crampes et les coups de chaleur, les troubles cutanés, l'épuisement par la chaleur, des impacts sur l'œil ainsi que d'autres effet sur le comportement. Pour cela, et afin de faire face à une diminution de la température, l'organisme met en place des mécanismes d'adaptation :

I-5-3-ADAPTATION THERMIQUE SUR L'HOMME:

La sensation du confort est l'expression du bien être d'un individu en rapport avec son environnement, pour un même environnement urbain. Plusieurs facteurs peuvent faire varier le confort chez les personnes, ces facteurs sont physiques, physiologiques, sociologiques et autres, et l'adaptation à ces facteurs est un élément très important qui doit être pris en considération dans toute méthode d'évaluation du confort thermique. Ils peuvent prendre jusqu'à plus de 50% de cette évaluation globale du confort³³, car elle est la responsable à la diminution progressive de la réponse de l'organisme à une exposition répétée à un stimulus. D'après Baker de Dear (1997), Nikolopoulou (2001), cette adaptation thermique est représentée sous plusieurs catégories :

I-5-3-1- ADAPTATION PHYSIQUE :

Elle comprend toutes les modifications qu'une personne peut réaliser consciemment ou inconsciemment pour s'ajuster à un équilibre thermique dans son environnement. Cette adaptation physique peut être de deux manières : réactive quand elle concerne l'ajustement par le changement d'habillement ou de position dans l'espace, et interactive quand elle concerne l'ajustement par le changement de l'environnement, par exemple, déclencher le climatiseur dans une voiture, boire du boisson frais ou une soupe chaude...etc.

I-5-3-2-ADAPTATION PHYSIOLOGIQUE :

Appelée acclimatation physiologique, c'est une réponse du corps qui tend à diminuer le stress lié à une exposition inconfortable. L'exposition répétée aux climats hostiles conduit chez l'homme à la mise en place de mécanismes d'adaptation qui induisent le phénomène dit "Acclimatation". On distingue deux types d'acclimatation, au froid et au chaud :

Acclimatation au froid : Il existe plusieurs types d'adaptation au froid :

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

³³ «Nikolopoulou.Marialena, Steemers.Koen, " *Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces*", Energy and buildings 35 (2003) 95-101»

Acclimatation au chaud : Avec l'exposition répétée à la contrainte thermique, les élévations de températures corporelles observées initialement sont réduites. Cet effet provient de l'augmentation d'excitabilité du système régulateur, par baisse de la valeur du point de consigne hypothalamique. Le débit sudoral, à même température centrale, est plus important et ce phénomène a deux origines :

- augmentation du débit des glandes, conséquence d'accroissement de sensibilité d'hypothalamus;
- augmentation du nombre de glandes sudoripares fonctionnelles par centimètre carré de peau.

Néanmoins, il en résulte globalement une augmentation des pertes en eau et en sels. Le débit sudoral se réajuste en augmentant plus dans les segments qui évaporent bien (bras, jambes). Le phénomène d'économie d'eau, appelé hidroméiose et qui correspond à une réduction de la sueur ruisselante dans les ambiances humides, voit son intensité augmenter. L'ensemble de ces réactions permet à la vasodilatation de se réduire, économisant ainsi le coût cardiaque³⁴.

I-5-3-3-ADAPTATION PSYCHOLOGIQUE :

Ce mode d'adaptation est lié à l'habitude psychologique de l'être humain en influençant la perception thermique d'un espace et les changements qui s'y produisent et qui correspond à la diminution de l'intensité de la sensation liée à l'exposition répétée au même stress environnemental. Ces changements sont différents, ils peuvent être naturels par le changement de l'environnement physique, comme ils peuvent être culturels (une personne venue d'un pays nordique ne peut pas évaluer le confort comme une personne venue du désert), le temps d'exposition aux facteurs climatiques, le passé thermique, tous ces changements influencent l'adaptation psychologique d'un être humain.

I-6-CONCLUSION :

L'ambiance thermique est un des facteurs les plus importants du confort au niveau de l'espace urbain où l'homme passera la majorité de son temps hors maison. En effet, les ambiances thermiques humaines jouent un rôle principal sur l'ensemble du corps humain et les sensations thermiques du corps sont influencées par l'activité physique et les vêtements portés, ainsi que par l'environnement : températures, rayonnements solaires, vitesse de l'air et humidité de l'air.

Il est donc important de régler ces divers facteurs environnementaux qui jouent un rôle prépondérant dans la détermination du confort thermique, ainsi que de mettre en place des moyens et des procédures afin d'apporter un confort thermique satisfaisant pour le plus grand nombre de personnes dans les espaces extérieurs.

³⁴ « Actes de la 13ème Journée du Cuepe, Colloque du cycle de formation du Cuepe 2002-2003 »

Malgré tous les indices d'évaluation du confort thermique à l'échelle extérieure et intérieure, les résultats ne peuvent pas complètement clarifier les impacts sur le confort thermique, car il reste toujours le côté physiologique qui est un facteur individuel.

Après ce chapitre qui présente une bref approche sur les concepts et les définitions relatives à la notion du confort thermique et la climatologie de manière générale, l'objectif des prochains chapitres sera d'approcher le microclimat urbain, ainsi que de faire une contribution dans l'approche des espaces extérieurs urbains «En particulier les rues et les places publics» par rapport au confort thermique, il s'agit principalement de la morphologie urbaine. Etant donné que la partie pratique de la présente recherche sera consacrée à un site existant dans la wilaya de Ghardaïa (Algérie), on s'est trouvé incité à élaborer une approche analytique sur le climat et les reliefs dans les régions chaudes et arides qui caractérisent la ville de Ghardaïa.



II-1- INTRODUCTION

Les hommes de science se sont depuis l'Antiquité intéressés aux relations entre le climat et la ville, tout d'abord dans la prise en compte des conditions climatiques d'un site pour l'implantation, plus tard, dans l'influence de la ville sur ses habitants et son environnement, notamment en matière de pollution de l'air. Cependant, la mise en évidence d'un climat spécifiquement urbain n'intervient qu'au début du 19^{ème} siècle¹. L'urbanisation est généralement perçue comme une tendance à combattre. La perception a évolué drastiquement depuis le moyen âge où la ville était considérée comme le lieu de civilisation apportant de surcroît une réelle sécurité à ses habitants, jusqu'au XIX^{ème} siècle où ont émergé les théories hygiénistes des bienfaits de la nature par opposition à l'insalubrité et à l'insécurité des villes.

Aujourd'hui, nombreux sont les nostalgiques de la ville-centre compacte du Moyen Age, fustigeant les banlieues-dortoirs et les barres HLM. Il est vrai qu'aujourd'hui le milieu urbain regroupe déjà plus de la moitié de la population mondiale, consomme environ 75 % des ressources énergétiques et génère près de 80 % des émissions de gaz à effet de serre. Or la zone urbaine gagne encore du terrain, principalement au détriment des zones agricoles, contribuant à détériorer l'empreinte écologique des régions².

Cet étalement urbain augmente la contribution des villes au réchauffement climatique. L'une des conséquences directes du phénomène d'étalement urbain est l'augmentation des gaz à effet de serre, il a pour origine le développement de l'automobile et la prédilection des ménages pour l'habitat individuel, prédilection renforcée par l'action des pouvoirs publics d'aides à la pierre, en faveur de la construction neuve qui a généralement lieu loin du centre-ville. Cet étalement, issu d'un développement urbain majoritairement non maîtrisé, a des impacts en matière de changement climatique qui ne sont pas soutenables, ceci pour la simple raison que l'éloignement du domicile par rapport au lieu de travail qui se trouve principalement en ville, nécessite un déplacement et le plus souvent en voiture. D'autre part, Le secteur du bâtiment émet chaque année 120 millions de tonnes de Co2, selon les chiffres annoncés par grenelle, les bâtiments résidentiels et tertiaires (bureaux, commerces) représentent 46% de l'énergie consommée en France.

Plus personne n'ignore la problématique du changement climatique. Beaucoup d'entre nous peuvent percevoir ses effets. Canicule en été, hiver sans neige, dérèglement du climat où il n'y a plus de saisons, des inondations dans un coin tandis qu'un autre subit de terribles sécheresses. Au-delà du

¹ « http://www.notre-planete.info/terre/climatologie_meteo/ilot-chaleur-urbain.php »

² « <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Etalement-urbain-et.html> »

climat, ses conséquences sont bien plus complexes. Le réchauffement de l'eau et la fonte des glaces font monter le niveau des mers, ce qui met en péril de nombreux archipels et terres basses, comme les Pays-Bas ou le Bangladesh. Le 21^{ème} siècle sera peut-être le premier à voir l'apparition de « réfugiés climatiques ». Si les prédictions les plus noires se réalisent, des nations archipels, comme les Maldives, pourraient être rayés de la carte et les conséquences géopolitiques seraient énormes³.

Ce changement climatique n'étant pas guidé par une idéologie, ces changements s'entendent d'une modification à long terme dans des conditions météorologiques mesurées par des changements dans la température, les précipitations, les vents, l'enneigement et d'autres indicateurs. Ils peuvent comprendre à la fois les changements des conditions météorologiques moyennes ainsi que de la variabilité⁴. En effet, les problèmes de santé liés à l'environnement urbain sont principalement associés à l'utilisation accrue des voitures, la pollution de l'essence et du pétrole dont il a été prouvé qu'ils sont responsables de maladies cardiaques. À Londres par exemple, de 1 à 50 attaques cardiaques traitées dans les hôpitaux sont étroitement liées avec du monoxyde de carbone qui provient principalement des gaz d'échappement des véhicules automobiles.

Des études sur Tokyo ont montré que durant 1965-1975, la consommation d'énergie pour le refroidissement a été augmentée d'environ 10-20% en raison de l'îlot de la chaleur urbain. Des études sur Singapour montrent que 1° C d'augmentation de température augmente la consommation d'énergie pour le refroidissement jusqu'à 33 GWh par an (Santamouris M, juin 2002).

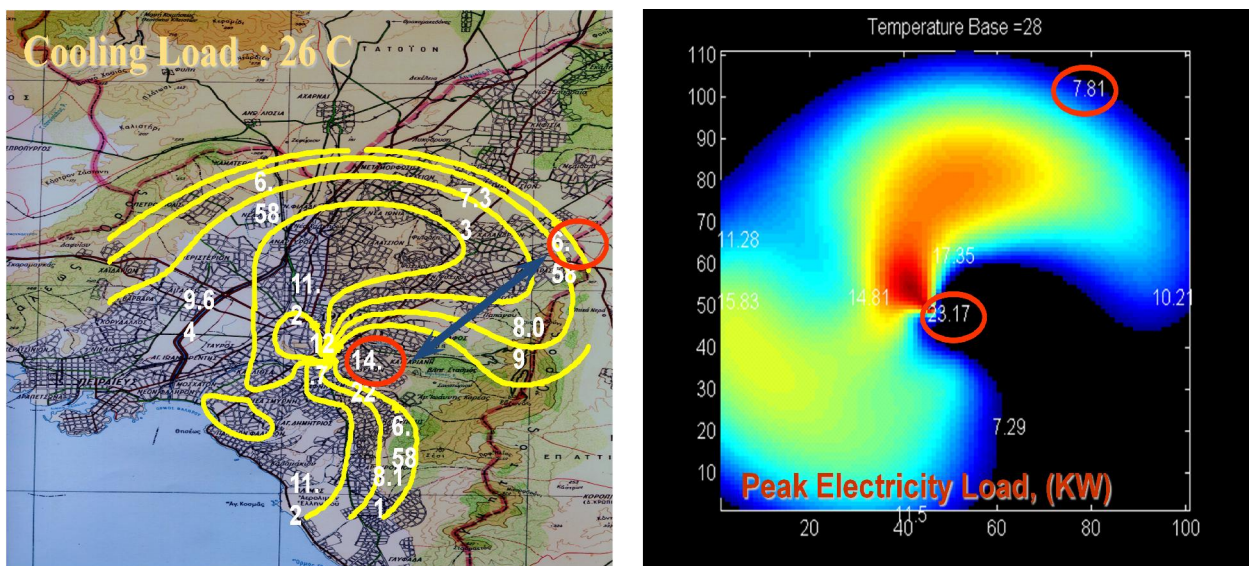


Figure 1: Difference de température entre le centre de la ville et la périphérie (Source : Santamouris, 2002)

³ « <http://www.changement-climatique.fr/> »

⁴ « <http://www.climatechange.gc.ca/default.asp> »

Certains insistent sur le besoin de revoir entièrement nos modes d'organisation sociétale, le gaspillage et la surconsommation doivent être limités.

L'urbanisation conduit à une très forte augmentation de la consommation d'énergie: une augmentation de la population urbaine de 1% augmente la consommation d'énergie de 2,2%, soit le taux de variation de la consommation d'énergie est deux fois le taux de variation de l'urbanisation. Ainsi, une comparaison de la consommation d'énergie par habitant pour les parties intérieures et extérieures des villes montre que la consommation dans la partie intérieure est beaucoup plus élevée, des études sur Londres présente la consommation d'énergie de 30% par habitant est supérieure à la partie extérieure de la ville.

Le microclimat urbain et le confort thermique extérieur sont généralement des données importantes dans la conception urbaine et les processus de la planification parce que le réchauffement des villes aura un effet important sur l'énergie demandée (Eliasson, 2000; Johansson, 2006). D'après Escourrou (1991), la ville se distingue de la campagne par la présence des bâtiments dont la taille accroît la rugosité et dont la forme et l'aspect modifient le bilan énergétique, ainsi que les revêtements de sol qui freinent considérablement les phénomènes évaporatoires, une production de chaleur anthropique et une émission en plus grande quantité de polluant, poussière et aérosols. Tous ces facteurs alimentent encore le réchauffement climatique par rapport aux zones rurales. Ce chapitre étudie donc la conception des espaces publics extérieurs selon certains critères bioclimatiques qui peuvent contribuer à une bonne qualité de vie en milieu urbain.

II-2-CHANGEMENT CLIMATIQUE :

Un changement climatique correspond à une modification durable (de la décennie au million d'années) des paramètres statistiques (paramètres moyens, variabilité) du climat global de la Terre ou de ses divers climats régionaux. Ces changements peuvent être dus à des processus intrinsèques à la terre, à des influences extérieures, ou plus récemment, aux activités humaines.

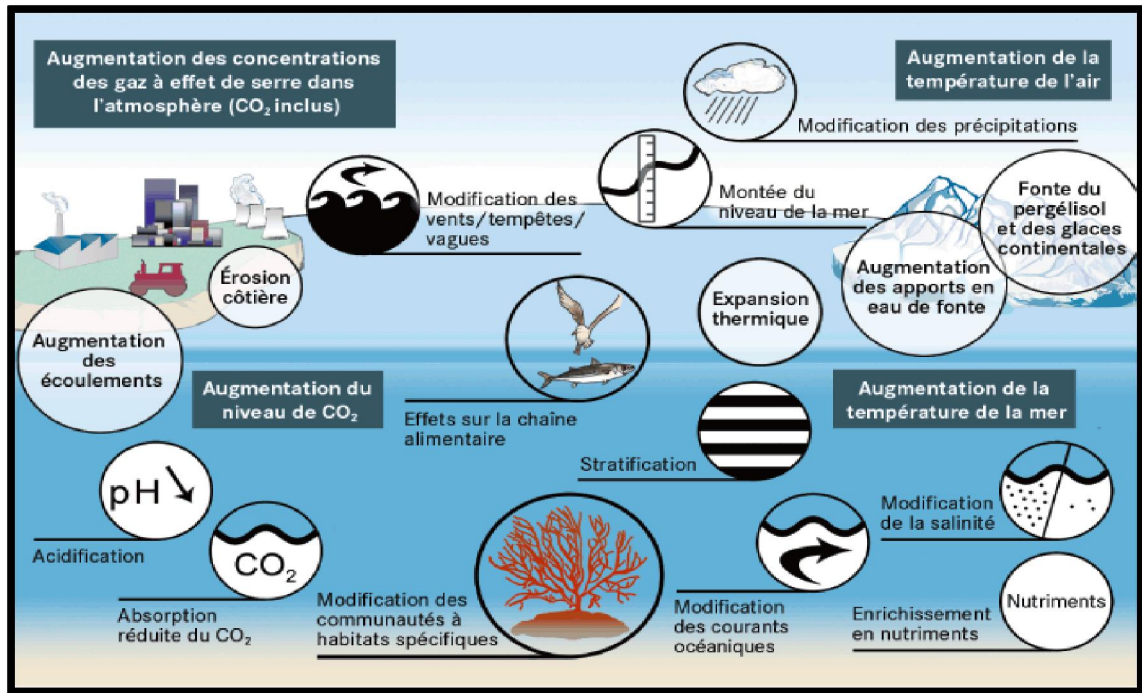


Figure 2 : Impact du réchauffement climatique sur le globe terrestre (Source : qsr2010.ospar.org, 2013)

Dans les travaux du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), le terme « changement climatique » fait référence à tout changement dans le temps, qu'il soit dû à la variabilité naturelle ou aux activités humaines.

Au contraire, dans la Convention des Nations Unies sur le changement climatique, le terme désigne uniquement les changements dus aux activités humaines. La Convention utilise le terme « variabilité climatique » pour désigner les changements climatiques d'origine naturelle.

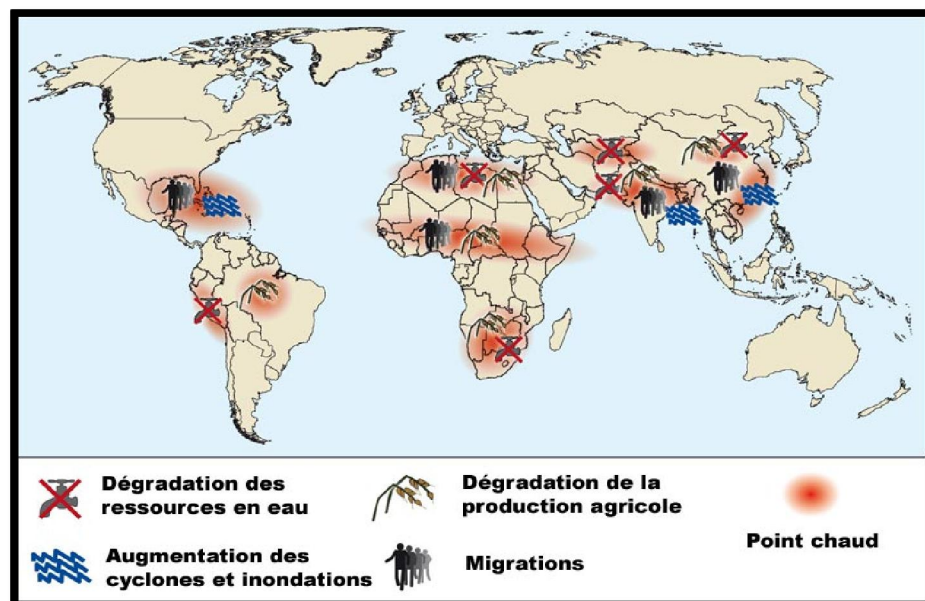


Figure 3 : Impact du changement climatique sur la population mondiale (Source : www.notre-planete.info, 2013)

II-2-1-FACTEURS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE:**II-2-1-1- FACTEURS NATURELS :**

Des facteurs naturels externes au système climatique, comme des changements dans l'activité volcanique, la production solaire et l'orbite de la Terre autour du Soleil, peuvent altérer le climat de la Terre. Parmi ceux-ci, les changements dans l'activité volcanique et les changements dans le rayonnement solaire constituent les deux facteurs pertinents à des échelles temporelles des changements climatiques contemporains. En ce qui a trait à l'équilibre énergétique de la terre, ces facteurs agissent principalement sur la quantité d'énergie solaire reçue. Les éruptions volcaniques sont épisodiques et ont des effets relativement courts sur le climat. Les changements dans l'irradiation solaire ont contribué aux tendances climatiques au cours du dernier siècle mais, depuis la révolution industrielle, l'effet des apports de gaz à effet de serre dans l'atmosphère a été environ dix fois plus marqué que l'effet des changements dans la production solaire.

II-2-1-2- FACTEURS ANTHROPIQUES :

Les changements climatiques peuvent également être causés par les activités humaines, comme le brûlage de combustibles fossiles et la conversion de terres pour la foresterie et l'agriculture. Elle est appelée aussi chaleur anthropique, et peut affecter de manière significative la température ambiante. Elle est liée au transport, la production d'électricité, la combustion de combustibles soit à partir de sources mobiles ou fixes, le métabolisme des animaux et autres sources de chaleur.

Depuis le début de la Révolution industrielle, l'influence des humains sur le système climatique a considérablement augmenté. En plus d'autres incidences environnementales, ces activités modifient la surface terrestre et émettent diverses substances dans l'atmosphère. Ces substances, en retour, peuvent avoir un effet sur la quantité d'énergie solaire reçue et la quantité de chaleur rayonnante, ce qui peut avoir à la fois un effet de réchauffement ou de refroidissement du climat. L'effet global des activités humaines depuis le début de la Révolution industrielle a été un effet de réchauffement, actionné principalement par les émissions de dioxyde de carbone et aggravé par les émissions d'autres gaz à effet de serre.



Figure 4: la Chaleur anthropique affecte directement le changement climatique (Source : michel-garnier.com, 2013)

L'accumulation de ce gaz à effet de serre dans l'atmosphère a mené à un accroissement de l'effet de serre global. Cet accroissement est préoccupant, car les émissions continues de gaz à effet de serre ont le pouvoir de réchauffer la planète à des niveaux jamais connus dans l'histoire de la civilisation. De tels changements climatiques pourraient avoir des répercussions environnementales, sociales et économiques vastes.

En effet, il est important de noter l'importance de la chaleur anthropique, notamment en été (climatisation, industries, circulation automobile, éclairage, etc) qui sont autant de facteurs qui font augmenter les températures et la pollution (qui aussi indirectement -par effet de serre- réchauffe l'atmosphère à l'échelle mondiale) et donc favorisent l'apparition d'un îlot de chaleur mais aussi plus simplement réchauffent la ville, même en l'absence d'ICU.

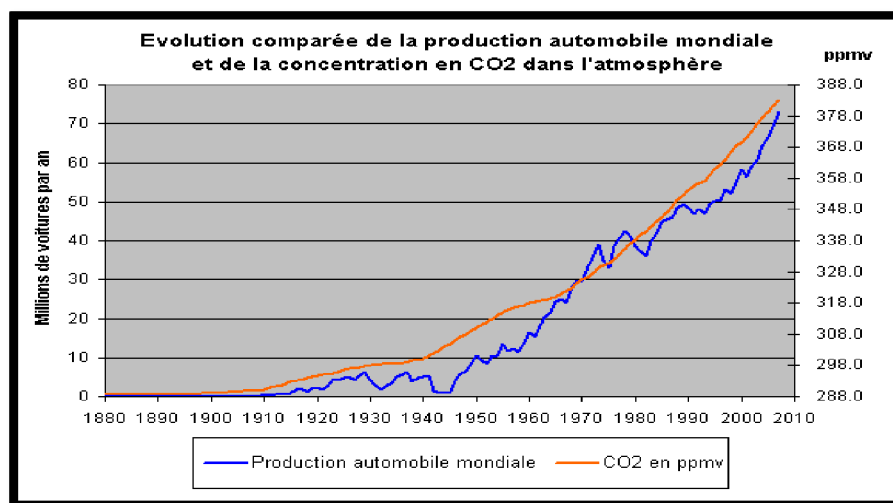


Figure 5 : Evolution comparée de la production automobile mondiale et de la concentration en CO2 dans l'air (Source : carfree.free.fr, 2013)

Santamouris M (2002), à partir de mesures à Bonn, montre qu'en hiver, un cycle diurne comprenant deux entrées maximales de 45 W/m² à 08:00 heures et 17:00 heures, et un minimum de 30 W/m² à partir de minuit jusqu'à 06:00 heures. Un flux de chaleur quotidien de 54 W/m² de transport et la consommation d'électricité domestique en été est signalée (Santamouris, 2002). Par exemple, une route éclairée aura une température d'1°C supérieure par rapport à une route non éclairée⁵.

II-2-1-3- FACTEURS ASTRONOMIQUES :

Cette théorie proposée par Milutin Milanković entre 1911 et 1941, confirmée par l'étude de l'oxygène 18, et largement approuvée par la communauté scientifique, explique les cycles climatiques glaciaires et interglaciaires. Selon cette théorie, sans forçage anthropique, la planète devrait entrer dans une nouvelle ère de refroidissement, ou entrer dans une phase interglaciaire exceptionnellement longue et stable (encore 50 000 ans).

Une autre théorie compatible, est celle des cycles solaires, développée par l'Allemand Heinrich Schwabe (1840), puis par l'Américain George Hale (1906). Elle explique les faibles variations climatologiques qui ont lieu tous les 11 ans, cycle correspondant à celui des taches solaires qui ont une périodicité de 11 ans ; lorsque le nombre de taches solaires est important, le Soleil émet plus d'énergie (la Terre en reçoit donc plus) et donc un changement de température a lieu. Ce rayonnement influe de manière complexe sur la nébulosité et donc à la fois sur l'albédo planétaire et l'effet de serre dû aux nuages et à la vapeur d'eau. Ces taches sont plus froides (4 500 K) que la surface du Soleil (5 800 K environ), mais elles correspondent à une augmentation du rayonnement qui peut augmenter de 1000 fois pour 1 % dans la lumière visible dans les périodes d'intense activité. La petite période glaciaire observée entre les années 1645 à 1715, est une illustration de la théorie de l'influence des variations de températures dues au cycle des taches solaires. Un nombre inhabituellement faible de taches solaires y ont été observées.

⁵ «http://www.notre-planete.info/terre/climatologie_meteo/ilot-chaleur-urbain.php»

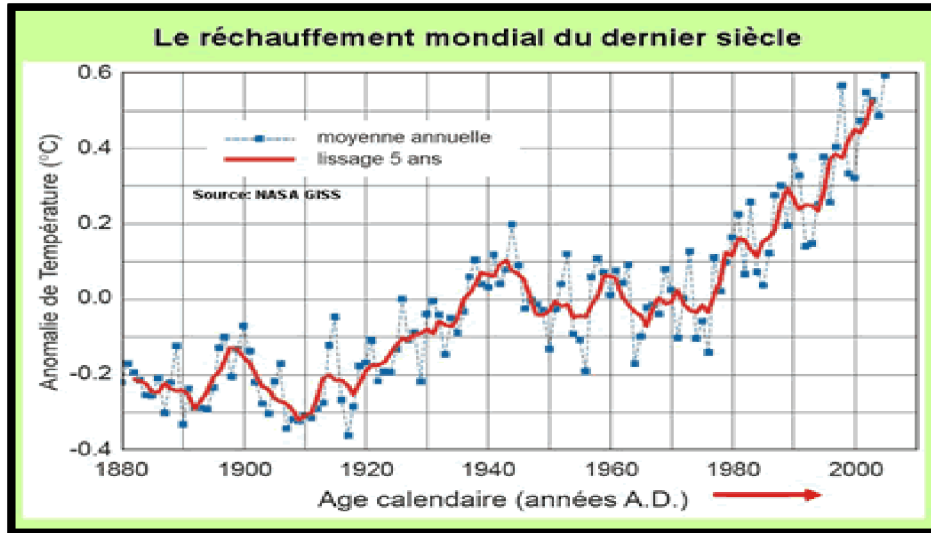


Figure 6 : Le développement du Réchauffement et différence de température mondiale du dernier siècle (Source : lesdefisdesespacetpe.e-monsite.com, 2013)

II-3- ILOT DE CHALEUR URBAIN (ICU):

L'îlot de chaleur urbain est un phénomène thermique qui crée un microclimat urbain dont les températures sont plus élevées par rapport aux zones périphériques rurales, plus on s'approche du centre de la ville, plus il est dense et élevé. L'îlot de chaleur urbain augmente non seulement la chaleur le jour, mais il empêche aussi les villes de retrouver une certaine fraîcheur la nuit. Il peut conduire à des différences de températures allant jusqu'à 10° K entre le centre d'une agglomération urbaine et une périphérie (Voir Figure 7).

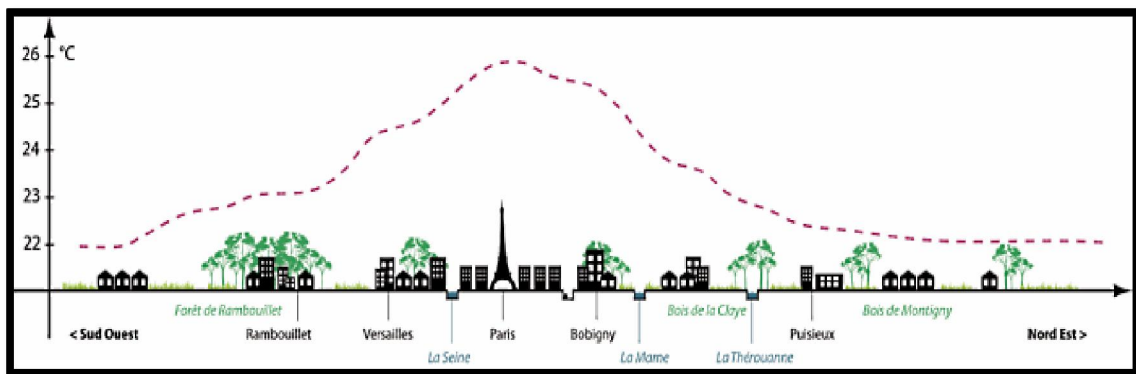


Figure 7 : Différences de la température entre le centre d'une agglomération urbaine et une périphérie. (Source : www.notre-planete.info, 2013)

De nombreuses études ont porté sur l'intensité de l'îlot de chaleurs urbaines et la relation entre les règles d'urbanisme et le microclimat local. D'autres études indiquent que les règlements d'urbanisme en vigueur ne sont pas adaptés aux climats, à titre d'exemples, dans la ville de Fès, Johansson (2006) a constaté que l'intention de la réglementation actuelle est de garantir la lumière du jour pour les

bâtiments. Cela peut être favorable pour la période hivernale lorsque l'élévation solaire est faible. Cependant, durant l'été qui est très chaud, quand il y a un besoin de protection solaire, il en résulte un très mauvais microclimat au niveau de l'extérieur. Les pires conditions se trouvent dans des zones désignées pour les maisons de faible hauteur où les parcelles sont très grandes avec de faible couverture. A Sao Paolo, au Brésil, la température moyenne annuelle a été augmentée d'environ 2 C. Au Nigeria, le phénomène de l'îlot de chaleur à Lagos est principalement dû à la circulation dense, il est vécu à midi et l'après-midi et se situe entre 2 et 4 C. A Ibadan, l'effet d'îlot de chaleur est le plus marquée à la hauteur de la saison sèche en Mars, les différences de températures sont autour de 1-3 C (Santamouris, 2002).



Figure 8 : îlot de chaleur urbain dans les espaces extérieurs (Source : www.ecoedges.com, 2013)

Les données sur l'îlot de chaleur à Shanghai en Chine, montrent que la zone urbaine est toujours plus chaude que la campagne, la différence de température est d'environ 6° C. Pour la Havane à Cuba, une intensité d'îlot de chaleur entre 1°C et 3°C est mesurée, alors que les études pour Le Caire en Egypte montrent une intensité de l'îlot de chaleur de près de 4° C survenue pendant la nuit et les premières heures du matin de la période estivale. Des études similaires sur l'îlot de chaleur à Dhaka, au Bangladesh, montrent une intensité comprise entre 0,5°C à 6° C qui se produit pendant la nuit. L'intensité au cours de la période estivale a été relativement faible (0,6° C) en raison de l'humidité relative élevée.

Tableau 1 : Intensités des îlots de chaleur dans certaines villes indiennes. (Source : Santamouris, 2002)

Station	Heat Island Intensity, (C)
New Delhi	6.0
Bhopal	6.5
Calcutta	4.0
Bombay	9.5
Pune	10.0
Visakhapatnam	0.6
Vijayawada	2.0
Madras	4.0

Dans les zones autour de la grande région de Tokyo, la température moyenne de la nuit d'été est supérieure de 3°C à 5°C à celle des zones rurales environnantes, avec un excès de température qui a augmenté ces dernières années. Mazzeo et Camilioni, (1990/91), selon une étude sur l'intensité de l'îlot de chaleur à Buenos Aires, en Argentine pour une période de cinq jours au cours de juin 1978, montrent que la valeur maximale de l'îlot de chaleur urbain était de 7,4°C.

D'après William Gough, professeur-adjoint en sciences de l'environnement à l'Université de Toronto au Canada, dans cette ville, une différence de 3°Celsius a été enregistrée entre le centre de la ville et l'aéroport Pearson pendant la nuit. Ainsi, Ali-Toudert et Mayer (2007) affirment que la mauvaise orientation des rues et le manque de la végétation ont un impact très importants sur la création de l'îlot de chaleur urbain.

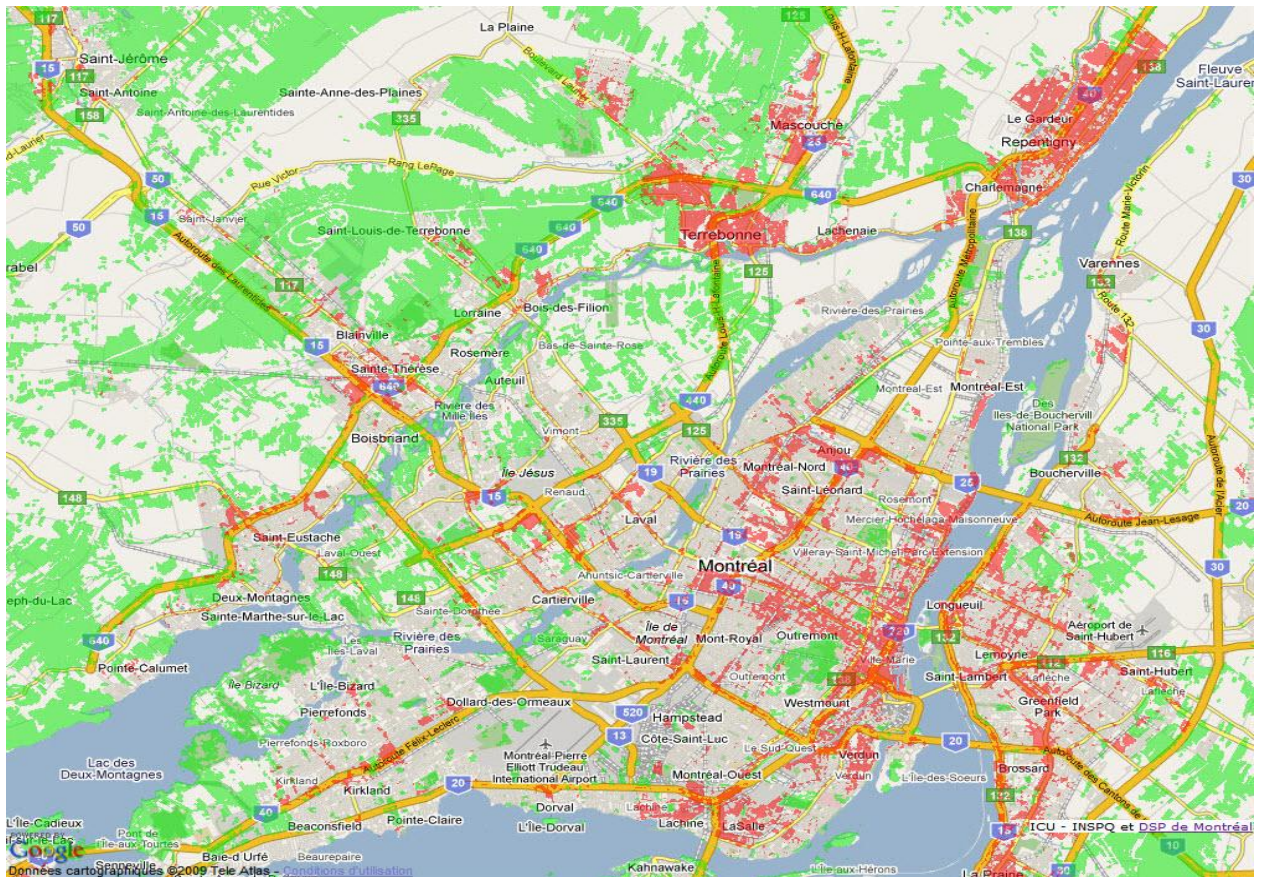


Figure 9 : Intensité de l'îlot de chaleur urbain à la ville de Montréal (Source : www.cremtl.qc.ca, 2013)

II-3-1-FACTEURS DE L'ÎLOT DE CHALEUR URBAIN:

Les différentes études sur les îlots de chaleur urbains ont montré que les différences de températures sont un phénomène assez complexe. LICU est très variable et dépend de la situation géographique, climatique et de la topographie de la ville.

La forme des bâtiments, l'orientation, les matériaux de construction, la couleur, la végétation, tous ces paramètres influencent le rayonnement solaire, la température et le vent ainsi que d'autres paramètres, pour produire un microclimat spécifique à un site. Les concepteurs urbains et les urbanistes sont donc en mesure de disposer de différents choix de solutions, formes des bâtiments, matériaux, végétation, éléments à base d'eau, certains équipements urbains qui peuvent même contribuer aux projets urbains, en offrant une protection contre des aspects négatifs ou l'exposition à d'autres aspects positifs du climat, afin de procurer des mesures de réduction de stress thermique pour les individus vivant dans les villes et réduire l'îlot de chaleur urbain.

II-3-1-1-LA MORPHOLOGIE URBAINE :

La différence entre le maximum de température en ville et la température de référence à l'extérieur est définie comme étant l'intensité de l'îlot de chaleur. Des études sur l'intensité de l'îlot de chaleur à travers le monde ont donné certaines valeurs importantes, particulièrement pour les villes industrialisées caractérisées par de grandes hauteurs de bâtiments implantés de façon hiérarchique.

La Morphologie Urbaine à un rôle fondamental dans la réduction de l'îlot de chaleur urbain, la géométrie du canyon urbain réduit les pertes radiatives des rues. Du point de vue échanges radiatifs, les surfaces des bâtiments se substituent au ciel, mais leurs surfaces plus chaudes ont pour effet de limiter les pertes. Un espace urbain est défini par trois paramètres principaux (H, W, L) et il existe une corrélation importante entre l'intensité d'îlot de chaleur et les paramètres de la morphologie des espaces urbains extérieurs.

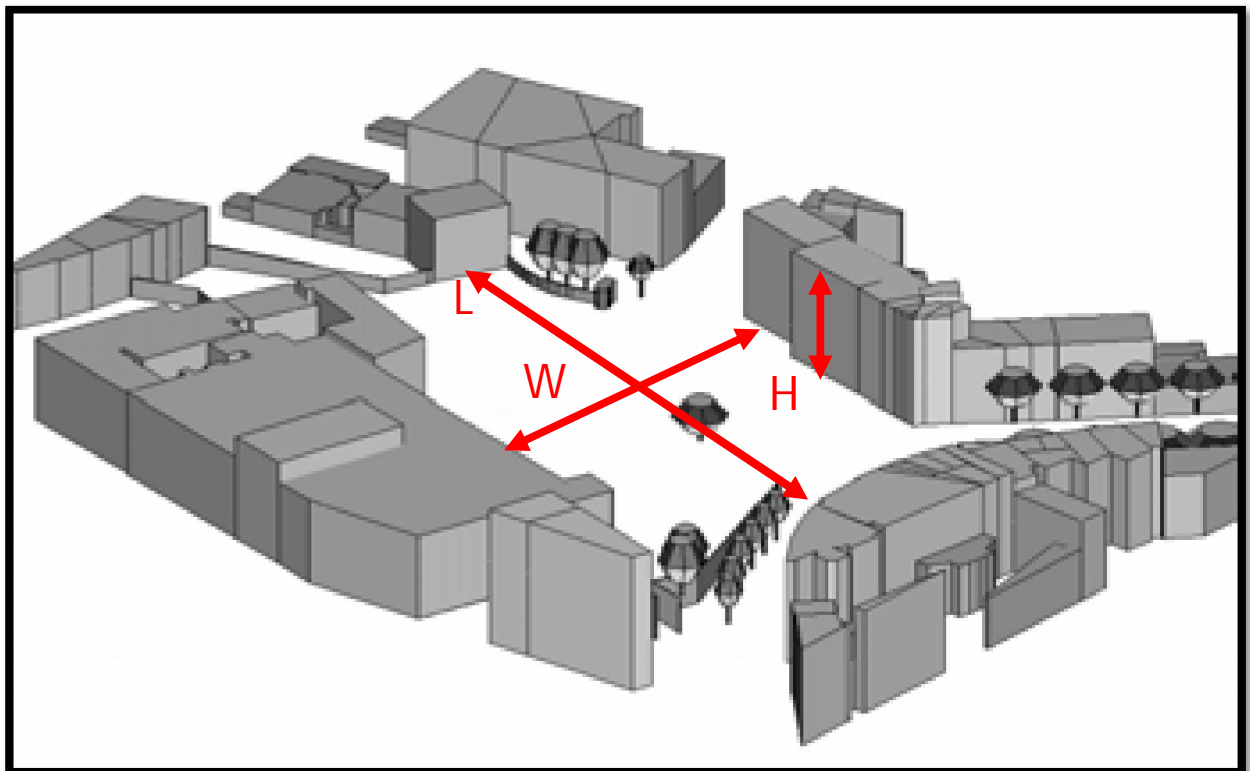


Figure 10 : les 3 paramètres morphologiques principaux d'un espace extérieur (Source : RUROS, 2002)

II-3-1-2- ALBEDO DES SURFACES EN MILIEU URBAIN :

Les surfaces bâties dans la ville, selon son albédo (indice de réfléchissement d'une surface) peuvent absorber ou réfléchir l'énergie solaire. La ville absorbe pendant la journée 15 à 30 % d'énergie de plus. Cette énergie est ensuite restituée lentement la nuit sous forme d'infrarouge (chaleur). Or, la

géométrie du bâti piège cette énergie thermique. La minéralité des villes est donc un élément fondamental dans la formation des îlots de chaleur urbains.

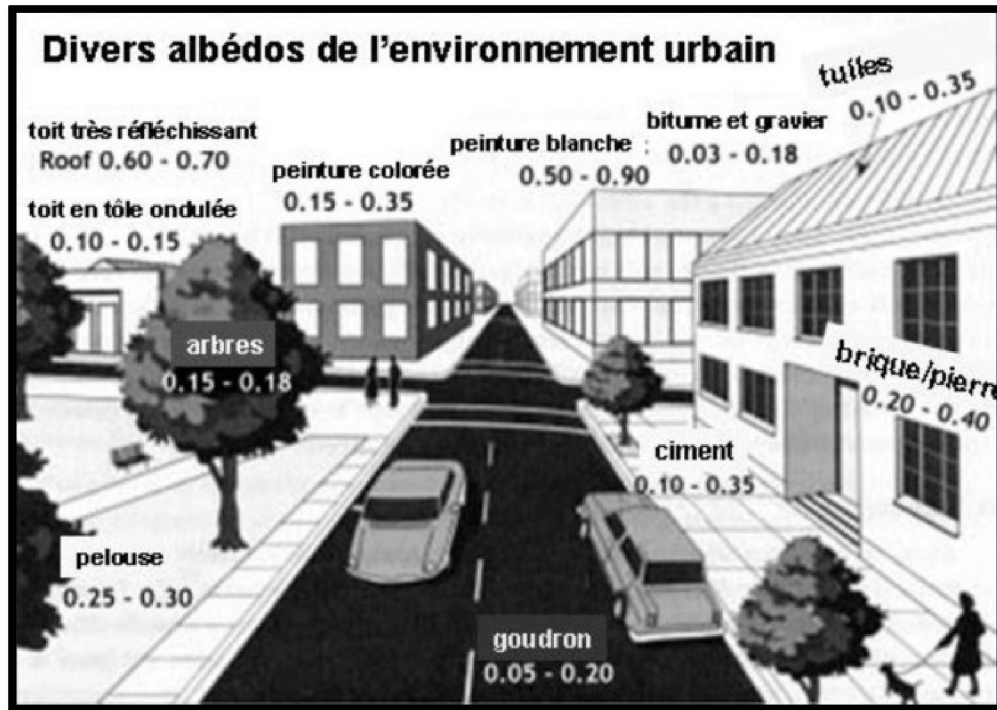


Figure11 : Divers albédos de la ville. Compris entre 0 et 1 (Source : <http://www.notre-planete.info>, 2013)

L'eau et la végétation constituent des moyens de rafraîchissement : par évaporation et évapotranspiration, elles rafraîchissent l'air dans la journée, cependant, l'eau ruisselle rapidement vers les émissaires artificiels (égouts) à cause de l'imperméabilité du sol urbain et elle n'a pratiquement pas le temps de s'évaporer. Soulignons que l'évaporation entraîne un rafraîchissement de l'air car le passage de l'état liquide à l'état gazeux consomme des calories (environ 600 par gramme d'eau évaporé).

II-3-1-3- LA CIRCULATION D'AIR EN MILEU URBAIN

L'ICU dépend également des vents. Un vent fort va favoriser la circulation de l'air et donc diminuer le réchauffement du substratum urbain par un air chaud. A l'inverse, un vent faible entraîne une stagnation des masses d'air qui ont alors le temps de réchauffer le bâti. Plus le temps est calme et dégagé, plus l'îlot de chaleur urbain est intense. De plus, la forme urbaine joue sur le régime des vents : une rue étroite et encaissée formant un canyon, empêche les vents de circuler et fait alors stagner les masses d'air.

II-3-1-4- LES MATERIAUX DE CONSTRUCTIONS :

L'échange de chaleur est plus important dans les villes en raison des propriétés thermiques des matériaux de construction. En général à cause des murs et toitures pavées, et plus précisément dans les surfaces ouvertes pavées dans la ville, des températures plus élevées sont enregistrées le jour avec une capacité thermique supérieure par rapport à la campagne environnante. Ce type de matériaux absorbe et libère efficacement la chaleur. Ces processus entraînent, une hausse rapide des températures qui demeurent élevées pendant longtemps⁶.

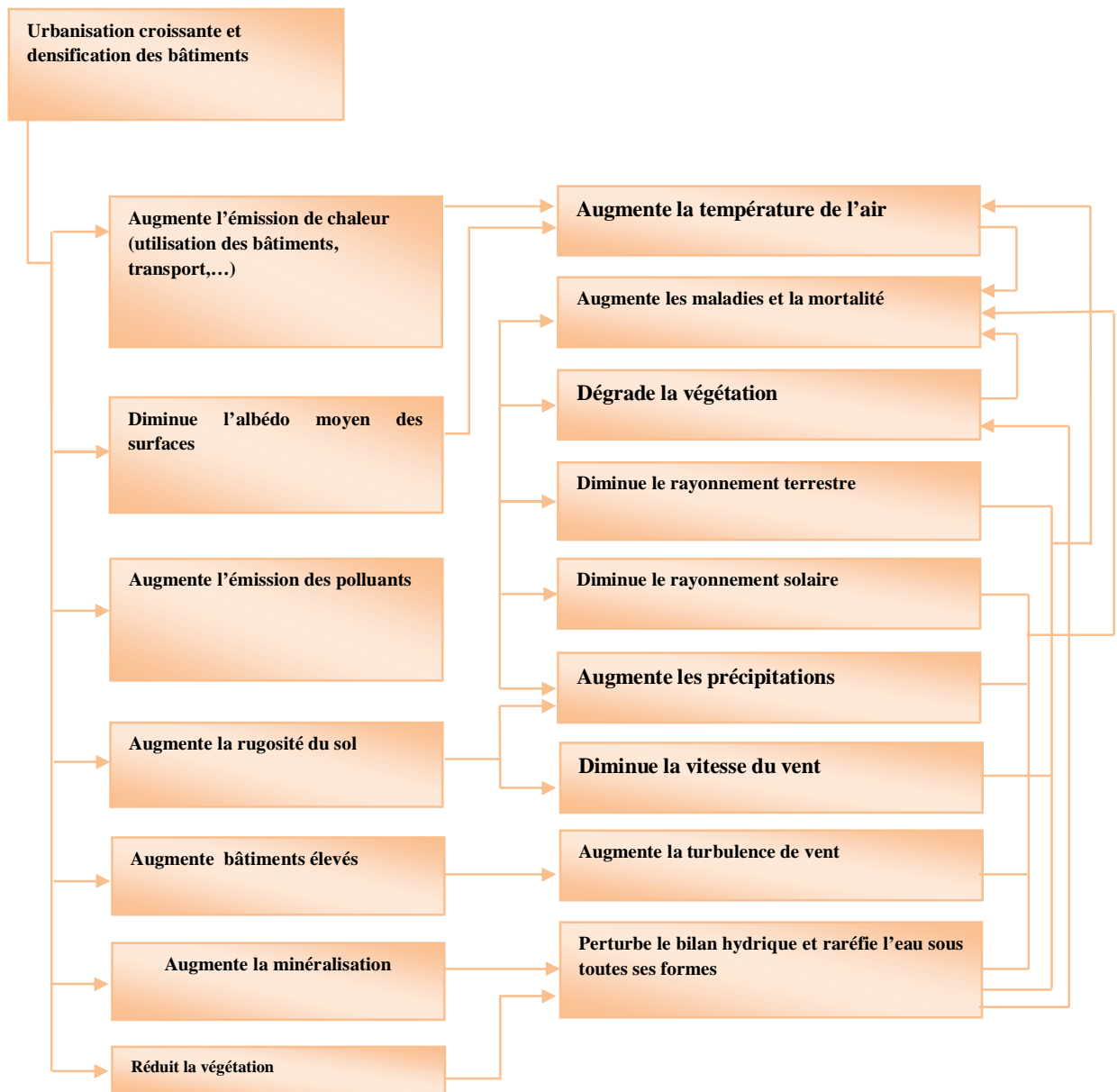


Figure 12 : Facteurs provoquant la création de l'ICU (Source : Sigrid Reiter, 2007)

⁶ « Evans John Martin, The Comfort Triangles: A New Tool For Bioclimatic Design, September 2007, P 216»

II-3-2- CONSEQUENCES DE L'ÎLOT DE CHALEUR URBAIN:

L'îlot de chaleur urbain a des effets négatifs sur plusieurs paramètres, il est à l'origine de transformations de phénomènes météorologiques. Ainsi, ils font diminuer l'humidité relative, le nombre de jour de gel et les brouillards. De plus, l'ICU provoque une augmentation de l'intensité des précipitations provoquant parfois de violents orages, d'après **Duchêne-Marullaz (1980)** : « *la ville perturbe principalement la circulation convective des masses d'air. Son influence est ainsi marquée sur les phénomènes violents comme les fortes averses, les orages ou encore les chutes de grêle. Les journées d'orage peuvent augmenter de 20 à 30% »*

Les différences de chaleur entre centre et périphérie sont à l'origine de "brises de campagne", c'est-à-dire des vents thermiques faibles qui vont des zones froides aux zones plus chaudes, favorisant ainsi la concentration de polluants dans les secteurs les plus urbanisés et les plus denses, autrement dit les secteurs qui souffrent déjà le plus des îlots de chaleur⁷.

L'îlot de chaleur urbain, à son tour, contribue à l'augmentation des charges énergétiques sous différentes formes (électricité, gaz, essence, gasoil, bois,...). Pour les besoins de refroidissement, cette consommation provoque des malaises thermiques, et la pollution atmosphérique.

La qualité de l'air sera aussi affecté par l'îlot de chaleur urbain, par l'augmentation de l'effet de serre et la création du trou d'ozone, ainsi que des effets locaux comme le SMOG ou les pluies acides. Cette pollution de l'air est néfaste pour la santé et peut augmenter le nombre des décès comme c'était le cas à Paris en 2000, à cause de l'excès de la température qui a causé plusieurs morts surtout chez les personnes âgées. Donc une forte corrélation existe entre la température journalière et la surmortalité due à cette chaleur excessive qui agit sur la santé de l'être humain.

L'îlot de chaleur urbain provoque aussi le déséquilibre entre les saisons et affecte plusieurs phénomènes saisonniers tels que des dérèglements du climat où il n'y a plus de saisons, de longues vagues de chaleur qui s'abattent sur les villes et qui génèrent des sécheresses, des hivers plus courts, de la canicule en été, des hivers sans neige, des inondations dans un coin tandis qu'un autre subit de terribles sécheresses, ainsi qu'un nombre de jours de gel diminué.

⁷ «http://www.notre-planete.info/terre/climatologie_meteo/ilot-chaleur-urbain.php»

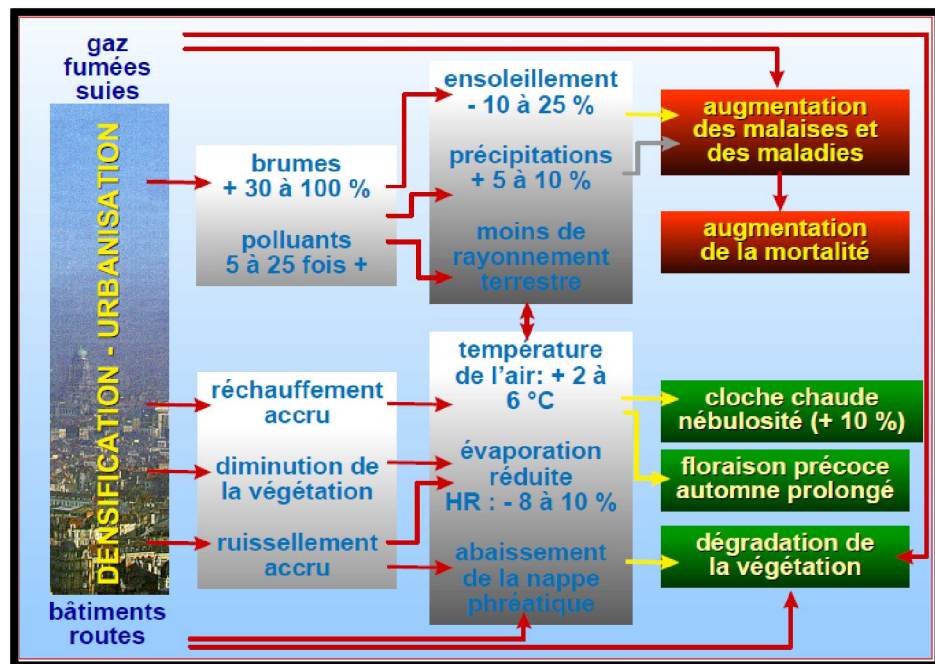


Figure 13 : Différents effets de l'îlot de chaleur urbain. (Source : Traité d'architecture Bioclimatique, 2006)

II-4- LES ESPACES PUBLICS EXTERIEURS :

L'espace public est un terme polysémique qui désigne un espace à la fois métaphorique (espace de débat public) et matériel (espaces de rencontre et d'interactions sociales)⁸. Il est composé d'un ensemble d'espaces de passage et de rassemblement à l'usage de tous, soit qui n'appartient à personne, soit qui relève du domaine public ou (exceptionnellement) du domaine privé. Cet espace est composé d'édifices et d'espaces verts (parcs et jardins), accessible, gratuit, fréquentable par tous⁹.



Figure 14: Différents usages de l'espace public extérieur sous différentes conditions microclimatiques, journée et soirée d'été. (Source : RUROS, 2002)

⁸ « <http://www.hypergeo.eu> »

⁹ « Louafi Samira, Impact de la végétation sur la qualité des ambiances thermiques et visuelles dans les espaces publics urbains, thèse de doctorat, université Constantine 3, 2013, P31 »

L'espace public est un espace ouvert un lieu de rencontre par excellence qui est considéré comme la partie du domaine public non bâti et affecté à des usages publics. Il s'agit d'un espace dédié à des activités variées de passage, de détente ou de loisir, un enjeu primordial de l'équilibre social, environnemental et économique des villes. En cohérence avec les trois piliers du développement durable, il joue un rôle essentiel dans les échanges sociaux et l'épanouissement de ceux-ci.



Figure15 : Exemple d'un espace public extérieur à Ghardaïa (Source : www.architonic.com,2013)

La notion d'espace public est une notion complexe (politique, sociologique, et urbanistique)¹⁰. Pour **Monique Zimmerman** : « *l'espace public s'entend comme espace de l'action politique et de la pratique sociale ou s'exerce la culture, comme ensemble de manière d'être, de faire, de dire, et de penser* ». Par contre pour **Luc Doumenc** : « *l'espace public, est la partie non bâtie de la ville, l'espace vide ou existe de la place, l'espace appartenant la plupart du temps au domaine public* »

Alain Letourneau résume ainsi le livre dans lequel Habermas introduit en 1962 la notion d'espace public: « *L'espace public, c'est un ensemble de personnes privées rassemblées pour discuter des questions d'intérêt commun* »¹¹. Pour **PALLADIO** : « *l'espace public est grand espace vide par le moyen duquel on puisse jouir de l'aspect sur quelques superbe édifices* ».

¹⁰ « V.Stein.op.cit »

¹¹ « http://agora.qc.ca/dossiers/Espace_public »

II-4-1- RUES ET RUELLES :

Ce sont les Voies de circulation routière aménagées à l'intérieur d'une agglomération, habituellement bordées de maisons, d'immeubles, de propriétés closes¹², c'est aussi un espace public, lieu de rencontres et d'échange où s'exerce et se construit la sociabilité des individus et des groupes sociaux.

La ruelle se distingue de la rue par sa faible largeur et par l'absence de contre-allées. Une rue particulièrement étroite et bordée par des immeubles d'une certaine hauteur, peut être qualifiée de ruelle.



Figure 16: Différence entre Rue et Ruelle (Source: Auteur, 2013)

II-4-2- LES FORMES GEOMETRIQUES DE LA RUE :

II-4-2-1- LA FORME CANYON :

Le mot « canyon » est un concept anglais qui détermine une vallée profonde creusée par un cours d'eau. Par contre dans un milieu urbain, un canyon est une unité de surface urbaine de base qui peut être vue à plusieurs reprises dans les zones urbaines. La forme du canyon se compose de la

¹² «<http://www.larousse.fr/dictionnaires>»

combinaison géométrique des surfaces horizontales et verticales. Le volume d'air canyon est l'air contenu entre les murs, le sol et «le couvercle» du canyon, le couvercle étant une frontière imaginaire au niveau du toit. Ces canyons sont asymétriques lorsque les bâtiments situés sur un côté de la rue sont d'une hauteur différente de celle des bâtiments en face d'eux. Jean Louis Izard définit le canyon urbain comme étant une rue bordée d'immeubles où la hauteur est supérieure à deux fois la largeur de la rue ($H > 2W$).



Figure 17: canyon naturel (Great Canyon USA)

(Source : www.linternaute.com, 2013)

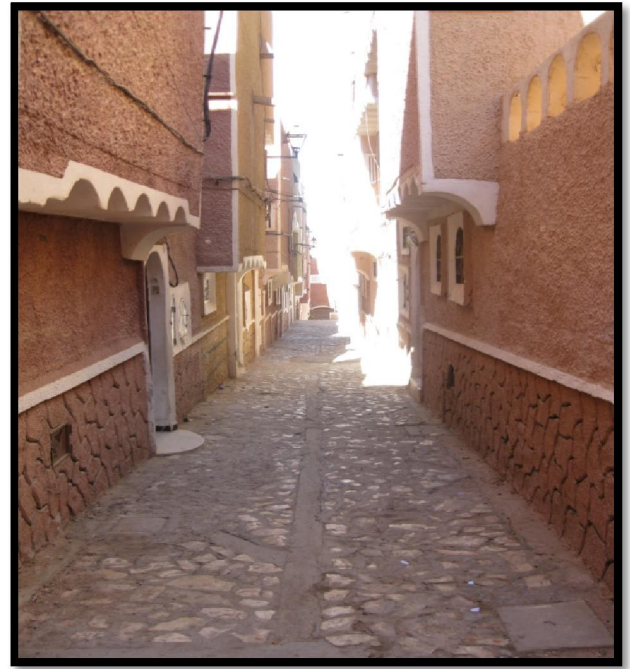


Figure 18: canyon urbain

(Source : AUTEUR, 2013)

II-4-2-2- LA FORME DIEDRE :

Une forme dièdre, en géométrie, est une figure formée par deux demi-plans limités par une même droite. Un espace « dièdre » se forme lorsqu'une surface horizontale est interrompue par une surface verticale, où le ciel et les façades sont vues angulairement de manière équivalente : on peut donc avoir en même temps un ensoleillement direct et un éclairage par les façades¹³.

II-4-2-3- LA FORME DEGAGEE :

Elle est caractérisé par une domination du ciel vu (SVF très grand avec $H < 0,25L$) qui occupe une proportion importante de la visibilité angulaire de l'espace, les rayonnements du soleil et du ciel sont prépondérants.

¹³ « Boucheriba Fouzia, Impact De La Géométrie Des Canyons Urbains Sur Le Confort Thermique Exterieur, Thèse De Magistère, Université Mentouri, 2006, P76 »

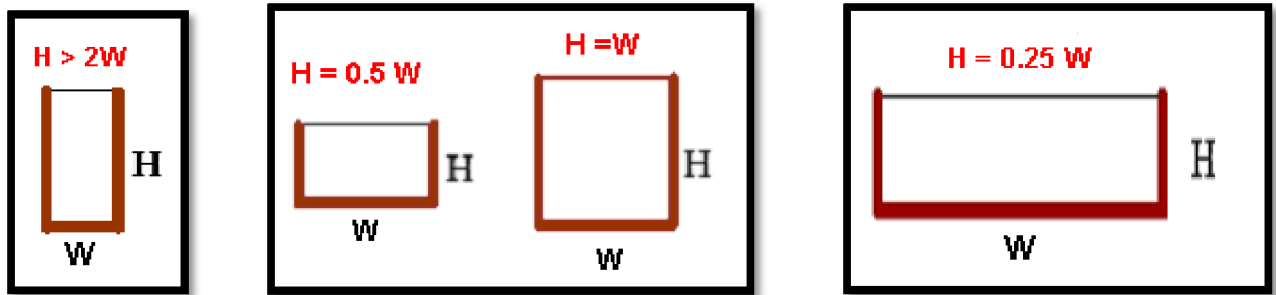


Figure 19: Différentes géométries de la rue : canyon, dièdre et dégagée (Source : Jean Louis Izard ,2000)

II-4-3- PLACES ET PLACETTES :

Les places et les placettes sont des espaces public non bâtis, desservis par des voies, Elles sont généralement limitées par des bâtiments, et équipées de mobilier urbain ou d'édicules (statue, fontaine, obélisque, etc.), elles peuvent être affectées aux piétons ou aux véhicules. Ces espaces libres situés à l'intérieur, au centre ou éventuellement à la marge d'une ville, sont bordés généralement de constructions, maisons et boutiques, et qui se distinguent de l'ensemble des espaces publics urbains par une certaine ampleur, et par une dilatation spécifique de l'espace¹⁴.



Figure 20: Rôle d'une même place à Ghardaïa dans deux époque différentes (Source : www.vitamedz.com, 2013)

KEDISSA dans sa thèse de magistère, a donné aux places une double fonction, fonctionnelle car elles sont nées de la renaissance de se rassembler devant le siège du pouvoir, ou dans les lieux de commerce.

¹⁴ « <http://ciel-espacespublics.com/pages/places.html> »

C'est ainsi qu'elles deviennent un support des fonctions essentielles de la cité, et formelles¹⁵ car elles sont un vide entouré de construction indissociable du tissu urbain, ces pièces communes prend un sens formel incontestable.

II-4-4- INFLUENCE DES ESPACES PUBLICS SUR L'ENVIRONNEMENT :

Les espaces publics extérieurs se caractérisent par la production d'énergie anthropique qui est étroitement liée à la taille et la densité de l'espace, sa fonction et son industrialisation. Le manque de végétation et l'imperméabilité des surfaces minérales dans les espaces urbains, génèrent une diminution de l'évapotranspiration. De plus, les matériaux de construction absorbent et libèrent efficacement la chaleur, un important stockage de chaleur en journée en raison des propriétés thermiques des matériaux de constructions et de pavage, ce qui augmente les surfaces d'échange de rayonnement solaire par rapport à ce que l'on peut trouver en campagne¹⁶. Tous ces facteurs sont responsables de la dégradation de l'environnement à l'échelle de la ville, qui génère des conséquences sur la santé, sur le climat et sur la consommation d'énergie au sein de la ville, dont le phénomène le plus remarquable est l'îlot de chaleur urbain (Nicola Ringenbach, 2002).

II-4-5-BILAN THERMIQUES DANS LES ESPACES PUBLICS :

Le bilan thermique en milieu urbain diffère considérablement de celui des zones rurales. L'équilibre thermique d'un secteur urbain est d'une grande complexité à cause des volumes importants des bâtiments, de la diversité des matériaux utilisés, ainsi que des activités qui s'y déroulent. Les objets qui constituent l'environnement urbain (les matériaux de construction à haut albédo, les abris, la végétation) jouent un rôle important dans le bilan thermique par des échanges radiatifs. Par contre, la chaleur anthropique rejetée par les voitures et les systèmes de combustion, le rayonnement solaire qui est plus élevé et stocké dans ces espaces, et le blocage du rayonnement infrarouge, tous ces paramètres ont un effet négatif sur le bilan thermique global d'une ville. Ce bilan est régi par les gains énergétiques, les pertes ainsi que l'énergie emmagasinée par les éléments opaques, les immeubles et les rues (Santamouris, 2002). D'une manière générale :

$$\text{Gains énergétiques} = \text{pertes d'énergie} + \text{stockage de l'énergie}$$

¹⁵ « KEDISSA Chahrazed, Impact de la géométrie des espaces extérieurs sur le microclimat urbain, mémoire de magister, université mentouri, 2010, P 48 »

¹⁶ « <http://www.memoireonline.com> »

Les gains d'énergie impliquent la somme des flux radiatifs nets Q_r sous la forme d'un rayonnement solaire, ainsi que la chaleur anthropique Q_T , liée aux systèmes de transport, production d'électricité et autres sources de chaleur. Les pertes d'énergie sont sous la forme de la chaleur sensible Q_E , ou de la chaleur latente Q_L . Les pertes peuvent également se produire en raison du flux de chaleur convectif entre le milieu urbain et le milieu environnant. Ainsi, le bilan énergétique peut être écrit comme:

$$Q_r + Q_T = Q_E + Q_L + Q_s + Q_A$$

Où Q_s est l'énergie stockée et Q_A est l'énergie nette transférée vers / ou depuis le système par advection sous forme de chaleur sensible ou latente

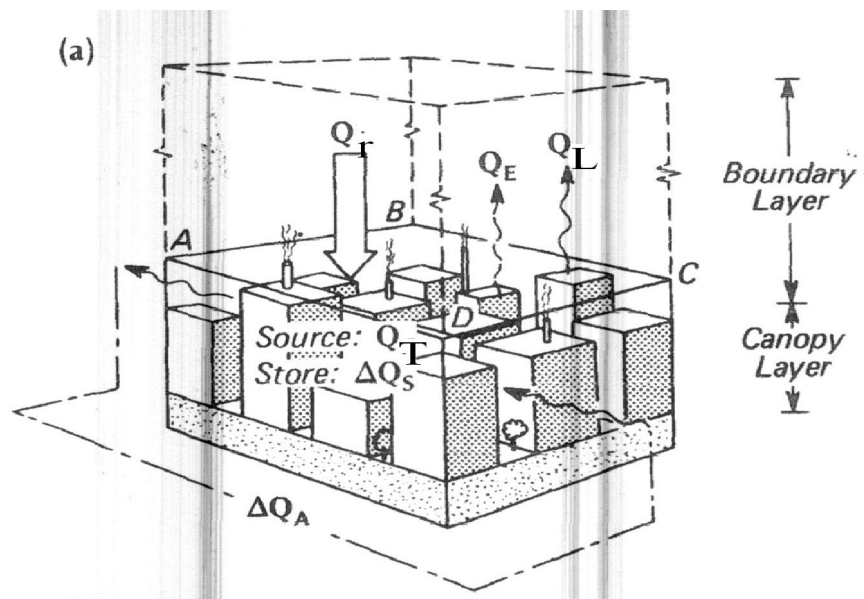


Figure 21 : Différentes échanges énergétique dans un espace urbain (Source : Santamouris, 2002)

Très peu d'études ont porté sur le bilan énergétique dans un espace public extérieur, Nunez et OKE, en 1977, démontrent la forte influence de la géométrie du canyon et son orientation, sur les échanges radiatifs. Cet effet se traduit par une distribution du bilan énergétique des murs et du sol au cours du cycle journalier, dans le cas d'une rue N-S l'incidence du rayonnement solaire est maximale sur le sol à midi. Sur les murs Est et Ouest, cette incidence du rayonnement solaire est maximale 1 heure et demi avant et après midi, Le rayonnement solaire net reçu dépend non seulement de l'intensité solaire mais aussi de l'angle d'incidence, de l'albédo des surfaces et de leurs émissivité, qui peuvent produire l'absorption du flux radiatif le plus élevé¹⁷. L'auteur de cette expérience affirme qu'au cours de la journée, approximativement 60% du surplus radiatif est perdu en chaleur sensible Q_h tandis que 25-30% sont stockés dans les matériaux des surfaces urbaines.

¹⁷ « Kitous Samia, Effet Aérodynamique sur le confort thermique extérieur – cas de la vallée des Mزاب-, Thèse de doctorat, EPAU, 2013, P33 »

Tableau 2 : Bilan énergétique en (MJ/m²/jour) d'une banlieue et région rurale à Vancouver, (30 journées d'été)

(Source : Cleugh et Oke, 1986)

Term	Suburban	Rural
Q_f	11.8	13.0
Q_E	6.4	4.0
Q_L	4.2	8.7
Q_s	1.2	0.3

Par ailleurs, Oke en 1989 affirme que le changement de l'orientation de la rue aboutirait à des résultats différents : si la rue était dans la direction E-O, c'est uniquement le mur faisant face au sud et le sol qui recevraient un rayonnement incident important. De même la variation du Ratio H/L apporterait des modifications dans le pourcentage du rayonnement solaire qui pénètre dans la rue, ce qui a un effet direct sur le bilan énergétique de ce dernier. D'autre part, Yoshida (1990) dans une rue d'orientation E-O avec un Ratio de 0.94, a montré des différences importantes dans la répartition des flux énergétiques. Les surplus radiatifs qui sont transférés en chaleur sensible au niveau supérieur de la rue étaient d'environ 35% seulement tandis que 75% sont stockés dans le tissu urbain mais qu'aucune mesure des flux horizontaux n'a été effectuée. L'auteur a conclu que le niveau haut du canyon agit comme une source de chaleur plus faible que les aires de toitures adjacentes¹⁸.

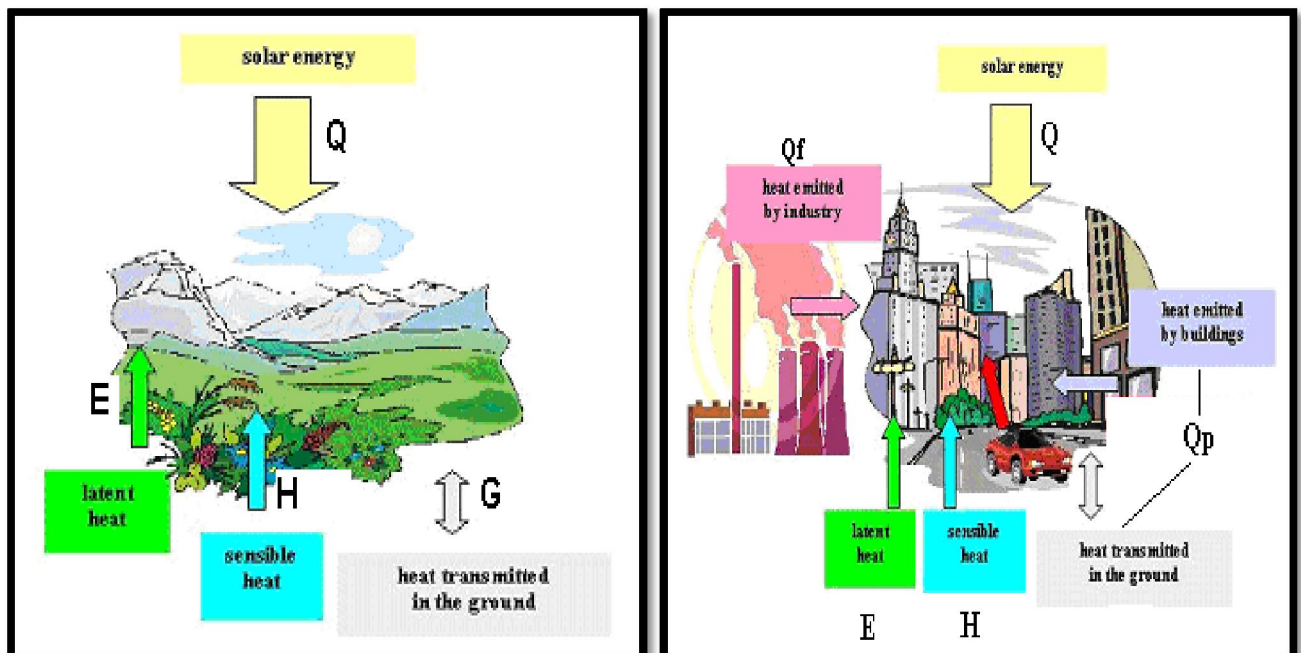


Figure 22 : Différence entre le bilan thermique d'une zone urbaine et non urbaine (Source : Sébastien Wypych, 2003)

¹⁸ « Kitous Samia, Effet Aérodynamique sur le confort thermique extérieur – cas de la vallée des Mzab-, Thèse de doctorat, EPAU, 2013, P34»

II-4-5-1- LE FLUX RADIATIF :

Ce sont les échanges radiatifs correspondant à des transferts d'énergie par rayonnement absorbé par un objet ou une surface. Le rayonnement net est la quantité d'énergie radiative disponible aux surfaces terrestres, pouvant être transformé à d'autres formes d'énergie par les divers mécanismes physiques et biologiques de la surface¹⁹.

II-4-5-2- LE FLUX CONVECTIF :

C'est un phénomène de la mécanique des fluides, qui se produit lorsqu'un gradient induit un mouvement dans le fluide. Ce sont les échanges correspondant à des transferts d'énergie ou de masse par déplacement de l'air entre la surface et les basses couches de l'atmosphère. Ces transferts d'énergie peuvent résulter du mouvement naturel de l'air généré par une différence de température ou de densité (convection naturelle).

II-4-5-3- LE FLUX CONDUCTIF :

Le flux conductif est un mode de transfert thermique provoqué par une différence de température d'une surface, ou entre deux surfaces en contact de température élevée vers une surface de température plus basse, c'est un phénomène de transport de l'énergie interne et se réalisant sans déplacement global de matière.

II-4-5-4- LE FLUX DE CHALEUR LATENTE :

Ce phénomène change l'état physique d'une matière. Par opposition à la chaleur sensible qui modifie la température d'une matière quelle que soit la matière, il correspond à une quantité d'eau évaporée par unité de temps, convertie en énergie par la constante de vaporisation de l'eau. Appelé aussi évapotranspiration car il résulte de l'évaporation de l'eau présente sur les corps physiques (sol, route, eau) mais aussi de la transpiration foliaire.

II-4-5-5- LE FLUX DE CHALEUR SENSIBLE :

La chaleur sensible modifie la température d'une matière, par opposition à la chaleur latente qui modifie l'état physique d'une matière (solide, liquide ou gazeux). Exemple : La chaleur thermique

¹⁹ « Kadissa Chahrazed, Impact de la géométrie des espaces extérieurs sur le microclimat urbain, mémoire de magister, Université Mentouri, 2010, P74 »

massique de l'eau étant en moyenne de 4,19 kJ/ kg.K, il faut fournir 419 kJ pour chauffer un litre d'eau de 0°C à 100°C²⁰.

II-5- CONCLUSION :

L'intervention de l'homme sur le sol a des conséquences immédiates sur le climat et la qualité de l'air et par conséquent sur le confort des populations, surtout dans les villes à forte densité urbaine. Les décideurs qui ont pour tâche la gestion des villes devraient se pencher un peu sur les questions pertinentes des changements climatiques, de la qualité de l'air, du trafic routier, de la consommation d'énergie, etc.

L'intégration des connaissances climatiques dans la gestion et la planification urbaine constitue de nos jours un objectif très important à atteindre, du fait qu'environ les deux tiers de la population mondiale habitent en ville et la tendance à la concentration des populations et des activités humaines dans les centres urbains qui restent forte. Cette forte densité, les industries lourdes, l'utilisation intensive d'énergie placent les centres urbains et périurbains parmi les zones les plus vulnérables de notre planète (WMO, 1997). Pourtant, les villes continuent d'attirer de plus en plus d'habitants qui pensent y trouver davantage de possibilités pour une vie plus confortable. Cette expansion des grands centres urbains peut entraîner des changements importants dans les conditions atmosphériques en surface.

Après ce présent chapitre sur le microclimat urbain et le phénomène d'îlot de chaleur avec une présentation générale des espaces publics extérieurs, nous devons démontrer l'impact des reliefs sur le climat, ainsi que les effets de la morphologie urbaine (caractéristiques physiques et la multitude de formes urbaines qui caractérisent les espaces publics extérieurs) sur ce microclimat urbain et le confort thermique extérieurs d'une manière générale, ce qui fera l'objectif du prochain chapitre.

²⁰ « <http://www.energieplus-lesite.be/index> »



CHAPITRE III
IMPACT DE LA MORPHOLOGIE URBAINE
SUR LE MICROCLIMAT

III-1-INTRODUCTION :

Un des premiers objectifs de la conception environnementale dans le contexte urbain est la création de zones urbaines offrant des espaces extérieurs confortables. De ce fait, les paramètres microclimatiques sont de prime importance du point de vue des activités qui ont lieu sur le site et qui jusqu'à un certain point, déterminent l'usage que l'on en fait. Dans ce milieu urbain, les paramètres climatiques tels que la température et le rayonnement solaire varient instantanément en fonction de l'espace et du temps. Ces variations, souvent influencées par la morphologie urbaine, peuvent être plus au moins appropriées au confort thermique et visuel des piétons. C'est pourquoi la qualité de ces espaces publics urbains présente un intérêt majeur et il est reconnu que ces espaces peuvent contribuer à une bonne qualité de vie en milieu urbain.

La variation de la configuration des espaces publics urbains peut engendrer des modifications significatives sur les paramètres microclimatiques, notamment sur les températures, l'humidité relative et la vitesse du vent. Ces modifications peuvent avoir une influence sur la santé et le confort thermique des piétons. Ainsi, la qualité et l'intensité de chaque activité (sociale ou individuelle) sont affectées par le niveau d'inconfort thermique (Givoni et Hoguchi, 2000).

Aujourd'hui, l'un des plus grands défis posés aux urbanistes et gestionnaires de l'espace, est de savoir comment développer les zones arides qui connaissent un rythme d'urbanisation spectaculaire. Les facteurs responsables de cette croissance urbaine sont attribués à la disponibilité des terres, l'exploitation des ressources naturelles comme le gaz et le pétrole, l'amélioration des moyens de transport, et le développement des moyens de pompage de l'eau à des distances considérables de leurs sources naturelles (UN 1994)¹.

En Algérie, qui est un pays aride et semi aride et présente une très grande vulnérabilité climatique surtout avec l'augmentation de la température mondiale et la diminution des pluies dans sa région, ce pays dont la plus grande superficie est désertique, contient plusieurs villes et agglomérations caractérisées par un climat chaud et sec. Dans ces villes chaudes et arides, le soleil est la dimension la plus importante dans l'évaluation de la qualité des espaces extérieurs urbains. Elles peuvent générer un stress permanent, susceptibles de conditionner les relations de l'homme avec son entourage. Les lieux publics sont parmi les éléments de ces villes caractérisées par une qualité de confort totalement dégradé. Cette dégradation est principalement due à une discontinuité dans l'utilisation de ces espaces, les heures de fréquentation correspondant aux heures les plus fraîches de la journée.

¹ « Kitous Samia, Effet Aérodynamique sur le confort thermique extérieur – cas de la vallée des Mzab-, Thèse de doctorat, EPAU, 2013, P06»

Pendant la longue période d'été, qui s'étale de mai à Octobre, la majorité de ces espaces témoignent d'une fréquentation considérablement réduite².



Figure 1 : dégradation des espaces extérieur dans les climats arides (Source : www.diasporasaharaoui.com, 2013)

Pour démontrer comment la morphologie urbaine (Ratio, Orientation, SVF, Végétation, Albédo des matériaux de construction,... etc.) peuvent affecter le microclimat urbain et le confort thermique extérieur de ces régions dans le monde, une évaluation des divers facteurs (allant du macro au micro) est présentée dans ce chapitre, avec une évolution de différentes recherches sur l'impact des derniers facteurs sur le confort thermique extérieur et l'îlot de chaleur urbain. Le but de ce présent chapitre est de présenter une base d'expériences et de recherches comprenant la diversité environnementale en milieux urbains et son implication en termes de conditions du confort thermique pour un piéton, qui permettra plus tard aux architectes et urbanistes de mieux concevoir les espaces publics extérieurs.

III-2- CLIMAT ET RELIEFS DANS LES REGIONS CHAUDES:

Les climats chauds et secs se rencontrent principalement au Proche-Orient, en Afrique du Nord, en Australie et dans l'Ouest américain. Ces quatre régions ont chacune une culture particulière et un art de construire différent. La nature de ces régions est liée directement à l'aridité qui atteint des extrêmes.

² « Masmoudi.S et Mazouz.M, "Relation of geometry, vegetation and thermal comfort around buildings in urban settings, the case of hot arid regions", energy and buildings 36 (2004) 710-719»

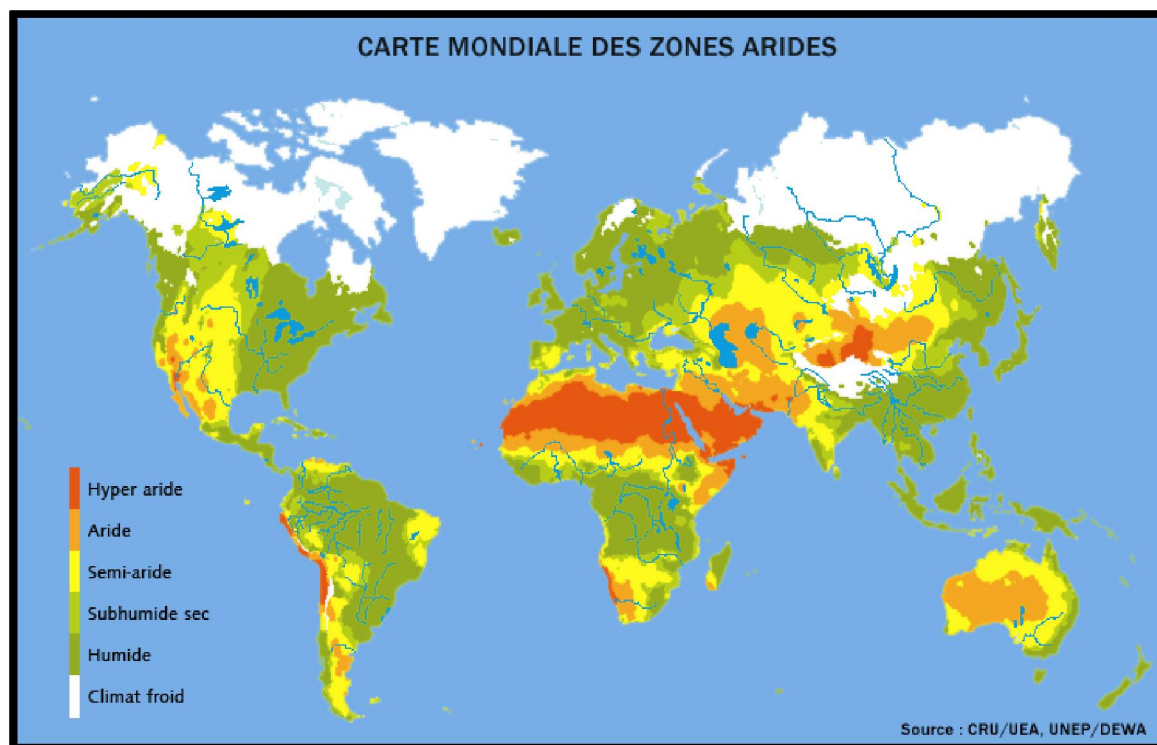


Figure 2 : Carte mondiale des Climats Chaud et Secs (Source : www.mpl.ird.fr, 2010)

Les précipitations représentent le facteur le plus important, tant pour les habitants que pour les écosystèmes. Elles sont caractérisées par leur faiblesse et leur extrême variabilité (de 1 à plus de 100mm), il peut arriver qu'elles soient violentes et ravageuses³.

À l'échelle locale, le vent subit l'influence du sol et du relief qui modifient son intensité et sa direction. Le sol a pour effet de freiner l'air mais en même temps, au contact des versants, des crêtes, et des cols, sa vitesse est accélérée. Le relief va forcer le vent à changer de direction pour le contourner latéralement ou passer par-dessus.

III-2-1- EFFET DU RELIEF SUR LE CONFORT DES VILLES MOZABITES :

Dans la vallée du Mzab, le climat local dépend essentiellement des reliefs de l'environnement qui sont à l'origine des modifications climatiques. Ces reliefs influencent la répartition des températures, les possibilités d'ensoleillement ainsi que les phénomènes de nébulosité et de régime des vents. L'impact des reliefs sur les températures et le vent est déterminé selon leur orientation et inclinaison, les faces exposées au vent sont plus froides que les faces masquées et si le relief protège certains sites, il en surexpose d'autres.

Dans une étude faite par Bensalem, au niveau de la vallée des Mzab, sur l'effet des reliefs sur l'environnement thermique extérieur, au cours de la journée et lorsque la vallée est à l'abri des vents et que le plateau est fortement exposé, des contrastes thermiques apparaissent entre les rues du

³ « BOUCHERF Djamel, Variabilité et changement climatique au Sahara, office national de la météorologie »

plateau et celles de la vallée, avec des valeurs de températures d'air plus fraîches dans les rues situées sur les plateaux. Ainsi, en hiver, pour des vitesses d'air moyennes de 1.7 m/s et des vitesses instantanées maximales de 7.5 m/s dans la rue, les températures de l'air sur les plateaux (TAFILELT) sont plus froides que celles des versants à l'abri des vents (des vitesses d'air moyennes). Par contre, au cours de la nuit et en présence du phénomène de la brise de pente de vallée descendante, les rues situées sur les plateaux présentent des températures plus élevées par rapport aux rues situées dans le fond de la vallée où on assiste aux effets inverses : l'air en contact avec les sommets se refroidit et s'écoule le long des pentes, l'air froid s'écoule ensuite vers l'aval, en suivant la vallée.

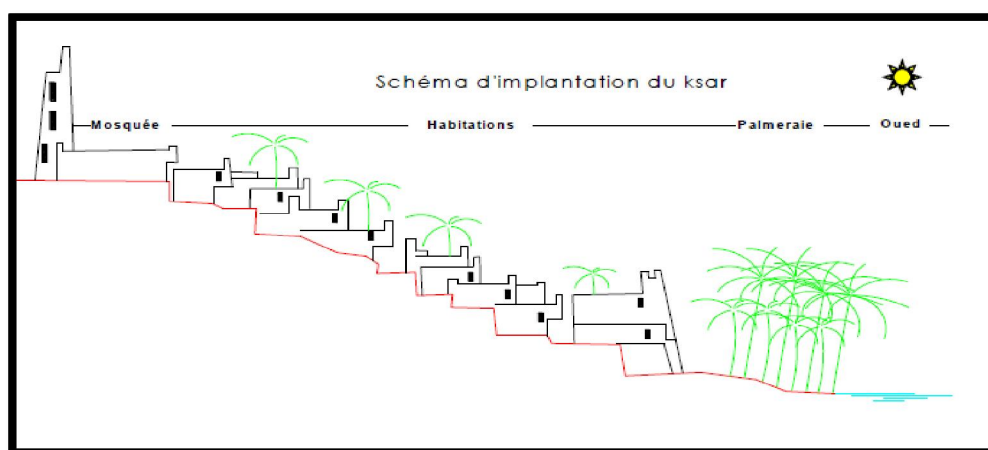


Figure 3 : Schéma d'implantation des ksour mozabites (Source : Auteur, 2013)

III-2-1-1- LE FOND DE LA VALLEE :

La palmeraie demeure néanmoins le site qui offre le plus de confort thermique par rapport aux versants et aux plateaux. Elle est caractérisé par l'existence de la végétation et de l'eau donc l'existence de l'humidité, elle est aussi le site le mieux protégé du vent en raison de ses effets aérodynamiques, elle se comporte comme un brise vent efficace qui réduit la vitesse du vent de 75%. L'effet de protection existe surtout lorsque les vents sont perpendiculaires à l'axe de la vallée, dans ces conditions son taux de pénétration est plus faible. En revanche, les vents dominants auront un impact surtout lorsque ils sont orientés dans l'axe de la vallée, où la pénétration du vent est la plus forte, et la vitesse de l'air demeure relativement importante. Dans la vallée des Mزاب, et à cause de l'encaissement peu profond de la dépression et de la largeur de la vallée qui s'étale sur 2 km, la vitesse de l'air sera toujours favorable à la ventilation et à la dissipation des polluants dans la palmeraie, ce qui génère un bon confort thermique en été⁴.

⁴ « Kitous.S, Daoudi.N, Boussoulim.A, Bensalem.R, Adolphe.L, "Pour un urbanisme climatique des villes: cas de la vallée du M'زاب. Investigations sur les principes d'intégration ancestraux et recommandations pour une planification future", Living in deserts, 2006»



Figure 4 : Fond de la vallée des Mزاب (Source : <http://club.doctissimo.fr>, 2013)

III-2-1-2- LES VERSANTS :

Au niveau des versants, l'effet d'orientation des pentes sur le rayonnement solaire est très important parce que cet effet est la cause principale de la répartition des zones ombrées et ensoleillée et des champs radiatifs solaire et thermique au niveau des versants. Cet effet, quand il est lié à la géométrie et l'orientation des rues, peut être amplifié ou au contraire réduit selon la latitude et la position horizontale du soleil. D'après Kitous (2013), l'exposition des versants par rapport au soleil ainsi qu'aux vents dominants détermine les conditions thermiques dans les espaces publics extérieurs. En hivers, les rues des versants NORD sont celles qui sont les moins exposées au rayonnement solaire direct. A l'inverse, les rues des versants SUD sont soumises à un meilleur ensoleillement et enregistrent les températures de l'air et de surface les plus élevées.

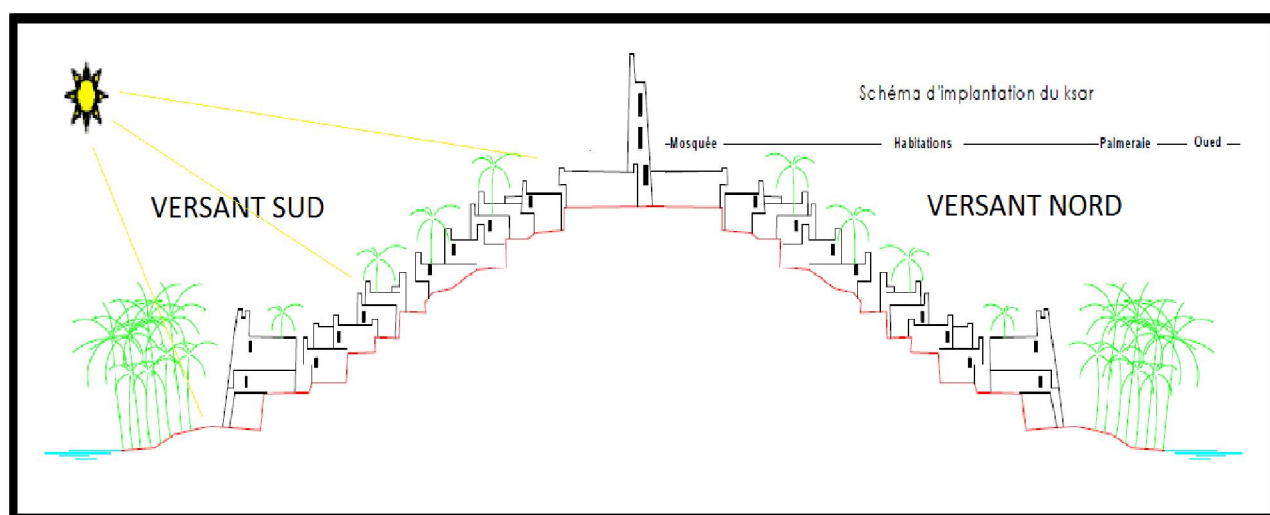


Figure 5 : Exposition des versants Nord et Sud par rapport au soleil (Source : Auteur, 2013)

Bensalem confirme que l'effet des versants sur la température de l'air est très important, surtout en période hivernale, parce que l'inclinaison et l'orientation des pentes a un très grand effet sur les

températures de l'air. Le rayonnement solaire capté dans les rues des versants orientés sud sont trois fois supérieurs par rapport aux rues des versants orientés nord, et les contrastes thermiques les plus grands sont observés surtout en l'absence de vent parce que leur présence a tendance à homogénéiser les températures de l'air. Tandis qu'en été, l'orientation des versant par rapport au soleil est très négligeable sur la distribution de la température en raison des caractéristiques de la géométrie solaire des latitudes de la vallée (32° N, avec une hauteur maximale du soleil : 81°).

L'effet des versant sur la température des surfaces est identique à celui de la température de l'air, négligeable en été mais plus marqué en hiver lorsque le soleil est plus bas sur l'horizon⁵.

L'exposition des versants aux vents dominants accentue ou aplanit les contrastes thermiques existant entre les versants ensoleillés et les versants situés à l'ombre.

Sur les versants, les caractéristiques des écoulements d'air se manifestent différemment que sur la palmeraie. Les rues situées face au vent et disposées de manière étagée, enregistrent les vitesses d'air les plus élevées du ksar, tandis que les rues qui sont à l'abri des vents sont caractérisées par des vitesses de vent très faibles⁶. Tous ces résultats mettent en évidence l'importance de l'exposition des versants par rapport aux vents et au soleil. En terme d'implication urbanistique, il est recommandé de s'implanter sur des versants sud afin d'assurer un maximum de confort thermique en hiver.

III-2-1-3 LES BORDS DE PLATEAUX:

Hiver comme été, le taux d'humidité relative sur les plateaux est très faible à cause du manque de végétation, ainsi que de très faible évaporation du milieu aride, de l'importance des sols nus et des terrains rocheux. L'irradiation solaire et les éclaircissements énergétiques sont intenses en hives comme en été parce que ces plateaux sont dégagés et fortement exposés au soleil. Ces conditions impliquent des températures d'air très élevées, ce qui génère le stress thermique.

Les conditions d'écoulement sur le plateau ne se sont pas uniformes à l'égard du relief ondulé des plateaux. En effet, les conditions aérauliques dépendent de l'emplacement du site par rapport aux reliefs environnants et à la direction du vent. Sur le site de Tafilelt par exemple, qui est situé sur un plateau, pour un vent S-E, la vitesse du vent peut être réduite de manière significative (65% du vent). Toutefois, pour les autres directions de vent, la disparité enregistrée n'excède pas les 40% et les conditions aérauliques sont, dans ce cas, proches de celles d'un site dégagé sur le plateau.

⁵ « Kitous.S, Daoudi.N, Boussoualim.A, Bensalem.R, Adolphe.L, "Pour un urbanisme climatique des villes: cas de la vallée du M'zab. Investigations sur les principes d'intégration ancestraux et recommandations pour une planification future", Living in deserts, 2006»

⁶ « Kitous Samia, Effet Aérodynamique sur le confort thermique extérieur – cas de la vallée des Mzab-, Thèse de doctorat, EPAU, 2013, P301»



Figure 6 : Image d'un plateau sur les bords de Ghardaïa (TAFILELT) (Source : www.Tafilelt.com, 2013)

On peut conclure qu'à Ghardaïa, le choix des plateaux comme sites d'implantation n'est pas plus contraignant. Toutefois, la protection contre le vent est recommandée, elle peut être obtenue en agissant sur la morphologie urbaine par la création de brise-vents bâtis ou d'écrans végétaux. Ainsi, les sites les mieux protégés naturellement sont les versants sous le vent, donc il est préférable d'éviter l'orientation NORD et NORD-OUEST des versants. Pour le meilleur confort thermique en hiver, il est recommandé de s'implanter sur les versants SUD afin d'assurer un maximum d'apport solaire, ainsi, les conditions thermique d'été étant similaire sur tous les versants, on en conclut que les versants SUD restent toujours les meilleurs versants pour s'implanter.

La palmeraie génère de la fraîcheur et constitue un endroit favorable pour s'y implanter en été, tandis qu'en hiver, elle constitue une contrainte pour le confort thermique ainsi qu'un grand risque des d'inondations. Pour cela, la migration saisonnière pratiquée par la population des Mزاب constitue la meilleure solution et une alternative intéressante qui nécessite une exploration plus profonde.

III-3- EFFET DU TISSU URBAIN SUR LE CONFORT THERMIQUE :

Des recherches menées par AHMED OUAMEUR FOUAD (2007) à l'université de Laval au Canada, sur l'impact du tissu urbain sur le confort thermique extérieur, ont évalué plusieurs paramètres (hauteur des bâtiments, végétation, rapport plein/vide...) et son impact sur le confort thermique extérieur à grande échelle (échelle d'une ville ou une agglomération). Celles-ci se sont avérées très utiles pour explorer les corrélations entre le tissu urbain et le confort thermique extérieur.

III-3-1- DENSITE URBAINE:

Plusieurs travaux ont mis l'accent sur la densité urbaine. Givoni (1998) a suggéré que, dans les régions chaudes et sèches, une forte densité de construction peut faire en sorte que le rayonnement échangé aura lieu au niveau des surfaces de toit. Et si le toit se caractérise par une grande réflectivité, il peut créer un bilan radiatif global négatif.

D'après Merlin et Choay (cité par Ahmed Ouameur Fouad, 2007), le principe de la densité urbaine est le taux d'occupation au sol des constructions sur la surface totale. Elle prend en compte la surface utilisée par les équipements publics (écoles, locaux collectifs divers, ...etc.), les équipements privés (bureaux, entreprises,... etc.) et les logements d'habitation. Cette densité varie selon le mode d'occupation de l'espace. Le coefficient d'occupation du sol (COS) est l'outil réglementaire par excellence. C'est lui qui permet de définir la densité sur une parcelle.

$$\text{COS} = \text{surface constructible} / \text{surface de parcelle}$$

Plusieurs coefficients de densité ont une corrélation positive avec la densité urbaine, on peut citer :

- **Densité de population = nombre d'habitants / surface (kilomètres carrés ou hectares)**
- **Densité résidentielle = nombre de logements / surface (hectares)**
- **Densité d'emplois = nombre d'emplois / surface (hectares)**
- **Densité d'activité humaine = (nombre d'habitants + nombre d'emplois)/surface(hectare)**

La plupart des villes se caractérisent par une densité plus élevée dans le centre ville qui est souvent plus confiné que les quartiers périphériques, car les parcelles sont occupées en totalité, un îlot de chaleur se forme souvent au-dessus des toits. Cet îlot génère une élévation de la température de l'air d'autant plus importante que les mailles urbaines sont denses. Toutefois, dans ces mailles, les ombres portées limitent souvent le réchauffement des surfaces et l'élévation de température. Les ombres portées sont généralement générées par des effets de masque, produits de l'effet de rapprochement et du resserrement des constructions entre elles. Ce phénomène est plus atténué dans les zones périphériques dotées d'une configuration urbaine plus ouverte et plus étalée⁷.

⁷ « Ouameur Fouad Ahmed, Morphologie Urbaine Et Confort Thermique Dans Les Espaces Publics, Etude comparative entre trois tissus urbains de la ville de Québec, Ecole D'architecture Faculté D'aménagement, D'architecture Et Des Arts Visuels Université Laval Québec, 2007, P 46 »

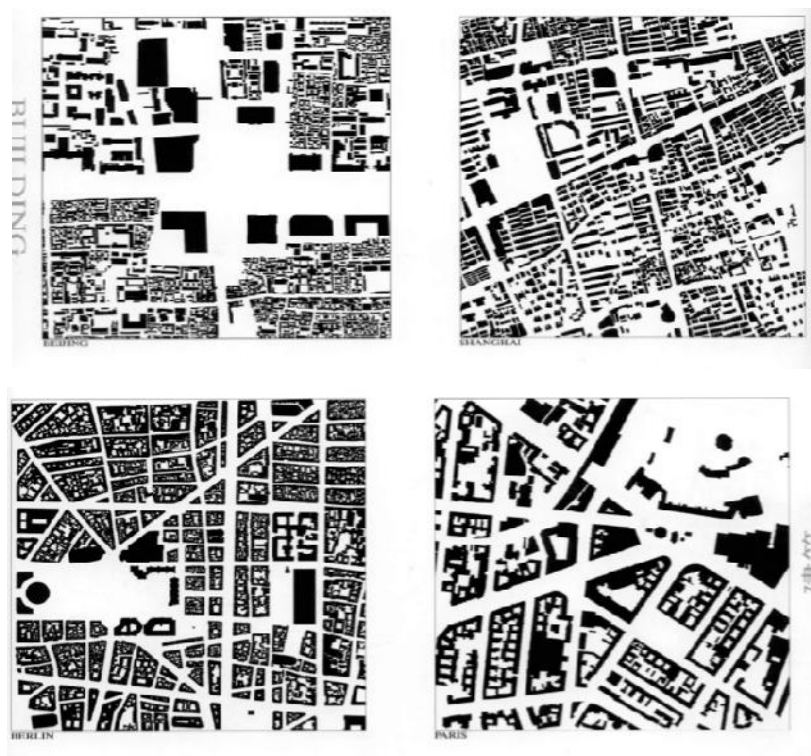


Figure 7 : Variation de la Densité urbain à Beijing, Shanghai, Paris, Berlin. (Source : Serge Salat, 2007)

L'évaluation de cet indicateur (densité urbaine) est effectuée à l'aide d'un système numérique qui permet de quantifier le nombre de pixels pour chaque surface sélectionnée, elle peut être mesurée en mètres carrés construits. La densité prend des valeurs très différentes selon qu'on la mesure à l'échelle de la parcelle, de l'îlot ou du quartier⁸.

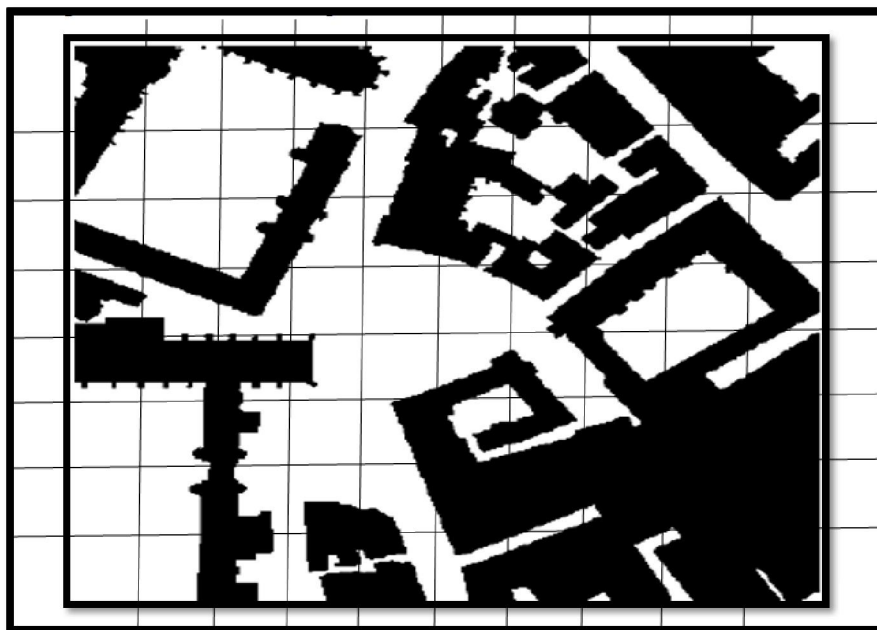


Figure 8 : Evaluation de la Densité urbain où le noir indique une zone construite et le blanc un espace ouvert. (Source : RUROS, 2002)

⁸ « www.wm-urban-habitat.org »

III-3-2- RUGOSITE URBAINE:

La rugosité du tissu urbain est caractérisée par la hauteur moyenne de la canopée urbaine, constituée par les surfaces bâties, les surfaces végétales verticales et horizontales, et les surfaces non bâties (Adolphe, 1999).

Contrairement à la densité urbaine et au COS, le calcul de la rugosité urbaine se rapporte au réel. Elle correspond à ce qui existe sur le terrain et reflète la perception que l'on peut avoir d'une densité.

Le schéma ci-dessous présente un bâtiment d'habitat collectif de grande hauteur implanté en milieu d'îlot avec de vastes espaces libres en pied d'immeuble, des maisons de ville à l'alignement sur rue, implantées sur un parcellaire étroit et des bâtiments collectifs ou semi-collectifs à l'alignement sur rue, organisés autour d'un cœur d'îlot. Ces trois formes urbaines différentes ont pourtant une même densité résidentielle, mais d'une rugosité urbaine différente.

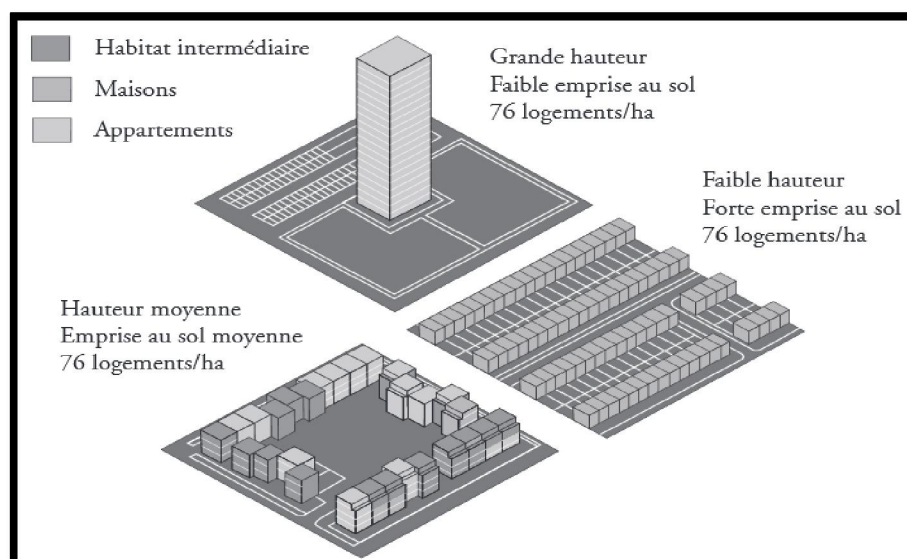


Figure 9 : trois formes urbaines avec une même densité résidentielles (Source : <http://www.iaurif.org>, 2013)

Lorsque la densité du bâti est importante, en raison d'un regroupement des mailles bâties, des forces de friction auxquelles le vent est exposé sont également importantes. Des circulations transversales et d'autres au-dessus des toits se produisent, et les espaces très clos sont souvent privés du renouvellement d'air. En revanche, lorsque ces espaces sont moins confinés en raison d'une faible densité bâtie, la masse d'air qui parvient à y pénétrer peut être modifiée par leur disposition et la nature de leurs matériaux de revêtement dans l'espace urbain, ainsi que par la nature, les formes et les types d'aménagement du tissu général.

Comparativement à la densité du bâti, la rugosité du tissu urbain peut être assimilée à une densité verticale car l'élément déterminant est la hauteur du bâti.



Figure 10 : différence de la rugosité urbaine entre deux villes (Marseille et Chicago).

(Source : www.journaldutrek.com, 2013)

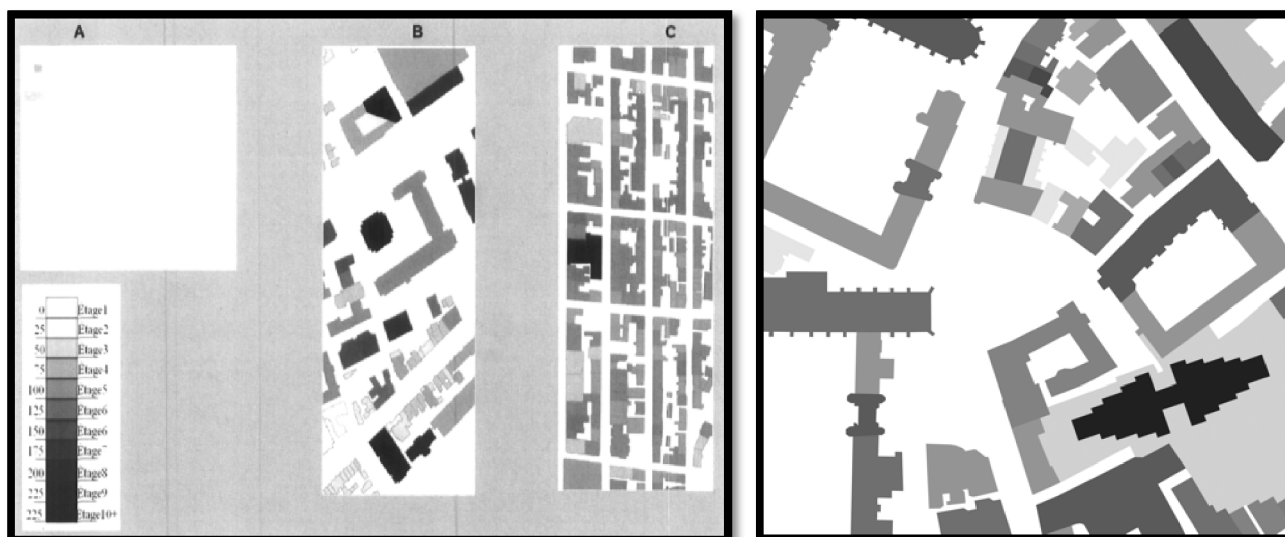


Figure 11 : Modèle d'élevation numérique en 2D en niveau de gris avec des valeurs entre 0 (blanc) et 255 (noir) où le blanc et le noir correspondent aux hauteurs minimales et maximales de la zone. (Source : RUROS, 2002)

III-3-3- DENSITE VEGETALE:

C'est le rapport entre la distribution de tous les aménagements verts dans un espace urbain à l'échelle horizontale (parcs végétaux, jardins, arbres, ... etc.) et la surface totale de la surface d'étude. Cet indicateur vient en complément des deux précédents afin de déterminer les caractéristiques internes de la texture urbaine ainsi que le type de surfaces (nature et proportion). Cette densité végétale a des impacts fondamentaux sur le bilan des températures et des humidités relatives de l'air dans le tissu urbain. De même, son mode d'évaluation est basé sur le calcul des pixels dans un système numérique, par la sélection de plages de couleurs (la couleur verte dans le cas de la densité végétale) est réalisé.

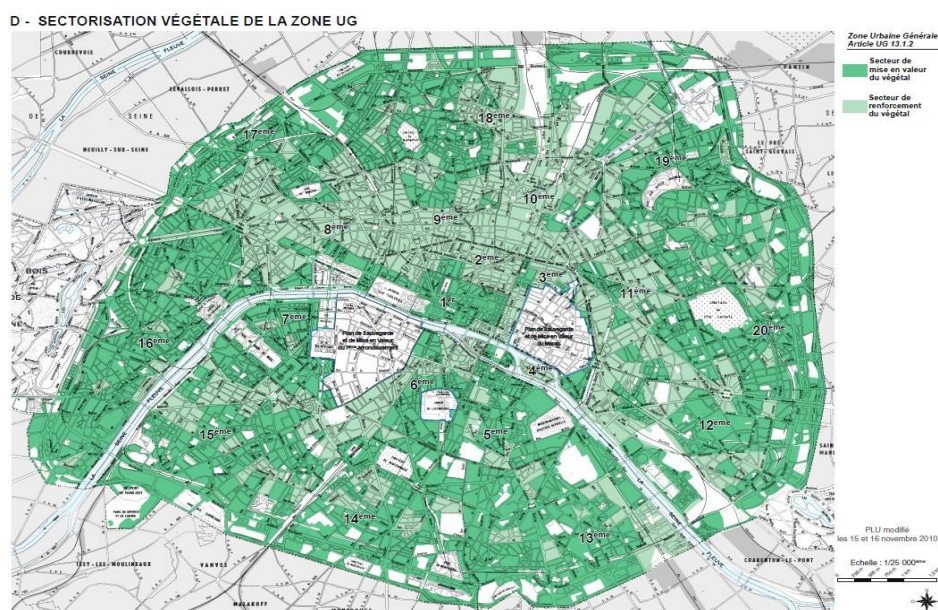


Figure 12 : Carte de la densité végétale dans un site urbain (Source : www.observatoire.pcet-ademe.fr, 2013)

III-3-4- POROSITE URBAINE:

Son principe est basé sur le rapport entre le volume d'air des creux urbains et le volume de la canopée urbaine (Steemers, et Steane, 2004).

On peut observer deux formes de porosité ou de creux urbains⁹:

- Creux urbains publics: ce sont les espaces ouverts identifiés comme espaces urbains extérieurs destinés au publics (rue, square, boulevard,...etc.).
- Creux urbains privés: ce sont les espaces privés distribués en début ou en fond de parcelles (Ex : cours et jardins) ainsi qu'autour des maisons de type isolé.

La porosité d'un tissu urbain conditionne la pénétration du vent et des rayonnements solaires dans le tissu urbain. La pénétration est fonction des dimensions horizontales des creux urbains, elle exprime le rapport entre le volume d'air des espaces creux urbains et le volume d'air de la canopée urbaine. Pour cela son évaluation demande de modéliser la forme tridimensionnelle des bâtiments, ensuite celui de la canopée urbaine. La soustraction de ces deux volumes permet de définir le volume d'air des espaces creux urbains.

III-4-EFFET DE LA MORPHOLOGIE URBAINE SUR LE CONFORT THERMIQUE :

Les conditions microclimatiques dans un espace urbain sont caractérisées directement par la morphologie du tissu urbain et par les propriétés physiques de ce dernier (orientation, végétation, SVF, Albédo et matériaux de construction...). Dans cette partie du travail, nous allons

⁹ « Ouameur Fouad Ahmed, Morphologie Urbaine Et Confort Thermique Dans Les Espaces Publics, Etude comparative entre trois tissus urbains de la ville de Québec, Ecole D'architecture Faculté D'aménagement, D'architecture Et Des Arts Visuels Université Laval Québec, 2007, P 50»

présenter une approche analytique de plusieurs recherches et expériences sur les caractéristiques morphologiques des espaces publics extérieurs. Les résultats présentés dans ces travaux ont également montré l'impact de l'orientation, le Ratio H/L, le facteur de vue du ciel SVF et les types de végétation sur l'intensité de l'îlot de chaleur urbain.

III-4-1- EFFET DE RATIO (H/L) SUR LE CONFORT THERMIQUE EXTERIEUR:

Le Ratio est le rapport entre la hauteur moyenne des bâtiments (H) qui entoure l'espace, sur sa largeur (L). Il est aujourd'hui, l'un des facteurs les plus importants du confort thermique extérieur. Le ratio a été identifié comme étant le paramètre le plus pertinent dans la description d'une entité urbaine au point de vue de sa capacité à contrôler à la fois l'accès solaire et le refroidissement des bâtiments. Il est généralement présenté sous la forme simplifiée d'un profil rectangulaire, il peut décrire plusieurs formes de profils verticaux. L'étude de la relation entre Ratio et accès solaire a révélé que le ratio détermine d'abord la quantité d'énergie reçue dans l'espace global de la rue. Plus le Ratio augmente, moins les surfaces urbaines reçoivent de radiation solaire. Autrement dit, l'exposition au soleil dans un profil urbain diminue à mesure que le profil devient profond (Arnfield 1990). Cependant, les surfaces verticales (murs) sont moins exposées que les surfaces horizontales (rues) pour un même profil, et la variation de H/L semble affecter plus les rues que les murs (Ali-toudert, 2000).

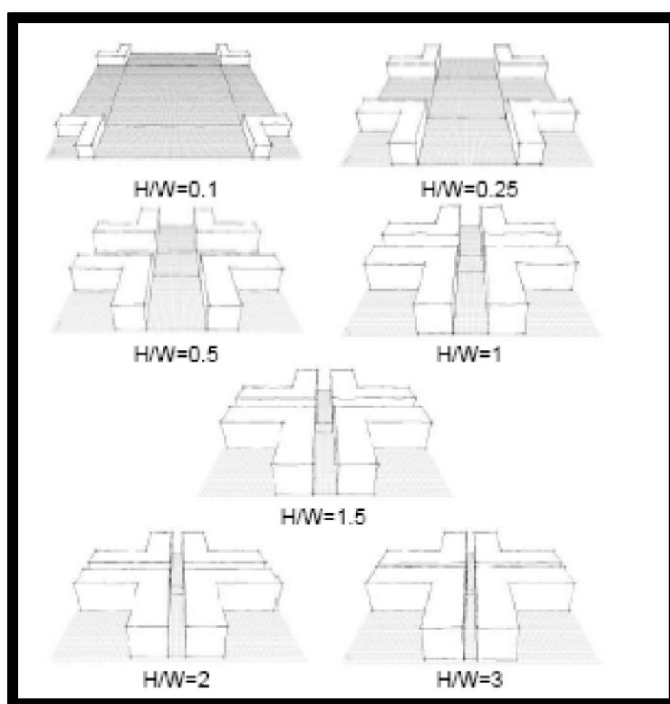


Figure 13 : Différents Ratio H/L configurés sur l'étude de Athènes (Source : Bougiatioti, 2006)

Plusieurs études soulignent l'importance primordiale du rapport H/L (hauteur / largeur) de la rue, en le considérant comme le plus pertinent paramètre urbain responsable du microclimat. Ce facteur est un paramètre décisif dans le bilan énergétique d'un canyon urbain (Oke 1977, Bourbia et AWBI 2004, Arnfield et Mills, 1994). Le Ratio agit directement sur le mode d'exposition au rayonnement solaire et par rapport à l'ombre qui affecte fortement les températures de surface de canyon et par conséquent agit sur la quantité de chaleur transférée à l'air environnant (Nakamura et Oke 1988 Yoshida et al. 1990-1991, SANTAMOURIS et al. 1999). Le potentiel d'écoulement du vent au niveau de la rue dépend aussi de ce facteur.

D'après une recherche faite par KITOUS (2013) dans la région des Mzab, l'effet du Ratio H/L est très important. Il sert à protéger les piétons du stress thermique à des heures cruciales de la journée. Cet effet est illustré dans la figure ci-dessous où le PET dans la rue compacte (H/L = 5.5) est comparé avec les valeurs de PET mesurées dans la rue de même orientation NE-SO mais d'un Ratio plus petit (H/L = 2.90).

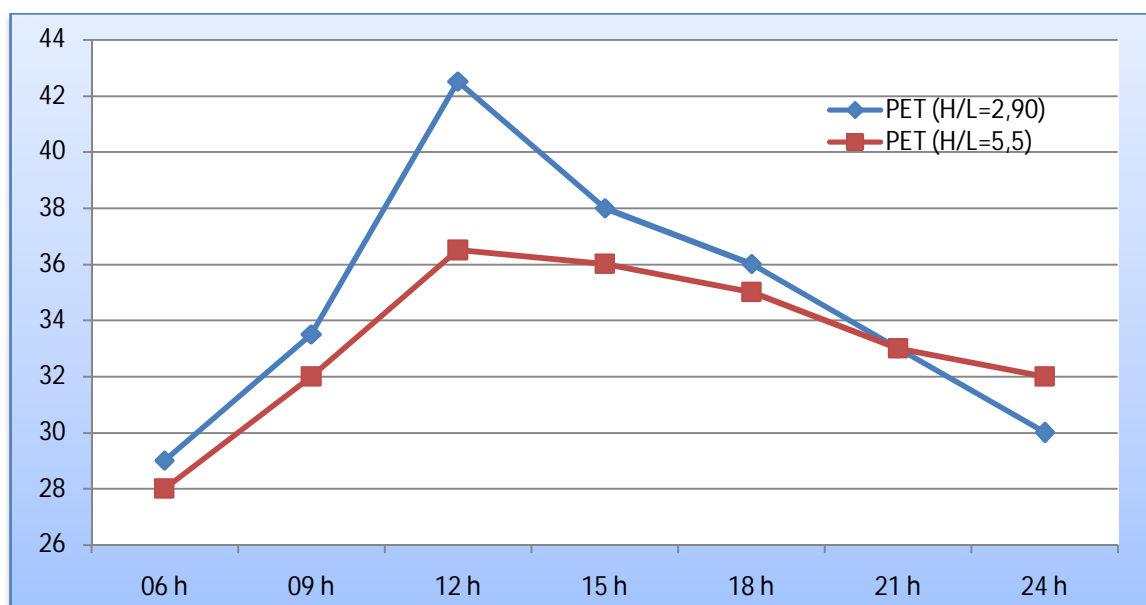


Figure 14 : Variation du PET en fonction du Ratio H/L (Source : KITOUS, 2013)

Le niveau du stress thermique n'excède pas 37.60° C à midi pour le H/L = 5.5, tandis que pour H/L = 2.90, les façades du canyon sont largement exposées au rayonnement solaire direct, et elles sont soumises à des niveaux de stress thermique supérieurs qui sont de 5 à 8 K¹⁰. L'ombrage induit par des Ratio H/L élevés va réduire de manière importante l'inconfort thermique des piétons (Kitous 2013).

¹⁰ « Kitous Samia, Effet Aérodynamique sur le confort thermique extérieur – cas de la vallée des Mzab-, Thèse de doctorat, EPAU, 2013, P298»

Une étude de Johannsen (2006) a traité l'influence de la géométrie urbaine en comparant des rues avec des Ratio différents). Il a conclu que durant la période estivale, les rues étroites avec une grande valeur de ratio sont assez confortables par rapport aux rue larges (petite valeur de Ratio), tandis qu'en hiver, la conception urbaine devrait prendre en considération quelques rues plus larges ou des espaces ouverts afin de permettre l'accès solaire.

Ali-Toudert et Mayer (2006) ont étudié les effets de ratio des canyons urbains de la rue sur le confort thermique extérieur dans le climat chaud et sec de Ghardaia (Algérie). L'étude a été réalisée en utilisant le programme de simulation ENVI-met. Les résultats montrent qu'il y a une grande différence de confort thermique entre les canyons urbains, cette différence a une corrélation directe avec le Ratio H/L. Ils ont également conclu que le confort thermique est très difficile à atteindre passivement dans des climats extrêmement chauds et secs, mais l'amélioration est possible.

Le confort thermique s'améliore lorsque le rapport H/L augmente et l'introduction de la végétation est souhaitable dans les rues plus larges orientées Est-Ouest¹¹.

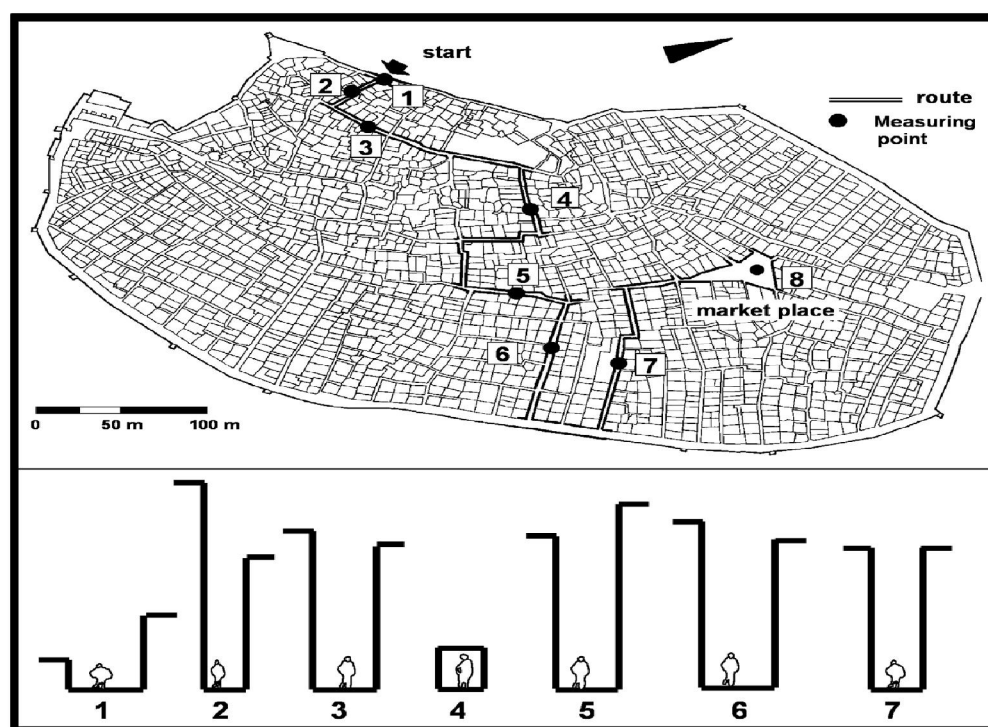


Figure 15 : Stations de mesure à différentes Ratio H/L dans la vieille ville de Beni-Isguen (Algérie) (32.40 ° N, 3.80 ° E)
(Source : Ali toudert, 2006)

Bourbia et Boucheriba (2010) ont évalué l'impact de la géométrie sur le microclimat à Constantine (Algérie) pendant la période estivale. Une série de mesures de site (températures de l'air et de

¹¹ « Ali-Toudert.Fazia, Mayer.Helmut, "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 14 (2006) 94-108»

surface) ont été enregistrées dans sept stations variant entre des valeurs différentes de H/L (compris entre 1 à 4,8). L'étude a indiqué une différence de température d'air d'environ 3 à 6 °C. Les auteurs ont fait valoir que la plus grande valeur de H/L présente des températures de l'air les plus basses, qui favorise le confort thermique extérieur. Pour le site traditionnel, la plupart des rues sont compactes et presque orientées Nord-Sud (le long de la direction du vent d'été dominant), ce qui contribue à fournir des températures nocturnes plus fraîches. Quand le vent vient à un angle frontal, sa vitesse est réduite, mais quand il est dirigé le long de l'axe de la rue, l'écoulement du vent sera augmenté en particulier dans les rues étroites¹².

III-4-2- EFFET DU FACTEUR DE VUE DU CIEL, Sky View Factor (SVF):

Le facteur de vue du ciel ou (SVF) se définit comme la portion de ciel observable à partir d'une surface considérée et représentant la voûte céleste vue par l'observateur. En terrain dégagé, ce facteur est égal à 1 dans le cas d'une surface plane sans obstacle, et varie entre 0 et 1 dans les autres cas (Colombert, 2008). Ce facteur détermine les échanges de chaleur par rayonnement entre l'espace et le ciel, et il est exprimé par la relation suivante :

$$\text{SVF} = \text{Angle solide de vision du ciel} / \text{angle solide hémisphérique}$$

Et ses valeurs peuvent être obtenues par quelques logiciels numériques ou par l'équation suivante :

$$\text{SVF} = (400 \cdot L \cdot W) / \pi (L^2 + H^2) \dots \dots \dots^{13} \quad \text{Avec : L (longueur) ; W (largeur) ; H (hauteur).}$$

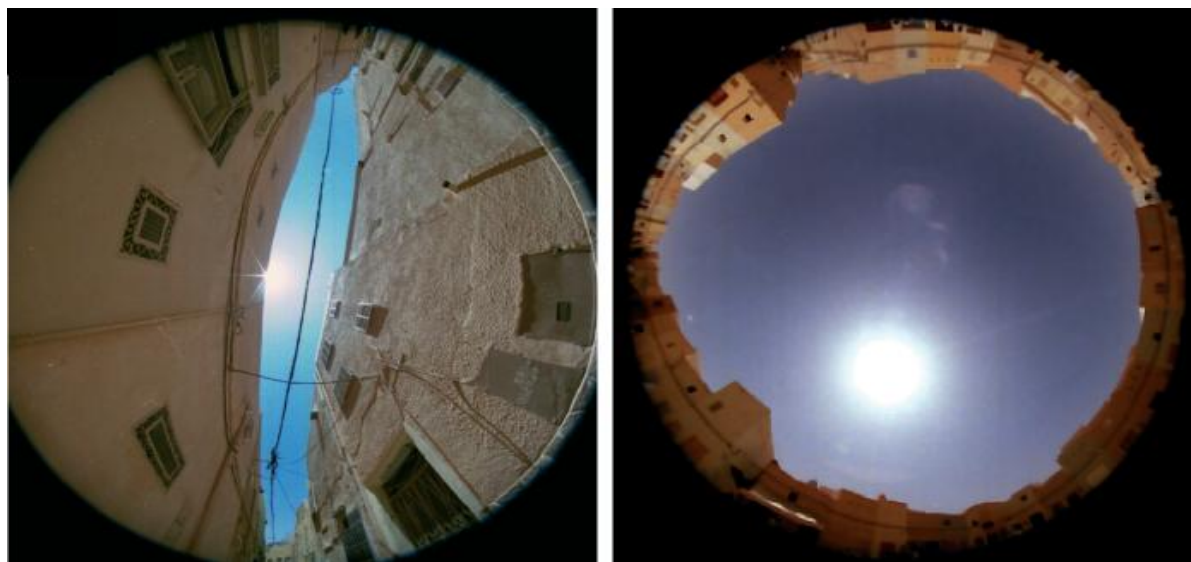


Figure 16 : Exemple de deux SVF différents (Source : Ali toudert, 2006)

¹² « Bourbia.F, Awbi.H.B, "Building cluster and shading in urban canyon for hot dry climate. Part 1 : Air and surface measurements", renewable energy 29(2004) 249-262»

¹³ « Tsianaka E IN, Kadissa CH, impact de la géométrie des espaces sur le confort thermique extérieur, thèse de magistère, université Mentouri, P104, 2010 »

Bourbia et Awbi (2004), dans une expérience réalisée dans la ville d'El-Oued (Algérie) caractérisée par un climat chaud et sec, ont évalué le facteur de vue du ciel (SVF) des rues sur le confort thermique extérieur. L'étude fait valoir que le SVF a une corrélation positive avec la température de l'air et surtout avec les températures surfaciques. Les auteurs ont conclu qu'un certain nombre de relations utiles peuvent être développées entre le SVF et le microclimat des canyons urbains. Ces relations sont très utiles pour les professionnels en développant des lignes directrices pour le dimensionnement de la rue.

Une étude faite par Ali- Toudert en 2005 sur la vieille ville de Béni Isguen (Algérie) confirme que l'ombrage réalisé au moyen de l'abaissement de facteur de vue de ciel (SVF) réduit considérablement l'inconfort thermique des personnes au niveau de la rue. La valeur basse de SVF est une stratégie efficace pour réduire l'énergie solaire et la quantité de rayonnement absorbée.

Par ailleurs, l'effet du SFV a été analysé par Eliasson en 1996 dans une étude sur la température nocturne en relation avec la géométrie urbaine dans la ville de Göteborg en Suède. Cette expérience a montré des résultats différents, elle révèle que des quartiers de même densité spatiale peuvent présenter des températures d'air différentes si les sites sont localisés dans différentes régions urbaines. L'auteur a conclu que le SVF seul ne suffit pas à démontrer la variation de la température du centre ville vers la périphérie puisque cette variation est gouvernée par d'autres facteurs tel que la végétation, l'albédo, la chaleur anthropique, ...etc.¹⁴

III-4-3- EFFET DE L'ORIENTATION SUR LE CONFORT THERMIQUE EXTERIEUR:

L'orientation est définie comme étant le facteur déterminant pour toute conception passive, c'est le résultat de l'orientation du bâti par rapport au soleil. De par l'exposition de ses différentes façades aux rayons solaires, elle définit aussi la quantité d'énergie solaire incidente sur ces parois verticales. L'énergie fournie par le soleil est fonction de la surface, de l'angle d'incidence du rayon solaire et du temps d'exposition au soleil. Ces paramètres ont un rapport fondamental avec l'orientation qui peut contribuer à la protection solaire de l'espace public par l'ombre portée aux surfaces.

L'orientation des rues et des canyons urbains est également essentielle pour déterminer sa disponibilité à l'ensoleillement, elle joue un grand rôle dans la pénétration des rayons solaires¹⁵.

¹⁴ « Kitous Samia, Effet Aérodynamique sur le confort thermique extérieur – cas de la vallée des Mzab-, Thèse de doctorat, EPAU, 2013, P41»

¹⁵ «Louafi S, impact de la végétation sur la qualité des ambiances thermiques extérieur, thèse de doctorat, université Constantine 3, P 50, 2013»

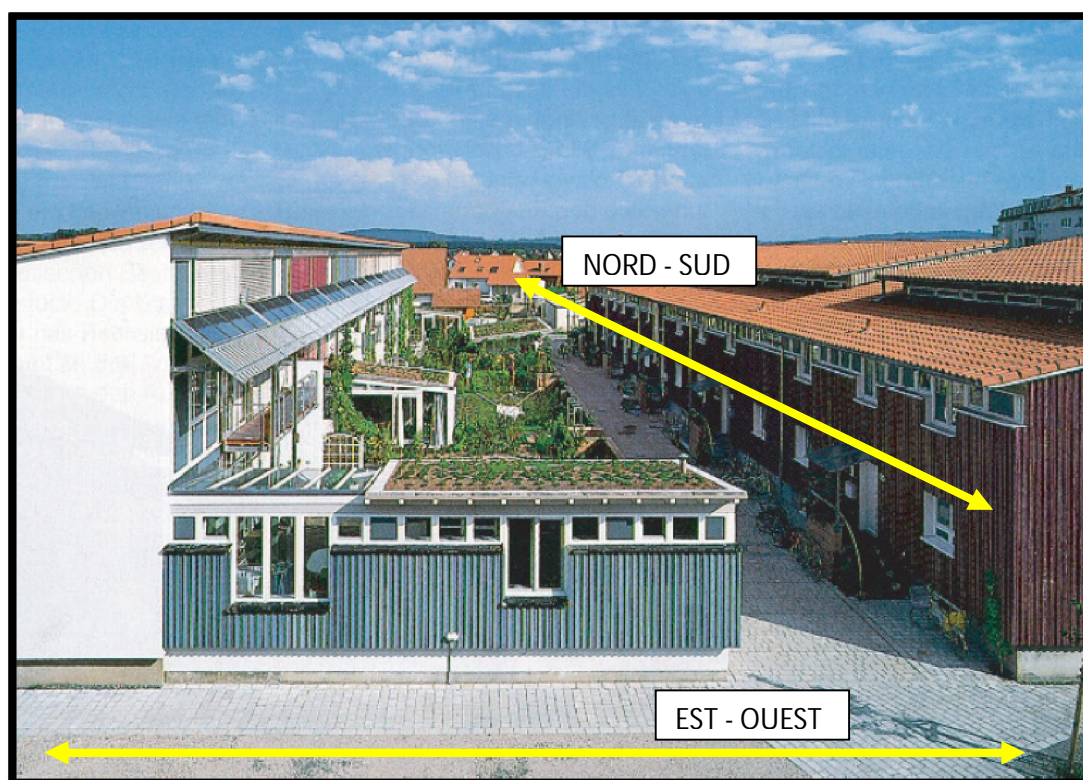


Figure 17 : Effet de l'orientation sur la répartition de l'ombre (Source : Traité d'architecture bioclimatique, 2006)

D'après Nunez et Oke (1977), il y a une forte influence de l'orientation des rues sur les échanges radiatifs. Cet effet se traduit par une différente distribution des bilans énergétiques de la surface des murs et du sol au cours du cycle journalier. Dans le cas d'une rue Nord-Sud, l'incidence du rayonnement solaire est maximale sur le sol à midi, et sur les murs Est et Ouest une heure et demi avant et après midi. Ce rayonnement dépend aussi de l'angle d'incidence : quand il est faible, il génère une diminution des flux de chaleur. Durant cette période de recherche, l'auteur a conclu que le changement de l'orientation de la rue aboutirait à des résultats différents : si la rue était dans la direction Est – Ouest, c'est uniquement le mur faisant face au sud et le sol qui recevraient un rayonnement incident important. Donc l'orientation participe à la modification dans le pourcentage de rayonnement solaire qui pénètre dans la rue. L'auteur note que les canyons urbains avec un rapport H/L élevé peuvent avoir un effet négatif la nuit parce qu'ils réduisent le rafraîchissement par la voûte céleste vers le ciel et donc diminuent le refroidissement nocturne des bâtiments, ce qui peut conduire à plus d'inconfort à l'intérieur. En termes de stratégies d'aménagement urbain, il a été signalé que l'effet positif de l'ombrage dans la journée est plus grand que l'effet négatif durant la nuit¹⁶.

¹⁶ « Shachoua-bar, Hoffman, m.e. (2000). Geometry and orientation aspects in passive cooling of canyon streets with trees. Energy and Buildings 35 (2003) 61–68»

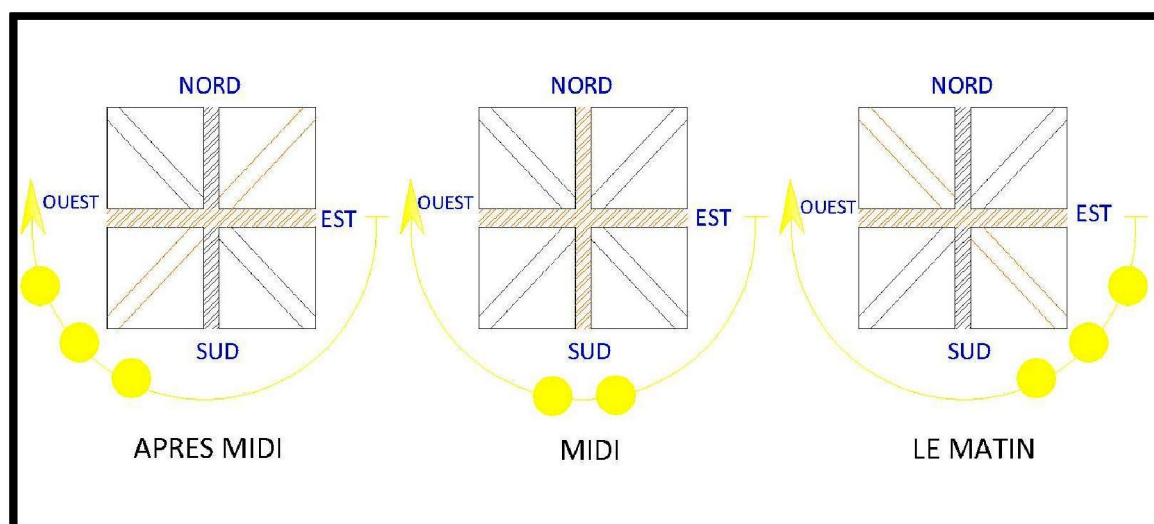


Figure 18 : Différentes orientation par rapport à la trajectoire solaire (Source : Auteur, 2013)

Ces travaux de recherches ont été confirmés par les chercheurs BOURBIA et AWBI (2004) dans une étude à El Oued (Algérie) en réalisant des mesures de la température de l'air et de surface avec une simulation d'ombrage à l'aide de Shadowpack 2. Les données de terrain montrent des températures de l'air et de surface plus faibles dans le quartier traditionnel caractérisé par des ratios plus élevés ($H/L=2.0$) qui enregistrent une différence de 4 à 5° C inférieures à celle du quartier contemporain ($H/L=0.5$), et que la fraction d'ombrage de ce dernier n'excède pas les 35%. Concernant l'orientation, l'analyse des données indique que dans les deux quartiers analysés, la rue EST-OUEST présente des températures plus élevées que celle de la rue NORD-SUD. Il a été déduit que cette dernière présente un degré d'ombrage jusqu'à 80% du canyon. En revanche, une rue orientée EST-OUEST ne peut pas procurer plus de 30% d'ombrage pour des Ratio supérieurs à 2. L'auteur de cette recherche a conclu qu'un certain nombre de relations utiles peuvent être développées entre la géométrie des rues et le microclimat. Les résultats indiquent que dans un climat chaud et aride, la géométrie compacte peut réduire le gain de chaleur du piéton durant presque toute la journée, cette géométrie doivent être accompagnée à une orientation NORD-SUD des rues (ou proche de cette direction). Par ordre prioritaire. La meilleure orientation est la rue orientée NORD-SUD avec des ratios H/L entre 0.5 et 2.00, suivie par les rues orientées de 15° à 45° par rapport au NORD. Il est à éviter de concevoir des rues orientées à 75° et 90° par rapport au NORD ainsi que des ratios $H/L \geq 2$.¹⁷

¹⁷ « Bourbia.F, Awbi.H.B, "Building cluster and shading in urban canyon for hot dryclimate. Part 2 : Shading simulations", renewable energy 29(2004) 291-301»

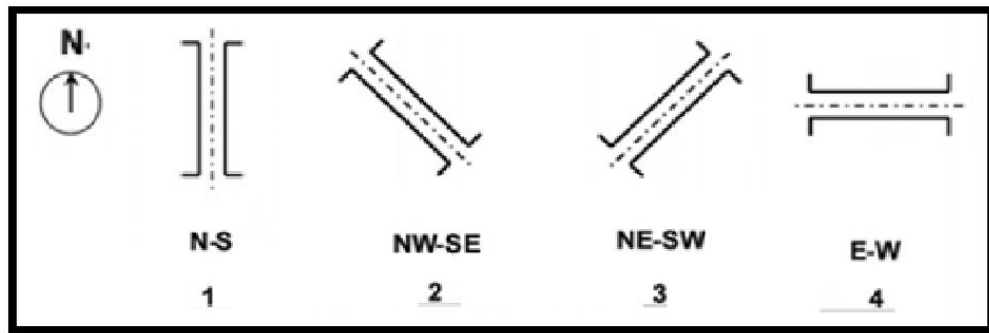


Figure 19 : La meilleure orientation par ordre prioritaire, (Source : Auteur, 2013)

Au niveau urbain, la construction de l'enveloppe solaire laisse apparaître le caractère déterminant de l'orientation par rapport au soleil. En effet, compte tenu de la symétrie de la course solaire, les profils urbains orientés dans la direction N-S sont symétriques, tandis que les rues orientées E-O devront avoir des profils asymétriques où les murs face au sud sont plus élevés que les murs face au Nord (Ali-Toudert 2000).

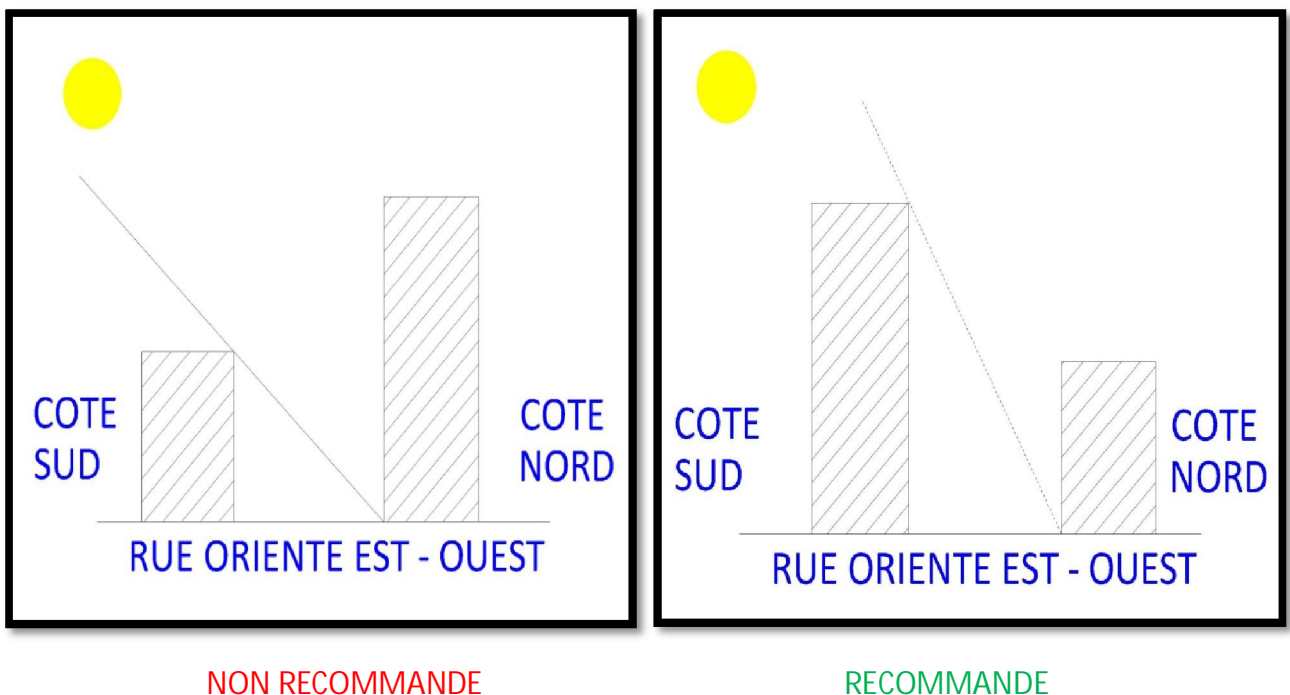


Figure 20 : Profil asymétrique favorable pour les rues EST-Ouest avec des murs face au sud sont plus élevés,

(Source : Auteur, 2013)

Une récente recherche a été réalisée par KITOUS (2013) dans la région des Mزاب (ksar de Ghardaïa), qui montre des températures de surfaces très différentes selon l'orientation des rues. Par exemple en été, et en raison de l'élévation solaire qui est très grande, l'orientation E-O et NE-SO permettent la surchauffe maximale des surfaces horizontales des rues, même les plus profondes, où le piéton peut sentir le stress thermique pour une très longue durée de la journée, tandis que les rues N-S et NO-SE

permettent un meilleur ombrage de leurs surfaces où l'inconfort journalier du piéton est moins sévère. Cette orientation N-S et NO-SE assure également une meilleure pénétration du rayonnement solaire à midi, ce qui induit un meilleur confort thermique du piéton. Ces résultats vont confirmer plusieurs travaux tels que les travaux de Bourbia et Awbi (2004) et Ali-Toudert (2005)¹⁸.

III-4-4- EFFET DE L'ALBEDO SUR LE CONFORT THERMIQUE EXTERIEUR :

Le nom **ALBEDO** est extrait du mot grec *Albus* qui veut dire blanc, il a été introduit au 19^{ème} siècle par l'astronome américain George Philipps Bond (1825/1865) dans l'étude des planètes¹⁹.

L'albédo est la proportion du rayonnement incident au rayonnement réfléchi par une surface (**ALBEDO = FLUX REFLICHI / FLUX INCIDENT**), généralement exprimé en pourcentage. Un revêtement donné du sol renvoie par réflexion et diffusion vers l'atmosphère une partie du rayonnement qu'il reçoit, et la fraction renvoyée constitue l'albédo du revêtement. La surface urbaine est complexe et consiste en une mosaïque de matériaux différents, généralement imperméables (ciment, brique, pierre, asphalte,...). Chaque matériau a un albédo différent qui modifie la fraction d'énergie solaire réfléchie ou absorbée par la surface.

Un albédo bas (couleur foncée) implique des températures de surface plus élevées puisqu'une plus grande quantité d'énergie est absorbée, à titre d'exemple, le goudron qui a un albédo de 0.03 à 0.18 et l'asphalte de 0.05 à 0.2. A l'inverse, un albédo élevé (couleur claire) entraîne des températures plus fraîches, par exemple les surfaces de couleur blanche ont un albédo de 0.50 à 0.90.

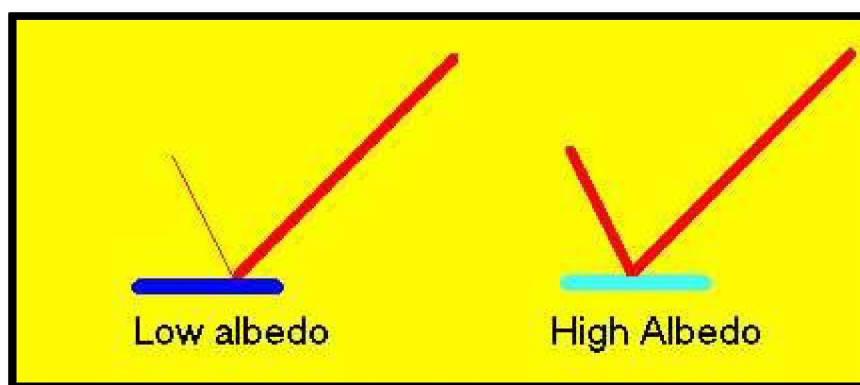


Figure 21 : Les surfaces colorées en clair ont des albédos plus hauts que celles colorées en foncé.
(Source: /www.uwsp.edu, 2013)

Le mélange des matériaux utilisés dans les villes sont caractérisées par diverses valeurs d'albédo, qui déterminent l'albédo moyen de la ville. L'augmentation de l'albédo a un impact direct sur le bilan

¹⁸ « Kitous Samia, Effet Aérodynamique sur le confort thermique extérieur – cas de la vallée des Mzab-, Thèse de doctorat, EPAU, 2013, P302»

¹⁹ « Bozonnet Emmanuel, Impact des microclimats urbains sur la demande énergétique des bâtiments Cas de la rue canyon, Université De La Rochelle, thèse de doctorat, université de la rochelle, 2005, p54. »

énergétique d'un bâtiment. D'importants changements sur l'albédo urbain peuvent avoir d'importants effets sur le confort thermique extérieur.

D'après Santamouris (2002) l'augmentation de l'albédo de la toiture d'une maison à Sacramento, de 0,2 à 0,78, a réduit la demande de refroidissement à 78%. Les revêtements de toitures réfléchissantes contribuent à l'économie d'électricité dans les bâtiments jusqu'à 19%, allant d'un minimum de 2% et un maximum de 43%. Des simulations réalisées sur ordinateur ont montré que les toits blancs à Los Angeles, réduiraient la consommation de 18 % (1,04 milliard Kilowattheures), soit l'équivalent d'un gain financier près de 100 millions de dollars par année (Santamouris M, 2002). Par contre, l'Albédo élevé des surfaces très réfléchissantes (comme miroir ou surfaces blanches) ont tendance à élever les températures moyennes radiants dans les canyons de la rue, ce qui va conduire à l'éblouissement et donc à la diminution du confort des êtres humains dans l'espace extérieur²⁰.

Des études ont été réalisées pour évaluer les effets directs du changement d'albédo. D'après une étude de Limor Shashua-Bar (2012), le confort thermique n'est que légèrement affecté par la modification de l'albédo des murs les plus sombres à des couleurs plus claires. Changer l'albédo des parois (de 0,4 à 0,7) a un effet assez petit sur la température de l'air (une différence de 0,7° C) et pratiquement aucun changement dans l'indice du confort thermique PET. Par contre, on peut avoir un effet plus important si on change l'Albédo du sol, des rues et des trottoirs, puisque ces surfaces horizontales sont plus chaudes que les surfaces verticales²¹.

Dans une autre étude faite sur plusieurs villes par Haider Taha (1997), des simulations numériques et des mesures sur terrain indiquent que l'augmentation de l'albédo peut être efficace dans la réduction de la surface et la température de l'air près du sol. Ce facteur est considéré comme l'un des facteurs de l'îlot de chaleur et leur modification peut être efficace dans la modification du confort thermique. Les résultats des simulations indiquent que les villes peuvent inverser les îlots de chaleur et diminuer la consommation d'énergie simplement en augmentant l'albédo de la toiture et les matériaux de

²⁰ « Spangenberg J, Sustainable Architecture & Urbanism and Transportation, Simulation of Urban Microclimates in Tropical Metropolis' Maracanã/ Rio De Janeiro, RIO 5 - World Climate & Energy Event, 15-17 February 2005, Rio de Janeiro, Brazil, PP 345 – 353 »

²¹ « Shashua-Bar L, Milo E. Hoffman, Quantitative evaluation of passive cooling of the UCL microclimate in hot regions in summer, case study: urban streets and courtyards with trees, Building and environment 39 (2004), PP 1087 – 1099»

pavage des rues et des trottoirs. Les simulations suggèrent que l'augmentation judicieuse de l'albédo en milieu urbain peut atteindre une baisse de température jusqu'à 4° C ²².

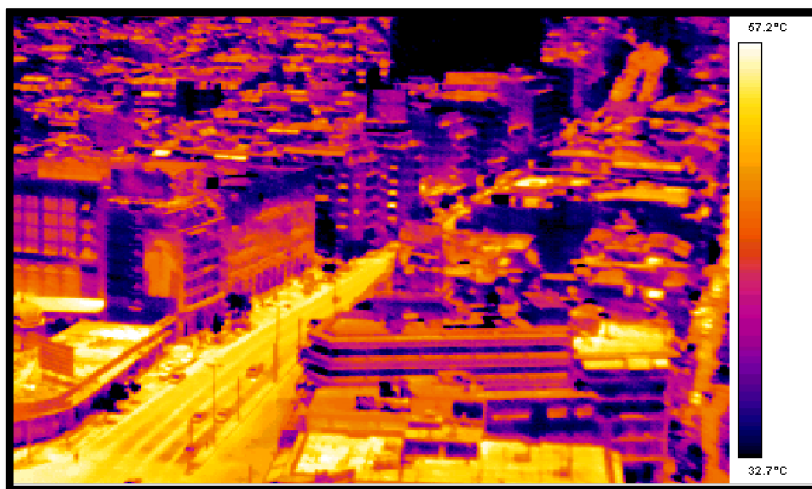


Figure 22 : Différence entre surface horizontale (jaune) et surface verticale (violet) (Source : M. Santamouris, 2002)

III-4-5- EFFET DE LA VEGETATION SUR LE CONFORT THERMIQUE EXTERIEUR:

La végétation « couverture végétale » est l'ensemble des plantes qui poussent en un milieu donné. On distingue deux types de végétation, des plantes sauvages dites spontanées et des plantes cultivées.

La végétation est un élément fondamental dans la création des espaces extérieurs. La présence d'arbres peut grandement influencer sur les vents chauds dominants en été, surtout dans les régions à climat chaud et aride. Sa meilleure utilisation devrait profiter de sa propriété à protéger contre le rayonnement solaire intense en été ²³.

Dans les milieux urbains, la végétation peut être située dans des endroits chauds tels que des aires de stationnement, des carrefours, des espaces dégagés, pour offrir un ombrage saisonnier des édifices, faire écran contre les vents, rafraîchir l'air par évapotranspiration et filtrer les poussières en suspension. Les arbres peuvent créer de l'ombre et réduire le rayonnement absorbé par les surfaces minérales de la chaussée. La végétation se distingue des autres éléments par son aspect éventuellement saisonnier.

Dans les régions fortement boisées, les arbres interceptent de 60 à 90 % de la radiation solaire, empêchant ainsi l'augmentation des températures du sol. Par contre, durant la nuit les arbres

²² « Haider taha, "Urban climates and heat islands: albedo, evapotraspiration, and antropogenic heat", Energy and buildings 25 (1997) 99-103»

²³ « Shachoua-bar, Hoffman, m.e. (2000). Geometry and orientation aspects in passive cooling of canyon streets with trees. Energy and Buildings 35 (2003) 61-68».

diminuent la radiation vers la voûte céleste : le feuillage constitue un "ciel" pour le sol au pied de l'arbre et sa température radiante est supérieure à celle de la voûte céleste. La chute de température est donc limitée la nuit.

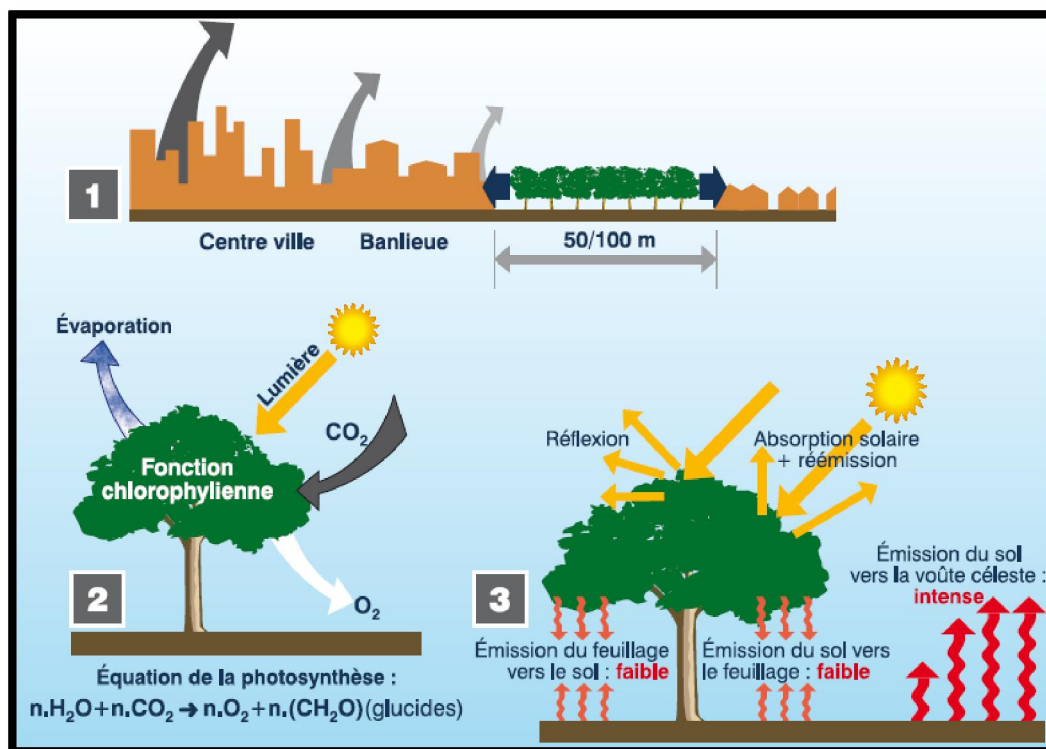


Figure 23 : Une bande de végétation peut baisser 3,5 °C de T air augmenter 5 % de l'humidité relative, ainsi qu'une action d'absorption et de réémission du rayonnement solaire (Source : Liébard et al. 2005)

Pendant les journées très chaudes, on remarque en général une différence de température moyenne de 3,5° C entre le centre ville et les quartiers avec des bandes de végétation variant de 50 à 100 mètres. Un échange des masses froides (végétation) vers les masses plus chaudes (constructions voisines) permet ce rafraîchissement. De ce fait, l'humidité relative peut augmenter jusqu'à 5 %²⁴.

D'après une étude faite par Louafi Samira dans sa thèse de doctorat (2013), sur l'impact de la végétation sur la qualité des ambiances thermiques extérieures, elle a conclu que pour concevoir des ambiances urbaines de qualité, il faut végétaliser les espaces publics où le SVF est important, il faut choisir des espèces locales de végétation avec un emplacement correct et judicieux, pour bénéficier

²⁴ « Liébard A, De herde A, Traité de l'architecture et l'urbanisme bioclimatique, édition Observer, Paris, 2005, P 22 »

de leur effet de masque désiré selon l'orientation et selon l'incidence des rayons solaires, en prenant en considération les dimensions et la hauteur de ces arbres²⁵. On peut conclure les points suivants :

- Eviter que la végétation porte de l'ombre sur les espaces durant la saison froide, c'est donc la végétation de type caduc qui est recommandée pour se protéger des rayons solaires.
- Rechercher la diversité des espaces publics pour favoriser une ambiance plus raffinée par la végétation qui doit être sélectionnée suivants la quantité de radiations solaires importantes.
- L'espacement entre les arbres se calcule en fonction de l'espèce et de la taille des arbres.
- La disposition en rangées ou tout autour de l'espace, surtout le coté SUD.

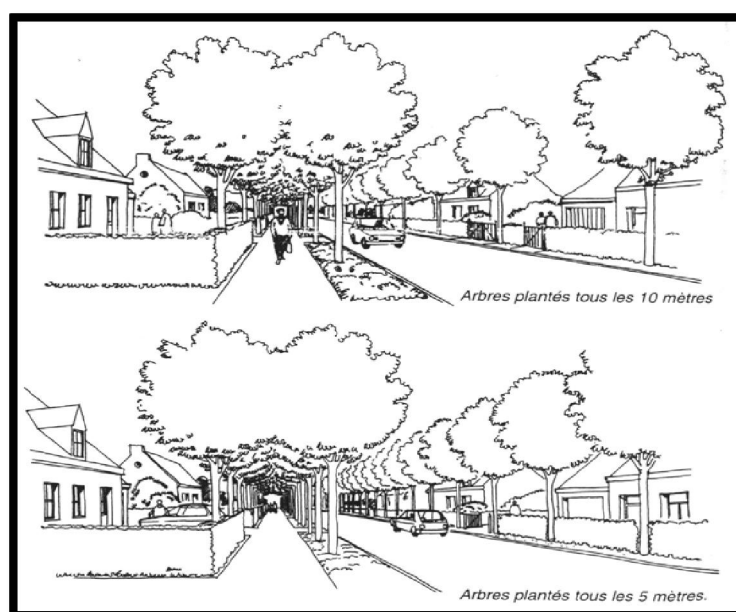


Figure 24 : Modification de l'espace grâce à l'espacement entre les arbres (Source : Larue 1996)

- La position sud des arbres est la meilleure position pour pouvoir créer des ambiances homogènes durant la journée.

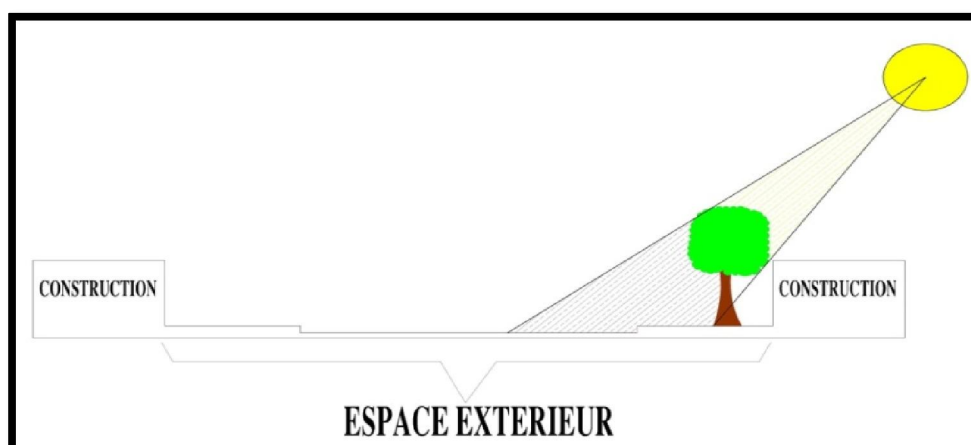


Figure 25 : Effet de la position SUD de l'arbre sur la création de l'ombre (Source : Auteur, 2013)

²⁵ « Louafi Samira, Impact de la végétation sur la qualité des ambiances thermiques extérieures, thèse de doctorat, université Constantine 3, 2013, P 329 et P330»

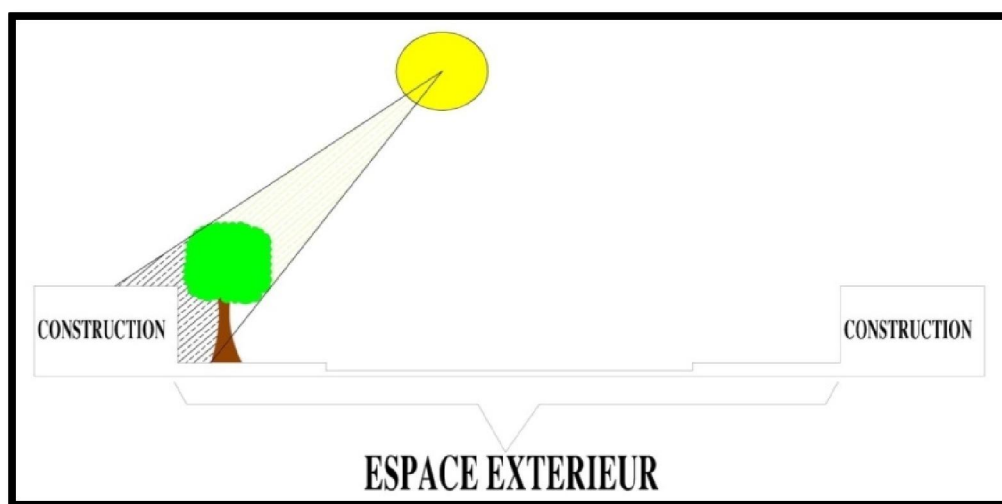


Figure 26 : Effet de la position NORD de l'arbre sur la création de l'ombre (Source : Auteur, 2013)

Pour les arbres d'alignement, leur effet sur la température est très important, les résultats de plusieurs travaux montrent que la présence des arbres d'alignement peut abaisser la température jusqu'à 7° C sur les trottoirs. Au contraire, en l'absence de ces arbres, l'asphalte de la rue augmente la température au dessus des trottoirs²⁶. L'équipe du groupe ABC de Marseille est arrivée à la conclusion que les arbres avec des plus grandes feuilles ont tendance à diminuer les températures de l'air plus que les arbres à petite feuilles. Ainsi, les arbres d'alignement ont tendance à diminuer fortement la température de l'air sous abri, cet effet est très intéressant sur les espaces urbains avec arbres d'alignement, qui entraîne non seulement une réduction de la température du sol, mais aussi une diminution de la radiation réfléchie.

- L'effet de refroidissement des arbres dépend principalement des caractéristiques géométriques de l'arbre (hauteur et largeur), qui est fortement lié à la géométrie urbaine de l'espace à protéger, la forme et le volume de l'arbre peuvent être plus importants que sa densité par rapport à l'ombrage. Les grands arbres font de l'ombre plus que les petits arbres même s'il sont très denses et un seul arbre large est plus efficace que deux arbres étroits et très denses (Ali-Toudert, 2003).
- La distance entre les arbres joue un rôle très important, les résultats montrent que la taille de la végétation a un impact sur la variation du degré de confort thermique. Louafi Samira (2013) montre que l'existence d'un bouquet d'arbres abaisse la température ressentie, par rapport à un seul arbre, ce qui démontre l'effet de la masse végétale sur le confort thermique de l'environnement immédiat.

²⁶ « MOCHIDA A et al in, Louafi Samira, Impact de la végétation sur la qualité des ambiances thermiques extérieures, thèse de doctorat, université Constantine 3, 2013, P 137»

- Pour un climat chaud et sec, l'implantation des arbres sans espacement est recommandée, elle se calcule en fonction de l'espèce planté (taille et largeur de la couronne).
- Concernant le nombre d'arbres, les bouquets d'arbres peuvent être plus efficace que les arbres simples (Shashua-Barre et le Hoffman, 2002), l'ombre obtenue est fonction de la distance entre les arbres, de la hauteur de la tige et de la hauteur de l'arbre.
- Concernant la hauteur du tronc de l'arbre, un petit tronc peut garantir l'effet masque totale par la couronne dont le SVF sera égal à zéro. Par contre un tronc haut augmente la quantité de ciel visible, ce qui laisse le rayon solaire intense pénétrer à l'intérieur et augmente la température de l'air de l'espace public.²⁷

Dans la figure suivante, on présente neuf arbres parmi les plus connus, en indiquant les hauteurs maximales du tronc, la largeur et la taille de l'arbre adulte. Les dessins indiquent l'image de l'arbre en été et en hiver (Coombes 1993).

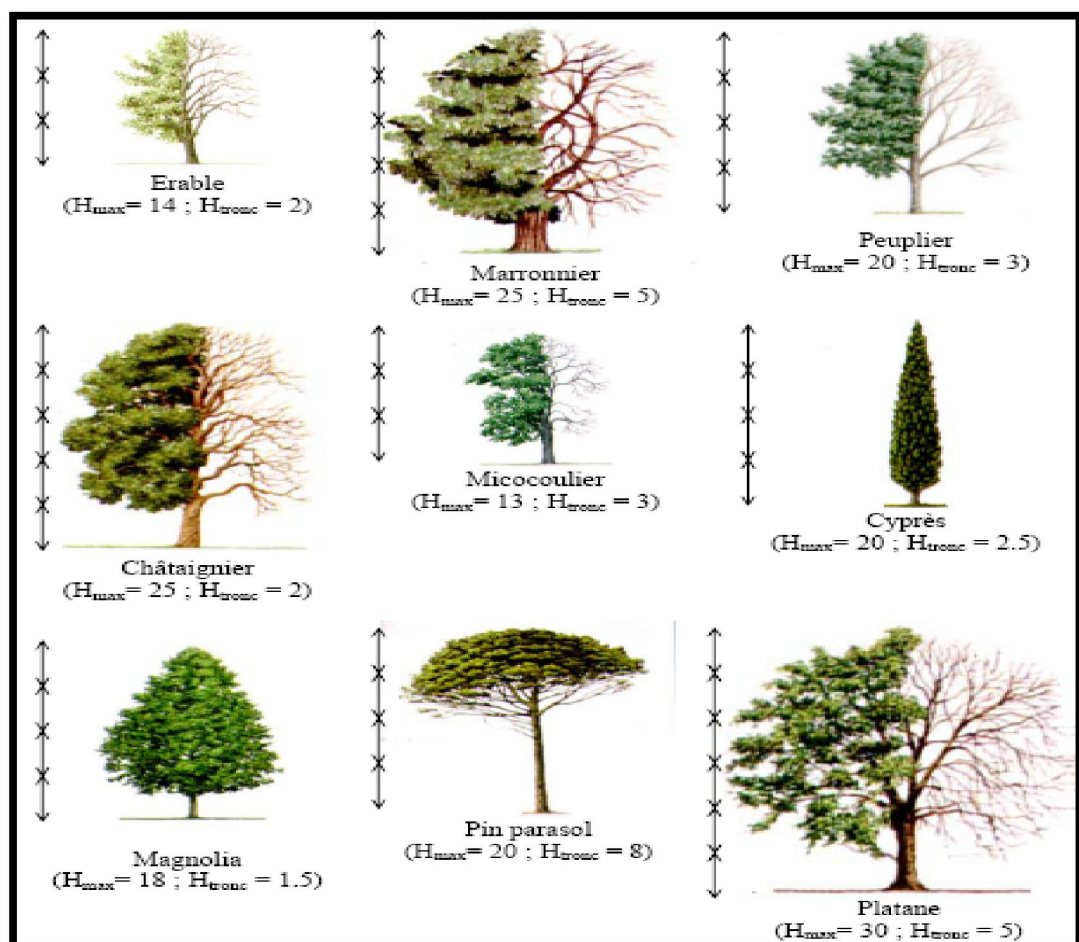


Figure 27 : Dimensions de neuf arbres communs (Source : Vinet 2000)

²⁷ « Louafi Samira, Impact de la végétation sur la qualité des ambiances thermiques extérieures, thèse de doctorat, université Constantine 3, 2013, P 301 et P302 »

Les végétaux peuvent constituer des volumes comparables aux structures architecturales (Stefulesco 1993). Dans le paysage urbain, une grande variété d'arbres existe, une classification basée sur leur forme est présentée par Larue qui distingue neuf types de formes (Larue 1996) :

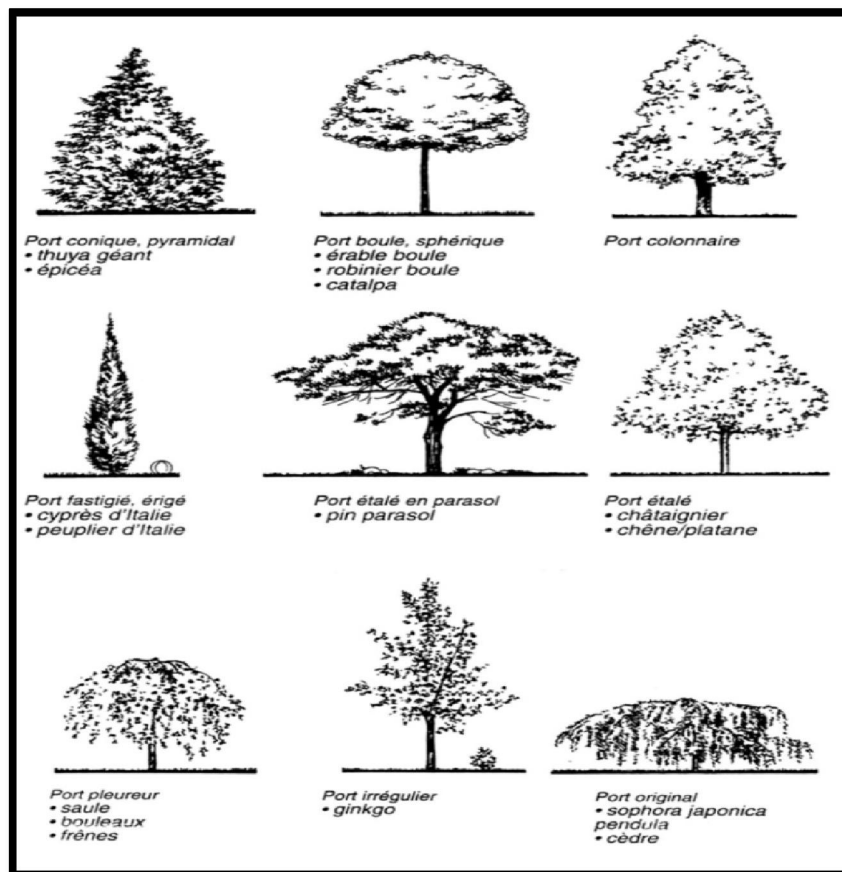


Figure 28 : Ports d'arbre en ville (Source : Larue 1996)

- La géométrie de l'arbre la plus avantageuse en été comme en hiver pour l'ombre est celle caractérisée par une hauteur réduite de la tige avec une grande largeur de l'arbre. La Figure ci-dessous démontre l'influence de la géométrie de l'arbre sur la surface ombragée.

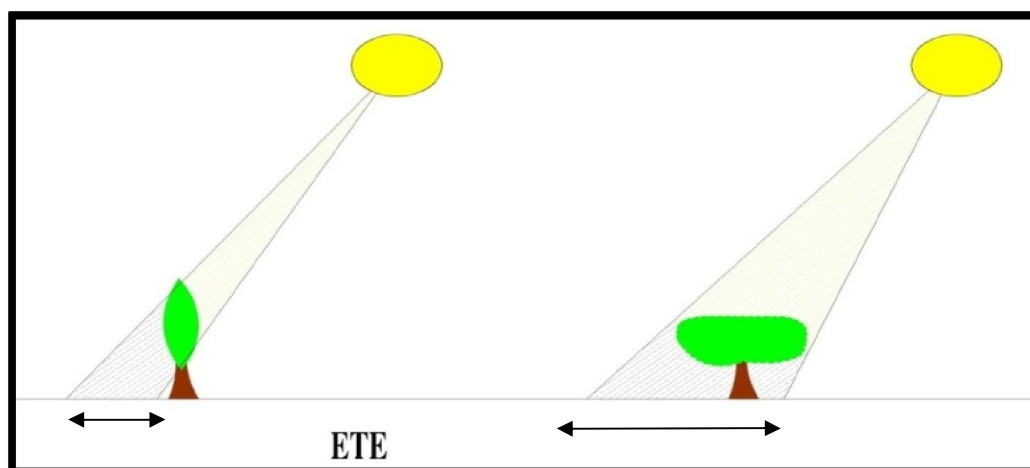


Figure 29 : Effet de la géométrie de l'arbre sur la création de l'ombre en été (Source : Auteur, 2013)

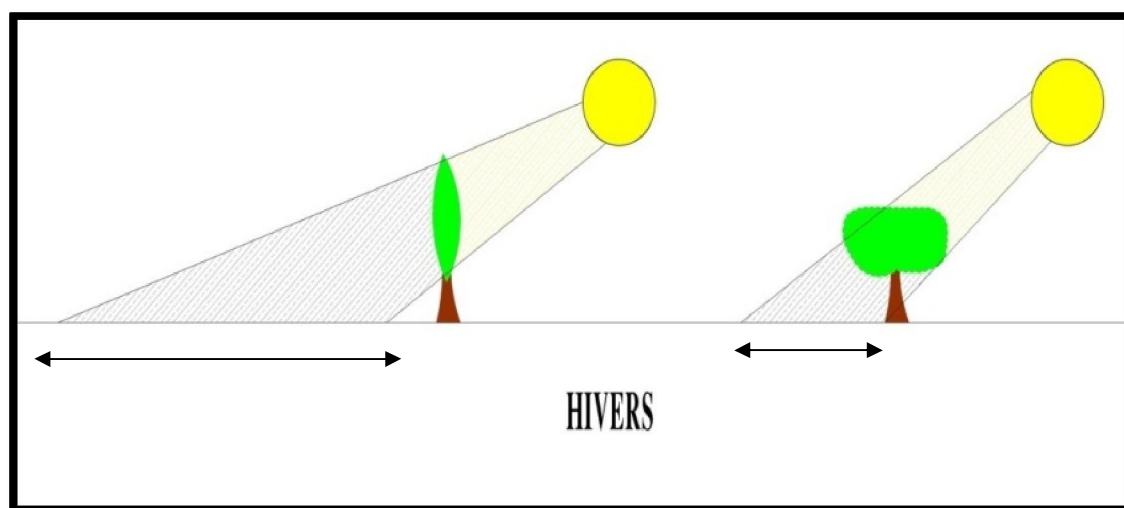


Figure 30 : Effet de la géométrie de l'arbre sur la création de l'ombre en hiver (Source : Auteur, 2013)

Chaque élément de l'espace urbain peut donner lieu à un aménagement végétal spécifique. Nous nous appuyons sur les recherches de Stefulesco (1993) en synthétisant les principaux éléments :

Tableau 1 : Relations urbanisme-végétation (Source : Stefulesco 1993)

Dispositifs urbains	Type ou caractéristique	Végétation
Places	Anciennes (dans ensembles médiévaux)	Peu ou pas plantées Arbres monumentaux
	Classiques	Dépourvues de végétation puis plantées
	A ordonnancement végétal	Plantation en trame régulière
	Places-jardins, Squares	Ambiance de nature, lieux de dépaysement et de tranquillité
Rues	Réseaux d'accès aux quartiers de faible densité	Végétation plus ou moins décidée, pergolas, plantes décoratives
Ruelles, cours, sentes	Réseaux d'accès aux quartiers de faible densité	Végétation plus ou moins décidée, pergolas, plantes décoratives
Ceintures vertes	Promenades associées aux enceintes	Lignes d'arbres
Boulevards	Voies de circulation qui entourent partiellement la ville, le quartier	Plantation sur les trottoirs et les terrepleins
Déviations	Voies de contournement	Mise en valeur du paysage, des points de vue, des ronds-points
Allées	Espaces de cheminement linéaire	Lignes d'arbres
Cours	Espaces de forme rectangulaire, orientés vers un point de vue remarquable	Ordonnancement végétal et architectural planté sur sa longueur de lignes d'arbres
Avenues	Rues conduisant à une ville ou à un lieu prestigieux	Plantation de 25 à 30 m de hauteur, symétrie longitudinale
Quais, rives,	Espaces à proximité de l'eau (rivière, fleuve, lac, océan)	Plantation d'alignement Arbres isolés ou bosquet
Esplanades	Compositions monumentales liées à un paysage exceptionnel	La végétation a un rôle d'accompagnement en cadrant la vue
	Jardins	Classiques
	Pittoresques	Rappel de la nature et de la campagne
Espaces verts	Formes d'occupations du sol qui s'accompagnent de présence végétale	Surfaces plantées, espaces libres, ambiances végétales isolées de la circulation et de la ville, terre-pleins engazonnés, aires de jeux

Dans une étude réalisée par E. Linacre (2001), les effets de l'arbre urbain sont proposés sur un tableau selon les échelles ou ils sont utilisés :

Tableau 2 : effet des arbres urbains selon l'échelle de mise en œuvre (Source : E. linacre, 1997)

Unité	Forme construite	Situation des arbres	Phénomène climatique concerné	Haut (M)	Larg (M)	Long (M)
Batiment	Jardin	Arbre isolé	Sillage, aérolique, ombre	10	10	10
Canyon	Rue	Arbres d'alignement sur avenue, mail	Tourbillon, ombre, temperature	10	30	300
Quartier	Ilot Urbain	Parc urbain, bois	Brise locale		500	5000
Zone Urbaine	Centre vile résidentiel, indust	Ceinture verte, foret suburbaine	Qualité de l'air		5000	5000
Ville		Foret urbaine	Modification de chaleur, humidité, brise urbaine, dôme pollution, precipit		25K M	25K M

Plusieurs études ont mis l'accent sur l'impact de la végétation sur le confort thermique extérieur, Shashua-Bar et Hoffman (2000) ont étudié les effets de refroidissement des arbres d'ombrage sur des cours et des rues dans un endroit subtropical. Ils ont découvert pour plusieurs rues urbaines que l'effet de refroidissement est d'environ 1 K et jusqu'à 3 K à l'heure la plus chaude de la journée. Les effets les plus élevés sont enregistrés au centre du canyon à mi-distance par rapport au trottoir, mais l'effet de refroidissement diminue de façon marquée lors du déplacement sur les bords de la rue. L'humidité enregistrée à l'intérieur des zones plantées a été jugée variable à partir du point de référence. Cela a été expliqué par le manque de terre humide (surface totalement minérale) qui a conduit à un taux d'évapotranspiration faible. D'autre part, l'ombrage a été estimé à 80% responsable de l'effet de refroidissement résultant. L'auteur a conclu que pour les climats chauds, la meilleure utilisation de la végétation devrait profiter de sa propriété d'ombrage à atténuer le rayonnement solaire intense en été quand la surchauffe est due principalement aux stockages de chaleur par les surfaces ensoleillées. L'évapotranspiration est souvent faible en raison du manque d'eau dans le sol. Donc une végétation bien mélangée au sein de la structure urbaine va contribuer à une bonne sensation de confort au niveau de ces espaces. D'après les résultats de cette étude, l'auteur a conclu les points suivants:

- L'exemple considéré dans cette étude met en lumière le problème du stress thermique et l'inconfort en été dans un milieu urbain qui peut être résolu à travers des règles simples de la conception bioclimatique. Ces règles sont surtout les éléments architectoniques de modèle de conception, qui peuvent être reconsidérées comme des solutions durables²⁸.

²⁸ «Limor Shashua-Bar et AL , Passive cooling design options to ameliorate thermal comfort in urban streets of a Mediterranean climate under hot summer conditions, 2012»

- L'utilisation des rues à colonnades qui augmentent considérablement la zone d'ombre pour les piétons.
- Il existe une forte corrélation négative entre la température de l'air et la densité végétale dans un milieu urbain.
- L'arbre est la solution la plus bénéfique dans l'amélioration du microclimat. Son effet est très positif grâce au refroidissement et à l'ombre qu'il offre et qui jouent un rôle essentiel sur le confort thermique extérieur.

M. Santamouris (2002) dans une étude réalisée à Tokyo, a remarqué une diminution de température de 1,6° C dans les zones de végétation en été, par rapport à celle des zones non végétalisées, alors qu'à Montréal, les parcs urbains peuvent être inférieurs de 2,5° C par rapport à celle qui entoure les zones bâties. Le même auteur a fait des simulations pour des villes à travers les États-Unis et indique que l'ombre d'un seul arbre mature, bien placé, peut réduire la consommation d'air conditionné annuel de 2 à 8% et la demande de refroidissement de 2 à 10%. L'impact de ces arbres sur la consommation énergétique des bâtiments est très important, la plantation de 100 millions d'arbres pourrait réduire la consommation d'électricité de 50 milliards de kWh par an, ce qui équivaut aux 2 % de la consommation annuelle d'électricité aux États-Unis et réduire la quantité de CO₂ déversés dans l'atmosphère de 35 millions de tonnes/an. (Santamouris M, 2002).

Givoni (2006) ont montré que les deux variables les plus influentes dans un endroit de végétation sont le SVF et l'altitude, et l'intensité de l'îlot de chaleur urbain diminue de 1° C avec de la végétation de 1m de hauteur pour un 1000 m² de surface couverte²⁹.

D'autres études ont montré qu'avec l'ajout d'un seul arbre par maison, l'économie d'énergie de refroidissement serait de 12 à 24%, tandis que l'ajout de trois arbres par maison peut réduire la charge de refroidissement de 17 à 57 %. Par ailleurs, ces arbres jouent aussi d'autres rôles (côté social) : des études ont montré que les arbres peuvent accroître les relations sociales de 3 à 20%, il a été démontré que la végétation a un effet positif sur le stress et le psychique.

²⁹ « Givoni B, Ganesan S. Impact of on-site variables on the influence of vegetation in lowering outdoor temperature in High-rise high-density environments, PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6-8 September 2006»

- **Murs et toits végétaux :**

Les murs et les toitures à végétation, à leur tour, jouent un rôle fondamental dans la création du confort thermique extérieur. Dans des études faites au Canada (Currie et Bass) en 2005, une simulation par ordinateur de divers stratégies de murs et toitures à végétation, a démontré que ces derniers ont un effet important sur l'îlot de chaleur urbain. Il est démontré que la végétalisation de 10 à 20 % des toits disponibles peut rafraîchir l'atmosphère, absorber les polluants et les particules de carbone, elle peut aussi filtrer les particules véhiculées par le mouvement d'air en passant sur les arbustes³⁰. Ces façades et ces toits végétaux connaissent également un certain essor, à la fois par l'emploi de plantes grimpantes, et par l'usage de plantes cultivées à la verticale. L'épaisseur de la terre de ces toitures est en général d'au moins 15 cm, mais cette terre est maintenant souvent remplacée par un composé nutritif très léger, connu sous le nom de substrat³¹.

D'après des expériences faites aux USA et en Angleterre, il a été démontré que les toits minéraux représentaient les surfaces les plus chaudes de tout le périmètre d'étude avec une température surfacique de 7° C, tandis que les températures des toits à couverture végétale était entre 24° C et 35°C. En résumé, si on utilise des toits végétaux sur toute une ville, plus de la moitié de l'intensité d'îlot de chaleur va être diminué.

Des études menées à Berlin en 1982 sur des façades végétales, il a été démontré que la végétation des murs dans un bâtiment a plus d'impact sur son environnement que la végétation des toits parce que la surface totale des murs est toujours plus importante que celle des toitures. Il a été démontré aussi que la végétation des murs orientés NORD donnent de meilleurs résultats sur le confort thermique et la température ambiante extérieurs que sur les autres murs³². Par contre, Spronken Smith et Oke en 1998, ont montré que la végétalisation des toits et des murs n'influe sur le confort thermique extérieur que s'ils sont présents en grand nombre et associés à d'autres types de végétations urbaines telles que les arbres et les arbustes sous forme de jardin et de rues bordées d'arbres³³.

III-4-6- EFFET DE L'EAU SUR LE CONFORT THERMIQUE EXTERIEUR:

Que ce soit à petite ou à grande échelle, les masses d'eau influencent considérablement le climat. A l'échelle du microclimat, les étendues d'eau tempèrent les fluctuations de température et jouent le rôle de tampons thermiques. Leur présence dans la ville peuvent réduire la température moyenne en

³⁰ « NIGEL DUNNETT, Toit et Murs Végétaux, Edition ROUERGUE, 2008, P68 »

³¹ « NIGEL DUNNETT, Toit et Murs Végétaux, Edition ROUERGUE, 2008, P08 »

³² « NIGEL DUNNETT, Toit et Murs Végétaux, Edition ROUERGUE, 2008, P199 »

³³ « NIGEL DUNNETT, Toit et Murs Végétaux, Edition ROUERGUE, 2008, P 71-72 »

raison de l'effet combiné de l'évaporation et de l'abaissement de la chaleur thermique, son utilisation permet de créer des microclimats et d'atténuer les variations journalières de température, où il fait moins chaud en été et moins frais en hiver³⁴.

Souvent, l'eau a été utilisée pour ses capacités de stockage de chaleur, des techniques de micronisation (pulvérisation de gouttelettes d'eau en suspension dans l'air) ont été essayées pour rafraîchir localement les températures de l'air par exemple lors de l'Exposition universelle de 1992 à Séville. Des fontaines et des jets d'eau ont également été répartis sur tout le site. L'énergie nécessaire à la vaporisation de l'eau est retirée aux masses d'air, qui ainsi se refroidissent. L'application d'un tel dispositif a permis de réduire localement la température de l'air de quelques degrés.



Figure 31 : Effet de l'eau sur la température de l'air ambiant (Source : Traité d'architecture bioclimatique, 2006)

Georgi et Tzesouri en 2006, dans la ville de Drama ont étudié l'effet de l'eau sur la température extérieur, et enregistré et comparé la température de l'air et d'humidité relative pendant une période allant de 12/7 à 17/9/2006 entre un parc urbain avec une grande partie de sa surface caractérisée par des bassins d'eau, et un espace central ouvert de même superficie mais sans l'eau.

L'analyse des données a montré que la température était inférieure de 2° C dans le parc, alors que pendant les journées les plus chaudes, la différence de température était plus grande. Pendant les 24 heures, les plus grandes différences ont été observées au cours de l'après-midi et le soir. L'humidité relative était beaucoup plus élevée dans la zone du parc et elle a contribué à la diminution de la

³⁴ « Evans John Martin, The Comfort Triangles: A New Tool For Bioclimatic Design, September 2007, P 217»

température, puisque la température et l'humidité ont une corrélation négative durant les 24 heures, l'indice ASV a été amélioré de 10 à 20% dans le premier cas que dans le deuxième cas³⁵.

Ces observations nous mènent à la conclusion que l'eau doit être un élément nécessaire à la formation de l'espace urbain, et contribue à l'amélioration du microclimat urbain.

III-4-7- EFFET DES MATERIAUX SUR LE CONFORT THERMIQUE EXTERIEUR:

La nature des surfaces construites influencent le microclimat en stockant la chaleur. En milieu urbain, la température moyenne est supérieure de quelques degrés à la température moyenne dans la campagne à cause des différents matériaux de construction utilisés dans la ville. La construction des sols empêche également l'eau de percoler vers le sous-sol.

En effet, les propriétés thermiques des matériaux peuvent augmenter le stockage de chaleur sensible dans le tissu de la ville pendant le jour et libérer la chaleur stockée dans l'atmosphère urbaine après le coucher du soleil. On parle donc de capacité thermique élevée (accumulation de chaleur) des matériaux de construction. L'emploi de matériaux réfléchissants (vitrages) peut également influencer l'exposition des bâtiments aux rayonnements solaires et peut agir sur le bilan thermique globale de la ville.



Figure 32 : Matériau réfléchissant agit sur le bilan thermique de la ville (Source : www.cleanauto-filmsolaire.fr, 2013)

³⁵ « Georgi, Tzesouri. Monitoring Thermal Comfort in Outdoor Urban Spaces for Bioclimatic Conditions Improvement, 1st WSEAS International Conference on LANDSCAPE ARCHITECTURE (LA '08), Algarve, Portugal, June 11-13, 2008, PP 98 – 104»

III-5- CONCLUSION :

L'Algérie est un pays aride et semi aride situé dans une région très affectée par le changement climatique mondial, ce changement va entraîner des problèmes majeurs de ressources en eau, de sécheresse et de désertification. Toutefois, l'impact des reliefs sur le microclimat a un rôle très important, le choix judicieux du site d'implantation permet de se protéger contre les vents et le rayonnement solaire. A titre d'exemple, les sites les mieux protégés par les reliefs au niveau de la vallée des Mزاب sont les versants sous le vent, donc il est préférable d'éviter les versants orientés NORD et NORD-OUEST. Pour le meilleur confort thermique en hiver, il est recommandé de s'implanter sur les versants SUD.

En allant du macro au micro, ce chapitre a été réparti en trois parties, la première vise à analyser le climat et les reliefs dans les régions chaudes et sèches; la deuxième décortique le confort thermique à l'échelle du tissu urbain (sa densité urbaine et végétale, sa rugosité et porosité à l'échelle de la ville), et la dernière partie vise à analyser le microclimat urbain à grande échelle, avec une analyse de tous les paramètres fondamentaux constituant l'espace public extérieur qui peuvent avoir un effet sur le microclimat et le confort thermique extérieur (orientation, SVF, Ratio H/L, végétation, matériaux de construction...).

Les expériences analysées ci-dessus confirment que la forme et la morphologie urbaine influencent fortement le confort thermique à l'échelle de l'espace public extérieurs, les éléments morphologiques les plus influents sont le Ratio H/L, l'orientation, le SVF, la végétation et l'albédo.

La bonne orientation pour le confort thermique concerne les rues orientées NORD-SUD, tandis que les rues orientées Est-Ouest devront avoir des profils asymétriques ou des murs face au sud plus élevés que les murs face au Nord. Le confort thermique extérieur peut aussi être influencé par de nombreux aspects psychologiques, tels que l'acclimatation ou l'attente, ou l'histoire thermique et rend la question du confort beaucoup plus complexe que celle des paramètres décrits dans ce chapitre.

Après une approche théorique sur le climat et les reliefs dans les régions arides (cas de la vallée des Mزاب), suivie par une approche sur l'impact des paramètres morphologiques sur le confort thermique extérieur, la partie pratique présentée dans les prochains chapitres sera consacrée à un site existant dans la vallée des Mزاب (Algérie), où nous avons procédé à un travail de terrain sur un tissu urbain existant situé sur un plateau dans la vallée des Mزاب, la ville de TAFILELT à Béni-Isguen, et qui fera l'objet de la prochaine partie de cette étude.



IV-1- INTRODUCTION :

La qualité des espaces publics extérieurs présente un intérêt majeur pour toutes les catégories de la société. En effet, il est reconnu que ces espaces contribuent à une bonne qualité de vie en milieu urbain, comme ils peuvent accroître l'isolement et l'exclusion sociale. La problématique du confort thermique extérieur est devenue l'une des préoccupations majeures dans le domaine de l'architecture. L'urbanisation massive nécessite des études approfondies afin de permettre aux usagers des espaces publics, de vivre dans un environnement thermiquement confortable. C'est pourquoi plusieurs études ont été menées sur l'impact de la morphologie urbaine et son effet sur le confort thermique extérieur. On peut citer dans cet domaine les travaux de Oke et Nakamura (1988), Arnfield et Mills (1994), Johannsen (2006), Emmanuel(2005), Evyatar (2011), Yoshida (1990), Santamouris (1999 et 2002) et Givoni (dans une certaine mesure) qui se concentrent plutôt à l'intérieur des bâtiments qu'à l'échelle urbaine. D'autres recherches ont été menées sur le confort thermique extérieur dans les climats chauds et arides, celles de Bourbia et AWBI (2004), Ali-Toudert (2006) qui ont fait des travaux au niveau du Sud algérien sur la relation entre la géométrie et le microclimat des canyons urbains. Des études ont été faites aussi pour évaluer les effets directs du changement d'albédo sur le microclimat urbain. Nous pouvons citer, Limor Shashua-Bar(2012), Haider Taha (1997), ainsi que d'autres chercheurs qui ont mis l'accent sur l'impact de la végétation et l'eau sur le confort thermique extérieur, comme Shashua-Barre et Hoffman (2002), Linacre (2001), Santamouris (2002), Georgi et Tzesouri (2006) et Louafi Samira en 2013. Toutes les études citées ci-dessus soulignent l'importance primordiale de la relation entre les l'espace public extérieur et le confort thermique.

Différents modèles et outils ont été développés permettant de traiter le phénomène du confort thermique extérieur, ainsi que des moyens d'analyse avec différents degrés de complexité. Ces outils comprennent notamment des modèles simplifiés permettant la prédiction des conditions de confort thermique à partir des données météorologiques disponibles. Certaines méthodes sont basées sur les outils graphiques permettant d'évaluer le confort thermique d'un projet en fonction de l'utilisation des espaces extérieurs. D'autres méthodes permettent de dessiner des cartes et d'utiliser des courbes et des graphes pour évaluer le phénomène du confort thermique extérieur.

Notre méthode d'évaluation de confort thermique extérieur est basée sur la méthode d'**Habitabilité** (Qualité de ce qui est adapté pour recevoir des personnes) sur l'espace urbain dont le principe est la détermination du nombre d'heures utiles de confort thermique apprécié par les personnes engagées dans différentes activités dans l'espace extérieur. L'indice de confort thermique le plus adéquat pour cette analyse est la méthode COMFA, basée sur le calcul de la balance thermique **TB**.

Notre objectif est d'étudier le rapport entre la morphologie urbaine et le confort thermique extérieur par la méthode d'habitabilité dans les régions à climat chaud et sec (La vallée du Mzab au sud de l'Algérie).

IV-2- PRESENTATION DU SITE D'INTERVENTION :

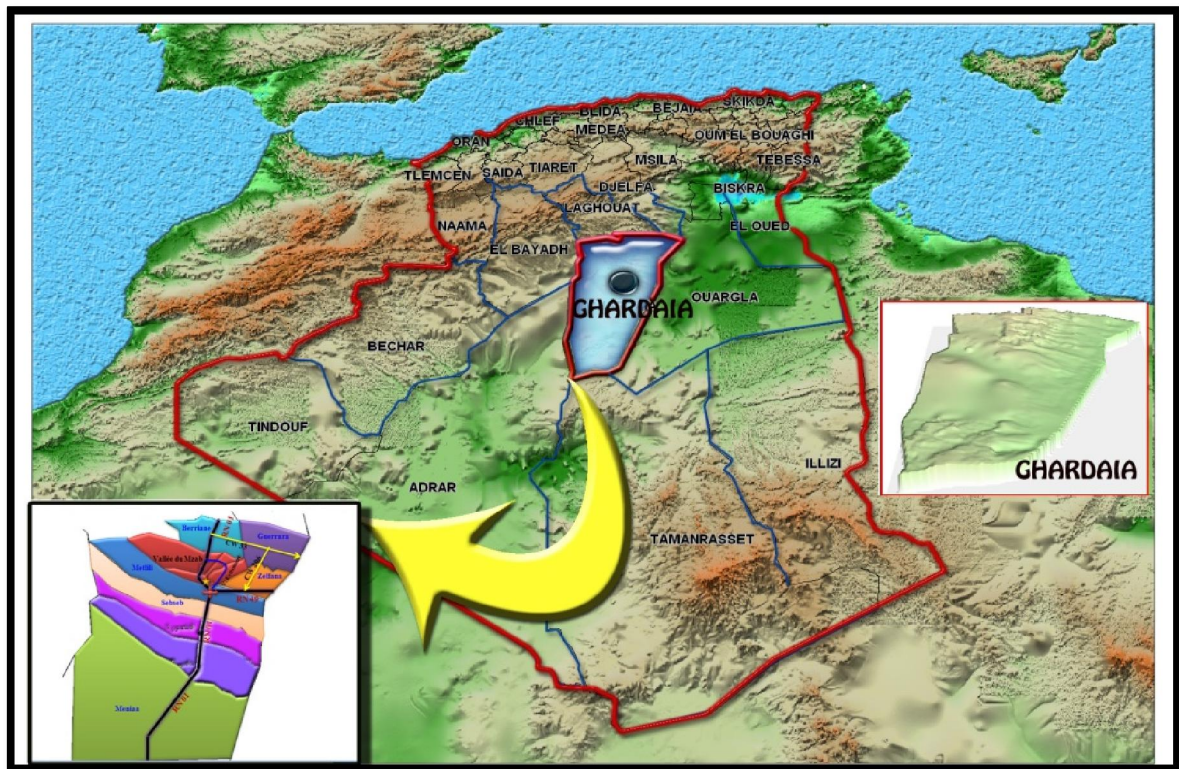


Figure 1 : Situation de la ville de Ghardaïa (Source : fr.wikipedia.org, 2013)

La vallée du M'Zab représente un patrimoine universel, classé par l'UNESCO (1982), grâce à son urbanisme des Ksour (de forme pyramidale) et ses Oasis façonnées difficilement dans un milieu aride. Cette vallée est caractérisée par une altitude variant entre 300 et 800 mètres, et mesure 20 km de long sur 2 km de large, composée d'espaces minéraux ainsi que de palmeraies. Elle se trouve à 600 Km au sud d'Alger, d'une superficie de 86 105 Km², et compte environ trois cent soixante-quinze mille (375 000) habitants. Elle présente un patrimoine caractérisé par des formes urbaines et architecturales et des couleurs qui s'intègrent parfaitement avec la nature et les reliefs de la région¹. Ce patrimoine universel est classé par l'UNESCO à cause de son urbanisme des ksour (de forme pyramidale) et ses oasis façonnées difficilement dans un milieu aride. Mais depuis deux décennies environ, la vallée connaît une dégradation sérieuse de son cachet et de son patrimoine, une dégradation qui s'est traduite par une gestion inappropriée des déchets et une pollution

¹ « André Ravéreau, *Le M'zab, une leçon d'architecture* nouvelle édition Actes Sud-Sindbad, Arles, 2003 »

catastrophique, ce qui a obligé le gouvernement à faire un plan d'urgence pour sauver ce patrimoine universel.

L'édification des cinq ksour dès le début du XI^{ème} siècle dans cette région hostile et aride, résulte d'un acte volontaire visant à épargner la religion de cette population musulmane pratiquant le rite ibadite, contre les menaces de l'ennemi. C'est la conséquence d'un fait historique datant de la fin du VII^{ème} siècle qui a poussé les Kharidjites à quitter la péninsule arabique et à s'implanter en Afrique du nord pour y continuer leur lutte, leur première installation en Afrique du nord se fit à Tahert en 757 (l'actuelle ville de Tiaret), ensuite, ces habitants se réfugièrent dans la province de Ouargla et enfin, à la suite de plusieurs guerres, ils ont trouvé refuge dans l'actuelle vallée du Mzab qui est un site désertique et aride. Cet tribu est composée d'un ensemble de familles qui se regroupent au sein de la « Achira », qui se retrouvent au sein d'un « Arch » et au sein de la structure religieuse « Halquat El Azaba » qui guide spirituellement, oriente et conseille socialement.

Le choix d'un site dur et aride de la vallée répondait à une volonté des Kharidjites de sauvegarder leur religion parce que dès le début de leur implantation en Afrique du nord avec la fondation du premier Ksar d'EL ATTEUF en 1012, leurs but était de sauvegarder leur idéologie kharidjite et de résister aux menaces de l'extérieur. Ces Sept Ksour sont :

- **Ghardaïa (Tagherdayt)** : Fondée en 1048 sur la rive droite de l'Oued Mzab.
- **Bou-Noura** : Fondée en 1046, ce ksar a été reconstruit sur le premier par Oulad Abdallah.
- **Beni-Isguen** : Fondée en 1347 au confluent de l'oued N'tissa.
- **EI-Atteuf** : Fondée en 1012 par une fraction d'ibadites venus de l'oued Dya.
- **Melika** : Une petite cité guerrière qui domine la vallée d'oued Mzab.
- **Berriane** : Fondée en 1101 sur l'oued Bir.
- **Guerrara** : Fondée en 1631, c'est la plus excentrique des ksour, à 100 km de Ghardaïa.²

2 « www.dtw.ghardaia.com »



Figure 2 : vue générale sur la vieille ville de Ghardaïa (Source : www.wikipedia.org, 2013)

Le ksar de Tafilelt :

Face à la crise nationale en matière d'architecture et d'urbanisme, une expérience récente et assez particulière dans la vallée du M'Zab mérite d'être étudiée, il s'agit d'une nouvelle ville, dénommée le ksar de Tafilelt, réalisée au sud de Beni-Isguen dans le but de mettre en valeur l'héritage patrimonial matériel et immatériel des anciens ksour du M'Zab, tout en l'adaptant aux commodités de la vie contemporaine.³

Créé par la fondation AMIDOUL, le ksar de Tafilelt ou la cité Tafilelt Tajdite (nouvelle), est un ensemble bâti sur une colline rocailleuse surplombant le ksar de Beni-Isguen. Le projet consiste à créer une nouvelle ville comme extension de l'ancien ksar de Béni-Isguen pour combler le manque de logements. Tafilelt est ainsi une nouvelle ville qui s'inscrit dans une optique sociale, économique, écologique et patrimoniale.

Le groupe fondateur a commencé les travaux de ce projet, composé de 870 logements, le 13 mars 1997 et il l'a terminé en 2006, sur une superficie de 22,5 ha. La superficie résidentielle est égale à 79 670,00 mètres carrés, avec un coût de 8700 DA par mètre carré.⁴

Le terrain d'investigation choisi est un site urbain. C'est le ksar de Tafilelt ou la cité Tafilelt Tajdite (nouvelle), initié en 1998 par la fondation AMIDOUL dans le cadre d'un projet social. Ce Ksar est un ensemble bâti sur une colline rocailleuse surplombant le ksar de Beni-Isguen et comptant 870 logements. Il est doté de placettes, rues, ruelles, passages couverts, aires de jeux et des structures

3 « chabi M & dahli M, le ksar de tafilelt dans la vallee du mzab, une experience urbaine entre tradition et modernite. 2011 »

4 « www.tafilelt.com »

d'accompagnement telles que bibliothèque, école, boutiques, salle de sport et, en prévision, des équipements culturels et de loisirs (parc). Ce nouveau ksar est considéré comme étant l'extension de l'ancien ksar de Beni-Isguen, il a été construit dans le cadre du LSP « *Logement social participatif* » avec la fondation AMIDOUL et contre la crise du logement qui frappe toute la vallée du M'zab⁵. En plus, ce projet consiste à créer une nouvelle ville qui s'inscrit dans une optique sociale, économique, écologique et patrimoniale, digne des valeurs actuelles du développement durable. Les habitations sont accolées autant que possible les unes aux autres de manière à réduire les surfaces exposées à l'ensoleillement. L'occupation totale de la parcelle (C.E.S = 1) implique que pour une superficie des parois de l'enveloppe (murs extérieurs et plancher-terrasse) évaluée à 329,62 m², seul 140.62 m² sont en contact avec l'environnement extérieur. Le ksar de Tafilelt peut alors être considéré comme organisation urbaine compacte, ce qui explique la forte densité urbaine voulue dans ce nouveau Ksar et qui caractérise l'aspect urbain de toutes les régions à climat chaud et aride⁶.

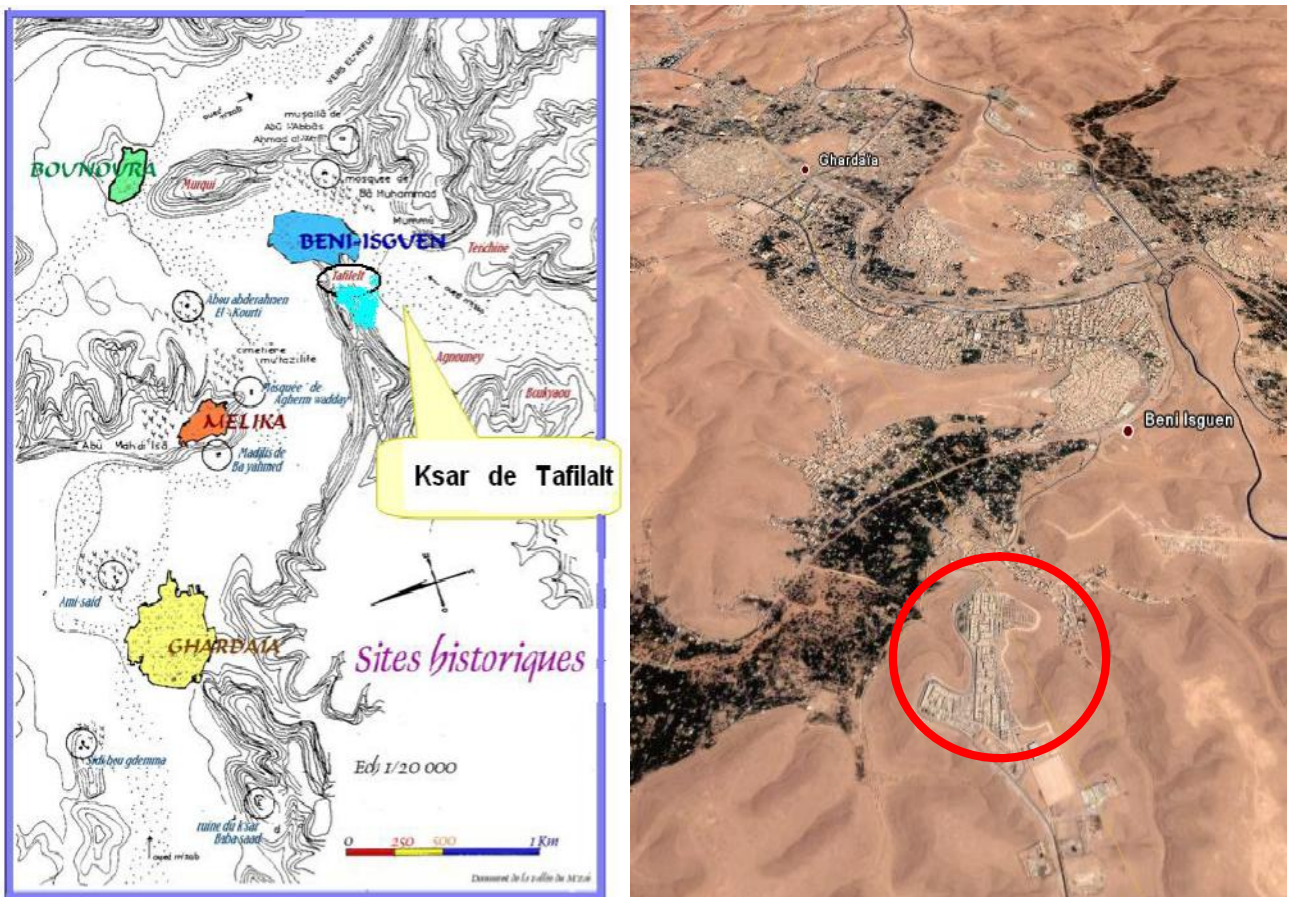


Figure 3 : Plan de situation de la nouvelle cité de Tafilelt (Source : www.tafilelt.com, 2012)

⁵ « chabi M & dahli M, le ksar de tafilelt dans la vallee du mzab, une experience urbaine entre tradition et modernite, 2011, P02 »

⁶ « <http://www.algerie-focus.com> »

Notre choix retient pour cas d'étude la nouvelle cité de Tafilelt qui est conçue pour répondre aux exigences climatiques des régions chaudes et arides. L'objectif est d'analyser et vérifier si ce projet va atteindre vraiment son objectif qui est une cité qui respecte les exigences bioclimatiques et les principes du développement durable.



Figure 4 : Vue satellitaire de la cite de Tafilelt (Source : [Google earth](#), 2012)

IV-2-1- ETUDE URBANISTIQUE:

IV-2-1-1- Géométrie du tissu urbain :

Le tissu urbain est l'ensemble de maisons, rues, places, jardins publics qui constituent la structure de la ville. Il décrit le rapport entre l'espace bâti et non bâti en milieu urbain, qui a un rôle très important, notamment dans les régions à climat chaud et aride pour se protéger contre les différents facteurs climatiques. Plusieurs études soulignent l'importance primordiale de la géométrie, de la densité du tissu urbain et son impact sur le confort thermique extérieur (par exemple Oke 1977, Bourbia et AWBI 2004, Arnfield et Mills, 1994).



Figure 5 : Vue générale sur la façade urbaine de Tafilelt (Source : www.tafilelt.com, 2012)

À travers notre visite sur le site, il s'avère que le ksar de Tafilelt est organisé selon un système viaire à géométrie rectiligne. Une morphologie urbaine très compacte, issue du climat et des pratiques sociales de la région, qui présente une configuration géométrique marquée par des rues qui sont étroites et présentent quelquefois la forme de passages protégés ou couverts en dur par des encorbellements ou extensions en étage des maisons.

Ces rues se croisent dans la plupart des cas sur des places et des placettes, les maisons occupent la totalité de la parcelle et sont accolées autant que possible les unes aux autres, ce qui permet de réduire les surfaces exposées à l'ensoleillement, à l'exception de la façade principale et de la terrasse (voir Figure 5). On a remarqué aussi que l'implantation de la cité était sur un plateau nu, de forme allongée de Nord au Sud (environ 600 x 200 m), souvent exposé aux vents de toutes directions.

Pour limiter les fluctuations du confort intérieur dû aux phénomènes extérieurs (soleil, vent...), il est important de chercher un maximum d'espaces intérieurs pour un minimum de surface de parois extérieures. Le tissu compact avec la forme rectangulaire des maisons de Tafilelt associée à la mitoyenneté avec les maisons voisines, permet un minimum de perte de chaleur en hiver et un minimum de gain en été⁷.

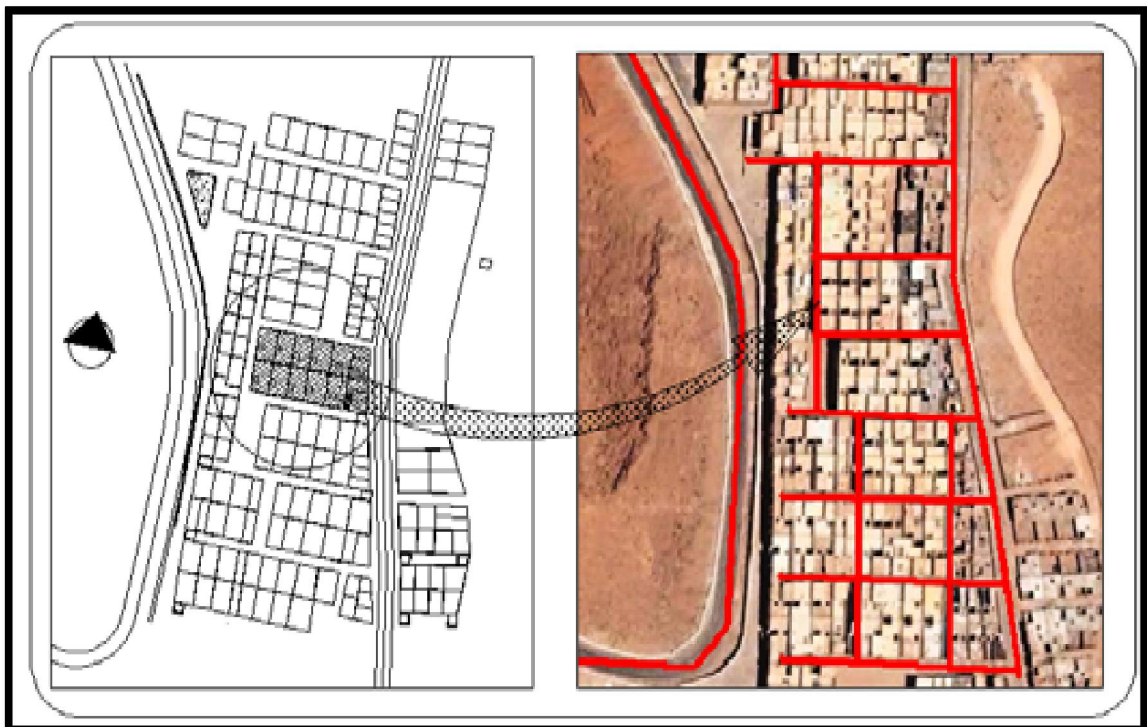


Figure 6 : L'organisation compacte du tissu urbain au niveau du ksar (Source : Chabi Mohamed, 2011)

⁷ « chabi M & dahli M, le ksar de Tafilelt dans la vallée du Mzab, une expérience urbaine entre tradition et modernité, 2011, P05 »

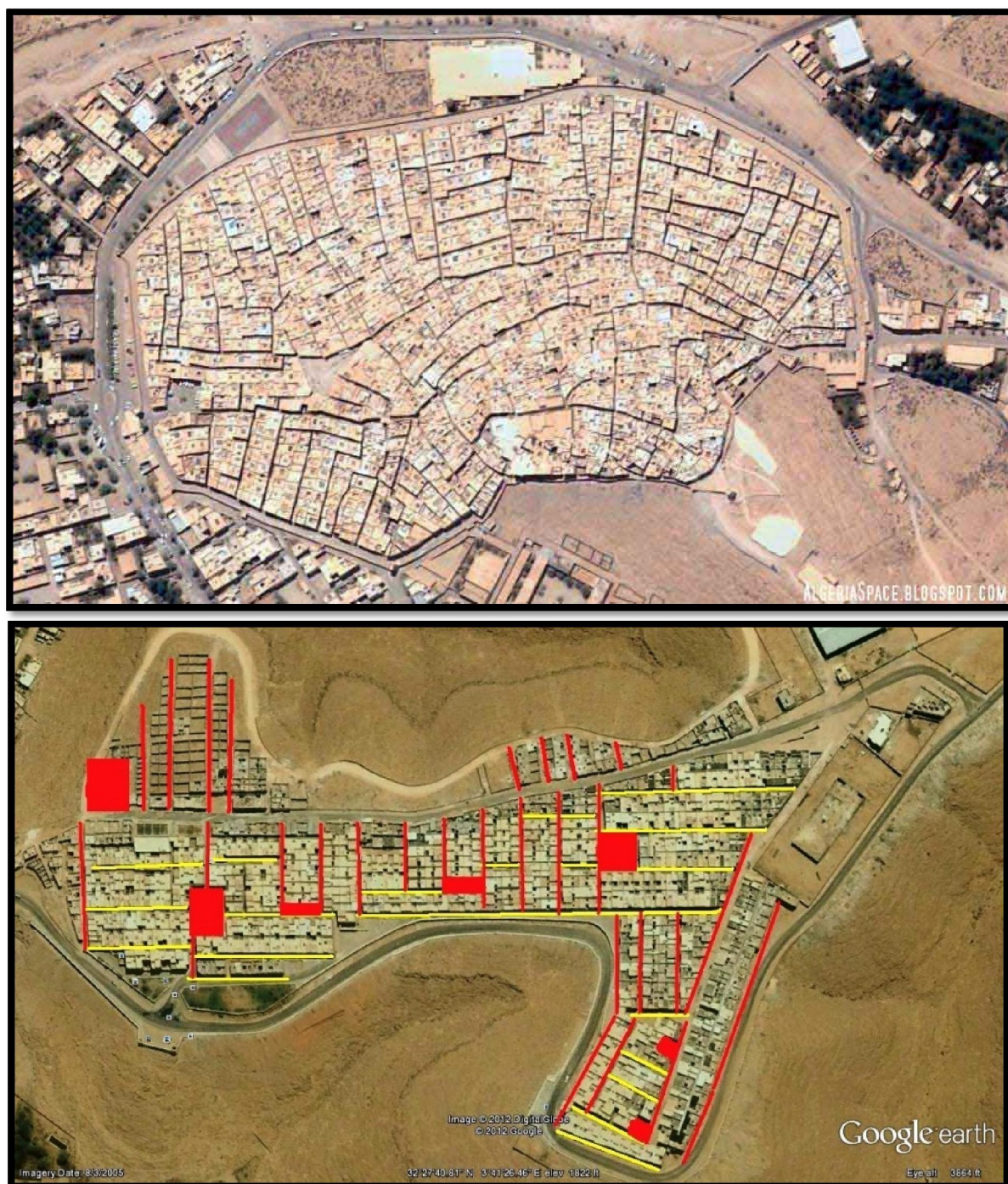


Figure N°7 : Comparaison entre l'ancien tissu urbain et le nouveau tissu urbain des ksours

(Source : Google earth, Auteur, 2013)

Ahmed NOUH (Président de la fondation AMIDOUL) : « *L'utilisation d'une structure géométrique qui fournit un maximum de volumes intérieurs avec une surface minimum exposée à la chaleur extérieure est une stratégie pour obtenir un confort thermique par voie passive qui est l'un des principes fondamentales de notre région* »⁸.

⁸ «<http://www.algerie-focus.com/DrAhmedNouh>»

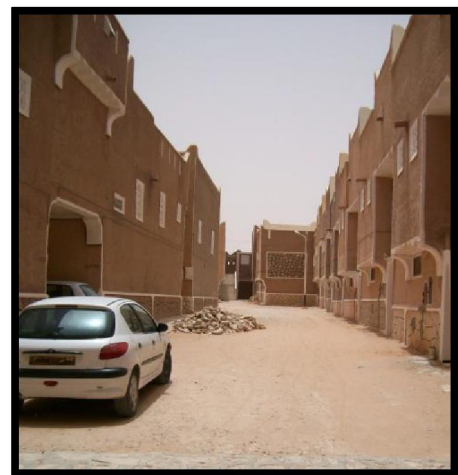
IV-2-1-2- Orientation et densité des voiries :

Les voiries sont les voies de circulation routière aménagées à l'intérieur du Ksar et bordées de maisons⁹, c'est aussi un espace public et un lieu de rencontres et d'échanges où s'exerce et se construit la sociabilité des individus et des groupes sociaux. Les voies de circulation peuvent être classées selon leur importance de différentes façons, selon le mode d'utilisation (piétonne ou mécanique), la géométrie, ou même dans notre étude, selon l'orientation. Ces deux facteurs (géométrie et orientation) agissent directement sur le mode d'exposition du soleil, qui affecte fortement les températures de surface des rues et par conséquent la quantité de chaleur transférée à l'air en tant que flux sensible (Nakamura et Oke 1988 Yoshida et al. 1990-1991, Santamouris et al. 1999).

La géométrie des rues est basée sur une hiérarchisation et une distribution simple en échiquier (tracé régulier) entre rues, ruelles et placettes. Elle est caractérisée par un profil moins étroit que les rues des anciens ksour, selon l'importance de la rue ainsi que pour des exigences de modernité (la voiture). Elles sont étroites et présentent quelquefois la forme de passages protégés ou couverts. Les rues et les ruelles sont caractérisées par deux orientations principales (Nord-Sud) et (Est-Ouest) offrant la possibilité d'une meilleure évaluation de l'orientation sur le confort thermique extérieur. La plupart de ces rues sont destinées aux piétons à cause du trafic routier de Tafilelt qui est très limité, vu le type de tissu urbain qui doit être compact, ce qui donne une domination des rues piétonnes qui présentent un modèle réel de «canyon urbain» où la hauteur des immeubles est estimée à plus de quatre fois la largeur de la chaussée.



Rue piétonne (EST-OUEST)



Rue mécanique (NORD-SUD)

Figure 8: Vue prise sur deux rues piétonnes et mécanique d'orientations différentes dans la cité de Tafilelt

(Source : Auteur, 2013)

⁹ «<http://www.larousse.fr/dictionnaires>»

La densité de la voiries présente parfaitement l'adaptation avec le climat local, avec ces ruelles étroites. On constate une grande unité d'apparence, et une continuité du bâti avec une homogénéité de son traitement.

D'une manière générale, on peut classer cette structure hiérarchisée en échiquier, en trois catégories :

- **Les voies primaires** de largeur moyenne de 9.50 m desservant le ksar avec l'extérieur, ont un prospect (H/L) de 0.89.
- **Les voies secondaires** de largeur moyenne de 5.80 m reliant les voies primaires avec celles de desserte, présentent un prospect de 1.45.
- **Les voies tertiaires** ou de dessertes sont relativement plus étroites, elles varient entre 3.60 et 3.80 m pour des prospects de 2.35 à 2.22.

IV-2-1-3- Géométrie des placettes :

Les placettes sont des espaces publics non bâtis, desservis par des voies et généralement bordées par des constructions, maisons ou boutiques. Elles sont en générale équipées de mobilier urbain. Ces espaces libres peuvent être affectés aux piétons ou aux véhicules soit à l'intérieur, au centre ou éventuellement à la marge d'une ville.

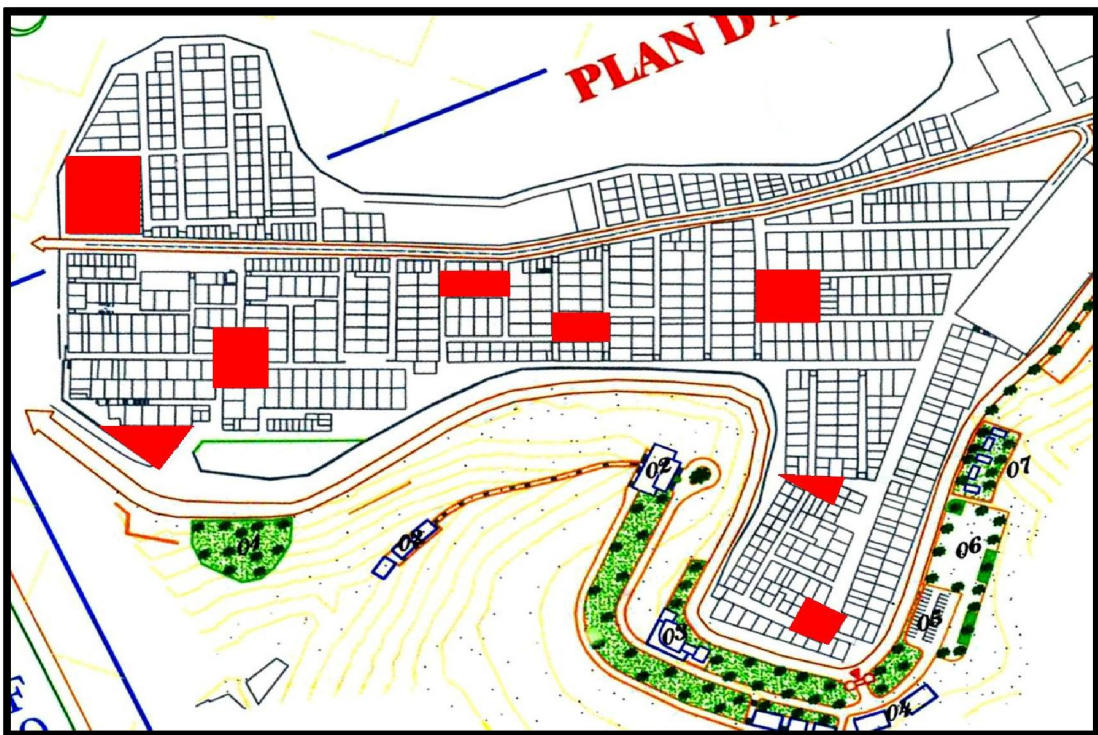


Figure 9 : Différents places et placettes dans la cité de Tafilelt (Source : Auteur, 2013)

La cité de Tafilelt présente huit placettes de différentes formes et dimensions, dont trois sont considérées comme passages mécaniques. On distingue deux placettes situées à la marge de la ville et six autres à l'intérieur (au centre du tissu urbain). À travers notre étude nous avons remarqué, d'une part un manque d'éléments de repères et éléments symboliques, un manque de végétation ainsi qu'une absence de mobilier urbain. D'autre part, l'utilisation de ces placettes en tant que passages mécaniques a changé le rôle principal de ces dernières qui était un espace de détente et de rencontres.



Figure 10 : Transformation d'une place à un passage mécanique sans végétation dans la cité de Tafilelt

(Source : Auteur, 2013)

IV-2-1-4- Ensoleillement :

L'ensoleillement est un facteur majeur dans la variation de la température et le confort thermique extérieur. L'importance du rayonnement solaire reçu sur une surface dépend des trois facteurs :

- L'épaisseur et la qualité de l'atmosphère traversée.
- La durée d'ensoleillement.
- L'inclinaison de ces rayons dont la qualité est influencée par la latitude du lieu et de son relief.

A Ghardaïa, la durée d'insolation est très importante pendant toute l'année et le nombre d'heures d'ensoleillement pour les périodes chaudes dépasse 14 heures par jour. En hiver il est de l'ordre de 9 heures. Le diagramme solaire (figure 11) montre que la trajectoire solaire est plus importante en été (21 Juin jour le plus long de l'année) qu'en hiver (21 décembre, jour le plus court de l'année).

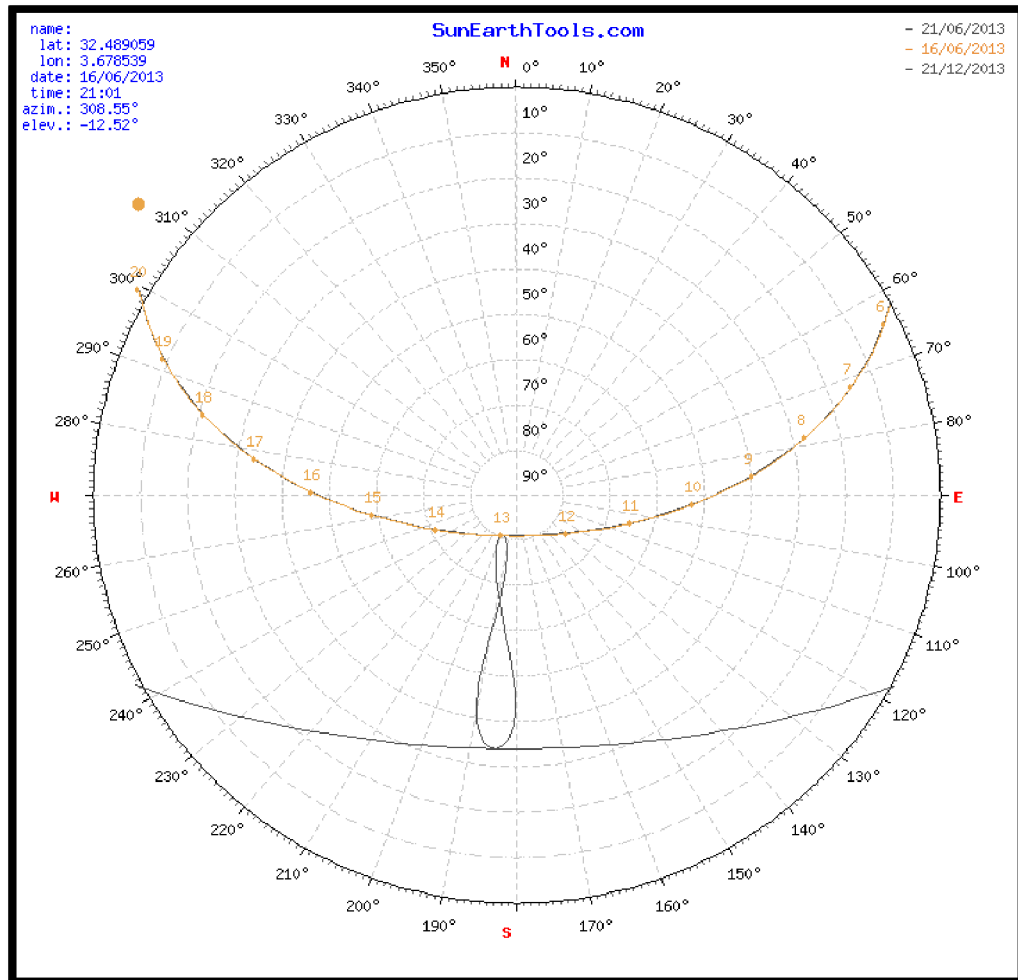


Figure 11 : Diagramme solaire indiquant la trajectoire solaire de Ghardaïa (Source : Sunearthtools.com, 2013)

Les figures ci-dessous (Figures 12, 13, 14, 15) sont réalisées grâce au logiciel du dessin GOOGLE SKETCHUP, une étude d'enseillement sur le site, faite à 9h, 12h, et 16 h, montre la répartition des zones ombrées et les zones ensoleillées ainsi que la durée d'enseillement au niveau des différents espaces extérieurs.

Ces figures nous montrent la quantité de surfaces ombrées par rapport aux surfaces ensoleillées du sol : on remarque qu'à 09h du matin, les surfaces ombrées représentent 31% de la surface totale du sol (généralement sur les rues orientées N-S), avec 69% de surface ensoleillée. De même après midi (à 16h), on remarque que la surface ombrée du sol représente 43% toujours sur les voies orientées N-S, avec 57% de surface ensoleillée du sol. Tandis qu'à midi, cette distribution de l'ombre est totalement différente car on remarque que le pourcentage de l'ombre ne dépasse pas les 10% sur toute la surface horizontale (voir figures 13, 14, 15).

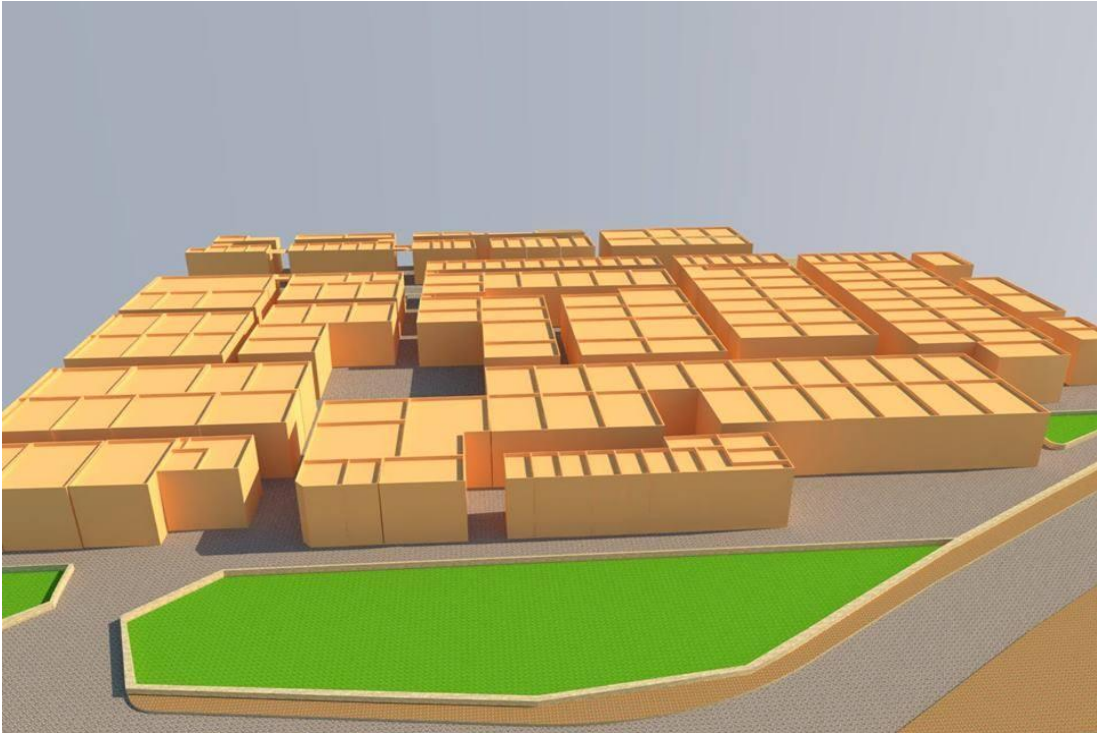


Figure 12 : Etude d'ensoleillement par le logiciel SKETCHUP (15 juin) (Source : SKETCHUP, 2013)

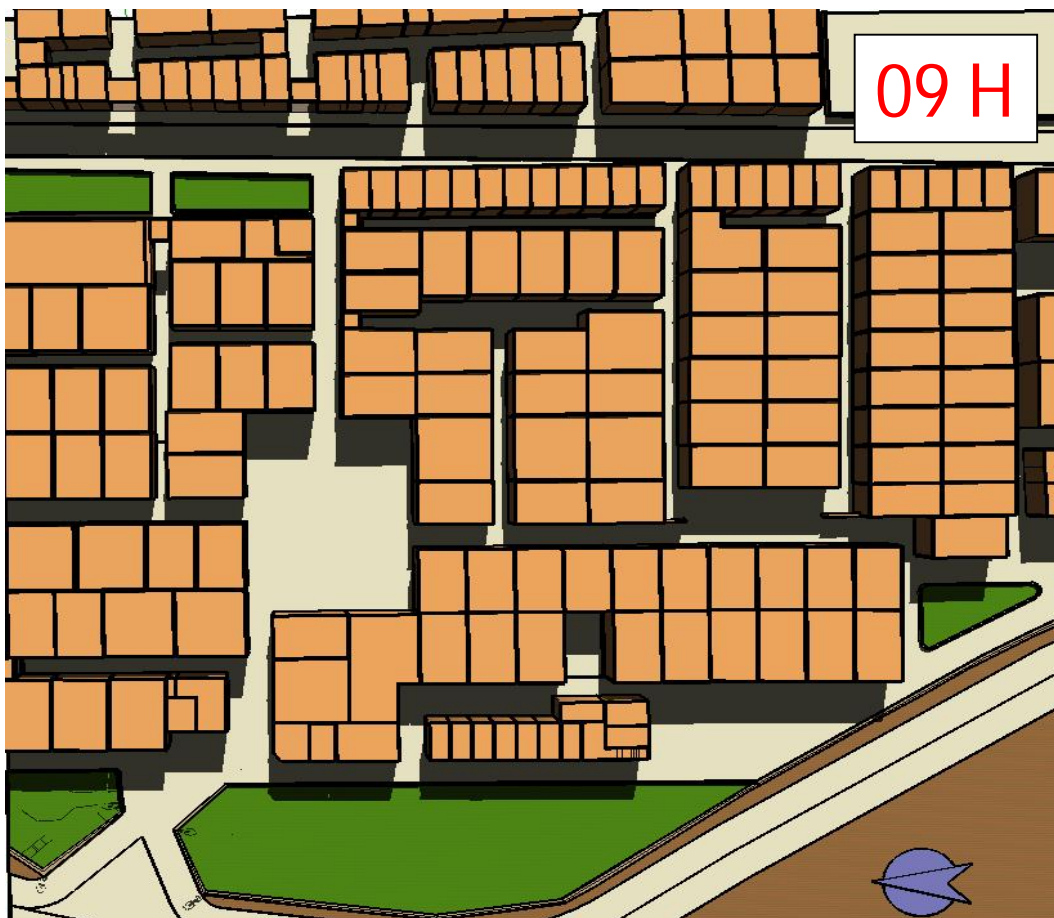


Figure 13 : Etude d'ensoleillement à 9 heures du matin (15 juin) (Source : SKETCHUP, 2013)



Figure 14 : Etude d'ensoleillement à midi (15 juin) (Source : SKETCHUP, 2013)



Figure 15 : Etude d'ensoleillement 16 heures après midi (15 juin) (Source : SKETCHUP, 2013)

L'implantation du site sur un plateau favorise son exposition au soleil, notamment dans sa partie Sud. La géométrie urbaine du ksar permet de créer un effet d'ombre important sur les façades et la chaussée qui ne seront ensoleillées que pendant de très courtes durées quand les rayons solaires touchent directement les axes des canyons. Cet effet désirable en été, rend quelques espaces extérieurs plus fréquentables que d'autres selon la géométrie et l'orientation.

Kitous (2004) indique que les mesures relevées à Ghardaïa montrent les fluctuations de température de l'air diurne qui sont très faibles pour des Ratio de rue compris entre 2.7 et 6.2.

Au regard de ces valeurs de référence, les rues Est-ouest de Tafilelt, dont le prospect est proche de 2.7, peuvent par de petites interventions améliorer leur rapport vis-à-vis des températures des surfaces verticales des façades puisque le principal gain de chaleur de ces dernières provient du rayonnement solaire diffus et réfléchi. Le fort taux de réflexion du rayonnement solaire engendre une surchauffe des parois sud. A l'inverse, les parois horizontales, comme les surfaces des rues larges, sont fortement exposées à l'irradiation solaire directe.

IV-2-1-5- La ventilation naturelle :

A travers notre étude sur site nous voyons que le ksar de Tafilelt, situé sur un plateau surplombant la vallée, est exposé à toutes les directions du vent (figure 16) comparativement à la palmeraie qui en demeure très protégée, en raison de son comportement comme un brise-vent efficace. Dans les anciens ksour, l'association entre la géométrie des rues (prospect élevé, sinuosité et orientation oblique) et la direction des vents influent sur l'atténuation de la vitesse de l'écoulement de l'air, contrairement au ksar de Tafilelt qui par sa situation sur un plateau offre un angle d'attaque des vent dominants (été comme hivers) en parallèle (et même jusqu'à 45°) par rapport aux tracés des rues et leur orientation, ce qui favorise grandement la pénétration des vents, été comme hiver, avec toute la gêne engendrée pour les habitants.

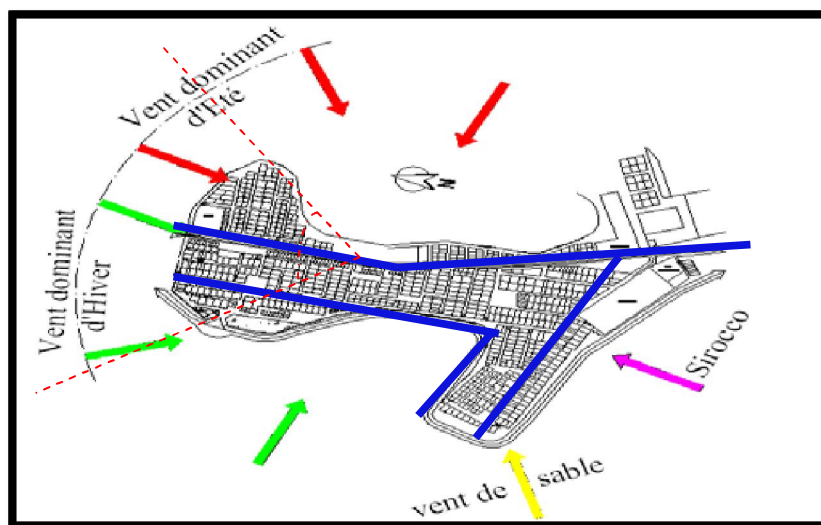


Figure 16 : Le ksar de Tafilelt est soumis à toutes les directions du vent, (Source, Auteur 2013)

IV-2-1-6- Densité végétale

La végétation est l'ensemble des plantes et arbres qui poussent en un lieu donné, elle peut être située dans des endroits chauds tels que des aires de stationnement, des carrefours, ou en rangées le long des rues et caractérisées par plusieurs rôles fondamentaux. Plusieurs études ont mis l'accent sur ce paramètre fondamental du confort thermique extérieur telles que celles de M. Santamouris (2002), Spronken Smith et Oke en 1998, E. Linacre en 2001, Shashua-Bar et Hoffman (2000), Louafi Samira 2013.

La végétation offre un ombrage saisonnier des édifices, fait écran contre les vents, filtre les poussières en suspension. Dans les climats chauds et arides, cette végétalisation des espaces extérieurs permet de guider les déplacements d'air en filtrant les poussières pendant les périodes chaudes et les vents de sable. Les végétaux créent des ombrages sur le sol et les parois, rafraîchissent l'air par évapotranspiration, et permettent de gérer l'habitabilité des espaces extérieurs et protègent les espaces intérieurs des bâtiments.

D'après notre étude et analyse sur site, et selon l'objectif de ce nouveau projet qui est une cité basée sur les exigences bioclimatiques, nous constatons un grand manque de végétation au sein de la cité; en effet, une seule placette est végétalisée dans tous les espaces extérieurs de la cité. Cet espace est considéré, par les habitants, comme le seul refuge contre la chaleur.



Figure 17 : Manque de la végétation au sein la cité Tafilelt (Source : Auteur, 2013)

IV-2-2- ETUDE ARCHITECTURALE:

IV-2-2-1- Matériaux de construction :

L'étude des matériaux de construction a pour objet de définir leur niveau d'adaptation au climat selon les caractéristiques physiques de ces matériaux, leur épaisseur et leurs couleurs. Dans les régions où

les températures diurnes sont importantes, la technique utilisée consiste à retarder le plus longtemps possible l'entrée de la chaleur dans les habitations par la mise en œuvre de matériaux disponibles sur place et à forte inertie thermique tels que l'adobe, le pisé, la pierre et la chaux ou diverses combinaisons de ces matériaux. Ces derniers ont la caractéristique d'absorber la chaleur pendant la journée pour ne la restituer que durant la nuit, au moment où la ventilation naturelle intervient puisque l'air extérieur est relativement frais.

Pour bien intégrer le projet de Tafilelt dans son environnement, l'association AMIDOUL a voulu créer une cité vernaculaire répondant bien aux besoins climatiques, Les matériaux de construction utilisés sont ceux disponibles localement tels que pierre, gypse, palmier, chaux, ce qui ne nécessite au stade de leur production, ni leur transport ni même pour leur mise en œuvre, de dépenses d'énergie excessive qui génère de la pollution néfaste pour la santé et l'environnement.

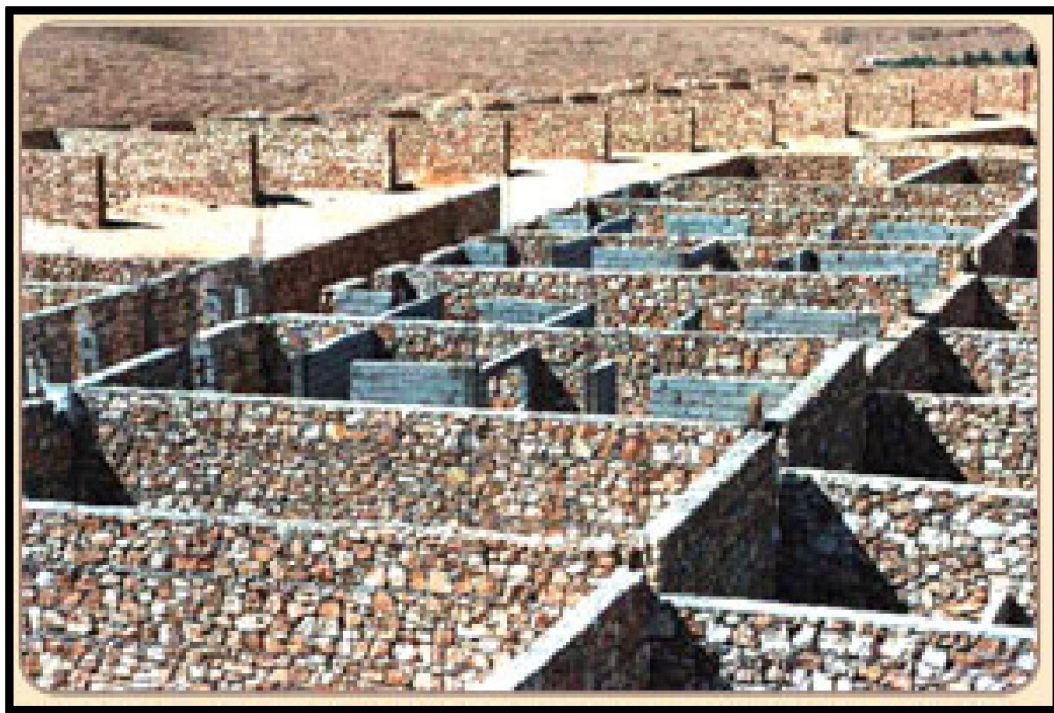


Figure 18 : La pierre locale utilisée pour les murs (Source : www.tafilelt.com, 2013)

Entre les anciens ksour et le Ksar de Tafilelt, le matériau semble un lien fort¹⁰. La pierre est une composante essentielle des constructions mozabites au niveau des murs de façades, elle possède des caractéristiques thermiques importantes notamment (inertie thermique, restitution de la chaleur après

¹⁰ «Nouh Ahmed IN : <http://www.algerie-focus.com/Dr-Ahmed-Nouh>»

stockage, conductivité thermique égale à $1,8 \text{ w/m}^\circ\text{c.2}$)¹¹, elle a l'avantage de capter l'énergie solaire et de l'accumuler pour la restituer plus tard dans la nuit.

Les murs en pierre de 0,45 m d'épaisseur constituent la structure constructive porteuse de la maison ainsi que l'ensemble des murs en façade. Les murs non porteurs sont réalisés en parpaings creux (aggloméré en béton) de 0,15 m d'épaisseur. Quant au revêtement extérieur, les concepteurs et constructeurs du projet se sont inspirés des techniques traditionnelles qui consistent en l'utilisation d'un mortier de chaux qui est un excellent revêtement écologique naturel. Le badigeon à la chaux est une des plus importantes techniques de décoration extérieure mais aussi intérieure. Elle a été supplantée par des revêtements synthétiques modernes qui sont plus durables dans le temps mais qui ne se dégradent pas d'une manière aussi douce, et qui ont un impact néfaste sur la santé des habitants. L'utilisation de branches de palmier permet de rendre la texture de la surface rugueuse pour assurer un ombrage au mur et éviter un réchauffement excessif de la paroi.

L'utilisation de la pierre, associée au mortier de chaux local, représente un matériau lourd à forte inertie thermique, correspondant aux principes de l'architecture bioclimatique et des techniques constructives anciennes. Quant au plancher terrasse, la partie la plus exposée au rayonnement solaire, les matériaux utilisés sont le béton pour la dalle de compression, des poutrelles en béton armé espacées de 0,65 m, et des voûtains de plâtre assurant l'isolation thermique et phonique, d'une part, et un coffrage, d'autre part. Le vide entre la dalle de compression et les voûtains est rempli par un mélange de chaux et de sable. L'isolation partielle utilisée est en matériau naturel local provenant de la récupération des troncs et des branches de palmiers coupés en automne¹².

IV-2-2-2- LES OUVERTURES ET PROTECTIONS SOLAIRES:

Afin de limiter le flux de chaleur, les concepteurs de Tafilelt ont mis au point une forme de protection solaire qui couvre toute la surface de la fenêtre. Pour une meilleure efficacité d'intégration climatique de ces protections solaires, une peinture de couleur blanche y est appliquée.

Néanmoins, compte tenu des températures d'air très élevées en été, un double vitrage est nécessaire pour augmenter l'effet d'isolation contre le flux de chaleur dû au rayonnement solaire¹³. Ce double vitrage peut diminuer environ 50% des charges totales des locaux climatisés (Bougriou C, 2000). En effet, les concepteur de Tafilelt, et afin d'assurer un éclairage naturel dans les espaces créés, ont dû augmenter les dimensions d'ouvertures, passant de 0.30 x 0.70 cm dans les anciens ksour à

¹¹ « Guide pratique pour la construction et la rénovation durables de petits bâtiments, janvier 2008 »

¹² « Chabi M & Dahli M, le ksar de Tafilelt dans la vallée du Mزاب, une expérience urbaine entre tradition et modernité.2011 »

¹³ « Une nouvelle ville saharienne Sur les traces de l'architecture traditionnelle, 2010 »

0.50 x 0.80 cm pour les chambres et 0.40 x 0.80 cm pour la cuisine et un porte-fenêtre donnant sur la cour pour les séjours. Mais afin de limiter le flux de chaleur, dû au rayonnement solaire pénétrant à travers les ouvertures orientées au sud, les concepteurs de Tafilelt ont mis au point une forme de protection solaire de couleur blanche qui couvre toute la surface de la fenêtre tout en assurant l'éclairage naturel à travers des orifices, une typologie comparable aux moucharabiehs des maisons musulmanes érigées en climat chaud et sec.



Figure 19: Type de fenêtres et de protection solaire au sein de la cité Tafilelt (Source : Tafilelt.com, 2013)

IV-2-2-3- COULEURS UTILISEES:

Les matériaux de construction utilisés dans les villes sont caractérisés par diverses couleurs qui déterminent l'albédo de la ville. L'augmentation de l'albédo a un impact direct sur le bilan énergétique d'un bâtiment. D'importants changements sur l'albédo urbain peuvent avoir d'importants effets indirects sur l'échelle de la ville (M Santamouris 2002). Plusieurs études ont été réalisées pour évaluer les effets directs du changement d'albédo sur le confort thermique extérieur, on peut citer Limor Shashua-Bar(2012), Haider Taha (1997), et M. Santamouris (2002).

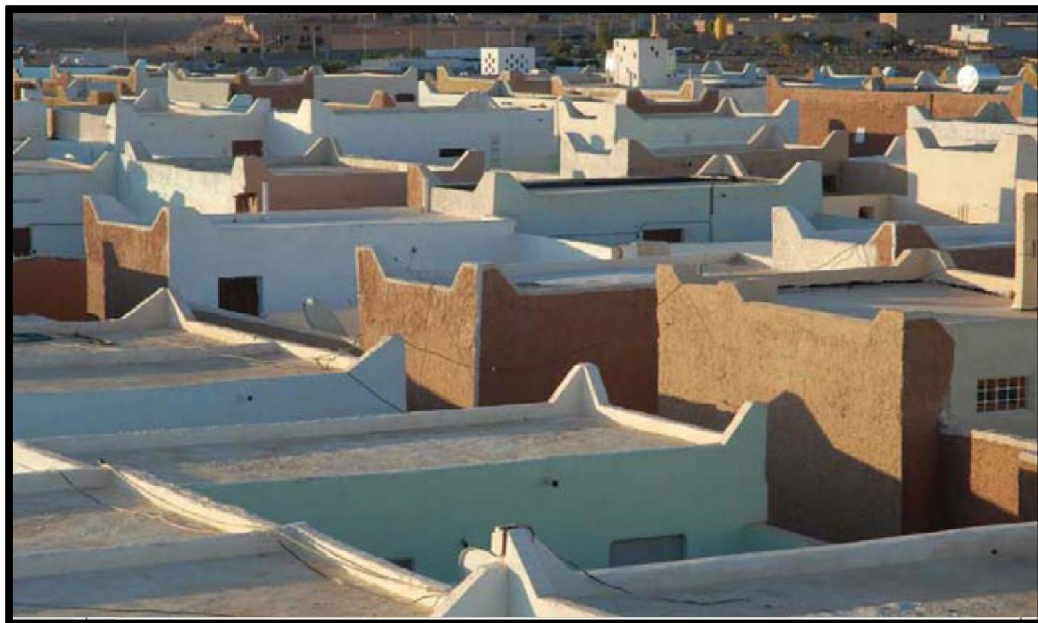


Figure 20 : vue générale sur les toitures terrasses de Tafilelt, (Source : Auteur, 2013)

L'importance de ce paramètre consiste en son rapport direct avec la quantité d'énergie réfléchiée et par conséquent dans le degré d'échauffement des surfaces et de l'air. Le tableau ci-dessous démontre les différentes valeurs de l'albédo pour les couleurs utilisées sur les toitures terrasses et les murs. On remarque trois couleurs qui caractérisent l'environnement urbain du site, à savoir le beige pour les façades, le blanc pour les toitures et le gris pour la chaussée à travers lesquelles, différentes valeurs de l'albédo ont été déduites.

TABLEAU 1 : Différentes valeurs de l'albédo, (Source : tpeffetdeserre.jimdo.com, 2013)

Objets	Revêtement	Couleurs	Albédo
Toiture	Peinture	Blanc	0.90
Façades	Peinture	Beige	0.50
Chaussée	Asphalte	Noir (gris)	0.05



Figure 21: Vue sur les espaces extérieurs à Tafilelt (Source : www.tafilelt.com, 2012)

IV-2-2-4- LES SYMBOLES TRADITIONNELS :

La nouvelle cité de Tafilelt est structurée en référence aux anciens ksour d'éléments de repère et à forte valeur symbolique mais souvent adaptés aux besoins de la société actuelle. Ces éléments de repère ou à forte valeur symbolique sont les puits traditionnelles mozabites, le minaret et la tour de gué qui sont des éléments repris dans leur aspect typo-morphologique, mais avec des fonctions adaptées au monde contemporain, nous citons à titre d'exemple la tour de gué qui abrite les bureaux de l'association «AMIDOUL» initiatrice du projet.



Figure 22 : La tour de guet et le puits mozabite au sein de la cite Tafilelt, (Source : www.tafilelt.com, 2013)

IV-2-3- ETUDE SOCIOLOGIQUE:

La doctrine ibadite qui est à l'origine de la création de ses villes mozabites, façonne la culture et le mode de vie de cette société (Ravereau A. 1982). La religion pour les Mozabites, et les conditions de sécurité et climatiques sont les principaux piliers de la société (Moussaoui A. 2006).

A partir de cette idéologie mozabite, le projet « Ksar Tafilalet » sera une expérience sociale très particulière, c'est une cité pour toutes les couches sociales, qui s'appuie sur la proposition d'un environnement rationnel du bâtiment, l'implication de l'homme dans la mise en œuvre de son foyer, et l'interprétation consciente de l'héritage architectural ancien. Ahmed Nouh, le fondateur de la fondation AMIDOUL, parle de ce sujet : « *Au début, c'était une utopie. Personne n'y croyait qui aurait pu*

croire qu'une colline rocailleuse pouvait se transformer en «une cité idéale» qui reflète l'héritage culturel et architectural de la région et qui propose un environnement rationnel de l'habitat en impliquant les institutions sociales traditionnelles ». Ahmed Nough poursuit à ce sujet : «Notre objectif est de rendre le logement à la portée de tout le monde. Toutefois, nous ne voulions pas voir pousser dans notre vallée des cités dortoirs ou des ghettos comme c'est le cas dans le nord, l'habitant est un citoyen qui a des droits et des devoirs. Et pour bénéficier d'un logement dans cette cité, il faut s'engager à planter un arbre sauvage, un palmier et un arbre fruitier. Ces arbres il faut les entretenir et les irriguer. Les maisons sont regroupées en îlots. Et dans chaque îlot, une famille assume pendant une semaine la prise en charge de la propreté des lieux. De cette manière, chaque résident est sensibilisé quant à l'importance de l'hygiène publique. A Tafilelt, pas besoin des policiers ou des gendarmes pour résoudre des problèmes de voisinage. Les médiateurs de la cité interviennent pour réconcilier les habitants et assurent un climat visible»¹⁴. Malgré la référence aux principes traditionnels et la représentation des mêmes espaces, le ksar de Tafilelt offre une vision sociale très contemporaine et moderne par l'intégration de l'automobile, selon une gestion appropriée, pour éviter l'inconfort sonore ou la pollution. L'intégration de la cour est un fait nouveau dans la typologie ksourienne pour créer des liens sociaux entre les voisins ainsi que pour augmenter la lumière naturelle dans les espaces bâtis.

IV-3- METHODOLOGIE DU TRAVAIL:

IV-3-1-APPAREILS SCIENTIFIQUES DE MESURES:

Pour le déroulement de l'investigation, on a opté pour l'utilisation de deux instruments de mesures : **DELTA OHN -HD32.3-** qui permettent de mesurer la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse des vents, ainsi que de mesurer sur terrain l'indice de confort thermique PMV. Cet instrument, produit par la société ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers INC) est capable de relever simultanément les paramètres suivants :

- Température de thermomètre globe Tg avec la sonde TP3276.2 ou (TP3775).
- Température de bulbe humide à ventilation naturelle Tn avec la sonde HP3201.2.
- Température ambiante T avec la sonde TP3207.2.
- Humidité relative RH et température ambiante T avec la sonde HP3217.2.
- Vitesse de l'air Va avec la sonde AP3203.2 ou (AP3203).

¹⁴ « <http://www.algerie-focus.com/blog/2013/07/tafilelt> »

Sur la base de ces paramètres, l'instrument HD32.3 est capable de calculer les indices suivants:

- Avec les sondes TP3207R.2, HP3276.2 et HP3201.2 :
 - Indice WBGT (in) (Wet Bulb Glob Température: température au thermomètre globe humide) en l'absence de rayonnement solaire.
 - Indice WBGT (out) (Wet Bulb Glob Température: température au thermomètre globe humide) en présence de rayonnement solaire.
- Avec les sondes TP3217.2, HP3276.2, et AP3203.2 :
 - Température moyenne radiante Tr.
 - Indice PMV (Predicted Mean Vote: Vote Moyen Prévisible).
 - Indice PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied: Pourcentage Prévisible d'Insatisfaits).¹⁵

Dans notre cas d'étude, nous avons utilisé cet instrument pour analyser cet espace extérieur au moyen de l'indice **PMV** (Predicted Mean Vote ou Vote Moyen Prévisible), qui nécessite de le configurer par des données de base telles que la charge de travail (METABOLISME) et les caractéristiques thermiques des vêtements (CLOTHING). Les **sondes** nécessaires pour la mesure du **PMV** sont:

- Sonde combinée température et humidité relative **HP3217.2**.
- Sonde à fil chaud omnidirectionnel **AP3203.2**.
- Sonde thermomètre globe **TP3276.2**.

¹⁵ « Guide pratique manuelle d'utilisation DELTA OHN -HD32.3 »

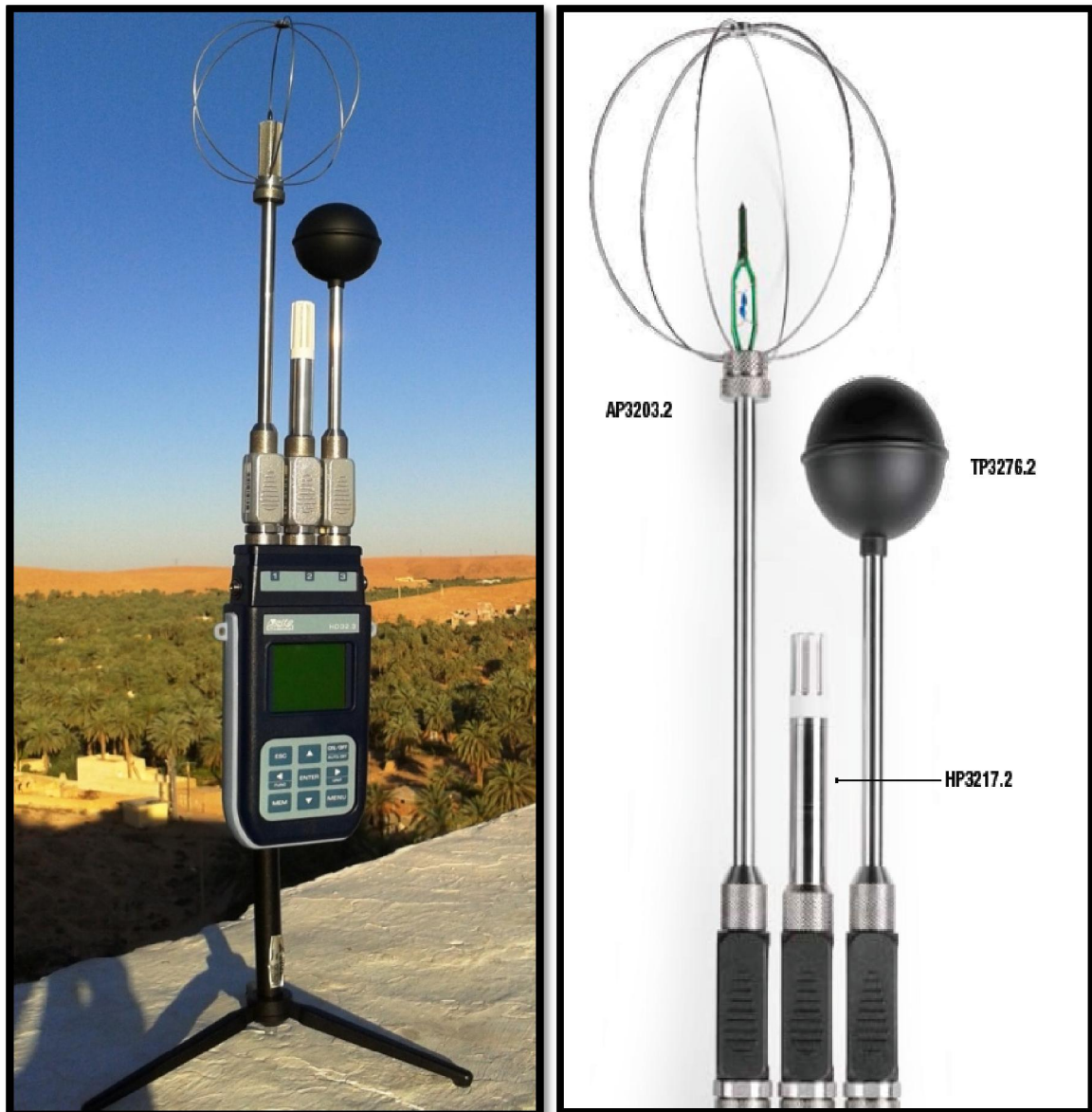


Figure 23 : Appareil de mesure DELTA OHN -HD32.3- et sondes de mesures (Source : Auteur, 2013)

La figure ci-dessous (figure 24) nous montre un exemple d'impression immédiate des données du PMV, obtenue avec l'imprimante HD40.1.

<pre> ===== ISO 7730 PMV Index ===== Model HD32.3 WBGT - PMV Firm.Ver.=01.00 Firm.Date=2008/12/05 SN=12345678 ID=0000000000000000 Probe ch.1 description Type: Hot wire Data cal.:2008/10/15 Serial N.:08109460 Probe ch.2 description Type: Pt100 Tg 50 Data cal.:2008/10/01 Serial N.:08109452 Probe ch.3 description Type: RH Data cal.:2008/10/15 Serial N.:08109464 ===== Date=2008/11/21 15:00:00 Va 0.00 m/s Tg 22.0 °C Ta 22.0 °C RH 39.1 % MET 1.20 CLO 1.00 PMV 0.10 PPD 5.10 % ===== </pre>	<p>NOTES</p> <p>Norme de référence</p> <p>Modèle de l'instrument Version du firmware de l'instrument Date du firmware de l'instrument Numéro de Série de l'instrument Code d'identification</p> <p>Description de la sonde branchée à l'entrée 1</p> <p>Description de la sonde branchée à l'entrée 2</p> <p>Description de la sonde branchée à l'entrée 3</p> <p>Date et heure Vitesse de l'air Température de thermomètre globe Température de bulbe sec Humidité relative Activité métabolique Résistance des vêtements PMV – Vote Moyen Prévisible PPD – Pourcentage Prévisible d'Insatisfaits</p>
--	--

Figure 24 : exemple d'impression des données de l'instrument HD32.3 (Source : Guide d'utilisation HD32.3, 2013). Un deuxième appareil est utilisé pour la confirmation des premiers résultats, c'est le multimètre qui calcule la température de l'air, l'humidité relative et la vitesse des vents. La figure ci-dessous nous montre le multimètre qui est un appareil de mesure pluridisciplinaire.



Figure 25 : Appareil de mesure Multimètre (Source : Auteur, 2013)

IV-3-2- CHOIX DES STATION DE MESURES:

Dans cette phase de la recherche, nous avons opté pour mesurer in situ les différentes placettes et les canyons urbains. Notre choix était basé sur un parcours qui traverse plusieurs canyons urbains à différentes orientations et différentes dimensions, ainsi que des placettes à différents dimensions. Le terrain d'investigation est un site relativement plat sous forme de plateau, situé à coté de Beni-Isguen. L'importance de ce critère consiste à négliger l'impact du relief au sein du site, sachant qu'en gagnant de l'altitude, la température baisse en moyenne de $1,6^{\circ}$ C à chaque palier de 300 mètres¹⁶.

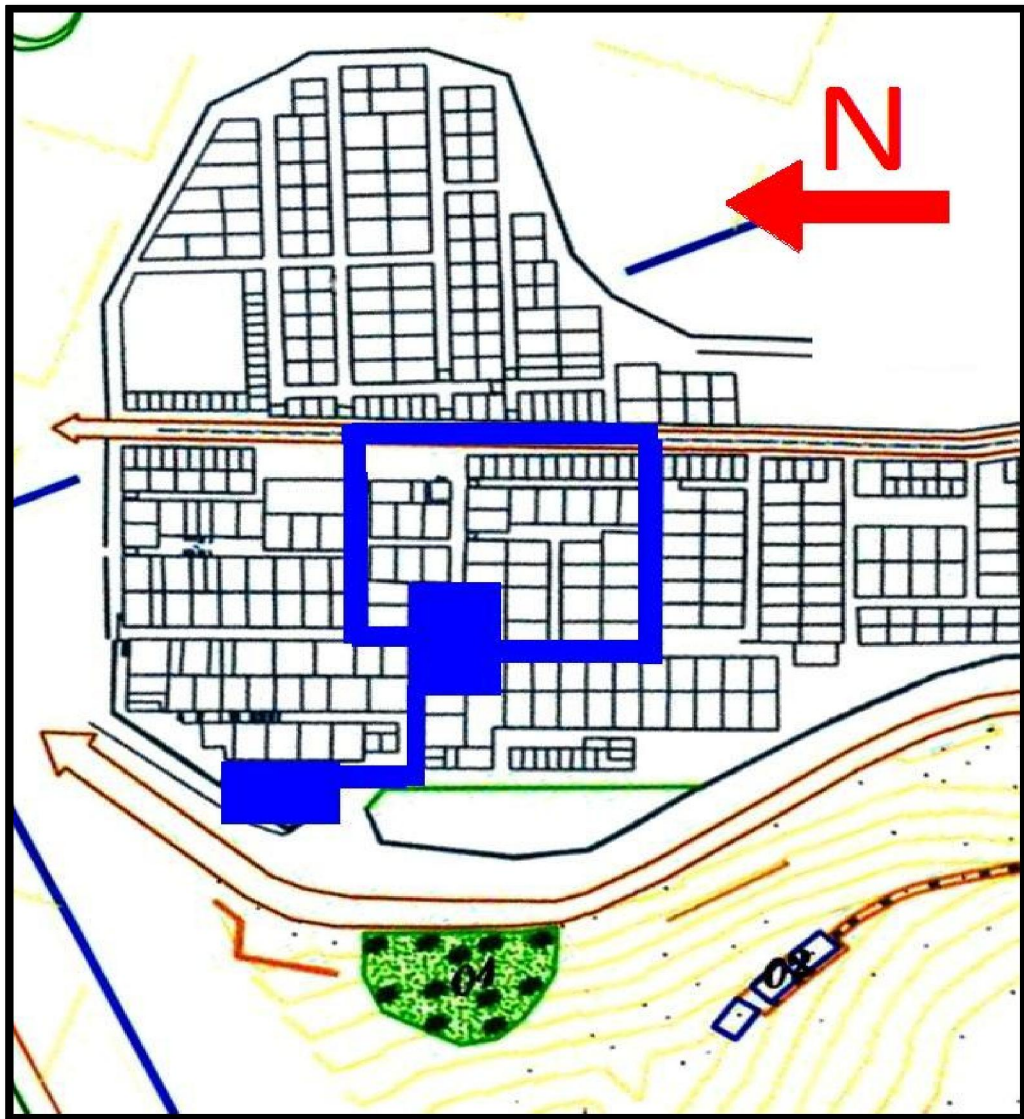


Figure 26 : Le parcours choisi pour la campagne de mesures (Source, Auteur, 2013)

¹⁶ «<http://www.météoal'oeil.com>»

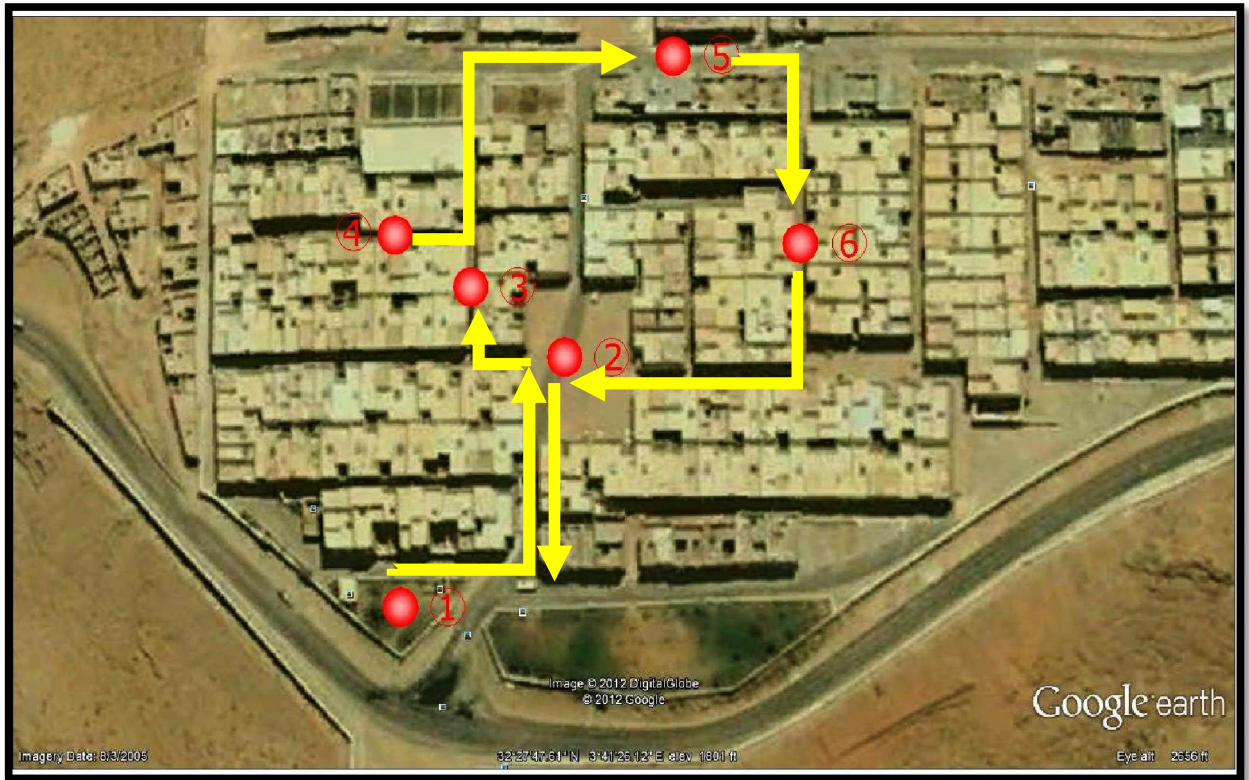


Figure 27 : Les différentes stations de mesures (Source: Google earth, Auteur, 2013)

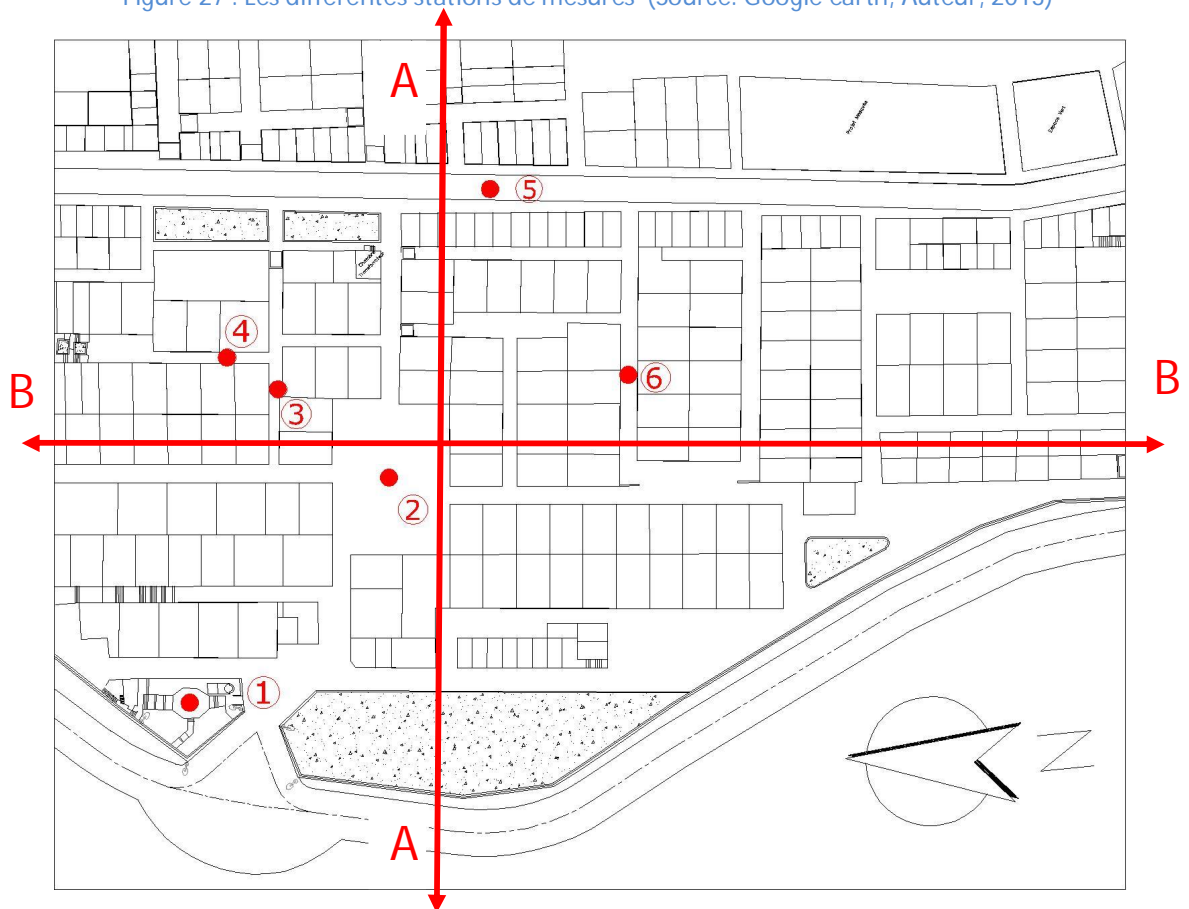
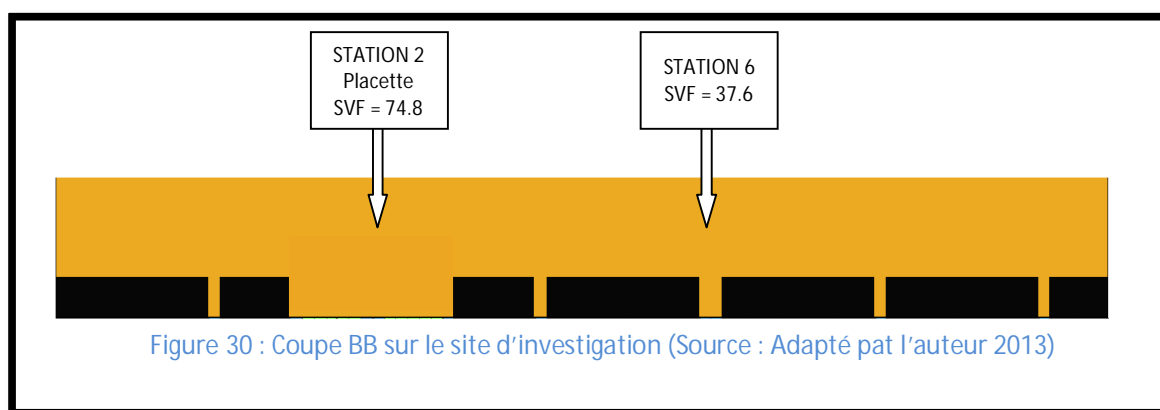
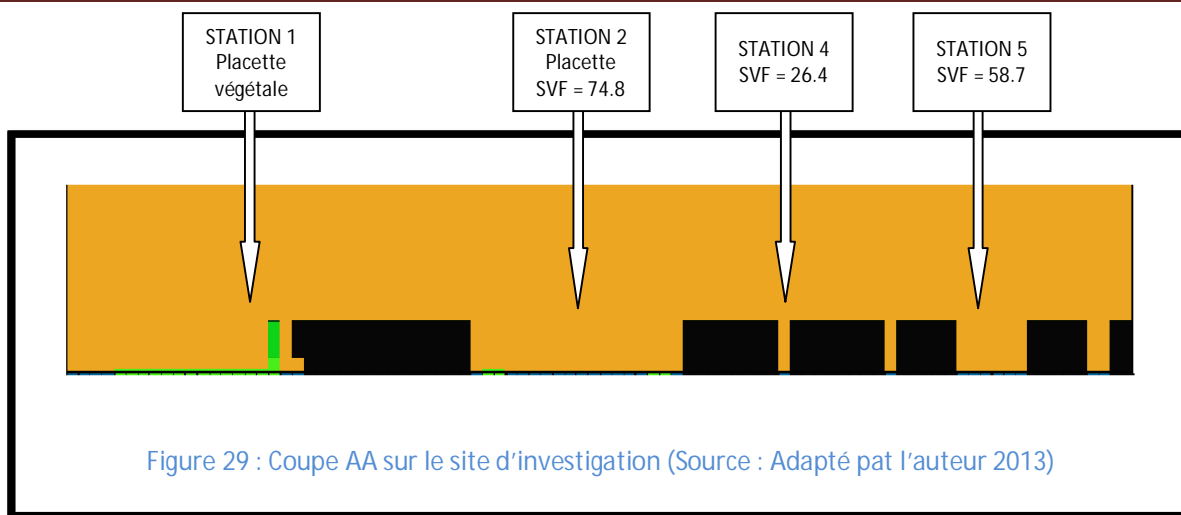




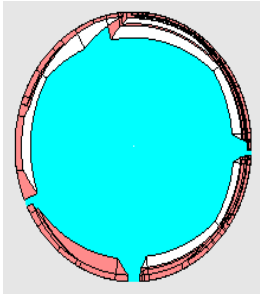

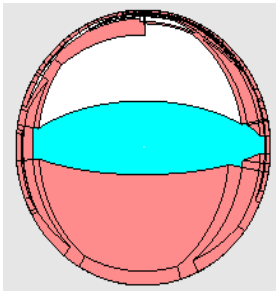
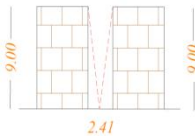

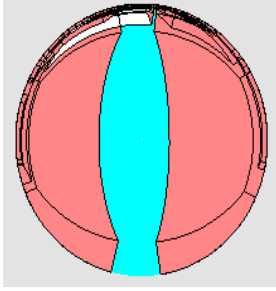
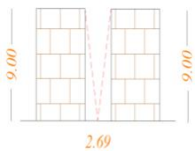

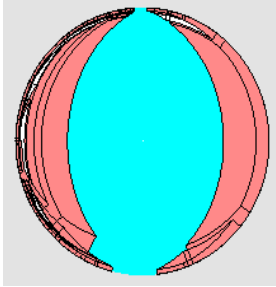
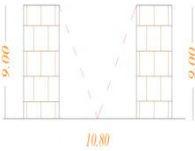
Figure 28 : Différentes stations de mesures (Source: Auteur, 2013)


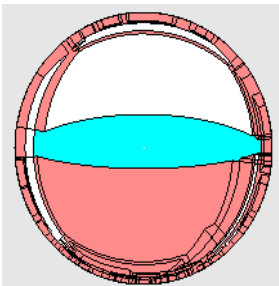
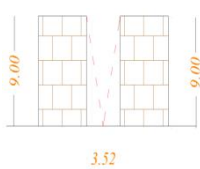


Les critères qui ont été retenus pour choisir les stations de mesure sont l'orientation, le ratio (H/L), la couleur et l'albédo, l'absence de végétation, les matériaux de construction.

Tous ces critères mettront en évidence notre choix des stations de mesure. Le tableau ci-dessous les montre en détail : [Tableau 2 : Photos et détails géométriques des 06 stations de mesure \(Source: Auteur, 2013\)](#)

N	PHOTOS GENERALE	CARACTERISTIQUE	SVF	Ratio H/L
1		Placette destinée aux habitants. Elle est considérée comme le poumon de la cité parce qu'elle est le seul point avec une végétation.	SVF= 0.88	-

<p>2</p>		<p>Placette plus large que la première, elle sert de passage aux véhicules, la chaussée est totalement en béton et en bitume.</p>	 <p>SVF= 74.8</p>	<p>-</p>
<p>3</p>		<p>Canyon urbain piéton, orienté EST-OUEST, caractérisé par son ratio H /L = 3.75, et SVF = 24.1, le revêtement sol est en pierre et béton.</p>	 <p>SVF= 24.1</p>	<p>H/L = 3.75</p> 
<p>4</p>		<p>Canyon destiné aux piétons, il a les mêmes caractéristiques que la station 03, hormis son orientation (NORD – SUD).</p>	 <p>SVF= 26.4</p>	<p>H/L = 3.40</p> 
<p>5</p>		<p>Rue mécanique en bitume, elle a la même orientation que la station 04 mais son rapport H/L différent (0.78).</p>	 <p>SVF= 58.7</p>	<p>H/L = 0.78</p> 

6		<p>Canyon urbain piéton, orienté EST-OUEST, caractérisé par son ratio $H/L = 2.22$, et $SVF =$ 37.6, le sol est en sable.</p>	 <p style="text-align: center;">$SVF= 37.6$</p>	<p>$H/L = 2.22$</p> 
----------	---	--	--	--

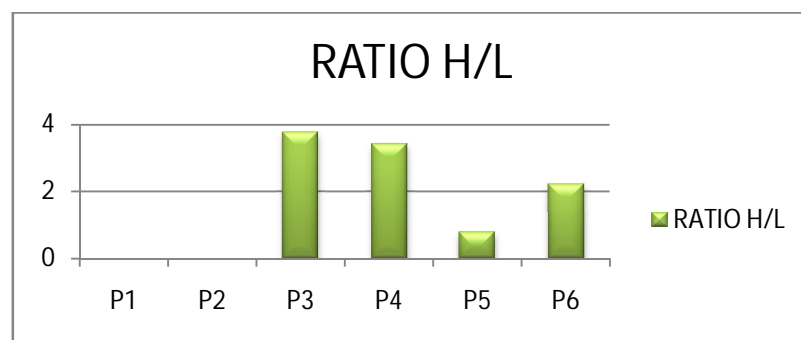


Figure 31 : La différence dans le Ratio (H/L) des six stations de mesure (Source: Auteur, 2013)

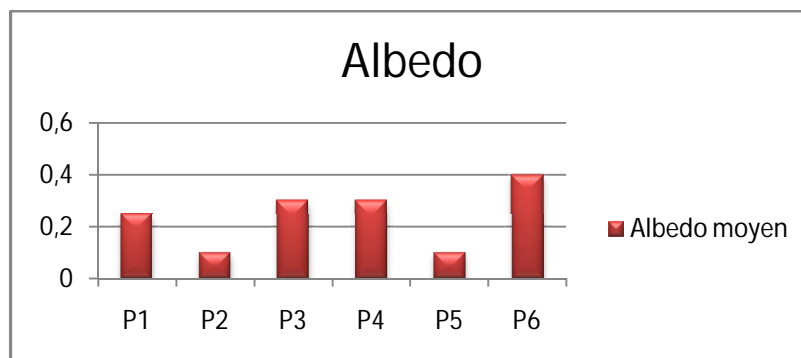


Figure 32 : La différence dans la valeur de l'ALBEDO des six stations de mesure (Source: Auteur, 2013)

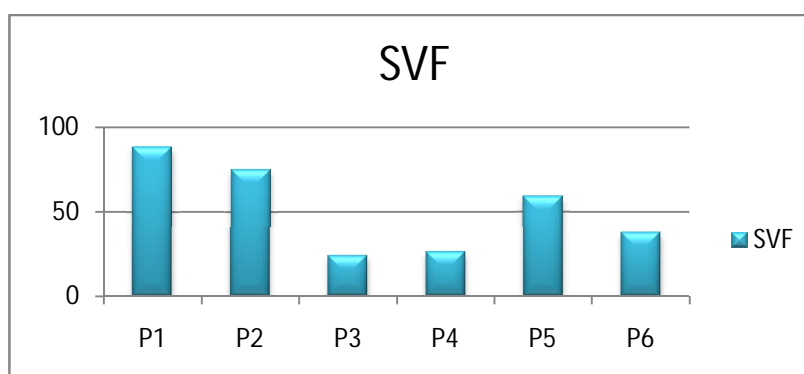


Figure 33 : La différence dans le SFV des six stations de mesure (Source: Auteur, 2013)

Tableau 3 : Caractéristiques physiques des six stations de mesure (Source : Auteur, 2013)

N	Orientation	Couleur des parois	Albédo des parois	Nature du sol	Albédo du sol
1	PLACETTE	BEIGE	0.50	SOL NATUREL	0.25
2	PLACETTE	BEIGE	0.50	ASPHALTE	0.05
3	EST-OUEST	BEIGE	0.50	SABLE+PIERRE NATURELLE	0.50
4	NORD – SUD	BEIGE	0.50	SABLE+PIERRE NATURELLE	0.50
5	NORD – SUD	BEIGE	0.50	ASPHALTE	0.05
6	EST-OUEST	BEIGE	0.50	SABLE	0.50

IV-3-3-CHOIX DE LA PERIODE DE MESURE :

Pour connaître l'habitabilité (nombre d'heures de confort thermique par jour), on a utilisé une méthodologie de calcul horaire du PMV et de TB à partir de 6h jusqu'à 19h, c'est-à-dire une durée de 13 heures à partir du lever du soleil jusqu'au coucher du soleil. Cette phase s'étale sur trois jours successifs (13, 14, 15 juin 2013).

Malgré de légères différences de température entre les trois jours d'échantillonnage, la journée du 14 juin a été un peu plus chaude, ce qui a permis d'utiliser les données de cette journée typique dans cette recherche parce qu'elle présente le cas le plus délicat par rapport aux 13 et 15 juin 2013.

IV-3-4-CHOIX DE LA METHODE DU TRAVAIL :

Le volet pratique de ce travail sur site comporte une campagne de mesures avec un questionnaire qui devra faire ressortir l'importance de la conception urbaine vis-à-vis du bien être de l'utilisateur, afin d'évaluer l'impact de la morphologie urbaine sur le confort thermique extérieur.

Les indices du confort thermique présentent un outil d'évaluation de l'environnement thermique (Spagnola et Dear, 2003), ils ne permettent pas d'obtenir des réponses précises à une situation de confort en extérieur, mais plutôt d'évaluer une conception d'aménagement extérieur. L'indice de PMV a déjà été utilisé par des études à l'échelle extérieure, il sera choisi dans le cas de notre étude, afin de comparer ses résultats avec les résultats du TB (BUDJET) obtenus par la méthode COMFA.

- **LA METHODE D'HABITABILITE (Habitability Method) :**

Le mot habitabilité est utilisé la premier fois par GEDDIE en 1968, pour indiquer la qualité de ce qui est plus ou moins adapté à recevoir des personnes (pour notre cas, c'est l'espace public extérieur), cette méthode désigne les conditions minimales acceptables pour qu'un endroit puisse être habitable en raison des conditions favorables qu'on y rencontre.

L'évaluation de cette méthode d'habitabilité est basée sur la détermination du nombre d'heures utiles de confort thermique qui peut être apprécié par les personnes engagées dans différentes activités dans les espaces publics extérieurs. Elle peut aider les chercheurs à proposer des modifications sur cette espace public afin d'augmenter le nombre d'heures de confort thermique par jour.¹⁷

L'application de cette méthode nous permet l'évaluation et la comparaison entre deux indices de confort thermique : le **PMV** et le **TB (BUDJET)**. Elle nous permet d'évaluer les espaces publics extérieurs et consiste à prendre des mesures horaires sur terrain, afin de minimiser le nombre d'heures d'inconfort thermique.

- **PMV:**

Pour calculer l'indice du confort thermique PMV (predicted mean vote), plusieurs méthodes peuvent être utilisées (Simulation numérique et mesures in-situ). Dans cette phase de recherche, on a choisi d'utiliser des appareils scientifiques de mesure (DELTA OHN) comme moyen de calcul de l'indice du confort thermique PMV.

- **BUDJET (bilan énergétique):**

Pour calculer le BUDJET énergétique, on a choisi une méthode mathématique qui s'appelle la méthode COMFA (**COM**fort **F**ormula), proposée par ROBERD D. BROWN (1995) sous forme d'équations avec un programme numérique **BASIC** (VOIR ANNEXE A)¹⁸.

Pour arriver à travailler avec la méthode COMFA, une traduction de ses programmes **BASIC** sous forme numérique est obligatoire, cela afin d'obtenir deux programmes de calculs numériques : le premier est destiné à calculer **Rabs (rayonnement solaire et terrestre absorbé par une personne)**

¹⁷ Echave C, Cuchi A, Habitability method analysis in urban spaces, PLEA the 21 conference on passive and low energy architecture, Endhoven, Holand, 2004.

¹⁸ Robert d brown, terry gillespie, microclimatic landscape design, jhon wiley & sons, 1995. Appendix a

(VOIR ANNEXE A), le deuxième est destiné à calculer **BUDJET** (VOIR ANNEXE A), dont on a choisi d'utiliser un logiciel mathématique comme **MATLAB** ou **DELFI** qui peuvent être compatibles avec le langage **BASIC** (VOIR ANNEXE A) :

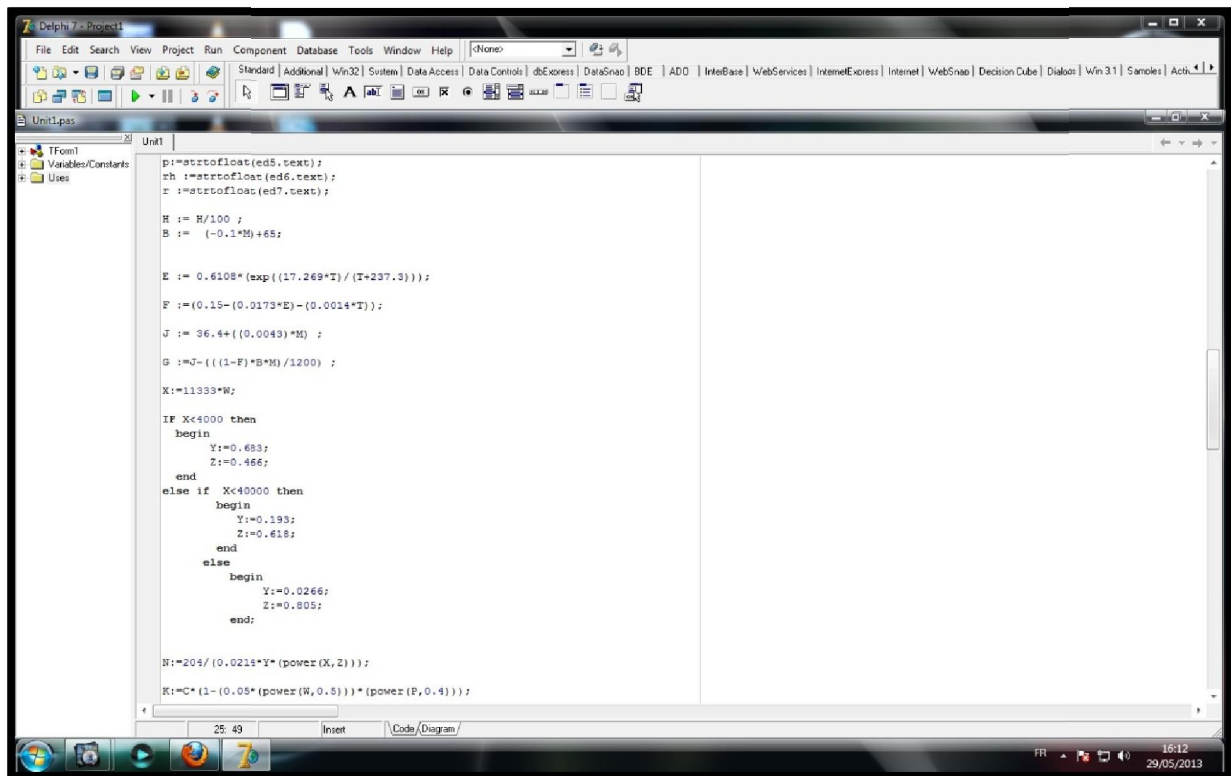


Figure 34 : Configuration du logiciel DELFI 7 pour BUDJET (Source: Auteur, 2013)

La figure 34 et 35 nous montre la configuration du logiciel **DELFI 7** pour calculer **BUDJET** et obtenir un programme de calcul (voir figure 34 et 35):



Figure 35 : Programme de calcul de BUDJET (Source: Auteur, 2013)

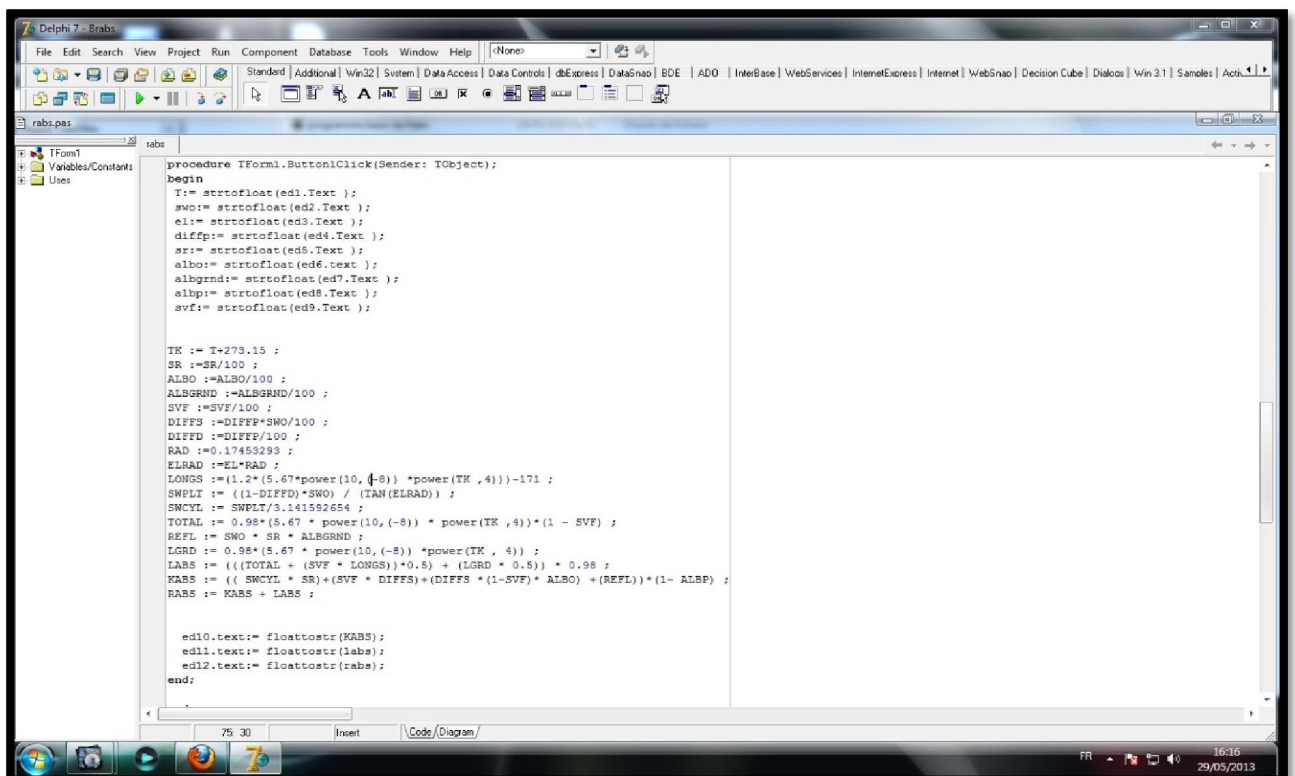


Figure 36: Configuration du logiciel DELFI 7 pour Rabs (Source: Auteur, 2013)

La figure 36 montre la Configuration du logiciel **DELFI 7** pour calculer **Rabs** et obtenir un programme de calcul (**voir figure 37**):

The screenshot shows a software window titled 'Form1' with the following fields:

- AIR TEMPERATURE (C):
- MEASURED SOLAR RADIATION IN THE OPEN (w / m2):
- SOLAR ELEVATION:
- DIFFUSE AS % OF MEASURED SOLAR RADIATION:
- TRANSMISSIVITY OF OBJECT(S) BETWEEN PERSON AND SUN:
- ALBEDO OF OBJECT(S) IN THE SKY HEMISPHERE (%):
- ALBEDO OF GROUND:
- ALBEDO OF TEST PERSON:
- SKY VIEW FACTOR (%):

Below these fields is a 'CALCUL' button and three output fields:

- * SOLAR RADIATION ABSORBED BY A PERSON (w / m2):
- TERRESTRIAL RADIATION ABSORBED BY A PERSON (w / m2):
- (RADIATION ABSORBED BY A PERSON (RIABS)) (w / m2):

Figure 37 : Programme de calcul de Rabs (Source: Auteur, 2013)

IV-4-RESULTATS ET DISCUSSION :

L’analyse des résultats de mesures obtenues sur site nous permet la vérification des conclusions de nombreux travaux de recherches sur les espaces publics extérieurs tels que ceux de Oke (2002), Santamouris 2002, ainsi que les études menées par d’autres chercheurs sur les régions à climat chaud et aride comme Bourbia & Awbi en 2004 et Fazia Ali-Toudert en 2005.

IV-4-1-Température de l’air :

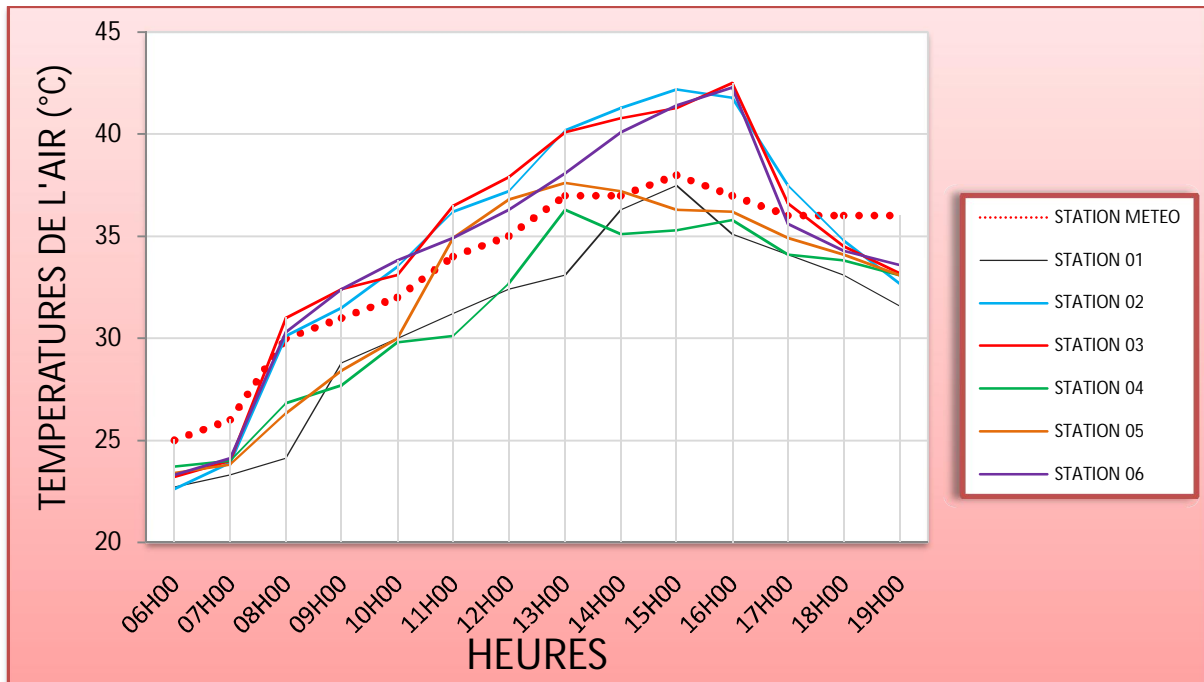


Figure 38 : Variation de la température de l’air durant la période de mesure pour l’ensemble des stations en comparant avec la station météo (14 juin2013) (Source: Auteur, 2013)

Cette figure (figure 38) montre la comparaison entre les températures de l'air des stations de mesure par rapport à la station météo. D'après le chercheur Oke en 2002, la température en ville est plus élevée que dans les zones périphériques (zones rurales, banlieue...) ¹⁹. Contrairement à cette conclusion, notre cas d'étude qui est situé dans une région à climat chaud et aride échappe à cette conclusion du fait que la température de l'air au niveau de quelques stations de mesure est plus basse que celle de la température de référence mesurée par les services de la météo. Cela est dû essentiellement aux paramètres morphologiques de l'espace qui fait l'objet d'étude (orientation, SVF, végétation, albédo).

Durant la période de mesure qui a duré 13 heures (de 06 h jusqu'à 19h), les températures enregistrées sur les six stations de mesures étaient différentes. Au début de la journée, on remarque une légère différence de température entre les six stations de mesure et qui sont proches de la température météo.

Après midi, les valeurs s'écartent à cause de l'augmentation de la température surfacique des surfaces exposées au soleil, affectant par la suite la température de l'air durant une longue durée de la journée. Cela est dû essentiellement à l'orientation et au SVF (de l'ordre de 74.8 pour S2 et 58.7 pour S5), ainsi qu'à la nature des matériaux de revêtement en asphalte pour le S5 et S2 et en pierre naturelle pour les autres stations pour lesquelles on trouve des valeurs les plus élevées de la température de l'air au niveau des stations 3 et 6 qui sont orientées Est-Ouest (arrivant jusqu'à 42.5° C) tandis que les valeurs les moins élevées de la température de l'air sont enregistrées au niveau des stations 4 et 5 qui représentent une orientation Nord-Sud.

La figure 38 nous montre donc que les températures de l'air les plus élevées durant toute la journée sont enregistrées au niveau des stations 2, 3 et 6, arrivant jusqu'à 42.5° C à 16h, tandis que les valeurs les moins élevées sont celles des stations 1, 4 et 5. Ceci s'explique par l'importante durée d'insolation sur les surface directement exposées au soleil qui engendrent un stockage consistant de la chaleur pendant la journée et qui contribuent fortement une surchauffe de l'air, principalement parce que la durée d'exposition aux rayonnements solaires est beaucoup plus faible dans l'orientation Nord-Sud que dans l'orientation Est-Ouest (Bourbia et Awbi 2004), ainsi que la valeur du SVF qui est très grande dans la station 2 (SVF = 74.8) par rapport aux stations 1 et 4 et 5 (Ali Toudert 2005). Les figures 39, 40, 41, 42, et 43 nous montrent le parcours et la durée d'exposition solaires ainsi que le facteur de vue du ciel des six stations de mesure. Le facteur d'ouverture ou de visibilité du ciel est

¹⁹ <http://www.meteocentre.com>

défini comme étant la portion du ciel vue à partir d'un point précis²⁰. Ce facteur peut être calculé par une méthode géométrique adoptée par Jean Louis Izard (2000) dans sa recherche sur le microclimat des formes urbaines. Dans notre cas d'étude, nous avons procédé au calcul du SVF au niveau des 6 stations de mesure au moyen du logiciel TOWNSCOPE .

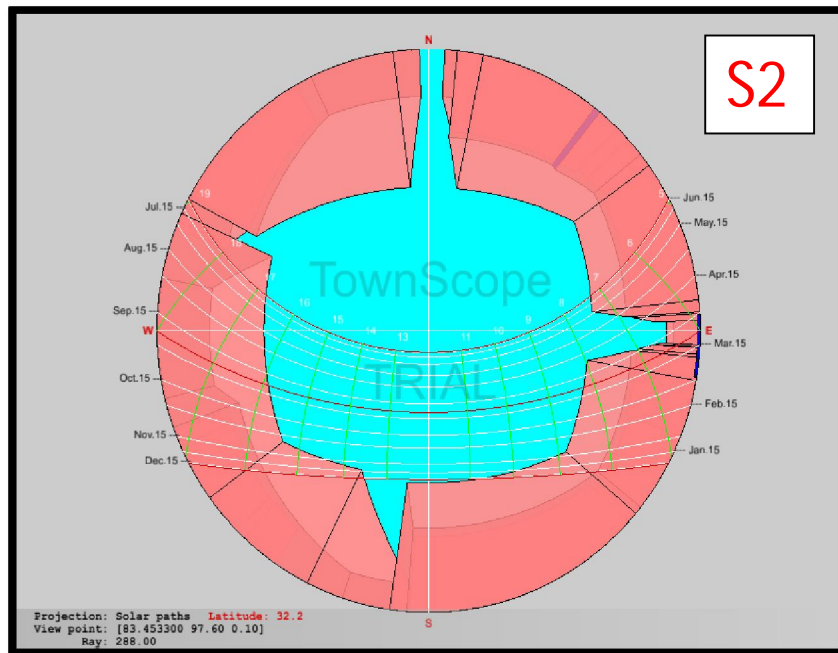
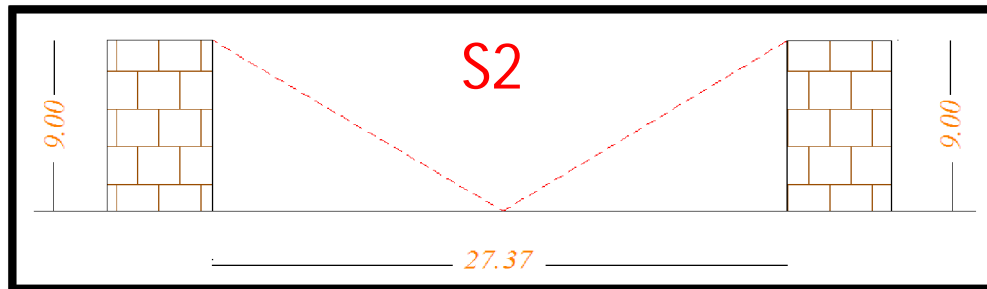


Figure 39 : Parcours Solaire et Durée d'exposition pour la Station 02 (SVF=74.8)

(Source: TOWNSCOPE, Auteur, 2013)

²⁰ Marie.K & Svensson, Sky view factor analysis- Implications for urban air temperatures differences. Meteorol. 2004;11: PP 201-211

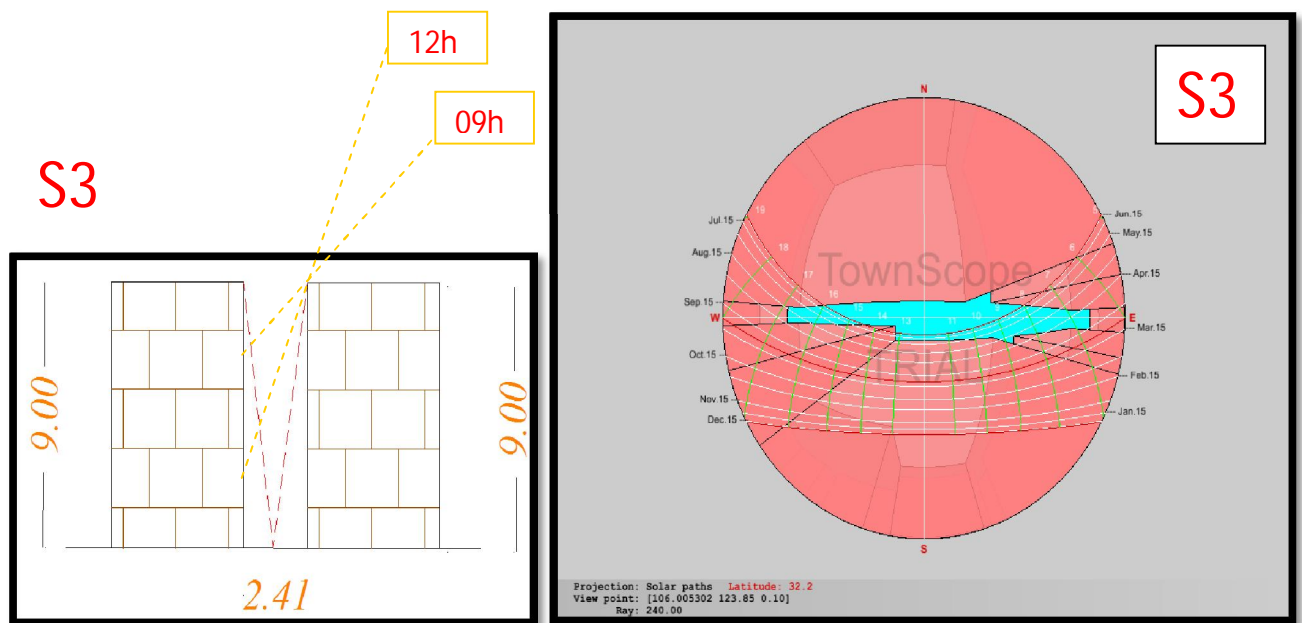


Figure 40 : Parcours Solaire et Durée d'exposition pour la Station 03(SVF=24.1)

(Source: TOWNSCOPE, Auteur, 2013)

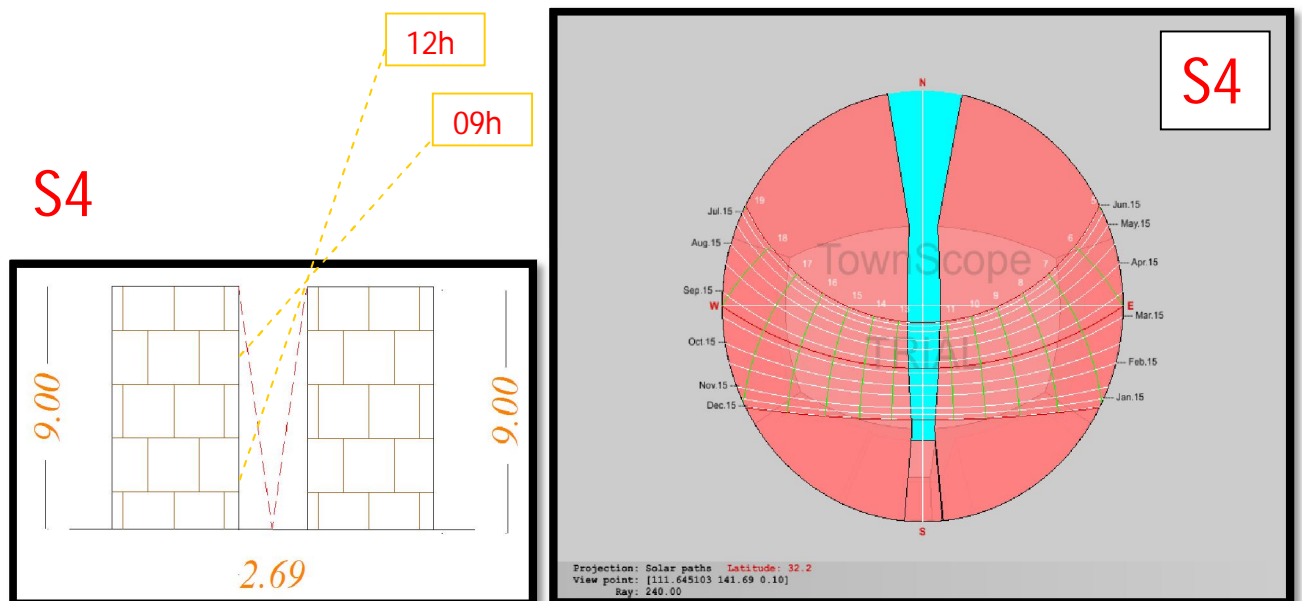


Figure 41 : Parcours Solaire et Durée d'exposition pour la Station 04 (SVF=26.4)

(Source: TOWNSCOPE, Auteur, 2013)

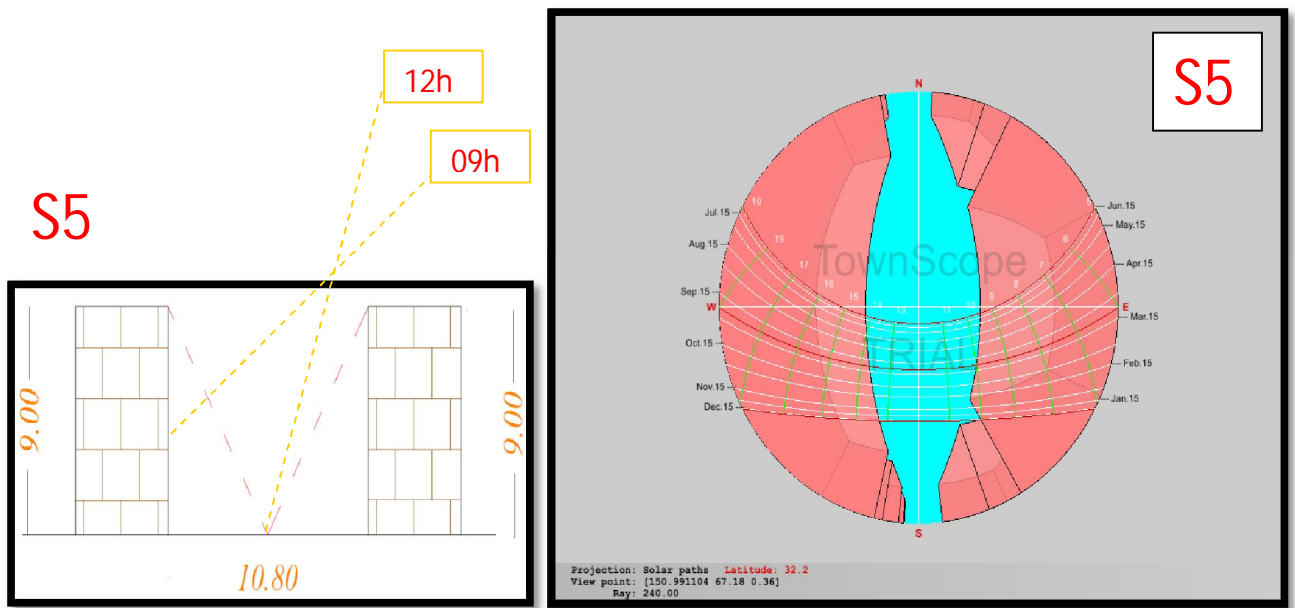


Figure 42 : Parcours Solaire et Durée d'exposition pour la Station 05 (SVF=58.7)

(Source: TOWNSCOPE, Auteur, 2013)

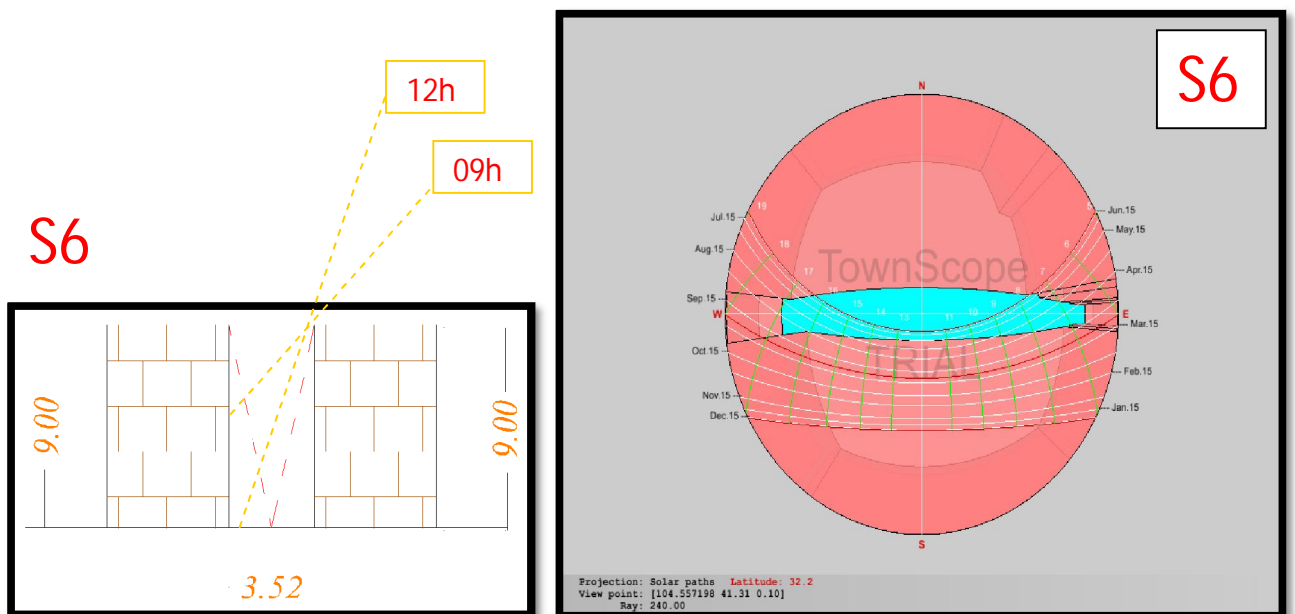


Figure 43 : Parcours Solaire et Durée d'exposition pour la Station 06 (SVF=37.6)

(Source: TOWNSCOPE, Auteur, 2013)

D'après les photos de la trajectoire solaire des six stations et qui sont réalisées par le logiciel Townscope, on remarque que les stations 2, 3 et 6 sont exposées aux rayons solaires pendant la plus longue durée (10 heures) comparativement aux autres stations de mesure, cela à cause de l'orientation et du SVF qui atteint jusqu'à 74.8 pour S2.

➤ **Effet de la morphologie urbaine sur la température de l'air:**

Pour tester l'effet de la morphologie urbaine sur la température de l'air, une comparaison a été faite entre les 4 canyons urbains S3, S4, S5, S6 caractérisés par une morphologie différente :

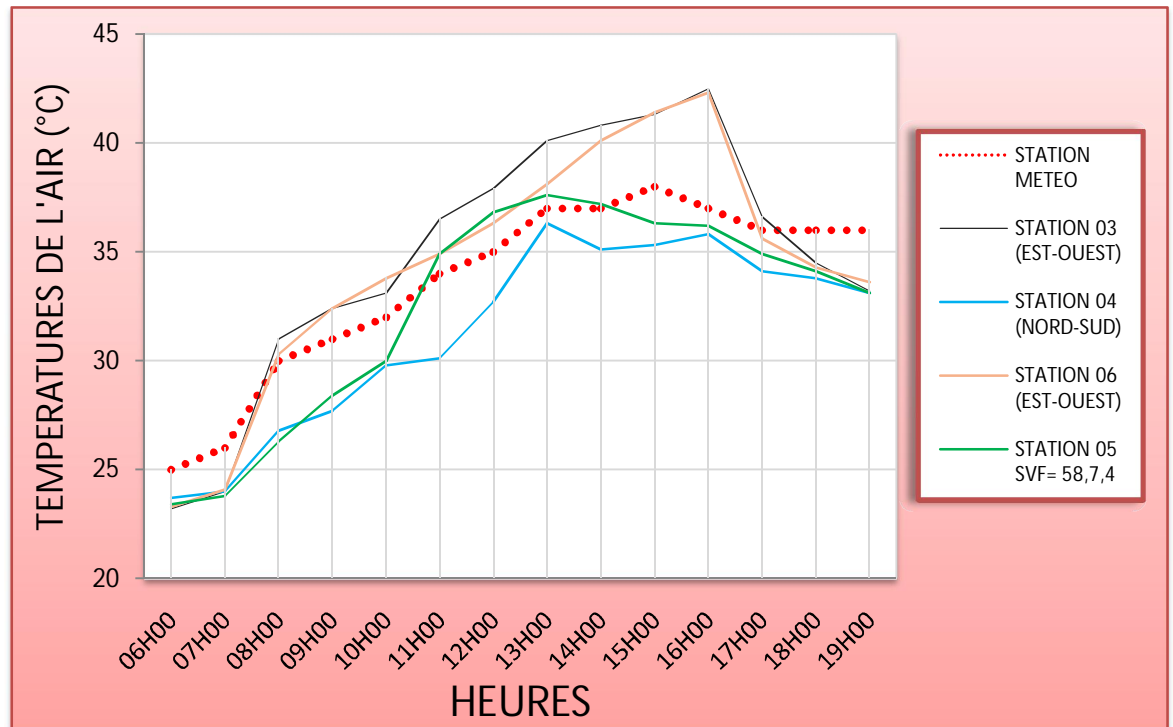


Figure 44 : Variation de température de l'air durant la période de mesure pour les 4 Canyons urbains (S3, S4, S5 et S6) (14 juin 2013) (Source : Auteur, 2013)

L'intensité maximale de l'îlot de chaleur urbain est proportionnelle aux températures de l'air et surfacique (G. Escourrou 1991). Elle se produit lorsque la température est à son maximum (dans notre cas entre 15h et 16h) durant laquelle l'écart maximal entre les stations de mesure est atteint (8° C entre S3 et S4 alors qu'il était seulement de 3° C à 10h). La figure 44 (comparaison entre les 4 canyons urbains) montre que la température au niveau de la station météorologique est bien plus basse que celles des stations 3 et 6 orientées Est-Ouest, tandis que cette température est plus élevée que celles des stations 4 et 5, ce qui explique que l'orientation des rues a un impact direct et fondamental sur le confort thermique extérieur²¹. Ces valeurs correspondent à celles mise en évidence par différents chercheurs à travers le monde sur le phénomène d'îlot de chaleur urbain tel qu'il a été prouvé par G. Escourrou²².

La figure 44 nous montre qu'à partir de 16h, la tendance commence à s'inverser et on remarque que les valeurs des températures de toutes les stations se rapprochent et les capacités de refroidissement

²¹ « <http://www.infoclimat.fr> »

²² « Escourrou G, le climat et la ville, presse universitaire Nathan, Paris 1991 »

des espaces sont réduites pour les stations qui se caractérisent par de plus petites SVF à cause du piégeage des rayonnements infrarouges assez importants par rapport aux stations qui présentent un SVF assez important et des températures élevées durant la journée. Cela confirme les travaux de recherches de L. de Souza au Brésil, et Eliasson à Göteborg (entre 16h-23h).

La figure 45 compare la différence dans le SVF entre les stations 4 et 5 :

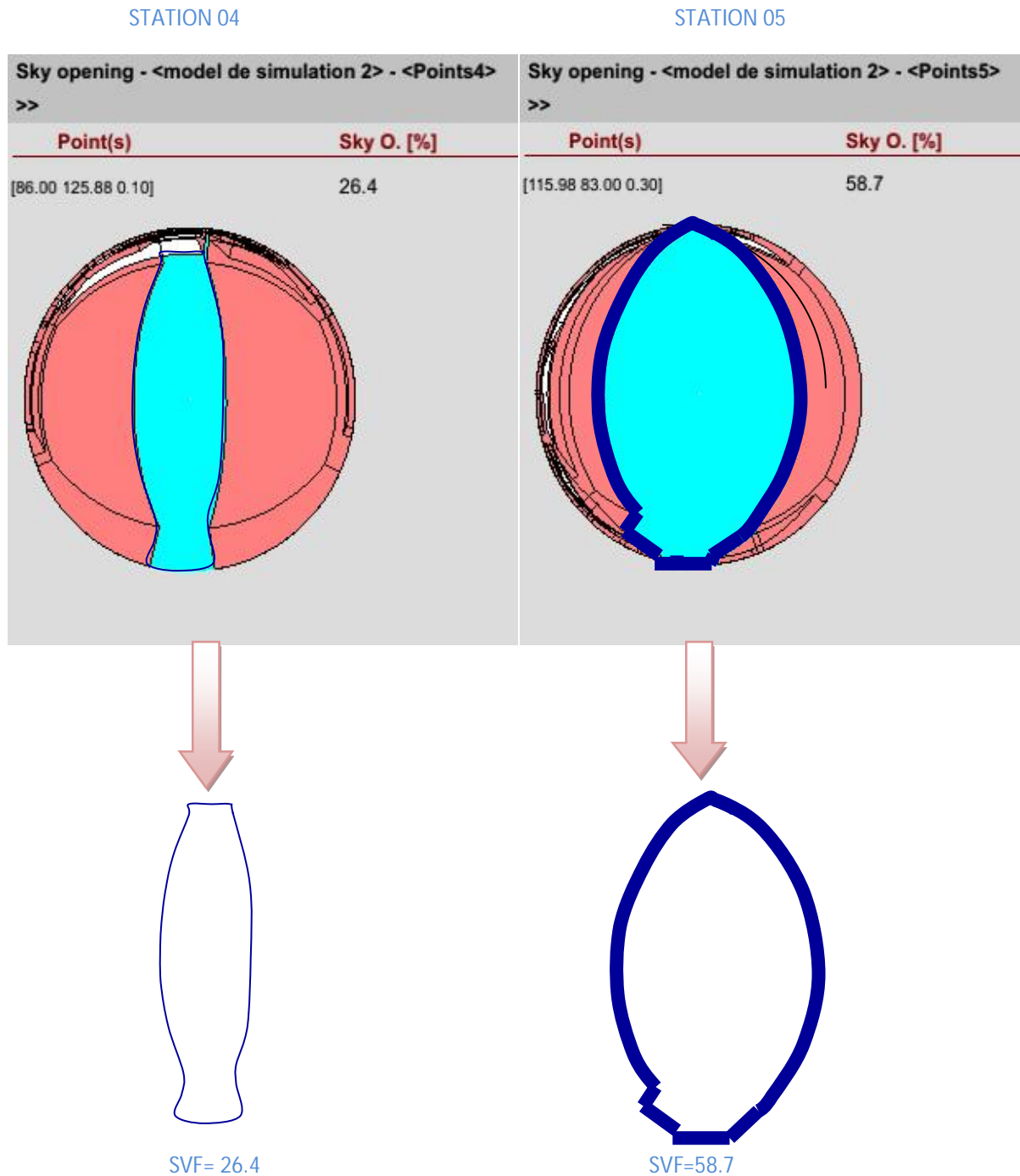


Figure 45 : Différence de SVF entre la station 4 et la station 5.

(Source: TOWNSCOPE, Auteur, 2013)

Pour évaluer le potentiel de la géométrie urbaine à travers leurs SVF, et son effet sur la température de l'air des six stations de mesures, une corrélation entre (T max) et (SVF) s'avère nécessaire, en utilisant le coefficient de corrélation (R) pour déterminer le taux de corrélation (voir figure 46).

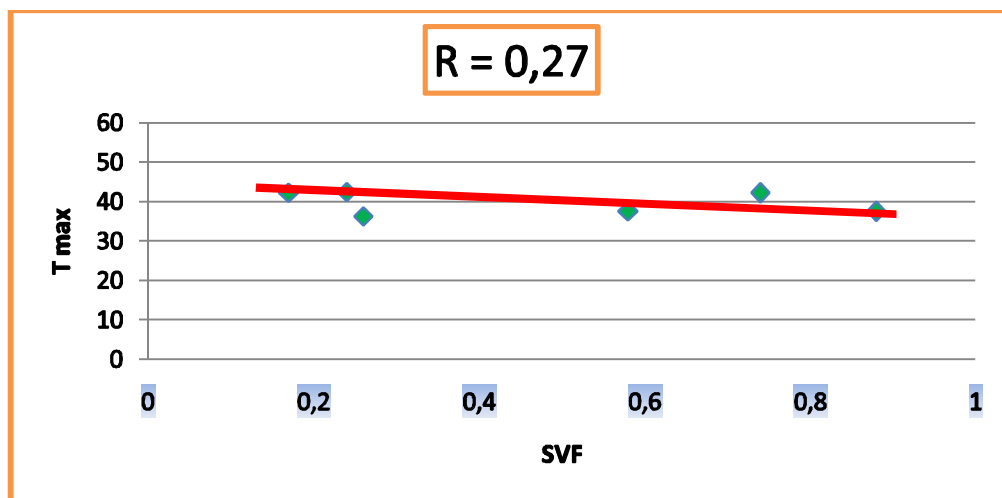


Figure 46 : Corrélation entre SVF et T max pour les six stations de mesures (Source : Auteur, 2014)

D'après les résultats obtenus, on distingue une très faible corrélation entre la température de l'air et le SVF, ce qui confirme les travaux de Eliasson (2005) qui a trouvé dans ses recherches une très forte corrélation entre le SVF et la température surfacique (Ts), et une très faible corrélation entre la température de l'air (Ta) et le SVF.

➤ Effet de la végétation sur la température de l'air:

Pour tester l'effet de la végétation sur la température de l'air, une comparaison a été faite entre les deux placettes S1 et S2 caractérisées par une densité végétale différente :

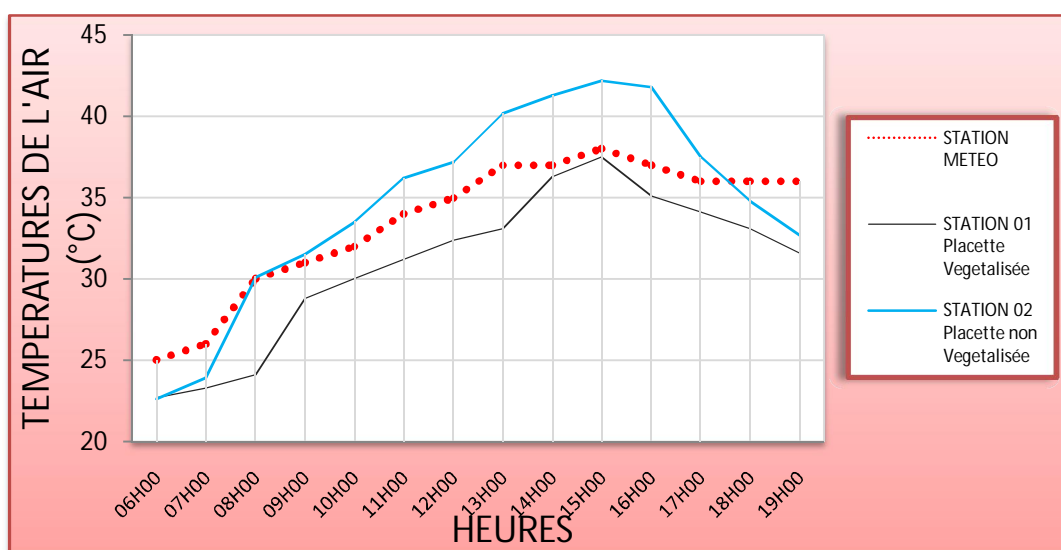


Figure 47 : Variation de la température de l'air durant la période de mesure pour les Placettes (S1 et S2) (14 juin 2013) (Source: Auteur, 2013)

Cette figure (figure 47) nous montre que les températures de la station météorologique sont bien plus élevées que celles de la station 1 (placette végétalisée) qui enregistre son extrême de 36° C à 15h. Au contraire, les températures météo sont plus basses que celles de la station 2 (placette minérale) qui enregistre son extrême de 42° C à 15h, ce qui explique le rôle fondamental de la végétation et des matériaux de revêtement (l'albédo de l'asphalte est de 0.05) sur la température de l'air. La station 1 sous l'effet de la végétation, a enregistré les plus basses températures durant toute la période de mesure, elle atteint jusqu'à 8° C de différence en comparaison avec la station 2 (placette minérale sans végétation). Ces processus affectent directement la température de l'air et par conséquent le confort thermique extérieur.

➤ **Effet de l'Albédo sur la température de l'air :**

Les stations 4 et 5 ont enregistré des valeurs plus faibles par rapport aux autres stations (ses extrêmes sont de l'ordre de 35,8° C pour S4 et 36,2° C pour S5 à 16 h) à cause de l'effet d'ombrage et du faible durée d'exposition aux rayons solaires, engendré par l'orientation NORD-SUD et la hauteur du canyon urbain.

A partir de 10h on remarque que la station 5 présente des températures plus élevées comparativement à la station 04 malgré qu'elles ont la même orientation. À titre d'exemple, à 11h la station 5 enregistre une valeur de 35° C soit une différence de 5° C par rapport à la station 4 qui enregistre une température de 30° C, cela peut être expliqué par le réchauffement de l'asphalte qui couvre le sol (avec un faible albédo de 0.05). Ce réchauffement est lié à la plus grande valeur de SVF dans le S5 (58.7) que dans le S4 (26.4), ce qui contribue à la création d'un effet d'ombre assez important et diminue considérablement la durée d'insolation de la station 4. Par conséquent les parois du canyon reçoivent moins de rayons, ce phénomène est expliqué par les différents comportements des matériaux de revêtement qui restituent de la chaleur par les matériaux des façades et le revêtement du sol en asphalte. A titre indicatif, la station 5 est constituée d'asphalte qui est caractérisé par un albédo de l'ordre de 0,05, une absorptivité de l'ordre de 0.93 et une émissivité égale à 0.95, tandis que la station 4 caractérisée par un albédo de l'ordre de 0,25, une absorptivité de l'ordre de 0.75 et une émissivité égale à 0.91²³. Ce processus affecte directement la température de l'air, ce qui confirme les travaux de recherche de Asaeda (1996) sur divers matériaux de pavage, qui a prouvé l'effet de l'absorptivité et de la réflectivité qui caractérise le pavage du sol. Ces résultats vont confirmer l'hypothèse de notre recherche sur l'impact de la morphologie et des matériaux de construction sur le confort thermique extérieur.

²³ Frédéric GUAY et Yves BAUDOUIN , 2003 in <http://www.equiterre.qc.ca>

Les résultats de cette recherche montrent que la différence de température de l'air est modérée dans les stations de même orientation, et qu'elle est plus grande dans les rues ayant le même SVF avec des orientations différentes, ce qui fait que la température de l'air est plus sensible à l'orientation qu'au SVF. On peut conclure que les canyons urbains avec un petit SVF s'avèrent plus avantageux pour le confort thermique des usagers en été, à condition de veiller à choisir l'orientation offrant la plus longue durée d'ombre²⁴.

Après une évaluation des variations de température de l'air en fonction des différents paramètres morphologiques de l'espace public extérieur (orientation, SVF, végétation ...), il s'est avéré que ces paramètres influent d'une manière significative sur la température de l'air, et jouent un rôle déterminant dans la surchauffe de l'air et des surfaces. Cette conclusion prouve ce que Runnals et Oke ont conclu en 2000 après un travail de recherche élaboré sur le microclimat urbain de la ville de Strasbourg²⁵.

IV-4-2- Humidité relative:

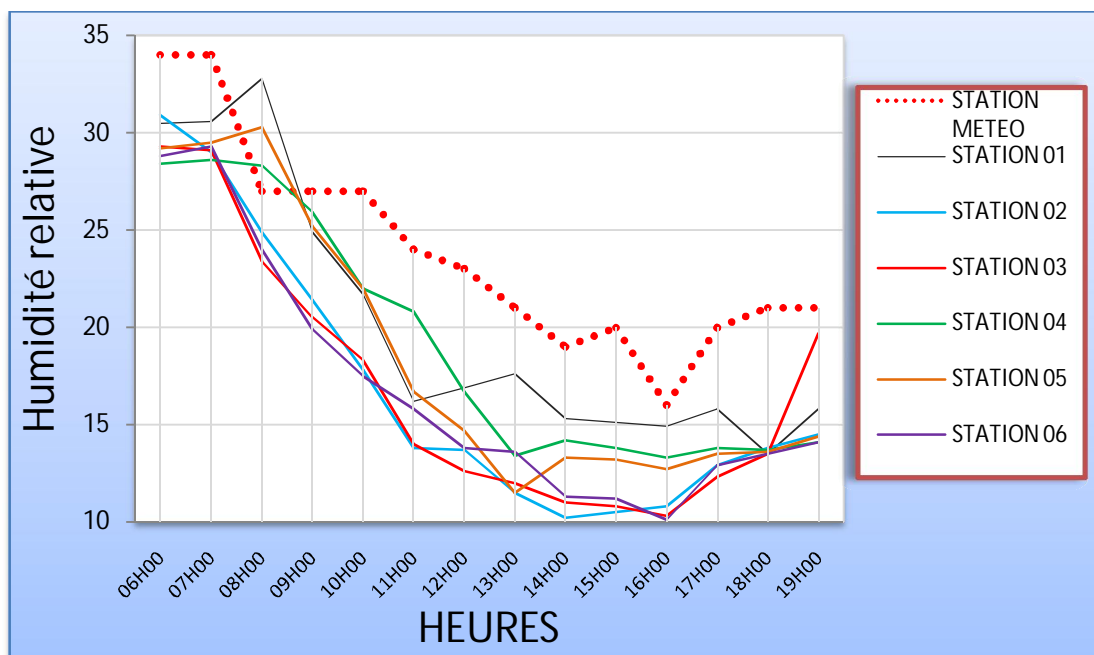


Figure 48 : Variation de l'humidité relative durant la période de mesure pour l'ensemble des stations en comparant avec la station météo (14 juin 2013) (Source: Auteur, 2013)

²⁴ « Bourbia f et al, IMPACT DE LA CONCEPTION DES RUES SUR LE DROIT D'ENSOLEILLEMENT DES FAÇADES ET LE CONFORT THERMIQUE -CAS D'UN MILIEU SEMI ARIDE-UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE. »

²⁵ HATTEN Anne. *Mise en évidence des caractéristiques générales de l'îlot de chaleur urbain Strasbourgeois*. Mémoire de maîtrise de Géographie. Université Louis Pasteur de Strasbourg. 2002.P10

L'humidité relative dépend de la température et de la quantité d'eau contenue dans l'air. D'après la figure 48, on remarque que lorsque la température de l'air baisse, l'humidité relative augmente et vis versa.

➤ **Effet de la végétation sur l'humidité relative :**

Pour tester l'effet de la végétation sur l'humidité relative, une comparaison a été faite entre les deux placettes S1 et S2 caractérisées par une densité végétale différente :

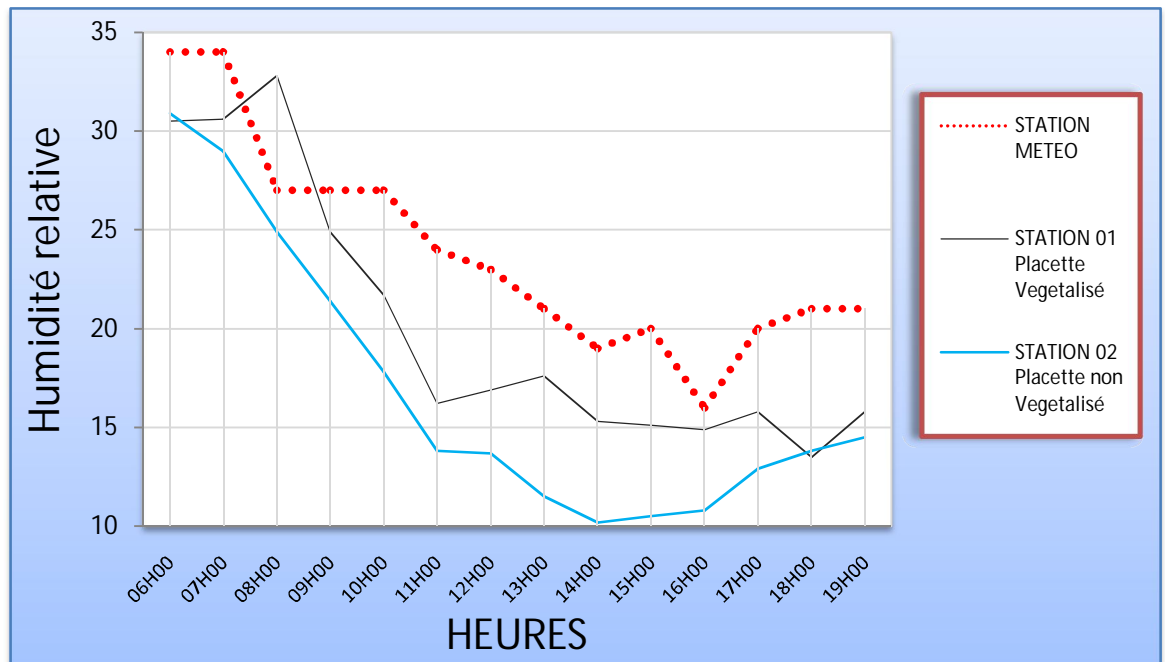


Figure 49 : Variation de l'humidité relative pour les deux placettes (S1 et S2), (14 juin 2013)

(Source : Auteur, 2013)

D'après les figures 48, 49 on remarque que les résultats des stations de mesures sont plus faibles que celles de la station météo à cause du manque de la végétation dans le terrain d'investigation et qui a un effet direct sur le taux d'humidité. C'est pourquoi une étude sur le microclimat urbain ne peut se baser que sur des données météorologiques. D'autre part, on remarque qu'il existe un rapport entre la végétation et l'humidité relative. Les résultats prouvent que les stations avec végétation (S1), même minime, enregistrent les valeurs les plus élevées d'humidité relative, soit respectivement 33,8% à 08 H du matin au niveau de la station 1 qui atteint son extrême maximal. Cette dernière avait également présenté des valeurs plus élevées en comparaison des autres stations durant toute la journée et on remarque une différence d'humidité relative atteignant jusqu'à 08% entre la placette végétalisée (S1) et la placette minérale (S2) (voir figure 49).

➤ **Effet de l'orientation sur l'humidité relative:**

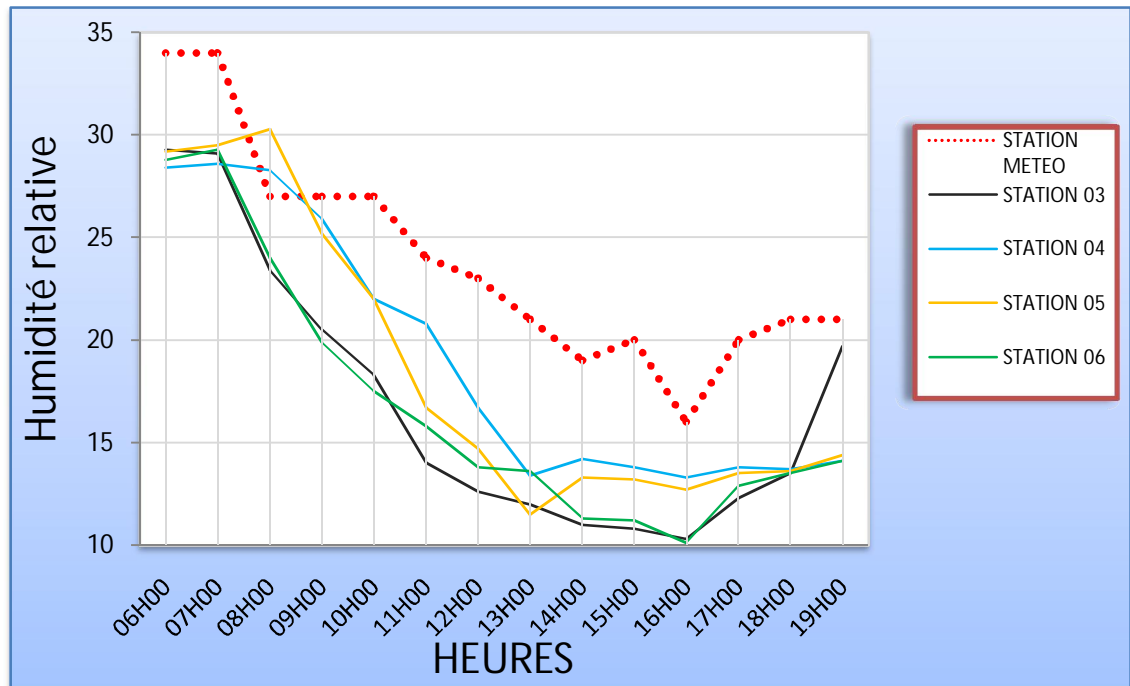


Figure 50 : Variation de l'humidité relative pour les Canyons urbains (S3, S4, S5, S6) (14 juin 2013)

(Source: Auteur, 2013)

Pour tester si l'orientation a une signification sur l'humidité relative, nous avons fait une comparaison entre deux espaces ayant presque le même SVF, par exemple entre la station 4 d'orientation Nord-Sud et la station 6 d'orientation Est-Ouest (voir figure 50) qui nous montre que l'orientation a un impact direct sur l'humidité relative et que le changement dans les valeurs du SVF n'a aucun effet sur l'humidité relative. Ce résultat s'explique par l'effet de l'orientation des vents qui peuvent dissiper cette humidité. On remarque que la station 4 (orientation Nord-Sud) a enregistré des valeurs d'humidité relative plus élevées que la station 6 (orientation Est-Ouest) malgré qu'elles ont un SVF semblable. Cette valeur d'humidité relative a un effet direct sur la température de l'air, et par conséquent sur le confort thermique extérieur.

IV-4-3- ANALYSE DES RESULTATS PAR LA METHODE D'HABITABILITE:

Cette méthode est basée sur la détermination du nombre d'heures utiles au confort thermique qui peut être apprécié par les personnes dans les stations de mesures. Elle est basée sur l'évaluation et la comparaison entre deux indices de confort thermique : le **PMV** et le **TB** du bilan énergétique, et cela afin de déterminer les heures qui offrent plus de confort thermique.

Tableau 4 : Echelle d'évaluation des deux indices PMV et BUDJET (Source: Auteur, 2013)

Budget (W. m-2)	PMV	Description
Moins de -201	Moins de -3	Froid
Entre -120 et -200	Entre -2 et -3	Frais
Entre -51 et -120	Entre -1 et -2	Légèrement frais
Entre -50 et +50	Entre -1 et +1	Neutre
Entre +51 et +120	Entre +1 et +2	Légèrement tiède
Entre +120 et +200	Entre +2 et +3	Tiède
Plus de +201	Plus de +3	chaud

Michael BRUSE, dans ses travaux effectués lors de l'actualisation de son programme de simulation, a adopté neuf échelles de confort propres aux espaces extérieurs, ce qui fera l'évaluation du confort thermique dans notre cas d'étude par la méthode d'habitabilité.

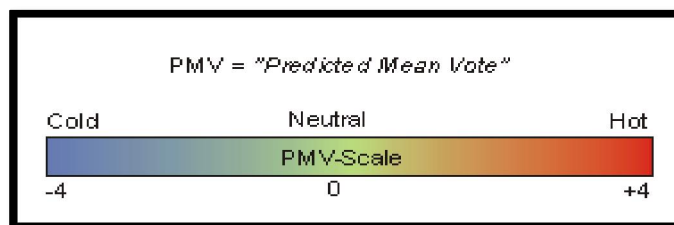


Tableau 5 : Classification des valeurs du PMV selon neuf échelles de confort pour l'utiliser dans la méthode d'habitabilité (Source: Auteur, 2013)

PMV	Description
Moins de -4	Extrêmement Froid
Entre -3 et -4	Moyennement Froid
Entre -2 et -3	Frais
Entre -1 et -2	Légèrement frais
Entre -1 et +1	Neutre
Entre +1 et +2	Légèrement tiède
Entre +2 et +3	Tiède
Entre +3 et +4	Moyennement chaud
Plus de +4	Extrêmement chaud

L'objectif d'utilisation de deux méthodes différentes dans cette recherche va nous aider à enrichir notre évaluation. Ces deux tableaux (**Tableau 6 et 7**) montrent les résultats des deux indices **TB** du **BUDJET** énergétique et **PMV** sur les six stations de mesure durant les 13 heures d'investigation.

Les cases en bleu montrent les heures utiles pour le confort thermique et les cases en rouge montrent les heures extrêmement chaudes où les conditions de confort thermique étaient critiques :

Tableau 6 : Le nombre d'heure de confort pour BUDJET énergétique. (Source: Auteur, 2013)

HEURE	BUDJET (W/m ²)					
	1	2	3	4	5	6
06 :00	68,34	74,64	71,85	96,92	89,11	69,16
07 :00	78,24	82,14	94,50	90,88	76,69	93,13
08 :00	79,78	148,37	154,43	108,71	117,89	151,65
09 :00	137,20	164,10	180,48	126,31	131,88	184,36
10 :00	144,65	215,36	197,52	141,83	147,95	220,35
11 :00	161,50	321,45	300,79	150,61	256,97	266,36
12 :00	182,53	274,96	305,83	190,61	333,89	328,96
13 :00	196,85	545,98	363,41	336,26	407,54	442,03
14 :00	269,78	675,40	364,08	272,28	404,93	620,90
15 :00	319,95	596,60	389	280,63	278,40	637,03
16 :00	256,75	508	401,69	267,07	331,82	615,89
17 :00	226,72	355,93	290,61	217,74	244,06	286,64
18 :00	202,73	248,44	259,50	225,34	227,47	243,56
19 :00	169,37	189,18	203,79	196,40	205,92	221,38
N heure Utile	3 h 22%	2 h 15%	2 h 15%	4 h 29%	3 h 22%	2 h 15%
TOTAL= 16 h pour les 06 stations avec un taux moyen de 20% de confort						

CONFORTABLE
CHAUD
TRES CHAUD

Tableau 7 : Le nombre d'heure de confort pour l'indice PMV. (Source: Auteur, 2013)

HEURE	PMV					
	1	2	3	4	5	6
06 :00	-0,35	-0,31	-0,02	0,10	-0,03	-0,05
07 :00	-0,06	-0,07	0,32	0,11	0,02	0,21
08 :00	0,19	1,52	2,16	0,91	0,58	1,51
09 :00	1,42	1,98	2,82	0,96	0,83	2,63
10 :00	1,92	2,16	3,60	1,64	1,65	3,15
11 :00	2,15	6,16	6,19	1,97	3,86	3,89
12 :00	3,22	6,41	7,10	4,17	4,81	5,65
13 :00	3,32	7,75	7,53	7,19	8,11	7,52
14 :00	3,90	8,20	6,69	3,83	6,71	8,21
15 :00	3,28	8,63	6,47	4,08	3,95	6,25
16 :00	3,40	6,53	7,11	4,15	3,75	7,02
17 :00	2,60	4,20	3,94	2,91	2,86	3,11
18 :00	1,90	3,56	3,26	2,64	2,54	2,59
19 :00	1,58	1,89	2,20	2,20	1,95	2,00
N heure Utile	3 22%	2 15%	2 15%	4 29%	4 29%	2 15%
TOTAL= 17 h pour les 06 stations avec un taux moyen de 23 % de confort						

CONFORTABLE
CHAUD
TRES CHAUD

D'après l'analyse de ces deux tableaux, les heures critiques durant la journée (**COULEUR ROUGE**) apparaissent surtout au niveau des stations **02**, **03** et **06**. À partir de 10h 00, ces trois stations représentent les pires zones avec le moins d'heures de confort thermique pendant toute la journée : avec **02 heures** (entre 6h00 et 8h00 du matin) de confort thermique pour chaque station.

En l'absence d'ombrage dans les trois stations, le stress thermique est connu depuis les premières heures du matin (10h00), et reste pendant une grande partie de la journée (12 heures). Tandis que les stations **01**, **04** et **05** représentent les zones avec le plus d'heures utiles (**04 heures** pour la station **04** et **03 heures** pour la station **01**) entre 06h00 et 10h00 du matin ; cela est généré par la courte durée d'incidence des rayonnements solaires par rapport aux autres stations²⁶, parce que la durée d'exposition de rayonnements solaires est beaucoup plus faible dans l'orientation Nord-Sud (S4) que dans l'orientation Est-Ouest (S6).

D'autre part, le SVF qui est très élevé dans la station 2 (SVF = 74.8) par rapport aux autres stations, présente une durée d'exposition aux rayonnements solaires plus grande que celle des autres stations, comme l'ont confirmé les chercheurs F.BOURBIA & AWBI (2004), dans une recherche faite sur des constructions dans un canyon urbain dans le climat chaud et sec de la ville d'El-Oued en Algérie.

Ces chercheurs confirment que les valeurs d'inconfort apparaissent généralement à partir de 10h du matin et les valeurs maximales journalières ont été atteintes à environ 15h. Il est également montré que la température la plus élevée a été enregistrée au niveau des canyons orientés EST-OUEST par rapport aux autres canyons urbains. Cette même expérience a montré que l'absence de la végétation et le revêtement minéral (tels que dans les quartiers contemporains) augmentent le stress thermique à cause de l'exposition du soleil toute la journée et qui vont agir comme un piège à chaleur provoquant une surchauffe de ces espaces.

L'analyse numérique de cette étude révèle de son côté que lorsque le ratio d'une rue est faible (H/L=0.5), la fraction d'ombrage produite n'excède pas les 35% et ce, même pour une rue d'orientation NORD-SUD.

Ces données confirment les résultats de notre méthode de recherche : les valeurs les plus élevées sont dans les espaces caractérisés par une grande valeur de **SVF** avec une orientation **EST-OUEST**. Ces deux tableaux ont montré l'influence du ratio H/L, de l'orientation ainsi que de la densité végétale sur les indices du confort thermique extérieur **BUDJET** et **PMV** surtout durant les heures les plus

²⁶ « Echave C, Cuchi A, Habitability method analysis in urban spaces, PLEA the 21 conference on passive and low energy architecture, Endhoven, Holand, 2004»

critiques de la journée (14h et 15h dans la station 2), où on enregistre les valeurs maximales dans le **BUDJET** qui atteint **675 W/M²**, tandis que le **PMV** maximales atteint **8.63** dans cette station.

Cette recherche a mené à la conclusion que la géométrie des espaces extérieurs, ainsi que la végétation jouent un rôle déterminant dans l'évaluation du confort thermique extérieur, sans oublier la poussière et le mouvement du sable surtout dans les régions à climat chaud et sec, afin de diminuer la sécheresse de l'air.²⁷

Ces résultats vont confirmer plusieurs travaux de recherche sur les espaces publics extérieurs tels que ceux de Bourbia & Awbi 2004, Johansson, 2006, et Ali-Toudert 2005 dans ses travaux effectués à Beni-Isguen (Algérie), dans une étude de simulation sur les effets de ratio (H / L) et l'orientation des canyons urbains sur le confort thermique extérieur. Dans cette recherche, l'auteur a enregistré une différence maximale de 3 K entre les rues larges et les rues profondes (H/L=0,5 et H/L=4), et les rues orientées Nord-Sud se sont trouvées plus froides que les rues orientées Est-Ouest.

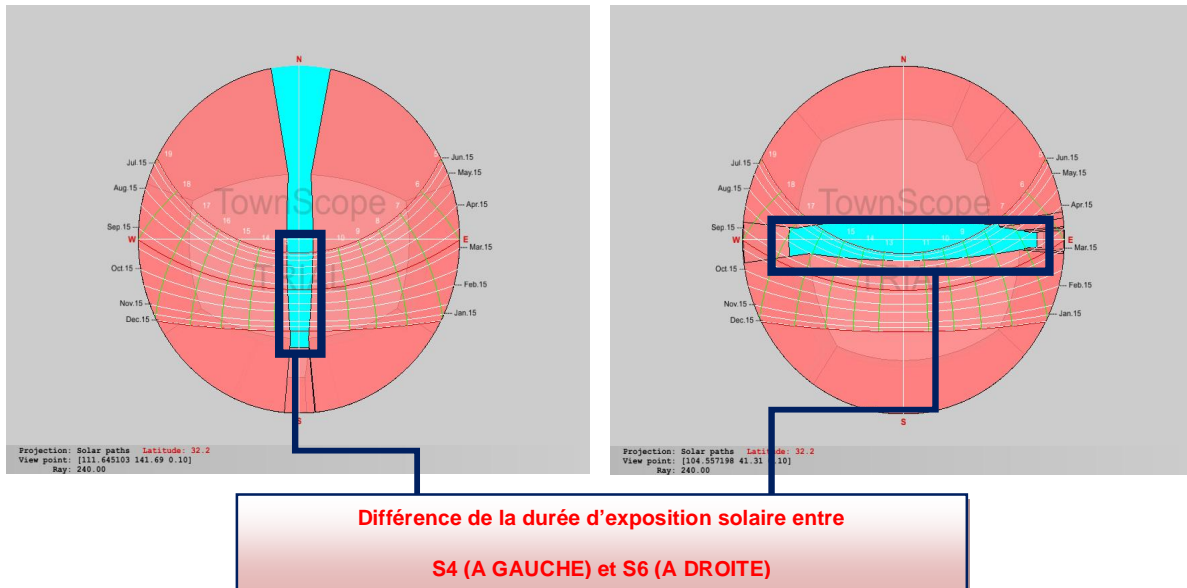
Ali-Toudert (2005) a démontré que les orientations intermédiaires peuvent également représenter une solution pour combiner les besoins en été et en hiver par rapport à l'énergie solaire, ces orientations offrent un meilleur confort thermique en été. D'autre part, les matériaux de construction des surfaces (façades et sol) agissent sur le taux d'accumulation de chaleur, accumulation due aux différences de comportement (selon le type de matériau) qui se caractérise par différents albédos, émissivité, et transitivité²⁸.

Selon les deux tableaux, l'orientation des rues et le ratio H/L influent le plus sur les températures de surface des canyons et la quantité de la chaleur transférée à l'air sous forme de chaleur sensible. Ce phénomène agit directement sur les deux indices de confort thermiques (**TB** et **PMV**). Cette étude de terrain confirme que l'ombrage obtenu au moyen de l'orientation et du SVF est une stratégie efficace visant à réduire l'inconfort thermique des personnes au niveau des espaces extérieurs, l'orientation Nord-Sud est la plus favorable pour le climat de Ghardaïa qui peut offrir davantage d'heures utiles de confort, sans oublier l'ombre des arbres qui protège les personnes des rayonnements solaires comme nous pouvons le voir dans les tableaux 13 et 14, le nombre d'heures utiles de confort pendant toute la journée était plus élevé dans la station 1 (placette végétalisée), que dans la station 2 (placette

²⁷ « Bourbia.F, Awbi.H.B, "Building cluster and shading in urban canyon for hot dry climate. Part 1 : Air and surface measurements", renewable energy 29(2004) 249-262»

²⁸ « Ali-Toudert F, Djenane M, Bensalem R. Outdoor thermal comfort in the old desert city of Beni-Isguen, Algeria, CLIMATE RESEARCH -Clim Res-, 2005, Vol. 28: 243–256»

minérale), ce qui signifie que la présence d'arbres protège les personnes des rayonnements solaires et augmente le taux d'humidité. Ces résultats ont été prouvés par Cynthia Echave & Albert Cuchi dans leurs travaux « Habitability Method Analysis in Urban Spaces » effectués à l'université de Barcelone en Espagne, qui confirment que la protection contre les rayonnements solaires par des arbres peut réduire considérablement le **BUDJET** du bilan énergétique des personnes dans la rue²⁹.



Le pourcentage moyen du nombre d'heures utiles de confort dans le terrain d'étude varie entre **20 %** et **23 %** pour les deux indices de confort, soit environ **80 %** du temps des six stations de mesure, caractérisé par une ambiance critique du stress thermique où la température est très élevée.

IV-5-CONCLUSION :

Pour tester l'influence de la morphologie urbaine des espaces publics extérieurs sur le microclimat urbain, une investigation sur site a été menée durant la saison chaude sur six stations de différents paramètres (SVF, matériaux de revêtement, et densité végétale) dont deux stations sont orientées Nord-Sud, et deux autres orientée Est-Ouest.

Grace à la nouvelle instrumentation d'investigation, les mesures sur site n'étaient pas limitées à la prise de la température de l'air, à l'humidité relative et à la vitesse du vent ; l'indice de confort thermique PMV était aussi l'un des paramètres qui ont été évalués sur site. L'interprétation des résultats nous a permis de mettre en évidence plusieurs réalités sur le microclimat urbain.

²⁹ « Echave C, Cuchi A, Habitability method analysis in urban spaces, PLEA the 21 conference on passive and low energy architecture, Endhoven, Holand, 2004 »

Bien que la nouvelle cité de Tafilelt se caractérise par un tissu urbain dense, on a pu détecter l'existence du phénomène d'îlot de chaleur urbain dans ses espaces publics extérieurs. Le confort thermique est très difficile à atteindre passivement dans des climats extrêmement chauds et secs, mais l'amélioration est toujours possible, c'est ce qui a été confirmé par plusieurs chercheurs qui ont résumé un certain nombre de relations utiles entre la géométrie urbaine et le microclimat.

Pour des surfaces de même nature, il existe une forte corrélation entre l'ICU, SVF et l'orientation, et même la végétation, ce qui nous permet de conclure que « l'îlot de chaleur urbain » est le résultat de la morphologie des bâtiments et de leur géométrie extérieure.

Cette partie pratique de notre recherche englobe l'investigation qui consiste à la prise horaire des paramètres climatiques pendant une journée typique de la saison estivale. Le résultat de ces paramètres a été comparé avec ceux obtenus par la station météorologique qui se trouve dans un espace dégagé à côté de l'aéroport de Ghardaïa.

L'utilisation de la méthode d'habitabilité basée sur le nombre d'heures utiles de confort thermique a été effectuée pour une évaluation thermique des espaces urbains. Sur la base des résultats obtenus dans les six stations de mesures au niveau de la nouvelle cité de Tafilelt, on peut avoir clairement la différence du nombre d'heures utiles de confort par jour, qui se situe généralement tôt le matin.

Ces résultats montrent aussi que les conditions de confort thermique ont un rapport direct avec la durée d'ombrage créé par l'orientation, le SVF et la végétation. La simple présence d'arbres le long d'une rue ou d'une placette augmente les heures de confort et réduit considérablement l'inconfort thermique des personnes au niveau de la rue. Ces paramètres morphologiques sont présents dans plusieurs travaux de recherches (Oke 2000, Santamouris 2002, Bourbia 2004, Ali-Toudert 2005, Johansson, 2006) qui ont montré que ces paramètres sont une stratégie efficace pour réduire la durée d'exposition à l'énergie solaire. Sur la base de cette investigation sur la nouvelle cité de Tafilelt située à la wilaya de Ghardaïa, on a pu proposer quelques recommandations :

- L'orientation a un effet très important sur le confort thermique extérieur, les axes orientés NORD-SUD sont plus frais et plus confortables que les axes orientés EST-OUEST.
- Le faible albédo, notamment celui de l'asphalte (0,05) couvrant les surfaces horizontales, joue également un rôle très important dans l'augmentation de la température de l'air.
- La présence de la végétation contribue à l'augmentation des valeurs d'humidité relative et à l'amélioration du confort thermique extérieur.

- Les différences de températures de l'air entre zones à l'ombre et au soleil sont en très forte corrélation négative, c'est-à-dire que plus le SVF est faible plus le degré de refroidissement est grand.
- L'utilisation intense des activités anthropiques (trafic routier, climatisation domestique...) favorise le réchauffement de l'air et par conséquent l'ICU.

Le pourcentage moyen du nombre d'heures de confort varie entre **20 %** et **23 %** pour les deux indices de confort thermique **TB** et **PMV**, ce qui fait que environ **80 %** du temps des six stations de mesure est caractérisé par une ambiance critique d'inconfort thermique où la température est très élevée.

Pour augmenter ce pourcentage de confort thermique (**20 %**) et le nombre d'heures utiles, une simulation numérique s'avère indispensable et fera l'objet du prochain chapitre, en proposant deux scénarios. Le premier scénario présente le terrain réel d'investigation, et un deuxième scénario présente des modifications à l'échelle urbaine qui peuvent donner des solutions sur le confort thermique extérieur du terrain d'investigation.



V-1- INTRODUCTION

La simulation numérique (ou simulation informatique) permet de reproduire des phénomènes réels, elle désigne un procédé selon lequel on exécute un programme informatique sur un ordinateur en vue de simuler un phénomène physique comme par exemple la chute d'un corps sur un support mou. C'est une série de calculs effectués sur un ordinateur, qui aboutit à la description du résultat d'un phénomène comme s'il s'était réellement déroulé. Cette représentation peut être une série de données, une image voire même une animation vidéo.

Plusieurs travaux de recherche ont utilisé la méthode de la simulation numérique pour évaluer le confort thermique extérieur. Certaines méthodes se basent sur les outils graphiques, d'autres permettent de dessiner des cartes et d'utiliser des courbes et des graphes pour évaluer le phénomène du confort thermique extérieur. On peut citer dans cette perspective les travaux d'Eliasson (2003) qui a utilisé un modèle numérique basé sur le comportement des vortex vis-à-vis du vent afin d'évaluer la vitesse et le comportement du vent par rapport aux toitures des bâtiments¹. Les travaux de Spangenberg (2004), Esther lahme (2004), Ali-Toudert et Helmut Mayer (2006), Boucheriba et Bourbia (2006), G. Latini (2010) qui ont utilisé le modèle Envi-met afin d'évaluer le confort thermique extérieur dans les espaces publics. Les travaux de A. Mmatzarakis (2005) avec le modèle RayMan pour évaluer les conditions thermiques de l'individu situé dans un espace extérieur par l'indice de confort thermique PET². Santamouris et Mihalakakou (2005), Maria Giannopoulou (2012) avec le logiciel TOWNSCOPRE et qui était basé sur la modélisation, l'évaluation et l'analyse quantitative de la zone de recherche selon des principes bioclimatiques³. Soraya Masmoudi et Said Mazouz (2004) qui ont utilisé le modèle SOLENE pour évaluer la relation entre la géométrie, la végétation et le confort thermique autour des bâtiments dans les régions à climat chaud et aride⁴.

¹ Eliasson B, Grimmond S et al. Wind fields and turbulence statistics in an urban street canyon, Atmospheric Environment 40 (2006) PP 1–16.

² Ungera J, Matzarakis A, RayMan model Assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: Modeling and measurements, 2005.

³ Giannopoulou M. Bioclimatic Principles and Urban Open Spaces: The Case of Xanthi, Engineering and Technology 67 (2012); PP 474 – 477.

⁴ Masmoudi.S et Mazouz.M, "Relation of geometry, vegetation and thermal comfort around buildings in urban settings, the case of hot arid regions", energy and buildings 36 (2004) 710-719.

Pour notre cas d'étude, l'utilisation d'une simulation numérique s'avère très importante. Deux programmes numériques ont été utilisés pour l'évaluation du confort thermique extérieur. Le 1^{er} programme est **Envi-met 3**, exploité dans plusieurs travaux de recherche, il a démontré une grande fiabilité dans ses résultats. Le second programme intitulé **COMFA**, évalue le bilan énergétique d'une personne dans l'espace public extérieur.

Afin d'améliorer l'environnement et le confort thermique extérieur, nous évaluerons dans la première partie de ce chapitre le confort thermique extérieur au niveau des six stations de mesures, puis nous proposerons des améliorations supposés avoir un impact important sur le confort thermique extérieur, en l'occurrence le Ratio (H/L), l'orientation, la végétation ainsi que les matériaux de construction utilisés dans le site d'intervention.

V-2- DESCRIPTION DU LOGICIEL ENVI-MET 3.0

Le logiciel Envi-met 3 a été utilisé pour évaluer le confort thermique extérieur sur la base de l'indice de confort thermique PMV (Vote Moyen Prévisible). Cet indice initialement développé pour les milieux Intérieurs fut adapté aux espaces extérieurs par **Jendritzky** en 1993. Ce programme de simulation tridimensionnel élaboré par Michael Bruse de l'institut de géographie à l'université de Bochum en Allemagne, il permet de calculer l'ensemble des paramètres climatiques (température et vitesse de l'air, rayons solaires de courtes et grandes longueurs d'ondes, températures des surfaces, indices de confort thermiques, etc.) en se basant sur des fondements physiques (loi fondamentale de la thermodynamique et de la dynamique des fluides).⁵

Le principe architectural de ce logiciel est basé sur un fonctionnement tridimensionnel composé d'un noyau en 3D. Deux dimensions horizontales (x) et (y) et une dimension verticale (z). Cette dernière représente les éléments les plus importants qui sont les constructions et la végétation montés en hauteur. La hauteur Z est déterminée en fonction de la hauteur maximale du modèle à simuler (H max), dont ($Z \geq 2 H \text{ max}$). Cette composition de base est utilisée pour tous les modèles numériques en 3D (voir Figure 1).

⁵ Bruse M, 2004 [in](http://www.envimet.com) [http:// www.envimet.com](http://www.envimet.com)

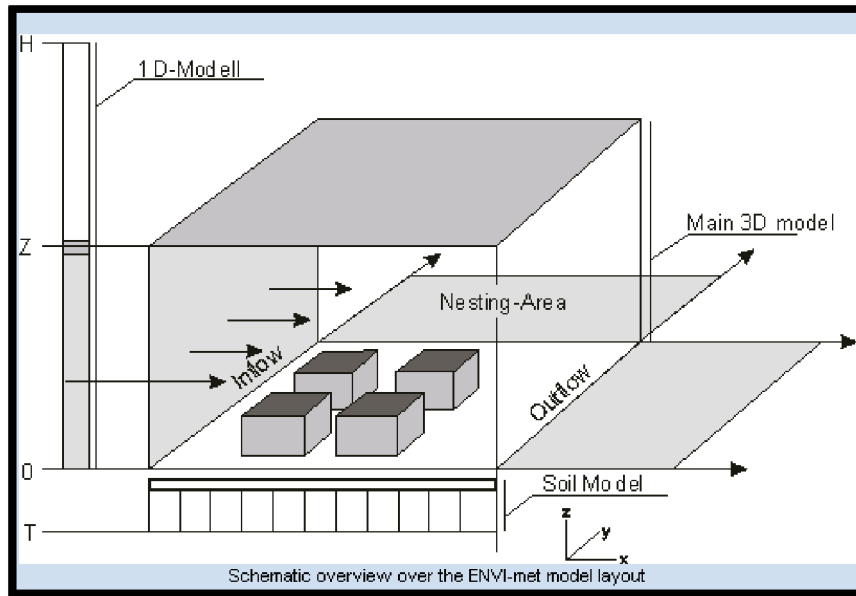


Figure 1 : Schéma de principe de Envi-met 3.0 (Source : Manuel Envi-met 3, 2013)

Ce programme est soumis à une mise à jour périodique annuelle. Il demande un nombre limité d'entrées (INPUT) et produit un nombre illimité de sorties OUTPUT (Ali-Toudert, 2005). Les chercheurs dans le monde entier l'utilisent pour sa fiabilité (voir ANNEXE B).

Le logiciel Envi-met nous permet à calculer les paramètres suivants :

- L'écoulement du vent autour des structures urbaines.
- La courte et longue longueur d'onde de radiation avec la réflexion et la radiation dissipée depuis les bâtiments et la végétation.
- La transpiration, l'évaporation et la chaleur sensible émise par la végétation avec évaluation complète de tous les paramètres physiques propres aux plantes.
- L'eau et les échanges de chaleur à l'intérieur du sol.
- La température surfacique de chaque point de la grille.

Envi-met est un logiciel de grande résolution spatiale et temporelle. Il nous permet aussi de simuler plusieurs structures urbaines de différentes tailles et formes, avec les moindres détails tels que les galeries et les auvents dans tous types de climat.

Le sol et la végétation ne sont pas considérés comme de simples volumes physiques. Il prend en considération les processus d'évapotranspiration et la photosynthèse végétale ainsi que les différentes couches du sol de plusieurs types. Ce logiciel ne prend pas en compte l'effet de la pente et des reliefs, les résultats de notre recherche demeurent fiables car le terrain étudié est plat.

La simulation peut être effectuée sur PC, mais elle peut prendre plusieurs heures selon la capacité de ce dernier.

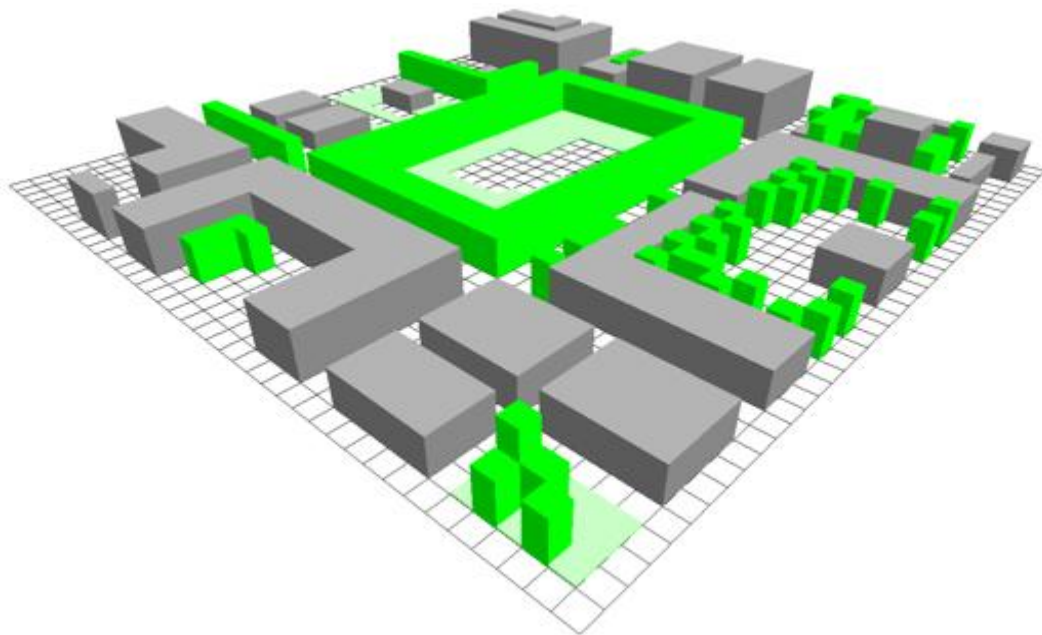


Figure 2 : Exemple d'un site simulé en 3D (Source : <http://www.envimet.com>, 2013)

L'exploitation de Envi-met 3 est jumelée à celle d'un autre programme appelé « **Leonardo** » qui permet de lire les résultats de la simulation en 2D et 3D déjà effectuée par ENVI-met 3.

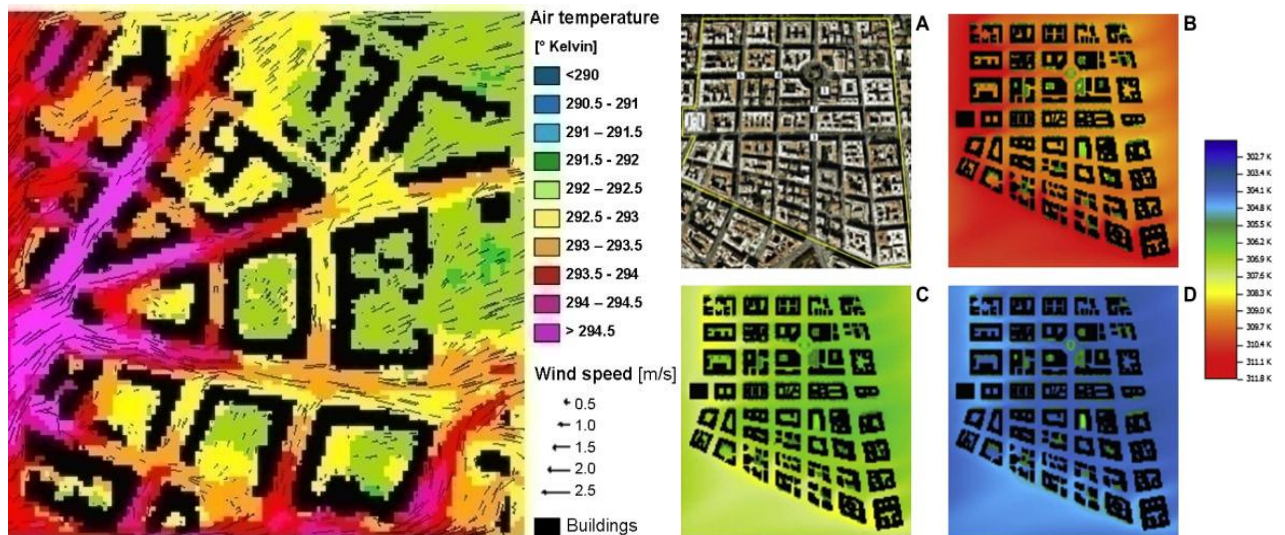


Figure 3 : Exemple des résultats effectués par LEONARDO (Source : <http://www.envimet.com>, 2013)

Plusieurs chercheurs ont travaillé sur le modèle numérique ENVI-MET 3.0 pour la fiabilité de ces résultats, on peut citer à titre d'exemple :

- Les travaux de F. Ali-Toudert et H. Mayer (2006), ainsi que F. Boucheriba et F. Bourbia (2006) qui ont travaillé sur l'effet du ratio et l'orientation des canyons urbains sur le confort thermique extérieur dans les climats arides et semi arides⁶.
- Les travaux de Esther Lahme (2004), qui a utilisé une simulation numérique à l'aide du logiciel Envi-met, afin d'étudier les effets d'un parc urbain entouré par une zone densément construite sur le microclimat et la qualité de l'air⁷.



Figure 4: Le parc urbain simulé par Envi-met (Source : Esther Lahme, 2004)

- Les travaux de Jörg Spangenberg (2004) sur un quartier urbain situé dans le climat tropical chaud et humide de Rio de Janeiro (Brésil). L'étude est modélisée et simulée avec le logiciel ENVI-MET afin d'arriver à une adaptation entre les espaces extérieurs de cette ville et les propriétés climatiques locales⁸.

⁶ Ali-Toudert.Fazia, Mayer.Helmut, "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 14 (2006) 94-108.

⁷ Esther lahme, microclimatic effects of a small urban park in a densely build up area: meassurements and model simulations, 2004

⁸ Spangenberg J, Sustainable Architecture & Urbanism and Transportation, Simulation of Urban Microclimates in Tropical Metropolis' Maracanã/ Rio De Janeiro, RIO 5 - World Climate & Energy Event, 15-17 February 2005, Rio de Janeiro, Brazil, PP 345 – 353.

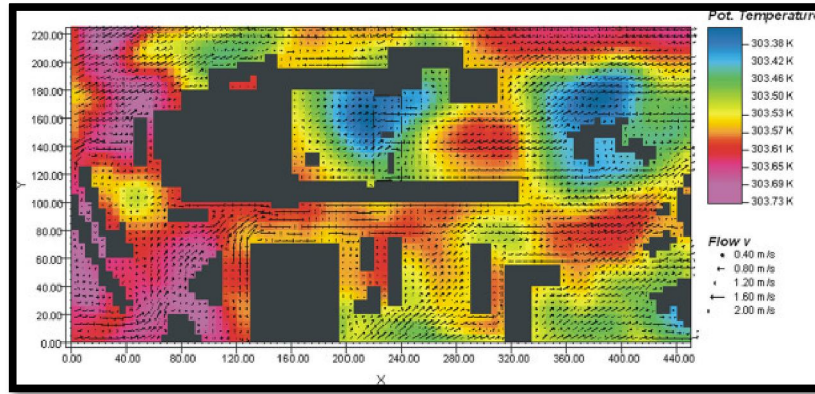


Figure 5 : Simulation d'un quartier à Rio de Janeiro (Source : Spangenberg, 2004)

- Les travaux de G. Latini (2010) qui ont examiné une variété de matériaux de surface au sol et de végétation situés dans des espaces extérieurs dans une ville historique au centre de l'Italie (Ascoli Piceno). L'objectif de ce travail était d'évaluer l'influence des surfaces sur les variations microclimatiques de la zone d'étude (canyons, placette, et jardin). Les outils utilisés dans la simulation sont le modèle numérique ENVI-MET et le modèle thermique COMFA+. Plusieurs techniques basées sur l'architecture bioclimatique et les principes d'économie d'énergie ont été utilisées afin d'améliorer le microclimat urbain dans l'espace extérieur des quartiers typiques de la Méditerranée⁹.

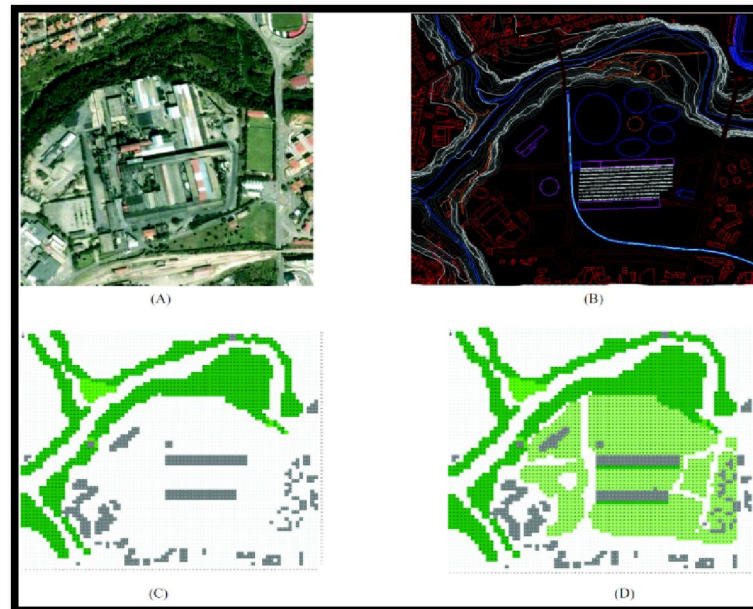


Figure 6 : Les étapes de simulation par le logiciel Envi-met (Source : G. Latini, 2010)

⁹ " Latini G, Cocci Grifoni R, Tascini S, Microclimatic conditions in urban open spaces, 2010"

- Les travaux de Dana Taleb et Bassam Abu-Hijleh (2011) qui ont évalué l'impact de la densité urbaine sur la variation de la température de l'air et le comportement de l'écoulement du vent au niveau de la ville de Dubaï. Après une simulation numérique à l'aide du logiciel ENVI-MET, la configuration organique a montré une meilleure performance thermique entre les trois configurations¹⁰.

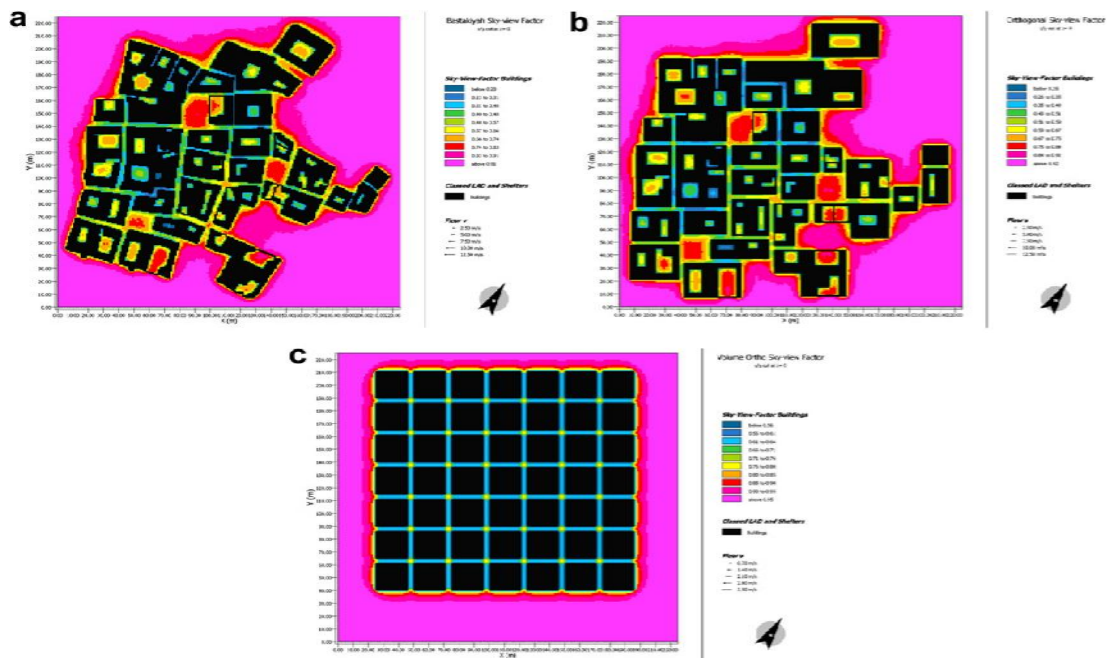


Figure 7 : Les trois configurations simulées par Envi-met (Source : Dana Taleb, 2011)

V-3 - DEROULEMENT DE LA SIMULATION:

La simulation du site couvre la même période estivale choisie durant l'investigation (voir chapitre précédent). Elle s'est déroulée pendant la journée du 15 juin sur une période de 24 heures, afin de couvrir tous les résultats obtenus (maximal et minimal) durant 24 heures dans les six stations de mesure.

¹⁰ Taleb D, Abu-Hijleh B. Urban heat islands: Potential effect of organic and structured urban configurations on temperature variations in Dubai, UAE, Renewable Energy 50 (2013) 747e762.

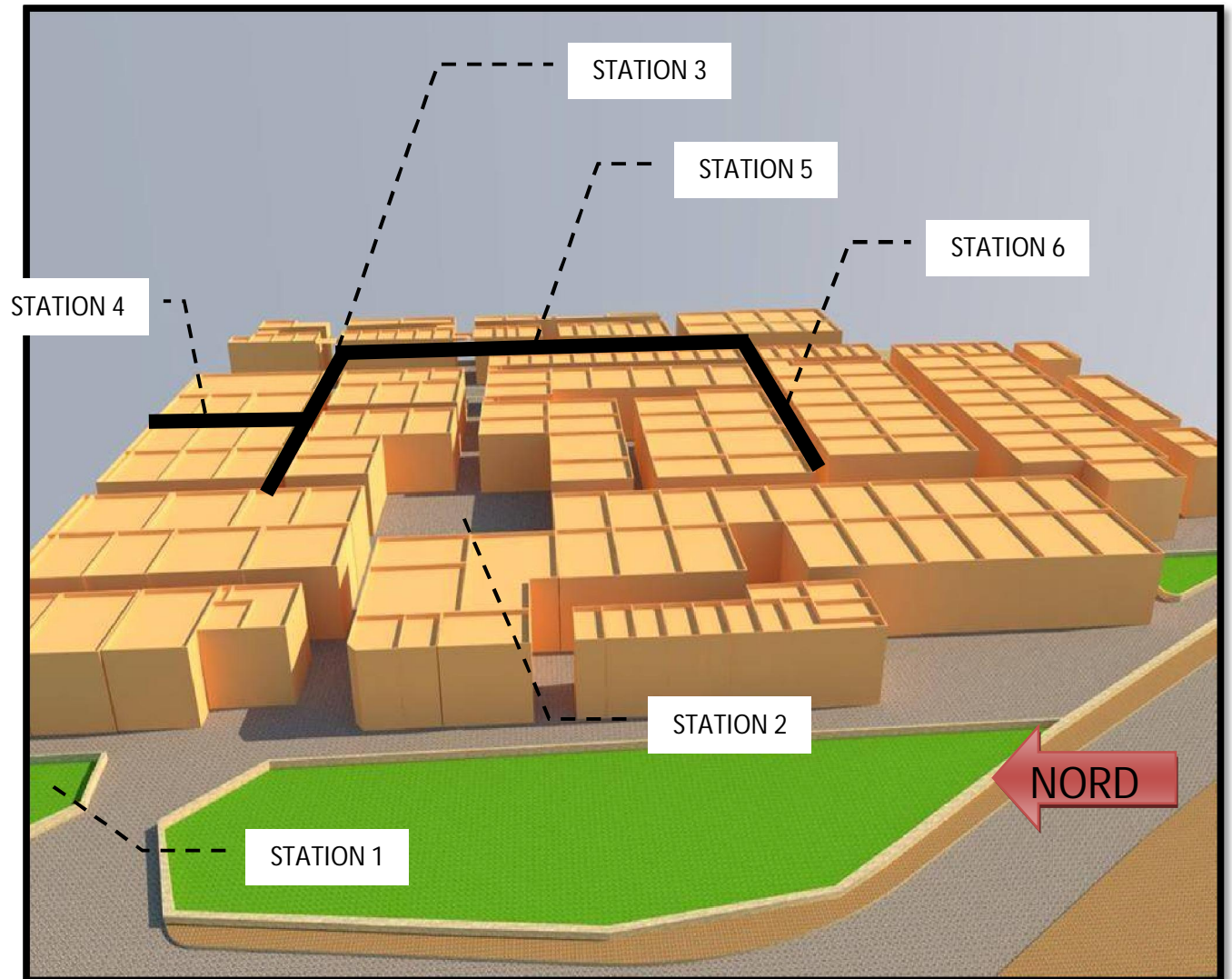


Figure 8 : Présentation en 3D des six stations (Source : SKETCHUP, 2013)

Avant le lancement de la simulation, une configuration des deux fichiers d'entrée (INPUT) doit être nécessaire afin de pouvoir leur attribuer les caractéristiques voulues et aboutir aux résultats qui peuvent guider cette recherche aux objectifs visés. Les figures ci-dessous présentent la modélisation en 3D par Envi-met ainsi que les stations de mesures étudiées sur site avec indication de la trajectoire menant aux différentes stations :

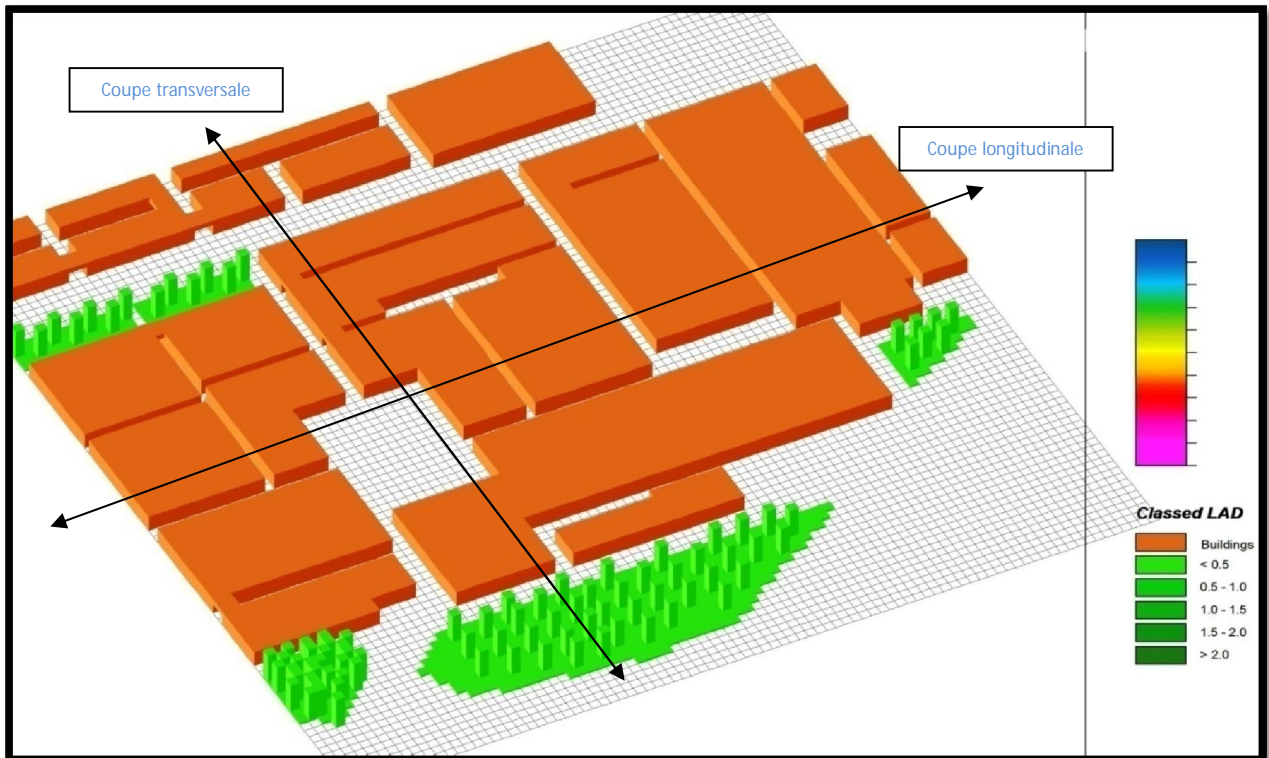


Figure 9 : Présentation en 3D du site par Envi-met (Source : Envi-met, Auteur, 2013)

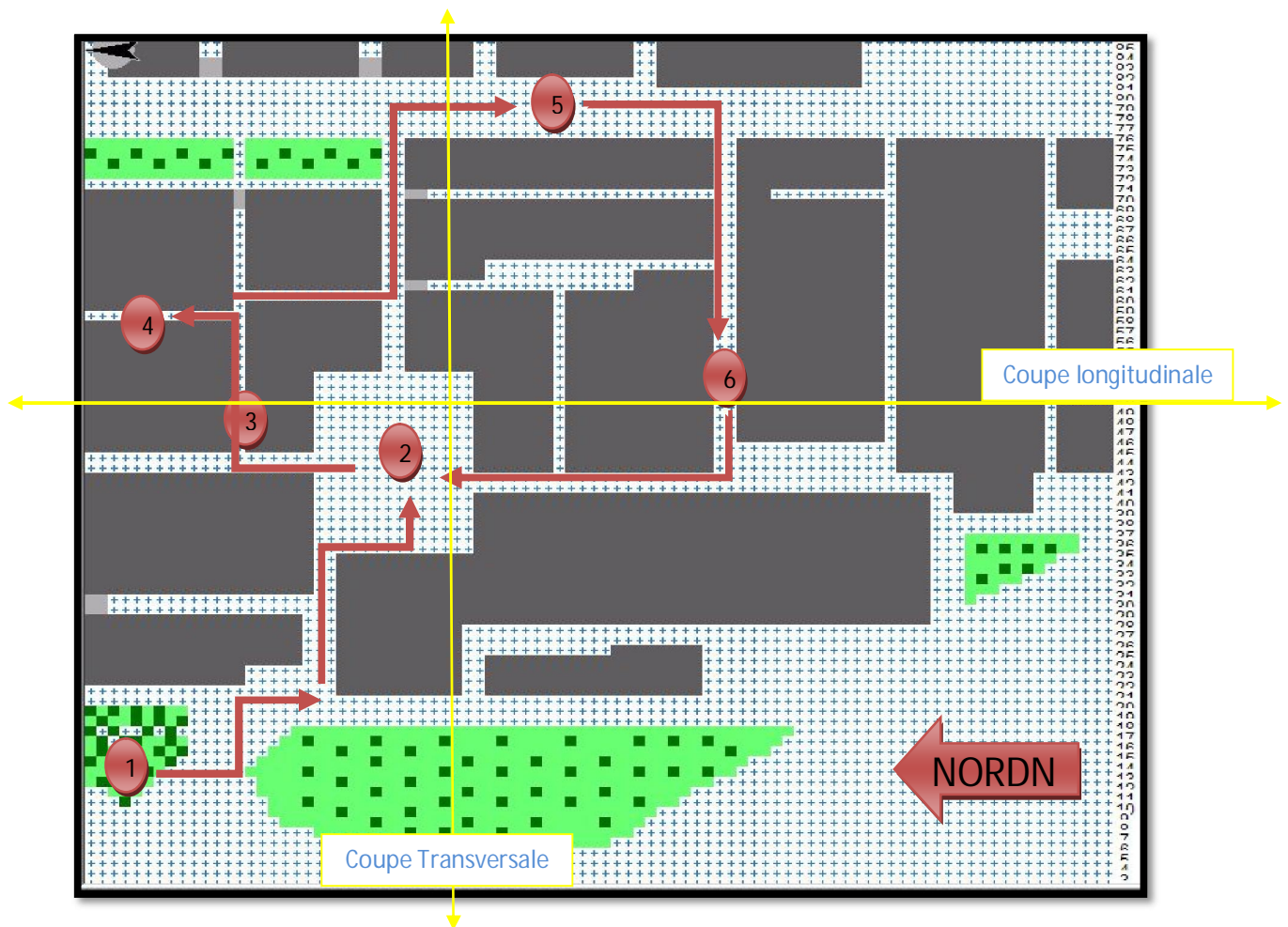


Figure 10 : Trajectoire suivie selon les six stations (Source : Envi-met, Auteur, 2013)

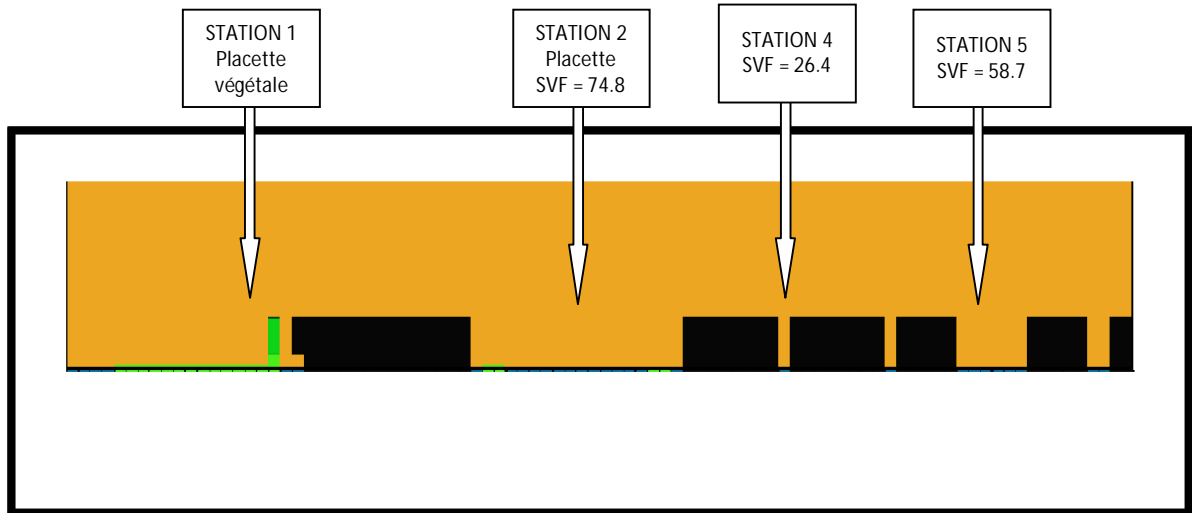


Figure 11 : Coupe transversale sur le site par Envi-met (Source : Envi-met, Auteur, 2013)

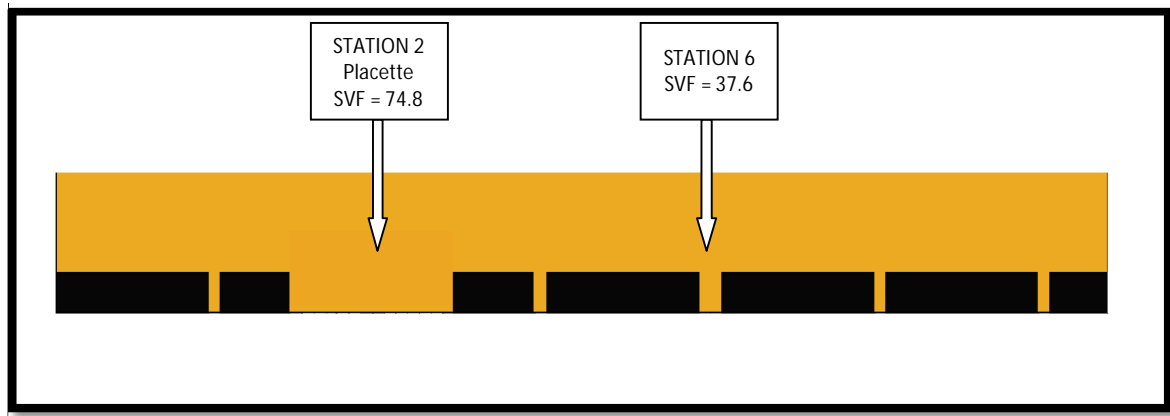


Figure 12 : Coupe longitudinale sur le site par Envi-met (Source : Envi-met, Auteur, 2013)

Le tableau ci-dessous, présente les paramètres introduits dans le fichier de configuration INPUT *.cf. :

Tableau 01: les principaux paramètres introduits au fichier *.cf

Situation de la ville de Ghardaïa	Longitude: 3.48 EST. Latitude: 32.24 NORD. Altitude: 500 m
Type de Climat	Chaud et sec
Jour de la simulation (jour type d'été)	15 Juin 2013
Durée de la Simulation	08:00 à 06:00 (24 heures)
Vitesse de l'air	2.2 m/s à 10 m au dessus de la terre
Direction des vents dominants	Est en été.
Température intérieure [K]	293 K (20°C)
Conductance thermique des murs	2.0 [W/m²K]
Conductance thermique des toitures	0.9 [W/m²K]
Albédo des murs	0.2
Albédo des toitures	0.7

V-4 - DISCUSSION ET ANALYSE DES RESULTATS DE SIMULATION

L'analyse des résultats de simulation révèle une même logique que les résultats de l'investigation et qui sont détaillés dans le chapitre précédent. Ces résultats obtenus par un programme numérique permettent de vérifier les conclusions par rapport à plusieurs travaux de recherches sur les espaces publics extérieurs tels que Eliasson (2003), G. Latini (2010), et surtout dans les régions à climat chaud et aride, tels que les travaux Bourbia (2004), et Fazia Ali-Toudert (2005).

V-4-1- Température de l'Air (T air) :

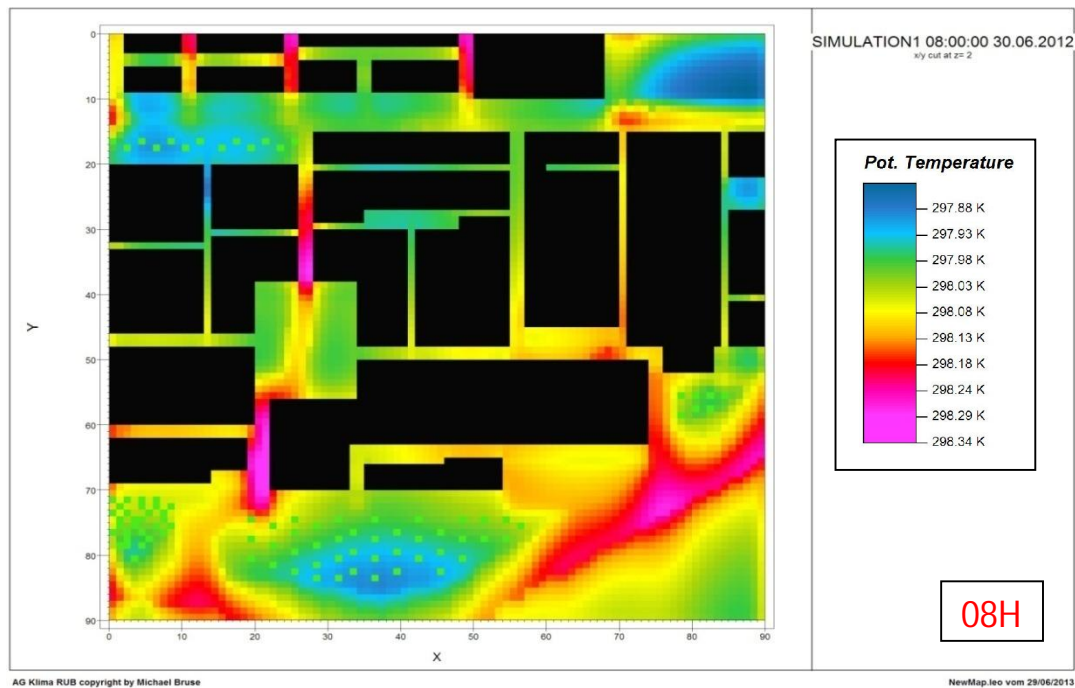


Figure 13 : Variation de la température de l'air à 08h00 (14 juin 2013) (Source : Leonardo, Auteur, 2013)

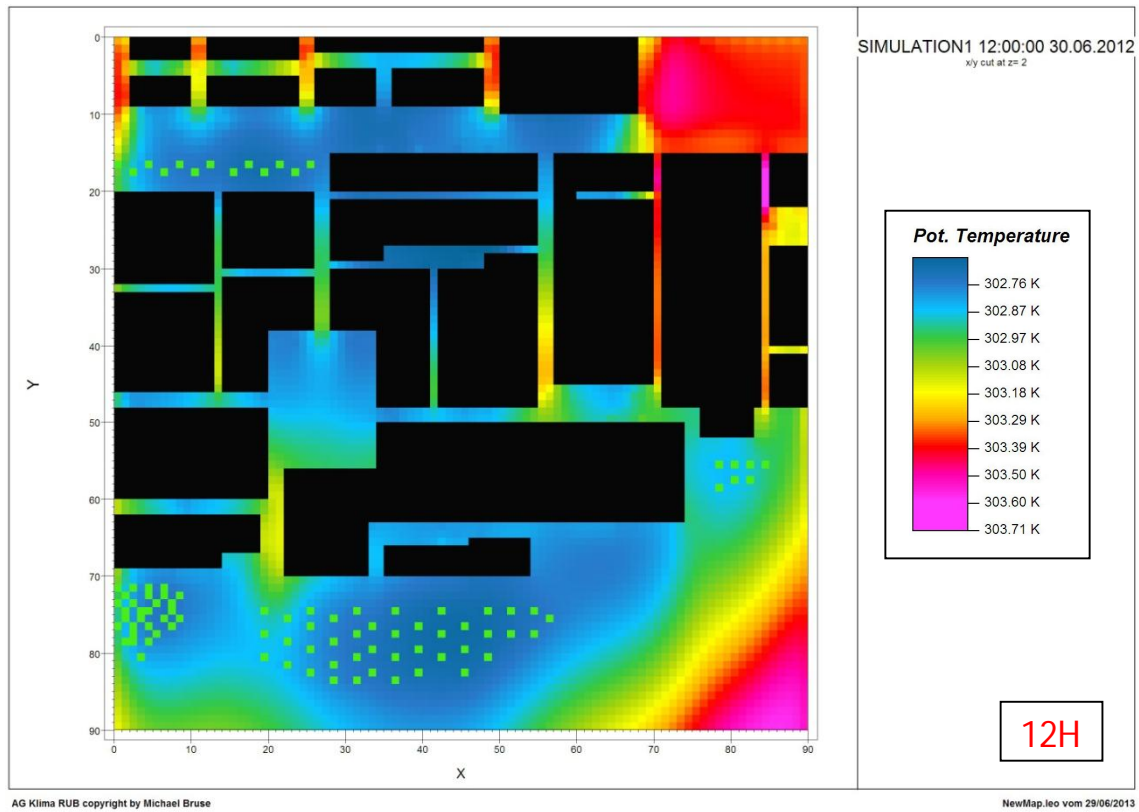


Figure 14 : Variation de la température de l'air à 12h00 (14 juin 2013) (Source : Leonardo, Auteur, 2013)

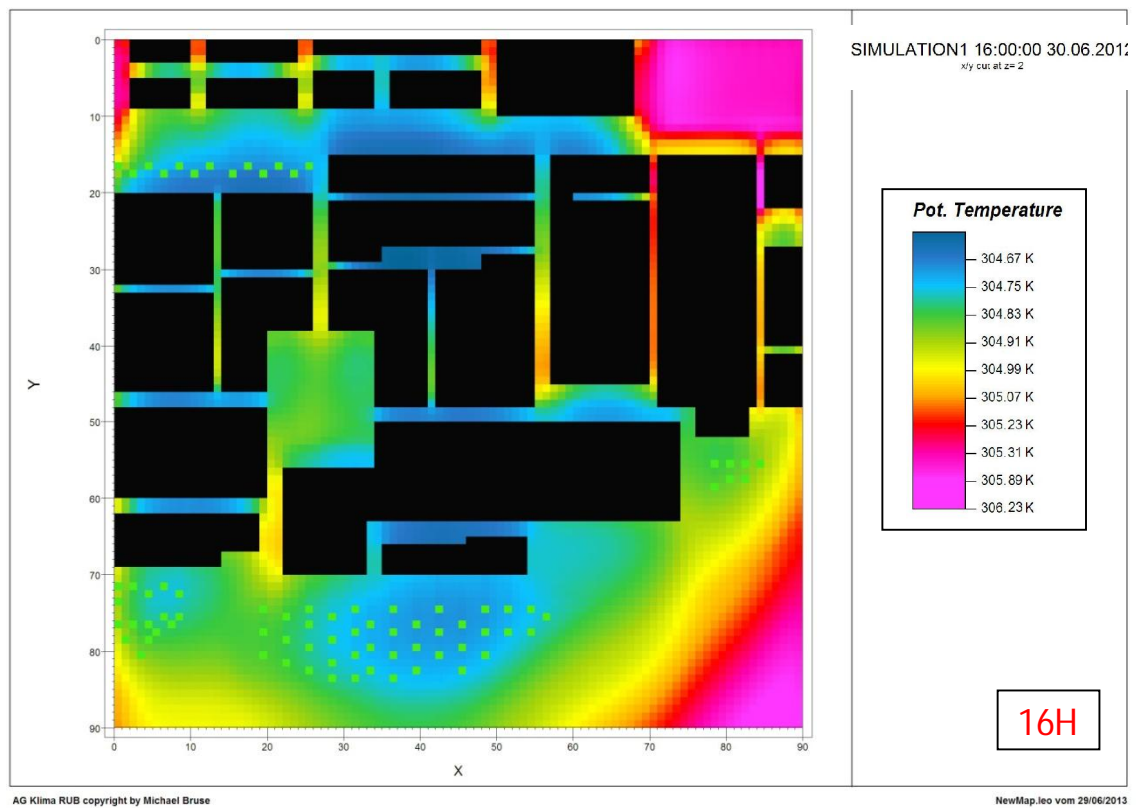


Figure 15 : Variation de la température de l'air à 16h00 (14 juin 2013) (Source : Leonardo, Auteur, 2013)

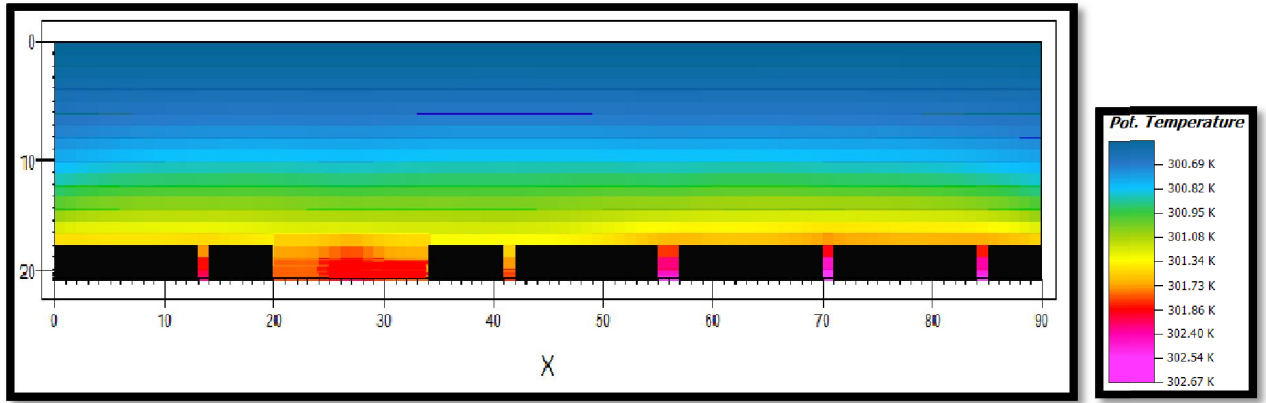


Figure 16 : Coupe longitudinale sur la variation de T air par Envi-met à 11h (14 juin 2013)

(Source : Envi-met, Auteur, 2013)

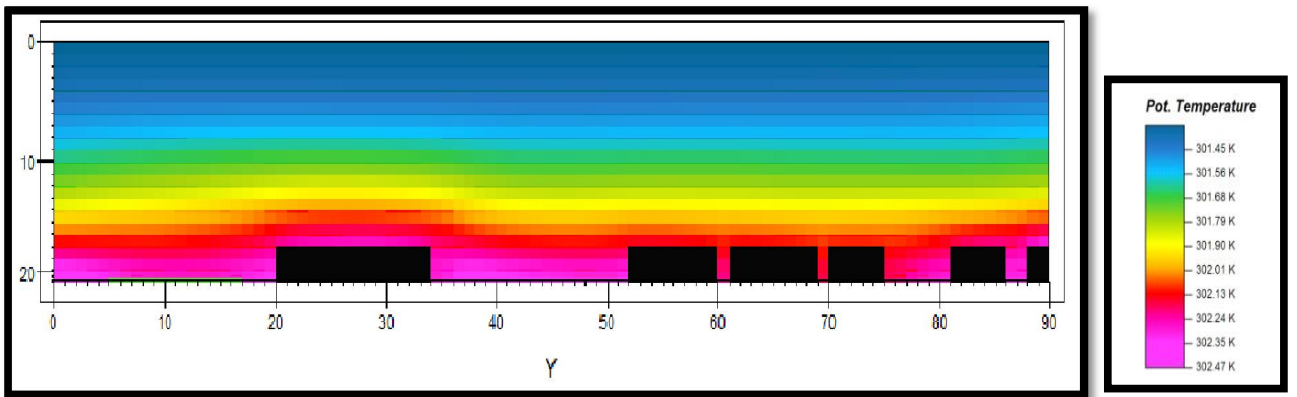


Figure 17 : Coupe longitudinale sur la variation de Tair par Envi-met à 11h (14 juin 2013)

(Source : Envi-met, Auteur, 2013)

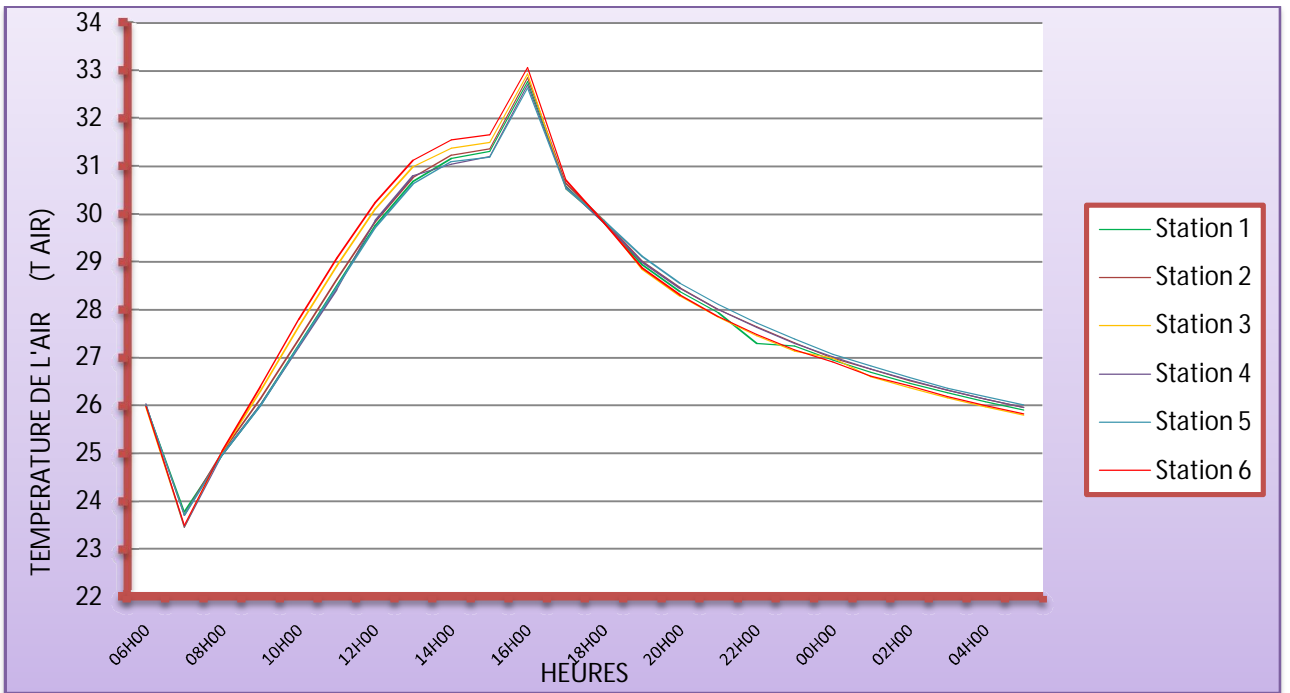
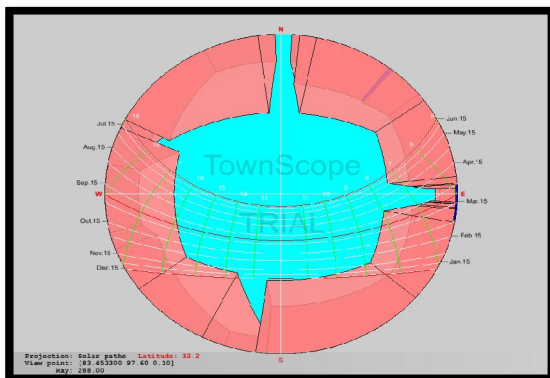


Figure 18 : Variation de la température de l'air (Source : Auteur, 2013)

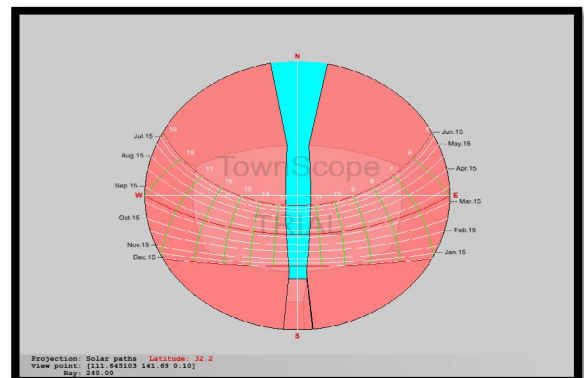
Concernant la température de l'air, on remarque que le logiciel de simulation enregistre une très légère différence au niveau des six stations. Au début de la journée (08 heures), la température de l'air la plus élevée est au niveau de S 6 (de l'ordre de 25.05°C). À midi, les valeurs les plus élevées sont enregistrées au niveau des stations 3 et 6 (30.24°C pour cette dernière). Ces deux stations sont orientées EST-OUEST. Le même résultat obtenu à 16 heures avec une valeur de T_{air} est égale à 33.07°C toujours au niveau de la station 6. Les valeurs les moins élevées durant la période diurne ont été enregistrées à 07 heures du matin au niveau des stations 5 et 4, respectivement 23.71 et 23.4°C (Voir figure 18).

➤ **Effet de la géométrie sur la température de l'air :**

Pendant la période diurne et malgré la légère différence des températures de l'air au niveau des six stations, on remarque que les valeurs les plus élevées sont enregistrées au niveau des rues orientées EST-OUEST. Tandis que les valeurs les moins élevées sont enregistrées au niveau des rues orientées NORD-SUD, principalement à cause de la durée d'insolation sur les surfaces exposées au soleil qui engendrent un stockage consistant de la chaleur pendant la journée. En effet, la surchauffe de l'air dans l'orientation NORD-SUD est beaucoup plus faible par rapport à l'orientation EST-OUEST. De même, les stations 4 et 5 ont montré un certain degré de fraîcheur par rapport aux autres stations (voir figure 18), d'une part à cause de la bonne orientation NORD-SUD, et d'autre part à cause de leurs ouvertures au ciel SVF qui est de l'ordre de S4 (26.4) et S5 (58.7) par rapport aux autres stations telles que S1 (88.1) et S2 (74.8), ce qui permet une plus longue durée de protection contre les rayonnements solaires directs, ainsi que l'importante durée d'insolation sur les surfaces directement exposées au soleil dans les espaces caractérisés par un grand SVF, ce qui engendre un stockage consistant de la chaleur pendant la journée et qui contribue fortement à la surchauffe de l'air dans les stations à grande valeur du SVF (Bourbia et Awbi 2004).



Station 02 (SVF=74.8)



Station 04 (SVF=26.4)

Figure 19 : Comparaison entre deux valeurs différentes de SVF (Source : Auteur, 2013)

➤ **Effet de la végétation sur la température de l'air:**

Malgré la très petite différence dans la température de l'air enregistrée par le logiciel Envi-met, on remarque que la station 1, qui se trouve dans une placette végétalisée et sous l'effet de la végétation, a enregistré les valeurs les plus basses durant toute la journée en comparaison avec la station 2 (placette minérale sans végétation). Ces processus affectent directement la température de l'air et par conséquent le confort thermique extérieur¹¹. Ce qui explique le rôle fondamental de la végétation et des matériaux de revêtement (albédo de l'asphalte qui est de 0.05) sur la température de l'air. Durant la période nocturne (voir figure 18) la température de l'air la plus élevée a été enregistrée au niveau des stations S4 et S5 d'une valeur de 28.45° C et 28.56° C. Tandis que les valeurs les moins élevées sont enregistrées au niveau des stations S2, S3 et S6 qui sont orientées EST-OUEST. Cela est dû principalement à un piégeage des rayonnements infrarouges assez importants dans les stations qui présentent une petite valeur du SVF. Ce qui confirme les travaux de recherches de L. de Souza au Brésil et Eliasson à Göteborg (entre 16h-23h).

V- 4 -2- Température Moyenne Radiante (MRT) :

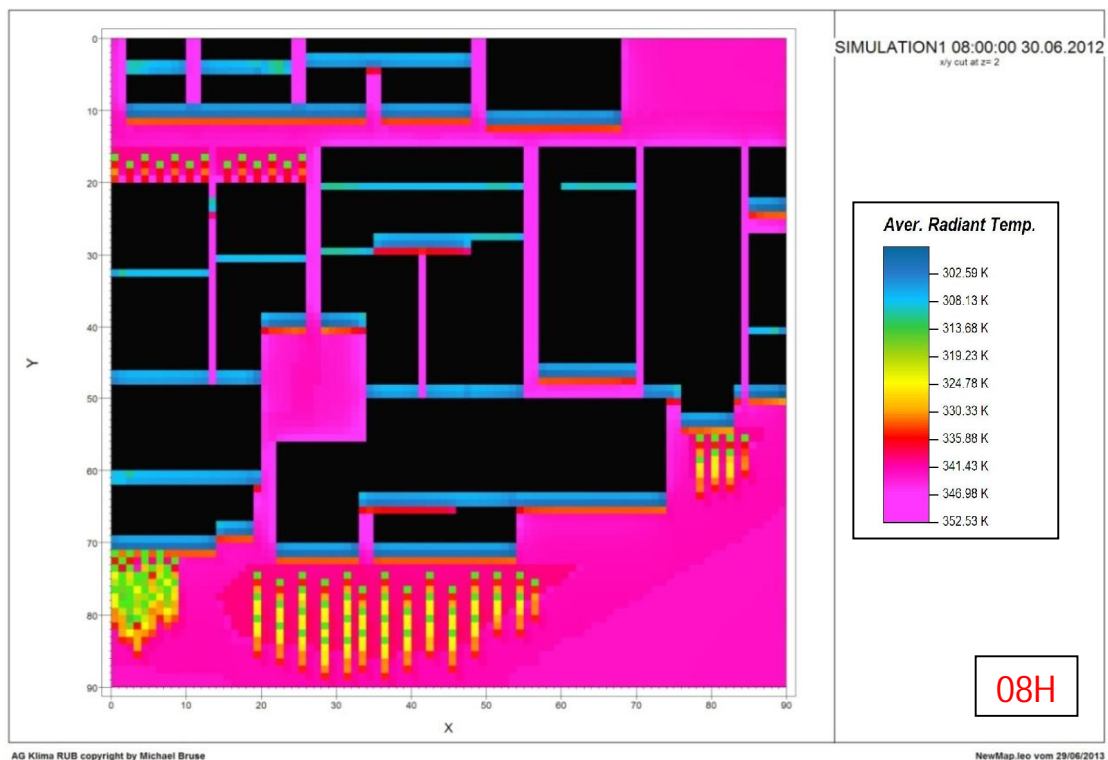


Figure 20 : Variation de la Température Moyenne Radiante MRT à 08h00 (14 juin 2013) (Source : Auteur, 2013)

¹¹ « GUAY F et BAUDOUIN Y, in <http://www.equiterre.qc.ca>, 2003 »

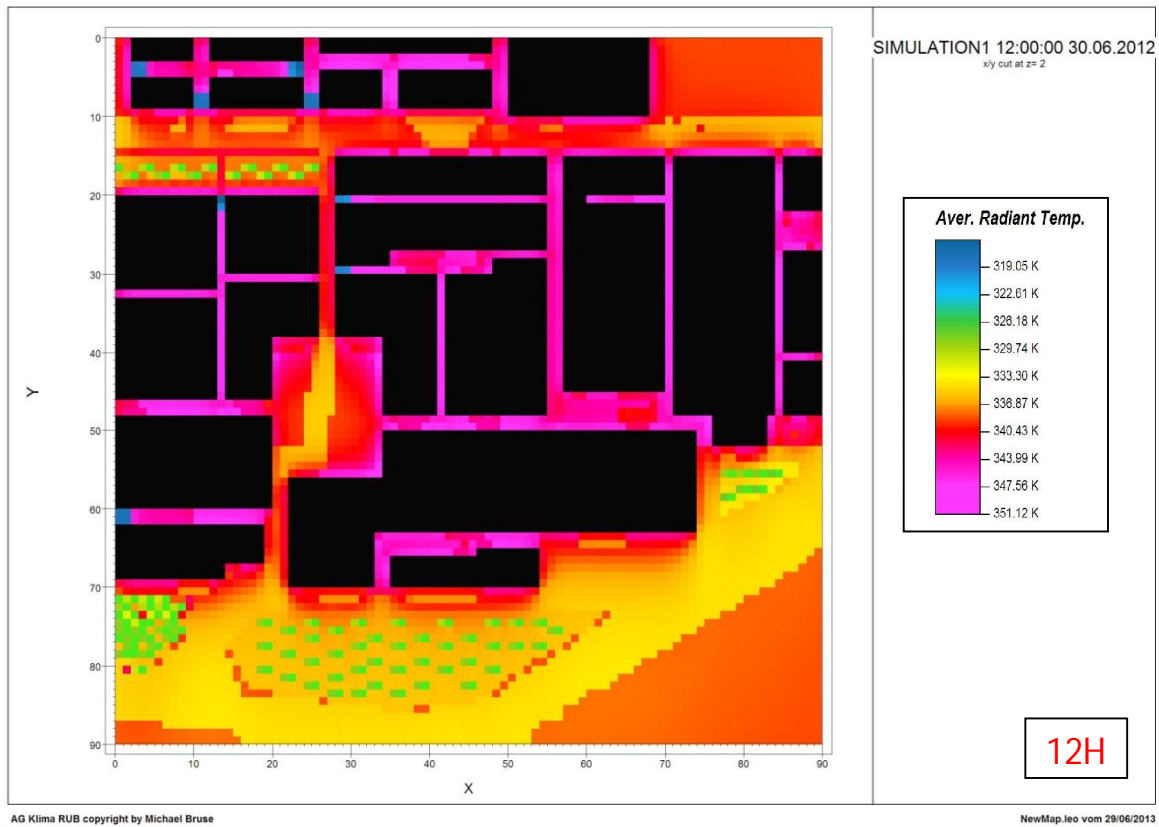


Figure 21 : Variation de la Température Moyenne Radiante MRT à 12h00 (14 juin 2013) (Source : Auteur, 2013)

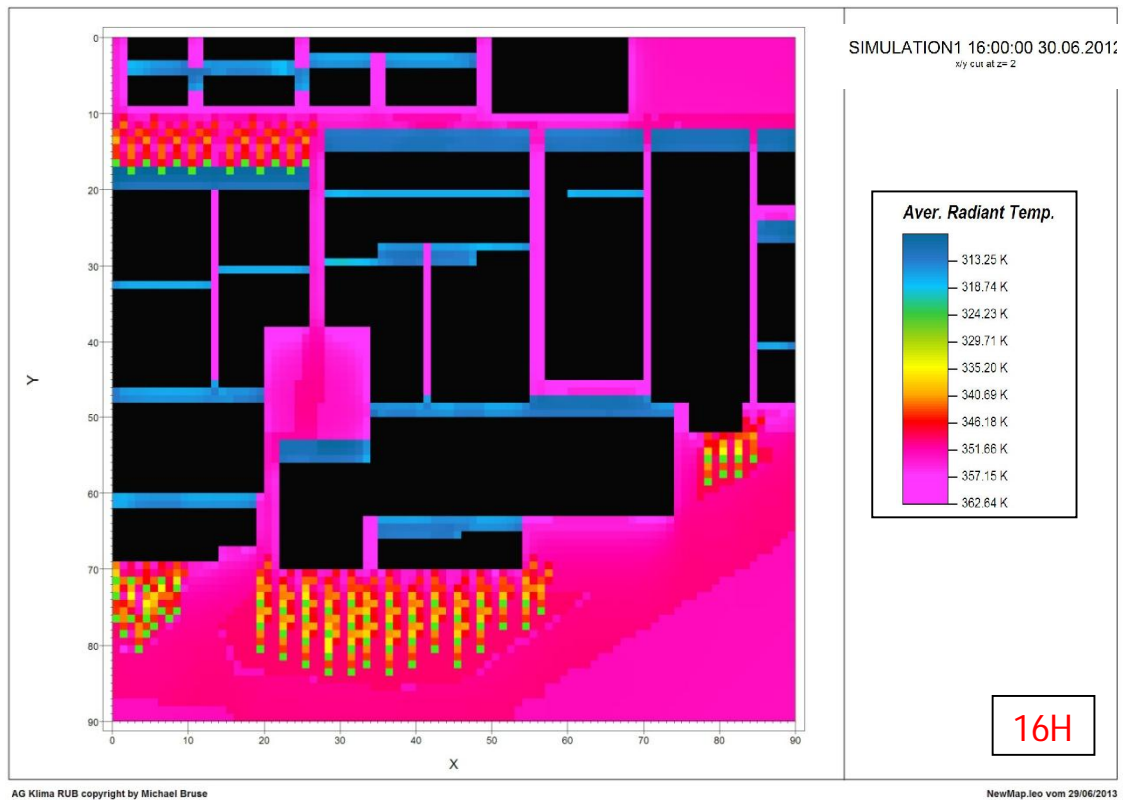


Figure 22 : Variation de la Température Moyenne Radiante MRT à 16h00 (14 juin 2013) (Source : Auteur, 2013)

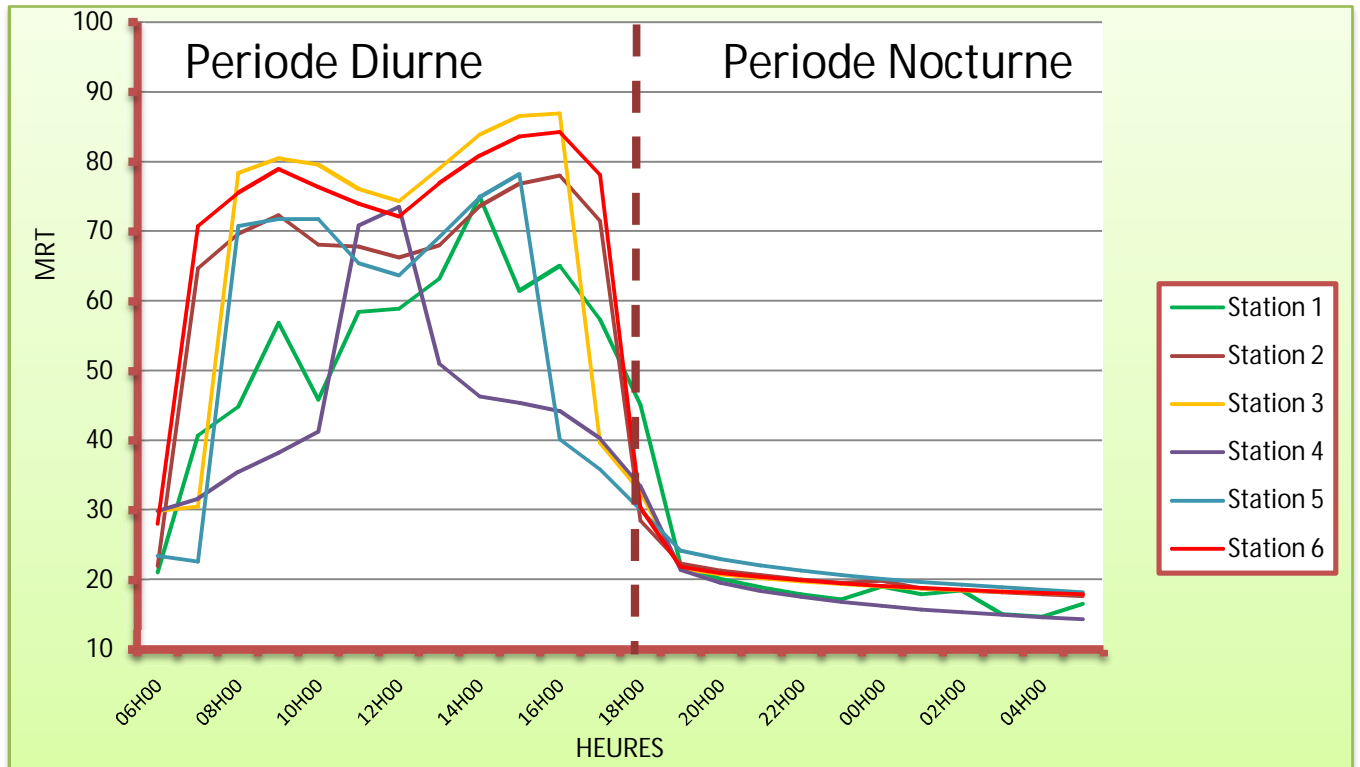


Figure 23 : Variation de MRT durant la simulation (Source : Auteur, 2013)

La température moyenne radiante est l'un des facteurs fondamentaux pour l'intensité de l'îlot de chaleur urbain. Elle se produit lorsque les températures sont très élevées. La température moyenne radiante (MRT) au niveau de toutes les stations de simulation a un rapport direct avec l'irradiation solaire provenant des différentes surfaces. Elle a aussi un rapport direct avec la durée d'ensoleillement et la durée d'ombrage (Ali-Toudert 2005).

Durant la simulation, on a remarqué que les résultats du MRT sont totalement différents à la température de l'air même dans l'ombre, ils ne reflètent pas la conclusion du chercheur J. Vinet (2000) qui dit que : « pour des individus restant à l'ombre, la température moyenne radiante est souvent considérée comme étant proche de la température de l'air »¹².

D'après les résultats de simulation, on remarque que les stations S3 et S6 marquent les valeurs les plus élevées du MRT durant toute la journée, atteignant jusqu'à 86.92° C à 16h au niveau de la station 3. Tandis que la valeur la moins élevée a été enregistrée au niveau de S4 à 08 heures du matin avec une valeur de 35.43° C. Les valeurs les plus faibles du MRT durant 24 heures ont été enregistrées pour la station 4.

¹² « Vinet J, 2000 IN Belatreche T, effet thermo radiatifs et caractérisation microclimatiques des cours interieurs dans les édifices publics, mémoire de magistère, Université Mentouri, 2006 »

➤ **Effet de la géométrie sur MRT:**

Pour tester l'effet de la géométrie sur la température moyenne radiante, une comparaison a été faite entre les 4 canyons urbains S3, S4, S5, S6 caractérisés par une géométrie urbaine différente :

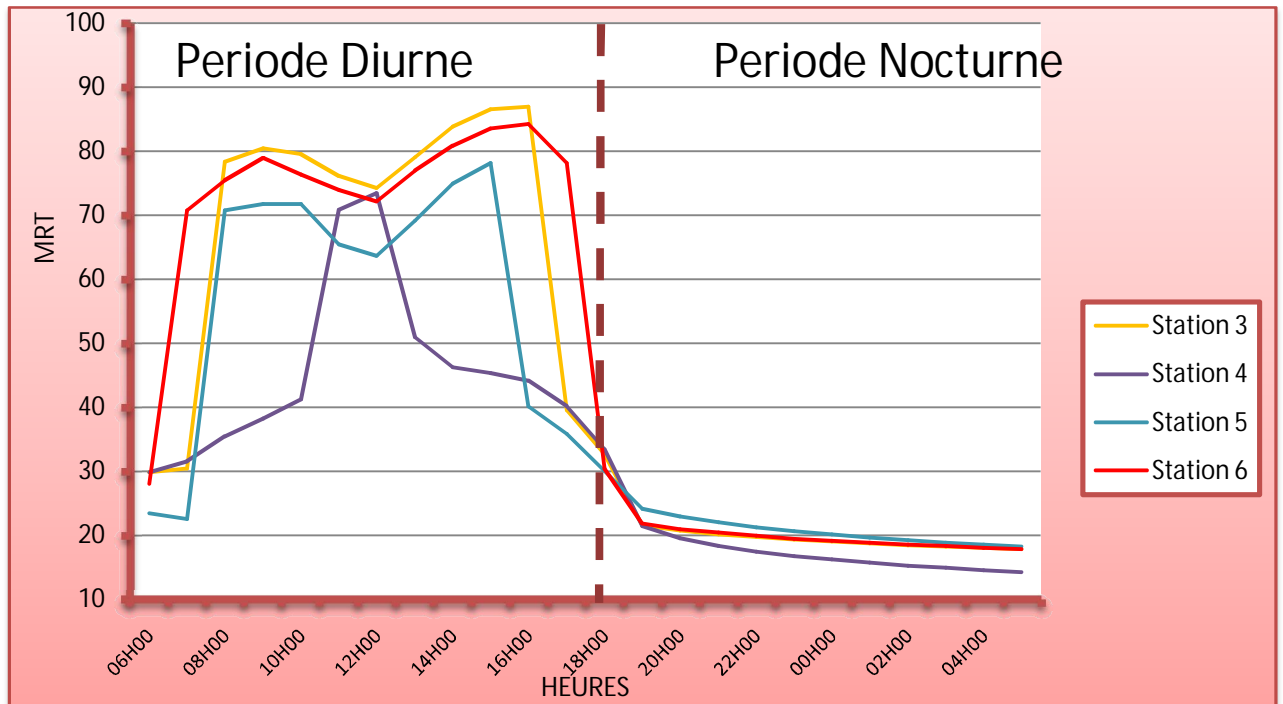


Figure 24 : Variation de MRT entre les canyons urbains (Source : Auteur, 2013)

D'après Ali-Toudert (2005), les valeurs les plus élevées du SVF représentent un plus grand accès solaire, donc une plus grande température moyenne radiante. Dans notre cas, la station 2 qui est un espace dégagé, enregistre une valeur élevée de MRT coïncidant avec le SVF le plus élevé (74.8).

La figure 24 montre qu'à 15h, la station 3 (SVF = 24.1) enregistre la température moyenne radiante la plus élevée avec une maximale de 86.92° C, suivi de la station 6 (SVF=37.6) avec une valeur de 84.22 C. La station 4, quant à elle, vu sa petite ouverture au ciel, enregistre une faible valeur du MRT par rapport aux autres stations, avec un écart qui atteint jusqu'à 24° C (par rapport à S3).

En procédant à une comparaison entre les stations 4 et 3 dont les SVF sont semblables (24.1 pour S3, et 26.4 pour S4 -Figure 24-). Les valeurs du MRT les plus élevées sont présentes au niveau de S3 atteignant jusqu'à 86.92° C, cela est dû essentiellement à l'orientation EST-OUEST qui permet un accès direct des rayons solaires d'été avec une importante durée d'insolation sur les surfaces directement exposées au soleil. Elles engendrent un stockage consistant de la chaleur par rapport à la station 4. Ce phénomène permet l'accès direct du soleil dans le S4 que dans une courte période à midi (01 heure). On remarque que la station S4 n'est exposée au soleil qu'à partir de midi et elle est

complètement à l'ombre pendant toute la journée, ce qui affecte directement la température moyenne radiante et par conséquent le confort thermique extérieur¹³.

Si nous comparons la stations 5 et la station 6 (figure 24), et bien que cette dernière présente une valeur du SVF (37.6) plus basse que la station 5 qui est (58.7), la station 6 marque la valeur la plus élevées du MRT avec un maximum de 84.22° C à 16h, cela est dû principalement à la mauvaise orientation EST-OUEST qui engendre un stockage consistant de la chaleur pendant toute la journée et qui contribue fortement à l'augmentation de la température surfacique et par conséquent le MRT. Cela montre que l'orientation a un impact direct et fondamental sur le confort thermique extérieur¹⁴. Ces valeurs correspondent à celles mis en évidence par différents chercheurs à travers le monde sur le phénomène d'îlot de chaleur d'été tel qu'il a été prouvé par G. Escourrou¹⁵.

Comparons les stations 4 et 5 (figure 24) : bien qu'elles aient la même orientation NORD-SUD, on remarque que le S5 présente des résultats plus élevés par rapport à S4 jusqu'à 16h à cause d'une part, de la différence au niveau du SVF entre le S4 et S5 (S5 à un SVF égal à 58.7 qui est plus grand que S4 qui sont de l'ordre de 26.4), d'autre part à cause de la nature des matériaux de construction qui sont en asphalte dans la station 5.

Pour évaluer le potentiel de la géométrie urbaine à travers leurs SVF et son effet sur la MRT, une corrélation entre (MRT max) et (SVF) s'avère nécessaire, en utilisant le coefficient de corrélation (R) pour déterminer le taux de corrélation (voir figure 25).

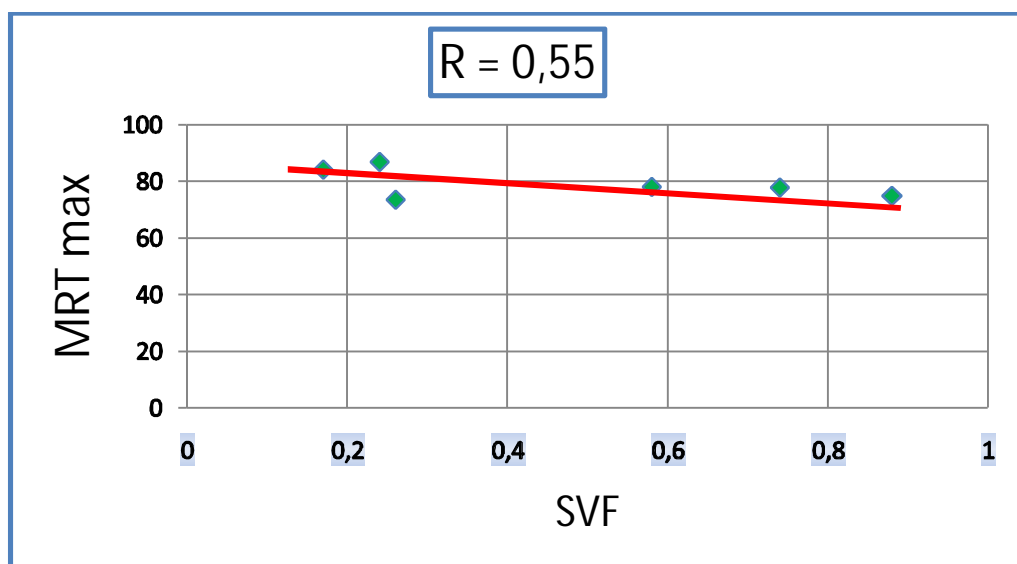


Figure 25 : Corrélation entre SVF et MRT max pour les six stations de mesures (Source : Auteur, 2014)

¹³ Frédéric GUAY et Yves BAUDOUIN , 2003 in <http://www.equiterre.qc.ca>

¹⁴ « <http://www.infoclimat.fr> »

¹⁵ « Escourrou G, le climat et la ville, presse universitaire Nathan, Paris 1991 »

D'après les résultats obtenus, on distingue une corrélation moyenne entre le MRT et le SVF ($R = 0.55$), contrairement à ceux qu'on a trouvé avec la corrélation entre SVF et T air (Voir chapitre investigation) où on a obtenu une très faible corrélation entre la température de l'air (T_a) et le SVF.

Les valeurs les plus élevées du MRT ont été enregistrées dans les stations qui sont caractérisées par une orientation EST-OUEST, car l'intensité du rayonnement solaire est très élevée principalement durant la période estivale, tandis que l'orientation NORD-SUD favorise la protection contre les rayons solaires, où on a enregistré les plus faibles résultats du MRT (S4 et S5) malgré que la station S3 présente des SVF plus avantageux que les autres stations. **On peut en conclure donc que l'orientation de la rue a un impact plus fort et plus important que l'ouverture au ciel sur la température moyenne radiante et le confort thermique extérieur.**

➤ **Effet de l'albédo sur MRT:**

Durant toute la journée, on remarque que la station 5 présente des températures plus élevées, atteignant jusqu'à 78.15°C à 15h. Comparativement à la station 4, qui présente des valeurs élevées que pendant une heure (à midi) malgré qu'ils ont la même orientation, cela peut être expliqué par le réchauffement de l'asphalte qui couvre le sol (avec un faible albédo de 0.05).

Ce réchauffement est lié à la valeur de SVF plus grande dans le S5 (58.7) que dans le S4 (26.4) ce qui contribue à la création d'un effet d'ombre assez important avec une diminution considérable dans la durée d'insolation de la station 4 où les parois du canyon reçoivent moins de rayons solaires. Ce phénomène est expliqué par les différents comportements des matériaux de revêtement qui consistent en la restitution de la chaleur par les matériaux des façades et le revêtement du sol en asphalte dans le S5. A titre indicatif, l'asphalte est caractérisée par un albédo de l'ordre de 0,05, une absorptivité de l'ordre de 0.93 et une émissivité égale à 0.95, tandis que la station 4 est caractérisée par un albédo de l'ordre de 0,25, une absorptivité de l'ordre de 0.75 et une émissivité égale à 0.91¹⁶. Ce processus affecte directement la température moyenne radiante et met en évidence l'influence des surfaces à faible albédo sur le bilan énergétique humain. Ce qui confirme les travaux de recherche de Asaeda (1996) sur divers matériaux de pavage, ce qui a prouvé l'effet de l'absorptivité et de la réflectivité des rayons solaires qui caractérisent le pavage du sol. Ces résultats vont confirmer l'hypothèse de notre recherche sur l'impact de la morphologie et des matériaux de construction sur le confort thermique extérieur.

¹⁶ GUAY F et BAUDOUIN Y, 2003 in <http://www.equiterre.qc.ca>

➤ **Effet de la végétation sur MRT:**

Pour tester l'effet de la végétation sur la température moyenne radiante, une comparaison a été faite entre les deux placettes S1 (placette avec végétation), et S2 (placette minérale sans végétation) caractérisées par une densité végétale différente :

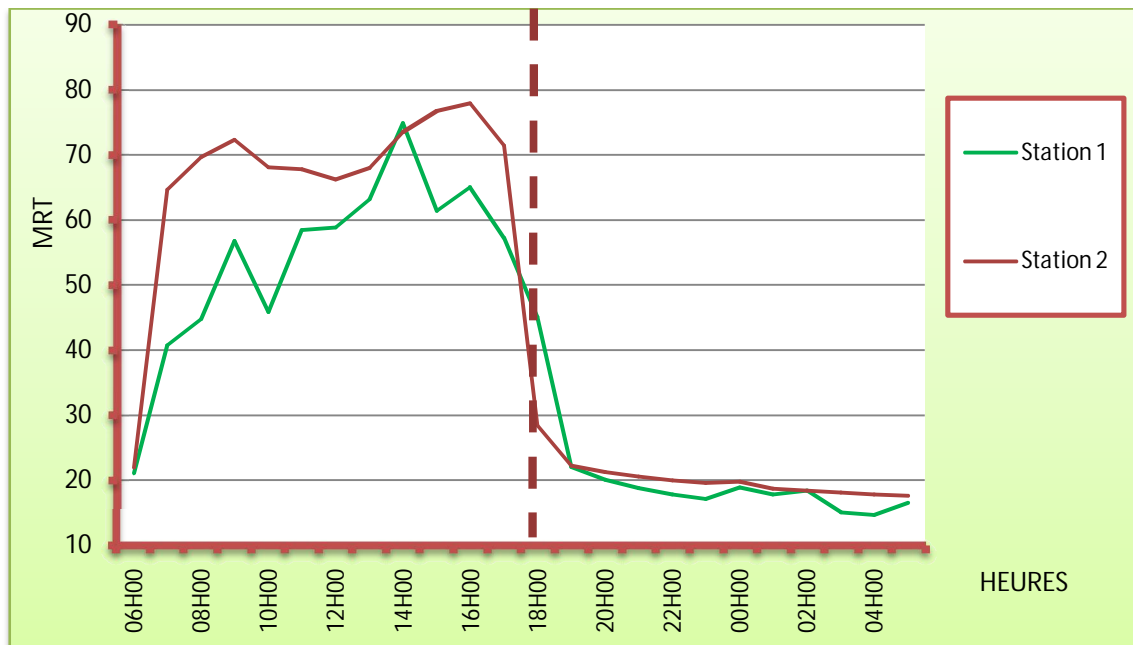


Figure 26 : Variation de MRT entre les deux placettes (Source : Auteur, 2013)

Malgré la faible densité de la végétation au niveau de S 1 (placette avec végétation), on remarque que cette dernière a enregistré les plus basses valeurs de MRT par rapport à S 2 (placette minérale sans végétation) durant toute la période de mesure. Cette station enregistre la plus basse valeur de MRT avec 21° C à 7h du matin, elle enregistre aussi la plus basse valeur par rapport à tous les valeurs maximales des six stations avec une différence atteignant jusqu'à 37° C avec S 3 à 10h du matin. En comparant la station 1 et la station 2 on remarque un très grand écart de températures expliqué par le double rôle de la végétation : d'une part, elle joue le rôle d'un masque solaire qui fait chuter le SVF, d'autre part elle entraîne une humidification de ces espaces extérieurs.

Cette conclusion confirme plusieurs travaux de recherche tels que ceux de Limor Shashua-Bar (2009), et Louafi Samira (2013) sur l'effet de la végétation sur les ambiances thermiques extérieures. Ces résultats vont confirmer l'hypothèse de notre recherche sur l'impact de la végétation sur le confort thermique extérieur.

V- 4 -3-Vote Moyen Prévisible (PMV) :

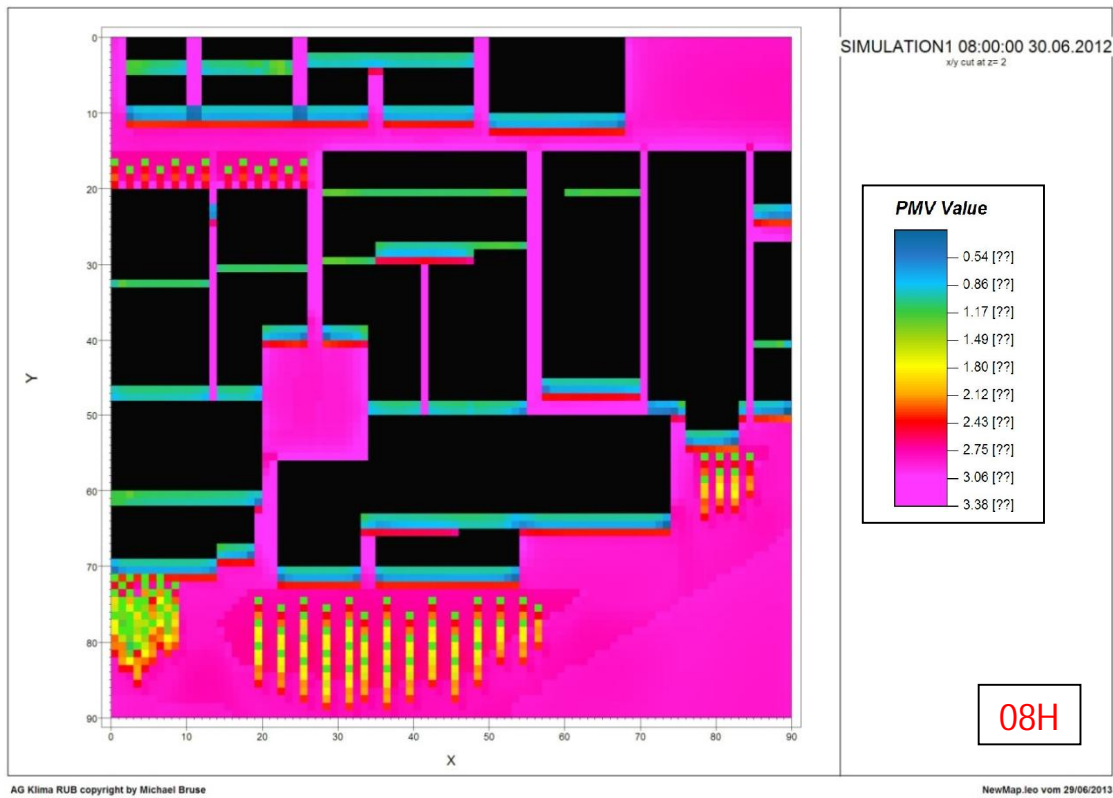


Figure 27 : Variation du Vote Moyen Prévisible PMV à 08h00 (14 juin 2013) (Source : Leonardo, Auteur, 2013)

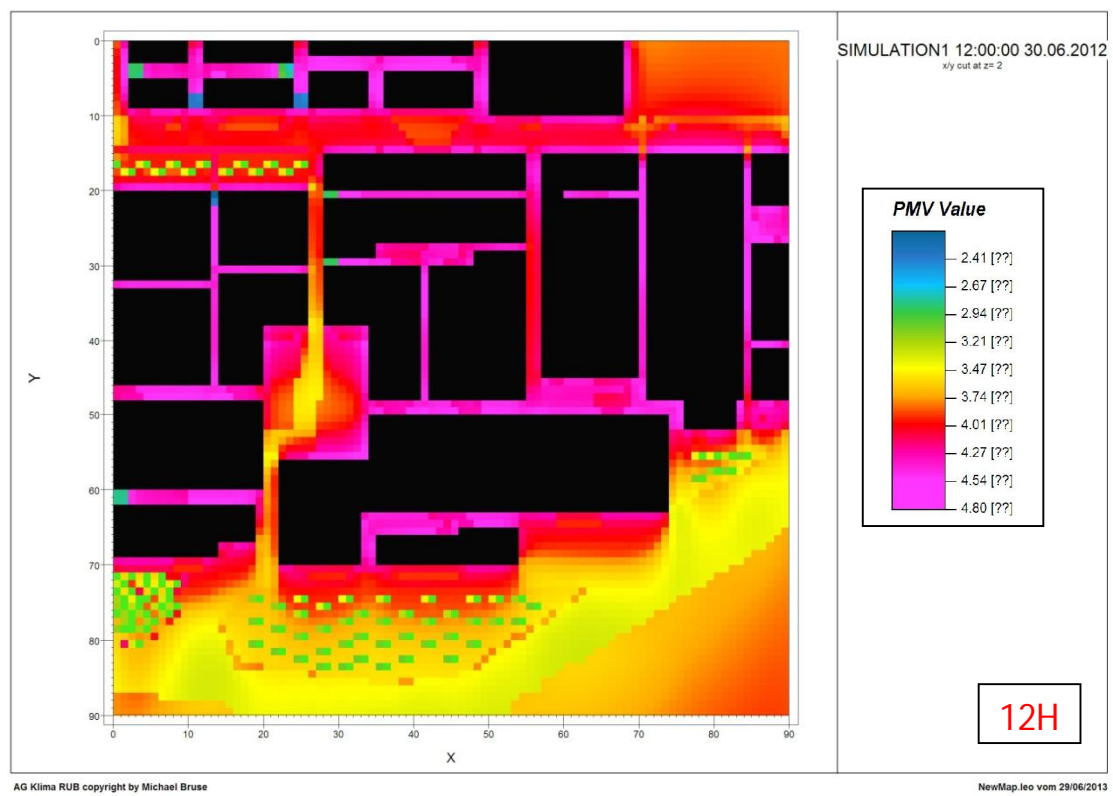


Figure 28 : Variation du Vote Moyen Prévisible PMV à 12h00 (14 juin 2013) (Source : Leonardo, Auteur, 2013)

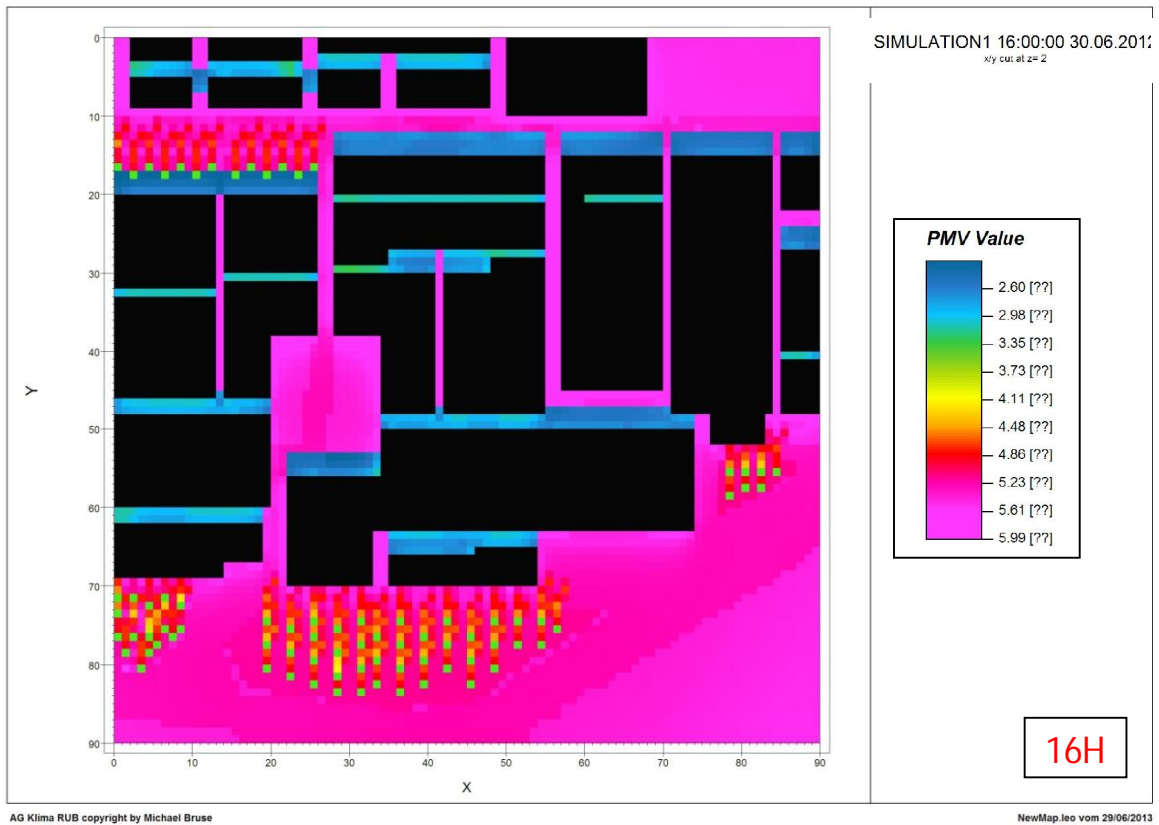


Figure 29 : Variation du Vote Moyen Prévisible PMV à 16h00 (14 juin 2013) (Source : Leonardo, Auteur, 2013)

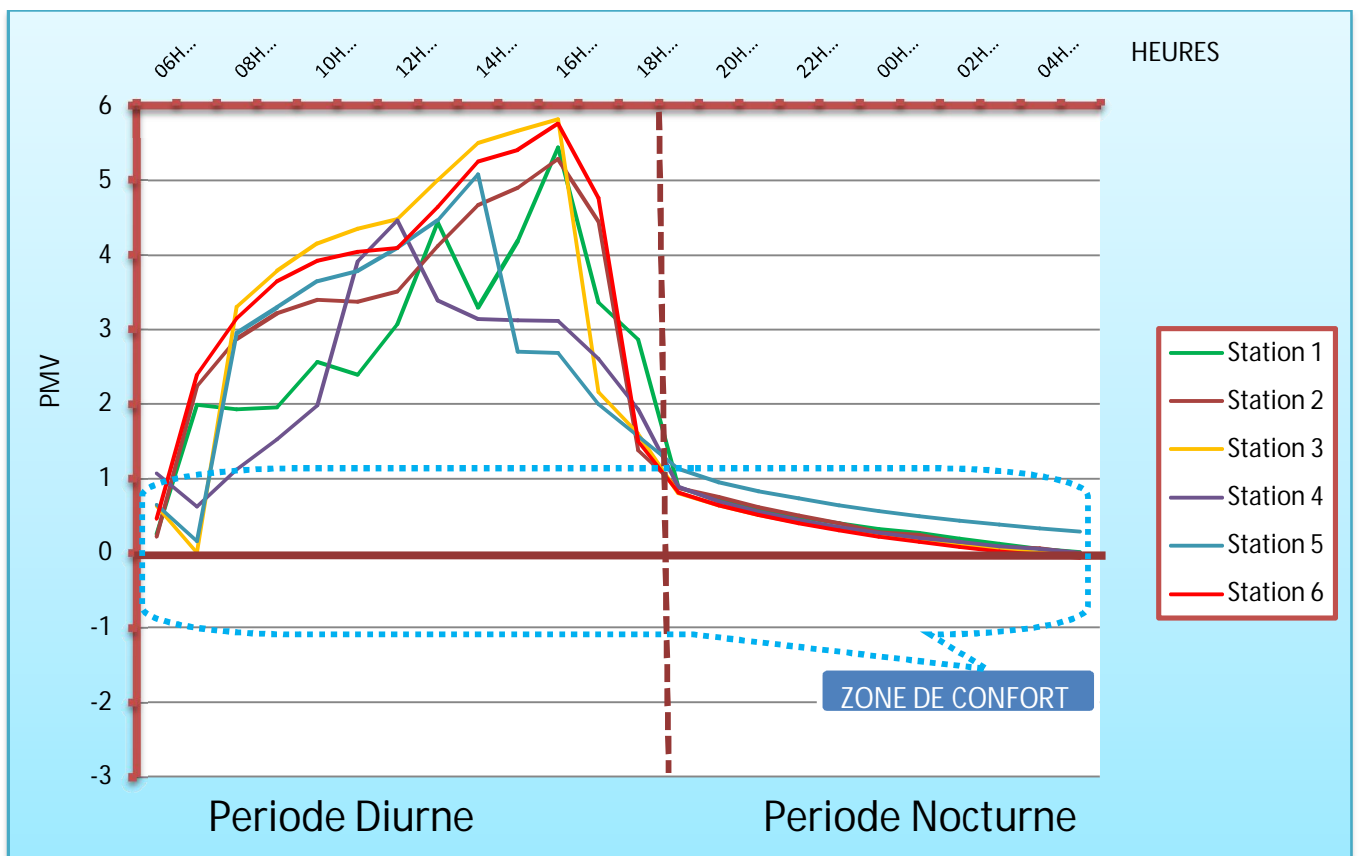


Figure 30 : Variation du Vote Moyen Prévisible PMV (Source : Auteur, 2013)

Pour évaluer l'impact des paramètres climatiques sur le confort thermique des usagers, l'analyse des résultats de PMV révèle une même logique que celles des MRT, il existe une grande corrélation positive entre PMV et MRT.

Après l'analyse des résultats de PMV, on remarque que la majorité des valeurs enregistrées du PMV durant toute la simulation étaient positives (entre 0 et +5) sauf entre 4h et 6h du matin où on a enregistré des valeurs négatives entre 0 et -1 (voir figure 30).

La figure 30 montre que la valeur du PMV entre 19h et 7h du matin (Période Nocturne) se trouve dans la zone de confort (entre -1 et +1), cela est dû essentiellement à la ventilation naturelle nocturne et le rafraîchissement par la voûte céleste qui permet une dissipation de l'air chaud et de l'énergie stockée durant toute la journée.

Durant la période diurne, on remarque que les valeurs du PMV les plus confortables ont été enregistrées au niveau de S1 et S4, la valeur la plus élevée était enregistrée au niveau de S3 et S6 (atteignant jusqu'à 5.82 pour S3) qui sont caractérisées par une orientation EST-OUEST.

La figure ci-dessous montre une comparaison entre les 4 canyons urbains S3, S4, S5, S6:

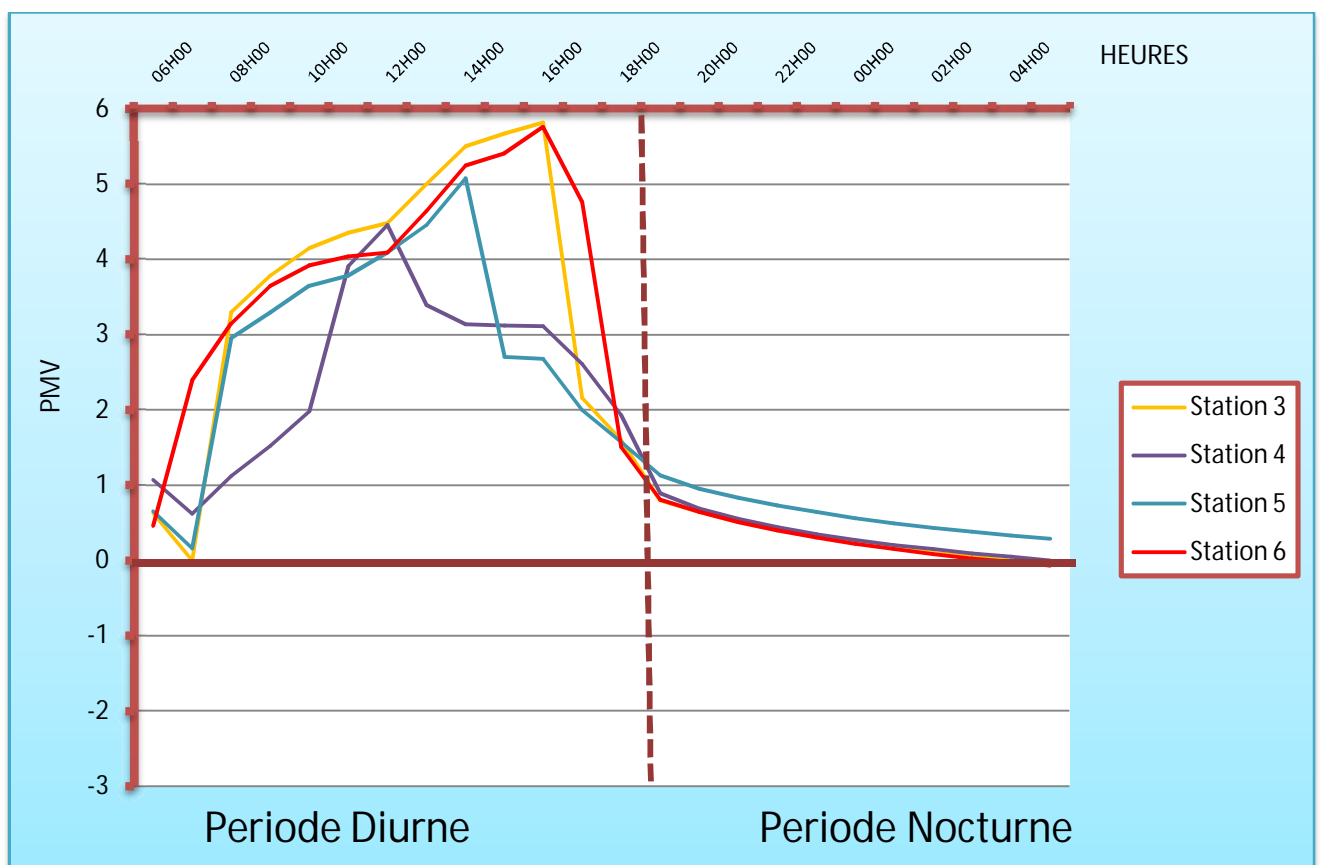


Figure 31: Variation de PMV entre les canyons urbains (Source : Auteur, 2013)

La figure 32 montre la différence de PMV entre les deux placettes S1 et S2.

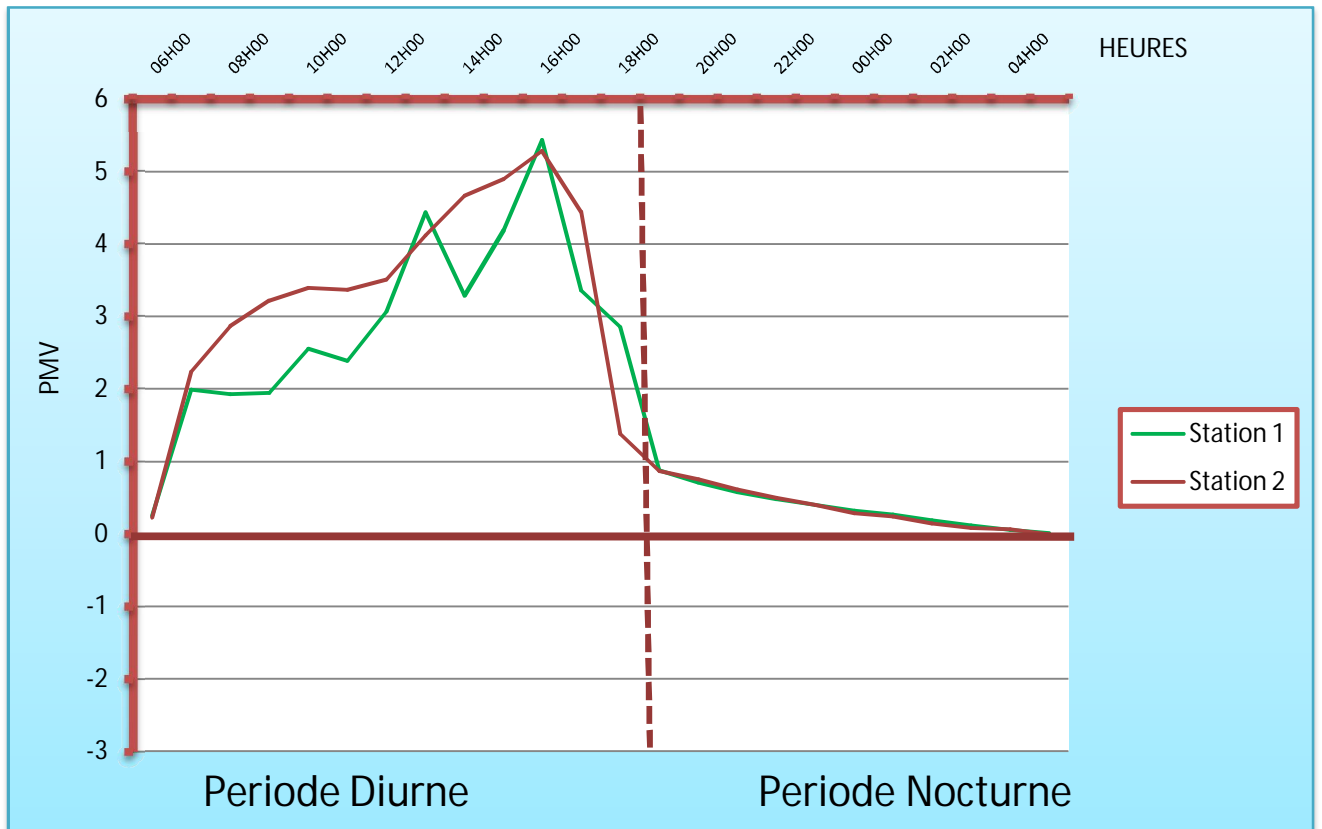


Figure 32: Variation de PMV entre les deux placettes (Source : Auteur, 2013)

Une comparaison entre la station 4 et les stations 3 et 6 nous montre que le S3 et S6 enregistrent les valeurs les plus élevées du PMV à 16h (5,82 pour S3) et (5,76 pour S6). Elles sont considérées comme très chaudes (entre 5 et 6), car l'orientation EST-OUEST de ces deux stations 3 et 6 permet un accès direct des rayons solaires touchant une importante partie des façades, tandis que le PMV de S4 est moins élevé à cause de la bonne orientation NORD-SUD qui participe à la protection contre les rayons solaires, mais sa valeur restera toujours dans une zone critique (PMV Hors zone de confort). Cela explique que l'orientation des rues a un impact fondamental sur le PMV¹⁷. D'une autre part, le SVF joue un rôle indispensable dans la variation du PMV car on remarque qu'à partir de 08h du matin, les conditions de confort commencent à être liées à la valeur du SVF, où la station 3 enregistre une valeur de PMV maximale de 3,3 par rapport aux autres stations.

La station 6 présente une valeur de SVF qui égale à (37.6). L'indice PMV est plus élevé dans S6 que dans S5, principalement à cause de l'orientation EST-OUEST de S6. On peut dire que pour un bon effet du SVF dans la préservation du confort thermique extérieur, une combinaison sera nécessaire

¹⁷ « <http://www.infoclimat.fr> »

avec une bonne orientation de l'espace et des surfaces à albédo plus élevé¹⁸. Cette conclusion confirme les travaux de Runnals et Oke (2000) après un travail de recherche élaboré sur le microclimat urbain de Strasbourg¹⁹, ainsi que les travaux de Santamouris (2002) sur les paramètres influant sur l'îlot de chaleur urbain.

Après cette analyse, on peut conclure que l'évaluation de la MRT et du PMV calculés par ENVI-MET pour les six stations de mesure, prouve que les paramètres morphologiques de l'espace extérieur ont un rôle fondamental dans la création du confort thermique extérieur. L'orientation s'avère l'élément le plus dominant et le plus important par rapport aux autres paramètres tels que le SVF, la végétation et l'albédo. La corrélation de ces valeurs confirme l'intérêt de l'orientation NORD-SUD qui enregistre toujours les résultats les plus favorables pour un confort thermique efficace mais elle sera de préférence combinée avec les autres paramètres (SVF, végétation, albédo). Ce qui confirme l'une des hypothèses de cette recherche sur l'impact des paramètres morphologiques sur l'espace public extérieur dans un climat chaud.

V-5- RESULTATS DE LA SIMULATION PAR LA METHODE D'HABITABILITE :

La méthode d'habitabilité est basée par la détermination du nombre d'heures utiles de confort thermique par jour, qui peut être apprécié par les personnes dans les six stations de simulation. Cette méthode est basée sur l'évaluation et la comparaison entre deux indices de confort thermique : le PMV et le TB du bilan énergétique présenté par le BUDJET qui est calculé depuis la méthode COMFA (Voir Annexe A).

Les tableaux ci-dessous (**Tableaux 02 et 03**) montrent les résultats de TB et PMV sur les six stations durant 13 heures de simulation (la même période d'investigation), où les cases en bleu montrent les heures utiles pour le confort thermique et les cases en rouge montrent les heures extrêmement chaudes où les conditions de confort thermique étaient critiques :

¹⁸ «Andrade H et al, Ibid8 »

¹⁹ Hatten anne. Mise en évidence des caractéristiques générales de l'îlot de chaleur urbain Strasbourgeois. Mémoire de maîtrise de Géographie. Université Louis Pasteur de Strasbourg. 2002. P10

Tableau 02 : Le nombre d'heure de confort pour BUDJET énergétique. (Source: Auteur, 2013)

	BUDJET (W/m2)					
	1	2	3	4	5	6
CONFORTABLE						
CHAUD						
TRES CHAUD						
06 :00	95,01	83,29	82,39	119,4	117,90	74,28
07 :00	66,71	44,27	34,17	102,73	96,89	28,63
08 :00	83,04	64,72	59,70	114,02	104,33	53,35
09 :00	94,97	81,95	79,50	121,88	110,32	75,38
10 :00	111,94	95,05	96,27	131,24	125,15	93,82
11 :00	123,91	115,87	117,78	140,52	138,66	116,58
12 :00	139,83	134,37	137,16	153,17	150,27	136,77
13 :00	150	147,05	149,89	162,17	157,01	150,23
14 :00	154,29	146,18	147,94	165,33	154,53	149,26
15 :00	158,44	156,52	158	167,55	166,25	159,28
16 :00	192,61	197,05	201,69	188,80	187,72	210,15
17 :00	148,78	145,04	143,04	160,50	155,76	143,34
18 :00	140,40	133,93	133,32	151,39	149,14	129,11
19 :00	131,59	121,83	118,76	144,59	142,10	114,58
heure utile	6	7	6	4	4	6
	43%	50%	43%	28%	28%	43%
TOTAL= 33 h pour les 06 stations avec un taux moyen de 39 % de confort						

Tableau 03 : Le nombre d'heure de confort pour l'indice PMV (Source: Auteur, 2013)

	PMV					
	1	2	3	4	5	6
CONFORTABLE						
CHAUD						
TRES CHAUD						
HEUR E						
06 :00	0,25	0,22	0,63	0,07	0,65	0,46
07 :00	1,99	2,24	0,00	0,62	0,16	2,39
08 :00	1,93	2,87	3,3	1,12	2,95	3,15
09 :00	1,95	3,22	3,78	1,52	3,29	3,65
10 :00	2,56	3,40	4,15	1,98	3,65	3,92
11 :00	2,39	3,37	4,35	3,91	3,78	4,04
12 :00	3,07	3,51	4,48	4,46	4,09	4,09
13 :00	4,44	4,12	5,00	3,39	4,46	4,64
14 :00	3,29	4,67	5,50	3,14	5,08	5,25
15 :00	4,19	4,9	5,67	3,12	2,7	5,41
16 :00	5,44	5,29	5,82	3,11	2,68	5,76
17 :00	3,36	4,45	2,16	2,61	2,00	4,76
18 :00	2,86	1,38	1,60	1,93	1,57	1,50
19 :00	0,88	0,87	0,80	0,89	1,13	0,81
heure utile	2	2	3	3	2	2
	15%	15%	22%	22%	15%	15%
TOTAL= 14 h pour les 06 stations avec un taux moyen de 18% de confort						

D'après ces deux tableaux, on remarque que le nombre d'heures utiles calculé par BUDJET du bilan énergétique est plus grand par rapport aux nombres d'heure de PMV. Pour le tableau qui présente ce dernier, Les stations S1, S2 et S6 sont celles qui enregistrent le moins d'heures utiles de confort thermique qui est de **2 heures** : (6h du matin et 19h) durant les 13 heures de simulation (de 06h jusqu'à 19h). Tandis que les stations **3** et **4** représentent les zones avec le plus grand nombre d'heures utiles (**03 heures**) soit une différence de 1 heure par rapport aux autres stations.

On remarque que les heures les plus critiques sont enregistrées au niveau de la station **3** avec une valeur maximale de PMV de l'ordre de 5,82 à 16h au niveau de cette station. La station 6 présente le moins de nombre d'heures de confort thermique pendant toute la journée. Ces deux stations sont orientées EST-OUEST permettant une pénétration maximale du rayonnement solaire et augmentant la durée d'insolation sur les surface directement exposées au soleil. Ce qui engendre un stockage consistant de la chaleur pendant la journée et qui contribue fortement à la surchauffe de l'air.

Les valeurs des stations dans l'orientation NORD-SUD sont sensiblement plus faibles par rapport à l'orientation EST-OUEST. L'orientation NORD-SUD offre plus de fraîcheur que l'orientation EST-OUEST.

Une analyse du tableau présente l'indice TB du bilan énergétique et qui est calculé par la méthode COMFA. Les stations 3 et 6, d'une part, se caractérisent par le plus grand nombre d'heures utiles de confort (de l'ordre de 6 heures), d'autre part, les heures les plus critiques sont enregistrées à 16h au niveau de ces deux stations **3** et **6** de l'ordre de **201,69 w/m** pour S3 et **210,15 w/m** pour S6. Cela peut être expliqué par la vitesse du vent caractérisée par une orientation EST-OUEST. Sachant que la vitesse du vent (indépendamment du fait qu'il soit chaud ou froid) est un des principaux paramètres de la méthode COMFA dans le calcul du BUDJET.

Dans la même logique, on remarque que presque toutes les stations ont le même nombre d'heures de confort utile soit 5 heures pour S1 et S2 et 6 heures pour S3 et S6, sauf au niveau des stations 4 et 5 où il est de 4 heures, cela peut être dû au vent caractérisé par une orientation EST-OUEST comme dans les S3 et S6. Sachant que la méthode COMFA prend ce paramètre (vent) comme un facteur dans le calcul du BUDJET sans voir si c'est un vent chaud ou froid.

Ces deux tableaux ont confirmé l'impact des paramètres morphologiques tels que le SVF et l'orientation, sur les indices du confort thermique extérieur, surtout durant les heures les plus critiques de la journée, où on enregistre à 16h dans la station 6, le **BUDJET** maximal atteint

210,15 W/M², tandis que la valeur maximale de l'indice **PMV** atteint **5,76**, toujours dans la même station.

Après cette analyse, on peut conclure que le pourcentage moyen du nombre d'heures de confort est de **18 %** pour le PMV, tandis qu'il est de **39 %** pour le TB du bilan énergétique, ce qui fait qu'environ **82 %** de temps pour le PMV et **61 %** de temps pour le TB des six stations sont caractérisés par une ambiance de stress thermique (inconfort thermique où la température est très élevée).

Cette méthode d'habitabilité a permis de constituer une base de données à partir de laquelle plusieurs solutions peuvent être proposées pour augmenter ce pourcentage de confort thermique et le nombre d'heures utiles, un deuxième scénario s'avère indispensable, en proposant des améliorations à l'échelle urbaine qui peuvent donner des solutions sur le confort thermique extérieur du site.

V-6- AMELIORATION DU MICROCLIMAT ET SIMULATION DU DEUXIEME SCENARIO :

Les conditions microclimatiques sont une composante essentielle pour la vie dans un espace urbain, plusieurs recherches dans le monde s'y focalisent afin de promouvoir la vie sociale et prolonger la durée de leur praticabilité en améliorant leurs climats urbains.

Dans ce cas d'étude, les améliorations qu'on pourra apporter sont celles obtenues dans les conclusions de l'étude théorique (voir chapitres théoriques). On doit donc intervenir sur les paramètres suivants :

- **La géométrie** : qui permet de modifier le Ration H/L et le SVF.
- **La végétation** : qui joue le rôle d'un masque solaire et humidifie les espaces extérieurs²⁰.
- **L'albédo** : par une augmentation de l'albédo des revêtements mur et sol.

V-6-1- Alternatives liées à la géométrie :

Les interventions sur la géométrie sont possibles uniquement par simulation. D'après notre recherche théorique sur plusieurs travaux de recherche (Bourbia 2004, Johansson 2006, Pearlmutter 2007) les résultats indiquent que dans un climat chaud et aride, la géométrie compacte peut réduire le gain de chaleur du piéton durant presque toute la journée. L'augmentation du rapport H/L à des valeurs plus hautes semble donner une meilleure solution à cause de la longueur d'ombre portée sur les espaces extérieurs. L'amélioration au niveau des espaces extérieurs par la création des galeries tout autour des

²⁰ « Chatelet A et al, Architecture Climatique, EDISUD1998, P133 IN Impact de la végétation sur la qualité des ambiances thermiques extérieures, louafi Samira, thèse de doctorat, université Constantine 3, 2013 , P 245»

rues et des placettes va diminuer la durée d'exposition solaire. Cependant, les rues orientées E-O devront avoir des profils asymétriques avec des murs face au sud plus élevés que les murs face au Nord.

Les stations 2 et 5 qui présentent les plus larges ouvertures au ciel (SVF= 74.8 pour S2 et 58.7 pour S5) sont retenues comme échantillons pour cette alternative. Le tableau ci-dessous indique les alternatives proposées pour l'amélioration au niveau de la géométrie :

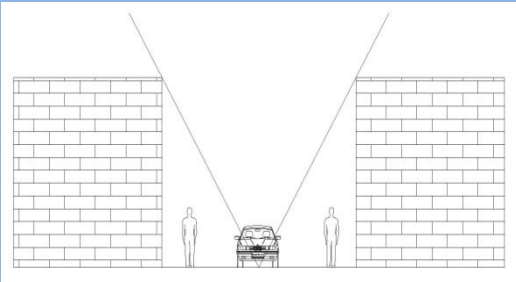
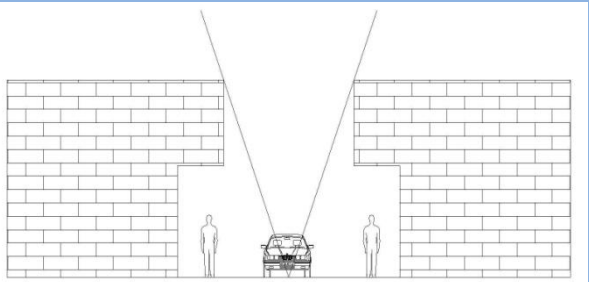
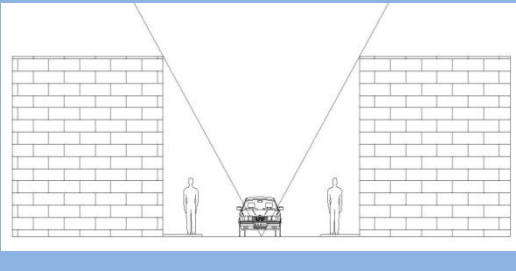
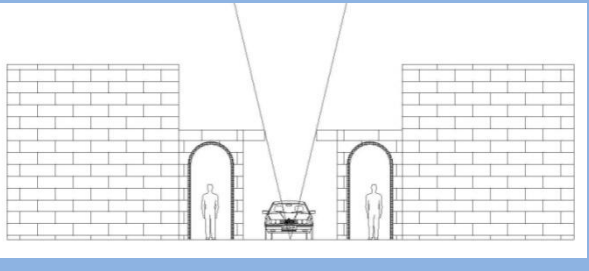
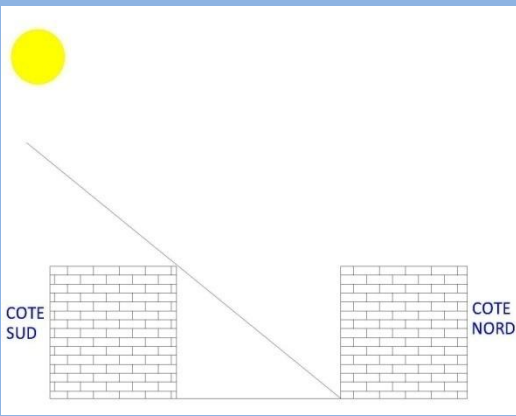
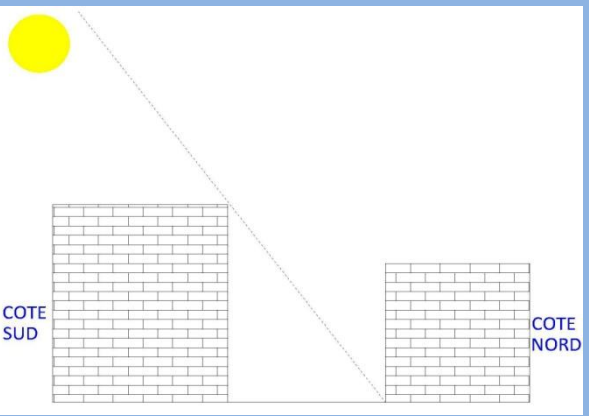
Alternative	CAS Réelle	CAS AMÉLIORÉE
Création des volumes avancée au niveau supérieurs		
Création des galeries piétonnes		
Augmentation de la hauteur côté SUD		

Figure 33 : Les alternatives proposées pour augmenter le Ratio et diminuer le SVF

Les figures ci-dessous nous montrent que la valeur du SVF est passée de 74.8 à 52.42 pour S2, permettant de gagner 03 heures de plus de protection solaire, et elle est passée de 58.7 à 38.1.

permettant de gagner aussi 02 heures de protection par rapport au cas réel. Le tableau ci-dessous indique la diminution considérable dans la durée d'ensoleillement :

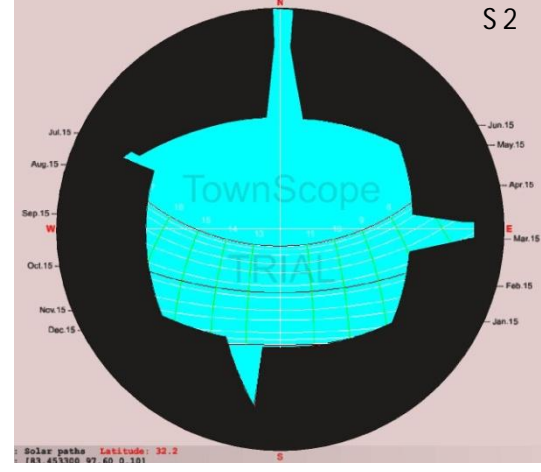
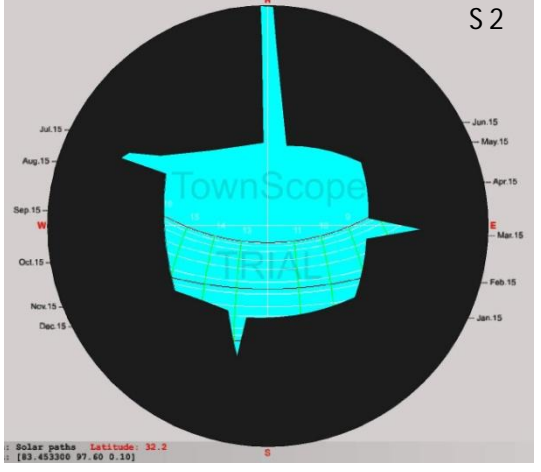
S2	CAS Réelle	CAS AMÉLIORÉE
Diagramme Polaire		
SVF	74.8	52.42
Durée d'ensoleillement	10 heures	07 heures

Figure 34: Diagramme polaire et durée d'ensoleillement pour la station 2 (source : Auteur, 2014)

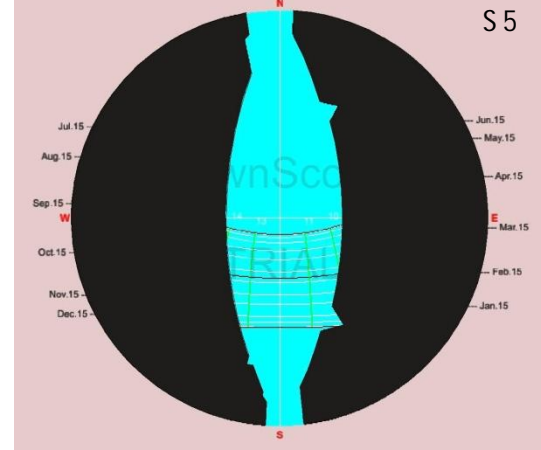
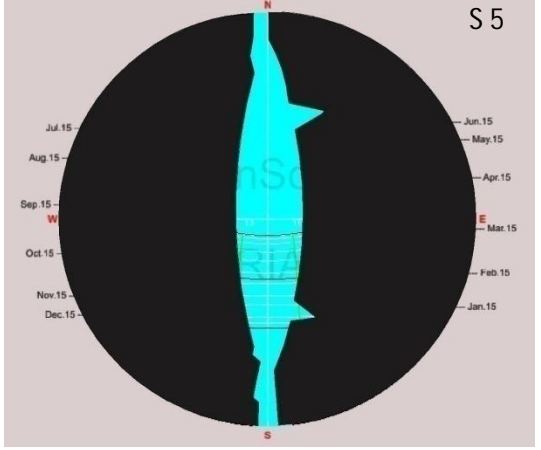
S5	CAS Réelle	CAS AMÉLIORÉE
Diagramme Polaire		
SVF	58.7	38.1
Durée d'ensoleillement	05 heures	03 heures

Figure 35: Diagramme polaire et durée d'ensoleillement pour la station 5 (source : Auteur, 2014)

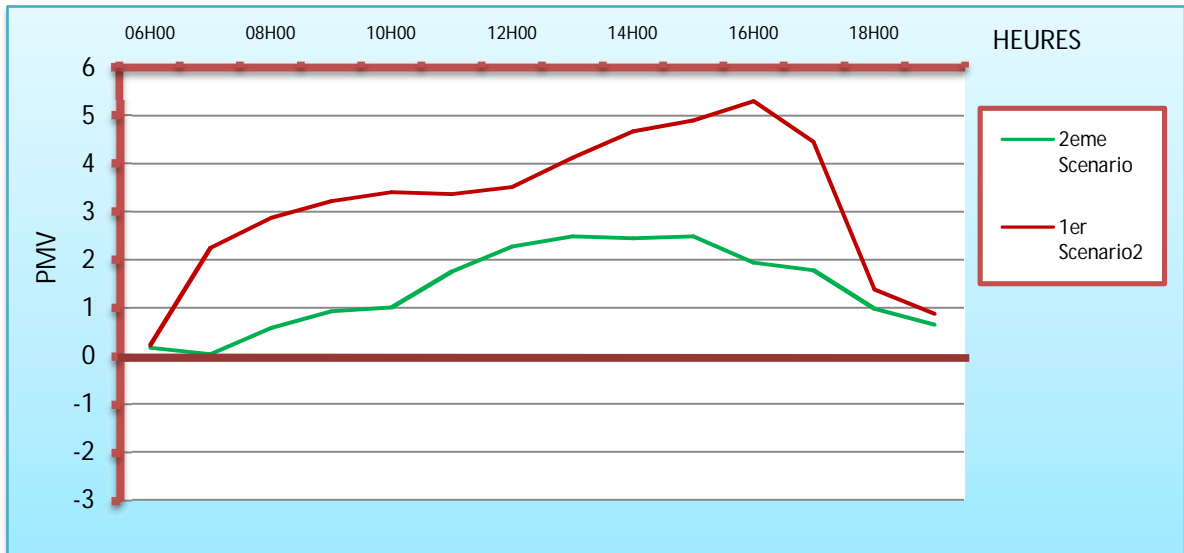


Figure 36 : Effet de l'amélioration de la géométrie sur le PMV dans la station 2 (Source : Auteur, 2013)

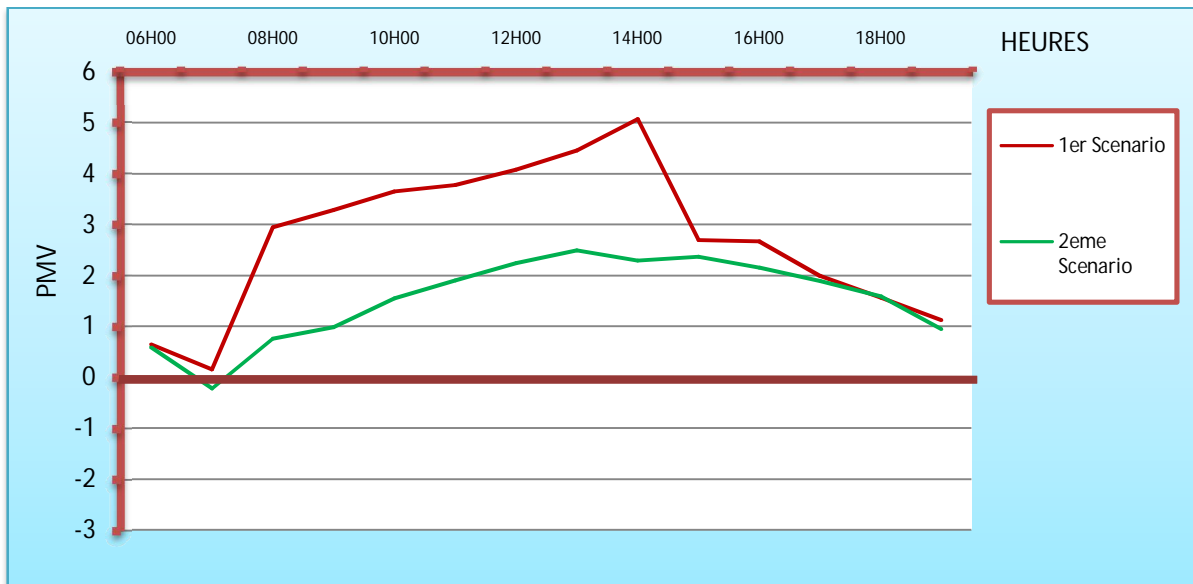


Figure 37 : Effet de l'amélioration de la géométrie sur le PMV dans la station 5 (Source : Auteur, 2013)

Il est clair sur les deux figures ci-dessus, que l'introduction de quelques améliorations au niveau de la morphologie, fait chuter la température et entraîne une réduction dans l'indice de confort PMV, ceci fait passer le niveau de stress thermique (de chaud à confortable) à partir de 08 h du matin jusqu'à 11h (03 heures), et de (très chaud à chaud) pour le reste de la journée.

V-6-2-Alternatives liées à la végétation :

La végétation est un élément fondamental dans la création des espaces extérieurs. Pendant les journées très chaudes, le taux de variation de la température de l'air est sensiblement atténué par la surface végétale et l'effet de refroidissement dépend principalement de la zone d'ombre créée par cette végétation. La présence d'arbres peut grandement influencer sur les vents chauds dominants en été,

surtout dans les régions à climat chaud et aride. La meilleure utilisation devrait être tirée de sa propriété à se protéger contre le rayonnement solaire intense en été²¹.

L'amélioration du microclimat par l'introduction de la végétation est appréhendée dans plusieurs recherches telles celles de Limor Shashua-Bar (2009), Larue (1996), Linacre (2001), Hoffman (2002) et Louafi Samira en 2013. D'après les conclusions obtenues de l'étude théorique, on peut introduire la végétation en tant que masque solaire pour faire chuter le SVF, ainsi que l'humidification des espaces extérieurs. Pour optimiser cette solution, plusieurs scénarios sont envisagés pour la simulation :

- Créer de la végétation dans les espaces qui se caractérisent par un SVF très important.
- Les stations 2 et 5 qui sont totalement minérales et qui présente le plus grand SVF, sont retenues pour la meilleure façon de disposer les arbres.
- Choisir des espèces locales de végétation, qui s'adaptent avec le climat chaud de la région.
- Le type d'arbre choisi pour la simulation est d'espèce caduque permettant un ensoleillement recherché en hiver avec une protection totale contre les rayons solaires en été (comme le platane par exemple)²².
- L'ombre obtenue est fonction de la distance entre les arbres, de la hauteur de la tige et de la hauteur de l'arbre, les bouquets d'arbres peuvent être plus efficaces que les arbres simples (Shashua-Bar et Hoffman, 2002).
- L'espacement entre arbres se calcule en fonction de l'espèce plantée (taille de la couronne), une disposition en rangées ou tout autour des placettes et des rues, surtout sur le côté SUD.
- Choisir un emplacement correct pour bénéficier de l'effet de masque désiré selon l'orientation et selon l'incidence des rayons solaires, en prenant en considération les dimensions et la hauteur de cet arbre²³. La position SUD des arbres est la meilleure position pour pouvoir créer des ambiances homogènes durant toute la journée.
- Pour le grand canyon urbain ($H/L \leq 0,5$), de grands arbres devraient être introduits pour améliorer l'environnement thermique extérieur, mais pour le canyon étroit ($H/L \geq 0,5$), les grands arbres ne sont pas recommandés.

²¹ « Shachoua-bar, Hoffman, m.e. (2000). Geometry and orientation aspects in passive cooling of canyon streets with trees. Energy and Buildings 35 (2003) 61–68».

²² «Muret P et al, espaces urbain, concevoir, réaliser, gérer, le Moniteur, 1987 ».

²³ « Louafi Samira, Impact de la végétation sur la qualité des ambiances thermiques extérieures, thèse de doctorat, université Constantine 3, 2013, P 329 et P330»

- Concernant la hauteur du tronc de l'arbre, un petit tronc peut garantir l'effet masque totale par la couronne dont le SVF sera égal à zéro. Par contre, un tronc haut augmente la quantité de ciel visible, ce qui laisse le rayon solaire intense pénétrer à l'intérieur et augmenter la température de l'air de l'espace public.²⁴
- La géométrie de l'arbre la plus avantageuse en été comme en hiver pour l'ombre, est celle caractérisée par une hauteur réduite de la tige avec une grande largeur de l'arbre.
- Il faut choisir des arbres avec un feuillage bien dense et peu de branchage, pour réduire l'ombre au minimum pendant la saison d'hiver (Alix Audurier 2011).
- Il faut éviter des arbres qui émettent des composés organiques entrant dans la composition du smog (comme le SAPIN). De même, éviter les espèces à l'origine d'allergies comme le bouleau et la chêne (Alain Guyot 2011). On peut donc proposer des espèces d'arbres qui peuvent s'adapter avec le climat chaud de la région et remplir les conditions précédentes, telles que «*le saule, l'arbre de Judée, le frêne*».
- Remplacer le goudron par le gazon qui agit efficacement comme régulateur thermique, il est donc possible de remplacer l'asphalte ou le béton par de la pelouse.
- Utiliser des revêtements perméables qui protègent le gazon sans l'abîmer et qui sont constitués de nombreuses alvéoles, à l'aide de sable siliceux et de terre végétale.

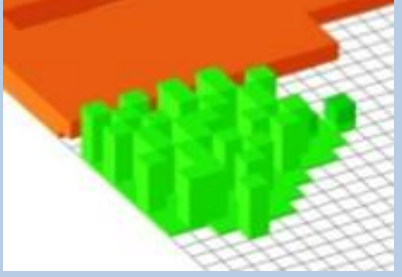
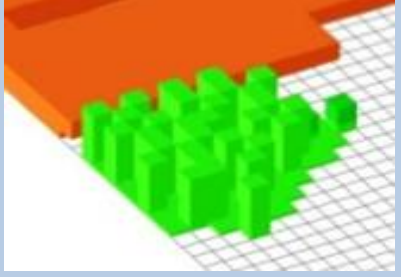



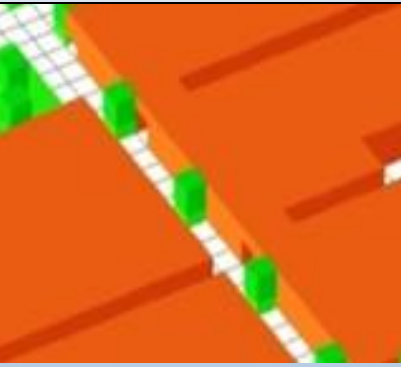
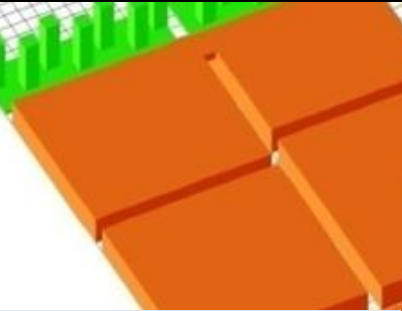
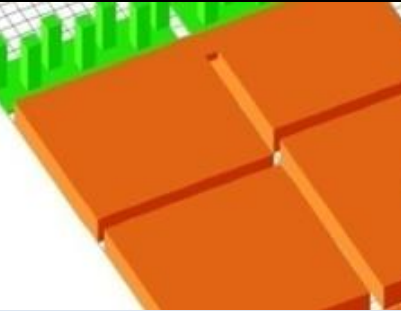



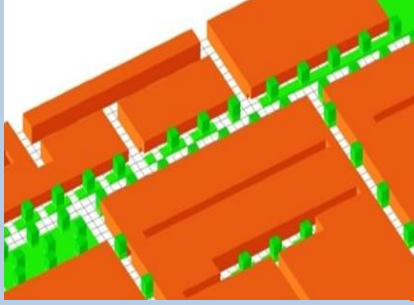
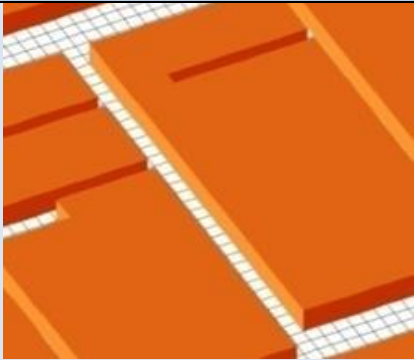
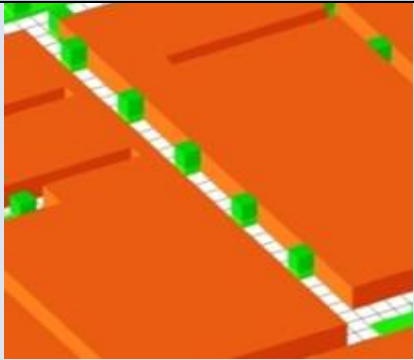
Figure 38 : Remplacement des surfaces en asphalte par des revêtements perméables (Source : Auteur, 2013).

²⁴ « Louafi Samira, Impact de la végétation sur la qualité des ambiances thermiques extérieures, thèse de doctorat, université Constantine 3, 2013, P 301 et P302»

Le tableau ci-dessous indique les alternatives liées à la végétation:

Tableau 4: Alternatives liées à la végétation et amélioration de l'espace extérieur (source : Auteur, 2014)

S	CAS Réelle	CAS AMÉLIORÉE	Scenarios Envisagés
S1			Sans aucune modification au niveau de la végétation
S2			<ol style="list-style-type: none"> 1- Choisir des espèces locales de type caduc qui s'adapte avec le climat chaud. 2- Pour cette place, de grands arbres devraient être introduits dont la hauteur de l'arbre ne doit pas dépasser 10 mètres 3-La géométrie de l'arbre sera caractérisée par une hauteur réduite de la tige avec une grande largeur de l'arbre. 4-Choisir des arbres avec un feuillage bien dense avec peu de branchage 5-Remplacer le goudron par le gazon qui agit efficacement comme régulateur thermique 6- L'espace entre arbres sera de 10 mètres pour bénéficier de l'effet de masque sans faire gêner la circulation.
S3			<ol style="list-style-type: none"> 1- Choisir des espèces locales de type caduc qui s'adapte avec le climat chaud. 2-La position des arbres doit être SUD 3- introduire de petits arbres dont la hauteur ne doit pas dépasser 10 mètres 4-La géométrie de l'arbre sera caractérisée par une hauteur réduite de la tige avec une largeur moyenne de l'arbre. 5-Choisir des arbres avec un feuillage bien dense avec peu de branchage 6- L'espace entre arbres sera de 8 mètres pour bénéficier de l'effet de masque sans faire gêner la circulation.
S4			Sans aucune modification au niveau de la végétation

S5			<ol style="list-style-type: none"> 1- Choisir des espèces locales de type caduc qui s'adapte avec le climat chaud. 2-La position des arbres doit être SUD 3- introduire des arbres moyens dont la hauteur ne doit pas dépasser 10 mètres 4-La géométrie de l'arbre sera caractérisée par une grande taille. 5-Choisir des arbres avec un feuillage bien dense avec peu de branchage 6- L'espace entre arbres sera de 8 mètres pour bénéficier de l'effet de masque sans faire gêner la circulation.
S6			<ol style="list-style-type: none"> 1- Choisir des espèces locales de type caduc qui s'adapte avec le climat chaud. 2-La position des arbres doit être SUD 3- introduire de petits arbres dont la hauteur ne doit pas dépasser 10 mètres 4-La géométrie de l'arbre sera caractérisée par une hauteur réduite de la tige avec une largeur moyenne de l'arbre. 5-Choisir des arbres avec un feuillage bien dense avec peu de branchage 6- L'espace entre arbres sera de 8 mètres pour bénéficier de l'effet de masque sans faire gêner la circulation.

V-6-3- Alternatives liées à l'albédo:

L'aptitude des matériaux utilisés dans les espaces urbains extérieurs joue un rôle très important dans l'amélioration du confort thermique ainsi que dans la lutte contre l'effet d'îlot de chaleur urbain pour améliorer le confort thermique extérieur. Plusieurs recherches (Santamouris 2002), (G. Seudo 2002), (Haider Taha, 1997) basées sur des simulations numériques et des mesures sur terrain, indiquent que l'augmentation de l'albédo peut être efficace dans la réduction de la température des surfaces et la température de l'air²⁵.

Comme déjà cité, le confort thermique est lié aux températures surfaciques du sol et des murs qui ont un rapport direct avec les valeurs d'albédo. Plus l'albédo est grand, plus la température moyenne radiante diminue. Nous avons choisi les améliorations suivantes :

- Augmenter l'albédo des murs et de la toiture (jusqu'à 0.9) par un badigeonnage à la chaux qui réduit le gain de chaleur solaire et le stockage de la chaleur qui en résulte, ainsi que d'autres matériaux de pavage.

²⁵ « Haider taha, "Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and antropogenic heat", Energy and buildings 25 (1997) 99-103»

- Augmenter l'albédo sur le revêtement en asphalte dans la station 2 et la station 5. Deux valeurs d'albédo ont été retenues : 0.7 et 0.9 correspondant respectivement au béton clair et au marbre blanc qui feront baisser la température de l'air en réduisant l'absorption du rayonnement solaire (G. Seudo 2002).
- Remplacer le goudron par le gazon et des bandes de verdure qui agissent efficacement comme régulateurs thermiques. Il est possible de remplacer le béton de pavage par de la pelouse.
- Eviter les matériaux sombres qui ont des surfaces de couleur foncée (ex : les tuiles rugueuses de couleur foncée ont tendance à absorber plus de rayonnement solaire).

Le traitement des résultats d'amélioration avec l'augmentation de l'albédo se fait par le logiciel Envi-met, ce qui nous oblige à introduire ces nouvelles valeurs dans le fichier de configuration de ce dernier (CF*). Les figures ci-dessous nous montrent le changement des valeurs de l'albédo avant la simulation du deuxième scénario :

[TURBULENCE]	Options Turbulence	[TURBULENCE]	Options Turbulence
Turbulence Closure ABL (0:diagn.,1:prognos.)	=1	Turbulence Closure ABL (0:diagn.,1:prognos.)	=1
Turbulence Closure 3D Modell (0,1 see above)	=1	Turbulence Closure 3D Modell (0,1 see above)	=1
Upper Boundary for e-epsilon (0:clsd.,1:op.)	=0	Upper Boundary for e-epsilon (0:clsd.,1:op.)	=0
[BUILDING]	Building properties	[BUILDING]	Building properties
Inside Temperature [K]	= 293	Inside Temperature [K]	= 293
Heat Transmission Walls [W/m²K]	=2	Heat Transmission Walls [W/m²K]	=2
Heat Transmission Roofs [W/m²K]	=0.9	Heat Transmission Roofs [W/m²K]	=0.9
Albedo Walls	=0.2	Albedo Walls	=0.7
Albedo Roofs	=0.7	Albedo Roofs	=0.9
[NESTING]	Nesting Settings	[NESTING]	Nesting Settings
Number of Nesting Grids	=5	Number of Nesting Grids	=5
Soil profile "A" for mesoscale Nesting:	= " s"	Soil profile "A" for mesoscale Nesting:	= " s"
Soil profile "B" for mesoscale Nesting:	= " s"	Soil profile "B" for mesoscale Nesting:	= " s"
Include Nesting Grids in Output (0:n,1:y)	=1	Include Nesting Grids in Output (0:n,1:y)	=1

Cas Réel

Cas Amélioré

Figure 39: Changement de l'albédo au niveau du fichier de configuration Envi-met (source : Auteur, 2014)

Les figures ci-dessous nous présentent la modélisation en 3D réalisée par Envi-met des deux scénarios et après amélioration de l'espace public extérieur :

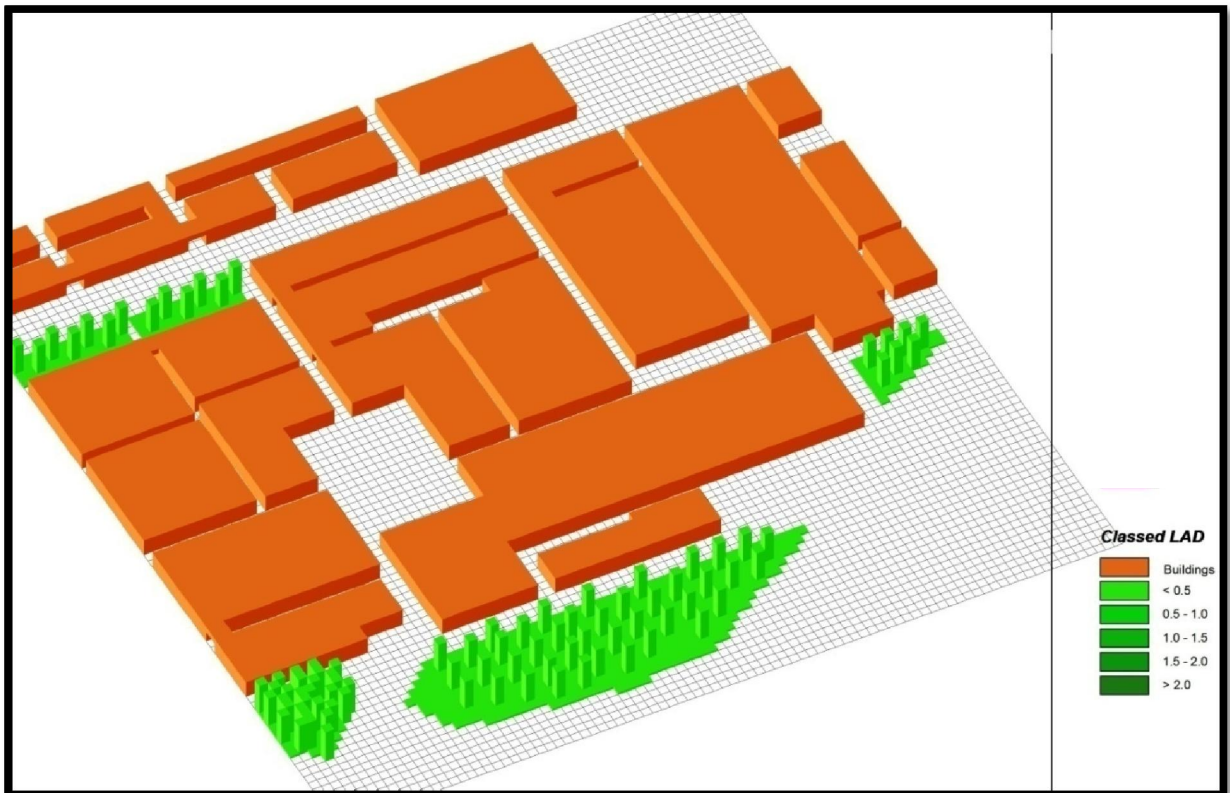


Figure 40 : Modélisation en 3D réalisée par Envi-met, du premier scenario (Source : Envi-met, 2013)

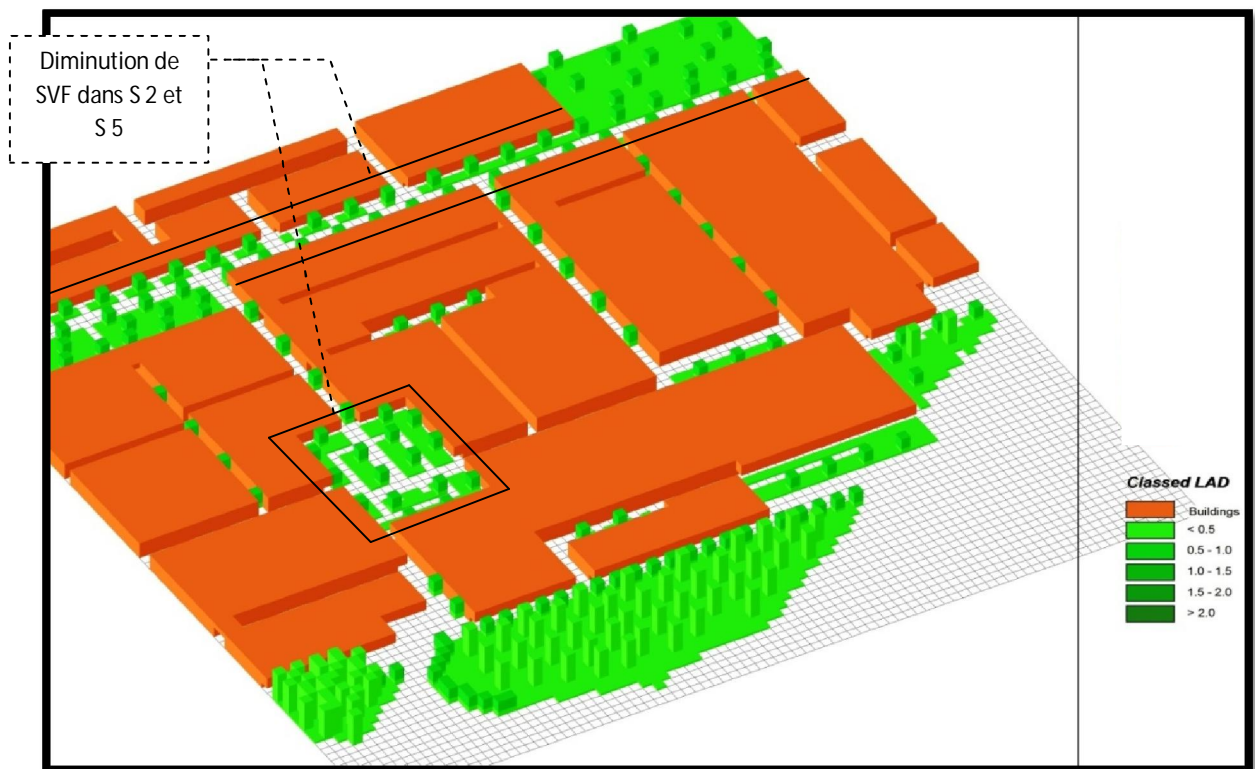


Figure 41 : Modélisation en 3D réalisée par Envi-met, du deuxième scenario (Source : Envi-met, 2013)

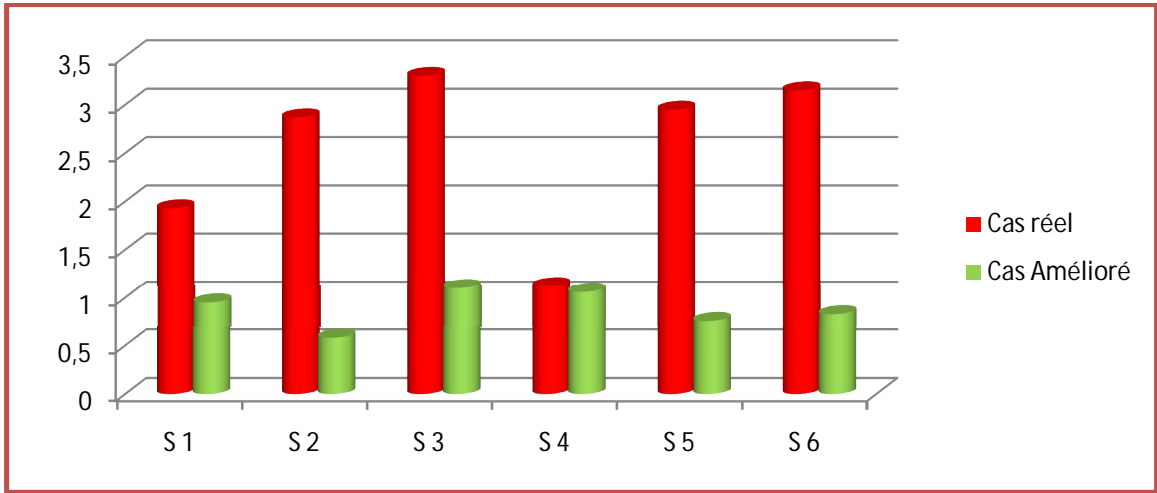


Figure 42 : Effet de l'amélioration de la géométrie, la végétation, l'albédo sur l'écart de PMV à 08 heures du matin
(Source : Auteur, 2014)

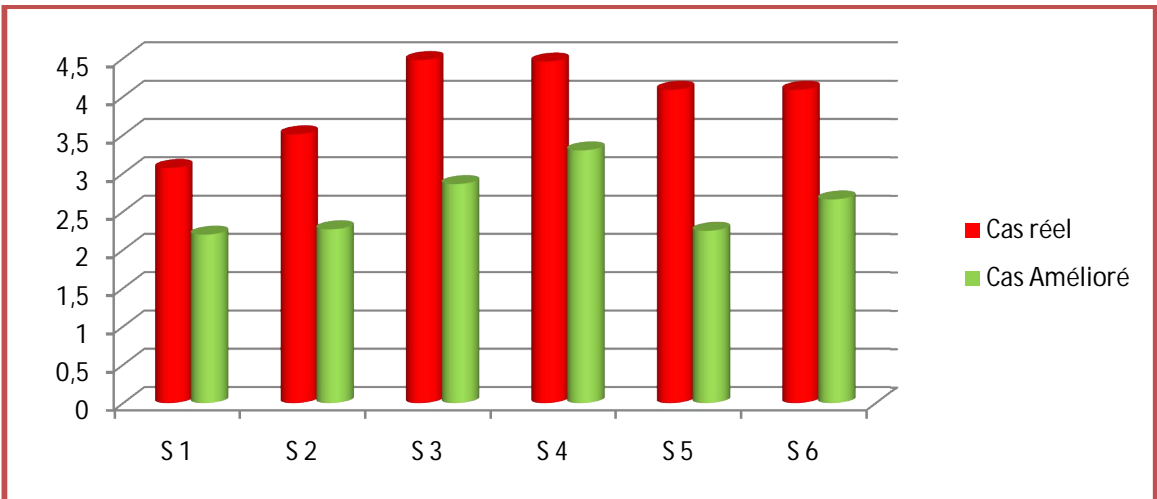


Figure 43 : Effet de l'amélioration de la géométrie, la végétation, l'albédo sur l'écart de PMV à midi
(Source : Auteur, 2014)

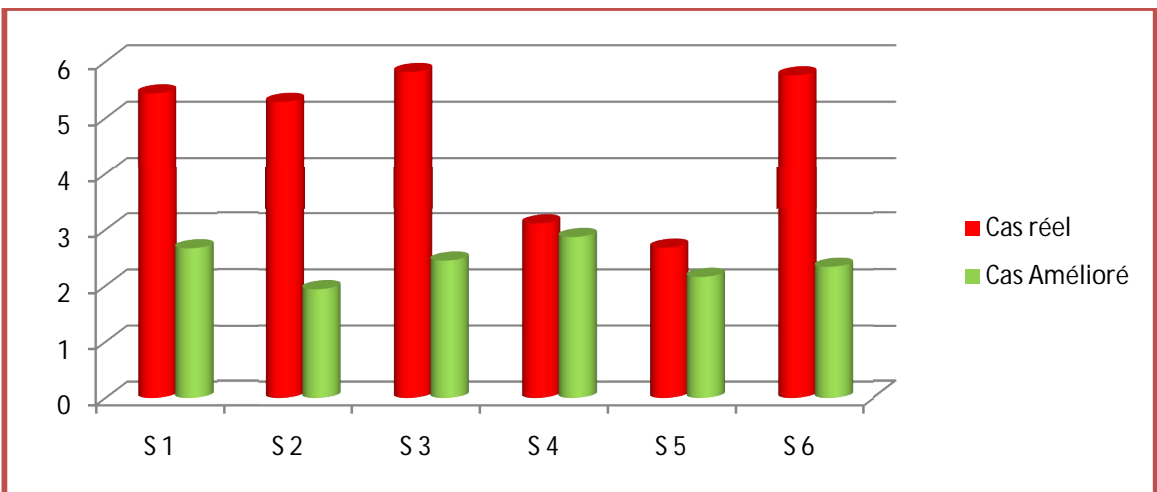


Figure 44 : Effet de l'amélioration de la géométrie, la végétation, l'albédo sur l'écart de PMV à 16 heures
(Source : Auteur, 2014)

Il est clair dans les figures ci-dessus, que l'introduction des arbres, le changement de l'albédo et la morphologie entraînent une amélioration au niveau de PMV par rapport au cas réelle. L'augmentation de l'albédo et la disposition SUD des arbres tout au long des rues avec un espacement qui ne gêne pas la circulation, ainsi que le choix des espèces locales de type caduc qui s'adapte avec le climat chaud, dont la hauteur ne doit pas dépasser 10 mètres, diminue le SVF et protège les surfaces horizontales contre la surchauffe ainsi que la réduction du MRT, ce qui génère une diminution au niveau du stress thermique.

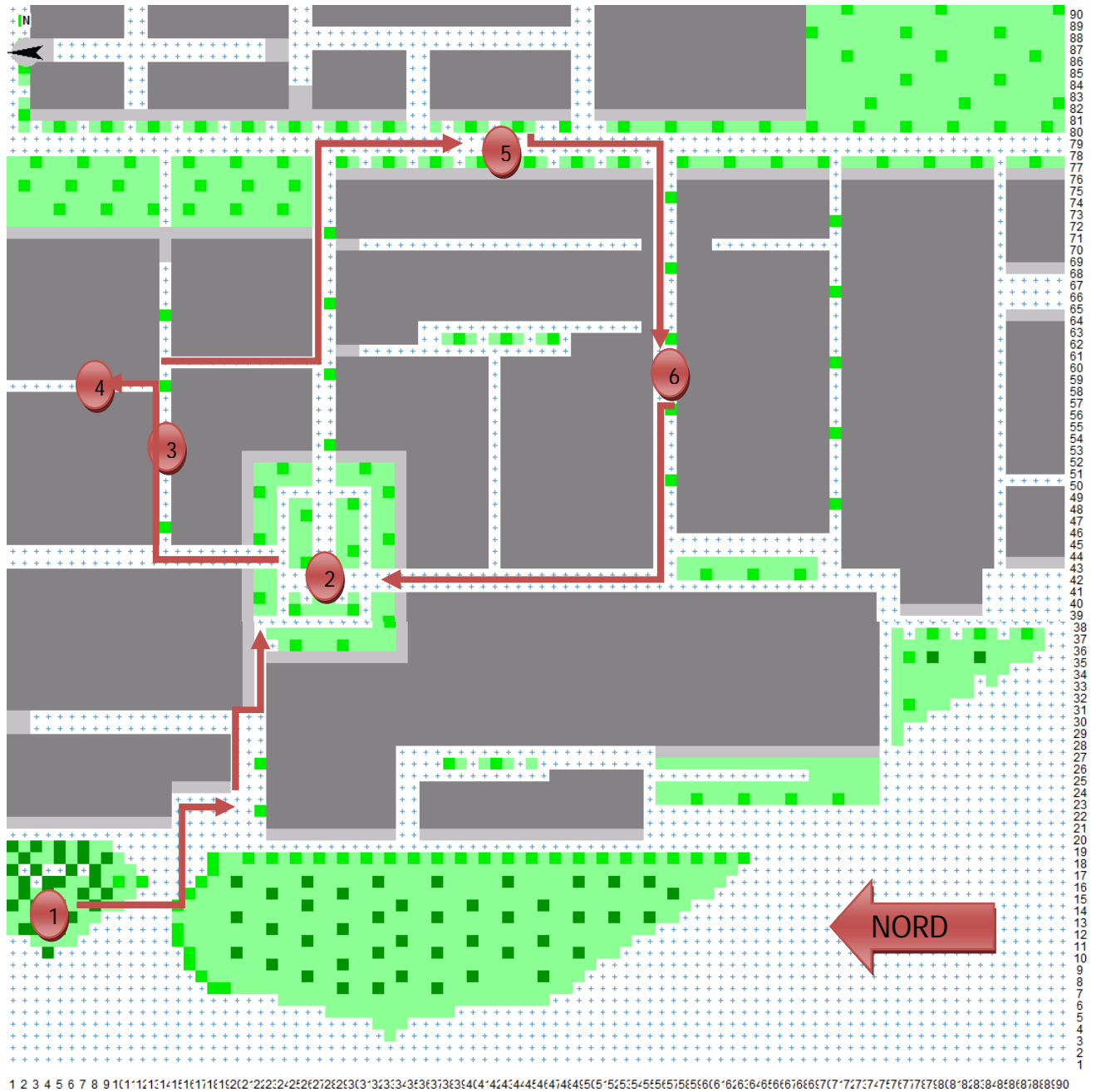
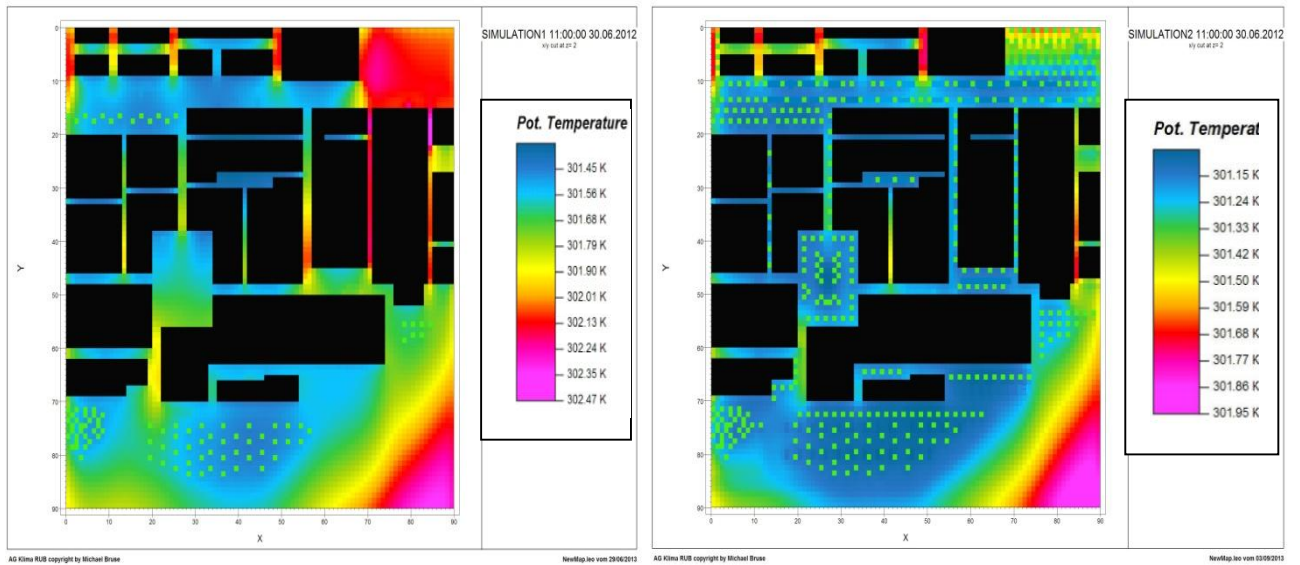


Figure 45 : Changement des paramètres et simulation du 2eme scenario (Source : Envi-met, Auteur 2013)

Le traitement des INPUT par ENVI-met a donné comme résultat les figures suivantes :



1^{er} scenario

2eme scenario

Figure 46 : Variation de la température de l'air entre les deux scénarios à 11h00. (Source : Auteur ,2013)

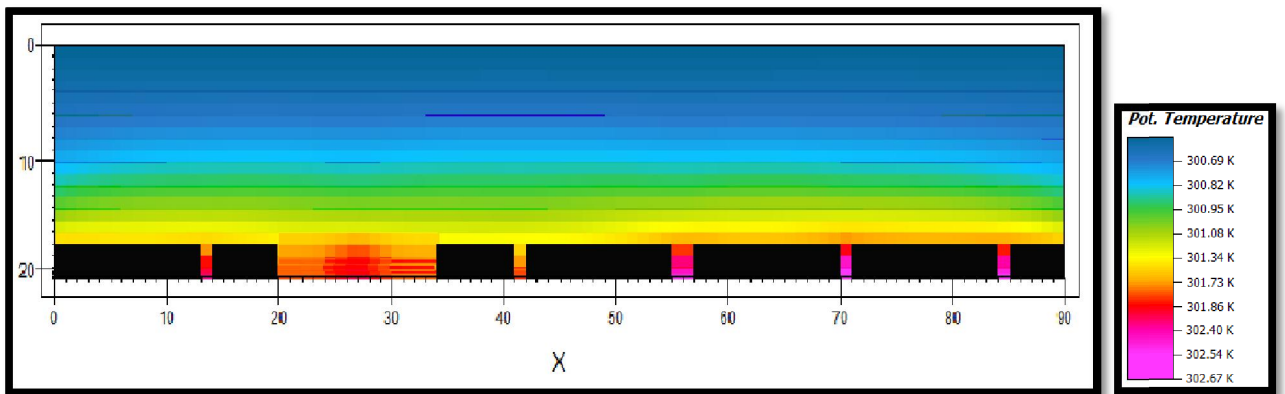


Figure 47 : COUPE sur la Variation de T air dans le cas réel à 11h00. (Source : Envi-met, Auteur , 2013)

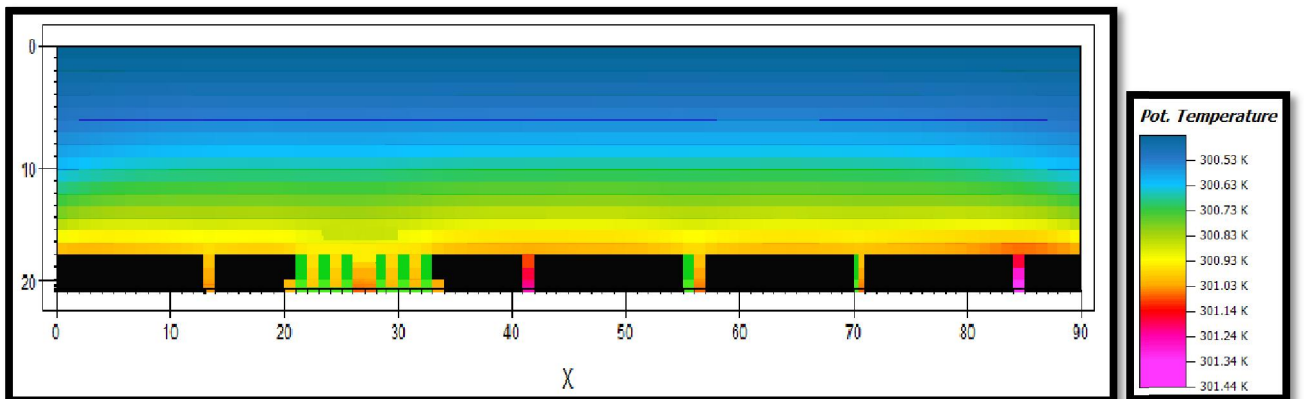


Figure 48 : COUPE sur la Variation de T air après amélioration à 11h00. (Source : Envi-met, Auteur , 2013)

Notre étude démontre donc que dans un environnement chaud et aride, le confort thermique d'un piéton peut être modifié de manière considérable par la géométrie de la rue et son orientation, par la

végétation, les matériaux de construction, l'albédo, etc. Les tableaux ci-dessous (**Tableaux 04 et 05**) montrent les résultats de BUDJET énergétique et PMV sur les 06 stations du deuxième scénario, les cases en bleu montrent les heures utiles pour le confort thermique et les cases en rouge montrent les heures extrêmement chaudes où les conditions du confort thermique étaient critiques :

Tableau 05 : Le nombre d'heure de confort pour BUDJET dans le 2eme scénario. (Source: Auteur, 2013)

CONFORTABLE CHAUD TRES CHAUD	HEURE	BUDJET (W/m2)					
		1	2	3	4	5	6
	06 :00	109,49	110,62	108,86	112,50	110,26	108,80
	07 :00	53,10	70,94	81,54	86,18	75,70	66,68
	08 :00	97,85	88,15	90,15	97,61	95,71	87,90
	09 :00	101,31	101,34	101	105,68	101,68	100,55
	10 :00	113,27	108,83	113,07	116,82	115,31	112,44
	11 :00	117,29	118,48	119,78	122,00	124,73	118,07
	12 :00	139,99	137,43	137,34	142,04	140,27	137,15
	13 :00	151,87	147,58	148,01	151,92	150,39	148,39
	14 :00	154,67	153,66	153,43	155,25	155,31	153,85
	15 :00	157,41	156,33	156,83	157,99	158,05	157,07
	16 :00	156,31	155,11	156,65	157,15	157,19	155,59
	17 :00	136,99	133,63	136,46	139,29	138,55	133,18
	18 :00	116,99	123,63	116,46	119,29	118,55	123,18
	19 :00	107,99	102,34	105,40	109,71	107,94	103,97
	heure utile	8 62 %	8 62 %	8 62 %	8 62 %	8 62 %	8 62 %
TOTAL= 48 h pour les 06 stations avec un taux moyen de 62 % de confort							

Tableau 06 : Le nombre d'heure de confort pour PMV dans le 2eme scénario (Source: Auteur, 2013)

CONFORTABLE CHAUD TRES CHAUD	HEURE	PMV					
		1	2	3	4	5	6
	06 :00	0,47	0,17	0,76	1,20	0,58	0,64
	07 :00	0,54	0,03	0,44	0,63	-0,22	0,13
	08 :00	0,95	0,58	1,10	1,06	0,76	0,83
	09 :00	0,88	0,92	1,51	1,46	0,99	0,95
	10 :00	0,97	1,00	1,92	1,85	1,56	1,60
	11 :00	1,94	1,75	2,65	3,78	1,91	2,30
	12 :00	2,20	2,27	2,86	3,30	2,25	2,66
	13 :00	2,57	2,49	3,22	3,28	2,50	3,00
	14 :00	2,57	2,44	2,67	3,00	2,30	2,43
	15 :00	2,60	2,48	2,60	3,00	2,37	2,47
	16 :00	2,67	1,94	2,45	2,87	2,16	2,34
	17 :00	3,17	1,78	1,92	2,54	1,90	1,74
	18 :00	2,78	0,98	1,33	1,96	1,59	1,00
	19 :00	0,66	0,65	0,59	0,89	0,95	0,61
	heure utile	6 47 %	7 54 %	4 31 %	4 31 %	5 39 %	6 47 %
TOTAL= 32 h pour les 06 stations avec un taux moyen de 42% de confort							

Une corrélation entre le SVF et le PMV simulé après amélioration (voir figure 49) a montré une très faible corrélation. Ces résultats peuvent être dus aux différences de comportement physique des matériaux de surface (notamment leur albédo), ainsi que la différence dans l'orientation et l'intensité végétale. Donc on peut dire que le PMV n'a pas une forte corrélation avec le SVF. Il existe d'autres paramètres plus décisifs tels que l'orientation et la végétation.

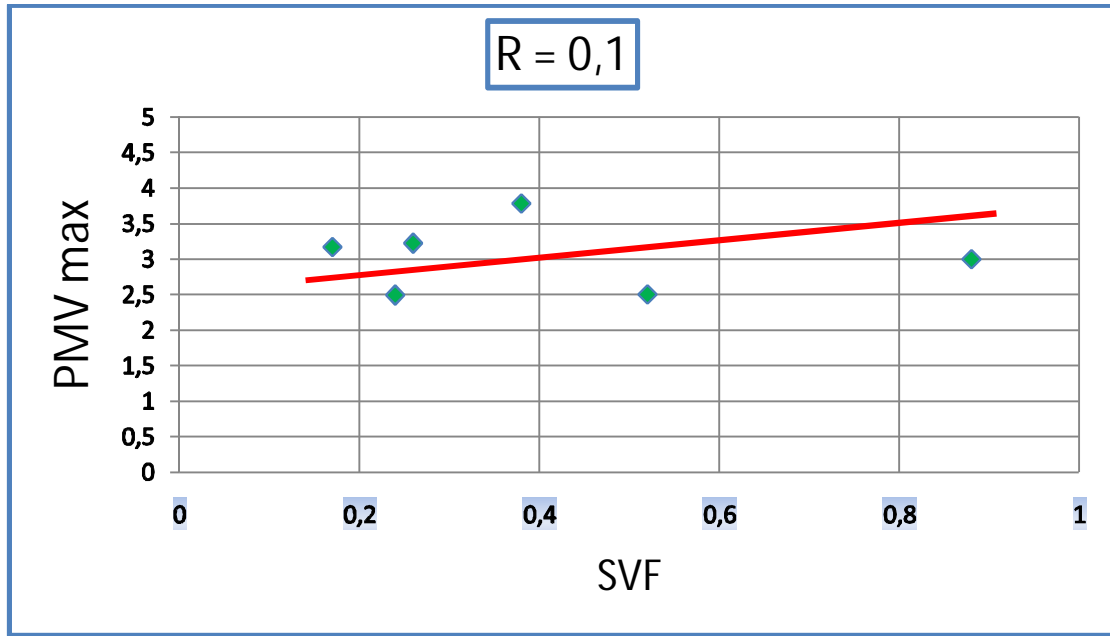


Figure 49: Corrélation entre SVF et PMV max après amélioration (Source : Auteur, 2014)

Les résultats de simulations ont confirmé les hypothèses de cette étude ainsi que les améliorations proposées dans le deuxième scénario. En particulier, cette simulation a montré l'effet des différents paramètres de l'espace extérieur où on remarque que le nombre d'heures utiles calculé par l'indice TB du bilan énergétique ainsi que sur l'indice du confort thermique PMV sont plus grands dans le 2ème scénario que dans le 1^{er}, les heures les plus critiques au niveau du 1^{er} scénario atteignent **210,15 W/M²** pour le **BUDJET** et **5,82** pour le **PMV** tandis que dans le deuxième scénario, les heures les plus critiques atteignent **158,05 W/M²** pour le **BUDJET** et **3,78** pour le **PMV** soit une réduction de 30% par rapport au cas réel..

Ces deux tableaux ont montré l'effet de l'amélioration sur les indices du confort thermique extérieur où on remarque que le pourcentage moyen du nombre d'heures de confort pour le PMV était **18 %** avant modification et il est devenu **42%** après amélioration. De même pour le BUDJET du bilan énergétique qui était de **39 %** avant modification et qui est devenu **62%** après amélioration, ce qui témoigne d'augmentation enregistrée de plus de **25 % (bénéficie du ¼ de la journée en plus dans un état de confort)** du nombre d'heures utiles de confort thermique extérieur. D'autre part, la diminution des heures les plus critiques jouent aussi un rôle très important dans cette modification

(voir tableau ci-dessous), car on remarque que les heures les plus critiques (couleur rouge) de PMV sont passées de **47 heures** à **5 heures** seulement pour les six stations, soit une différence de **42 heures** gagnées à cause de cette amélioration. Les deux tableaux ci-dessous montrent la différence de PMV et l'augmentation du nombre d'heures utiles pour le confort thermique entre le 1^{er} et le 2^{eme} scénario :

TABLEAU 07 : Comparaison entre les résultats du 1^{er} scénario et le 2^{eme} scénario. (Source : Auteur , 2013)

H	PMV					
	1	2	3	4	5	6
06	0,25	0,22	0,63	0,07	0,65	0,46
07	1,99	2,24	0,00	0,62	0,16	2,39
08	1,93	2,87	3,3	1,12	2,95	3,15
09	1,95	3,22	3,78	1,52	3,29	3,65
10	2,56	3,40	4,15	1,98	3,65	3,92
11	2,39	3,37	4,35	3,91	3,78	4,04
12	3,07	3,51	4,48	4,46	4,09	4,09
13	4,44	4,12	5,00	3,39	4,46	4,64
14	3,29	4,67	5,50	3,14	5,08	5,25
15	4,19	4,9	5,67	3,12	2,7	5,41
16	5,44	5,29	5,82	3,11	2,68	5,76
17	3,36	4,45	2,16	2,61	2,00	4,76
18	2,86	1,38	1,60	1,93	1,57	1,50
19	0,88	0,87	0,80	0,89	1,13	0,81
Heur utile	2	2	3	3	2	2
	15%	15%	22%	22%	15%	15%
TOTAL= 14 h pour les 06 stations avec un taux moyen de 18% de confort						

1^{er} scenario

H	PMV					
	1	2	3	4	5	6
06	0,47	0,17	0,76	1,20	0,58	0,64
07	0,54	0,03	0,44	0,63	-0,22	0,13
08	0,95	0,58	1,10	1,06	0,76	0,83
09	0,88	0,92	1,51	1,46	0,99	0,95
10	0,97	1,00	1,92	1,85	1,56	1,60
11	1,94	1,75	2,65	3,78	1,91	2,30
12	2,20	2,27	2,86	3,30	2,25	2,66
13	2,57	2,49	3,22	3,28	2,50	3,00
14	2,57	2,44	2,67	3,00	2,30	2,43
15	2,60	2,48	2,60	3,00	2,37	2,47
16	2,67	1,94	2,45	2,87	2,16	2,34
17	3,17	1,78	1,92	2,54	1,90	1,74
18	2,78	0,98	1,33	1,96	1,59	1,00
19	0,66	0,65	0,59	0,89	0,95	0,61
heur utile	6	7	4	4	5	6
	47 %	54 %	31 %	31%	39 %	47 %
TOTAL= 32 h pour les 06 stations avec un taux moyen de 42% de confort						

2^{eme} scenario

Cette étude vient confirmer d'autres recherches basées sur la même méthode d'habitabilité, telles que les travaux de ECHAVE et CUCHI (2004), à Barcelone en Espagne, qui confirment l'amélioration au niveau du confort thermique des personnes quand les surfaces sont protégées des rayons solaires directs soit par la réduction du SVF, l'introduction des surfaces végétalisées et la présence des arbres tout au long de la rue, et qui présentent un taux de 76% du nombre d'heures de confort thermique à cause de l'effet d'ombrage des arbres.

V-7- Conclusion :

En fonction de ces résultats de simulation, on peut conclure que la modification de la morphologie urbaine a un impact très important sur l'environnement thermique extérieur. Les résultats ont montré une grande corrélation positive entre les deux indices PMV, TB et la température moyenne radiante MRT. Cette dernière est liée directement avec les paramètres morphologiques de l'espace extérieur.

La MRT a une grande corrélation avec le SVF à cause de la durée d'ensoleillement. L'emploi de matériaux de construction et de pavage à haute réflectivité améliore d'une manière significative le niveau de confort thermique. Ainsi, l'ombrage par la végétation dense dans les emplacements adéquats, constitue aussi une meilleure stratégie, de par la réduction du flux thermique entrant (qui laisse les matériaux des surfaces frais) surtout pendant les heures de surchauffe. D'autre part l'humidification de l'environnement, d'une manière générale, augmente le temps d'utilisation de ces espaces publics urbains.

A travers ce chapitre, l'amélioration du confort thermique extérieur a été vérifiée et a été évaluée par simulations différentes. On a essayé de trouver la meilleure façon de concevoir un espace urbain qui s'adapte avec le climat chaud et aride, ceci dans l'objectif de fournir les moyens d'améliorer la qualité de l'environnement urbain. Une action étudiée sur le SVF, l'orientation des rues, la végétation, et l'albédo des matériaux de construction peut améliorer significativement le confort thermique au niveau de ces espaces extérieurs.

Ce chapitre est entamé par la présentation du logiciel ENVI-met 3.0, en présentant les différentes étapes à suivre ainsi que l'ensemble des icônes et commandes utiles à sa bonne exécution. Ensuite, une présentation des paramètres de base ou les entrées faisant l'objet du fichier (inputs) qui caractérisent l'aire à simuler. Ces paramètres concernent l'aspect géographique, physique et météorologique du site en question. Enfin, les résultats ont été présentés sous forme de figures.

Une deuxième méthode a été utilisée dans ce chapitre, qui calcule le nombre d'heures de confort thermique utile par jour et durant lequel les espaces urbains peuvent être praticables. Elle nous permet de constituer des calculs horaires sur le niveau de confort dans chaque station, en utilisant deux différentes méthodes, la méthode COMFA pour calculer le budget du Bilan Energétique et l'indice PMV (Predicted mean vote). Les deux indices du confort thermique ont montré que les conditions de confort étaient améliorées dans le deuxième scénario grâce aux modifications proposées.

Les résultats de l'investigation sur site sont plus réels et plus fiables que n'importe quel résultat de simulation numérique, ce qui fait que l'objectif de ce chapitre ne sera que d'améliorer l'environnement et le confort thermique extérieur qui ne peut être assimilé à une démarche purement physiologique. Le processus d'acclimatation peut expliquer l'adaptation des utilisateurs des espaces urbains publics au microclimat et d'élargir la marge de confort après une longue exposition aux mêmes conditions climatiques.



La planification des villes devrait considérer que l'environnement bâti n'est pas seulement un ensemble de bâtiments, mais le résultat physique des différents processus économiques, sociaux et environnementaux fortement liées aux normes et aux besoins de la société et en parallèle les températures des villes augmentent aussi. La construction de nouvelles centrales de production est une solution viable alors qu'elle est coûteuse et prend beaucoup de temps, et l'adoption de mesures visant à réduire la demande d'énergie dans les zones urbaines s'avère plus rentable, avec des techniques utilisant des matériaux plus appropriés, l'augmentation de la végétation, l'utilisation des puits.. etc.

L'Algérie est un pays aride et semi aride situé dans une région très affectée par le changement climatique mondial, ce changement créé par les émissions provoquées des activités humaines, va entraîner des problèmes majeurs de ressources en eau, de sécheresse et de désertification.

Cette recherche nous a permis de mettre en exergue l'effet de la morphologie urbaine sur le confort thermique extérieur au niveau du ksar de Tafilelt à Ghardaïa. Elle a traité l'impact de la géométrie des espaces extérieurs sur le confort thermique des usagers. Les résultats de notre étude indiquent que dans un environnement chaud et aride, le confort thermique d'un piéton peut être modifié de manière considérable par la géométrie des rues, l'orientation, la végétation et l'albédo. La variation dans la température de l'air ambiant, la température des surfaces, l'humidité ainsi que la vitesse du vent peuvent être modérés en fonction de quelques éléments tels que les matériaux utilisés, la couleur, la géométrie ainsi que les éléments naturels tels que la végétation et les surfaces d'eau.

Ce présent travail a été divisé en trois parties. Premièrement, une familiarisation avec les différents concepts propres à l'urbanisme bioclimatique. Cette première phase a été développée en trois chapitres, elle a consisté en une approche théorique sur les notions du confort thermique et la climatologie, puis elle a procédé à une analyse sur le microclimat et les espaces extérieurs urbains par rapport au confort thermique dans les climats chauds et secs. Enfin, une évolution des recherches de tous les paramètres fondamentaux constituant l'espace public extérieur, a été révélée.

Après avoir acquis toutes les notions élémentaires au cours de la partie théorique, la deuxième partie était pratique, elle a consisté en un travail sur terrain qui comporte une prise des mesures in-situ. L'utilisation de la méthode d'habitabilité basée sur le nombre d'heures utiles de confort thermique a été effectuée pour une évaluation thermique des espaces urbains avec une utilisation de deux indices de confort thermique, le PMV et TB obtenu par la méthode thermique COMFA (**COM**fort **F**ormul**A**). Sur la base des résultats obtenus, on peut voir clairement la

différence de nombre d'heures utiles de confort par jour, ces heures utiles ont généralement lieu tôt le matin où on a remarqué que le pourcentage moyen du nombre d'heures de confort varie entre **20 %** et **23 %** pour les deux indices de confort thermique **TB** et **PMV**, ce qui fait qu'environ **80 %** du temps des six stations de mesure sont caractérisés par une ambiance critique d'inconfort thermique. Ces résultats montrent aussi que les conditions de confort thermique ont un rapport avec la durée d'ombrage créée par la géométrie et la végétation. La simple présence d'arbres le long d'une rue ou une placette augmente les heures de confort et réduit considérablement l'inconfort des personnes.

La simulation numérique constitue la troisième partie de la recherche. Elle s'est basée sur un programme tridimensionnel appelé « ENVI-met3 ». L'amélioration du confort thermique extérieur a été évaluée par une deuxième variante de simulations numérique pour essayer de trouver la meilleure façon de concevoir un espace urbain qui s'adapte avec le climat chaud et aride. Une amélioration judicieuse sur le SVF, l'orientation des rues, la végétation et l'albédo des matériaux de construction peut améliorer significativement le confort thermique des espaces extérieurs. Une deuxième méthode a été utilisée dans ce chapitre, qui consiste à calculer le nombre d'heures de confort thermique par jour en utilisant deux indices de confort thermique, l'indice TB (Thermal Balance) de la méthode COMFA, et l'indice PMV. Les deux indices ont montré que les conditions de confort étaient améliorées dans le deuxième scénario grâce aux améliorations proposées.

Après analyse des mesures in-situ et simulation numérique, on a obtenu certains résultats qui vont être une base pour établir quelques recommandations :

- On a conclu que les axes orientés NORD-SUD sont plus confortables que les axes orientés EST-OUEST. Les rues orientées E-O devront avoir des profils asymétriques avec des murs face au sud plus élevés que les murs face au Nord.
- La présence de la végétation contribue à l'augmentation des valeurs d'humidité relative et à l'amélioration du confort thermique extérieur.
- Augmenter l'albédo sur le revêtement en asphalte ainsi que les murs et de la toiture, et utiliser des matériaux de couleur claire de haut albédo.
- Remplacer le goudron par le gazon et des bande de verdure qui agissent efficacement comme régulateur thermique. Il est donc possible de remplacer le béton de pavage par de la pelouse.
- Eviter les matériaux sombres qui ont des surfaces de couleur foncée (ex : les tuiles rugueuses de couleur foncée ont tendance à absorber plus de rayonnement solaire).
- Limiter le surchauffe des surfaces au sol et des pavés à faible albédo en fournissant l'ombre par l'introduction de la végétation.

- Créer de la végétation dans les espaces qui se caractérisent par un SVF très important ainsi que dans les espaces où les rayons solaires directs doivent être filtrés par cette végétation.
- Choisir des espèces locales de végétation qui s'adaptent au climat de la région, qui se caractérisent par une résistance plus forte et peuvent résister à des situations de manque d'eau.
- La végétation ne doit pas porter de l'ombre sur les espaces extérieurs durant la saison froide, c'est donc une végétation à feuillage caduc qui est recommandée.
- La géométrie de l'arbre la plus avantageuse en été comme en hiver est celle caractérisé par une hauteur réduite de la tige avec une grande largeur de l'arbre, avec un feuillage bien dense et peu de branchage, cette géométrie peut réduire l'ombre au minimum pendant l'hiver
- Prévoir des espace de loisir, d'animation, et de consommation sur le coté nord qui bénéficie des brises d'été et de la protection solaire.

En conclusion, on peut dire que les objectifs précédemment tracés ont été atteints et les hypothèses mises en place ont été vérifiées. D'autres axes de recherche s'ouvrent et beaucoup d'interrogations peuvent être résolues du moment que les logiciels numériques sont capables d'évaluer et de tester une multitude de paramètres liés à la micro climatique urbaine. Cette recherche ouvre aussi d'autres axes de recherches sur les régions à climat chaud et aride, surtout dans la vallée du Mzab qui présente un patrimoine architectural universel, tels que l'impact de la géométrie urbaine sur le confort thermique intérieur, l'impact de la morphologie urbaine sur la consommation énergétique intérieure, l'évaluation du confort thermique pour plusieurs types de matériaux de construction. Et même l'élaboration d'un programme numérique de conception (intérieur ou extérieur) spécifique pour les climats chauds et secs. Ces outils devraient être simples et faciles à utiliser pour aider les architectes et les urbanistes à adhérer à un urbanisme bioclimatique.

Limites de la recherche et difficultés rencontrées :

L'objectif de ce travail a été atteint, cependant quelques limites de recherches doivent être exposées :

- A cause de l'intimité des Mozabites et en tant qu'étranger à la région, nous avons trouvé une difficulté d'accessibilité dans les rues et les espaces extérieurs de la cité de Tafilet, qui sont considérés comme des espaces intimes et privés par les habitants de la cité.
- La période relevée ne tient pas en considération la saison d'hiver. Il serait plus pertinent dans un climat comme celui de la vallée des Mzab d'intégrer les relevés d'hiver afin de permettre une comparaison plus exhaustive entre les différentes géométries en termes de confort thermique.

BIBLIOGRAPHIE**Livres :**

1. Allain Liebard, Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique, Le Moniteur, 2006.
2. Allain R, Morphologie urbaine, ARMOND COLIN, Paris, 2004.
3. André Raverau, le Mzab, une leçons d'architecture, SINDBAD. 1981
4. Boussora Cheikh kenza, Histoire de l'architecture en pays islamique, CASBAH, Alger, 2004.
5. Brown G & Mark D, Sun, wind and light, Jhon WILEY & SONS, 2001.
6. Buland F, Construire une maison bioclimatique, INEDITE, Paris, 2008.
7. David Wright, Soleil, nature, architecture, Parentheses, 1978.
8. DIB, Michel N. Recommandations architecturales. Alger. ENAG-Edition. 1993.
9. Dominique Muler, Architecture Ecologiques, Le Moniteur.
10. Dunnett N & Kingsbury N, Toits et Murs végétaux, ROUERGUE, 2007.
11. Escourrou g. Climat et environnement, les facteurs locaux du climat. Paris : masson. 1981.
12. Escourrou g, le climat et la ville, presse universitaire nathan, paris 1991
13. Givoni B, Climate consideration and urban design, edition john wiley et sons INC, 1998.
14. Givoni B. L'homme, l'architecture et le climat. Paris : édition du Moniteur.1978.
15. Liebard A, De herde A, Traité de l'architecture et l'urbanisme bioclimatique, édition Observer, Paris, 2005.
16. Jhon W & Heinrick Klotz, Questions aux architects, Preager.
17. Mattew Carmona, Public place & Urban spaces, New York, Architectural press.
18. MAZRIA, Edward. Le guide de l'énergie solaire passive. Parenthèses,1975.
19. Mike lenks, Dimensions of sustainable city, Springer, 2010.
20. NEUFERTE. Les éléments des projets de construction (9^e édition). DUNOD, 2006.
21. Olgyay and Olgyay. Solar control & shading devices, Princeton University, new jersey, 1976.
22. Robert D Brown, Design with microclimate, IslandPRESS, 2010.
23. Robert D Brown, Terry Gillespie, Microclimatic landscape design, Jhon WILEY & SONS, 1995.
24. Roberto gonzalo et karl j. Habermann, architecture et efficacite energetique.
25. SANTAMOURIS, M, ADNOT, J, ALVAREZ,S et al. Cooling the cities, rafraîchir les villes. Paris, 2004, les presses de l'école des mines.
26. Wright D. Soleil, nature, architecture, Parentheses, 1978.

Publications:

1. Ali-Toudert F, Djenane M, Bensalem R. Outdoor thermal comfort in the old desert city of Beni-Isguen, Algeria, CLIMATE RESEARCH -Clim Res-, Vol. 28: 243–256, 2005.
2. Ali-Toudert.Fazia, Mayer.Helmut, "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 14 (2006) 94-108.
3. Ali-Toudert F. Intégration de la dimension climatique en urbanisme. Alger : EPAU. 2000.
4. Angelotti A, Dessì V and Scudo G, The evaluation of thermal comfort conditions in simplified urban spaces: the COMFA+ model, 65 2nd PALENC Conference and 28th AIVC Conference on Building Low Energy Cooling and Advanced Ventilation Technologies in the 21st Century, September 2007, Crete island, Greece, PP 65 – 70.
5. Avlokita Agrawal, Shekhawati: urbanism in the semi-desert of India A climatic study, PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture. Geneva, Switzerland, 6-8 September, 2006, PP 1 – 6.
6. Brahim K et al, Architecture et confort thermique dans les zones arides, cas de la ville de Béchar, Revue des Energies Renouvelables Vol. 11 N°2 (2008) 307 – 315
7. Bourbia.F, Awbi.H.B, "*Building cluster and shading in urban canyon for hot dry climate. Part 1 : Air and surface measurements*", renewable energy 29(2004) 249-262.
8. Bourbia.F, Awbi.H.B, "*Building cluster and shading in urban canyon for hot dryclimate. Part 2 : Shading simulations*", renewable energy 29(2004) 291-301.
9. Boucheriba F & Bourbia F, Impact De La Géométrie Des Canyons Urbains Sur Le Confort Thermique Extérieur Dans Un Climat Semi Aride -Cas Du Coudiat De Constantine-, université Mentouri Constantine, 2011.
10. Bougiatioti Flora, Effect of urban geometry on surface temperatures of "skin" materials in Greek cities, PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6-8 September 2006.
11. Bozonnet E. Les microclimats urbains et la demande énergétique du bâti, XXIVemes Rencontres Universitaires de Génie Civil 2006.
12. Bruse M. Modelling And Strategies For Improved Urban Climates.
13. Bruse M. and FLEER, H. (1998). Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. Environmental Modelling & Software, Vol 13, Issue 3-4.

14. Bruse M, "*Simulating human thermal comfort and resulting usage patterns of urban open spaces with a Multi-Agent System*", Wittkopf, St.and Tan.B.K.(eds.):Proceedings of the 24th International Conference on Passive and Low Energy Architecture PLEA (2007), p.699-706.
15. Brown R D & Terry G, Part A: Assessing the performance of the COMFA outdoor thermal comfort model on subjects performing physical activity, *Int J Biometeorol* (2009) 53 : PP 415–428.
16. Brown R D & Terry G, Part B: Revisions to the COMFA outdoor thermal comfort model for application to subjects performing physical activity, *Int J Biometeorol* (2009) 53 : PP 429–441.
17. Chabi M, Dahli M. Une nouvelle ville saharienne Sur les traces de l'architecture traditionnelle. PP 1 – 10.
18. Chalfoun N. Sustainable urban design and outdoor space analysis using MRT, and photography of scale models: A case study of the Rio Nuevo project in Tucson, Arizona, USA. PP 1 – 6.
19. Chatzidimitriou A and Yannas S, Microclimatic Studies of Urban Open Spaces in Northern Greece, Plea2004 - The 21st Conference on Passive and Low Energy Architecture. Eindhoven, The Netherlands, 19 – 22 September 2004, P 1 – 6.
20. Cheng Vicky, Urban Form, Density and Solar Potential, PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6-8 September 2006, PP 1 –6.
21. Echave C, Cuchi A, Habitability method analysis in urban spaces, PLEA the 21 conference on passive and low energy architecture, Endhoven, Holand, 2004.
22. Eliasson I, Offerle B, Holmer B et al. Surface heating in relation to air temperature, wind and turbulence in an urban street canyon, 2006.
23. Eliassona B, Grimmondb S et al. Wind fields and turbulence statistics in an urban street canyon, *Atmospheric Environment* 40 (2006) PP 1–16.
24. Fahmy M , Sharples S. Passive design for urban thermal comfort: a comparison between different urban forms in Cairo, Egypt, PLEA 2008 – 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Dublin, 22nd to 24th October 2008, PP 1 – 6.
25. Gaitani.N, Mihalakakou.G, Santamouris.M, "*On the use of bioclimatic architecture principles in order to improve thermal comfort conditions in outdoor spaces*", *Building and Environment* 42 (2007) 317-324.

26. Gaitani.N, Mihalakakou.G, Santamouris.M, " Thermal comfort conditions in outdoor spaces", International Conference "Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment", May 2005, Santorini, Greece, PP 761 – 766.
27. Gaitani N, Santamouris M, Mihalakakou G. Thermal comfort conditions in outdoor spaces, International Conference "Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment", May 2005, Santorini, Greece, PP 761 – 765.
28. Georgi, Tzesouri. Monitoring Thermal Comfort in Outdoor Urban Spaces for Bioclimatic Conditions Improvement, 1st WSEAS International Conference on LANDSCAPE ARCHITECTURE (LA '08), Algarve, Portugal, June 11-13, 2008, PP 98 – 104.
29. Gianni S, Dessì V. Thermal comfort in urban space renewal, 2006.
30. Giannopoulou M. Bioclimatic Principles and Urban Open Spaces: The Case of Xanthi, Engineering and Technology 67 (2012); PP 474 – 477.
31. Givoni.Baruch, Noguchi.Mikiko, Saaroni.Hadas, Pochter.Oded, Yaacov.Yaron, Feller.Noa, Becker.Stefan, "*Outdoor comfort research issues*", energy and buildings 35 (2003) 77-86.
32. Givoni B, Ganesan S. Impact of on-site variables on the influence of vegetation in lowering outdoor temperature in High-rise high-density environments, PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6-8 September 2006.
33. Haider taha, "Urban climates and heat islands: albedo, evapotraspiration, and antropogenic heat", Energy and buildings 25 (1997) 99-103.
34. Heidt V, Neef M, Benefits of Urban Green Space and Urban Climate
35. Hollmuller P et al, Actes de la 13ème Journée du Cuepe Colloque du cycle de formation du Cuepe 2002-2003
36. Habiter les Déserts. Ecole Polytechnique D'architecture et D'urbanisme, DECEMBRE 2006.
37. Kitous.S, Daoudi.N, Boussoualim.A, Bensalem.R, Adolphe.L, "Pour un urbanisme climatique des villes: cas de la vallée du M'zab. Investigations sur les principes d'intégration ancestraux et recommandations pour une planification future", Living in deserts, 2006.
38. Kruger E, Givoni B, Outdoor measurements and temperature comparisons of seven monitoring stations: Preliminary studies in Curitiba, Brazil, Building and Environment 42 (2007) PP 1685–1698.
39. Lahme E. Microclimatic effects of a small urban park in a densely build up area: measurements and model simulations, 2004.

40. Latini G et al. Thermal Comfort and Microclimates in Open Spaces, 2010 ASHRAE. PP 3 – 10.
41. Latini R, Grifoni C, Tascini S. Microclimatic Conditions In Urban Open Spaces, 2010.
42. Liangmei H, Dehua Z, Jiyu Z, A fieldwork study on the diurnal changes of urban microclimate in four types of ground cover and urban heat island of Nanjing, China, Building and Environment, 2006.
43. Liang Chen & Edward Ng, Outdoor thermal comfort and outdoor activities: A review of research in the past decade, Cities 29 (2012) PP 118–125.
44. Marie.K & Svensson, Sky view factor analysis- Implications for urban air temperatures differences. Meteorol. 2004;11: PP 201-211
45. Masmoudi.S et Mazouz.M, "Relation of geometry, vegetation and thermal comfort around buildings in urban settings, the case of hot arid regions", energy and buildings 36 (2004) 710-719.
46. Matzarakis A et al. Assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: Modelling and measurements, Building and Environment 41 (2006) PP 1713–1722.
47. Mokhtari. Architecture et confort thermique dans les zones arides : cas de la ville de Béchar, *Revue des Energies Renouvelables Vol. 11 N°2 (2008) 307 – 315.*
48. Najjar G et al, Bilan radiatif et d'énergie dans un canyon urbain, Annale de l'association internationale et climatologie, Vol 2, 2005, PP 41 – 55.
49. Nikolopoulou.Marialena, Baker.Nick, STEEMERS.Koen, "*Thermal comfort in outdoor urban spaces: Understanding the human parameter*", Solar energy vol.70, N°.3, pp.227-235, 2001.
50. Nikolopoulou.Marialena, Steemers.Koen, "*Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces*", Energy and buildings 35 (2003) 95-101.
51. Nikolopoulou.Marialena, Lykoudis.Spyros, "*Thermal comfort in outdoor urban spaces: Analysis across different European countries*", Building and environment 41 (2006) 1455-1470.
52. Nikolopoulou M, Lykoudis S. Thermal comfort in outdoor urban spaces: Analysis across different European countries, 2006.
53. Nikolopoulou M, Lykoudis S, Kikira M. Thermal Comfort In Outdoor Spaces: Field Studies in Greece.

54. Offerle.B, Eliasson.I, Grimmond.C.S.B, Holmer.B " *Surface heating in relation to air temperature, wind and turbulence in an urban street canyon*", Boundary-Layer Meteorol.Springer science + Business Media B.V, 2006.
55. Pearlmutter.D, Bitan.A, Berliner.P, « *Microclimatic analysis of « compact » urban canyons in an arid zone* », Atmospheric environment33, 1999, 4143-4150.
56. Pierre Hollmuller et al, Actes de la 13ème Journée du Cuepe Colloque du cycle de formation du Cuepe 2002-2003
57. Pinho A, Branco P, Coelho B, The influence of the built environment in microclimatic variations, PLEA 2003 - The 20th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Santiago – CHILE, 9 – 12, November 2003
58. RUROS, Concevoir des espaces extérieurs en environnement urbain: une approche bioclimatique, Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces-2002.
59. Salat S, Energy and bioclimatic efficiency of urban morphologies: towards a comparative analysis of Asian and European cities.
60. Santamouris M, Adnot J, Alvarez S. Cooling the cities. presses de l'école des mines, Paris, 2004.
61. Santamouris M, Livada I. Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials, Solar Energy 77 (2004) PP 231–249.
62. Scudo G and Dessì V, Thermal comfort in urban space renewal, PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6-8 September 2006 .
63. Shashua-Bar L, Milo E. Hoffman, Quantitative evaluation of passive cooling of the UCL microclimate in hot regions in summer, case study: urban streets and courtyards with trees, Building and environment 39 (2004), PP 1087 – 1099.
64. Shachoua-bar, Hoffman, m.e. (2000). Geometry and orientation aspects in passive cooling of canyon streets with trees. Energy and Buildings 35 (2003) 61–68.
65. Shashua-Bar.L, Hoffman.M.E, "*Vegetation as a climatic component in the design of an urban street . An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees*", Energy and building 31 (2000) 221-235.
66. Spangenberg J, Sustainable Architecture & Urbanism and Transportation, Simulation of Urban Microclimates in Tropical Metropolis' Maracanã/ Rio De Janeiro, RIO 5 - World Climate & Energy Event, 15-17 February 2005, Rio de Janeiro, Brazil, PP 345 – 353.

67. Taleb D, Abu-Hijleh B. Urban heat islands: Potential effect of organic and structured urban configurations on temperature variations in Dubai, UAE, *Renewable Energy* 50 (2013) 747e762.
68. Unger J, Matzarakis A, RayMan model Assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: Modeling and measurements, 2005.
69. Volker H, Marco N. Benefits of Urban Green Space and Urban Climate, RegioComun – Institute for Strategic Regional Management, PP 1 – 11.
70. Westerberg Ulla, Climate and the use of urban public spaces, Plea2004 - The 21th Conference on Passive and Low Energy Architecture. Eindhoven, The Netherlands, 19 - 22 September 2004, PP 1 – 6.
71. Yannas Simos, Adaptive Skins and Microclimates, Plea2004 - The 21th Conference on Passive and Low Energy Architecture. Eindhoven, The Netherlands, 19 - 22 September 2004, PP 1 – 6.
72. Zambrano L; Malafaia C; Bastos L, Thermal comfort evaluation in outdoor space of tropical humid climate, PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6-8 September 2006.

Theses:

1. Achour-Bouakkaz nawel, la relation entre l'îlot de chaleur urbain, Phénomène du changement climatique et la Densité du plan bâti : cas de la ville d'Alger, Thèse de magister, université mentouri de Constantine, 2006.
2. Ali Toudert Fazia, Dependence of Outdoor Thermal Comfort on Street Design in Hot and Dry Climate, *Berichte des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg*, 2005.
3. Ballout amor, le rôle de la végétation et l'eau dans La creation d'un microclimat Urbain « cas de la place de ain el fouara a Sétif, Thèse de magister, université mentouri de Constantine, 2010.
4. Belatreche, effet thermo radiatifs et caractérisation microclimatiques des cours interieurs dans les édifices publics, mémoire de magistère, Université Mentouri, 2006
5. Benadji Amar. Adaptation climatique ou culturelle en zones arides ; cas du Sud-est Algérien. Thèse de Doctorat, Université d'Aix Marseille I, 1999

6. Boucheriba Fouzia, Impact de la géométrie des canyons urbains sur le confort thermique extérieur, Cas du coudiat de Constantine -, Thèse de magister, université mentouri de Constantine, 2006.
7. Bozonnet Emmanuel, Impact des microclimats urbains sur la demande énergétique des bâtiments Cas de la rue canyon, thèse de doctorat, Université De La Rochelle, 2005.
8. Evans John Martin, The Comfort Triangles: A New Tool For Bioclimatic Design, September 2007.
9. Hatten anne. Mise en évidence des caractéristiques générales de l'îlot de chaleur urbain Strasbourgeois. Mémoire de maîtrise de Géographie. Université Louis Pasteur de Strasbourg, 2002.
10. Kadissa chahrazad, impact de la géométrie des espaces extérieur sur le microclimat urbain, Thèse de magister, université mentouri de Constantine, 2010.
11. Kitous Samia, Effet Aérodynamique sur le confort thermique extérieur – cas de la vallée des Mzab-, Thèse de doctorat, EPAU, 2013.
12. Louafi Samira, Impact de la végétation sur la qualité des ambiances thermiques extérieures, Thèse de doctorat, université Constantine 3, 2013.
13. Mansouri ouarda, l'influence de la réflectivité des matériaux (albédo) sur la modification du microclimat et le Confort thermique extérieur dans un canyon Urbain, Cas du coudiat de Constantine , Thèse de Magister, université mentouri de Constantine, 2008.
14. Ouameur Fouad Ahmed, Morphologie Urbaine Et Confort Thermique Dans Les Espaces Publics, Etude comparative entre trois tissus urbains de la ville de Québec, Ecole D'architecture Faculté D'aménagement, D'architecture Et Des Arts Visuels Université Laval Québec, 2007.
15. Tabbani habiba, impact de la vegetation sur le microclimat, cas de la cour de la révolution d'Annaba, Thèse de Magister, université mentouri de Constantine, 2006.
16. Zammoura zineddine, impact de la végétation sur le microclimat et le confort thermique extérieur, Thèse de Magister, université mentouri de Constantine, 2009.
17. Zeroual daoud, impact des gains de chaleur sur la Morphologie des bâtiments Cas des climats chauds et arides, Thèse de Magister, université mentouri de Constantine, 2006.

LISTES DES FIGURES

NUMERO	TITRE	PAGE
CHAPITRE I : CLIMAT ET CONFORT THERMIQUE		
Figure1	Courbe prévisible de la population mondiale (1750-2100) et consommation d'énergie primaire	9
Figure2	Zone de confort thermique D'après Olgay	10
Figure3	les différents éléments qui caractérisent notre terre	11
Figure4	Distribution des différents climats	13
Figure5	Données climatique distribués pour différents climats	13
Figure6	Les Echelles Climatiques Horizontales	15
Figure7	les différentes couches verticales	16
Figure8	représentation schématique de la couche limite urbaine	17
Figure9	La température est influencée par l'ensoleillement	18
Figure10	Evolution d'humidités relatives des villes d'Europe	21
Figure11	Rose des vents (1971-2000) Région de l'Ontario, Canada.	22
Figure12	Comportement du vent en rencontre de plusieurs obstacles	23
Figure13	Différents effets du vent au niveau du sol	23
Figure14	Phénomènes de panache et de dôme urbains au dessus des villes	24
Figure15	L'atmosphère traversée par les rayons solaires	25
Figure16	Isolation thermiques des vêtements	28
Figure17	Différents activité agissant sur le confort thermique	28
Figure18	Les pertes thermiques du corps humain	29
Figure19	échange par convection entre l'être humain et l'air	30
Figure20	échange de chaleur entre des corps chauds vers des corps froids	30
Figure21	Bilan thermique du corps humain	31
Figure22	Classification des valeurs du PMV selon neuf échelles de confort	36
Figure23	Estimation des échanges énergétiques d'un piéton avec son environnement	38
Figure24	Correspondance entre le PMV et le PPD	39
Figure25	Correspondance entre le PMV et le PPD	39
Figure26	relation entre PET et Tmrt durant les journées	40
Figure27	Température Opérative optimale selon l'habillement et le métabolisme	40
Figure28	Comparaison entre (ASV) obtenu des questionnaires	42
CHAPITRE II : MICROCLIMAT URBAIN ET ESPACE PUBLICS EXTERIEURS		
Figure1	Difference de temperarue entre le centre de la ville et la peripherie	49
Figure2	Impact du réchauffement climatique sur le globe terrestre	51
Figure3	Impact du changement climatique sur la population mondiale	51
Figure4	Chaleur anthropique affecte directement le changement climatique	53
Figure5	Evolution comparée de production automobile mondiale et la concentration en CO2 dans l'air	53
Figure6	Le développement du Réchauffement et différence de température mondiale du dernier siècle	55
Figure7	Différences de la température entre le centre d'une agglomération urbaine et une périphérie	55
Figure8	Ilot de chaleur urbain dans les espaces extérieurs	56
Figure9	Intensité de l'îlot de chaleur urbain à la ville de Montréal	58
Figure10	les 3 paramètres morphologiques principaux d'un espace extérieur	59
Figure11	Divers albédos de la ville. Compris entre 0 et 1	60
Figure12	Facteurs provoquant la création de l'ICU	61
Figure13	Différents effets de l'îlot de chaleur urbain	63
Figure14	Différents usages de l'espace public extérieur sous différentes conditions microclimatiques, journée et soirée d'été.	63
Figure15	Exemple d'un espace public extérieur à Ghardaïa	64
Figure16	Différence entre Rue et Ruelle	65
Figure17	canyon naturel (Great Canyon USA)	66

Figure18	canyon urbain	66
Figure19	Différentes géométries de la rue : canyon, dièdre et dégagée	67
Figure20	Rôle d'une même place à Ghardaïa dans deux époques différentes	67
Figure21	Différentes échanges énergétique dans un espace urbain	69
Figure22	Différence entre le bilan thermique d'une zone urbaine et non urbaine	70
CHAPITRE III : IMPACT DE LA MORPHOLOGIE URBAINE SUR LE MICROCLIMAT		
Figure1	dégradation des espaces extérieurs dans les climats arides	75
Figure2	Carte mondiale des Climats Chaud et secs	76
Figure3	Schéma d'implantation des ksour mozabites	77
Figure4	Fond de la vallée des Mزاب	78
Figure5	Exposition des versants Nord et Sud par rapport au soleil	78
Figure6	Image d'un plateau sur les bords de Ghardaïa (TAFILELT)	80
Figure7	Variation de la Densité urbain à Beijing, Shanghai, Paris, Berlin.	82
Figure8	Evaluation de la Densité urbain où le noir indique zone construite et le blanc espace ouvert.	82
Figure9	trois formes urbaines avec une même densité résidentielles	83
Figure10	différence de la rugosité urbaine entre deux villes	84
Figure11	Modèle d'élévation numérique en 2D en niveau de gris avec des valeurs entre 0 (blanc) et 255 (noir) où le blanc et le noir correspondent aux hauteurs minimales et maximales de la zone.	84
Figure12	Carte de la densité végétale dans un site urbain	85
Figure13	Différents Ratio H/L configurés sur l'étude d'Athènes	86
Figure14	Variation du PET en fonction du Ratio H/L	87
Figure15	Stations de mesure à différentes Ratio H/L dans la vieille ville de Beni-Isguen (Algérie)	88
Figure16	Exemple de deux SVF différents	89
Figure17	Effet de l'orientation sur la répartition de l'ombre	91
Figure18	Différentes orientation par rapport à la trajectoire solaire	92
Figure19	La meilleure orientation par ordre prioritaire	93
Figure20	Profil asymétrique favorable pour les rues EST-Ouest avec des murs au sud sont plus élevés	93
Figure21	Les surfaces colorées en clair ont des albédos plus hauts que celles colorées en foncé	94
Figure22	Différence entre surface horizontal (jaune) et surface vertical (violet)	96
Figure23	Une bande de végétation peut baisser 3,5 °C de T air augmenter 5 % de l'humidité relative, ainsi qu'une action d'absorption et de réémission du rayonnement solaire	97
Figure24	Modification de l'espace grâce à l'espacement entre les arbres	98
Figure25	Effet de la position SUD de l'arbre sur la création de l'ombre	98
Figure26	Effet de la position NORD de l'arbre sur la création de l'ombre	99
Figure27	Dimensions de neufs arbres communs	100
Figure28	Ports d'arbre en ville	101
Figure29	Effet de la géométrie de l'arbre sur la création de l'ombre en été	101
Figure30	Effet de la géométrie de l'arbre sur la création de l'ombre en hiver	102
Figure31	Effet de l'eau sur la température de l'air ambiant	106
Figure32	Matériau réfléchissant agit sur le bilan thermique de la ville	107
CHAPITRE IV : INVESTIGATION		
Figure1	Situation de la ville de Ghardaïa	111
Figure2	vue générale sur la vieille ville de Ghardaïa	113
Figure3	Plan de situation de la nouvelle cité de Tafilelt	114
Figure4	Vue satellitaire de la cite de Tafilelt	115
Figure5	vue générale sur la façade urbaine de Tafilelt	115
Figure6	L'organisation compacte du tissu urbain au niveau du ksar	116
Figure7	Comparaison entre l'ancien tissu urbain et le nouveau tissu urbain des ksours	117
Figure8	Vue prise sur deux rues piétonnes et mécanique d'orientations différentes - la cité de Tafilelt-	118
Figure9	Différents places et placettes dans la cité de Tafilelt	119
Figure10	Transformation d'une place à un passage mécanique sans végétation dans la cité de Tafilelt	120
Figure11	Diagramme solaire indiquant la trajectoire solaire de Ghardaïa	121

Figure12	Etude d'ensoleillement par le logiciel SKETCHUP (15 juin)	122
Figure13	Etude d'ensoleillement à 9 heure du matin (15 juin)	122
Figure14	Etude d'ensoleillement a midi (15 juin)	123
Figure15	Etude d'ensoleillement 16 heure après midi (15 juin)	123
Figure16	Le ksar de Tafilelt est soumis à toutes les directions du vent	124
Figure17	Manque de la végétation au sein la cité Tafilelt	125
Figure18	La pierre locale utilisée pour les murs	126
Figure19	Type de fenêtres et de protection solaire au sein de la cité Tafilelt	128
Figure20	vue générale sur les toitures terrasse de Tafilelt	129
Figure21	Vue sur les espaces extérieurs à Tafilelt	129
Figure22	La tour de gué et le puits mozabite au sein de la cite Tafilelt	130
Figure23	Appareil de mesure DELTA OHN -HD32.3- et sondes de mesures	133
Figure24	exemple d'impression des données de l'instrument HD32.3	134
Figure25	Appareil de mesure Multimètre	134
Figure26	Le Parcours choisis pour la compagne de mesure	135
Figure27	Les différentes stations de mesures	136
Figure28	Les différentes stations de mesures	136
Figure29	Coupe AA sur le site d'investigation	137
Figure30	Coupe BB sur le site d'investigation	137
Figure31	La différence dans le Ratio (H/L) des six stations de mesure	139
Figure32	La différence dans la valeur de l'ALBEDO des six stations de mesure	139
Figure33	La différence dans le SFV des six stations de mesure	139
Figure34	Configuration du logiciel DELFI 7 pour BUDJET	142
Figure35	programme de calcul de BUDJET	143
Figure36	Configuration du logiciel DELFI 7 pour Rabs	143
Figure37	programme de calcul de Rabs	144
Figure38	Variation de la température de l'air durant la période de mesure pour l'ensemble des stations en comparant avec la station météo (14 juin2013)	144
Figure39	Parcours Solaire et Durée d'exposition pour la Station 02 (SVF=74.8)	146
Figure40	Parcours Solaire et Durée d'exposition pour la Station 03(SVF=24.1)	147
Figure41	Parcours Solaire et Durée d'exposition pour la Station 04 (SVF=26.4)	147
Figure42	Parcours Solaire et Durée d'exposition pour la Station 05 (SVF=58.7)	148
Figure43	Parcours Solaire et Durée d'exposition pour la Station 06 (SVF=17.6)	148
Figure44	Variation de la température de l'air durant la période de mesure pour les 4 Canyons Urbains (14 juin2013)	149
Figure45	Différence de SVF entre la station 04 et la station 05.	150
Figure46	Corrélation entre SVF et T max pour les six stations de mesures	151
Figure47	Variation de la température de l'air durant la période de mesure pour les deux placettes.	151
Figure48	Variation de l'humidité relative durant la période de mesure pour l'ensemble des stations en comparant avec la station météo (14 juin2013)	153
Figure49	Variation de l'humidité relative durant la période de mesure pour les deux placettes en comparant avec la station météo (14 juin2013)	154
Figure50	Variation de l'humidité relative durant la période de mesure pour les 4 canyons urbains (14 juin2013)	155
CHAPITRE V : SIMULATION NUMERIQUE		
Figure1	Schéma de principe de Envi-met 3.0	166
Figure2	Exemple d'un site simulé en 3D	167
Figure3	Exemple des résultats effectués par LEONARDO	167
Figure4	Le parc urbain simulé par Envi-met	168
Figure5	Simulation d'un quartier à Rio de Janeiro	169
Figure6	Les étapes de simulation par le logiciel Envi-met	169
Figure7	Les trois configurations simulées par Envi-met	170

Figure8	Présentation en 3D des six stations	171
Figure9	Présentation en 3D du site par Envi-met	172
Figure10	Trajectoire suivie selon les six stations	172
Figure11	Coupe transversale sur le site par Envi-met	173
Figure12	Coupe longitudinale sur le site par Envi-met	173
Figure13	Variation de la température de l'air à 08h00	174
Figure14	Variation de la température de l'air à 12h00	175
Figure15	Variation de la température de l'air à 16h00	175
Figure16	Coupe longitudinale sur la variation de Tair par Envi-met	176
Figure17	Coupe longitudinale sur la variation de Tair par Envi-met	176
Figure18	Variation de la température de l'air	176
Figure19	Comparaison entre SVF de S2 et SVF de S4	177
Figure20	Variation de la Température Moyenne Radiante MRT à 08h00	178
Figure21	Variation de la Température Moyenne Radiante MRT à 12h00	179
Figure22	Variation de la Température Moyenne Radiante MRT à 16h00	179
Figure23	Variation de MRT durant la simulation	180
Figure24	Variation de MRT entre les canyons urbains	181
Figure25	Corrélation entre SVF et MRT max pour les six stations de mesures	182
Figure26	Variation de MRT entre les deux placettes	184
Figure27	Variation du Vote Moyen Prévisible PMV à 08h00	185
Figure28	Variation du Vote Moyen Prévisible PMV à 12h0	185
Figure29	Variation du Vote Moyen Prévisible PMV à 16h00	186
Figure30	Variation du Vote Moyen Prévisible PMV	186
Figure31	Variation de PMV entre les canyons urbains	187
Figure32	Variation de PMV entre les deux placettes	188
Figure33	alternatives proposées pour augmenter le Ratio et diminuer le SVF	193
Figure34	Diagramme polaire et durée d'ensoleillement pour la station 2	194
Figure35	Diagramme polaire et durée d'ensoleillement pour la station 5	194
Figure36	Effet de l'amélioration de la géométrie sur le PMV dans la station 2	195
Figure37	Effet de l'amélioration de la géométrie sur le PMV dans la station 5	195
Figure38	Remplacement des surfaces en asphalte par des revêtements perméables	197
Figure39	changement de l'albédo au niveau du fichier de configuration Envi-met	200
Figure40	modélisation en 3D réalisée par Envi-met du premier scenario	201
Figure41	modélisation en 3D réalisée par Envi-met du deuxième scenario	201
Figure42	Effet de l'amélioration de la géométrie, végétation, Albédo sur l'écart de PMV à 08 h du matin.	202
Figure43	Effet de l'amélioration de la géométrie, la végétation, l'Albédo sur l'écart de PMV à midi	202
Figure44	Effet de l'amélioration de la géométrie, la végétation, l'Albédo sur l'écart de PMV à 16 heure	202
Figure45	Changement des paramètres et simulation du 2eme scenario	203
Figure46	Variation de la température de l'air entre les deux scenarios à 11h00	204
Figure47	COUPE sur la Variation de T air dans le cas réelle à 11h00	204
Figure48	COUPE sur la Variation de T air après amélioration à 11h00	204
Figure49	Corrélation entre SVF et PMV max après amélioration	206

LISTES DES TABLEAUX

NUMERO	TITRE	PAGE
CHAPITRE I : CLIMAT ET CONFORT THERMIQUE		
Tableau1	Indices du confort thermiques empiriques (Fanger, 1970, Givoni, 1987, et ASHRAE, 2001)	33
Tableau2	Indices du confort rationnels (Fanger, 1970, Givoni, 1987, et ASHRAE, 2001)	35
Tableau3	valeurs du PMV selon sept échelles de confort,	35
Tableau4	valeurs du PMV selon neuf échelles de confort	36
Tableau5	Valeurs de BUDJET	37
Tableau6	Nouveau tableau d'évaluation de BUDJET énergétique	37
Tableau7	Valeurs de PET	40
Tableau8	Correspondance entre SET sensation et état physiologique	41
Tableau9	Valeurs de ASV	42
CHAPITRE II : MICROCLIMAT URBAIN ET ESPACE PUBLICS EXTERIEURS		
Tableau1	Intensités des ilots de chaleur dans certaines villes indiennes	57
Tableau2	Bilan énergétique en (MJ/m2/jour) d'une banlieue et région rurale à Vancouver	70
CHAPITRE III : IMPACT DE LA MORPHOLOGIE URBAINE SUR LE MICROCLIMAT		
Tableau1	Relations urbanisme-végétation	102
Tableau2	effet des arbres urbains selon l'échelle de mise en œuvre	103
CHAPITRE IV : INVESTIGATION		
Tableau1	Différentes valeurs de l'albédo	129
Tableau2	Photos et détails géométriques des 06 stations de mesure	139
Tableau3	caractéristiques physiques des six stations de mesure	140
Tableau4	Echelle d'évaluation des deux indices PMV et BUDJET	156
Tableau5	Classification des valeurs du PMV selon neuf échelles de confort pour l'utiliser dans la méthode d'habitabilité	156
Tableau6	Le nombre d'heure de confort pour BUDJET énergétique	157
Tableau7	Le nombre d'heure de confort pour l'indice PMV	157
CHAPITRE V : SIMULATION NUMERIQUE		
Tableau1	les principaux paramètres introduits au fichier *.cf	173
Tableau2	Le nombre d'heure de confort pour BUDJET énergétique.	190
Tableau3	Le nombre d'heure de confort pour l'indice PMV	190
Tableau4	Alternatives liées à la végétation et amélioration de l'espace extérieur	199
Tableau5	Le nombre d'heure de confort pour BUDJET dans le 2eme scenario	205
Tableau6	Le nombre d'heure de confort pour PMV dans le 2eme scenario	205
Tableau7	Comparaison entre les résultats du 1er scenario et le 2eme scenario	207

ANNEXE A

CALCULE DE LA METHODE COMFA (COMfort Formula)

$$\text{Budget} = M + \text{Rabs} - \text{Conv} - \text{Evap} - \text{Tremitted}$$

AVEC : M = Energie métabolique utilisée pour chauffer la personne
 Rabs = Rayonnement solaire et terrestre absorbé par une personne.
 Conv = Chaleur sensible perdu ou gagné par convection
 Evap = Perte de chaleur par évaporation
 TRemitted = Rayonnement terrestre émise

Cette méthode varie sur une échelle de 5 degrés allant de - 150 à + 150.

BUDJET w/m ²	Description
BUDJET ≤ -150	Froid
-150 ≤ BUDJET ≤ -50	Frais
-50 ≤ BUDJET ≤ +50	Neutre
+50 ≤ BUDJET ≤ +150	Légèrement chaud
+150 ≤ BUDJET	chaud

Robert D.Brown (2009), dans ses travaux effectués lors de l'actualisation de cette méthode, a adopté sept échelles de confort propres aux espaces extérieurs compris entre -200 et +200, ce qui fera la base de l'évaluation du confort thermique dans notre cas d'étude.

BUDJET w/m ²	Description
BUDJET ≤ -201	Froid
-200 ≤ BUDJET ≤ -120	Frais
-120 ≤ BUDJET ≤ -50	Légèrement frais
-50 ≤ BUDJET ≤ +50	Confortable
+50 ≤ BUDJET ≤ +120	Légèrement chaud
+120 ≤ BUDJET ≤ +200	chaud
+201 ≤ BUDJET	Très chaud

Lorsque le budget est proche de zéro, une personne peut s'attendre à être thermiquement confortable. Si le budget est d'une grande valeur positive, la personne recevrait plus d'énergie et la personne serait trop chaude. Inversement, si le budget est d'une grande valeur négative, la personne serait trop froide.

Chaleur métabolique production-M :

$$M = (1 - f) \times M^*$$

Avec :

$$f = 0.150 - 0.0173e - 0.0014(T_a)$$

Où e est la pression de vapeur saturante à la température de l'air et Ta est la température de l'air (° C)

et Selon la nouvelle mise a jour de cette methode créer par Robert D.Brown en 2010, Les valeurs de M^* sont fonction du niveau d'activité :

TABLE A.1
Metabolic Rates (M^*) for Selected Activities

	M^* (W/m^2)
Sleeping	50
Awake, resting	60
Standing, sitting	90
Working at a desk or driving	95
Standing, light work	120
Walking slow (4 km/hr)	180
moderate (5.5 km/hr)	250
Short spurts of intense activity	600

Rayonnements solaire et terrestre Absorbée R_{abs} :

$$R_{abs} = [5.67 \times 10^{-8} \times (T_e + 273)^4] + [(1200) \times (T_e - T_a)/r_m]$$

where

$$r_m = D/(A \times Re^n \times Pr^{-.33} \times k)$$

$$Re = \text{Reynolds number} = V \times D/\nu = 833 \times W \text{ in this case}$$

$$Pr = \text{Prandtl number} = 0.71$$

Avec : D = diamètre du cylindre
 w = vitesse de l'air d'écoulement libre (m / s)
 v = viscosité cinématique
 k = la diffusivité thermique de l'air = 0,0301 et A et n sont des constantes empiriques.

Dans notre cas, on va utiliser une méthode donnée par Robert D.brown qui calcul le R_{abs} par un programme BASIC Numerique.

Gain de chaleur par convection Ou Loss-CONV :

$$CONV = 1200 \times (T_c - T_a)/(r_t + r_c + r_a)$$

Où T_c est la température principale ($^{\circ}C$) d'une personne, r_t est la résistance à l'écoulement de chaleur des tissus corporels, r_c est la résistance de l'habillement, et r_a est la résistance de la couche limite autour du corps. Ceux-ci peuvent être estimés à travers:

$$T_c = 36.5 + (0.0043) \times M$$

and

$$r_t = -0.1 \times (M^*) + 65$$

$$r_a = 0.17 \times (A \times Re^n \times Pr^{0.33} \times k)$$

$$r_c = r_{co} \times [1 - (0.05P^{0.4} \times W^{0.5})] \quad \text{when } W > 0.7 \text{ m/s}$$

$$= r_{co} \quad \text{when } W < 0.7 \text{ m/s}$$

- Avec :
- RCO = valeur d'isolation de vêtements en unités de s / m
 - P = perméabilité à l'air du tissu de vêtement.
 - Re = nombre de Reynolds = $WD / \nu = 11,333 \times W$ dans ce cas
 - Pr = nombre de Prandtl = 0,71
 - D = diamètre de la personne
 - W = vitesse du vent en milieu ouvert (m / s)
 - V = viscosité cinématique
 - k = la diffusivité thermique de l'air = 0,0301

Pour les valeurs de RCO pour les ensembles typiques de vêtements se reporter au tableau:

TABLE A.2
Insulation and Permeability Values of Some Typical Clothing Ensembles, for Application in COMFA Calculations

	r_{co}	P
A: T-Shirt, short pants, socks, running shoes	50	175
B: T-Shirt, long pants, socks, shoes or boots	75	150
C: T-Shirt, long pants, socks, shoes, windbreaker	100	100
D: Shirt, long pants, socks, shoes, windbreaker	125	65
E: Shirt, long pants, socks, shoes, sweater	175	125
F: Shirt, long pants, socks, shoes, sweater, windbreaker	250	50

r_{co} = insulation value (s/m) and P = permeability of clothing ensemble

Le tableau nous montre les valeurs de perméabilité pour les ensembles typiques de vêtements, une mise à jour a été faite en 2009 par Robert D. Brown et qui donne les valeurs d'isolation statiques typiques pour les vêtements portés par les sujets au cours des essais sur le terrain, elle est démontrée par le tableau 06 ci-dessous¹:

¹ Brown R D & Terry G, Part A: Assessing the performance of the COMFA outdoor thermal comfort model on subjects performing physical activity, Int J Biometeorol (2009) 53 : PP 415–428.

Clothing ensemble/garment	r_c^a
Track suit, socks, shoes	140
T-Shirt, long sleeve shirt, loose trousers, socks, shoes	166
Sweatshirt, sweatpants, socks, shoes	144
Long sleeve shirt, fitted trousers, socks, shoes	116
T-shirt, long pants, socks, shoes	93
Long sleeve shirt, walking shorts, socks, shoes	99
T-shirt, light athletic shorts, socks, shoes	62
T-shirt, regular walking shorts, socks, shoes	77
Tank top, shorts, socks, athletic shoes	56
Shirt, sweater, trousers, socks, shoes	181
T-shirt, long pants, socks shoes, jacket	187
Long-sleeve shirt, trousers or jeans, socks, shoes	131
Long sleeve shirt, long pants, socks, shoes, jacket	205
Short sleeve shirt, fitted trousers (including capris), socks, shoes	93

Emission TR rayonnement terrestre émis :

$$TR_{\text{emitted}} = 5.67 \times 10^{-8} \times (T_s + 273)^4$$

$$(T_s - T_a)/r_a = (T_c - T_a)/(r_t + r_c + r_a)$$

Où T_s est la température de surface d'une personne et peut être trouvé à partir d'équation

La perte de chaleur par évaporation-EVAP :

Les pertes de chaleur par évaporation se produisent par la respiration et la transpiration. Les pertes de respiration ont été traitées par M . la transpiration peut être divisé en pertes "insensibles" (E_i) à travers la peau et pertes "sensible" (E_s) par la transpiration. Les équations suivantes peuvent être utilisées:

and

$$E_s = 0.42 \times (M - 58)$$

$$E_i = 5.24 \times 10^6 \times (q_s - q_a)/(r_{cv} + r_{av} + r_{tv})$$

AVEC :

$$q = 0.6108 \times \left\{ \exp\left[\frac{17.269 \times T}{T + 237.3}\right] \right\}$$

Le bilan énergétique est défini selon les conditions de température, le rayonnement, le vent et l'humidité sur une journée typique ainsi que les éléments qui caractérisent l'espace étudié (végétation, bâtiments, etc.)

Il s'agit d'une situation dans laquelle l'humidité dans l'air peut être si élevé que l'évaporation ne peut pas se produire assez rapidement pour consommer la transpiration disponible à la surface de la peau à un rythme qui assure le confort d'une personne. Une évaporation maximale possible (E_m) est calculée comme suit:

$$E_m = 5.24 \times 10^6 \times (q_s - q_a)/(r_{cv} + r_{av})$$

pour le calcul on utilise le plus faible de E ou E_m .

Programme basic de CoMFA :

Pour faciliter les calculs, Robert D. Brown à donner une méthode plus simple, il s'agit d'un programme basic de **BUDJET** et de **Rabs**² :

PROGRAMME BASIC DE Rabs :

```

10 INPUT "Air Temperature (C) ="; T: TK=T+273.15
20 INPUT "Measured Solar Radiation in the Open
   (W/m2) ="; SWO
30 INPUT "Solar Elevation ="; EL
40 INPUT "Diffuse as % of Measured Solar
   Radiation ="; DIFFP
50 REM A safe estimate is 10% for very clear skies
60 INPUT "Transmissivity of object(s) between
   person and sun (%) ="; SR

70 REM For no obstruction use SR = 100; for a
   building use SR = 0
80 SR=SR/100
90 INPUT "Albedo of object(s) in the sky hemisphere
   (%)"; ALBO
100 ALBO=ALBO/100
110 INPUT "Albedo of ground (%)"; ALBGRND
120 ALBGRND=ALBGRND/100
130 INPUT "Albedo of test person (%)"; ALBP
140 REM We typically use 37% for a clothed person
150 INPUT "Sky View Factor (%)"; SVF
160 SVF=SVF/100
170 DIFFS=DIFFP*SWO/100:DIFFD=DIFFP/100
180 RAD=0.17453293
190 ELRAD=EL*RAD
200 LONGS=(1.2*(5.67E-08*(TK^4)))-171
210 SWPLT=((1-DIFFD)*SWO)/(TAN(ELRAD))
220 SWCYL+SWPLT/3.141592654
230 TOTAL=.98*(5.67E-08*(TK^4))*(1-SVF)
240 REFL=SWO*SR*ALBGRND
250 LGRD=.98*(5.67E-08*(TK^4))
260 LABS=((TOTAL+(SVF*LONGS))*0.5)+(LGRD*0.5)*.98
270 KABS=((SWCYL*SR)+(SVF*DIFFS)+DIFFS*(1-SVF)*ALBO
   +(REFL))*(1-ALBP)
280 RABS=(KABS+LABS)
290 PRINT "Solar radiation absorbed by a person
   (W/m2) ="; KABS
300 PRINT "Terrestrial radiation absorbed by a
   person (W/m2) ="; LABS
310 PRINT "Radiation absorbed by a person (R(abs))
   (W/m2)="; RABS
320 END

```

² « Robert D Brown, Terry Gillespie, Microclimatic landscape design, Jhon WILEY & SONS, 1995, Appendix A»


```

10 INPUT "Air Temperature (C) ="; T: TK=T+273.15
20 INPUT "Measured Solar Radiation in the Open
(W/m2) ="; SWO
30 INPUT "Solar Elevation ="; EL
40 INPUT "Diffuse as % of Measured Solar
Radiation ="; DIFFP
50 REM A safe estimate is 10% for very clear skies
60 INPUT "Transmissivity of object(s) between
person and sun (%) ="; SR

```

```

70 REM For no obstruction use SR = 100; for a
building use SR = 0
80 SR=SR/100
90 INPUT "Albedo of object(s) in the sky hemisphere
(%)"; ALBO
100 ALBO=ALBO/100
110 INPUT "Albedo of ground (%)"; ALBGRND
120 ALBGRND=ALBGRND/100
130 INPUT "Albedo of test person (%)"; ALBP
140 REM We typically use 37% for a clothed person
150 INPUT "Sky View Factor (%)"; SVF
160 SVF=SVF/100
170 DIFFS=DIFFP*SWO/100:DIFFD=DIFFP/100
180 RAD=0.17453293
190 ELRAD=EL*RAD
200 LONGS=(1.2*(5.67E-08*(TK^4)))-171
210 SWPLT=((1-DIFFD)*SWO)/(TAN(ELRAD))
220 SWCYL+SWPLT/3.141592654
230 TOTAL=.98*(5.67E-08*(TK^4))*(1-SVF)
240 REFL=SWO*SR*ALBGRND
250 LGRD=.98*(5.67E-08*(TK^4))
260 LABS=((TOTAL+(SVF*LONGS))*0.5)+(LGRD*0.5)*.98
270 KABS=((SWCYL*SR)+(SVF*DIFFS)+DIFFS*(1-SVF)*ALBO)
+(REFL)*(1-ALBP)
280 RABS=(KABS+LABS)
290 PRINT "Solar radiation absorbed by a person
(W/m2) ="; KABS
300 PRINT "Terrestrial radiation absorbed by a
person (W/m2) ="; LABS
310 PRINT "Radiation absorbed by a person (R(abs))
(W/m2)="; RABS
320 END

```

PROGRAMME BASIC DE COMFA METHOD :

```

10 INPUT "Metabolism (W/m2) ="; M
20 INPUT "Air Temperature (C) ="; T
30 INPUT "Wind speed (m/s) ="; W
40 INPUT "Insulation value of clothing (s/m) ="; C
50 INPUT "Permeability of clothing ="; P
60 INPUT "Relative Humidity (%) ="; RH
70 INPUT "R(abs) in (W/m2) ="; R
80 H = H/100
90 B = (-.1*M)+65
100 E=0.6108*(EXP((17.269*T)/(T+237.3)))
110 F=(0.15-(0.0173*E)-(0.0014*T))
120 J=36.4+((0.0043)*M)
130 G=J-(((1-F)*B*M)/1200)
140 X=11333*W
150 IF X<4000 GOTO 180
160 IF X<40000 GOTO 190
170 Y=0.0266: Z=0.805:GOTO 200
180 Y=0.683: Z=0.466: GOTO 200
190 Y=0.193:Z=0.618
200 N=204/(.0214*Y*(X^Z))
210 K=C*(1-(0.05*(W^.5))*(P^.4))
220 Q=1200*((G-T)/(N+K))
230 X=T+(N*((G-T)/(N+K)))
240 O=0.8*((.95*5.67E-08)*((X+273)^4))
250 X=0.6108*(EXP((17.269*G)/(G+237.3)))
260 Y=5240000*(X-E)/((7700+K+(.92*N))*(G+237.3))
270 U=Y*((7700+K+(.92*N))/(K+(.92*N)))
280 V=0.42*(M-58)
290 IF V>0 GOTO 310
300 V=0
310 Y=Y+V
320 IF Y<U GOTO 340
330 Y=U
340 S=(R+((1-F)*M))-(Y+Q+O)
350 PRINT "BUDGET = ";S
360 END

```

Avec les **INPUT** du programme sont comme suit:

M : Métabolisme (**voir tableau 04**) pour le cas d'étude M= 90 w/m²

T: AIR TEMPERATURE.

W: Wind speed.

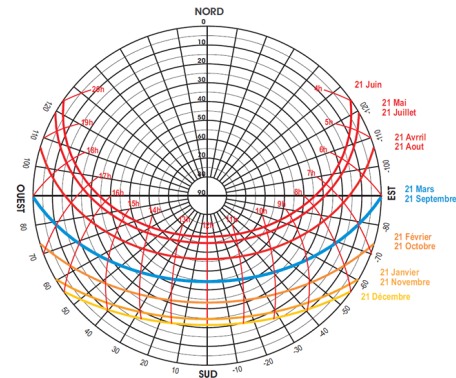
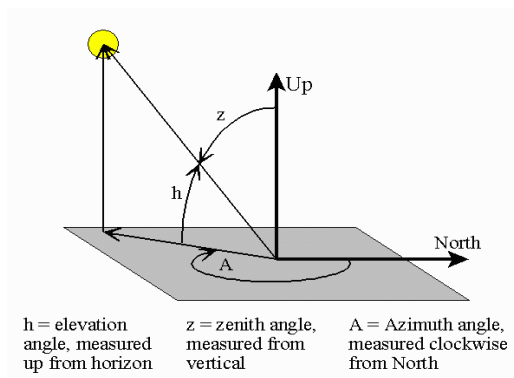
C: Insulation value of clothing (**voir tableau 06**) : pour le cas d'étude C= 93

P : Permeability of clothing (**voir tableau 05**) : pour le cas d'étude P= 150

RH: Relative humidity.

SWO : Measured solar radiation in the open space : on peut le sortir depuis le logiciel ENVI-MET.

EL : SOLAR ELEVATION : C'est l'angle h en degré Celsius.



On peut obtenir l'élévation solaire selon le mois et l'heure de la journée sur le Tableau 07 ci-dessous:

Date:	15/06/2013	
coordonner:	32.489059, 3.678539	
emplacement:	Rue Ahmed Talbi, Ghardaia, Algerie	
heure	Elévation	Azimut
6:00:00	3.36°	64.32°
7:00:00	15.08°	71.63°
8:00:00	27.3°	78.45°
9:00:00	39.81°	85.35°
10:00:00	52.45°	93.28°
11:00:00	64.95°	104.61°
12:00:00	76.35°	129.07°
13:00:00	80.37°	199.5°
14:00:00	71.33°	245.42°
15:00:00	59.19°	261.38°
16:00:00	46.58°	270.64°
17:00:00	33.97°	277.93°
18:00:00	21.58°	284.71°
19:00:00	9.56°	291.69°

Elévation solaire de la ville de Ghardaïa pour le 15/06/2013

SR : Transmissivité of object between person and sun:

C'est la Transmissivité d'objet entre la personne et soleil, elle est égale à 100 dans un cas sans obstruction, et elle est égale a 0 pour un bâtiment ou obstruction total

Le tableau suivant nous donne toute les Transmissivité selon les types d'arbres :

Botanical Name	Common Name	Transmissivity Range % (reported in the literature)		Foliation ^a	Defoliation ^b	Maximum expected height (m)
		Summer	Winter			
<i>Acer platanoides</i>	Norway Maple	5-14	60-75	E	M	15-25
<i>Acer rubrum</i>	Red Maple	8-22	63-82	M	E	20-35
<i>Acer saccharinum</i>	Silver Maple	10-28	60-87	M	M	20-35
<i>Acer saccharum</i>	Sugar Maple	16-27	60-80	M	E	20-35
<i>Aesculus hippocastanum</i>	Horse Chestnut	8-27	73	M	L	22-30
<i>Amelanchier canadensis</i>	Serviceberry	20-25	57	L	M	
<i>Betula pendula</i>	European Birch	14-24	48-88	M	M-L	15-30
<i>Carya ovata</i>	Shagbark Hickory	15-28	66			24-30
<i>Catalpa speciosa</i>	Western Catalpa	24-30	52-83	L		18-30
<i>Fagus sylvatica</i>	European Beech	7-15	83	L	L	18-30
<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	Green Ash	10-29	70-71	M-L	M	18-25
<i>Gleditsia tricanthos inermis</i>	Honey Locust	25-50	50-85	M	E	20-30
<i>Juglans nigra</i>	Black Walnut	9	55-72	L	E-M	23-45
<i>Liriodendron tulipifera</i>	Tulip Tree	10	69-78	M-L	M	27-45
<i>Picea pungens</i>	Colorado Spruce	13-28	13-28			27-41
<i>Pinus strobus</i>	White Pine	25-30	25-30			24-45
<i>Platanus acerifolia</i>	London Plane Tree	11-17	46-64	L	M-L	30-35
<i>Populus deltoides</i>	Cottonwood	10-20	68	E	M	23-30
<i>Populus tremuloides</i>	Trembling Aspen	20-33		E	M	12-15
<i>Quercus alba</i>	White Oak	13-38				24-30
<i>Quercus rubra</i>	Red Oak	12-23	70-81		M	23-30
<i>Tilia cordata</i>	Littleleaf Linden	7-22	46-70	L	E	18-21
<i>Ulmus americana</i>	American Elm	13	63-89	M	M	18-24

^aFoliation: E = Early = Before April 30
M = Middle = May 1-15
L = Late = After May 15

^bDefoliation: E = Early = Before November 1
M = Middle = November 1-30
L = Late = After November 30

La transmissivité SR selon les types d'arbres

ALBO : Albedo of object in the sky hemisphere:

c'est L'albédo de l'objet dans l'hémisphère du ciel, on peut l'obtenir depuis le tableau 09 ci-dessous :

	Albedo (%)	Emissivity (%)	Thermal Admittance ($J/m^2 \cdot 1/2 K$)
Soils	5-75	90-98	
Moist dark cultivated	5-15		
Moist gray	10-20		
Dry sandy	25-35	84-91	
Wet Sandy	20-30		
Dry sand dune	30-75		
Dry soil			600
Wet soil			2500
Vegetation	5-30	90-99	
Grass	20-30	90-95	
Green fields	3-15		
Wheat	15-25		
Meadows	10-30		
Chaparral	15-20		
Brown grassland	25-30		
Woods	5-20		
Deciduous forest	10-20		
Coniferous forest	5-16	97-98	
Swamp forest	12	97-99	
Water	5-95	92-97	1500
Water (high sun angle)	5	92-97	
Water (low sun angle)	95	92-97	
Snow (fresh)	70-95	99	130
Snow (old)	40-70	82	600
Urban Surfaces	5-15	95	
Asphalt	10-50	71-90	
Concrete	20-50	90-92	
Brick	20-35	85-95	
Stone	8-18	92	950
Tar and gravel roof	10-35	90	
Tile roof	10-16	13-28	
Slate roof	10-16	85-95	
Thatch roof	50-90	85-95	
Corrugated iron	20-35	85-95	
White paint	2-15	90-98	
Red, brown, green paint			
Black paint			
Air			5
Still			400
Turbulent			

Albédo de l'objet dans l'hémisphère du ciel

ALBGRND : Albedo of ground : C'est l'albédo du sol du cas d'étude.

ALBP : Albedo of test person :

Les valeurs typiques pour l'albédo de l'homme sont de 0,35 pour les Eurasiens à 0,18 pour négroïdes. La quantité de rayonnement absorbée par une personne dépend plus, cependant, sur l'albédo des vêtements de la peau. Dans notre modélisation, nous utilisons 0,70 pour l'albédo d'une personne vêtue, selon les traditions des vêtements des mozabites.

ANNEXE B

ENVI-met 3

Les entrées (inputs) :

Les données d'entrée pour le modèle de simulation contenaient les propriétés physiques des zones urbaines étudiées (bâtiments, le sol et la végétation) et des données géographiques et météorologiques limitées qui servent à déterminer le model et l'ambiance climatique ainsi que toute donnée nécessaire a la simulation tel que les dates et les durée de simulation, les caractéristiques physiques des sols, des murs, des arbres ...ect, pour cela, on distingue deux type de fichiers d'entrées :

Fichier Editeur (*.in) : ce type de fichier est réalisé par le programme qui permet de créer tout le model de simulation dans le logiciel. Il se présente sous forme d'une surface de dessin qu'on peut délimiter en fonction du model qu'on veut simuler, il donne la main de créer les constructions, les type de vegetation, les type de sol, ainsi que les point recepteur de simulation (jusqu'a 100 récepteurs et de Z=0 jusqu'à Z max)....etc.



Exemple du programme qui permet de créer le fichier éditeur (*.in)

Fichiers de configurations C.F (*.cf) : Ce sont des fichiers textes qui décrivent les caractéristiques principales de la simulation tel que :

- Nom de la simulation.
- Noms des fichiers entrées/sorties.
- La date et la durée de la simulation, l'intervalle de temps.
- Les paramètres climatiques : Température atmosphérique initiale, humidité spécifique, humidité relative... etc.
- Adresse du fichier des données PLANTS.DAT

- Données propres à l'espace urbain simulé qui sont des données à l'échelle régionale tel que la position (longitude, latitude), l'intervalle du temps pour la mise à jour des paramètres microclimatiques, la turbulence, les caractéristiques physiques du sol.

```

%MAIN-DATA -----
Name for Simulation (Text):                =SIMULATION1
Input file Model Area                     =E:\SIMULATION1\SIMULATION1.in
Filebase name for Output (Text):          =SIMULATION1
Output Directory:                         =E:\SIMULATION1
Start Simulation at Day (DD.MM.YYYY):      =30.06.2012
Start Simulation at Time (HH:MM:SS):      =06:00:00
Total Simulation Time in Hours:           =24:00
Save Model State each ? min              =60
Wind Speed in 10 m ab. Ground [m/s]      =2.2
Wind Direction (0:N..90:E..180:S..270:W..)=90
Roughness Length z0 at Reference Point    =0.1
Initial Temperature Atmosphere [K]        =298
Specific Humidity in 2500 m [g Water/kg air]=5
Relative Humidity in 2m [%]               =20
Database Plants                           =Plants.dat
[POSITION] ----- Where the area is located on earth
Longitude (+:east -:west) in dec. deg:    =3.48
Latitude (+:northern -:southern) in dec.deg=32.24
Longitude Time Zone Definition:           =1
[TIMING] ----- Update & Save Intervals
Update Surface Data each ? sec            =60.0
Update Wind and Turbulence each ? sec     =1800
Update Radiation and Shadows each ? sec   =900
Update Plant Data each ? sec              =600
[TURBULENCE] ----- Options Turbulence Modells
Turbulence Closure ABL (0:diagn.,1:prognos.)=1
Turbulence Closure 3D Modell (0,1 see above)=1
Upper Boundary for e-epsilon (0:clsd.,1:op.)=0
[BUILDING] ----- Building properties
Inside Temperature [K]                   = 293
Heat Transmission Walls [W/m²K]           =2
Heat Transmission Roofs [W/m²K]           =0.9
Albedo Walls                              =0.2
Albedo Roofs                              =0.7
[NESTING] ----- Nesting Settings
Number of Nesting Grids                   =5
Soil profile "A" for mesoscale Nesting:    =" s"
Soil profile "B" for mesoscale Nesting:    =" s"
Include Nesting Grids in Output (0:n,1:y) =1
[SOIL] ----- Settings for Soil
Initial Temperature Soil & Surface [K]    =293
Relative Humidity Upper Layer (1.5-15 cm) =20
Relative Humidity Middle Layer (25-45 cm) =30
Relative Humidity Deep Layer (below 75 cm) =40
[SOILDATA] ----- Settings for Soil
Initial Temperature Upper Layer (0-20 cm) [K]=293
Initial Temperature Middle Layer (20-50 cm) [K]=293
Initial Temperature Deep Layer (below 50 cm) [K]=293

```

Exemple du Fichier de configuration du programme

Les sorties (outputs) :

Ce sont l'ensemble des données ou des résultats fournis par le logiciel. Dans le cas d'Envi-met, ce sont les résultats de simulation de plusieurs paramètres enregistrés dans plusieurs répertoires tel que :

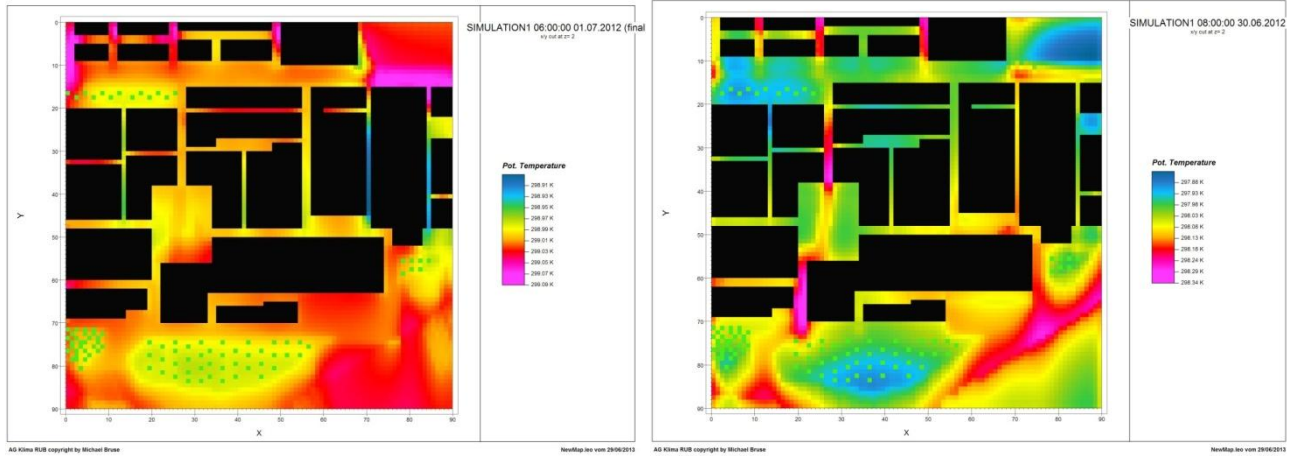
Fichier de sortie en 3D : qui peut être visualisé grâce à un autre logiciel **LEONARDO**.

Fichier des récepteurs : qui peuvent être visualisés avec un simple programme tel qu'Excel, Bloc-notes ou Word pad.

Fichier model: ces fichiers sont généralement utilisés pour la vérification et la résolution

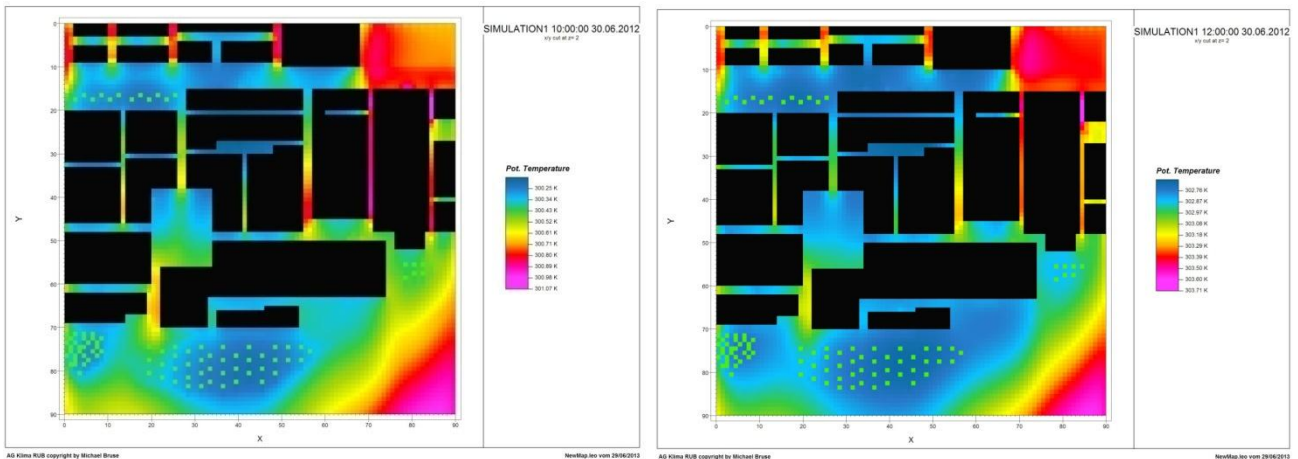
des problèmes qui peuvent figurer pendant la simulation (Bruse 2004)

La température de l'air (Tair) :



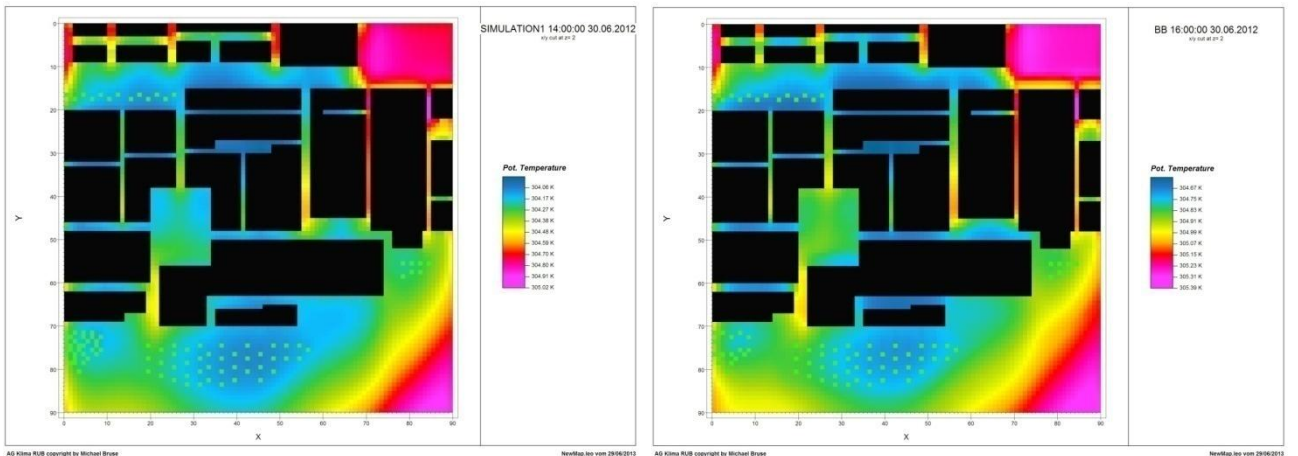
06h00

08h00



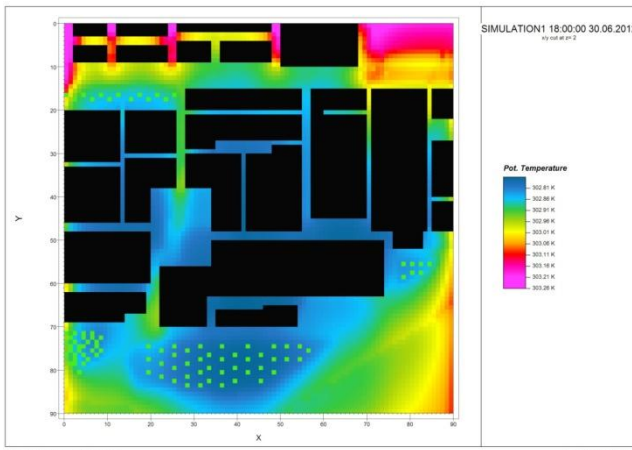
10h00

12h00

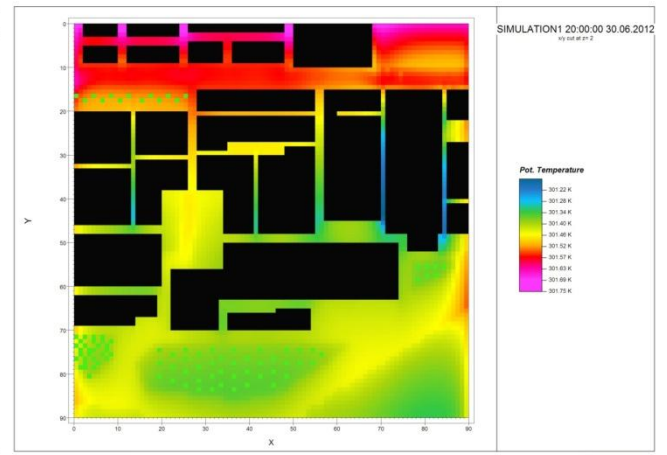


14h00

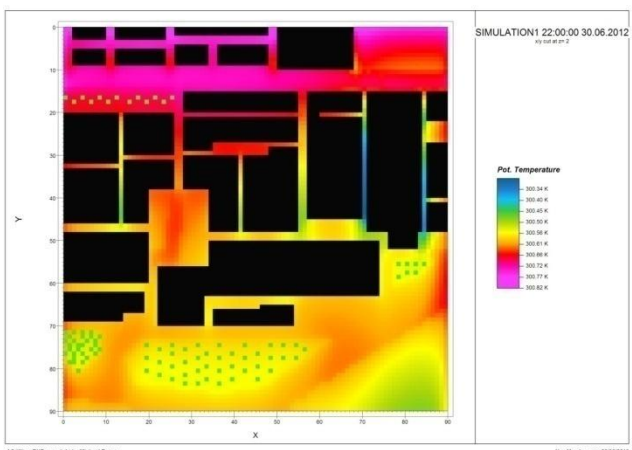
16h00



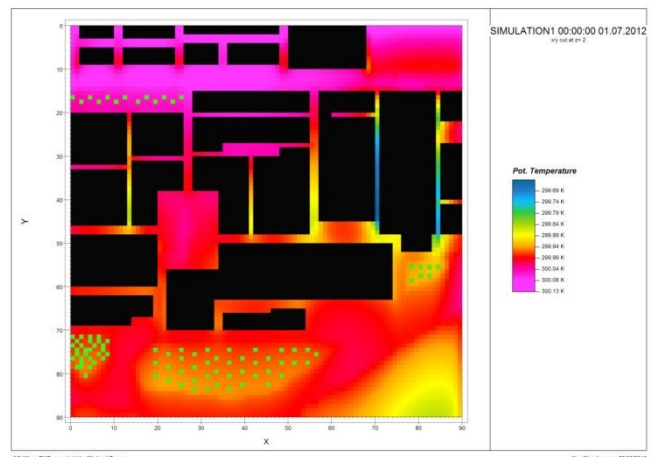
18h00



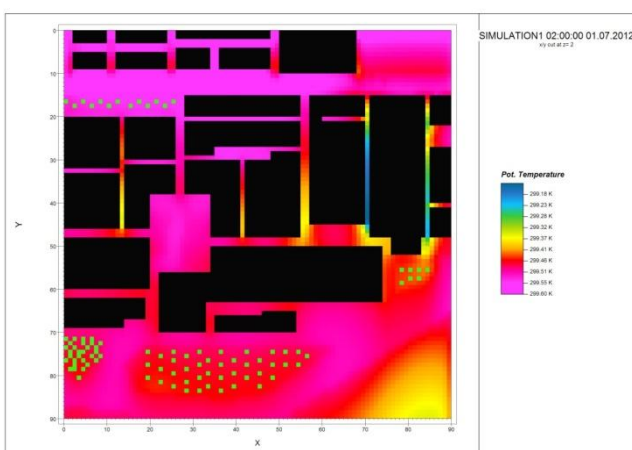
20h00



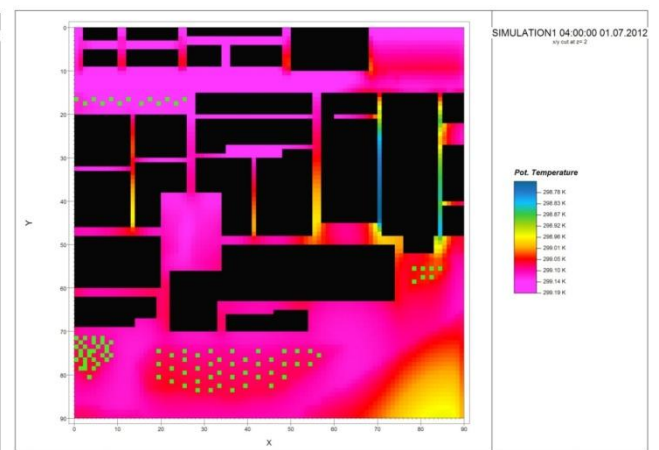
22h00



minuit

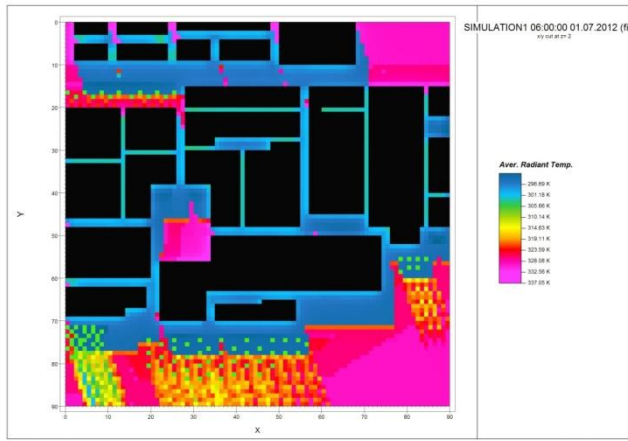


02h00

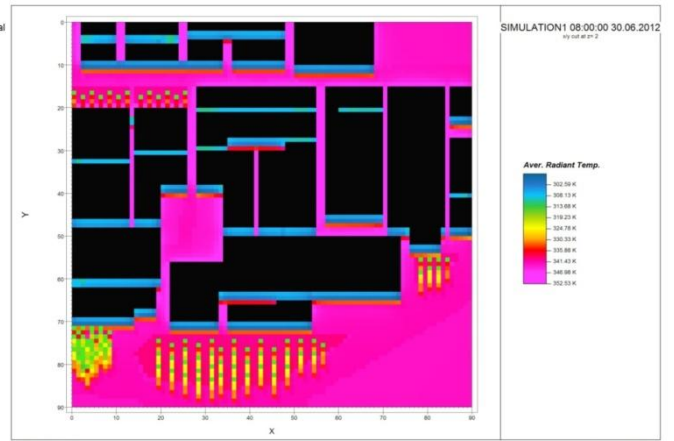


04h00

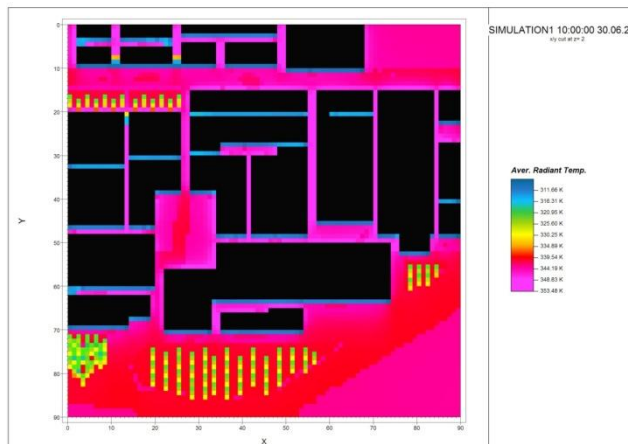
La température moyenne radiante MRT :



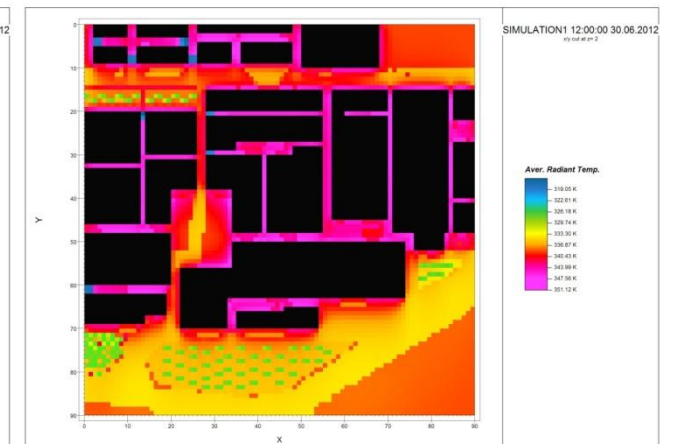
06h00



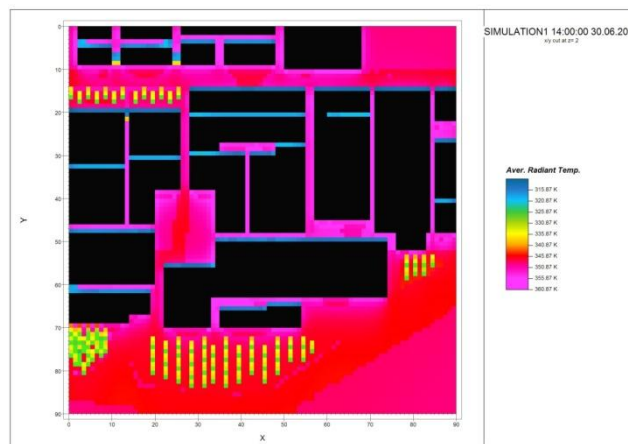
08h00



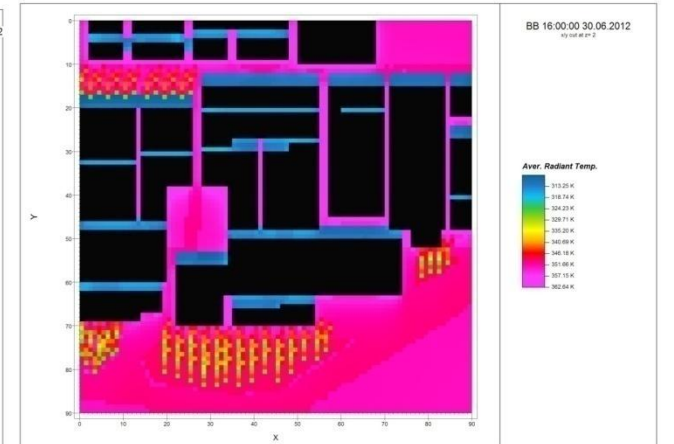
10h00



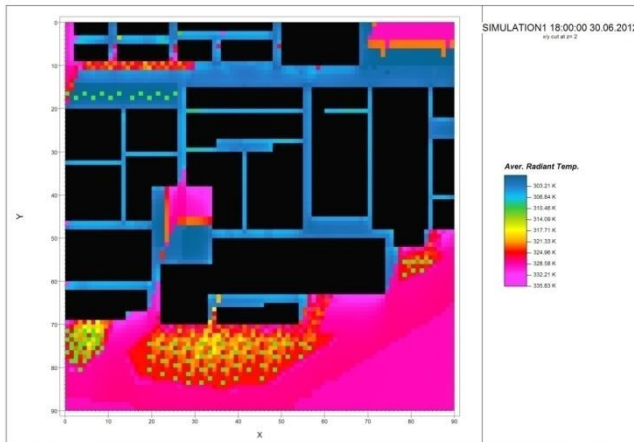
12h00



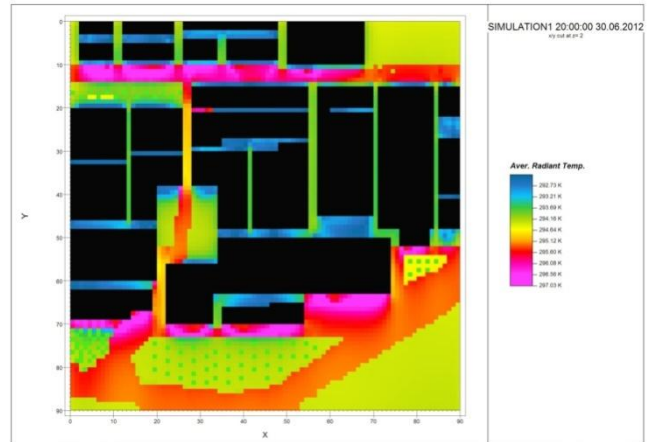
14h00



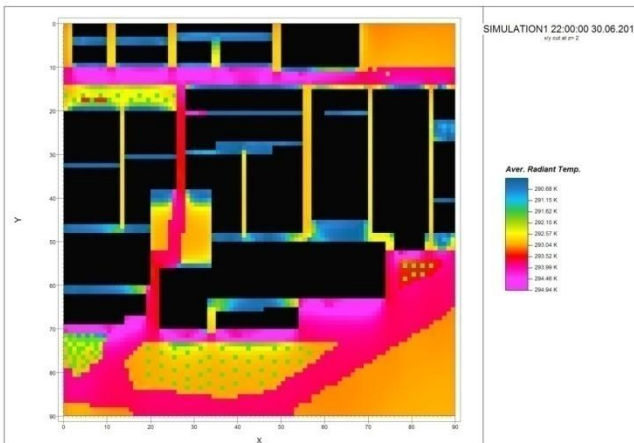
16h00



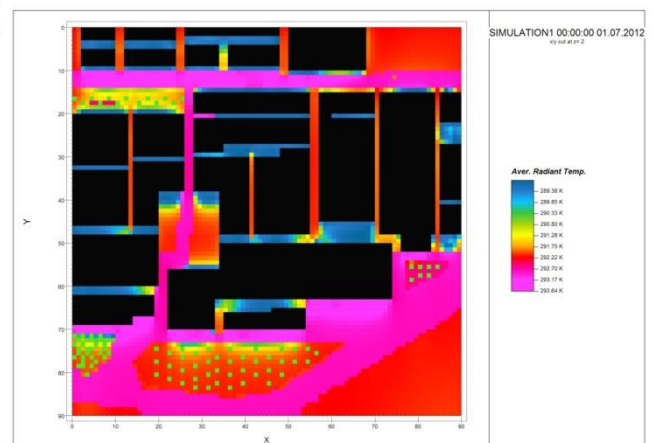
18h00



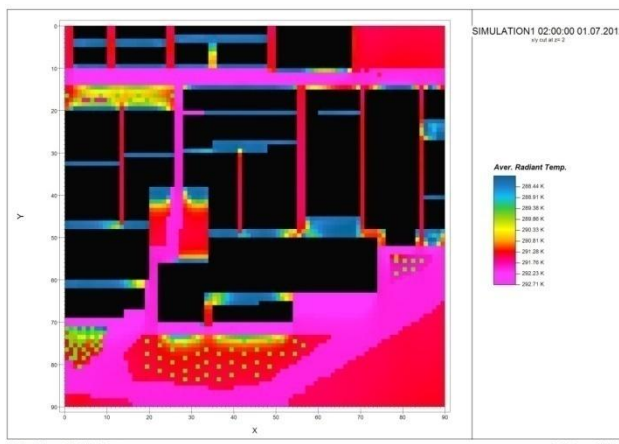
20h00



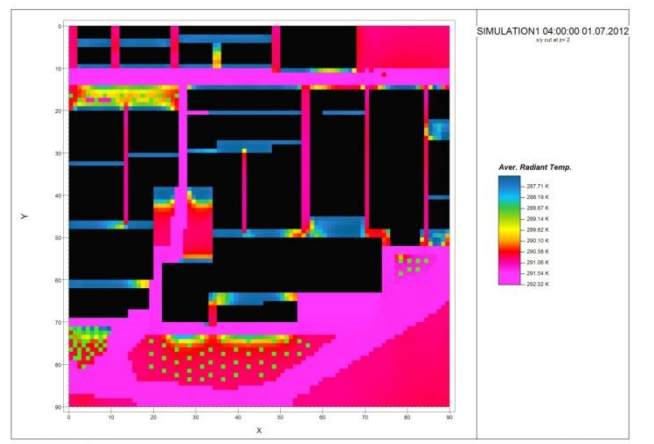
22h00



minuit

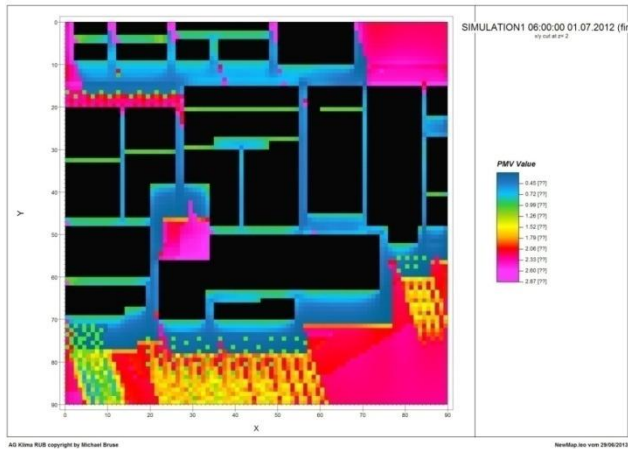


02h00

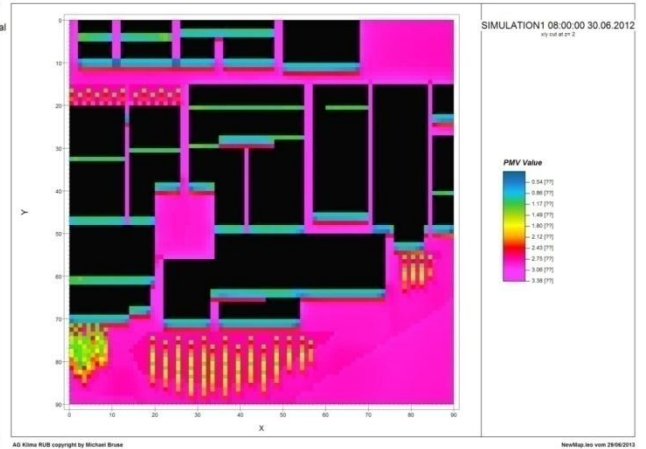


04h00

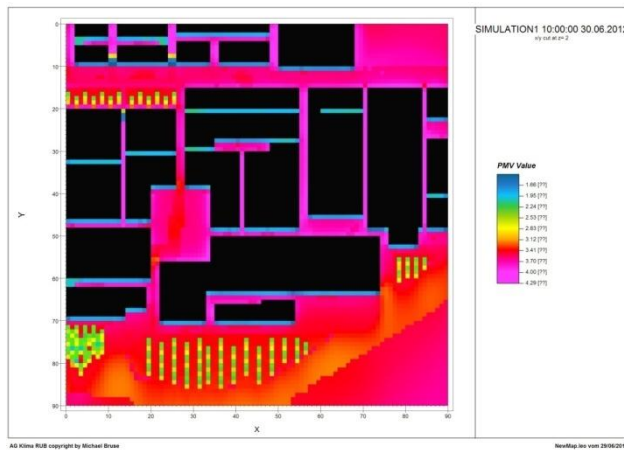
Le vote moyen prévisible PMV :



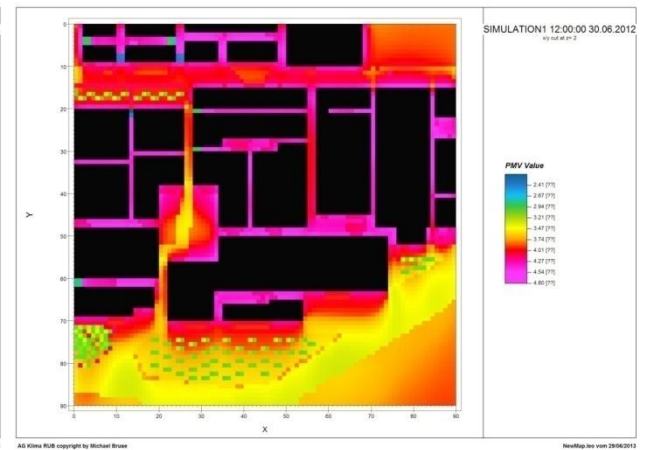
06h00



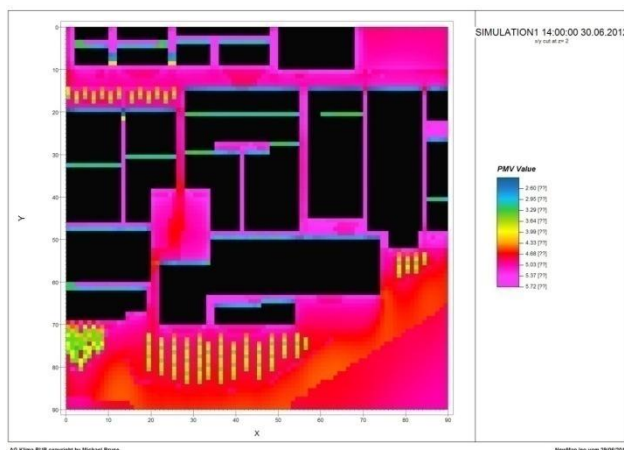
08h00



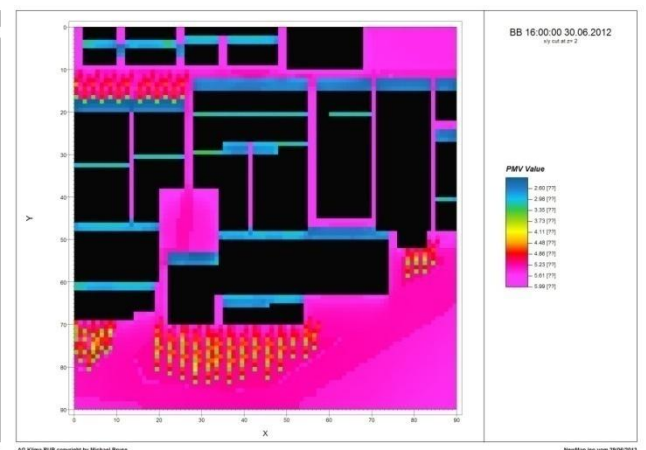
10h00



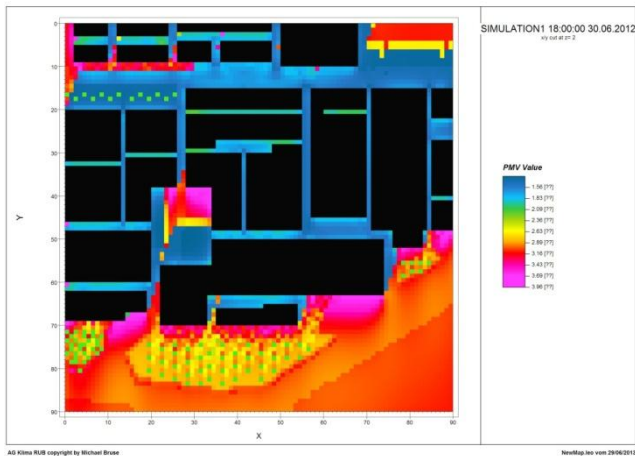
12h00



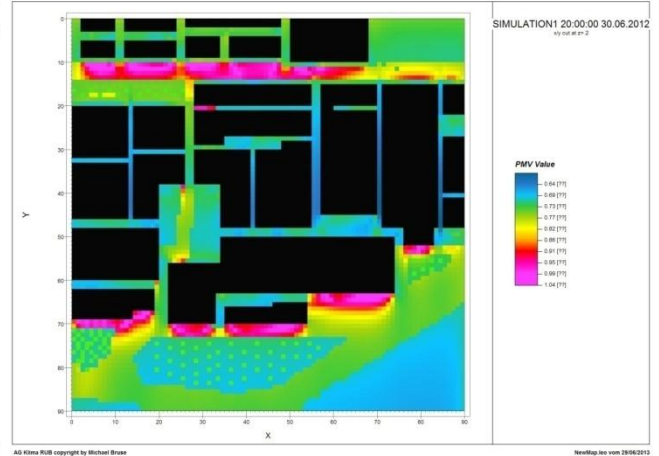
14h00



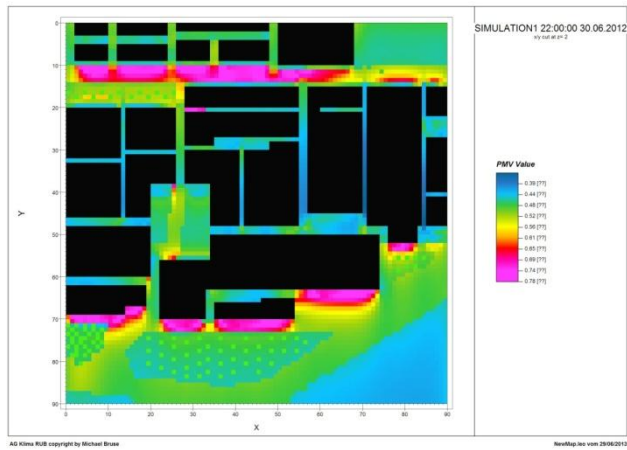
16h00



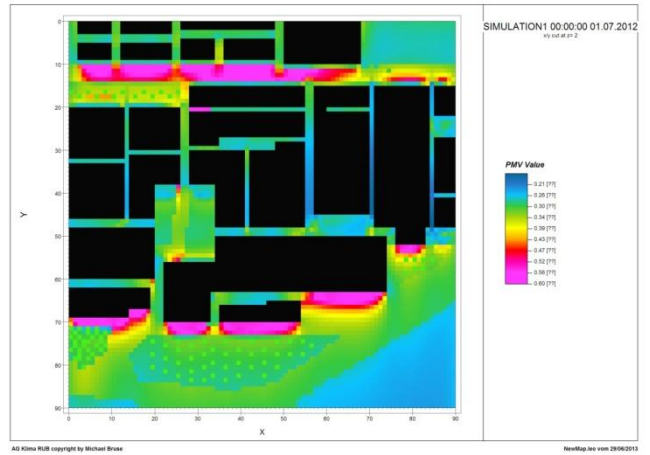
18h00



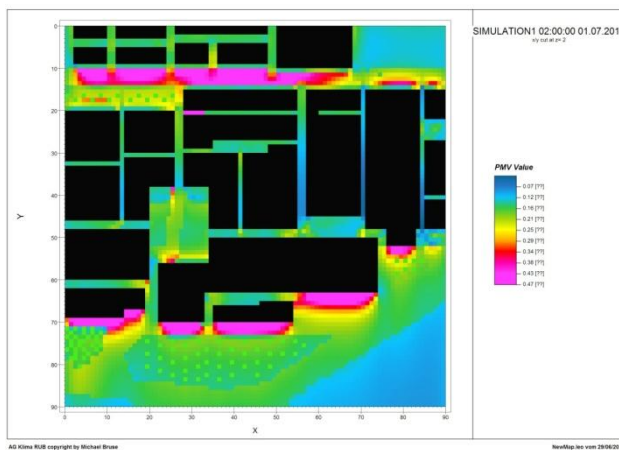
20h00



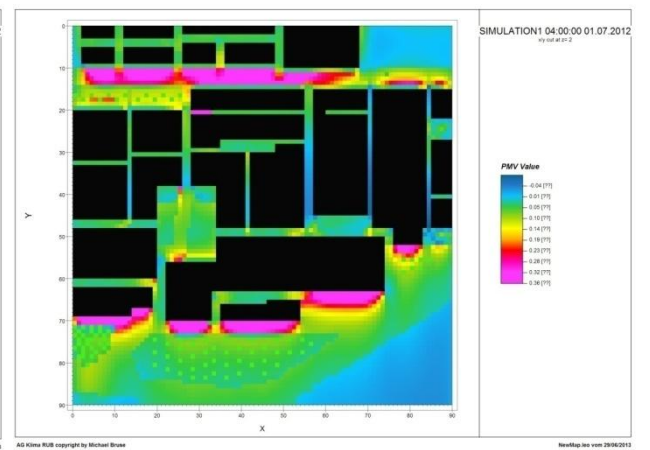
22h00



minuit



02h00



04h00

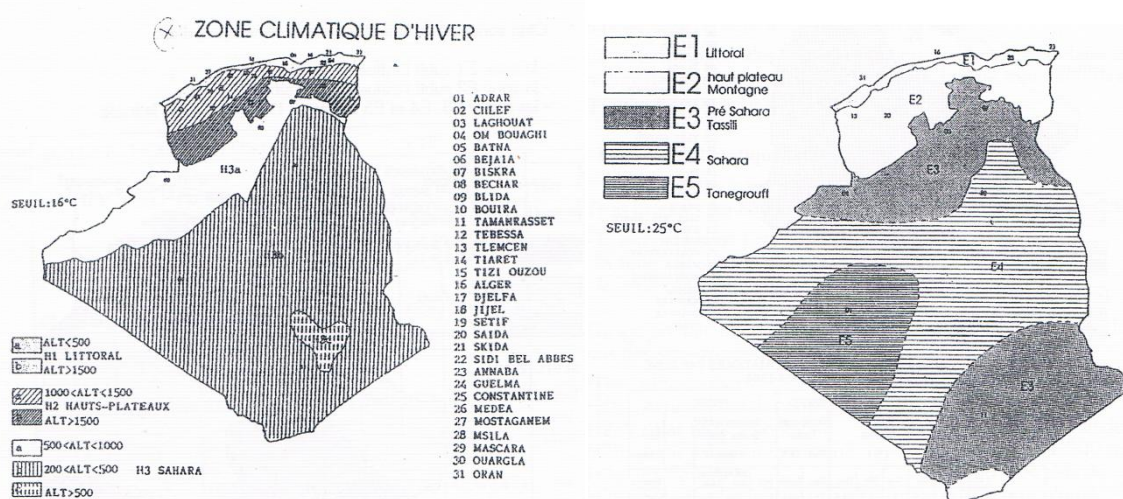
ANNEXE C

ANALYSE CLIMATIQUE DE LA VILLE DE GHARDAÏA

CLASSIFICATION CLIMATIQUE :

Une première classification en zone climatiques a été faite par le CSTB sert de base de calcul pour le dimensionnement du chauffage ou de la climatisation, pour les zones climatiques d'hivers, la wilaya de Ghardaïa se situe dans la zone **H3a** qui se caractérise par des hivers très froids la nuit par rapport au jours, et les écarts de températures entre le jours et la nuit sont importants.

Tandis que durant l'été, cette wilaya se situe dans la zone E3 qui se caractérise par des étés très chauds et secs avec des températures journalières très extrêmes.



ZONE CLIMATIQUE D'HIVERS ET D'ETE EN ALGERIE

INTERPRETATION DES DONNEES CLIMATIQUES

PERIODE HIVERNALE :

TEMPERATURE : en valeur moyenne en hivers, les températures d'air minimales sont enregistrées en décembre avec 12.28° C et en janvier avec 11.01 C°, quelques fois, elles peuvent atteindre 0 C°, ce qui génère de la neige.

HUMIDITE : en hivers les valeurs d'humidité relative moyenne sont de l'ordre de 58%, les taux minimaux sont compris entre 39% et 49%, les taux maximaux peuvent atteindre 58% voire 88%, les hivers les plus secs sont caractérisés par des valeurs d'humidité relative n'excède pas les 22% et 28%

ENSOLEILLEMENT : les valeurs enregistrées en hivers varient entre 510 w.h/m² et 700 w.h/m², la couverture du ciel est souvent clair sauf en période de vents de sable ou le ciel est chargé de particules ocre jaune.

VENT : les vents d'hivers sont froids et humides de direction préférentielle NO et ONO

PRECIPITATION : la saison des pluies est comprise entre septembre et janvier, les valeurs moyennes sont de 50 mm à 70 mm, quelquefois sur des périodes de pluies intenses nous pouvons enregistrer jusqu'à 120.5 mm.

PERIODE ESTIVALE:

TEMPERATURE : une température moyenne de 38° C peut être atteinte en juillet, ou nous pouvons enregistrer des températures d'air moyennes maximales de 40° C et 42° C, avec des pics occasionnels de 46° C.

HUMIDITE : le taux d'humidité enregistré en été est relativement faible, il varie entre 23% et 27%, durant certaines périodes de sécheresse, il peut atteindre des taux minimaux compris entre 2 et 6%.

ENSOLEILLEMENT : les valeurs moyennes maximales enregistrées sont pour le mois de juin avec 329.46 heures et le mois de juillet avec 355.53 heures. Les variations brusques entre les mois de mars et avril avec une amplitude de 33.45 heures et entre le mois d'août et septembre avec 51.73 heures.

L'irradiation solaire horizontale est importante, elle peut atteindre 1040 w.h/m² entre juin et juillet.

VENT : les vents d'été sont secs et chauds de direction préférentielle NOED - EST.

PERIODES EPISODIQUES:

Nous définissons par paramètres climatiques épisodiques, les caractéristiques environnementales qui engendrent des événements climatiques soudains et extrêmes, ces derniers survenant génèrent des stress climatiques voir un inconfort pour la population local, elles peuvent paralyser les activités journalières, parmi ces événements nous pouvons citer les vents de sable, les chasses sable et les inondations.

LES VENTS DE SABLE : sont une des principales contraintes climatiques dans la vallée des Mzab. Ils surviennent soudainement et se matérialisent par des particules de sable soulevées par un vent fort et turbulent donnant un effet de tempête. Ces particules peuvent former un mur haut réduisant la visibilité à 100m.

En 10 ans, 19 tempêtes de sable ont été recensées dans la vallée du Mzab. La vitesse du vent peut atteindre 36m/s avec une vitesse minimale égale à 15m/s peut déclencher une tempête de sable (office nationale de météorologie). Ce type de tempête peut durer 8 heures, est caractérisé par un ciel invisible, ces vents de sables surviennent surtout au mois de février et de mai.

CHASSE – SABLE : ce sont induit par des vents de sable assez importants et sont définis comme des particules soulevées par le vent pour violer ou masquer les objets très bas, sur une période de 10 ans, l'office nationale de météorologie a recensé 515 jours de chasse sable, soit en moyenne 50 jours

par an et qui se produit essentiellement en avril et mai, il coïncide avec les périodes de vent fort qui caractérisent la vallée des Mزاب, l'année 2002 est celle qui a enregistré le plus fort taux avec 80 jours de chasses sable.



Chasse Sable au sud de l'Algérie

INONDATION : certaines années, le taux de précipitation est tellement important que cela peut engendrer des inondations et des crues de l'oued Mزاب, dont les taux pluviométrique correspondent à des valeurs très importantes.



INONDATION D'OUED MZAB

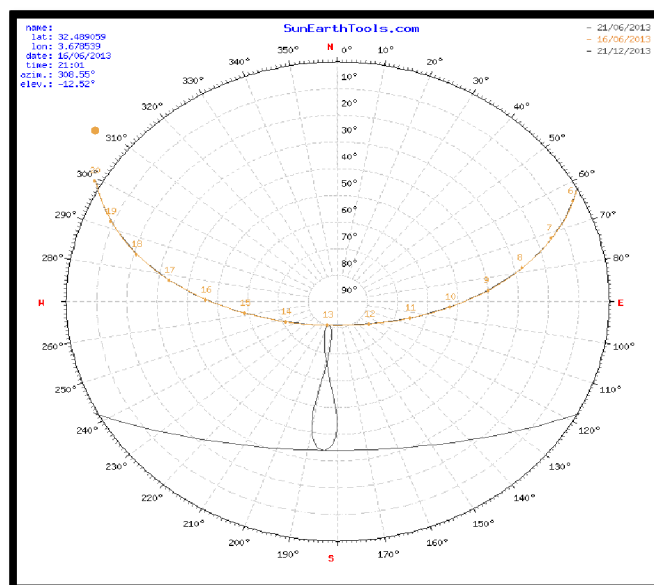


Diagramme solaire indiquant la trajectoire solaire de Ghardaia (Source : Sunearthtools.com)

position du soleil	Elevation	Azimut	latitudes	longitudes
16/06/2013 21:01	-12.52°	308.55°	32.489059° N	3.678539° E
crépuscule	Sunrise	Sunset	Azimut Sunrise	Azimut Sunset
crépuscule -0.833°	05:37:39	19:54:30	61.36°	298.66°
Le crépuscule civil -6°	05:09:09	20:22:57	57.35°	302.67°
Le crépuscule nautique -12°	04:34:17	20:57:50	51.99°	308.03°
crépuscule astronomique -18°	03:56:27	21:35:42	45.49°	314.54°
jour	hh:mm:ss	diff. dd+1	diff. dd-1	midi
16/06/2013	14:16:51	00:00:11	-00:00:14	12:46:04

Date:	16/06/2013	
coordonner:	32.489059, 3.678539	
heure	Elevation	Azimut
05:37:39	-0.833°	61.36°
6:00:00	3.36°	64.32°
7:00:00	15.08°	71.63°
8:00:00	27.3°	78.45°
9:00:00	39.81°	85.35°
10:00:00	52.45°	93.28°
11:00:00	64.95°	104.61°
12:00:00	76.35°	129.07°
13:00:00	80.37°	199.5°
14:00:00	71.33°	245.42°
15:00:00	59.19°	261.38°
16:00:00	46.58°	270.64°
17:00:00	33.97°	277.93°
18:00:00	21.58°	284.71°
19:00:00	9.56°	291.69°
19:54:30	-0.833°	298.66°

Prise Horaire de l'élévation et l'Azimut de la trajectoire solaire de Ghardaia (Source : Sunearthtools.com)

ANNEXE D

CALCUL DES RESULTATS INVESTIGATION

Calcul de Rabs pour les 6 stations de mesure

STATION N° : 01

HEURE	Température T(c°)	Total radiation (w/m ²)	Solar Elevation (degree)	Transmissivity object between person and sun	Albdo object in the sky hemisphere	Albdo ground :	Albdo person	SFV	Rabs (w/m ²)
06 :00	22,7	45	3,36°	00	0,25	0,30	0,70	0,50	417
07 :00	23,3	73	15,08°	00	0,25	0,30	0,70	0,50	420,40
08 :00	24,1	670	27,3°	0,50	0,25	0,30	0,70	0,50	425,08
09 :00	28,8	590	39,81°	0,50	0,25	0,30	0,70	0,50	452,95
10 :00	30,0	589	52,45°	0,50	0,25	0,30	0,70	0,50	458,96
11 :00	31,2	563	64,95°	0,50	0,25	0,30	0,70	0,50	467,11
12 :00	32,4	559	76,35°	0,50	0,25	0,30	0,70	0,50	474,86
13 :00	33,1	597	80,37°	0,50	0,25	0,30	0,70	0,50	479,01
14 :00	36,3	620	71,33°	0,50	0,25	0,30	0,70	0,50	497,07
15 :00	37,5	633	59,19°	0,50	0,25	0,30	0,70	0,50	507,35
16 :00	35,1	655	46,58°	0,50	0,25	0,30	0,70	0,50	491,56
17 :00	34,1	412	33,97°	0,50	0,25	0,30	0,70	0,50	484,76
18 :00	33,1	374	21,58°	0,50	0,25	0,30	0,70	0,50	479,16
19 :00	31,6	19	9,56°	0,50	0,25	0,30	0,70	0,50	469,53

STATION N° : 02

HEURE	Température T(c°)	Total radiation (w/m ²)	Solar Elevation (degree)	Transmissivity object between person and sun	Albdo object in the sky hemisphere	Albdo ground :	Albdo person	SFV	Rabs (w/m ²)
06 :00	22,6	45	3,36°	00	0,30	0,1	0,70	0,74	416,35
07 :00	23,9	68	15,08°	00	0,30	0,1	0,70	0,74	423,74
08 :00	30,1	950	27,3°	00	0,30	0,1	0,70	0,74	460,56
09 :00	31,5	997	39,81°	01	0,30	0,1	0,70	0,74	470,24
10 :00	33,5	1040	52,45°	01	0,30	0,1	0,70	0,74	478,39
11 :00	36,2	1030	64,95°	01	0,30	0,1	0,70	0,74	498,50
12 :00	37,2	1070	76,35°	01	0,30	0,1	0,70	0,74	506,28
13 :00	40,2	1043	80,37°	01	0,30	0,1	0,70	0,74	525,23
14 :00	41,3	1038	71,33°	01	0,30	0,1	0,70	0,74	524,95
15 :00	42,2	954	59,19°	01	0,30	0,1	0,70	0,74	539,29
16 :00	41,8	930	46,58°	00	0,30	0,1	0,70	0,74	535,91
17 :00	37,5	67	33,97°	00	0,30	0,1	0,70	0,74	506,95
18 :00	34,8	35	21,58°	00	0,30	0,1	0,70	0,74	489,52
19 :00	32,7	13	9,56°	00	0,30	0,1	0,70	0,74	476,28

STATION N° : 03

HEURE	Température T(c°)	Total radiation (w/m ²)	Solar Elevation (degree)	Transmissivity object between person and sun	Albdo object in the sky hemisphere	Albdo ground :	Albdo person	SFV	Rabs (w/m ²)
06 :00	23,2	30	3,36°	00	0,30	0,30	0,70	0,24	419,92
07 :00	24,0	38	15,08°	00	0,30	0,30	0,70	0,24	424,47
08 :00	31,0	950	27,3°	00	0,30	0,30	0,70	0,24	466,07
09 :00	32,4	943	39,81°	01	0,30	0,30	0,70	0,24	475,76
10 :00	33,1	1035	52,45°	01	0,30	0,30	0,70	0,24	475,90
11 :00	36,5	1043	64,95°	01	0,30	0,30	0,70	0,24	500,42
12 :00	37,9	1073	76,35°	01	0,30	0,30	0,70	0,24	510,83
13 :00	40,1	2046	80,37°	01	0,30	0,30	0,70	0,24	524,80
14 :00	40,8	1035	71,33°	01	0,30	0,30	0,70	0,24	521,57
15 :00	41,3	946	59,19°	01	0,30	0,30	0,70	0,24	533,14

16 :00	42,5	923	46,58°	01	0,30	0,30	0,70	0,24	540,45
17 :00	36,6	45	33,97°	00	0,30	0,30	0,70	0,24	501,22
18 :00	34,5	23	21,58°	00	0,30	0,30	0,70	0,24	487,75
19 :00	33,2	17	9,56°	00	0,30	0,30	0,70	0,24	479,56

STATION N° : 04

HEURE	Température T(c°)	Total radiation (w/m²)	Solar Elevation (degree)	Transmissivity object between person and sun	Albdo object in the sky hemisphere	Albdo ground :	Albdo person	SFV	Rabs (w/m²)
06 :00	23,7	30	3,36°	00	0,30	0,30	0,70	0,26	422,75
07 :00	24,0	35	15,08°	00	0,30	0,30	0,70	0,26	424,47
08 :00	26,8	53	27,3°	00	0,30	0,30	0,70	0,26	440,70
09 :00	27,7	62	39,81°	00	0,30	0,30	0,70	0,26	446,02
10 :00	29,8	78	52,45°	00	0,30	0,30	0,70	0,26	458,61
11 :00	30,1	94	64,95°	00	0,30	0,30	0,70	0,26	460,44
12 :00	32,7	1062	76,35°	01	0,30	0,30	0,70	0,26	477,57
13 :00	36,3	83	80,37°	01	0,30	0,30	0,70	0,26	499,29
14 :00	35,1	72	71,33°	00	0,30	0,30	0,70	0,26	491,57
15 :00	35,3	56	59,19°	00	0,30	0,30	0,70	0,26	492,85
16 :00	35,8	50	46,58°	00	0,30	0,30	0,70	0,26	496,05
17 :00	34,1	34	33,97°	00	0,30	0,30	0,70	0,26	485,22
18 :00	33,8	23	21,58°	00	0,30	0,30	0,70	0,26	483,32
19 :00	33,1	11	9,56°	00	0,30	0,30	0,70	0,26	478,92

STATION N° : 05

HEURE	Température T(c°)	Total radiation (w/m²)	Solar Elevation (degree)	Transmissivity object between person and sun	Albdo object in the sky hemisphere	Albdo ground :	Albdo person	SFV	Rabs (w/m²)
06 :00	23,4	43	3,36°	00	0,30	0,1	0,70	0,58	420,93
07 :00	23,8	46	15,08°	00	0,30	0,1	0,70	0,58	423,21
08 :00	26,3	952	27,3°	00	0,30	0,1	0,70	0,58	437,90
09 :00	28,4	978	39,81°	00	0,30	0,1	0,70	0,58	450,33
10 :00	30,0	1048	52,45°	00	0,30	0,1	0,70	0,58	459,99
11 :00	34,9	1056	64,95°	01	0,30	0,1	0,70	0,58	490,15
12 :00	36,8	1080	76,35°	01	0,30	0,1	0,70	0,58	503,68
13 :00	37,6	1083	80,37°	01	0,30	0,1	0,70	0,58	508,02
14 :00	37,2	1084	71,33°	01	0,30	0,1	0,70	0,58	497,37
15 :00	36,3	76	59,19°	00	0,30	0,1	0,70	0,58	499,20
16 :00	36,2	62	46,58°	00	0,30	0,1	0,70	0,58	498,55
17 :00	34,9	41	33,97°	00	0,30	0,1	0,70	0,58	490,20
18 :00	34,1	35	21,58°	00	0,30	0,1	0,70	0,58	485,13
19 :00	33,1	13	9,56°	00	0,30	0,1	0,70	0,58	478,83

STATION N° : 06

HEURE	Température T(c°)	Total radiation (w/m²)	Solar Elevation (degree)	Transmissivity object between person and sun	Albdo object in the sky hemisphere	Albdo ground :	Albdo person	SFV	Rabs (w/m²)
06 :00	23,3	33	3,36°	00	0,30	0,40	0,70	0,17	420,51
07 :00	24,1	41	15,08°	00	0,30	0,40	0,70	0,17	425,07
08 :00	30,3	953	27,3°	00	0,30	0,40	0,70	0,17	461,80
09 :00	32,4	965	39,81°	01	0,30	0,40	0,70	0,17	475,79
10 :00	33,8	1023	52,45°	01	0,30	0,40	0,70	0,17	480,33
11 :00	34,9	1047	64,95°	01	0,30	0,40	0,70	0,17	490,15
12 :00	36,3	1083	76,35°	01	0,30	0,40	0,70	0,17	500,44
13 :00	38,1	1078	80,37°	01	0,30	0,40	0,70	0,17	511,28
14 :00	40,1	1069	71,33°	01	0,30	0,40	0,70	0,17	516,62
15 :00	41,4	965	59,19°	01	0,30	0,40	0,70	0,17	533,83
16 :00	42,3	932	46,58°	01	0,30	0,40	0,70	0,17	539,08
17 :00	35,6	39	33,97°	00	0,30	0,40	0,70	0,17	494,79
18 :00	34,3	28	21,58°	00	0,30	0,40	0,70	0,17	486,51
19 :00	33,6	11	9,56°	00	0,30	0,40	0,70	0,17	482,09

Calcul de BUDJET pour les 6 stations de mesure**STATION N° : 01**

HEURE	Metabolisme M	Température T(c°)	Wind speed (m/s)	Insulation value of clothing Rco	Permeability of clothing P	Relative humidity RH	Rabs (w/m²)	BUDJET (w/m²)
06 :00	90	22,7	0,73	93	150	30,5	417	68,34
07 :00	90	23,3	0,60	93	150	30,6	420,40	78,24
08 :00	90	24,1	0,85	93	150	32,8	425,08	79,78
09 :00	90	28,8	0,38	93	150	24,9	452,95	137,20
10 :00	90	30,0	0,71	93	150	21,7	458,96	144,65
11 :00	90	31,2	0,15	93	150	16,2	467,11	161,50
12 :00	90	32,4	0,25	93	150	16,9	474,86	182,53
13 :00	90	33,1	0,13	93	150	17,6	479,01	196,85
14 :00	90	36,3	0,20	93	150	15,3	497,07	269,78
15 :00	90	37,5	0,33	93	150	15,1	507,35	319,95
16 :00	90	35,1	0,41	93	150	14,9	491,56	256,75
17 :00	90	34,1	0,39	93	150	15,8	484,76	226,72
18 :00	90	33,1	0,65	93	150	13,5	479,16	202,73
19 :00	90	31,6	0,10	93	150	15,8	469,53	169,37

STATION N° : 02

HEURE	Metabolisme M	Température T(c°)	Wind speed (m/s)	Insulation value of clothing Rco	Permeability of clothing P	Relative humidity RH	Rabs (w/m²)	BUDJET (w/m²)
06 :00	90	22,6	0,50	93	150	30,9	416,35	74,64
07 :00	90	23,9	0,67	93	150	29,0	423,74	82,14
08 :00	90	30,1	0,51	93	150	24,9	460,56	148,37
09 :00	90	31,5	0,47	93	150	21,4	470,24	164,10
10 :00	90	33,5	0,81	93	150	17,8	478,39	215,36
11 :00	90	36,2	0,80	93	150	13,8	498,50	321,45
12 :00	90	37,2	0,09	93	150	13,7	506,28	274,96
13 :00	90	40,2	1,13	93	150	11,5	525,23	545,98
14 :00	90	41,3	1,60	93	150	10,2	524,95	675,40
15 :00	90	42,2	0,82	93	150	10,5	539,29	596,60
16 :00	90	41,8	0,52	93	150	10,8	535,91	508
17 :00	90	37,5	0,62	93	150	12,9	506,95	355,93
18 :00	90	34,8	0,42	93	150	13,8	489,52	248,44
19 :00	90	32,7	0,51	93	150	14,5	476,28	189,18

STATION N° : 03

HEURE	Metabolisme M	Température T(c°)	Wind speed (m/s)	Insulation value of clothing Rco	Permeability of clothing P	Relative humidity RH	Rabs (w/m²)	BUDJET (w/m²)
06 :00	90	23,2	0,79	93	150	29,3	419,92	71,85
07 :00	90	24,0	0,29	93	150	29,1	424,47	94,50
08 :00	90	31,0	1,17	93	150	23,4	466,07	154,43
09 :00	90	32,4	0,74	93	150	20,5	475,76	180,48
10 :00	90	33,1	0,45	93	150	18,3	475,90	197,52
11 :00	90	36,5	0,43	93	150	14,0	500,42	300,79
12 :00	90	37,9	0,16	93	150	12,6	510,83	305,83
13 :00	90	40,1	0,17	93	150	12,0	524,80	363,41
14 :00	90	40,8	0,14	93	150	11,0	521,57	364,08
15 :00	90	41,3	0,15	93	150	10,8	533,14	389
16 :00	90	42,5	0,11	93	150	10,3	540,45	401,69
17 :00	90	36,6	0,30	93	150	12,3	501,22	290,61
18 :00	90	34,5	0,92	93	150	13,5	487,75	259,50
19 :00	90	33,2	0,48	93	150	19,7	479,56	203,79

STATION N° : 04

HEURE	Metabolis me M	Température T(c°)	Wind speed (m/s)	Insulation value of clothing Rco	Permeability of clothing P	Relative humidity RH	Rabs (w/m²)	BUDJET (w/m²)
06 :00	90	23,7	0,15	93	150	28,4	422,75	96,92
07 :00	90	24,0	0,41	93	150	28,6	424,47	90,88
08 :00	90	26,8	0,86	93	150	28,3	440,70	108,71
09 :00	90	27,7	0,38	93	150	25,9	446,02	126,31
10 :00	90	29,8	0,89	93	150	22,0	458,61	141,83
11 :00	90	30,1	0,25	93	150	20,8	460,44	150,61
12 :00	90	32,7	0,70	93	150	16,7	477,57	190,61
13 :00	90	36,3	0,95	93	150	13,4	499,29	336,26
14 :00	90	35,1	0,68	93	150	14,2	491,57	272,28
15 :00	90	35,3	0,70	93	150	13,8	492,85	280,63
16 :00	90	35,8	0,28	93	150	13,3	496,05	267,07
17 :00	90	34,1	0,15	93	150	13,8	485,22	217,74
18 :00	90	33,8	0,63	93	150	13,7	483,32	225,34
19 :00	90	33,1	0,11	93	150	14,1	478,92	196,40

STATION N° : 05

HEURE	Metabolis me M	Température T(c°)	Wind speed (m/s)	Insulation value of clothing Rco	Permeability of clothing P	Relative humidity RH	Rabs (w/m²)	BUDJET (w/m²)
06 :00	90	23,4	0,29	93	150	29,2	420,93	89,11
07 :00	90	23,8	0,84	93	150	29,5	423,21	76,69
08 :00	90	26,3	0,18	93	150	30,3	437,90	117,89
09 :00	90	28,4	0,46	93	150	25,2	450,33	131,88
10 :00	90	30,0	0,45	93	150	22,0	459,99	147,95
11 :00	90	34,9	0,52	93	150	16,7	490,15	256,97
12 :00	90	36,8	0,65	93	150	14,7	503,68	333,89
13 :00	90	37,6	1,09	93	150	11,5	508,02	407,54
14 :00	90	37,2	1,40	93	150	13,3	497,37	404,93
15 :00	90	36,3	0,26	93	150	13,2	499,20	278,40
16 :00	90	36,2	0,95	93	150	12,7	498,55	331,82
17 :00	90	34,9	0,29	93	150	13,5	490,20	244,06
18 :00	90	34,1	0,40	93	150	13,6	485,13	227,47
19 :00	90	33,1	1,09	93	150	14,4	478,83	205,92

STATION N° : 06

HEURE	Metabolis me M	Température T(c°)	Wind speed (m/s)	Insulation value of clothing Rco	Permeability of clothing P	Relative humidity RH	Rabs (w/m²)	BUDJET (w/m²)
06 :00	90	23,3	0,93	93	150	28,8	420,51	69,16
07 :00	90	24,1	0,37	93	150	29,3	425,07	93,13
08 :00	90	30,3	0,37	93	150	24,0	461,80	151,65
09 :00	90	32,4	0,14	93	150	19,9	475,79	184,36
10 :00	90	33,8	0,55	93	150	17,5	480,33	220,35
11 :00	90	34,9	0,71	93	150	15,8	490,15	266,36
12 :00	90	36,3	0,83	93	150	13,8	500,44	328,96
13 :00	90	38,1	1,19	93	150	13,6	511,28	442,03
14 :00	90	40,1	1,79	93	150	11,3	516,62	620,90
15 :00	90	41,4	1,27	93	150	11,2	533,83	637,03
16 :00	90	42,3	0,89	93	150	10,1	539,08	615,89
17 :00	90	35,6	0,62	93	150	12,9	494,79	286,64
18 :00	90	34,3	0,67	93	150	13,5	486,51	243,56
19 :00	90	33,6	0,77	93	150	14,1	482,09	221,38

QUESTIONNAIRESTATION 1/2/3/4/5/6

Male

Femelle

Enfants

Adulte

Personne âgée

1) Confort de l'espace :

- Que pensez-vous du confort thermique dans cet espace en été ?

Très chaud

moyennement chaud

confortable

FROID

TRES FROID

2) Ensoleillement :

- Est-ce-que La présence du soleil dans cet espace extérieur est :

Confortable

Inconfortable

3) Que représente pour vous le contact avec cet espace extérieur ?

T. important

important

neutre

peu important

pas du tout important

4) NOMBRE D'HEURE PAR JOUR:

- COMBIEN D'HEURE PAR JOUR PASSEZ VOUS DANS CET ESPACE EXTERIEUR ?

MOINS 1 H

1H

2H

3H

4H

5H

6H

PLUS

- A VOTRE AVIS QUEL EST L'ENDROIT PREFERE POUR LES HABITANTS ?

S1

S2

S3

S4

S5

S6

AUTRES

ABSTRACT

Climatic urban design aims to develop sustainable cities based on comfort, energy saving and the improvement of microclimate conditions. The control of solar radiation is one of the key elements to meet a high level of thermal comfort.

This present research helps professionals create urban morphology based on simple urban settings and climates conditions. It starts first by an approach to thermal comfort and climatology notions, then, deals with the analysis of microclimate and urban heat island in hot and arid climates, and finally presents a literature review about the external parameters of public spaces (Orientation, SVF, Ratio H/L, Vegetation, and building materials).

Site investigation is necessary to test the influence of urban morphology of external public spaces, using 'habitability' method based on the number of useful hours of thermal comfort. Thermal evaluation of urban spaces is based on the use of two thermal comfort indices: the PMV (Predicted mean vote) and the TB (Thermal Balance) obtained by the thermal method 'COMFA' (**COM**fort **F**ormula). The improvement of the external thermal comfort has been evaluated through two alternatives of numerical simulation, using "ENVI-met3" software, for the sake of finding the best way to design an urban space that fits hot and arid climate conditions.

KEYWORDS: External comfort, solar and energy Control, urban morphology, warm and arid climate, Taflelt, Habitability Method, ENVI-met3.

ملخص:

إن الهدف من التصميم الحضري هو تقديم مدن مبنية على أساس الراحة و تحسين المناخ المحلي و ذلك من خلال بعض الأسس التي تبنى عليها هته المدن كإلطةة المتجددة مثلا إذ أنه تعاني مدن المناخات الحارة في الفترة الصيفية من بعض المشاكل المتعلقة بظاهرة ارتفاع درجة الحرارة داخل أحيائها. لذا فإن السيطرة على أشعة الشمس له تأثير كبير على الراحة الحرارية.

يساعد هذا البحث المهنيين في إنشاء مورفولوجيا حضرية في مختلف الظروف المناخية. من خلال بعض مفاهيم الراحة الحرارية و المناخ (مع تحليل للمناخات الحارة و الجافة ، فقد بينت كثير من الدراسات أهمية إدراج بعض العناصر التي قد توفر الظل والرطوبة و التي تتمثل في (اتجاه الشوارع، نسبة H / L ، الغطاء النباتي ، و مواد البناء). من أجل إبراز دور هته العناصر تم استخدام طريقة (HABITABILITY METHOD) والمتمثلة في تبين على عدد ساعات الراحة الحرارية في اليوم الواحد. ويستند تقييم المساحات الحضرية الخارجية على استخدام اثنين من مؤشرات الراحة الحرارية ، PMV و TB المتحصل عن طريق METHODE COMFA ويستند تقييم الراحة الحرارية الخارجية أيضا على بديلين من المحاكاة ، من خلال برنامج ENVI met و ذلك من أجل العثور على أفضل وسيلة لبناء الفضاء الحضري الخارجي الذي يتكيف مع المناخ الحار و الجاف.

كلمات البحث:

الراحة الحرارية الخارجية ، مراقبة الطاقة الشمسية ، مورفولوجيا حضرية ، المناخ الحار و الجاف ، تافيلانت ، الميكرومناخ ، الصلاحية للسكن HABITABILITY ، ENVI - met