

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique**

UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE

FACULTE DES SCIENCES DE LA TERRE, DE LA GEOGRAPHIE ET DE  
L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE

DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

N° d'ordre.....

Série .....

**MEMOIRE**

Pour l'obtention du diplôme de Magister  
Option : ARCHITECTURE BIOCLIMATIQUE

**THEME**

**IMPACT DE LA GEOMETRIE DES ESPACES  
EXTERIEURS SUR LE MICROCLIMAT URBAIN**

*Cas des places*

Présenté par :

**M<sup>elle</sup> KEDISSA CHAHRAZED**

Sous la direction de :

**DR. ABDOU SALIHA**

**Jury d'examen:**

- Prof. BOURBIA FATIHA	Université Constantine	Président
- Prof. ANSER ALLAOUA	Université Constantine	Examineur
- DR. BOUCHAHM YASMINA	Université Constantine	Examineur
- DR. ABDOU SALIHA	Université de Constantine	Rapporteur

Soutenue le 08/04/2010

## **REMERCIEMENTS**

*Tout d'abord, je souhaite remercier vivement tous ceux grâce à qui ce travail de mémoire a été mené à bien et qui m'ont soutenue tout au long de ces années d'étude au sein du laboratoire Architecture Bioclimatique et Environnement. **ABE**.*

*J'exprime tout d'abord ma grande gratitude à ma Directrice de thèse **DR. Abdou Salih** qui m'a aidée, par son encadrement et sa disponibilité, à relever le défi d'un sujet vaste. Elle m'a accordé sa pleine confiance et a été un véritable partenaire dans les échanges d'idées très fructueux et stimulants. Par ses nombreux conseils tout au long de l'avancement du mémoire, elle m'a permis de structurer ce travail.*

*Comment ne pas remercier **PR. Bourbia Fatih** pour m'avoir présentée à l'univers du microclimat urbain et pour m'avoir orientée vers de nombreuses pistes de recherche par l'abondante documentation qu'elle a mise à ma disposition.*

*Mes vifs remerciements vont également au **DR. Bouchahm Yasmina** pour ses orientations, encouragements et conseils et pour avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Je tiens également à remercier **PR. Anser Allaoua** qui a accepté d'évaluer ce travail en jouant pleinement le jeu de l'interdisciplinarité.*

*Je ne désire pas oublier non plus **Mme Nini Garmia** qui ne cessait de m'encourager et remonter le moral dans les moments difficiles*

*Ma reconnaissance est immense à l'égard du **DR. Mahri Zine el Abidine** qui m'a consacré une part de son précieux temps et m'a aidée à comprendre le fonctionnement du logiciel RayMan 1.2, ainsi qu'au **PR. Mazarakis Andreas** de l'université de Freiburg qui n'hésitait pas à répondre incessamment à mes questionnements sur le logiciel.*

*J'exprime ma reconnaissance aux différentes personnes qui ont été d'une grande aide : **Mr Ayache Kamel** de l'ONM, **Fouzia** la bibliothécaire, ainsi que **Mr Bouhbila Mohamed**.*

*Merci à tous mes amies et collègues du laboratoire avec qui j'ai partagé de nombreux bons moments au cours de ces années d'étude : **Mounira, Warda, Karima, Habiba, Fouzia, Dalel, Zineddine, Tahar, Samir, .....***

*Enfin, j'adresse toute mon affection à **ma famille**, parents, frères, sœurs et beaux frères qui m'ont aidée à mener ces études, m'ont soutenue, supporté mon humeur et m'ont tant encouragée durant ces années.*

*A Mes Parents*

# SOMMAIRE

## Introduction générale

Introduction.....	1
1- Problématique .....	5
2- Les hypothèses.....	7
3- Objectif de la recherche.....	7
4- Méthodologie et outils.....	8

## Chapitre I Climat et conception des villes au cours de l'histoire

Introduction.....	11
<b>I-1-</b> les civilisations antiques.....	12
<b>I-2-</b> Organisation traditionnelle aux pays Froids.....	14
-2-1- Organisation linéaire.....	14
2-2- Organisation autour d'une cour.....	16
<b>I-3-</b> Organisation traditionnelle aux pays chauds.....	17
-3-1- la texture urbaine.....	17
-3-2- Les constructions.....	20
-3-3- L'espace public.....	21
<b>I-4-</b> Réalités scientifiques sur les formes d'organisation vernaculaires.....	22
<b>I-5-</b> L'élan solaire dans les théories hygiénistes au début du XXe siècle.....	24
<b>I-6-</b> Formalisation d'une approche bioclimatique de l'architecture moderne... ..	29
-6-1-Travaux de Robert Auzelle.....	29
-6-2-Travaux de Xenakis et Le Corbusier.....	30
<b>I-7-</b> L'émergence du courant bioclimatique.....	32
Conclusion.....	34

## Chapitre II Approche théorique des espaces publics urbains

Introduction.....	36
<b>II-1-</b> Définition de l'espace public urbain.....	37
<b>II-2-</b> Caractéristiques des espaces urbains.....	39
-2-1- Le besoin de confort physique.....	39
-2-1-a- microclimat.....	40
-2-1-b- Les bancs.....	40
-2-2- Les besoins de confort psychologique.....	41
-2-3- Utilisations et activités sociales.....	42
<b>II-3-</b> Etude comparative des différents éléments de confort dans les espaces publics.....	43
<b>II-4-</b> Définition du concept place.....	47
-4-1- L'histoire de la place.....	48
-4-1-1- L'antiquité.....	48
-4-1-1- a- L'Agora et la Grèce antique.....	49

-4-1-1- b- Le Forum et la cité romaine.....	50
-4-1-2- Le moyen âge.....	51
-4-1-3- La renaissance.....	52
-4-1-4- XIX siècle.....	54
-4-1-5- La place au XX <sup>ème</sup> siècle.....	55
-4-1-6- La place et le postmodernisme.....	56
-4-2- Forme d'une place.....	57
-4-3- Dimensions et proportions des places.....	59
Conclusion.....	61

### **Chapitre III**

### **Microclimat urbain**

Introduction .....	63
<b>III-1- L'atmosphère urbaine.....</b>	<b>65</b>
-1-1- La couche limite atmosphérique (CLA).....	66
-1-2- La couche limite urbaine .....	66
-1-3- La couche de surface.....	67
-1-4- La couche de canopée urbaine .....	67
-1-5- La sous-couche rugueuse de la CLU.....	67
-1-6- La sous-couche inertielle.....	67
<b>III-2- Ilot de chaleur urbain (ICU).....</b>	<b>68</b>
-2-1- Différents impacts de l'ICU.....	70
-2-1-1- Impact sur les saisons.....	70
-2-1-2- Impact sur la qualité de l'air .....	70
-2-1-3- Impact sur la santé.....	71
-2-1-4- Impact sur la consommation énergétique des bâtiments .....	71
-2-2- Caractérisation de l'ICU.....	72
<b>III-3- Bilan radiatif au dessus d'une ville.....</b>	<b>74</b>
-3-1- Les flux d'énergie à la surface.....	74
-3-1-a- Le flux radiatif.....	74
-3-1-b- Le flux conductif.....	76
-3-1-c- Le flux convectif.....	76
-3-1-d- Le flux de chaleur sensible (H).....	76
-3-1-e- Le flux de chaleur latente (LE).....	77
-3-2- Equilibre énergétique sur une surface naturelle.....	77
-3-3- Bilan énergétique au dessus d'une ville.....	79
-3-3-1- Effet de la ville sur le rayonnement net.....	79
-3-3-1- a- Domaine du visible.....	80
-3-3-1- a-1- Albédo.....	80
-3-3-1- a-1-1- La forme.....	81
-3-3-1- a-1-2- Les matériaux.....	81
-3-3-1- b- Domaine de l'infrarouge.....	83
-3-3-1- b-1- Emissivité.....	85
-3-3-1- b-2- La géométrie urbaine.....	85
-3-3-2- Effet de l'énergie anthropique .....	86
-3-3-3- Effet de la ville sur le flux de chaleur dans le sol et les bâtiments (G).....	86
-3-3-4- Effet de la ville sur le flux de chaleur latent (LE).....	87
-3-3-5- Effet de la ville sur le flux de chaleur sensible (H).....	87

-3-3-6- Le ratio Bowen.....	88
<b>III-4- La brise des villes.....</b>	<b>88</b>
<b>III-5- Humidité de l'air dans la ville.....</b>	<b>89</b>
<b>III-6- Le vent dans la ville.....</b>	<b>90</b>
-6-1- Estimation du vent à l'échelle piéton.....	93
Conclusion.....	92

## **Chapitre IV**

## **La géométrie urbaine**

Introduction.....	95
<b>IV-La géométrie urbaine.....</b>	<b>95</b>
<b>IV-1- L'orientation.....</b>	<b>96</b>
<b>IV-2-La Forme du bâtiment.....</b>	<b>97</b>
<b>IV-3-La densité du plan.....</b>	<b>97</b>
<b>IV-4-Le profil H/W.....</b>	<b>98</b>
-4-1-La forme Canyon.....	99
-4-2- La forme dièdre.....	99
-4-3- La forme dégagée.....	100
<b>IV-5-Sky view factor (SVF).....</b>	<b>104</b>
-5-1- La corrélation forte entre le SVF et la performance thermique locale.....	105
<b>IV-6- Les galeries (espace semi-ouvert).....</b>	<b>110</b>
<b>IV-7- L'espace couvert.....</b>	<b>111</b>
<b>IV-8- Forme urbaine et ensoleillement.....</b>	<b>111</b>
-8-1- L'étude de Gupta.....	111
-8-2- L'étude de Steemers.....	112
-8-3- L'étude de Johansson.....	113
-8-4- L'étude de Tsianaka.....	114
<b>IV-9- Critères d'évaluation d'une place urbaine.....</b>	<b>115</b>
-9-1-L'Ensoleillement d'une place.....	116
-9-1-1- Le rayonnement dans la place.....	116
-9-1-1-a- Le rayonnement de courte longueur d'onde.....	117
-9-1-1-a-1- Le rayonnement direct.....	117
-9-1-1-a-2- Le rayonnement diffus du ciel.....	117
-9-1-1-a-3- Le rayonnement réfléchi.....	118
-9-1-1-b- Le rayonnement infrarouge.....	118
-9-1-2- Les proportions de la place urbaine.....	119
-9-1-3- L'orientation.....	123
-9-1-4- La taille.....	126
-9-2- Les conditions du vent dans la place.....	126
-9-3- La température moyenne radiante.....	133
-9-4- Les bâtiments.....	133
-9-5- les aménagements urbains.....	133
Conclusion.....	134

## **Chapitre V**

## **Confort thermique dans les espaces extérieurs**

Introduction.....	135
<b>V-1-</b> Le confort thermique.....	137
<b>V-2-</b> Paramètres du confort thermique.....	137
-2-1- Paramètres relatifs à l'individu.....	138
-2-2-1- Les charges thermiques internes.....	138
-2-2-2- L'isolement des vêtements.....	
-2-2- Paramètres relatifs à l'environnement.....	138
-2-2-1- Les échanges thermiques.....	139
-2-2-1- a- Rayonnement.....	139
-2-2-1- b- Convection (C).....	141
-2-2-1- c- Conduction (K).....	141
-2-2-2- La température de l'air.....	142
-2-2-3- La température moyenne radiante (MRT).....	142
-2-2-4- L'humidité de l'air.....	144
-2-2-5- La vitesse du vent.....	144
<b>V-3-</b> Le bilan thermique chez l'être humain.....	146
<b>V-4-</b> Evaluation du confort thermique.....	147
-4-1- La nouvelle température effective SET*.....	148
-4-2- Modèle Klima Michel – PMV.....	148
-4-3- Taux d'évaporation de la sueur régulatrice Ersw.....	150
-4-4- La méthode Comfa.....	150
-4-5- La température physiologique équivalente.....	150
-4-6- La sensation thermique Ts.....	155
-4-7- Le vote de sensation effective ASV.....	155
<b>V-5-</b> Subjectivité du confort thermique.....	156
-5-1- Adaptation physique.....	157
-5-2- Adaptation physiologique.....	157
-5-3- Adaptation psychologique.....	157
-5-3-a- Le Naturel.....	157
-5-3-b- L'espérance.....	157
-5-3-c- Le passé thermique.....	158
-5-3-d- Le temps d'exposition.....	158
-5- 4- La culture.....	158
Conclusion.....	160

**Chapitre VI** **Stratégies d'amélioration**  
**du confort thermique dans les espaces extérieurs**

Introduction.....	162
<b>VI-1-</b> Les matériaux.....	163
<b>VI-2-</b> L'eau.....	167
<b>VI-3-</b> La végétation.....	172
-3-1- Arbres et rayonnement solaire.....	172
-3-2- Pelouse et rayonnement solaire.....	181
-3-3- Arbre et évapotranspiration.....	182
-3-4- L'arbre et le vent.....	185
<b>VI-4-</b> Les brise-vents.....	185
-4-1- Règles générales pour la conception des écrans protecteurs.....	185

Conclusion.....	190
-----------------	-----

**ChapitreVI** **Etat de l'art sur les**  
**stratégies d'amélioration du microclimat urbain**

Introduction.....	192
<b>VII-1- Interactions morphologie de l'espace d'implantation et le végétal.....</b>	<b>192</b>
-1-1- Etude de Gulyas et Matzarakis (2005).....	193
-1-2- Etude Gianni Scudo (1995).....	195
-1-3- Etude de Shashua-bar et Hoffman (1996).....	197
-1-4- Etude de Shashua-bar et al (2006).....	198
-1-5- Etude de Giridharan et al (2002- 2004).....	201
-1-6- Etude de Picot (2004).....	202
-1-7- Etude de Streiling et Matzarakis.....	206
<b>VII-2- Comparaison des techniques de rafraichissement.....</b>	<b>207</b>
-2-1- Etude d'Eleftheria et Jones (2006).....	207
-2-2- Etude d'Echave et Cuchi (2004).....	210
<b>VII-3- Effets combinés de l'eau et la végétation.....</b>	<b>214</b>
-3-1- Etude de Robitu et al (2006).....	214
-3-2- La recherche de Termotecnia group (1987- 1992).....	217
Conclusion.....	218

**ChapitreVIII** **Investigation**

Introduction.....	220
<b>VIII-1- Méthodologie de l'investigation.....</b>	<b>221</b>
<b>VIII-2- Etude climatique de Constantine.....</b>	<b>222</b>
-2-1- Situation.....	222
-2-2-1- Analyse du rayonnement solaire.....	223
-2-2-2- Analyse de températures de l'air.....	225
-2-2-3- Analyse de l'humidité de l'air.....	226
-2-2-4- Analyse des précipitations.....	227
-2-2-5- Analyse des vents.....	229
-2-3- Détermination des isothermes de la ville de Constantine.....	230
-2-4- Conclusion de l'analyse climatique de Constantine.....	232
<b>VIII-3- Investigation.....</b>	<b>233</b>
-3-1- Méthodologie d'approche de la partie investigation.....	234
-3-2- Les instruments de mesures.....	235
-3-3- Justification du choix du site d'investigation.....	236
-3-4- Les stations de mesures.....	238
-3-5- Effet combiné des caractéristiques géométriques des stations et les phénomènes radiatifs.....	241
-3-5-1- Orientation Est- Sud-est / Ouest- Nord- ouest.....	244
-3-5-1-1- Calcul des écarts de température de l'air entre l'urbain et le rurale .....	249
-3-5-1-2- Relation SVF et intensité de l'ICU.....	253
-3-5-1-3- Comparaison des températures de l'air des trois géométries.....	256
-3-5-1-4- Relation SVF et température de l'air.....	259

-3-5-1-6- Température du sol.....	260
-3-5-1-7- Relation SVF et température surfacique.....	262
-3-5-2- Orientation Est- Nord-est / Ouest- Sud-ouest.....	264
-3-5-2-1- Calcul des écarts de température de l'air entre l'urbain et le rural.....	269
-3-5-2-2- Relation SVF intensité de l'ICU.....	273
-3-5-2-3- Comparaison des températures de l'air des trois géométries.....	276
-3-5-2-4- Relation SVF et température de l'air.....	278
-3-5-2-5- Température du sol.....	279
-3-5-2-6- Relation SVF et température surfacique.....	281
-3-6- Effet combiné des caractéristiques géométriques des stations de mesures et l'humidité de l'air.....	282
-3-7- Effet combiné des caractéristiques géométriques des stations de mesures et les phénomènes aérauliques.....	284
Conclusion.....	291

## **Chapitre IX**

## **Simulation**

Introduction .....	293
<b>IX-1- Présentation du modèle RayMan 1.2.....</b>	<b>294</b>
<b>IX-2- Evaluation du confort humain dans les stations d'étude.....</b>	<b>298</b>
-2-1- Impact de la géométrie sur les températures moyennes radiantes (Tmrt).....	298
-2-1-1- Résultats obtenus pour les stations d'orientation E- SE /O- NO.....	306
-2-1-2- Résultats obtenus pour les stations d'orientation E- NE/ O-SO.....	309
-2-2- Impact de la géométrie sur les températures physiologiques équivalentes.....	312
-2-2-1- Résultats obtenus pour les stations d'orientation E- SE /O- NO.....	313
-2-2-2- Résultats obtenus pour les stations d'orientation E- NE/ O-SO.....	314
-2-3- Comparaison des conditions de confort dans les six stations de mesures.....	316
<b>IX-3- Les améliorations.....</b>	<b>317</b>
-3-1- Amélioration de la géométrie par l'augmentation des rapports H/W ou H/L.....	318
-3-2- Amélioration de l'Albédo du sol.....	322
-3-3- Amélioration du ratio Bowen.....	326
-3-4- Scénarios pour l'introduction de l'élément végétal (arbres).....	327
-3-5- Effet combiné de l'augmentation de l'albédo et l'introduction des arbres sur la perception du confort thermique.....	332
Conclusion.....	339
<b>Conclusion générale et recommandations.....</b>	<b>341</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>349</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>364</b>
<b>Résumés.....</b>	<b>405</b>

## LISTE DES FIGURES

Fig. I.1. Galerie couverte à Emporeion (Grèce).....	12
Fig. I.2. Schéma type de l'aération dans une maison à Emporeion (Grèce).....	12
Fig. I.3. Organisation linéaire face au sud épousant l'inclinaison du terrain.....	14
Fig. I.4. Organisation en gradin garante du droit au soleil de chaque construction...	15
Fig. I.5. Orientation des axes et des façades principales en site plat.....	16
Fig. I.6. Plan d'organisation des maisons de la région de Karst en fonction de la direction des vents dominants d'hiver.....	17
Fig. I.7. Plan de masse de Ghardaïa comme organisation compacte typique des cellules.....	18
Fig. I.8. Vue d'une ruelle semi- couverte à Rabat (Maroc).....	19
Fig. I.9. Vue des encorbellements sur rue à Damas (Syrie).....	19
Fig. I.10. Orientation Est-ouest des rues principales des différents Ksour.....	19
Fig. I.11. Diagramme Schématique le patio régulateur thermique.....	21
Fig. I.12. Températures moyennes de l'air pour les 15 jours les plus chauds en été dans les rues profondes et peu profondes.....	22
Fig. I.13. Températures moyennes de l'air en hiver dans les rues profondes et peu profondes.....	23
Fig. I.14. Humidité relative moyenne en hiver dans les rues profondes et peu Profondes.....	23
Fig. I.15. Etude de l'ensoleillement optimal et du tracé des trames par F.Marboutin.....	26
Fig. I.16. Réaménagement héliothermique d'un quartier de Paris en hiver.....	27
Fig. I.17. Etude de l'influence de l'ensoleillement sur la densité urbaine à différentes latitudes par L. Hilberseimer.....	28
Fig. I.18. Etude théorique du comportement de l'ensoleillement dans un lotissement de maisons individuelles par A. Klein.....	29
Fig. I.19. Diagramme présenté sous le titre " <i>Schéma pour détermination de l'ensoleillement.</i> ".....	31
Fig. I.20. Diagramme solaire associé à un fish-eye.....	33
Fig. I.21. Simulation de l'ensoleillement sur maquette à l'aide de l'héliedon.....	33
Fig. I.22. Test en soufflerie du Comportement du vent à la rencontre d'une combinaison d'obstacles.....	33
Fig. I.23. Logiciel de simulation en d'évaluation Solene 3D.....	33
Fig. I.24. Logiciel de simulation et d'évaluation RayMan en 3D.....	33
Fig. II.1. Prise en compte des différentes saisons garantit la praticabilité de l'espace à longueur d'année.....	40
Fig. II.2. Les bancs en bois avec accoudoirs fournissent une position assise confortable.....	41
Fig. II.3. Sièges mobiles permettant le choix de s'asseoir à l'ombre ou sous le soleil.....	41
Fig. II.4. Paley Park (New York), espace divisé en différentes zones.....	42
Fig. II.5. Spectacle sur Las Ramblas à Barcelone.....	43
Fig. II.6. Place Saint Marc (Venise), consommation rehausse la qualité des espaces urbains.....	43

Fig. II.7. Place Jussi Björlings.....	44
Fig. II.8. Place Kronhusbodarna.....	44
Fig. II.9. Place Gustav Adolfs Torg.....	44
Fig. II.10. Parc Floras Kulle.....	44
Fig. II.11. Répartition des réponses concernant l'évaluation des interviewés sur l'esthétique de chacun des endroits urbains.....	45
Fig. II.12. Répartition des réponses concernant l'évaluation des interviewés du microclimat dans chacun des endroits urbains.....	46
Fig. II.13. Valeurs moyennes pour l'évaluation de l'esthétique et du microclimat dans l'étude.....	47
Fig. II.14. Agora grec bordé d'un double rang de colonnes.....	49
Fig. II.15. Agora de Milet au tracé régulier.....	50
Fig. II.16. Agora d'Assos au tracé irrégulier.....	50
Fig. II.17. Forum de lutte.....	50
Fig. II.18. Place d'une mosquée au Caire.....	51
Fig. II.19. Place parvis d'une église à Strasbourg.....	51
Fig. II.20. La place centrale à Senne sans végétation.....	52
Fig. II.21. Place saint Pierre (Rome).....	53
Fig. II.22. Place royale.....	54
Fig. II.23. Place square.....	55
Fig. II.24. Place de l'étoile (Paris).....	55
Fig. II.25. Place des trois pouvoirs, Brasilia, hors échelle humaine.....	56
Fig. II.26. Types d'espaces urbains.....	58
Fig. II.27. les tracés des places dans la ville contemporaine.....	61
Fig. III.1. Part de la population urbaine au Moyen-Orient et en Afrique du Nord et total pour les pays en voie développement.....	64
Fig. III.2. Les différentes couches de l'atmosphère terrestre et la troposphère.....	65
Fig. III.3. structure verticale de la couche limite urbaine pour des vitesses de vent inférieures et supérieures à 3 m/s.....	66
Fig. III.4. Représentation schématique de la couche limite urbaine à (a) Mésos-échelle, (b) échelle locale et (c) micro-échelle.....	68
Fig. III.5. Augmentation continue des températures moyennes de l'air au courant d'un siècle dans les villes du Japon.....	69
Fig. III.6. Taux de refroidissement de l'air $\Delta T/\Delta t$ (en °C/h) et intensité de l'îlot de chaleur urbain $\Delta T_{u-r}$ (°C) à Montréal.....	70
Fig. III.7. Association entre les températures moyennes enregistrées par l'aéroport et le taux de mortalité à Londres.....	71
Fig. III.8. Phénomène d'amplification de l'îlot de chaleur urbain dû aux sources anthropogéniques dont les systèmes de climatisation.....	72
Fig. III.9. Relation entre l'intensité maximale de l'îlot de chaleur et la population....	73
Fig. III.10. Croquis d'un profil d'îlot de chaleur urbain.....	74
Fig. III.11. les différentes composantes du rayonnement net.....	75
Fig. III.12. Les différentes composantes du bilan d'énergie.....	78
Fig. III.13. Schémas des flux d'énergie à la surface du sol, de jour et de nuit.....	78
Fig. III.14. Bilan d'énergie au dessus d'une ville.....	79
Fig. III.15. Bilan radiatif au dessus d'une ville.....	80
Fig. III.16. Valeurs d'albédo pour les différents types de surfaces urbaines.....	82

Fig. III.17.Température de l'air au dessus des surfaces naturelles et des surfaces artificielles.....	82
Fig. III.18.Différence entre température de l'air et température surfacique au niveau de l'asphalte.....	83
Fig. III.19.Effet de piégeage.....	
Fig. III.20.Scénario de l'augmentation de la température globale sur 100 ans.....	86
Fig. III.21.Carte des températures des surfaces à Singapour.....	87
Fig. III.22.Brise de Ville.....	88
Fig. III.23.Variation diurne de l'humidité absolue entre une zone urbaine et une rurale en été.....	89
Fig. III.24. Profils de vitesses du vent pour trois différents types de surfaces.....	90
Fig. III.25.Graphe d'estimation de la vitesse du vent.....	93
Fig.IV.1 . Effet du rapport H/W sur les températures de l'air.....	98
Fig.IV.2 . Relation de l'intensité de L'ICU nocturne et le rapport H/W.....	98
Fig.IV.3. Différentes classes de typologie urbaine : canyon, dièdre et dégagée .....	99
Fig.IV.4 .Photos Fish-eye des trois classes de typologie urbaine.....	99
Fig.IV.5 . Différents ratio H/W configurés dans l'étude sur Athènes.....	102
Fig.IV.6.Relation entre le SVF et les températures surfaciques.....	106
Fig.IV.7. Températures moyennes journalières en fonction du SVF.....	108
Fig.IV.8. Variations des températures de l'air et des températures du sol en fonction du SVF pour des espaces homogènes.....	109
Fig.IV.9.Forme des Groupements choisis selon l'occupation du sol.....	112
Fig.IV.10. Formes bâties choisies pour l'évaluation de la radiation solaire.....	113
Fig.IV.11. Le site d'Amerikis et Ammonias.....	114
Fig.IV.12. Critères d'évaluation d'une place urbaine.....	116
Fig.IV.13.Orientation et masques d'environnement affectent l'énergie reçue par rayonnement .....	117
Fig.IV.14. Rayonnement diffus reçu dans une place.....	117
Fig.IV.15. Les rayons en courtes longueurs d'ondes réfléchis.....	118
Fig.IV.16. Le degré d'ouverture au ciel détermine la libération des radiations infrarouges vers l'atmosphère.....	119
Fig.IV.17. Les ratios définissant les paramètres géométriques de la cour.....	120
Fig.IV.18. L'effet du changement du ratio $R_1$ et le ratio $R_2$ sur l'énergie solaire reçue en été par l'enveloppe du patio.....	121
Fig.IV.19. L'effet du changement du ratio $R_1$ et le ratio $R_2$ sur l'énergie Solaire reçue par l'enveloppe du patio en hiver.....	121
Fig.IV.20.Effet de l'introduction d'un auvent au niveau du mur sud sur l'énergie solaire reçue par un patio en été.....	121
Fig.IV.21. Comportement des rayons solaires incidents sur un sol nu et végétalisé à proximité d'une paroi verticale.....	124
Fig.IV.22.Echanges radiatifs entre les différentes surfaces composant l'environnement de l'espace ouvert.....	125
Fig.IV.23. Simulation en soufflerie du comportement du vent à la rencontre des obstacles urbains.....	126
Fig.IV.24.Représentation graphique du modèle CFD avec les directions $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ .....	127
Fig.IV.25.Square avec ouvertures au milieu, largeur 10m, 20m, 30m.....	128
Fig.IV.26.Square avec les ouvertures aux coins, largeur 7m, 14m, 21m.....	128

Fig.IV.27. Une vitesse de vent inférieure quand les immeubles aux bords sont moins élevés que ceux du voisinage.....	128
Fig.IV.28. Graphique vectoriel montrant les directions et vitesses du vent dans le square selon la hauteur des bâtiments aux bords.....	129
Fig.IV.29. Graphique vectoriel montrant les directions et vitesses du vent Selon les ouvertures aux coins ou au milieu.....	129
Fig.IV.30. Régime d'écoulement du vent à une direction transversale.....	130
Fig.IV.31. Influence des ratios H/W et L/ H sur l'écoulement du vent.....	131
Fig.IV.32. Dimension transversale optimale pour une maille.....	132
Fig.V.1. Echanges par convection entre le corps humain et l'air.....	141
Fig.V.2. Description schématique des échanges énergétiques d'un piéton avec son environnement.....	144
Fig.V.3. Conditions de confort dans les espaces ouverts pour un piéton au soleil (à gauche) et à l'ombre (à droite) d'après Penwarden.....	145
Fig.V.4. Comparaison entre le vote de sensation effective (ASV) obtenu à partir des questionnaires et le (PMV) calculé à partir du modèle mathématique.....	149
Fig.V.5. Relation entre Tmrt et PET durant des journées d'été (2001) à Fribourg	152
Fig.V.6. Diagrammes polaires des dix stations de mesures àTelheires.....	152
Fig.V.7. Estimation de la PET pour un été chaud à Telheires.....	154
Fig.V.8. Places et parcs évalués en Suède et au Japon.....	159
Fig.V.9 .Comparaison des résultats de l'évaluation du confort dans les places et parc japonais et suédois.....	160
Fig.VI.1. Définition des matériaux chauds et des matériaux froids.....	165
Fig.VI.2 .Températures de surface des couvertures au sol.....	166
Fig.VI.3. Différentes couvertures utilisées pour l'ombrage.....	166
Fig.VI.4. Températures surfaciques des carreaux de béton sous différentes couvertures utilisées pour l'ombrage.....	167
Fig.VI.5.Températures de l'air des carreaux de béton sous différentes couvertures utilisées pour l'ombrage.....	167
Fig.VI.6. Les effets optiques de l'eau.....	168
Fig.VI.7 .Températures surfaciques de l'eau et de l'asphalte.....	169
Fig.VI.8.Variation de la chaleur latente de vaporisation de l'eau en fonction de la température de l'air.....	170
Fig.VI.9. Stratégie de rendre les surfaces urbaines perméables.....	172
Fig.VI.10. L'eau ruisselant en surface dans les espaces ouverts augmente le flux latent.....	172
Fig.VI.11.L'Arbre tamise la lumière et préserve le confort.....	174
Fig.VI.12. Absorption, transmission et réflexion des feuilles d'arbres.....	175
Fig.VI.13. Division de la densité du rayonnement solaire reçu par un feuillage.....	176
Fig.VI.14. Réduction des températures des surfaces des bâtiments par l'ombrage des arbres.....	177
Fig.VI.15. Formes des ombres projetées selon les différentes formes d'espèces d'arbres.....	177
Fig.VI.16. Evolution de la longueur d'ombre projetée par les arbres selon la canopée, l'azimut et l'angle solaire.....	178
Fig.VI.17.Comparaison de l'ombre projetée par rapport au diamètre de la	

couronne .....	179
Fig.VI.18 : Diagramme illustrant que la longueur d'ombre perdue par les larges canopées rondes est compensée par leur largeur.....	179
Fig. VI.19: Stratégies de contrôle microclimatique à travers les caractéristiques de la végétation.....	180
Fig. VI.20 Comparaison des effets thermiques à l'ombre et au soleil d'une pelouse et une allée minérale.....	181
Fig. VI.21. Thermographie d'un arbres sous le soleil lignes blanches = isothermes à 27, 28 et 29 °C.....	183
Fig.VI.22: Variations du taux de transpiration des feuilles en fonction des températures de l'air et des vitesses du vent.....	184
Fig.VI.23 : Effet protecteur d'un brise vent en fonction de sa longueur et sa hauteur.....	186
Fig.VI.24: Représentation schématique de l'effet d'un brise-vent sur l'écoulement de l'air.....	186
Fig.VI.25 : Effet de protection en fonction de la densité de l'écran.....	187
Fig.VI.26 : Effet de la distance du brise-vent en fonction de la hauteur.....	126
Fig.VI.27 : Variation de la vitesse du vent en fonction de la distance à un brise vent constitué de 3 bandes superposées.....	189
Fig.VI.28 L'effet brise- vent de la végétation.....	190
Fig.VII.1. les diagrammes Fish-eye du SVF produits par le modèle Rayman illustrent l'ombre des trois situations.....	193
Fig.VII.2.Températures moyennes radiante $T_{mrt}$ et PET calculées par RayMan dans les trois structures urbaines et sur le toit.....	194
Fig.VII.4.Plan et section des deux cours urbaines A et B et le graphique ..... du taux de refroidissement fonction de la surface partielle d'ombre (PSA).....	198
Fig.VII.5. Caractéristiques géométriques de la rue avec différents pourcentages de couverture d'arbres.....	199
Fig.VII.6. Sites caractérisés par une grande intensité d'îlot de chaleur diurne.....	201
Fig.VII.7. Section de la place della Scienza à Milan, <b>A</b> en 2002, <b>B</b> en 2032.....	203
Fig.VII.8. Résultats du bilan pour le point $P_1$ de 2002- 2032.....	204
Fig.VII.9. Impact de la croissance de l'arbre sur la surface vue par le ciel au point $P_1$ .....	205
Fig.VII.10. température de surface pour un toit en béton [con], toit en béton enduit de blanc [wh-con] , toit en béton enduit de blanc après vieillissement [old-wh-con], toit vert [gr r], toiture bassin [water] et pergola [gr r] pour Athènes.....	208
Fig.VII.11. Température physiologique équivalente pour une personne debout sur un toit en béton [con], toit en béton enduit de blanc [wh-con], toit en béton enduit de blanc après vieillissement [old-wh-con], toit vert [gr r], toiture bassin [water] et pergola [gr r] pour Athènes.....	209
Fig.VII.12 .Caractéristiques de la rue.....	211
Fig.VII.13. Positions des points d'analyse.....	214
Fig.VII.14 températures surfaciques et rayonnement solaire à la place Fleuriot en situation nue et réelle.....	215
Fig.VII.15.Différence de température de surface entre la situation nue et la situation réelle à 12 h.....	216
Fig.VII.16. La température moyenne radiante et l'indice PMV à 1.5 m au-dessus du sol pour une personne debout dans les points $P_2$ et $P_3$ .....	217
Fig.VII. 17. Parmi les stratégies de rafraîchissement utilisées dans l'Expo de Séville.....	218

Fig.VII.18. Effets climatiques des systèmes de rafraîchissement par humidification utilisés à Séville, au pavillon de la CE. Température et humidité à différents niveaux (0.5, 1, 1.5m).....	218
Fig.VIII.1. Situation géographique de la ville de Constantine.....	223
Fig.VIII.2. Moyenne mensuelle de la durée d'insolation totale de la ville de Constantine. Période 1995-2005.....	224
Fig.VIII.3. Diagramme des variations mensuelles de l'énergie incidente sur un plan horizontal.....	224
Fig.VIII.4. Variations des températures de l'air extérieures de la ville de Constantine Période1995- 2005 .....	225
Fig.VIII.5. Variations des humidités relatives à Constantine Période 1995- 2005.....	226
Fig.VIII.6. variations des températures et des humidités relatives annuelles Constantine période 1995- 2005.....	227
Fig.VIII.7. Précipitation de la ville de Constantine. Période 1995- 2005.....	227
Fig.VIII.8. Diagramme ombrothermique de la ville de Constantine Période 1995-2005.....	228
Fig.VIII.9. Diagramme des variations des vitesses de vent de la ville de Constantine. Période 1995- 2005.....	230
Fig.VIII.10. Rose des vents de la ville de Constantine. Période 1995- 2005.....	230
Fig.VIII.11. Matrice des isothermes par mois et en heures.....	231
Fig.VIII.12. : la zone de surchauffe reportée sur le diagramme solaire.....	232
Fig.VIII.13. Vue aérienne des stations retenues pour l'investigation à Ali Mendjli...	234
Fig.VIII.14. Appareils de mesures des variables climatiques.....	235
Fig.VIII.15. Carte des pentes de la nouvelle ville –Ali- Mendjli.....	236
Fig.VIII.16. Absence de masques naturels expose Ali Mendjli au rayonnement direct intense.....	236
Fig.VIII.17. couleurs claires des façades - Ali Mendjli.....	237
Fig.VIII.18. La végétation poussant dans les stations de mesures.....	238
Fig.VIII.19. Configurations au sol des stations de mesures et positions des points de mesures.....	239
Fig.VIII.20. Abaques de calcul de facteur de forme entre différentes surfaces.....	242
Fig.VIII.21. Comparaison du comportement thermique et aéroulque en fonction de l'orientation pour deux stations de même SVF et forme géométrique au sol.....	243
Fig.VIII.22. Photo aérienne de la station <b>A</b> (SVF 0.688).....	244
Fig.VIII.23. Evolution de l'ombre du lever au coucher du soleil et direction du vent dans la station <b>A</b> (SVF 0.688).....	245
Fig.VIII.24. Photo aérienne de la station <b>B</b> (SVF 0.585).....	246
Fig.VIII.25. Evolution de l'ombre du lever au coucher du soleil et direction du vent dans la station <b>B</b> (SVF 0.585).....	247
Fig.VIII.26. Photo aérienne de la station <b>F</b> (SVF 0.594).....	247
Fig.VIII.27. Evolution de l'ombre du lever au coucher du soleil et direction du vent dans la station <b>F</b> (SVF 0.594).....	248
Fig.VIII.28. Comparaison des variables microclimatiques mesurées à la station <b>A</b> avec les données météorologiques de la station d'Ain El Bey.....	249
Fig.VIII.29. Comparaison des variables microclimatiques mesurées à la station <b>B</b> avec les données météorologiques de la station d'Ain El Bey.....	250
Fig.VIII.30. Comparaison des variables microclimatiques mesurées à la station <b>F</b> avec les données météorologiques de la station d'Ain El Bey.....	250

Fig.VIII.31. Valeurs des écarts de températures $\Delta T_{u-r}$ entre les stations de mesures E-SE / O-NO et la station météorologique d' Aïn el Bey.....	251
Fig.VIII.32. Corrélation entre SVF et $\Delta T_{u-r}$ moyen pour les stations d'orientation E-SE / O-NO.....	255
Fig.VIII.33. Corrélation entre SVF et $\Delta T_{u-r}$ pour les stations d'orientation E-SE / O-NO de même nature du sol. (10h -16h).....	256
Fig.VIII.34. Comparaison des variations des températures de l'air au niveau des stations A, B, F en fonction de la composante horizontale du vent.....	257
Fig.VIII.35. Comparaison des températures de l'air au niveau des stations A, B, F en fonction de la composante verticale du vent.....	258
Fig.VIII.36. Corrélation entre SVF et température de l'air des stations d'orientation E-SE / O-NO (8h- 18h).....	256
Fig.VIII.37. Comparaison des températures du sol au niveau des stations A,B, F en fonction de la composante verticale du vent.....	261
Fig.VIII.38. Corrélation entre SVF et températures des surfaces au sol des stations d'orientation E-SE / O-NO pour différentes tranches horaires.....	262
Fig.VIII.39. Comportement du rayonnement solaire et du sol pendant une journée d'été.....	263
Fig.VIII.40. Photo aérienne de la station D.....	264
Fig.VIII.41. Evolution de l'ombre du lever au coucher du soleil dans la station D (SVF 0.613).....	265
Fig.VIII.42. Photo aérienne de la station C (SVF 0.544).....	266
Fig.VIII.43. Evolution de l'ombre du lever au coucher du soleil dans la station C.....	267
Fig.VIII.44. Photo aérienne de la station E (SVF 0.497).....	267
Fig.VIII.45. Evolution de l'ombre du lever au coucher du soleil dans la station E (SVF 0.497).....	268
Fig.VIII.46. Comparaison des variables mesurées à la station <b>D</b> avec les données de la station météorologique d' Aïn El Bey.....	269
Fig.VIII.47. Comparaison des variables microclimatiques mesurées à la station C avec les données météorologiques de la station d' Aïn El Bey.....	270
Fig.VIII.48. Comparaison des variables microclimatiques mesurées à la station <b>E</b> avec les données météorologiques de la station d' Aïn El Bey .....	270
Fig.VIII.49. Valeurs des écarts de températures $\Delta T_{u-r}$ entre les stations de mesure E-NE / O-SO et la station météorologique de Aïn el Bey.....	271
Fig.VIII.50. Corrélation entre SVF et $\Delta T_{u-r}$ pour les stations d'orientation pour les stations d'orientation E-NE / O-SO. Période 6h- 20h.....	274
Fig.VIII.51. Corrélation entre SVF et $\Delta T_{u-r}$ pour les stations d'orientation E-NE / O-SO de même nature de surface au sol.....	275
Fig.VIII.52. Comparaison des variations des températures de l'air au niveau des stations C, D, E en fonction de la composante horizontale du vent.....	277
Fig.VIII.53. Comparaison des variations des températures de l'air au niveau des stations C, D, E en fonction de la composante verticale du vent.....	277
Fig.VIII.54. Corrélation entre SVF et température de l'air pour les stations d'orientation E-NE/ O-SO.....	278
Fig.VIII.55. Comparaison des variations des températures du sol au niveau des stations C, D, E en fonction de la composante verticale du vent.....	280
Fig.VIII.56. Corrélation entre SVF et température surfacique pour les stations d'orientation E-NE/ O-SO.....	281
Fig.VIII.57. Comparaison de l'humidité relative de l'air dans les stations de	

mesure d'orientation E-SE / O-NO avec les données de la station météorologique de référence.....	282
Fig.VIII.58. Comparaison des variations de l'humidité relative au niveau des stations C, D, E, NE / SO, en fonction de la composante horizontale du vent.....	283
Fig.VIII.59. Graphiques des vitesses d'écoulement du vent dans les six stations de mesures en fonction de son angle d'incidence sur l'axe d'orientation de l'espace ouvert.....	286
Fig.VIII.60. Ecoulement du vent dans la station <b>A</b> .....	287
Fig.VIII.61. Comportement du vent dans la station <b>B</b> .....	287
Fig.VIII.62. Comportement du vent à la rencontre d'une forme en U telle que <b>C</b> ....	288
Fig.VIII.63. Comportement du vent dans la station <b>F</b> .....	289
Fig.VIII.64. Effet de trou qui frappe la station <b>D</b> .....	289
Fig.VIII.65. La topographie de l'espace <b>E</b> l'obstrue à toute circulation d'air.....	290
Fig.IX.1. Fenêtre des inputs "obstacles".....	294
Fig.IX.2. Fenêtres d'introduction des coordonnées de chaque coin de bâtiment et des caractéristiques géométriques des arbres.....	295
Fig.IX.3. diagramme polaire d'une configuration urbaine.....	295
Fig.IX.4. La grande corrélation entre le SVF calculé et estimé par Ray Man.....	295
Fig.IX.5. Calcul du SVF depuis une photo fish-eye.....	296
Fig.IX.6. Fenêtre principale de Ray Man.....	296
Fig.IX.7. Tableau de l'ensoleillement journalier de chaque espace.....	297
Fig.IX.8. Corrélation entre les valeurs mesurées et celles estimées par Rayman.....	299
Fig.IX.9. des variations de la Tmrt au niveau des stations A, B et F en fonction des températures du sol.....	306
Fig.IX.10. Comparaison des variations de la Tmrt au niveau des stations A, B et F en fonction des vitesses de vent (Vh).....	307
Fig.IX.11. Heures où le rayonnement direct frappe le corps hypothétique pour les stations A, B et F après le lever du soleil.....	307
Fig.IX.12. Heures où le corps hypothétique est complètement à l'ombre dans les stations A, B et F avant le coucher du soleil.....	307
Fig.IX.13. comparaison des variations de la Tmrt au niveau des stations C, D et E en fonction de la température du sol.....	310
Fig.IX.14. des variations de la Tmrt au niveau des stations C, D et E en fonction des vitesses de vent (Vh).....	310
Fig.IX.15. Heures où le rayonnement direct frappe le corps hypothétique pour les stations C, D et E après le lever du soleil.....	311
Fig.IX.16. Heures où le corps hypothétique est complètement à l'ombre dans les stations C, D et E avant le coucher du soleil.....	311
Fig.IX.17. Comparaison des variations de la PET en fonction de la Tmrt dans les stations A, B et F.....	313
Fig.IX.18. Comparaison des variations de la PET en fonction de la Tmrt dans les stations C, D et E.....	315
Fig.IX.19. variations des moyennes des variables microclimatiques et des indices de confort thermique en fonction du SVF.....	317
Fig.IX.20. Diagrammes polaires pour les nouvelles valeurs du SVF.....	319
Fig.IX.21. Portées d'ombres en période hivernal (21 décembre) par l'augmentation de la profondeur de l'espace.....	321
Fig.IX.22. Diagramme polaire pour un H/W = 0.6.....	322

Fig.IX.23. Diagramme des variations des températures surfaciques en fonction de l'albédo au niveau de la station <b>B</b> .....	323
Fig.IX.24. Comparaison des variations de la Tmrt et la PET en fonction de l'albédo au niveau de la station <b>B</b> .....	324
Fig.IX.25. Comparaison des variations de la Tmrt et la PET en fonction de l'albédo au niveau de la station <b>E</b> .....	325
Fig.IX.26. Variations des températures surfaciques et la PET en fonction de l'albédo et du ratio Bowen dans la station <b>A</b> .....	326
Fig.IX.27. Variations des températures surfaciques et la PET en fonction de l'albédo et du ratio Bowen dans la station <b>B</b> .....	326
Fig.IX.28. Variations de la PET en situation réelle et selon les 4 scénarios proposés	329
Fig.IX.29. Ecart de températures surfaciques du sol entre situation réelle et après introduction des arbres.....	330
Fig.IX.30. Variations de la PET selon la hauteur du tronc.....	331
Fig.IX.31. Valeurs de la PET pour un arbre de même couronne avec une différence d'hauteur de l'arbre.....	332
Fig.IX.32. Variations des températures du sol et de la PET en situation réelle et après introduction des arbres dans la station <b>A</b> .....	335
Fig.IX.33. Variations des températures du sol et de la PET en situation réelle et après introduction des arbres dans la station <b>B</b> .....	335
Fig.IX.34. Variations des températures du sol et de la PET en situation réelle et après introduction des arbres dans la station <b>F</b> .....	336
Fig.IX.35. Variations des températures du sol et de la PET en situation réelle et après introduction des arbres dans la station <b>D</b> .....	336
Fig.IX.36. Variations des températures du sol et de la PET en situation réelle et après introduction des arbres dans la station <b>C</b> .....	336
Fig.IX.37. Variations des températures du sol et de la PET en situation réelle et après introduction des arbres dans la station <b>C</b> .....	337

### LISTE DES TABLEAUX

Tab.III.1. Intensité de l'îlot de chaleur en fonction de la vitesse du vent Centre-Ville de Paris.....	73
Tab.III. 2. Valeurs de l'albédo et l'émissivité de quelques matériaux de constructions et de revêtement.....	84
Tab.III.3. Valeurs suggérées de $Z_G$ et $\alpha$ pour divers catégories de terrain.....	91
Tab.IV.1. Résultats du scénario du « cas extrême de surchauffe » pour les surfaces horizontales pour différents ratio (H/W) et différentes orientations.....	102
Tab.IV.2. Résultats du scénario du « cas extrême de surchauffe » pour les surfaces verticales pour différents ratio (H/W) et différentes orientations.....	103
Tab.IV.3. Résumé des recherches examinant la relation entre la température de l'air nocturne et le SVF.....	107
Tab.IV.4. Résultats des moyennes et minimales des températures surfaciques et les minimales des températures moyennes de l'air en fonction du SVF.....	108

Tab.V.1 .Classification de la dépense énergétique selon la norme ISO 8996.....	138
Tab.V. 2. Caractéristiques du critère 5 m/s. A= Acceptable, I= Inconfortable, TI= Très inconfortable / Dangereux.....	146
Tab.V.4.Klima Michel Model (PMV) Jendritzky 1979.....	149
Tab.V.4. Méthode Comfa Bilan thermique Brown et Gillespie.....	150
Tab.V.5. Classes de sensation thermique indiquées par la PET.....	151
Tab.V.6. Le vote de sensation effectif ASV (Nikolopoulou).....	156
Tab.VI.1 Températures du pavage minéral et pelouses sèches et humides.....	182
Tab.VII.1. Valeur du taux de refroidissement journalier maximum K des espaces urbains arborés par rapport à un espace nu de référence (R).....	197
Tab.VII.2. Caractéristiques des arbres utilisés pour la simulation.....	199
Tab.VII.3. L'effet de refroidissement des différentes espèces d'arbres d'une rue selon différentes géométries en fonction de leurs protections maximales à 15h durant le mois de Juillet à Tel-Aviv.....	201
Tab.VII.4. Résultats du bilan de 2002 à 2032 le 12 juillet à 12h solaire.....	204
Tab.VII.5.tableau récapitulatif des différences des températures de surface ( $\Delta T_s$ en °C) entre le toit en béton de référence et les différents types de toits.....	208
Tab.VII.6. Scénario A.....	212
Tab.VII.7 .Scénario B.....	213
Tab.VII.8. Scénario C.....	213
Tab.VIII.1. Caractéristiques significatives pour l'étude des stations de mesure.....	240
Tab.VIII.2. Calculs de facteur de forme pour la station A.....	245
Tab.VIII.3. Calculs de facteur de forme pour la station B.....	246
Tab.VIII.4. Calculs de facteur de forme pour la station F.....	248
Tab.VIII.5. Calculs des écarts de température de l'air entre les stations d'orientation (E-SE / O-NO) et la station de référence.....	254
Tab.VIII. 6: Calculs du coefficient de détermination entre SVF et $\Delta T_{u-r}$ pour les stations d'orientation E-SE / O-NO de même nature du sol.....	255
Tab. VIII.7 .Calculs de facteur de forme pour la station D.....	265
Tab. VII.8. Calculs de facteur de forme pour la station C.....	266
Tab. VIII.9 .Calculs de facteur de forme pour la station E.....	268
Tab. VIII.10. Calculs du coefficient de détermination entre SVF et $\Delta T_{u-r}$ pour les stations d'orientation E-NE / O-SO.....	274
Tab. VIII.11. Calculs du coefficient de détermination entre SVF et $\Delta T_{u-r}$ pour les stations d'orientation E-NE / O-SO de même nature du sol.....	275
Tab. VIII.12. Valeurs des vitesses de vent horizontal et turbulences en rapport avec l'angle d'incidence sur l'axe d'orientation de l'espace.....	285
Tab. IX.1. Résultats pour la station A.....	300
Tab. IX.2. Résultats pour la station B.....	301
Tab. IX.3. Résultats pour la station F.....	302
Tab. IX.4. Résultats pour la station D.....	303
Tab. IX.5. Résultats pour la station C.....	304
Tab. IX.6. Résultats pour la station E.....	305
Tab. IX.7. Valeurs journalières de l'ensoleillement de la station A selon les	320

variations du SVF.....	
Tab. IX.8. Comparaison des niveaux du confort pour la situation réelle, SVF 0.688 et améliorée, SVF 0.550.....	321
Tab. IX.9. tableau des écarts maximums et moyens entre situation actuelle albédo 0.05 et situations améliorées, albédo 0.50 et 0.90.....	325
Tab. IX.9. tableau des écarts maximums et moyens entre situation actuelle albédo 0.05 et situations améliorées, albédo 0.50 et 0.90.....	328
Tab. IX.11. Variations de la Ts, Tmrt et PET pour les 4 scénarios proposés.....	329
Tab. IX.12. Diagrammes polaires pour les nouvelles situations dans les stations d'orientation E- SE /O- NO.....	333
Tab. IX.13. Diagrammes polaires pour les nouvelles situations dans les stations d'orientation E- NE /O- SO.....	334
Tab.IX.14. Ecarts des différentes températures entre situation réelle et améliorée....	337

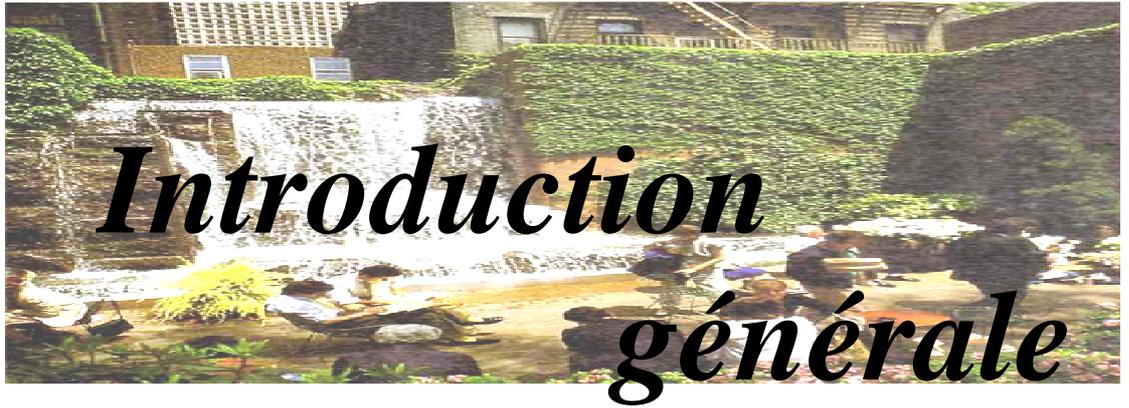
### LISTE DES EQUATIONS

Equation.III.1 : l'intensité d e l'îlot de chaleur maximale.....	73
Equation.III.2 : Rayonnement net.....	74
Equation.III.3 : Rayonnement solaire incident en grande longueur d'onde.....	75
Equation.III.4 : Rayonnement terrestre en grande longueur d'onde.....	75
Equation.III.5 : Le flux conductif .....	76
Equation.III.6 : Le flux de chaleur sensible .....	76
Equation.III.7 : Le flux de chaleur latente.....	77
Equation.III.8 : Le bilan d'énergie des surfaces naturelles.....	77
Equation.IV.1 Facteur de forme.....	96
Equation.IV.2 : L'emprise au sol.....	96
Equation.IV.3: Sky view factor (SVF).....	104
Equation.IV.4: Sky view factor (SVF).....	104
Equation.IV.5: l'intensité d e l'îlot de chaleur maximale en fonction du SVF.....	105
Equation.V.1 : Résistance thermique des Vêtements.....	139
Equation.V.2 : La convection.....	141
Equation.V.3 : Rayonnement net incident sur le corps d'un piéton.....	146
Equation.V.4 : Bilan thermique de l'être humain.....	146
Equation.V.5 : La sensation thermique.....	155
Equation.V.6 : Le vote de sensation effective ASV .....	156
Equation.VI.1: quantité d'eau évaporée par surface d'eau calme dans l'air .....	170
Equation.VI.2 coefficient d'évaporation.....	170

## NOMENCLATURE

<b>C.I.A.M</b>	Congrès international d'architecture et d'urbanisme
<b>RUROS</b>	Rediscovering the urban realm and open spaces
<b>URBACOOOL</b>	Standing for URBAAn efficient stratégies for COOLing
<b>CLA</b>	Couche limite atmosphérique
<b>CLU</b>	Couche limite urbaine (Urban Boundary Layer ou UBL)
<b>CLS</b>	Couche de surface
<b>ICU</b>	Ilot de chaleur urbain
$\Delta T_{u-r}$	Intensité de l'ICU
<b>GES</b>	Les gaz à effet de serre
<b>CFD</b>	Cumputational fluid dynamics
<b>CTTC</b>	Cluster Thermal Time constant
<b>GIS (SIG)</b>	Geographic information systems
<b>ONM</b>	Office national de météorologie
<b>OMM</b>	Organisation mondiale de météorologie
<b>CLO</b>	Rayonnement de courtes longueurs d'ondes
<b>GLO</b>	Rayonnement de grandes longueurs d'ondes
<b>Clo</b>	Résistance des vêtements
<b>Tsk</b>	Température de la peau (°C)
<b>M</b>	Métabolisme (W)
<b>PMV</b>	Vote moyen prévisible
<b>Tmrt</b>	Température moyenne radiante (°C)
<b>PET</b>	Température physiologique équivalente (°C)
<b>Ersw</b>	Taux d'évaporation de la sueur régulatrice Ersw
<b>SET</b>	Nouvelle température effective standard
<b>ASV</b>	Le vote de sensation effective
<b>TS</b>	Sensation thermique
<b>H/W</b>	Rapport Hauteur/ largeur
<b>SVF</b>	Facteur d'ouverture au ciel
<b>a</b>	Albédo d'une surface
$\varepsilon_s$	Emissivité de la surface

<b><math>\alpha</math></b>	Rugosité du terrain
<b>R<sub>n</sub></b>	Rayonnement net (W.m <sup>-2</sup> )
<b>R<sub>G</sub></b>	Rayonnement global reçu par une surface (W.m <sup>-2</sup> )
<b>G</b>	Flux conductif (W.m <sup>-2</sup> )
<b>C</b>	Flux convectif (W.m <sup>-2</sup> )
<b>H</b>	Flux de chaleur sensible (W.m <sup>-2</sup> )
<b>LE</b>	Flux de chaleur latente (M.J/ Kg)
<b>Sunch. act</b>	Durée d'ensoleillement journalier
<b>G act</b>	Rayonnement global reçu par un corps (W.m <sup>-2</sup> )
<b>E</b>	Rayonnement en grande longueur d'onde reçu par un piéton (W.m <sup>-2</sup> )
<b>RH</b>	Humidité relative. %
<b>V</b>	Vitesse du vent m/s.
<b>T<sub>s</sub></b>	Température de la surface considérée (°C)
<b>T<sub>a</sub></b>	Température de l'air (°C)



« ...une décision consciente peut être prise soit en se référant à la tradition, soit par des raisonnements logiques et l'analyse scientifique.

*Les deux démarches devraient conduire au même résultat, car la tradition est l'aboutissement de l'expérience pratique de maintes générations face à un même problème, tandis que l'analyse scientifique est simplement l'observation systématique des aspects du problème. »*

*H. Fathy<sup>1</sup>*

## **Introduction**

Depuis l'aube de l'humanité, l'homme a cherché à se protéger des aléas du climat. Partout où l'homme vit on trouve des maisons, des huttes, des tentes qui ont modifié son environnement intérieur et aussi l'espace extérieur : « *Les idées et les sentiments de ceux qui construisent se déchiffrent aisément en voyant leur conceptions du rapport entre intérieur et extérieur.* »<sup>2</sup>

Ces idées qui reflètent nettement les différentes solutions que l'homme a essayées, adoptées, développées et améliorées à travers les différentes générations pour palier à l'agressivité du climat et de l'environnement, et créer des conditions favorables pour son confort et ses activités.

Les architectes grecs sur le conseil d'Aristote orientaient le plan de la ville vers l'Est et la protégeaient du nord, et sur le conseil de Xénophon édifiaient des portiques pour procurer de l'ombre en été tout en laissant pénétrer le soleil hivernal d'angle plus réduit.<sup>3</sup> Chez les romains l'architecte Vitruve était fortement influencé par l'effet du climat de part son choix du site, du plan de la ville, de l'exposition aux vents dominants et la protection des vents chauds venant du Sud.

---

<sup>1</sup>H. Fathy, construire avec le peuple, édition Sindbad, Paris, 1979 ,P : 57

<sup>2</sup> J. Gymbal, Histoire de l'architecture de l'antiquité à nos jours, édition KÖnmann, Cologne, 1996.

<sup>3</sup> S. Maazouz, l'intégration des facteurs physiques de l'environnement dans le processus de conception architecturale, thèse de doctorat, Université Mentouri, Constantine, 2000.

Or le développement des villes et de régions n'est pas le fruit de ces principes oubliés après la chute de l'empire romain, il est aussi le résultat du développement informel et non planifié de l'architecture et l'urbanisme vernaculaire.

F.L.Wright soulignait : *« La base authentique de tout étude sérieuse de l'art architectural est encore de rechercher dans les œuvres les plus modestes que les peuples ont su produire un peu partout et que les architectes ont rarement remarquées. Ces architectures populaires sont accrochées aux sols, elles lui appartiennent elles sont naturelles, elles épousent leurs milieux, elles collent à la vie des gens. »*<sup>4</sup>

La ville a su donc par tradition, notamment dans les régions tempérées et arides, fournir des espaces adaptés climatiquement aux usages en offrant ombre et fraîcheur dans les espaces extérieurs en édifiant des constructions lourdes et rapprochées pour qu'elles se fassent mutuellement de l'ombre minimisant ainsi les surfaces d'exposition au soleil, et déviant les vents chauds indésirables par des rues étroites et tortueuses ainsi que par l'orientation de ces espaces vers le Sud pour conserver l'ensoleillement d'hiver.

Nombreuses sont les recherches qui ont affirmé l'adaptabilité de ce mode d'organisation spatiale à l'agressivité du climat : *« En termes de mesure, il a été constaté qu'une différence allant jusqu'à 5°C peut exister entre la température d'un espace ouvert et celle d'une agglomération à densité moyenne ou forte (Arbaoui.A 1998), Bourbia.F 1987 et 1999 a démontré que le prospect de la rue dans le tissu traditionnel de la ville d'El oued en Algérie offrait un climat plus agréable que le tissu contemporain. »*<sup>5</sup>

Selon toujours le même auteur, *« les résultats de recherches durant les deux dernières décennies ont tous aboutis aux conclusions suivantes: La densité des formes urbaines dans les climats arides et semi aride offrent les meilleurs conditions d'environnement. »*<sup>6</sup>

Or la compacité du tissu urbain diminue comme il a été précité de la vitesse des vents et donc réduit l'effet de la ventilation nocturne. Ce qui fait que la température de la rue ou dans l'impasse diminue très lentement à cause de l'effet du rayonnement des parois extérieures et du pavage et c'est ce qu'affirme J.R.Vaillant : *« Les nuits dans les régions tempérées notamment désertiques peuvent être comparativement froides, mais*

---

<sup>4</sup> F.L.Wright, *Architecture traditionnelle*, ETAU, 1978.

<sup>5</sup> F.Bourbia, in S. Abdou, *Investigation sur l'intégration climatique de l'habitat traditionnel en région aride et semi aride d'Algérie*, thèse de doctorat, Université Mentouri, Constantine 2003-2004.

<sup>6</sup> S.Abdou, *idem*<sup>5</sup>.

*on peut trouver à ce que l'espace urbain soit plus chaud que le territoire environnant.»<sup>7</sup>*

C'est ainsi que la géométrie urbaine constitue un des facteurs principaux de l'apparition du phénomène connu sous le nom d'îlot de chaleur urbain.

Ce mode de composition urbaine, n'a pu malheureusement pas résister aux différentes influences exogènes se rapportant en général au model occidental, d'abord sous la dominance coloniale où il y a eu apparition des larges avenues et placettes, et ensuite par l'importation de tracé se rapportant au model progressiste qui négligeait toute différence culturelle ou climatique : *« dans l'aménagement et particulièrement dans les grandes opérations d'urbanisme, les critères d'ordre bioclimatiques ont été totalement négligés, la taille des parcelles la forme, l'orientation, l'espacement des volumes, la dimension et la disposition des voies ainsi que la localisation des espaces plantés ont été avant tous déterminés par des considérations de zonage fonctionnel, d'organisation de circulation et d'économie de construction (chemin des grue\*) »<sup>8</sup>*

Donc tissu épars, parsemé d'espaces résiduels de formes régulières ou irrégulières de dimensions exagérées où aucune étude des prospects n'a été effectuée et qu'on définira comme espaces publics incompatibles, comme il a été déjà précité, à nos régions où la durée d'ensoleillement ainsi que son intensité sont considérables. Ceci a fait de ces espaces, qui devraient promouvoir la vie sociale, seulement le négatif du cadre bâti d'où leur transformation en espace de transition ou espace de commerce ambulante.

Après la crise énergétique de 1973, et pour palier aux conséquences néfastes de ce mode de production de l'espace, une multitude de recherches visant à améliorer le confort intérieur des habitations a été déclenchée. Aujourd'hui, l'objet d'étude s'est déplacé du bâtiment vers la ville où les mêmes phénomènes physiques s'exercent et ont des conséquences qui se mesurent au moins en terme de confort et de praticabilité des espaces urbains devenus le centre de la plupart des projets urbains actuels, qu'il s'agisse de mettre en valeur ou de réhabiliter des quartiers existants ou de concevoir des espaces nouveaux : *« Au cours des dernières décennies, la conception des formes urbaines s'était peu à peu affranchie de la connaissance des caractéristiques climatiques locales. Or la référence à l'environnement climatique va dans le sens d'une meilleure maîtrise de l'énergie dans l'habitat : récupération active ou passive des*

---

<sup>7</sup>J.R Vaillant, *Utilisation et promesse de l'énergie solaire*, édition Eyrolles, 1978.

<sup>8</sup>D.Shilling, " *conception des formes urbaines et contrôle énergétique*", *Actes de colloque*, Nantes 25 Avril 1986.P.63

\*Chemin de grue : les immeubles sont localisés selon la longueur du bras de la grue pour éviter de trop la déplacer.Ce système laisse beaucoup d'espaces interstitiels libres.

*apports solaires, gestion du confort thermique d'hiver et d'été. Elle est aussi un facteur important d'amélioration du cadre de vie ; il s'agit notamment d'offrir une ambiance climatique favorable pour les déplacements piétonniers ou les espaces de vie extérieurs en veillant à l'adéquation entre leurs usages et leurs conditions d'ensoleillement ou de protection aux vents.»<sup>9</sup>*

En effet, le confort thermique négligé de ces espaces extérieurs est d'une importance capitale car influençant sur le confort intérieur. Selon différentes recherches, une personne exposée à des conditions climatiques défavorables telle que la surchauffe pendant une certaine durée demande un degré de confort thermique supérieur à l'habituel quand elle est à l'intérieur.<sup>10</sup> En conséquence directe, les consommations énergétiques augmentent sensiblement notamment avec l'évolution des exigences de confort accrues dans les bâtiments qui entraîne le développement de la climatisation. Indirectement, l'effet d'îlot de chaleur urbain s'amplifie par la chaleur rejetée par les appareils de climatisation et par la diminution de l'albédo des surfaces urbaines, notamment avec la disparition de la végétation.

Donc le confort intérieur tant étudié est indissociable de celui des espaces extérieurs qui chacun d'eux engendre un microclimat propre à lui résultat de l'interaction de plusieurs paramètres climatique à savoir: température de l'air, le degré d'hygrométrie, l'intensité du rayonnement solaire ainsi que la vitesse du vent. A cela se rajoute la densité du tissu, sa géométrie, propriétés physiques des matériaux de construction avec leur pouvoir d'absorption ou de réflexion du rayonnement solaire.

Désormais, et dans le cadre du développement durable où la compréhension de la ville, des raisons de sa pérennité et les conditions harmonieuses de sa croissance sont au cœur de la qualité de la vie des concitoyens du monde d'aujourd'hui et de demain, il conviendrait à l'urbanisme de se préoccuper beaucoup plus de l'intensité du rayonnement parvenant aux immeubles, aux espaces verts, aux plans d'eau et aux espaces publics. Selon le cas il faut capter au maximum cette énergie ou bien se protéger de son excès, et cela est dicté par la latitude, altitude et des saisons, et en fonction de la nature des matériaux utilisés pour les constructions, de l'orientation des façades, de la largeurs des voies et des places publiques, des hauteurs des bâtiments et

---

<sup>9</sup>Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie ADEME, <http://www.ademe.fr/bretagne>, Pages consultées le 3/7/2006.

<sup>10</sup> S.A.Khandaker, "Comfort in urban spaces: defining the boundaries of outdoor thermal comfort for the tropical urban environments", *Energy and Building* 35, 2003, pp.103-110.

les ombres qu'ils portent les uns sur les autres ainsi que les zones ombrées et ensoleillées qu'ils peuvent générer.

Donc un art urbain maîtrisé doit se donner les moyens de contrôler les ambiances extérieures en fonction des usages programmés et de ne pas abandonner cela au pur hasard.

## **1- Problématique**

La ville n'a jamais été une entité bâtie continue et dense, mais elle a toujours inclus une variété de formes et d'espaces urbains.

Ces espaces extérieurs exercent une fonction primordiale ; ils recréent la vie et la jouissance que donne un environnement intéressant plein de vitalité et d'animation. Lieux de relaxation et de détente improvisée, lieux de circulation et de communication, lieux où se tissent les relations sociales par les rencontres qu'ils occasionnent. Ils permettent aussi de lutter contre les nuisances phoniques en formant une barrière acoustique entre l'habitat et le trafic routier ainsi que les nuisances atmosphériques participant ainsi à offrir une bonne qualité de vie.

Toutes ces fonctions multiples doivent être envisagées de façon globale de telle sorte que la ville donne un sentiment d'unité et donc de personnalité car, à l'égal des monuments et des ensembles bâtis, ces lieux sont aussi des éléments qui caractérisent la ville à laquelle ils appartiennent.

Seulement dans l'esprit des aménageurs, le succès de ces espaces est souvent associé à une sensation visuelle positive procurée par des facteurs relevant de l'esthétique : vues dégagées vers le paysage ou les bâtiments environnants, une belle végétation, des façades spectaculaires, un mobilier urbain de qualité. Or les facteurs microclimatiques sont de prime importance pour les activités qui se déroulent sur cet espace et jusqu'à un certain point déterminent son occupation où sa désertion par les usagers. K. Lynch disait : « *La qualité sensible d'un lieu réside pour une grande part dans son climat, en particulier dans son microclimat. La collecte des données climatiques contribue à l'analyse du lieu et à résoudre ses problèmes climatiques par les moyens d'amélioration.* »<sup>11</sup>

---

<sup>11</sup> K.Lynch, Voir et planifier ou l'aménagement qualitatif de l'espace, édition Bordas, 1982.

C'est pourquoi comprendre la richesse des caractéristiques microclimatiques d'un espace extérieur ainsi que leurs implications en termes de confort des usagers ouvre de nouvelles possibilités au développement des espaces urbains.

Le comportement d'un espace urbain vis-à-vis du climat peut, en première approche, être subdivisé en deux éléments :

- La morphologie propre de l'espace.
- La correction apportée par les éléments contenus par l'espace

La morphologie propre de l'espace commande un certain nombre de phénomènes inéluctables à savoir :

- La répartition des zones ombrées et ensoleillées tributaire de l'orientation et des hauteurs des éléments bâtis ainsi que du rapport hauteur/ largeur entre le bâtiment et l'espace ouvert, d'où le facteur d'ouverture au ciel **SVF** (angle solide sous lequel le ciel est vu depuis un espace urbain).

Le **SVF** détermine les échanges de chaleur par rayonnement entre la ville et le ciel et par conséquent, crée des champs radiatifs et thermiques qui peuvent faire de l'espace un puits de rafraîchissement ou un piège à la chaleur.

- Les écoulements d'air sous les effets du vent générés par le degré de porosité ou d'obstruction de l'espace à ces vents.

Ces deux phénomènes ont une action directe sur le confort de l'utilisateur de la ville, ils déterminent les températures des surfaces environnantes, la vitesse d'air en contact avec le corps humain, et la température d'air résultant de ces échanges.

Les éléments contenus par les espaces urbains peuvent apporter des corrections importantes à cette situation de départ:

- En ajoutant des ombres dans les zones ensoleillées.
- En introduisant des échanges thermiques "latents" (cycle évaporatif de l'eau ou des végétaux par évapotranspiration) susceptibles de modifier la température d'air ou celle des surfaces.

La ville de Constantine à climat semi-aride, où on note un manque flagrant de ces espaces extérieurs de récréation et de détente surtout en période estivale, se doit à travers ses décideurs et ses urbanistes recréer la vie et animer le cadre de vie de ses habitants en aménageant ces lieux de rencontre et d'échanges.

Mais quelles sont les meilleures formes et dimensions que peuvent prendre ces espaces pour être praticables surtout à longueur des journées d'été et pourquoi ne pas être un havre pendant les jours caniculaires?

Quels sont les critères et les éléments qu'on pourra rajouter pour optimiser au maximum ces formes du point de vue confort thermique ?

A quel pourcentage ces derniers contribuent-ils à améliorer le confort thermique dans ces espaces ou le réhabiliter dans des espaces préexistants?

Pour répondre à ces questions et pouvoir évaluer quantitativement et qualitativement le degré de confort thermique que peut procurer l'une ou l'autre des formes, des hypothèses sont formulées qui peuvent être à la base de la quête de la meilleure géométrie ou solution.

## **2- Les hypothèses**

- N'importe quelle forme géométrique de l'espace avec un degré d'ouverture au ciel faible peut lui garantir, à lui seul, un rafraîchissement à longueur de journée d'été.
- N'importe quelle forme, avec une bonne disposition et orientation des ouvertures aux vents peut garantir le confort thermique, notamment durant les heures de surchauffe, même avec un degré d'ouverture au ciel conséquent.
- Les matériaux à haut albédo ainsi que les éléments surajoutés tels que la végétation en différents points et avec n'importe quelle forme peuvent garantir un grand degré de confort thermique quel que soit le degré d'ouverture au ciel.

## **3- Objectif de la recherche**

L'objectif de cette recherche est de mettre en exergue le rapport entre la morphologie de l'espace extérieur et le microclimat qu'elle peut générer.

Elle peut être un pas significatif vers l'identification des paramètres importants qui doivent être considérés au stade de la conception d'espaces publics urbains notamment des places lors des opérations du développement des tissus urbains ou leur

réhabilitation, et pouvoir évaluer l'impact environnemental des différentes variantes projetées.

Cette contribution permettra de comprendre l'interaction des éléments urbains et des facteurs climatiques et cerner les résultats positifs de cette interaction afin d'établir les règles d'un urbanisme durable pour nos villes de demain.

#### **4- Méthodologie et outils**

Pour confirmer la validité de l'une ou de l'autre de ces hypothèses, La recherche s'organisera en :

- **Une partie théorique** synthèse d'une recherche bibliographique dont l'objectif est de cerner et comprendre les différentes approches qui ont été formulées concernant le thème, éléments théoriques de base qui contribuent à focaliser la présente recherche vers les objectifs ciblés. Elle se divisera en sept chapitres.

Le premier consiste en un historique de la prise en compte des éléments du climat, notamment l'ensoleillement, dans l'organisation des villages et villes pour aboutir à la nécessité de l'existence des espaces ouverts dans le tissu urbain combinés à la compacité dans les villes à climats contrastés.

Le deuxième chapitre dont l'objectif est de mettre l'accent sur l'importance du microclimat, des proportions géométriques de ces espaces ouverts et leurs caractéristiques influençant positivement physique et psychique de leurs usagers afin de réinventer la vie urbaine.

Le troisième chapitre définira différents phénomènes physiques au sein de la ville résultants de son interaction avec les facteurs climatiques.

Le quatrième chapitre consiste en la description des éléments de la géométrie urbaine tenue pour grande responsable des surchauffes de la ville.

Le cinquième chapitre définira la notion du confort thermique humain dans les espaces extérieurs, ses éléments et ses indices les plus pertinents.

Le sixième chapitre mettra le jour sur les différentes stratégies d'amélioration du microclimat et les critères de leur introduction dans les espaces afin de tirer profit au maximum de leurs effets bénéfiques.

Le septième chapitre consiste en un recueil des différentes recherches à travers le monde ayant trait au thème et dont les conclusions seront le support de la deuxième partie pratique.

- Une partie **pratique** qui se divise en :

Un chapitre **investigation**, car pour comprendre les mécanismes à l'origine des ambiances thermiques dans les espaces urbains, il est nécessaire d'acquérir des résultats de mesures et palper de près le microclimat généré par chaque configuration urbaine définie par son facteur d'ouverture au ciel (**SVF**) et choisie pour sa représentativité.

Les mesures se feront avec des appareils de mesures, mobiles, au sol, à différents moments de la journée. Elles comprendront la température et la vitesse de l'air qui vont être comparées avec les mesures enregistrées par la station météorologique, pour mettre en évidence ce qui se passe dans l'espace urbain sur le plan thermique et aérodynamique. Elles seront complétées par les mesures de l'humidité de l'air pour achever la caractérisation du confort thermique. Les températures de surface doivent être aussi mesurées pour mettre en évidence les champs radiatifs thermiques. Les objets à saisir sont les surfaces minérales et les zones à l'ombre et au soleil.

Un chapitre **Simulation**, utile pour reconstituer les effets radiatifs solaires et leur effet sur le confort thermique d'été des usagers des espaces extérieurs urbains évalué par l'indice PET calculé par le logiciel RayMan 1.2.

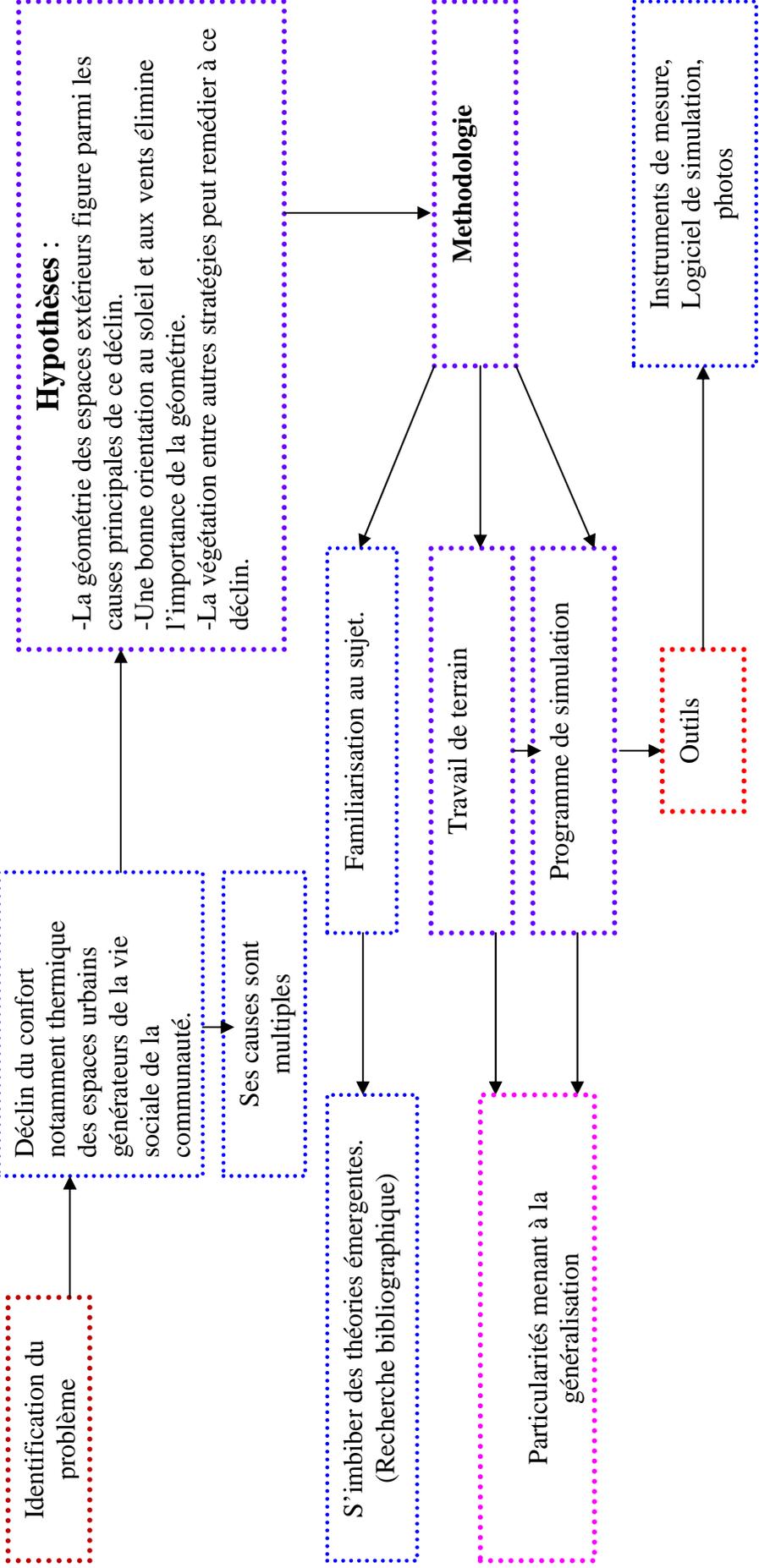
Différents scénarios permis par le Logiciel RayMan 1.2 peuvent être envisagés pour les différentes géométries afin de nous éclairer sur l'impact des corrections apportées par :

- l'amélioration de la géométrie ;
- l'amélioration des caractéristiques thermiques des matériaux de surface au sol ;
- par l'introduction des arbres afin de réduire le degré d'ouverture au ciel (**SVF**).

sur les sensations thermiques des usagers.

Les résultats du terrain et de la simulation constitueront une base pour établir des recommandations quant aux choix des stratégies adéquates concernant la géométrie urbaine, les caractéristiques thermiques de matériaux de surface au sol, ainsi que les éléments surajoutés pour un meilleur confort thermique d'été dans de futurs projets d'espaces publics urbains.

# RECAPITULATION DE LA DEMARCHE





# *Chapitre I :*

## **Climat et conception des villes au cours de l'histoire**

*“L’architecture n’est pas une recherche de forme pour l’œil, elle est avant tout une recherche d’accord maximal avec le climat qui lui est permanent et avec les conditions de vie qui changent constamment. Comme j’ignore les conditions de vie que l’on aura demain, et que j’ai au moins une certitude, le climat, je demande à la tradition de m’enseigner comment elle s’est adaptée à lui.”*

*André Ravereau<sup>1</sup>*

## **Introduction**

L'association entre la forme urbaine et son contexte est un thème qui a fait et fait couler beaucoup d'encre dans la littérature de la planification urbaine et qui a puisé ses sources dans les schémas des constructions et des espaces extérieurs produits par différentes cultures et civilisations et qui peuvent être le miroir de leurs intérêts et priorités particuliers.

En effet, les activités, les pratiques sociales ainsi que les croyances constituent une formule complexe pour l'organisation des villes et villages. Cependant le climat est reconnu comme l'un des plus importants vecteurs de l'organisation et des pratiques sociales.<sup>2</sup>

La démarche bioclimatique que l'on considère aujourd'hui comme une nouveauté, n'est en fait que le prolongement de certains savoirs faire que se transmettaient jadis des bâtisseurs et qui étaient basés sur une connaissance intuitive du milieu et du climat, grâce à une profonde connaissance des mécanismes climatiques typiques des différentes régions de la méditerranée, et à l'utilisation des techniques de maîtrise environnementale.

---

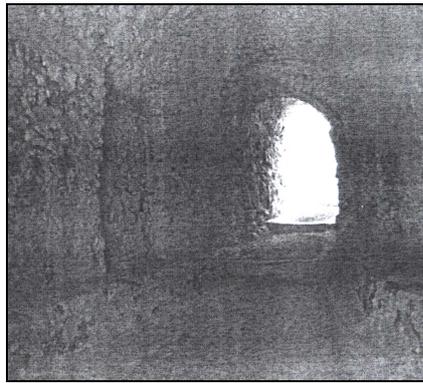
<sup>1</sup> A. Ravereau, " *Construire au Mzab* ", T.A n°329, Février - Mars 1980.

<sup>2</sup> N. Pressman, " *Facteurs climatiques dans l'aménagement urbain* ", *Arch. & Comport.* Vol. 10, no 1, p. 9-119, 2004

### **I-1- les civilisations antiques**

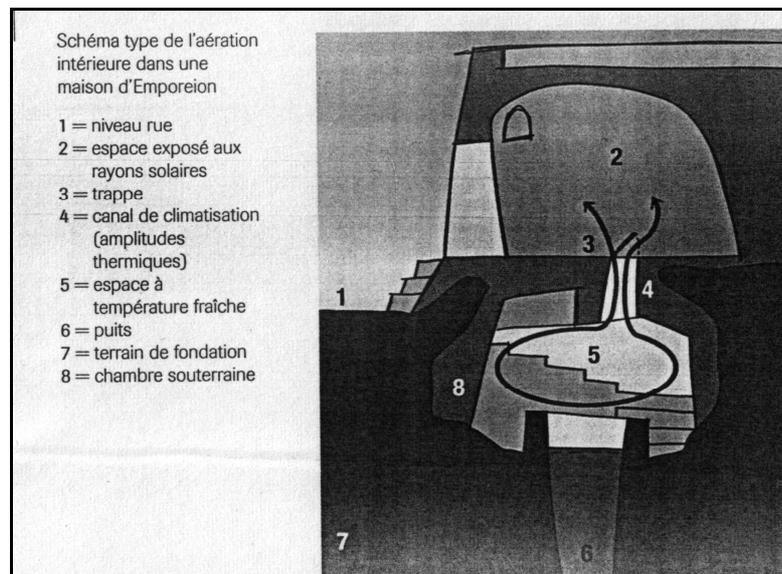
Elles élaborèrent des œuvres architecturales et urbanistiques en parfaite synergie avec l'environnement. Par l'étude sur l'incidence climatique sur le dessin de quelques cités d'implantation grecque\* ensuite romaine, on se rend compte de la façon dont le soleil et le vent ont été les concepteurs.

Les grecs ont laissé d'abondants témoignages sur l'art de bâtir (cf. **Fig. I -1 et Fig. I -2**) que les architectes romains ont repris et réinventés.



**Fig. I- 1:** Galerie couverte à Emporeion (Grèce)

Source : Conrado. M (2004)



**Fig. I-2:** Schéma type de l'aération dans une maison à Emporeion (Grèce)

Source : Conrado. M (2004)

\* On sait que les Babyloniens influencèrent les Egyptiens et les Egyptiens les grecs.

C'est avec Xénophon (né vers 430 av J-C) avec son « Economique » que naît la notion d'habitat bioclimatique, car ce dernier enseigne à orienter un édifice.<sup>3</sup>

Vers 350 av J-C, Aristote émet quelques observations sur la relation entre la salubrité de l'air et le régime des vents.

Un des plus célèbres traités d'Hippocrate " *traité des airs, des eaux et des lieux*", formulait les concepts de base d'hygiène publique liés au choix des lieux de construction et à la planification urbaine : « *la nécessité d'orienter les routes et les édifices de façon à éviter le soleil estival et à profiter des vents rafraîchissants.* »

Ces principes élémentaires furent repris par l'architecte et urbaniste romain Vitruve au 1<sup>er</sup> siècle après J-C.

Dans son traité intitulé "De Architectura", Vitruve place au 1<sup>er</sup> plan les objectifs d'un projet architectural du fait que l'édifice bâti et les espaces urbains apportent du bien-être à l'utilisateur final : « *Pour bien disposer une maison, il faut avoir égard au pays et au climat où on veut bâtir, car elle doit être autrement construite en Egypte qu'en Europe, autrement encore au royaume de Pont qu'à Rome, et ainsi toujours en raison des pays, parce qu'il y en a qui sont proches du cours du soleil, d'autres qui en sont éloignés et d'autres qui sont entre ces extrémités.* »<sup>4</sup>

A propos du choix d'un site, Vitruve note :

*"Quand on veut bâtir une ville, la première chose qu'il faut faire est de choisir un lieu sain. Pour cela, il doit être élevé ; il faut qu'il ne soit point sujet aux brouillards ni aux bruines, et qu'il ait une bonne température d'air ; qu'il ne soit exposé ni aux grandes chaleurs, ni aux grands froids."*<sup>5</sup>

Au sujet des tracés des rues, Vitruve recommande : « *d'éviter d'abord que les vents habituels enfilent directement les rues, parce qu'ils sont toujours nuisibles, ou par leur froid qui blesse, ou par leur humidité qui nuit à la santé... Il faudra donc tracer les alignements des rues entre deux régions (de la rose des vents), pour ne point être incommodé de la violence des vents; car s'ils parcouraient les rues directement. il n'y a point de doute que leur impétuosité, déjà si grande dans l'air libre et ouvert, augmenterait beaucoup, étant resserrée dans les rues étroites; c'est pourquoi on*

---

<sup>3</sup>M. Conrado, *La maison écologique*, édition de Vecchi, Paris, 2004

<sup>4</sup>C. Perrault, (1684), *Les dix livres de Vitruve : Livre sixième chapitre premier*, édition Pierre Mardaga, Liège, 1996.

<sup>5</sup>C. Perrault, *Idem 4*, Livre premier, chapitre VII.

*tournera les rues de telle sorte que les vents, donnant sur les angles qu'elles forment, se rompent et se dissipent.»<sup>6</sup>*

Ces caractéristiques sont toujours fortement ancrées dans les innombrables exemples d'architecture antique et dans les constructions de tout le bassin méditerranéen ainsi qu'au moyen orient. Leur puissante connotation a nourri toute la construction traditionnelle qui offre encore de nombreux exemples de cette richesse.

## **I-2- Organisation traditionnelle aux pays Froids**

Dans l'environnement construit de ces régions, assuré l'accès au soleil est important pour la qualité de la vie et pour les gains d'énergie. Le facteur principal influençant les règles de la formation est le vent.

On rencontre deux principaux types d'organisation de bâtiments, le linéaire et l'organisation autour d'un noyau central la cour.

### **I-2-1- L'organisation linéaire**

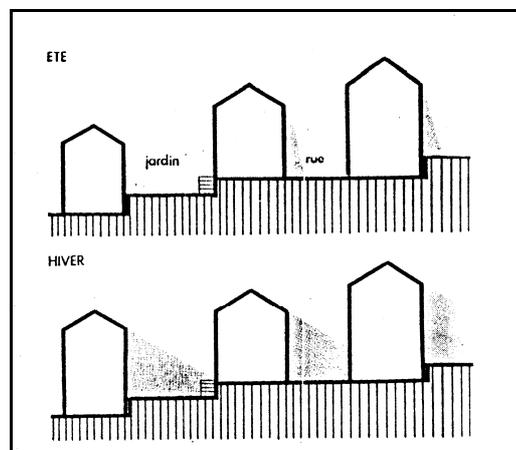
L'organisation selon l'inclinaison du terrain en orientation sud emploie habituellement la disposition linéaire (cf. **Fig. I-3**). Les terrasses orientées Est-ouest, créent des barrières au vent du nord-est et tirent le meilleur de l'exposition solaire méridionale. Pendant l'été, les brises aident à refroidir les maisons.



**Fig. I- 3:** Organisation linéaire face au sud épousant l'inclinaison du terrain.  
*Source : Kristl.Z et al (2005)*

<sup>6</sup> C. Perrault, Ibid 4, Livre cinquième, Chapitre X.

Cette disposition était celle qui permettait de conserver des prospects très resserrés tout en garantissant le droit au soleil de chacun grâce à la propriété verticale des maisons, (cf. **Fig. I-4**). Cette verticalité autorisait la migration saisonnière : en hiver, on pouvait bénéficier durant le jour des apports solaires aux étages supérieurs. En été les pièces inférieures restaient plus fraîches du fait de leur position dans une ombre permanente et de la masse thermique des étages et du voisinage, les parois étant très lourdes. Certaines façades, côté jardin, pouvaient même être totalement ensoleillées en hiver, grâce à la pente du terrain.<sup>7</sup>



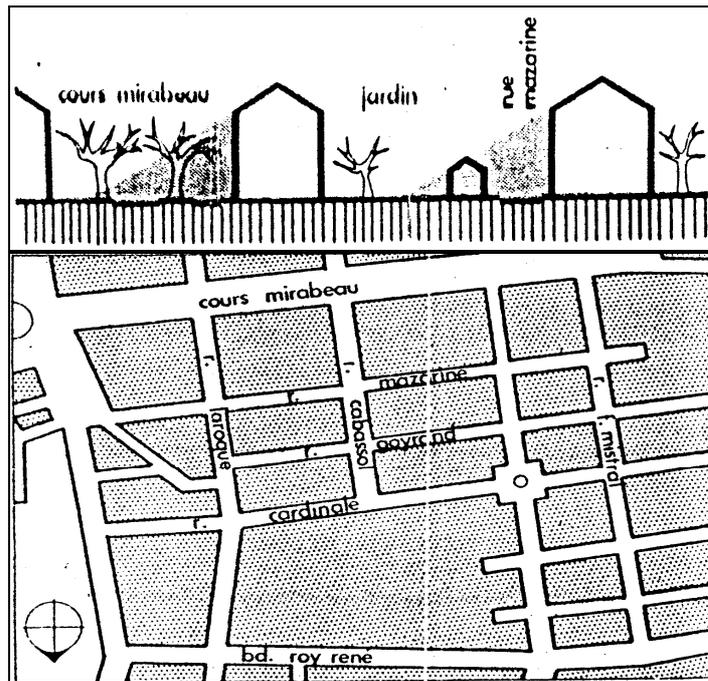
**Fig. I-4** : Organisation en gradin garante du droit au soleil de chaque construction.

Source : Izard.J.L (1979)

Quand on ne disposait pas de site en pente, le droit au soleil est garanti par l'orientation des rues principales Est-ouest où les façades des constructions situées du côté Sud sont hautes et ont leur façade principale sur le côté jardin, au Sud. (cf. **Fig I-5**). Du côté nord, on ne trouve que des constructions basses qui sont en fait des dépendances et qui sont plongées dans l'ombre, sans conséquences puisqu'en principe inoccupées. Les jardins sont plantés d'arbres à feuilles caduques.<sup>8</sup>

<sup>7</sup>J.L. Izard, *Archi-bio*, édition Parenthèse, 1979, p. 112.

<sup>8</sup>J.L. Izard, *Idem 7*



**Fig. I- 5:** Orientation des axes et des façades principales assurent le droit au soleil en site plat.

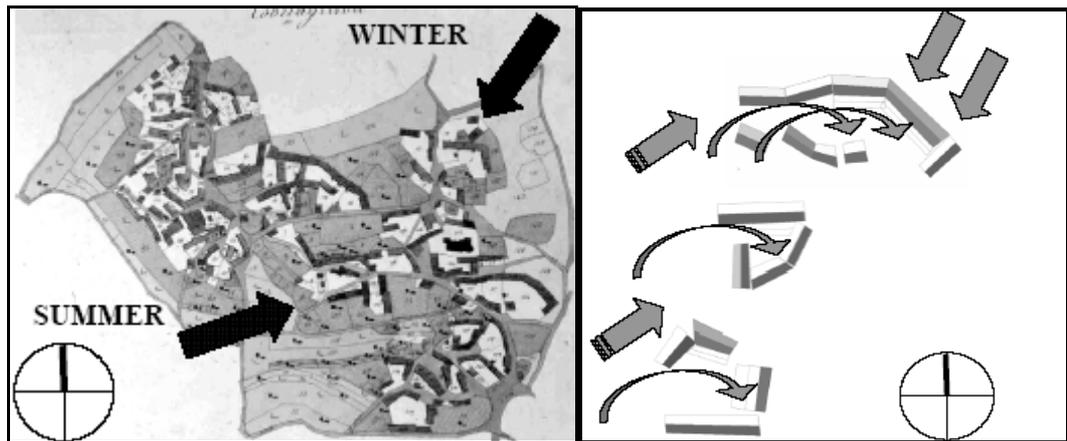
Source : Izard.J.L (1979)

Z. Kristland et A. Krainer<sup>9</sup> dans une étude sur l'organisation spatiale de la région de Karst (Slovénie) ont prouvé que l'angle solaire d'incidence  $15^\circ$  utilisé par leurs ancêtres est le plus bas angle acceptable pour la latitude ( $44^\circ$ -  $45^\circ$  N), si l'on veut assurer l'accès solaire et également sa distribution pendant la saison froide. Cet angle d'incidence se produit à 10h du matin et 2h de l'après midi pendant le 21<sup>ème</sup> décembre où le soleil est le plus bas. Ceci signifie qu'au moins 4 heures d'insolation sont assurées pendant tout l'hiver. Les mois d'été, quand la surchauffe se produit, l'ombrage est possible par les bâtiments voisins et les positions des pergolas.

### **I-2-2- L'organisation autour d'une cour**

L'organisation des bâtiments autour d'une cour est principalement le résultat du souci de s'abriter des vents froids d'hiver (**cf. Fig I-6**). La partie résidentielle est orientée vers le sud. Elle s'ouvre sur une place publique afin d'assurer la satisfaisante durée d'ensoleillement pendant la saison froide et joue le rôle d'un espace de communication. Ces cours s'ouvrent strictement aux vents dominants d'été.

<sup>9</sup> Z.Kristl, et A. Krainer, "Site layout as a function of shading in Karst region", International Conference Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment, Santorini, Grèce, Mai 2005



**Fig. I-6:** Plan d'organisation des maisons de la région de Karst en fonction de la direction des vents dominants d'hiver et d'été.

Source : Kristl.Z et al (2005)

### **I-3- Organisation traditionnelle aux pays chauds**

Les pays musulmans, entre autre l'Algérie, dont le climat est chaud et aride sont dotés d'un grand nombre de vieilles villes (médiinas et ksour) qui ont fait l'objet d'une telle expérience. Cette architecture sans architectes a produit des solutions aussi performantes avec les moyens techniques limités de l'époque : *«Une variété morphologique se traduisant par une richesse dans la composition architecturale et le mode de réponse spatiale, relevant d'un schéma d'organisation spatio-climatique induit par une même logique de conception.»*<sup>10</sup>

Dans ces cités, après la première impression de désordre comparativement aux tracés contemporains, tous les chercheurs ont démontré que rien n'était hasard et que tout avait une signification. Des judicieuses adaptations aux contraintes climatiques ont été adoptées.

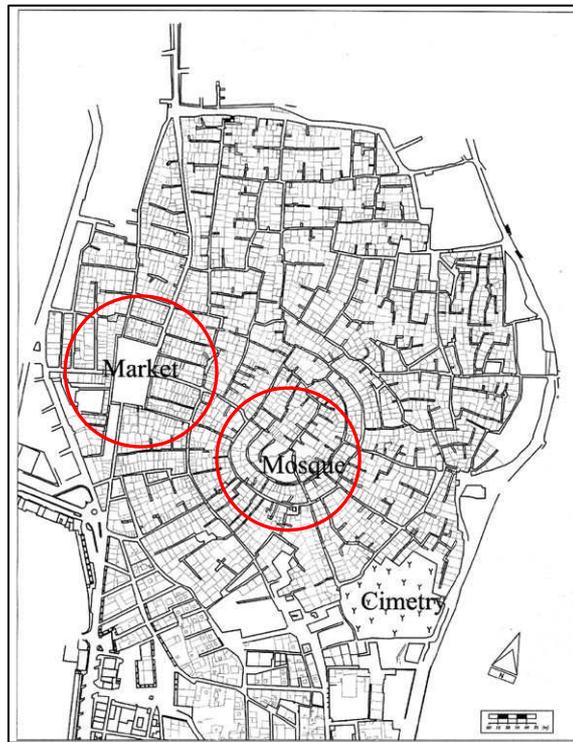
#### **I-3-1- la texture urbaine**

Le premier niveau d'adaptation fût réalisé par la texture urbaine elle-même (**cf.Fig I-7**), texture dense où les maisons sont accolées les unes aux autres afin de réduire au maximum les surfaces exposées au soleil et de diminuer la possibilité d'ouverture vers l'extérieur. L'organisation du tissu urbain est basée sur un tissu de ruelles imbriquées.

<sup>10</sup> H.Fathy, *Natural energy and vernacular architecture: principles and examples with reference to Hot Arid climates*, UN Press, 1986, Livre en ligne, [http:// www. Pushpullbar.com](http://www.Pushpullbar.com)

«...Le parcours tortueux ainsi que le rapport de la hauteur à la largeur de beaucoup d'itinéraires et espaces ouverts de circulation est tel qu'il fournit un degré de confort thermique élevé ; il emprisonne l'air frais cumulé pendant la nuit et protège contre les vents poussiéreux.»<sup>11</sup>

De nombreux passages voûtés, encorbellements, qui ne sont autre que l'élargissement des pièces à l'étage ou la régularisation de leurs plans au dépend de la rue qui n'a pas besoin d'être large à cette hauteur et qui se trouve de ce fait plus ombragée (cf. Fig. I-8, I-9). « A la limite toute la rue est couverte d'habitation, quelques vides étant réservés pour son éclairage et son aération.»<sup>12</sup>



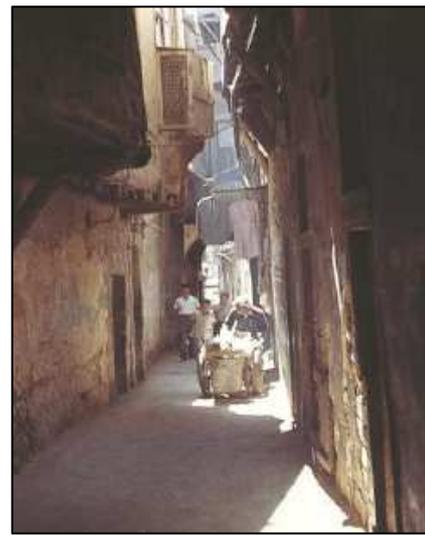
**Fig. I- 7:** Plan de masse de Ghardaïa comme organisation compacte typique des cellules. Source : Bouchair .A et al (2003)

<sup>11</sup>J.L Buckhardt, *Voyage en Arabie*, édition Longman ,Londres ,1968.

<sup>12</sup>S. Abdulac et P. Pinon, " Maisons en pays islamiques chauds ", *Architecture d'aujourd'hui (A.A)*, n° 167, 1984.



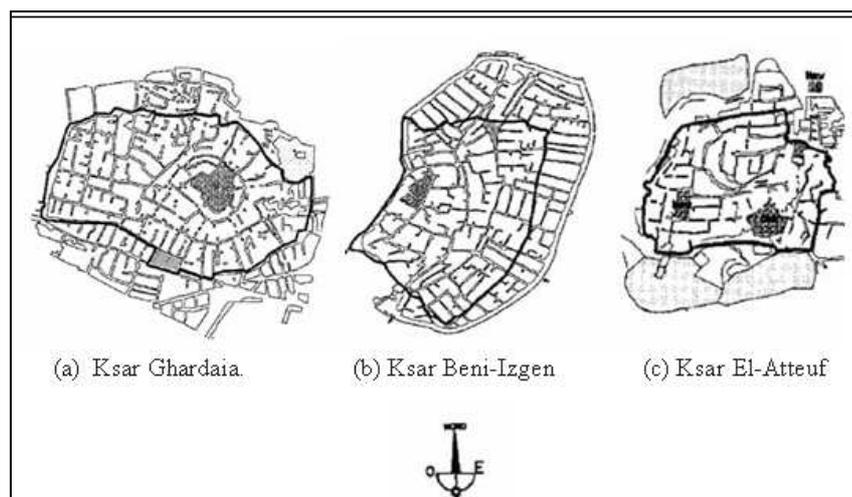
**Fig. I-8:** Vue d'une ruelle semi-couverte à Rabat (Maroc)



**Fig. I-9:** vue des encorbellements sur rue à Damas (Syrie) procurant ombre et fraîcheur

Source : [http:// www.ifporient.org](http://www.ifporient.org)

Ces ruelles semblent avoir des orientations différentes, mais « *un examen plus attentif des divers tracés notamment Ghardaïa, Beni isguène, Timimoun, Tenacine, Taghit, montre que deux orientations semblent prévaloir notamment l'axe Est-ouest pour la majorité des rues, les principales comprises, et un axe nord-sud pour les ruelles et les impasses.* »<sup>13</sup> (cf. Fig. I-10)



**Fig. I- 10:** Orientation Est-ouest des rues principales des différents Ksour.

Source : Bouchair .A et al (2003)

<sup>13</sup> S.Mazouz, L'intégration des facteurs physiques de l'environnement dans le processus de conception architecturale, Thèse de doctorat, Université Mentouri, Constantine, 2000.

D'après le Guide pour la région PACA<sup>14</sup>, le bilan d'ensoleillement des circulations piétonnes privilégiées selon un axe Nord-Sud est optimal vis-à-vis des contraintes hivernales et estivales. En hiver, contrairement à une traversé Est-ouest, toujours à l'ombre, le bilan d'ensoleillement est intéressant, particulièrement en milieu de journée. En été, le soleil parcourt plus de 180° et son passage dans les voies de direction Sud est bref, à l'opposé des voies Est-ouest où l'ombre dépend essentiellement de la hauteur des bâtiments, souvent insuffisante. Dans ces traversés piétonnières, les façades Est et Ouest en vis-à-vis se protègent mutuellement de l'ensoleillement, néfaste pour ce type d'exposition.

### **I-3-2- Les constructions**

L'architecture aussi témoigne également du souci d'adaptation au milieu tant par la couleur extérieure claire, les matériaux de construction de forte inertie thermique que par l'organisation spatiale.

A l'intérieur, les pièces sont organisées autour d'un patio, considéré comme régulateur thermique où l'on favorise en général la végétation et l'eau qui refroidissent cette cour par évaporation, empêchant la poussière de se lever, et qui procure de l'ombre.

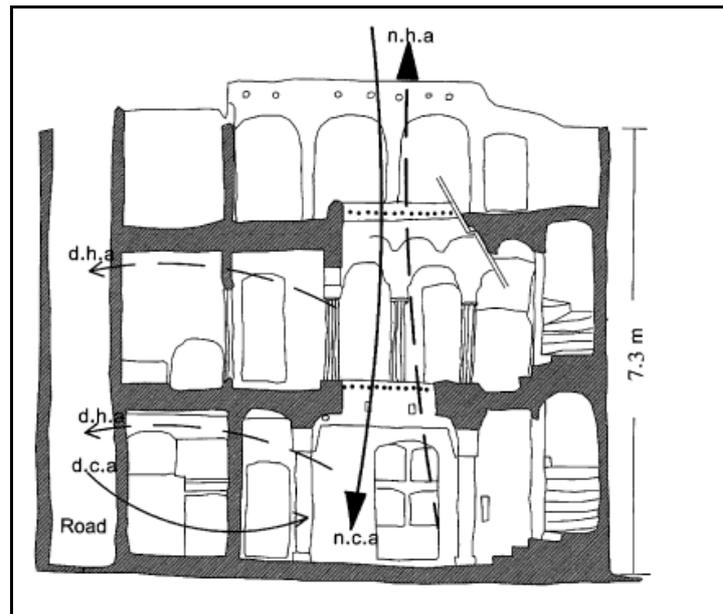
L'air frais de la nuit peut être retenu parce qu'il est plus lourd que l'air chaud des alentours. Plus le patio est petit (pas plus large que la hauteur du bâtiment), plus il y aura d'ombre et la masse d'air frais y restera et pourra ventiler les pièces adjacentes pendant la nuit<sup>15</sup> (**cf.Fig. I-11**). Aussi le patio recouvert par de la végétation ou par des éléments légers (toiles ou résilles de bois) qui laissent circuler l'air tout en créant une ombre très confortable. Cette solution est souvent utilisée pour couvrir les rues commerçantes des médinas.

Donc les phénomènes éoliens et solaires sont pris en compte simultanément tant au niveau du choix des matériaux que la morphologie du tissu ou des habitations.

---

<sup>14</sup> « Conception thermique de l'habitat », Guide pour la région PACA - SOL.A.I.R., 1988.  
<http://www.regionpaca.fr>

<sup>15</sup> S. Plemenka, « L'aspect bioclimatique de l'habitat vernaculaire », Arch.& comport Vol.10, n°1, p.27, 2004



**Fig. I- 11 :** Diagramme Schématique montrant comment le patio est utilisé pour réguler l'environnement thermique dans une maison au Mzab.  
 [n=night (nuit), c=cool (froid), h = hot (chaud), a = air, d = day (jour)]

Source : Bouchair. A (2004)

### I-3-3- L'espace public

Comme forme ouverte, place, jardin public, boulevard, sont absents du centre de ces villes traditionnelles si l'on excepte l'espace ouvert "public" que constitue la Grande Mosquée ou plus encore le souk, sans doute, espace public par excellence (cf. Fig. I-7).

*« En fait, les espaces des villes traditionnelles se caractérisent par un clivage fondamental entre une sphère du privé, fermée, garante de la protection d'une société endogamique et, d'autre part, une sphère du public ouverte au monde. »<sup>16</sup>*

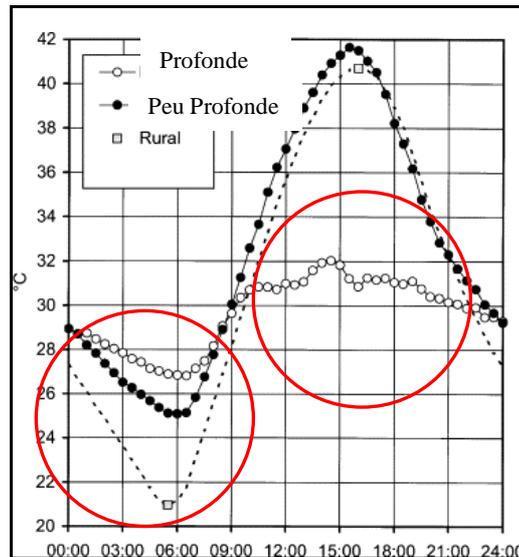
Ces deux entités sont matérialisées par des formes spatiales spécifiques, d'une part les quartiers et les maisons, espaces familiaux et féminins, d'autre part le réseau principal de circulation et les souks, espaces essentiellement masculins. Ces entités sont caractérisées par leur adéquation à des pratiques et à des comportements des usagers ordinaires et non pas par l'ouverture formelle de l'espace, la monumentalité et la mise en scène pour le pouvoir.

<sup>16</sup> J.C.David, «Espace public au Moyen-Orient et dans le monde arabe: Entre urbanisme et pratiques citadines », *Géocarrefour*, Volume 77 - n° 3 / 2002

#### I-4- Réalités scientifiques sur les formes d'organisation vernaculaires

L'étude du microclimat urbain de ces formes urbaines a révélé d'autres réalités. F.Bourbia<sup>17</sup> (étude sur la ville de l'Oued 33°N.), A.Benadji<sup>18</sup>(Sidi Okba 34°40.), S.Abdou<sup>19</sup> (étude Ouargla 31°N57 et Constantine 36°17N), E.Johansson<sup>20</sup> (Fez 33° 58'N) ont prouvé qu'une forme urbaine compacte avec des rues très profondes donne une bonne protection pendant la longue période chaude d'été (cf. **Fig. I-12**), une forme urbaine dispersée, au contraire, crée un environnement extrêmement inconfortable en été. Néanmoins, ces espaces étendus favorisent la dissipation rapide de la chaleur emmagasinée durant la journée contrairement à la précédente où l'évacuation de la chaleur prend du temps et risque de s'étaler jusqu'au matin; d'où la désertion des habitants de leurs quartiers pour passer les soirées d'été dans des terrains vagues.<sup>21</sup>

Cependant, il y a également d'autres inconvénients avec une forme urbaine compacte, particulièrement le confort thermique faible en hiver, une saison qui est tout à fait froide dans beaucoup de villes chaudes.



**Fig. I- 12** : Températures moyennes de l'air pour les 15 jours les plus chauds en été dans les rues profondes et peu profondes aussi bien que pour la station rurale

Source : Johansson.E (2005)

<sup>17</sup>F. Bourbia, H.B.Awbi, „ *Building cluster and shading in urban canyon for hot dry climate. Part 1: Air and surface temperature, measurements*”, *Renewable Energy* **29**, 2004, 249–262.

<sup>18</sup>A.Benadji, *Adaptation climatique ou culturelle en zones arides : cas du Sud-est Algérien*, Thèse de Doctorat, Université d'Aix-Marseille1, 1999.

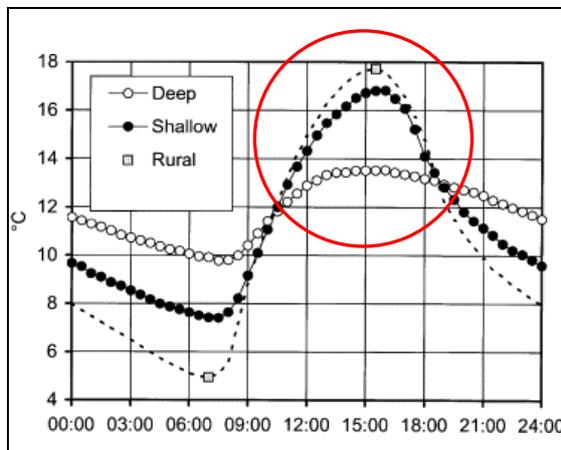
<sup>19</sup> S. Abdou, *Investigation sur l'intégration climatique de l'habitat traditionnel en région aride et semi aride d'Algérie*, Thèse de doctorat, Université Mentouri, Constantine, 2003-2004.

<sup>20</sup> E.Johansson, „*Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco*” , *Energy and Building*, 5 July 2005

<sup>21</sup> S.Abdou, *Op.cit* 19

S.Abdou écrivait : « La plupart des études consacrées à la relation existante entre le climat et l'architecture, découlent des zones climatiques à caractéristique dominante, exemple climat chaud et sec, la solution architecturale est alors typée. Dans ce contexte, beaucoup de recherches sur ces zones ont eu simplement à vérifier l'intégration des modèles architecturaux et les ont retenus comme modèles de références. Seulement lorsque le climat est contrasté le problème est plus délicat. Il faut rechercher des solutions nuancées qui répondent à des situations conflictuelles. »<sup>22</sup>

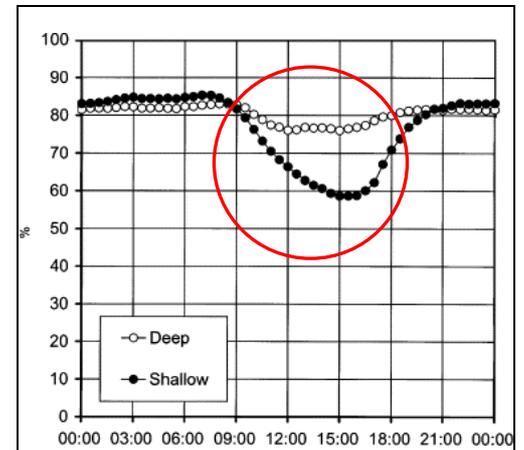
L'auteur après une minutieuse étude d'évaluation de l'efficacité de ces formes urbaines du point de vue confort intérieur dans un climat aussi contrasté que celui de la ville de Constantine arrive à la conclusion, confirmée encore une fois par E. Johansson<sup>23</sup> (cf. chap. IV. Section 8-3) et N. Boumaouche<sup>24</sup>, que pendant la période froide, où les hivers sont rigoureux, ces formes denses et compactes réduisent l'exposition aux rayons solaires favorisent des ambiances froides et amenuisent toutes possibilité de ventilation transversale d'où un taux d'humidité élevé source de différentes pathologies (cf. Fig. I-13, Fig. I-14).



**Fig I-13 :** Températures moyennes de l'air période d'hiver dans les rues profondes et peu profondes aussi bien que pour la station rurale.

(Deep = profonde, Shallow = peu profonde)

Source: Johansson.E (2005)



**Fig I-14 :** Humidité relative moyenne en hiver dans les rues profondes et peu profondes.

<sup>22</sup> S.Abdou, *Op.cit* 19

<sup>23</sup> E.Johansson, *Op.cit* 20

<sup>24</sup>N. Boumaouche, *Prise en compte de l'humidité dans le projet de rehabilitation des maisons vernaculaires : cas de la médina de Constantine*, Thèse de Magistère, Université de Mentouri, Constantine, 2006.

En conséquence, " .....Ces villes à hiver froid, comme dans le cas de Fez, devraient inclure quelques rues plus larges ou espaces ouverts ou tous les deux pour permettre l'accès solaire. De tels espaces ouverts, qui fonctionnent comme tâche solaire en hiver, exigent des protections solaires horizontales au niveau piéton conçues de telle manière qu'elles permettent aux rayons solaires de pénétrer en hiver tout en fournissant l'ombre en été. Façades et pavages de couleur claire devraient être employés afin de maintenir les températures des surfaces aussi basses que possible."<sup>25</sup>

«Pendant trois ou quatre siècles, les espaces, les pratiques des usagers, dans ces villes semblent immuables ou affectés seulement par des changements imperceptibles. Une rupture profonde intervient au cours des dernières décennies du XIX<sup>e</sup> siècle, avec l'introduction de nouveaux principes de production réglementée et planifiée de l'espace, qu'est l'urbanisme. L'évolution se poursuit à la fin du XIX<sup>e</sup> et au cours du XX<sup>e</sup> siècle par la diffusion de ces nouveautés avec la domination coloniale.»<sup>26</sup>

D'où larges percées haussmanniennes, grandes places et placettes ont échancré ces tissus, aussi bien que les tissus européens, non pas dans le but d'un ajustement climatique mais plutôt sécuritaire et esthétique (cf. chap. II).

Depuis, un pluralisme stylistique a guidé la conception architecturale et urbaine dans ces villes. Cela explique la destruction des traditions culturelles et du régionalisme en architecture qui continue à se développer avec les pratiques des nouveaux architectes et urbanistes locaux, des services municipaux et des directions ministérielles responsables.

### **I-5-L'élan solaire dans les théories hygiénistes au début du XX<sup>e</sup> siècle**

Durant la deuxième moitié du dix-neuvième siècle et jusqu'au début du vingtième siècle, les villes européennes sont le théâtre d'une succession de maladies épidémiques. Pendant ce temps, "les architectes sont attachés à régler des conflits d'ordre esthétique (...). L'adaptation au climat n'est plus qu'un problème secondaire vue l'abondance du

---

<sup>25</sup> E.Johansson, Op.cit 20

<sup>26</sup> J.C.David, Op.cit 16

charbon source d'énergie."<sup>27</sup> Seuls hommes de science et philanthropes dénoncent l'insalubrité des logements des villes qu'ils suspectent d'être des foyers d'infection. Les découvertes médicales (Pasteur, Koch) montrent l'influence de l'air et de la lumière sur le bacille de la tuberculose et mettent en avant l'ensoleillement comme facteur microbicide. C'est dans ce contexte qu'une ardente mobilisation du soleil va s'installer en architecture et en urbanisme.

*« De nombreuses publications témoignent de cet élan solaire au tout début du vingtième siècle. Les préconisations des auteurs portent avant tout sur la forme urbaine permettant le meilleur accès au soleil en toute saison : orientations et gabarits des voies supposés optimaux, organisations du front bâti supposées augmenter l'accès au soleil (gradins, redents), etc. Le principal objectif est alors d'optimiser l'accès au soleil dans les bâtiments, en toute saison, l'idéal hygiéniste reléguant au second plan la question des surchauffes d'été. »<sup>28</sup>*

Au début du vingtième siècle, R.Unwin fait apercevoir des préoccupations urbanistiques plutôt qu'hygiénistes. Il recommande de recueillir des informations météorologiques sur les vents régnants, de l'aménagement des grands terrains et des quartiers d'habitations pour un souci d'ensoleillement ...etc, mais le dilemme posé se situe dans le choix d'une orientation Nord-Sud ou Est-Ouest pour résoudre la question de tracé des voies.<sup>29</sup>

F. Marboutin, enseignant d'hygiène et d'assainissement à l'Ecole Centrale de Paris, préconise à partir de 1910 et suite à une série d'observations expérimentales en météorologie une armature sur l'exposition des bâtiments et des trames urbaines (cf. **Fig. I- 15**).

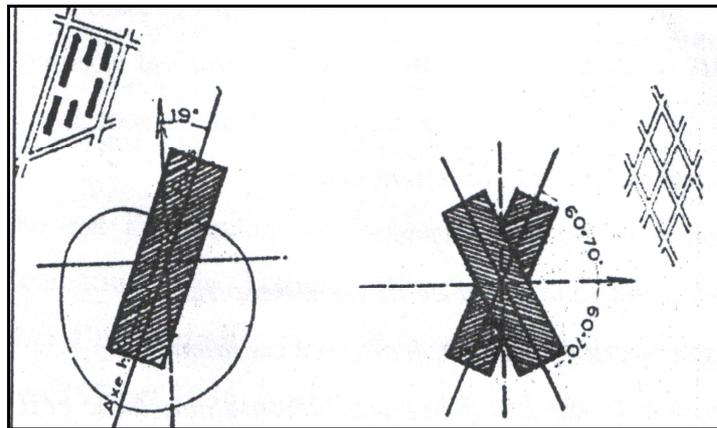
D'autre part l'amélioration de la connaissance en astronomie solaire introduit la question de l'orientation et de l'insolation dans l'organisation des immeubles : *« les façades principales se présentent avec les meilleures constitutions d'habitabilité, c'est à dire régularité de l'insolation, minimum relatif en été et maximum relatif de l'insolation en hiver, aux heures où les radiations violettes se manifestent elles-mêmes avec le maximum d'intensité, doivent faire face au Sud. Les expositions Est et Ouest entraînent*

<sup>27</sup> S .Moussa, Le degré de pertinence de la dimension bioclimatique et géo-écologique dans la maîtrise de la planification spatiale et urbaine, Thèse de Magister, Université de Mentouri, Constantine, 2000.

<sup>28</sup> D.Siret, et A. Harzallah, "Architecture et contrôle de l'ensoleillement", IBPSA France à La Réunion, 2 et 3 Novembre 2006

<sup>29</sup> S .Moussa, Op.cit 27

*l'irrégularité de l'insolation; ce sont les plus chaudes en été, et en hiver, elles sont plus froides que les façades Sud, Sud-Est et Sud-Ouest. Les mesures actinométriques d'Alfred Henry et Marboutin ont montré que la direction la plus favorable à donner à une rue ou à un bâtiment en longueur, fait avec le méridien un angle compris entre 60° et 75.»<sup>30</sup>*



**Fig I-15** : Etude de l'enseillement optimal et du tracé des trames par F.Marboutin, 1910  
Source : Moussa.S, (2000)

Rey, J.Pidoux et C.Barde, dans un ouvrage intitulé : *La Science des plans de villes* proposèrent en 1928 la théorie héliothermique, supposée conduire à une optimisation solaire des tracés urbains. Elle est basée sur le constat que la température maximale de l'air n'est pas strictement superposée au maximum des flux solaires. Ce décalage entre irradiation maximale et température maximale justifie, selon les auteurs, la nécessité de définir une nouvelle unité de mesure, la « valeur héliothermique », produit de la durée d'enseillement en un point par la température moyenne de l'air pendant cette durée.

De manière catégorique, Rey, Pidoux et Barde établissent qu'au nom de l'égalité héliothermique des façades, l'orientation optimale des bâtiments (et donc leurs corollaires espaces extérieurs publics) se situerait autour de 20° par rapport à l'axe nord-sud (19° à Paris), la façade Est étant décalée vers le sud et la façade ouest vers le nord. Les auteurs donnent des exemples d'application de réorganisation des villes, notamment Paris, suivant l'axe héliothermique. Ils proposent de conserver les voies principales, les places, les parcs et tous les édifices publics, puis de lotir les terrains suivant des barres

<sup>30</sup> G.Bardet, *L'urbanisme*, Collection que sais-je, PUF, Paris, 1975.

parallèles orientées dans la direction héliothermique, en supprimant les cours fermés et en agrandissant les surfaces des jardins (cf. Fig. I-16).



**Fig I- 16** : Réaménagement héliothermique d'un quartier de Paris (Rey et al, 1928)

Source : Siret. D et Harzallah. A (2006)

Ces propositions ont suscité d'importantes controverses parmi les théoriciens de l'urbanisme. Cependant, certains adhèrent à la théorie héliothermique dans ses principes notamment Le Corbusier qui a contribué le plus à faire connaître la théorie de Rey, en définissant l'axe héliothermique, en 1935 comme « l'armature du tracé urbain ».

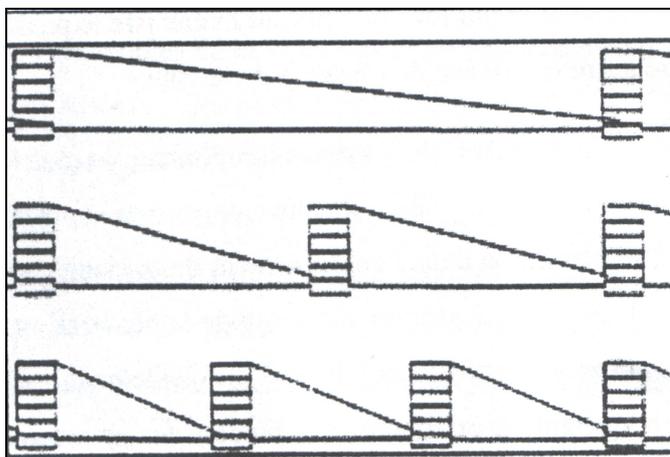
Il reprend ainsi à son compte la théorie de *La Science des plans de villes* et met en oeuvre l'axe héliothermique comme principe fondamental pour l'orientation de la Ville radieuse dès 1930.

L'exemple de *La Science des plans de villes* illustre bien l'opposition entre les hygiénistes comme Rey, partisans du maximum d'ensoleillement en termes de durée d'exposition et peu soucieux des réalités physiques, et les « climatistes » comme Marboutin, qui considèrent, en plus de la durée d'exposition, l'angle d'incidence du soleil à chaque instant et l'énergie effectivement transmise. " *La théorie héliothermique témoigne également de la mise en œuvre d'une approche allégorique du contrôle de l'ensoleillement, où la rigueur scientifique est négligée devant l'urgence à résoudre les*

problèmes sanitaires urbains, et la croyance en la capacité de l'architecture et de la ville à répondre elles-mêmes aux problèmes qu'elles posent."<sup>31</sup>

Les C.I.A.M d'Athènes 1933 déclarent que le soleil, l'espace et la verdure sont des matériaux non-négligeables dans les préoccupations de l'urbanisme futur. Mais leur considération est d'ordre fonctionnel et lyrique de la modernité.<sup>32</sup>

L.Hilberseimer est vraisemblablement l'enseignant du Bauhaus qui poursuit plus loin l'étude des conditions d'ajustement climatique de la ville. Il développe une approche systématique des règles d'ensoleillement et d'implantation dans l'enseignement de la planification urbaine à Dessau. Dans les articles parus en 1935 et 1936, il affinera le champ de la pénétration du soleil dans une pièce ainsi que les rapports entretenus entre la densité et l'ensoleillement<sup>33</sup>(cf. Fig. I-17).



**Fig. I-17** : Etude de l'influence de l'ensoleillement sur la densité urbaine à différentes latitudes par L. Hilberseimer: (Moscou 55° N, Paris 48°N et Chicago 42°N)

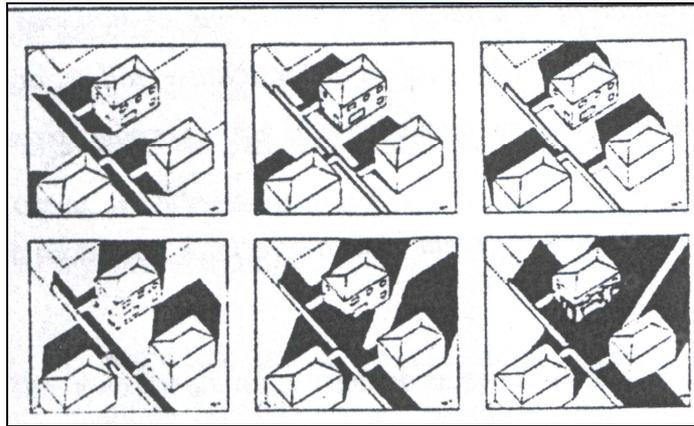
Source : Moussa.S (2000)

Son confrère A.Klein (1939) propose des méthodes graphiques d'évaluation des ombres portées pour les différentes saisons de l'année (cf. Fig. I-18). Cet apport est complété par des études sur les principes d'implantation des lotissements de maisons individuelles ainsi que des méthodes d'évaluation du fonctionnement interne et de la distribution des logements.

<sup>31</sup> D.Siret et A. Harzallah, *Op.cit* 28.

<sup>32</sup> S .Moussa, *Op.cit* 27

<sup>33</sup>L. Hilberseimer, *Ensoleillement et densités théoriques de population*, édition J.Hoffman, Stuttgart, 1936 in Moussa, *Op.cit* 27



**Fig. I- 18:** Etude théorique du comportement de l'ensoleillement dans un lotissement de maisons individuelles par A. Klein.

Source : Moussa S. (2000)

## **I-6-Formalisation d'une approche bioclimatique de l'architecture moderne**

### **I-6-1-Travaux de Robert Auzelle**

R. Auzelle est un des urbanistes, précurseur à mettre le point sur l'interrelation entre l'hygiène et paramètres climatiques, voire microclimatiques dans certains cas, il sera un avant-gardiste du courant bioclimatique: *« mais l'homme peut encore agir puissamment sur le climat local par le seul fait d'une implantation de bâtiment d'une épaisseur, d'une largeur et d'une hauteur déterminée. La répartition des bâtiments et leur volume sont à considérer en fonction du soleil, de ses variations d'intensité suivant la latitude et l'altitude et de ses positions respectives aux diverses saisons, ainsi qu'en fonction du vent et de son rôle dans la détermination du climat régional et local. Des bâtiments de même volume et de même orientation paraissent, à des latitudes diverses, d'un ensoleillement de qualité, d'intensité et de durée différentes. Leurs ombres portées créent, suivant les latitudes et les saisons, un microclimat plus ou moins défavorable à l'épanouissement de la vie des hommes, des animaux et des plantes.*

*Sous tous les climats, le vent est un facteur important d'abaissement ou d'élévation de la température. Comme le soleil, le vent agit directement sur les locaux habités. Généralement, il contribue à les refroidir. De plus, et davantage même, il tend à diversifier à l'infini les microclimats suivant que les bâtiments jouent le rôle de paravent vis-à-vis de certaines zones ou créent au contraire des sortes de canalisations*

où le vent s'engouffre, réduisant ainsi à néant tous les montages d'une bonne exposition solaire. De même, en raison de leurs hauteurs, ils peuvent susciter des remous qui rendent intenable un séjour prolongé au pied de leurs murs.»<sup>34</sup>

Ainsi, Auzelle identifie encore d'autres paramètres qui créent par leur interaction avec le soleil en fonction de la latitude et l'altitude des microclimats favorables ou défavorables au confort des usagers, soient le vent et la géométrie urbaine.

Dans ses travaux postérieurs, il élargira le champ de l'investigation. Désormais, la maîtrise de l'espace vécu et la projection urbaine exige davantage le recours à des paramètres occultés dans le passé.

### **I-6-2-Travaux de Xenakis et Le Corbusier**

Au début des années 1950, Le Corbusier se voit confier plusieurs grands chantiers en Inde, notamment la construction d'une ville nouvelle à Chandigarh. Parmi l'ensemble des défis que relève l'architecte dans ces projets indiens est de faire la démonstration des vertus de l'architecture moderne dans un climat aussi difficile que celui de l'Inde. Outre la question de l'ensoleillement, les problèmes de ventilation intérieure, de contrôle de l'hygrométrie et de protection contre la pluie, s'imposent ainsi comme éléments déterminants des projets indiens. Pour répondre à ces enjeux, l'atelier de Le Corbusier en fin 1951 a mis en œuvre un nouvel outil méthodologique : la grille climatique.\* *L'ingénieur I. Xenakis, semble être à l'origine de cette idée. Il définit "L'ambiance climatique » comme une fonction de 4 variables (température de l'air, humidité relative, vitesse de l'air et température des parois) et il propose de « définir les variations optimales et théoriques de l'ambiance pour conserver ou accroître le meilleur rendement vital en considérant les variations diurnes et annuelles.*"<sup>35</sup>

L'objectif consiste à trouver d'après les données climatiques et les résultats théoriques préétablis les procédés architecturaux de correction. Ceci au moyen d'une grille (datant du 21 décembre 1951) divisée en trois colonnes (Chaque colonne est découpée en douze mois, regroupés en saisons, au regard desquelles sont illustrées les informations) correspondant aux trois étapes de la méthode : le relevé des données

<sup>34</sup> R. Auzelle, " *L'implantation des bâtiments à usage d'habitation*," *la vie urbaine*, n° 57, 1950, p.197 In S. Moussa, *Op.cit* 27

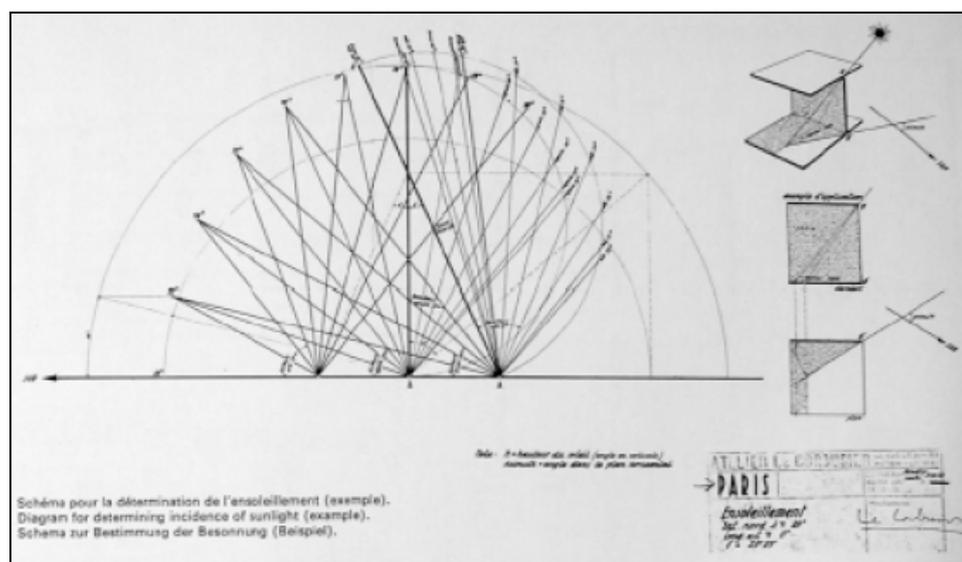
\* D'après une correspondance avec Pr. D.Siret, <[daniel.siret@cerma.archi.fr](mailto:daniel.siret@cerma.archi.fr)>, afin d'obtenir cette grille, cette dernière se trouve sur un DVD des œuvres complètes de Le Corbusier, protégées par la Fondation Le Corbusier. (On doit disposer du droit d'accès pour la consulter).

<sup>35</sup> D.Siret et A. Harzallah, *Op.cit*.28

climatiques du site (température de l'air, humidité relative, hauteurs et azimuts, précipitations et direction des vents), les conditions optimales à atteindre figurant les conditions souhaitables pour un individu occupant l'espace, et enfin les procédés architecturaux permettant de tendre vers ces conditions optimales, dans le contexte climatique donné. Le Corbusier ouvre ainsi un vaste programme d'études que l'on pourrait ranger aujourd'hui sous la bannière de l'architecture bioclimatique.

L'effervescence autour de la grille climatique qui marqua la période de décembre 1951 et janvier 1952 s'atténua progressivement. Cependant, les réflexions qu'elle a suscitées restent très visibles dans la recherche de protections solaires efficaces entreprise par I. Xenakis au même moment. Ce dernier va donner aux problèmes solaires de l'architecture corbuséenne une dimension nouvelle.

Ainsi, les premiers tracés témoignant de la recherche d'une nouvelle méthode de détermination de l'ensoleillement datent de janvier 1952, et coïncident avec les dernières réflexions sur la grille climatique. Ces recherches conduisent Xenakis vers la mise au point, au cours de l'année 1952, d'un diagramme solaire original qui se présente comme un abaque synthétique permettant de dessiner rapidement les ombres portées aux trois périodes significatives (solstices d'hiver et d'été, équinoxes). Six mois plus tard (décembre 1952), Xenakis dessine un diagramme analogue pour Paris, latitude 49° N (cf. Fig. I-19).



**Fig. I-19:** Diagramme présenté sous le titre “Schéma pour détermination de l'ensoleillement.”

Source : Siret.D, Harzallah.A (2006)

Cette planche donne une méthode de construction graphique de l'ombre portée par un point quelconque sur un plan horizontal. Les trois schémas de droite indiquent les étapes de la méthode si l'on connaît l'azimut et la hauteur du soleil pour la date et l'heure considérées.

### **I-7- L'émergence du courant bioclimatique**

La dissidence des C.I.A.M en 1956 représentée par le Team Ten s'achemine vers une attitude antifonctionnaliste, mais le contrôle climatique ne joue pas un grand rôle dans les propos. Les adeptes du courant hygiéniste entreprennent des investigations relevant de divers domaines tels que le confort (**cf. Chap. V, section 4**), L'adaptation des formes architecturales et urbaines aux contraintes climatiques. Les publications des frères Olgay<sup>36</sup>, entre autres, ont identifié que la taille des bâtiments entourant l'espace ouvert, les proportions et l'orientation de ce dernier déterminent son degré d'ensoleillement.

La crise énergétique de 1973 a réorienté architecture et urbanisme à raisonner en terme de potentiels énergétiques. Les courants dits d'architecture solaire ou bioclimatique ont apporté une nouvelle dimension aux implications énergétiques de l'ensoleillement dans la construction. Une littérature particulièrement abondante peut être trouvée sur ce sujet.

Plaidant pour une adaptation régionale des modes constructifs, les recherches tentent de concilier les exigences contemporaines de confort et la nécessité de constructions économes. Cette approche a conduit à redécouvrir certaines solutions traditionnelles visant à capter l'énergie solaire disponible en hiver tout en se protégeant des effets solaires d'été. L'adaptation de ces solutions aux modes constructifs contemporains a conduit à différentes propositions sur la forme, les matériaux, les techniques constructives, les masques solaires.....

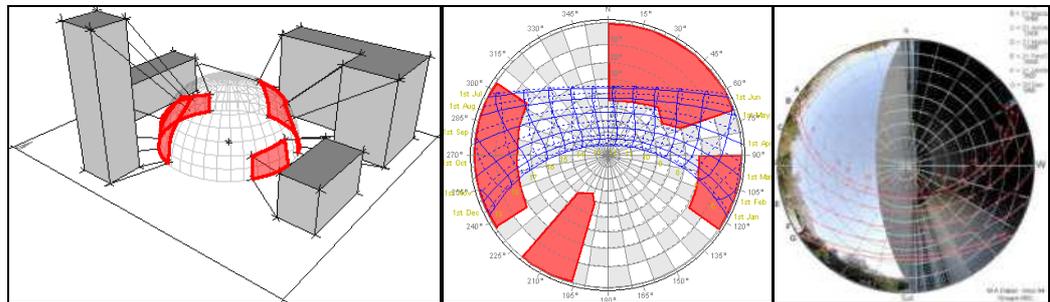
L'expérimentation de l'interaction des phénomènes physiques mis en jeu par la mise au point des différents outils de simulation, notamment informatiques, a ouvert le

---

<sup>36</sup> A.Olgay et V.Olgay, Solar control and shading devices, Princeton university press, Princeton , NJ, 1957

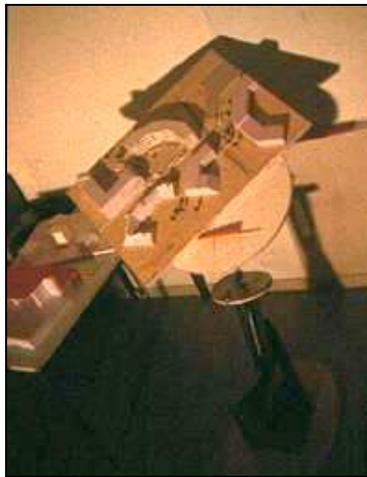
Et V.Olgay, Design with climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism, Princeton university press, Princeton , NJ, 1962

champ à l'évaluation des caractéristiques physiques des projets (cf. Fig. I-20, I-21, I-22, I-23, I-24).



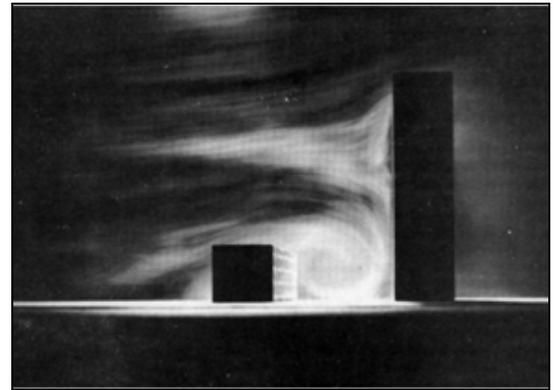
**Fig. 1-20 :** Diagramme solaire associé à un fish-eye

Source : [http:// www.Square1.com](http://www.Square1.com)



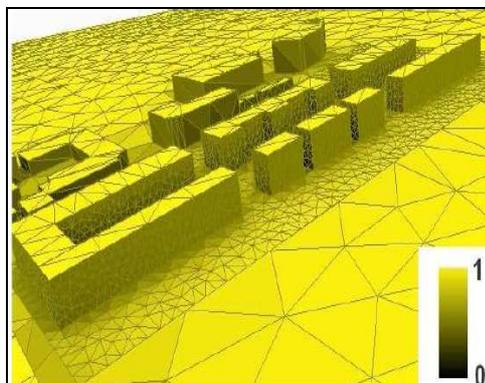
**Fig. 1-21 :** Simulation de l'ensoleillement sur maquette à l'aide de l'héliedon.

Source : [http:// www.CERMA.archi.fr](http://www.CERMA.archi.fr)



**Fig. 1-22 :** Test en soufflerie du comportement du vent à la rencontre d'une combinaison d'obstacles.

Source : *Blocken.B et al (2004).*



**Fig. 1-23:** Logiciel de simulation et d'évaluation Solene en 3D.

Source : [http:// www.CERMA.archi.fr](http://www.CERMA.archi.fr)



**Fig. 1-24 :** Logiciel de simulation et d'évaluation RayMan en 3D.

Source : *Mazarakis.A et al (2007)*

Dans une démarche plus globale, l'intérêt s'est généralisé pour s'étendre aux implications de la construction sur les espaces urbains (bilan énergétique, comportement aérodynamique en rapport avec les espaces urbains) voire même sur la ville. (**cf. chap. III**)

Le projet urbain, qui peu à peu se définit à partir de tels travaux, permet sans nul doute une meilleure appréciation des conséquences microclimatiques des choix d'aménagement urbain et d'architecture urbaine.

Plusieurs projets ont été lancés, notamment en Europe, pour l'ajustement climatique des villes et du projet urbain, usant de ces outils et mettant au point d'autres. Entre autres on citera :

- **RUROS**: Rediscovering the urban realm and open spaces (redécouvrir le royaume urbain et les espaces ouverts). Ce projet, lancé en 2001, propose une évaluation du micro climat urbain à l'échelle des espaces publics ouverts tels que les places publiques. Ceci vise à mettre en évidence les relations existantes entre les paramètres micro-météorologiques et ceux caractérisant les sensations de confort thermique, acoustique et visuel, perçues par les usagers de ces espaces. Le but ultime de ce projet est le développement d'outils adaptés aux besoins des planificateurs dans le contexte du développement durable et ceci par le biais d'une meilleure intégration dans ce processus, des perceptions de l'utilisateur du milieu urbain.

- **URBACOOOL** : Standing for URBAn efficient strategies for COOLing (Vers des stratégies urbaines efficaces pour le rafraîchissement) financée par la Commission Européenne et menée par une équipe composée de l'Université d'Athènes –Grèce de l'Université de Séville - Espagne et de l'École des Mines de Paris- France ; Elle a pour but d'étudier l'impact de la planification urbaine prenant en compte l'environnement et les techniques de rafraîchissement passives tels que la végétation et les matériaux froids utilisés dans la construction des immeubles et la couverture des trottoirs sur l'atténuation de l'îlot de chaleur urbain et la demande en climatisation active.

## **Conclusion**

Par ce petit inventaire, combien succinct voire incomplet, nous avons analysé, pour mieux comprendre, la réponse formelle particulière que la forme urbaine

vernaculaire apporte aux contraintes climatiques. Dans la plupart des cas, elle a engendré des solutions remarquables véhiculées par l'expérience des bâtisseurs dans la conception de l'habitat et de l'organisation spatiale en parfaite adaptation aux facteurs climatiques, où la construction s'effectuait avec les matériaux présents sur place conçue selon des principes simples (sol, orientation, climat, vents, soleil.....). Il est nécessaire de s'orienter en s'appuyant sur ces connaissances populaires, empiriques locales et non locales vers un monde durables tout en mettant à contribution les progrès de la science qui a produit des nouveaux moyens de recherches.

L'histoire montre que les ressources conceptuelles et techniques pour aborder la question des facteurs climatiques notamment l'ensoleillement en architecture et urbanisme ne manquent pas. De multiples théories, outils et méthodes ont été proposés, tant par les ingénieurs, les physiciens, que les architectes, témoignant d'une inventivité technique singulière (diagrammes de Xenakis) ou d'approches étonnantes comme celle de la grille climatique. Enfin, l'histoire montre que les problèmes de contrôle des facteurs climatiques, notamment l'ensoleillement, fournissent un substrat indéniable à la création formelle en architecture et urbanisme.

La période actuelle est en outre propice à de nouvelles expériences formelles, les techniques constructives, les matériaux, les outils numériques de modélisation et de représentation permettent l'évaluation des ambiances générées par toutes formes complexes urbaines ou architecturales.

Il est coutumier d'affirmer que les architectes et urbanistes ne savent plus composer avec les facteurs climatiques et en particulier la course solaire. En réalité, les problèmes posés aux concepteurs sont aujourd'hui complexes, la dualité entre soleil d'hiver et soleil d'été est au centre du problème. Il s'agit de concilier l'efficacité énergétique des bâtiments, le confort d'été, les qualités des ambiances attendues, invoquant souvent transparence et clarté, protection et fraîcheur et aussi répondre au projet de ville durable insistant sur la compacité du tissu pour des impératifs d'économie d'énergie et l'hospitalité du milieu urbain d'où l'accent est mis sur les espaces publics ouverts, objets du chapitre suivant, considérés comme véritables vecteurs des relations sensibles, sociales et culturelles qui s'établissent entre les citoyens et leur ville et qui leur permettra de retrouver le goût de vivre en milieu urbain.



# Approche théorique des espaces publics urbains

*« Si les besoins humains, les interactions et les réponses humaines ne figurent pas au premier plan, la cité ne peut pas exister. Car il faut le répéter après Sophocle: "la cité c'est le peuple.»*

*Louis Mumford<sup>1</sup>*

## **Introduction**

Au moment où plus de la moitié de la population mondiale vit en ville (plus de 3 milliard d'individu. En 2025, 60% de la population vivra dans une ville de plus d'un million d'habitants<sup>2</sup>), toutes les sociétés du monde se trouvent confrontées à des problèmes d'urbanisation de plus en plus complexes. On assiste à une extension généralisée des villes et des grandes métropoles devenues de plus en plus consommatrices d'espace et d'énergie et productrices de gaz à effet de serre. Elles posent des problèmes de mobilité accrus et leur gestion devient de plus en plus complexe.

Dans ce contexte, l'enjeu est double:

- Améliorer la qualité environnementale de la ville en cherchant à maîtriser les consommations énergétiques, à diminuer les pollutions et les nuisances et prévoir les risques.
- Répondre à la demande sociale en matière de confort, de sécurité, de santé et de qualité d'usage des espaces urbains.

Donc ce n'est pas un hasard que la notion de développement durable soit à l'air du temps.

Le concept de développement durable a été défini en 1987 par la commission mondiale sur l'environnement et le développement (Commission Brundtland) en ces termes: "...un développement qui permet de satisfaire les besoins des générations

---

<sup>1</sup> L.Mumford, Le déclin des villes, édition France empire, 1970.

<sup>2</sup>V .Stein, La ville reconquise : Du patrimoine aux espaces publics, Genève, Thèse unige, 2003.

*présentes sans compromettre la possibilité pour les générations à venir de satisfaire leurs propres besoins ...*<sup>3</sup>

Ce dernier exprime une prise de conscience des risques sociaux et environnementaux qui pèsent sur l'espace urbain. Son rôle essentiel est de garantir la qualité urbaine en mobilisant les milieux scientifiques et les autorités autant que les individus.

La notion de développement durable ne se rapporte pas uniquement à l'environnement, mais aussi à la société et à l'économie, ces trois domaines étant directement liés. Mais comment l'environnement construit peut-il favoriser le développement social durable?

Lorsque les êtres humains se sentent bien et en sécurité dans leur environnement, leur qualité de vie s'améliore considérablement. Le quartier et le voisinage dans lesquels ils vivent et travaillent créent le cadre nécessaire pour le contact social et favorise la création de réseaux sociaux.

L'épanouissement personnel et l'identité de chaque individu demande à pouvoir se retirer dans un espace privé mais, pour permettre aux êtres humains aussi de se retrouver dans des lieux de rencontre, il est essentiel de prévoir des contextes spatiaux privilégiant le tissage des liens sociaux et de veiller à bien les planifier et aménager afin de garantir un rapport équilibré entre ces espaces et leurs utilisateurs.

S'ils sont conçus pour une collectivité, les espaces publics sont aussi produits par elle. Ils en sont un reflet matérialisé. La morphologie de ces espaces porte ainsi les empreintes successives de l'évolution d'une société. Il est possible d'y lire l'écoulement du temps.

## **II-1- Définition de l'espace public urbain**

La notion d'espace public est une notion complexe d'usage assez récent; *« elle a d'abord émergée en philosophie politique en 1960 puis en sociologie et urbanisme dans les années 70 avec une définition de catégorie d'objet en opposition (plein/ vide, ouvert/ fermé, intérieur/ extérieur). »*<sup>4</sup>

Pour Monique Zimmermann, *« l'espace public s'entend comme un espace à trois dimensions, orienté par la gravité, lieu où s'exerce la nature avec la pluie, le soleil et le*

---

<sup>3</sup> A.Liebard, A. De Herde, Traité d'architecture bioclimatique, édition observ'ER, Paris, 2005.

<sup>4</sup> V .Stein, op.cit. 2

vent. Mais il s'entend aussi comme espace de l'action politique et de la pratique sociale où s'exerce la culture, comme ensemble de manières d'être, de faire, de dire, et de penser.»<sup>5</sup>

Pour Luc Doumenc, « *L'espace public, la partie non bâtie de la ville, l'espace vide où existe de la place, l'espace appartenant la plupart du temps au domaine public, partie de la ville plus particulièrement affectée à des usages publics se caractérise par la typologie empreinte par les différentes formes et par les diversités des usages pratiqués là. Vivant et conçu en osmose avec les activités de la ville, il en révèle son dynamisme et son identité.* »<sup>6</sup>

Les espaces publics comme forme ouverte sont les lieux d'équilibre dialectique entre l'architecture de l'édifice et l'architecture de la ville, ils sont le cœur et l'âme des villes. Ils appartiennent à tous; ils permettent et génèrent pour tous les spectacles de la ville. Ils sont commandés et ordonnés par le bâti de la ville, par les façades et les volumes des édifices qui les constituent.

Ils sont l'impulsion de la ville, espaces où les amis ou les étrangers peuvent y être ensemble pour communiquer, se récréer, travailler, flâner, se détendre, ou simplement jouir des bruits de la ville ou les paysages qu'offrent les perspectives.

Ils peuvent être définis comme éléments du tissu urbain qui lient les différents composants de la ville en un ensemble cohérent.

Ils peuvent être projetés comme ils peuvent se former et évoluer graduellement avec le temps. Ils sont essentiellement les espaces ouverts et pourraient être les parcs, les jardins, les squares, les places, les rues, les boulevards...

L'espace public est potentiellement ouvert à tous, mais les gens ont-ils envie de s'y rendre pour autant? « *La vie ou la mort des espaces publics dépend infiniment de leur qualité et s'ils sont conviviaux envers leurs utilisateurs probables pour marcher, se reposer, y séjourner. Confronté aux espaces publics vides et abandonnés dans beaucoup de villes contemporaines, comparativement aux scènes de rue du tournant des siècles précédents où plusieurs activités nécessaires s'y déroulaient, et qui fonctionnaient également comme lieux de réunion indépendamment de la présence ou*

---

<sup>5</sup>J.Y.Toussaint, M. Zimmermann, " *programmer et fabriquer l'espace public* ", *User observer*, PPUR, Lausanne, 2001.

<sup>6</sup>L. Doumenc, " *L'espace public dans la ville méditerranéenne*", *acte de colloque*, Montpellier Mars 1996, édition 1997, P. 11

*l'absence de qualité. Les scènes de rue de notre société actuelle montrent un modèle d'utilisation complètement différent.»<sup>7</sup>*

Vu la grande panoplie des choix et des alternatives qui s'offrent à l'utilisateur; alternative pour le transport (commun ou individuel), pour les services qui peuvent même être effectués par Internet, et les achats accomplis aux centres commerciaux. En plus la prolifération de la télévision, la vidéo, l'ordinateur personnel et Internet a changé les priorités de la vie publique vers le plaisir et la sécurité de la vie privée.

*«L'image globale des scènes publiques actuelles montre que la majeure partie des personnes y sont présents parce qu'ils veulent y être, donc l'accent doit être mis sur la qualité que doivent offrir ces espaces de par leur situation et leur conception. Si cette qualité est absente, les gens n'emploieront pas ces espaces.»<sup>8</sup>*

Ainsi, si en ce 21<sup>ème</sup> siècle on veut animer les villes et les rendre attrayantes, rues animées, places et parcs doivent être réalisés avec des caractéristiques bien étudiées et bien précises pour qu'ils ne soient pas voués à l'échec car la bonne qualité pour les activités piétonnières est essentielle.

## **II-2- Caractéristiques des espaces urbains**

Selon la littérature, trois besoins humains sont identifiés comme très importants dans la conception des espaces urbains: il faut qu'ils favorisent l'interaction sociale, offrent la possibilité de se recréer de toute fatigue physique soit elle où mentale, ainsi que la sécurité.

### **II-2-1- Le besoin de confort physique:**

Un des plus fondamentaux de tous les besoins humains le confort physique; il nous permet d'apprécier les scènes et les activités offertes par un espace.

Les espaces urbains qui ne remplissent pas ce besoin ou manquent de protection contre les dures conditions climatiques sont des lieux voués à l'échec et ne sont autre que des passages pour la circulation piétonne.

---

<sup>7</sup>J.Gehl, *Public spaces for changing public life*, <http://www.openspace.eca.ac.uk/conference/proceedings>

<sup>8</sup> J.Gehl, *Idem 7*

### II-2-1-a- microclimat

Fournir une zone de confort conditionnée par l'intensité des rayons solaires, la température de l'air, l'humidité et la vitesse du vent ; et procurer de la satisfaction pour une personne assise à l'ombre avec une tenue courante, nécessite l'étude des atouts offerts par le site et la connaissance du climat pendant toute l'année de la zone d'implantation.

Ces espaces doivent être équipés également pour la saison des pluies, en fournissant des dispositifs de protection.

Etant sujet de cette thèse ce point sera développé amplement dans les chapitres qui suivent.



**Fig. II-1 :** Prise en compte des différentes saisons garantit la praticabilité de l'espace à longueur d'année (Paley Park, New York)

*Source : Clement. J.N (2004)*

### II-2-1-b- Les bancs

Le confort physique alloué aux bancs implique trois aspects : matériaux, forme, et microclimat. Le choix des matériaux des bancs devrait tenir compte du comportement de ces derniers vis à vis la chaleur et le froid; comment une personne assise se sentirait-elle à différentes heures de l'année sous le soleil ou à l'ombre ; en plus ils ne devraient jamais être trop durs.

La forme de ce banc est en rapport avec le type d'utilisateur et la durée de l'exploitation de l'espace .Une personne s'arrêtant brièvement pour se reposer, manger rapidement un sandwich, ou pour rencontrer quelqu'un n'exige pas plus qu'un rebord d'une largeur confortable, par contre une vieille personne ou handicapée a besoin d'un siège avec repose dos et accoudoirs. N'importe qui souhaitant se reposer pendant une période prolongée apprécierait également un tel siège.

En fournissant également un banc sous le soleil ou à l'ombre, il sera adapté au confort physique d'une grande variété d'utilisateurs.



**Fig. II-2 :** Les bancs en bois avec accoudoirs fournissent une position assise confortable  
*source : Clement. J.N (2004)*



**Fig. II-3 :** sièges mobiles permettant le choix de s'asseoir à l'ombre ou sous le soleil.  
*Source : [http://: www.pps.or](http://www.pps.or)*

Les sièges mobiles (cf. **Fig. II-3**) qui offrent la possibilité du choix des places sous le soleil ou l'ombre, encourageront l'utilisation de l'espace. Cependant cette solution trouve son application seulement dans des espaces fermés et protégés du vandalisme et des vols.

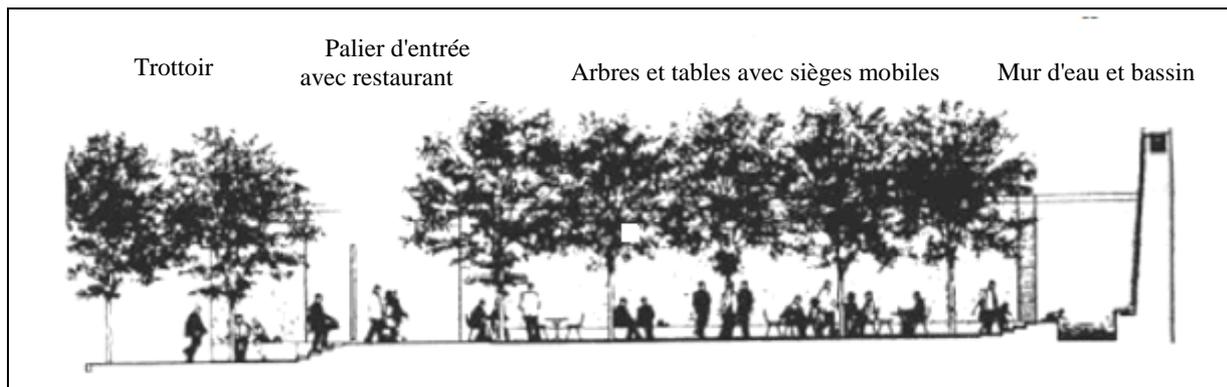
### **II-2-2- Les besoins de confort psychologique**

Le confort psychologique est le deuxième besoin humain de base, car un espace est par tous ses aspects le fait de la psychologie humaine, « *c'est une expérience des sens*

de la vue, de l'ouïe, du toucher, une expérience de chaud et de froid et d'un comportement musculaire, autant que de pensées et des pulsions qui en résultent.»<sup>9</sup>

Il est procuré par la convivialité qu'offre l'espace par sa forme qui devrait fournir la sensation d'enclosure car « des dimensions très inégales entre largeur et longueur ou entre ces deux dimensions et la hauteur des parois fait perdre à la place, qui devient ainsi trop ouverte ou trop fermée, sa signification d'espace public clos et procure à l'usager le sentiment de perte »<sup>10</sup>, par son esthétique, son libre accès et utilisation, la sécurité qu'offre ses points de repères garants d'un sens d'orientation, à savoir stèles, statues fontaines, panneaux d'information, lampadaires.

Il doit combattre le sentiment d'ennui procuré par les vastes étendues où tout se dévoile du premier regard, et inviter ses utilisateurs à la découverte pendant qu'ils se déplacent et cela par les promenades, les détours, les différences de niveaux ainsi que le compartimentage de l'espace en différentes zones d'activités. (cf. Fig II-4)



**Fig. II-4** : Paley Park (New York), espace divisé en différentes zones

Source : Clement. J.N (2004)

### II-2-3- Utilisations et activités sociales

Le désir pour le contact social est l'une des raisons principales de se rendre dans les espaces urbains. Pour satisfaire ce besoin social, un espace ouvert devrait favoriser :

- Les relations sociales spontanées et libres, programmées ou dues au hasard, ainsi que les échanges d'informations.
- Dans les espaces publics urbains, les individus ont du plaisir à observer d'autres personnes ou des spectacles, ou simplement l'observation des éléments physiques tels

<sup>9</sup> R. Arnheim, *Dynamique de la forme architecturale*, édition Pierre Mardaga, 1986, p:14

<sup>10</sup> S.Maouïa, *Éléments d'introduction à l'urbanisme, "Histoire, méthodologie, réglementation*, édition Casbah, Alger, 2000.P 76.

que les sculptures, les fontaines, les matériaux, la végétation, les couleurs, et les perspectives qui attirent plus d'utilisateurs que les espaces stériles et uniformes.

- Ils doivent permettre à leurs utilisateurs la possibilité de se recréer de l'effort et réduire leur stress par le biais des activités physiques, équipements de sport, espaces de jeux pour adultes et enfants qui attirent un bon nombre de personnes et favorisent le tissage des relations.
- Augmenter la qualité de vie urbaine durant toute l'année par une bonne mixité des activités d'achat, de divertissement et de consommation (spectacles, terrasses café, édicules, kiosques....) sources d'attraction et par conséquent de sociabilité pour la communauté (cf. Fig. II-5 et Fig. II-6).



**Fig. II-5** : Spectacle sur Las Ramblas (boulevard à Barcelone).

source: [http:// azuradec.typepad.com](http://azuradec.typepad.com)



**Fig. II-6** : Place Saint Marc (Venise) consommation rehausse la qualité de l'espace

Source: [http:// veniceblog.typepad.com](http://veniceblog.typepad.com)

### **II-3-Etude comparative des différents éléments de confort dans les espaces publics**

Quels sont les aspects les plus saillants et les plus importants d'un espace public pour ses utilisateurs journaliers? Est-ce la forme ? Est-ce la beauté de son pavage, sa verdure où des façades qui l'entourent ? Est-ce les activités qui s'y déroulent ? En outre, le climat est-il important ?

Pour mettre en évidence l'aspect le plus pertinent (esthétique ou microclimatique) quant à leur utilisation, F.Bergström<sup>11</sup> a effectué une étude sous forme de questionnaire sur trois places et un parc publics (cf. Fig. II-7, II-8, II-9, II-10) durant deux périodes différentes de l'année ; mi Juin et fin Octobre.

<sup>11</sup>F.Bergström, How people's concepts of urban places. Relate to their evaluations of the places' aesthetics and microclimate, Thèse de magistère en sciences cognitives, université Linköping, Suède, 2004.



**Fig. II-7:** Place Jussi Björlings.

*Place nouvellement conçue comme extension du nouvel opéra. Elle est pavée et délimitée d'un côté par le grand fleuve de Gothenberg.*

*Projetée pour être en contact direct avec l'eau car des escaliers y mènent sans aucune barrière.*



**Fig. II-8:** Place Kronhusbodarna

*Ancienne place pavée, entourée des plus anciens bâtiments de Göthenberg. Aucune voie ne passe à côté, sans arbres et une partie est occupée par les tables d'un café.*



**Fig. II-9:** place Gustav Adolfs Torg

*La plus grande des trois places, située au centre ville et entourée de vieux bâtiments (tribunal, hôtel de ville) ainsi qu'un alignement d'arbres.*

*Une statue au centre et des pots de fleurs meublent la place.*



**Fig. II-10:** Parc Floras Kulle.

*Situé à la limite du centre ville, beaucoup d'arbres, quelques sentiers et une statue.*

*Source: Bergström.F (2004)*

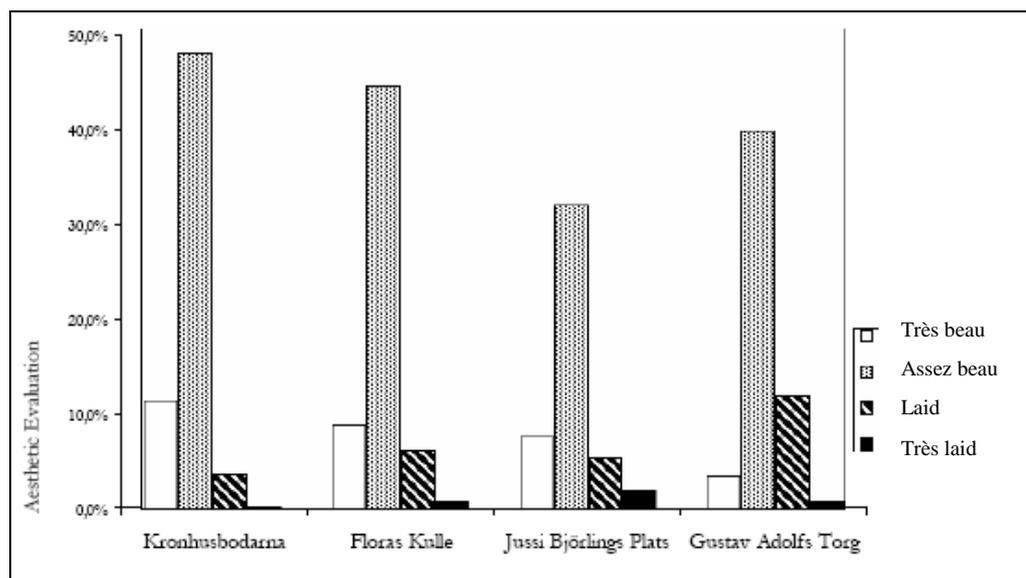
Cette étude a été menée sous forme de questionnaire et interviews sur 1205 sujets dont 43,6% de sexe masculin, et 56,4% de sexe féminin, la catégorie d'âge varie entre 15 et 81 ans avec une moyenne de 39 ans.

Pour la question sur l'esthétique de l'espace : "Comment trouvez- vous l'apparence de cette place ? " La **figure II-11** montre les résultats.

Pour expliquer leur évaluation de l'endroit comme étant très beau,...etc, les gens expliquaient soit par rapport à leur :

- Aspects psychologiques : soit en l'associant à un endroit fort apprécié tel que fleuve, bâtiment ..., son entretien ou sa valeur culturelle ou historique.
- Aspects sociaux : soit qu'il permet différentes activités ou abrite différentes activités ainsi que la présence d'autrui.
- Aspects physiques : soit la verdure, les perspectives et les vues qu'il offre, l'architecture des bâtiments qui l'entourent et *son climat* selon les saisons.

Ainsi le climat comme variable écologique peut avoir un impact significatif sur l'évaluation de l'esthétique d'un endroit.



**Fig.II-11:** Répartition des réponses concernant l'évaluation des interviewés de l'esthétique de chacun des endroits urbains.

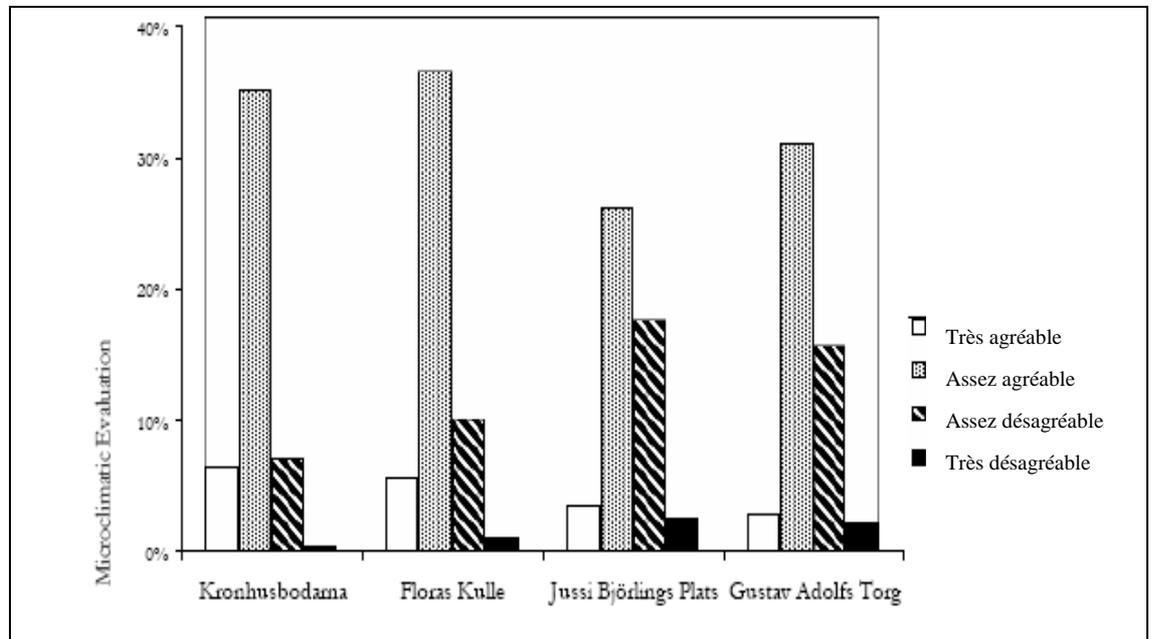
Source : Bergström.F (2004)

Pour la question concernant le microclimat de l'espace : " comment estimez- vous le climat de cet espace en ce moment?" (Mi Juin et fin Octobre), la **figure II-12** illustre les résultats.

Les sujets expliquent leur évaluation par très agréable, .....etc, par la présence de verdure, la protection qu'il offre, soit par les bâtiments ou d'autres objets, contre le soleil, le vent ou la pluie, si l'endroit est venteux, ensoleillé ou assez ombré.

Ils expliquent que quand il fait beau, les endroits trop exposés au vent et au soleil les motivent à les visiter, par contre ils sont très désagréables quand il fait mauvais.

Par conséquent le microclimat est un motif de visite, ce qui implique que la dimension climatique est très importante pour ce genre d'endroit.



**Fig. II-12 :** Répartition des réponses concernant l'évaluation des interviewés du microclimat dans chacun des endroits urbains.

Source : Bergström.F (2004)

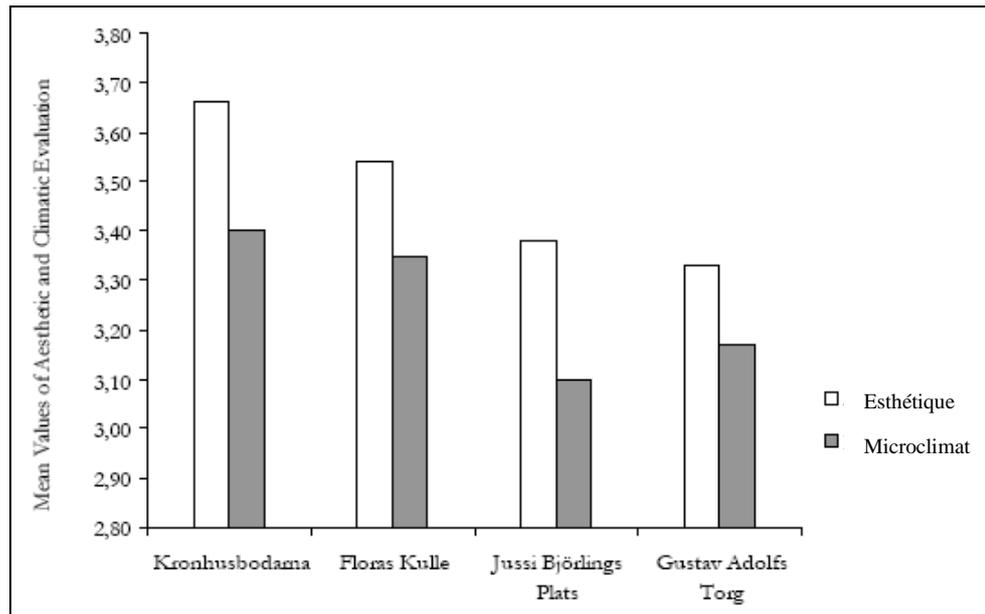
En considérant les valeurs moyennes\* quant à l'esthétique et le microclimat du lieu, les résultats sont résumés par la **figure II-13**.

Une corrélation positive a été trouvée entre la question de l'esthétique et du microclimat, c'est-à-dire si les gens évaluaient un espace public esthétiquement beau, ils ont tendance à l'évaluer microclimatiquement agréable.

Ce qui revient à dire que « *Le climat est une structure nichée dans les différents espaces, il constitue non seulement objectivement l'espace, mais influence subjectivement nos émotions et notre mémoire du lieu ou de l'espace.* »<sup>12</sup>

\* Valeur moyenne signifie estimations positives / meilleures estimations (échelle de 5)

<sup>12</sup>I.Knez, "Memory for climate and spaces", the 5<sup>th</sup> international conference on urban climate, Lodz, Poland, September 2003.



**Fig. II-13:** Valeurs moyennes de l'étude de l'évaluation de l'esthétique et du microclimat.

Source : Bergström.F (2004)

#### **II-4-Définition du concept place**

*« Un grand espace vide par le moyen duquel on puisse jouir de l'aspect sur quelques superbe édifices. »*

Palladio<sup>13</sup>

L'histoire de l'humanité est étroitement confondue avec celle des villes car l'histoire de ces dernières illustre le fonctionnement des sociétés inscrit dans l'espace, ainsi que la mise en forme de cet espace.

Dans le fonctionnement comme dans la forme de la ville, les places ont toujours joué un rôle prépondérant. *« Il est possible de dire qu'autant les diverses étapes de la civilisation s'illustrent dans la ville, autant les places figurent ce qu'était la cité pour les habitants. »*<sup>14</sup>

Dés ses origines, l'histoire des places est double, fonctionnelle et formelle:

<sup>13</sup>Définition de la place dans les quatre livres de Palladio

<sup>14</sup> M.J. Bernard e, H. Listowski, Les places dans la ville. Les pratiques de l'espace, édition Dunod ,1984

- Fonctionnelle: car elle est née de la nécessité de se rassembler devant le siège du pouvoir, devant le temple, ou dans les lieux du commerce. C'est ainsi qu'elle devient un support des fonctions essentielles de la cité: l'échange et la rencontre.
- Formelle: car absolument indissociable du tissu urbain plus ou moins serré, cette pièce commune prend un sens formel incontestable.

Un vide dont la forme est un élément du paysage urbain que les dictionnaires définissent comme " *un lieu public découvert et bordé de maison ou de monument.*"<sup>15</sup>

Ou comme "*un large espace découvert auquel aboutissent plusieurs rues dans la ville.*"<sup>16</sup>

Ces deux aspects historiques fonctionnel et formel ont forgé la notion de la place et tous les deux ont contribué à la confusion suivante:

1. La place est le support pour des activités déterminées. Ou bien
2. La place est un vide entouré de construction.

Cette ambiguïté permet d'attribuer ce nom à un nombre d'espaces; les ronds-points, les carrefours, les parkings de stationnement devant les édifices, des esplanades.....

Mais C.Sitte écrivait : « *Le seul fait qu'un espace ne soit pas bâti n'en fait pas pour autant une place urbaine (...) bien d'autres conditions sont requises qui concernent l'ornementation, la signification et le caractère.* »<sup>17</sup>

De tout ce qui précède, on se posera la question suivante: qu'est ce qu'une place? Quels sont les éléments qui la déterminent?

Pour répondre à ces questions, il serait intéressant de signaler les étapes successives qui ont forgé l'image de cet espace.

## **II-4-1- L'histoire de la place**

### **II-4-1-1-L'antiquité:**

"*Dans les grandes villes de l'antiquité grecques ou romaines, l'espace public est avant tout le lieu privilégié où se manifeste le pouvoir de l'état. Au caractère nécessairement fonctionnel des aménagements urbains, s'ajoutent presque toujours une dimension ornementale qui se veut la glorification et la célébration de la puissance publique.*"<sup>18</sup>

<sup>15</sup>Larousse 3 dictionnaires encyclopédiques tome III. édition librairie Larousse canada 1970

<sup>16</sup>Idem<sup>15</sup>

<sup>17</sup>C. Sitte, L'art de bâtir les villes, édition L'équerre, Paris, 1980, P.35

**II- 4-1-1-a-L'Agora et la Grèce antique:**

L'Agora fait aujourd'hui partie des symboles d'une convivialité publique un peu mythique " *elle paraît être en effet la première forme non rurale, non exclusivement religieuse et symbolique d'un lieu urbain de vie publique consciente et organisée.*"<sup>19</sup>

Espace central, encadré par les bâtiments à caractères divers: le temple, le conseil du sénat, le théâtre, le gymnase, l'odéon ....etc. Entourée de colonnade et des péristyles pour les promenades et les rendez-vous d'affaire (**cf. Fig. II-14**) ainsi qu'une protection du soleil et de la pluie et agrémentée d'autels, de fontaines et des statues.

Centre séculaire de la vie grecque était plus qu'un alignement d'échoppes; il était la place sur laquelle se tenaient les assemblés et les débats. Il servait de forum social et politique aux citoyens. Lieu d'échanges culturels, de festivité, de commémoration et de transmission des nouvelles. Elle peut avoir différents tracés, régulier (Agora de Milet.**cf. Fig. II-15**) ou quelques fois irrégulier (Agora d'Assos. **cf. Fig. II-16**).



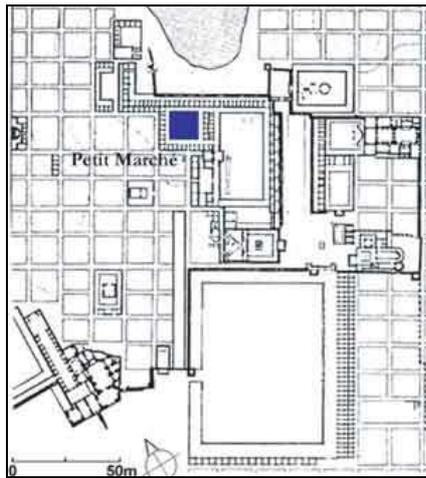
**Fig. II-14 :** Agora grec bordé d'un double rang de colonnes au fond duquel sont disposés des locaux de petites dimensions destinés à diverses affectations.

Source : <http://veniceblog.typepad.com>

A l'époque hellénique, les rues s'élargirent, les monuments délimitèrent les contours de l'Agora jusque là flous. C'est à cette époque que furent plantés les arbres à Athènes.

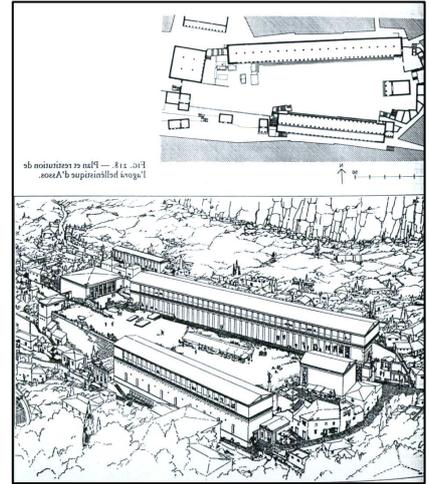
<sup>18</sup>J.P. Muret, Y.M.Alain, M.L Sabrie, *Espaces urbains; concevoir, réaliser, gérer*, édition Du Moniteur, 1987

<sup>19</sup> M.De Sablet, *Des espaces urbains agréables à vivre*, édition du Moniteur, Paris, 1988, p 20



**Fig. II-15:** Agora de Milet au tracé régulier

Source : séminaire Robert Auzelle  
<http://www.arturb.fr>



**Fig. II-16 :** Agora d'Assos au tracé irrégulier

Source : Benevolo.L (1994)

#### II-4-1-1-b- Le Forum et la cité romaine

Pour Sitte " *le forum est à la ville ce que l'atrium est à la demeure familiale; la pièce principale ordonnée avec soin et richement meublée.*"<sup>20</sup>

Né de l'intersection de deux axes qui régissent la ville romaine le Decamanus et le cardo, cet espace central était retourné sur lui-même afin de se démarquer du reste de l'environnement des quartiers insalubres et non hygiéniques à cette époque. Autour de cet espace, se groupaient les édifices religieux et les boutiques. (cf. **Fig. II-17**)

Il formait un réseau de place plus ou moins spécialisées et complémentaires mais sans rigueur: leurs fonctions se superposées fréquemment.



**Fig. II-17:** Forum de lutte (reconstitution)

Source : séminaire Robert Auzelle, <http://www.arturb.fr>

<sup>20</sup>J.Y.Toussaint, M. Zimmermann, Op.cit. 5

Il est à noter aussi qu'aux détours des ruelles obscures, on trouvait des placettes de fontaines et des dégagements directement liés aux activités sociales, domestiques ou économiques de la cité.

#### II-4-1-2- Le moyen âge

Durant toute la période médiévale, on a rompu avec les dimensions des cités antiques grecques ou plus encore romaines (A Rome par exemple les forums et les thermes étaient immenses). "*Le réseau spatial médiéval est un réseau à petite échelle.*"<sup>21</sup>

Ces villes étaient caractérisées par un magnifique désordre et une multitude de formes urbaines car leur organisation n'était soumise à aucune règle.

L'espace urbain se développa spontanément autour des monuments fréquentés quotidiennement comme les églises et les cathédrales, les mosquées et les temples chinois rarement prolongés par des espaces somptueux et surdimensionnés. (cf. **Fig. II-18, Fig. II-19**). Les places étaient formées par l'implantation progressive du bâti ce qui leur conférait un caractère de vues diversifiées, les surprises architectoniques qu'elles offraient et par les perspectives bloquées sur les façades des édifices importants (église, mosquée, mairie, ....), car elles se laissaient découvrir après de nombreux détours et selon des perspectives imposées par les rues d'accès tortueuses.



**Fig. II-18 :** Place d'une mosquée au Caire.

Source : [http:// www.magiclub.com](http://www.magiclub.com)



**Fig. II-19:** Place parvis d'une église à Strasbourg.

Source : [http://novillefrançaise . skyrock.com](http://novillefrançaise.skyrock.com)

<sup>21</sup>F. Bédarida, *Espaces collectifs*, [http:// www.international .icomos.org](http://www.international.icomos.org)

La place médiévale poumon économique assurait par la tenue des marchés et foires la subsistance des villes. Ces marchés se transformaient en un véritable événement permettant l'approvisionnement des citoyens en vivre et les échanges commerciaux. Elle constituait aussi un support pour un amalgame d'activités: rencontres quotidiennes, cérémonies religieuses, fêtes, spectacles théâtraux ou musicaux donnés par des troupes d'artistes ambulants, en passant par d'autres spectacles plus sinistres car la potence ou le bûcher furent érigés en plein centre de la place.

Pour nombre de chercheur, la séduction exercée sur les citoyens modernes frustrés de vie urbaine, tient surtout de l'animation qui s'y déroulait quotidiennement et par les activités sociales et communautaires mêlées les unes aux autres, l'espace urbain se caractérisait par un joyeux désordre et une extraordinaire variété de formes surajoutés au cours des siècles dans des styles différents sans nuire à l'unité de l'ensemble.

Il reste à noter que *"L'arbre était rarement présent dans les rues et les places médiévales et le plus souvent les statues et les fontaines sont peut nombreuses dans la ville"*<sup>22</sup>, car à cette époque dans l'esprit des habitants, la nature se trouvait en dehors des remparts de la cité soit à la campagne (cf. **Fig. II-20**).



**Fig. II-20** : La place centrale à sienne, sans végétation.

Source: [http:// : www.cartage.org](http://www.cartage.org)

#### **II-4-1-3-La renaissance:**

*"La renaissance a marqué un retour aux valeurs et traditions antiques, par la mise en place d'un cadre architectural monumental qui célèbre les lieux nobles par excellence; annonçant une nouvelle façon de voir que certains qualifient d'humaniste."*<sup>23</sup>

---

<sup>22</sup> L.Doumenc, Op.cit. 6

<sup>23</sup> J.Y.Toussaint, M. Zimmermann, Op.cit5

A cette époque, les places étaient liées d'avantage à la forme spatiale et un décor qu'à leur utilisation. Elles cessèrent d'être simplement des lieux fonctionnels, des vides formés par l'implantation progressive du bâti, lieux privilégiés de la vie publique, mais elles devinrent un projet pensé dans tous ces détails *"un espace dans le seul but est de mettre en valeur un palais, une église, une statue équestre ou en pied; ou encore de représenter en soi les valeurs esthétiques."*<sup>24</sup>

D'où le souci tout nouveau de la perspective et l'accord d'une attention prioritaire au problème de proportions. (cf. Fig. II-21)



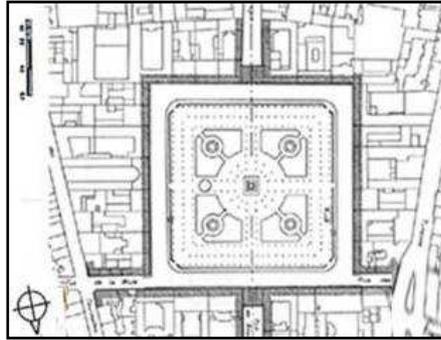
**Fig. II-21** : Place saint Pierre, Rome, conçue pour mettre en valeur la basilique  
Source : Gymbel.J (1996).

La renaissance va introduire l'idée qu'il faut les aménager aussi pour le plaisir de la promenade, de la contemplation de la beauté du lieu, et du spectacle," *Ainsi s'amorce le rôle ostentatoire des places et leur détournement au profit de l'autorité, rôle qui va s'affirmer sans ambiguïté avec les Places Royales de l'époque des lumières.*<sup>25</sup> (cf. Fig. II-22)

Devenues espaces cérémoniels, promenades et espaces de stationnement de carrosserie de l'aristocratie ainsi qu'au défilé militaire; désormais *la populace* n'y était admise que pour célébrer un événement royal. L'animation de la vie urbaine donc continuait d'être dans le tissu moyenâgeux.

<sup>24</sup> M. Sablet, *Op.cit.* 19

<sup>25</sup> P. Lavedan, *"Les villes françaises"*, revue *Métiers Graphiques*, Paris, 1960.



**Fig. II-22** : Place royale

Source : séminaire Robert Auzelle, [http:// www .arturb.fr](http://www.arturb.fr)

#### **II-4-1-4-XIX siècle**

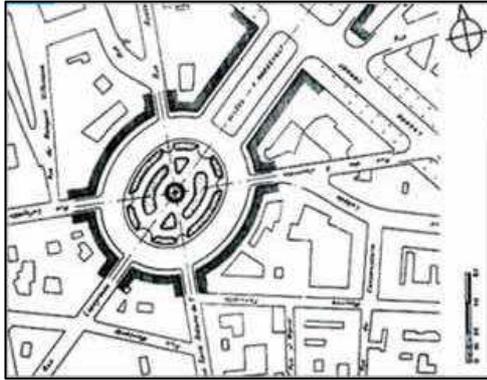
A cette conception succède celle d'un XIXe siècle caractérisé par une diminution considérable de la tolérance bourgeoise au spectacle de la rue et des places. *"La sensibilité bourgeoise, qui préside aux grands travaux urbains incluant les places publiques, rejette les proximités spatiales traditionnelles entre groupes de rangs, âges ou d'occupations différentes, comme elle rejette la multiplicité des activités qui prennent place en un seul et même lieu. La volonté d'ordre, de séparation des gens et des fonctions des lieux va sous-tendre une vision de la sociabilité publique qui contribuera à vider rues et places de leurs activités traditionnelles."*<sup>26</sup>

Avec la révolution industrielle, la ville sera régie par deux principes complémentaires:

- Le respiratoire c'est-à-dire aérer le tissu urbain pour un but hygiénique.
- le circulatoire car dans *"l'agglomération mercantile qui devint industrielle, les diverses fonctions quittèrent la place pour s'abriter dans des bâtiments spécifiques et progressivement la place est devenue un vrai vide entouré de construction où la vie publique a cédé sa place à un trafic automobile dense "la place, nœud de circulation, impossible à traverser hostile aux piétons est devenue impraticables."*<sup>27</sup> (cf. **Fig. II-23, Fig. II-24**)

<sup>26</sup>P. Korosec-Serfaty, " *La sociabilité publique et ses territoires -Places et espaces publics urbains* " *Arch. et Comport. I Arch. Behav.*, Vol. 4, no 2, pp. 11 1-1 32, 1 988.

<sup>27</sup>M .J.Bernard , H. Listowski, *Op.cit* 14.



**Fig. II-23:** Place square (Toulouse)



**Fig. II-24 :** Place de l'étoile (Paris)

Source : Encarta (2005)

Sitte refuse le nom de place à ces carrefours modernes servant d'aboutissement à des avenues gigantesques. Pour lui, "ces places ne sont que des nœuds monstrueux et un ramassis de tout ce qui est à la fois laid et peu pratique."<sup>28</sup>

#### **II-4-1-5-La place au XX<sup>ème</sup> siècle:**

En réponse à l'accumulation des problèmes de la période industrielle notamment la croissance démesurée des villes, le logement des ouvriers de l'industrie était aussi déplorable que leurs conditions de travail: insalubrité, maladies, difficulté de circulation. Assainir ces villes devint chose nécessaire.

"Dés 1928 les CIAM préparèrent la fameuse charte d'Athènes qui fût éditée en 1942 (.....) Les destructions de la guerre permirent aux promoteurs de la reconstruction d'en faire la bible idéologique."<sup>29</sup>

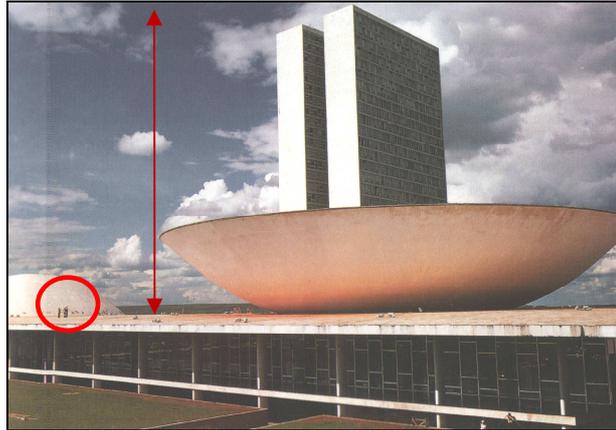
La charte d'Athènes a introduit des concepts nouveaux réduits à quatre fonctions: habiter, circuler, travailler, se recréer. Par ce fait du zonage, la ville est devenue un ensemble de volumes bâtis noyés dans des étendues d'espaces et vides dépourvus de cohérence et de continuité, "Il n'y a guère que des rubans à circuler, des espaces de stationnement et de vastes étendus monotones."<sup>30</sup>

La ville se vida ainsi de ses substances vitales qui sont la rue et la place et se transforma en un espace inhumain et monotone. (cf. Fig. II-25)

<sup>28</sup>C. Sitte, *Op.cit.* 17, P.35

<sup>29</sup>M. Sablet, *op.cit.* 19, p. 25

<sup>30</sup> C. Sitte, *Op.cit.* 17, p. 27



**Fig. II-25** : Place des trois pouvoirs, Brasilia, hors échelle humaine  
*Source : Gymbel. J (1996)*

Les places conçues dans les villes nouvelles telles que Brasilia, n'ont de commun avec la place que le nom, car leur délimitation n'est pas déterminée, les bâtiments la bordant ne sont en rapport lisible ni avec la place ni entre eux, car chaque édifice est traité individuellement. Contrairement aux places anciennes, elles sont devenues des espaces de transit pour atteindre les équipements à grande attractivité bordant la place tels que les centres commerciaux, immeubles administratifs, hôtels.....où l'animation s'y trouvait à l'intérieur sans être extensible à la place même.

#### **II-4-1-6- La place et le postmodernisme**

Amorcé par le mouvement des Team Ten, les CIAM en 1956 furent dissous laissant derrière eux un lourd héritage de maux et d'échecs à l'échelle planétaire: déculturation, perte d'identité, de savoir faire ,d'échelle humaine de l'espace urbain, par conséquent ennui dégagé par l'uniformité et absence de référence à la tradition.

Les villes nouvelles des années 70 seront une occasion pour une réflexion profonde sur les espaces publics urbains de qualité, animés et attrayants.

Dans ce but, sculptures, peintures murales, mobilier urbains ont été introduits. L'éclairage public est pensé comme élément de décoration urbaine, l'implantation des arbres et verdure ne se fait plus d'une façon linéaire mais avec l'intervention des paysagistes; mais le résultat reste toujours un échec, car l'espace public était cerné dans des opérations faites à la fin de chaque projet. On lui donna peu d'importance, c'est un espace résultant de l'agencement de plusieurs volumes, donc à formation aléatoire, et n'est autre que le négatif de l'espace bâti et non pas comme élément générateur. A cela

s'ajoute la négligence totale des connaissances concernant le comportement humain ainsi que les facteurs climatiques, les fonctions sont toujours isolées donc absence de mixité urbaine et par conséquent d'animation.

J. Gehl propose une formule pour rendre vie à ces espaces : "*Toutes les extensions qui ont été projetées sont basées sur la formule les bâtiments en premier, les espaces urbains, puis (peut-être) la vie. Dans la planification actuelle, cette formule doit être inversée et les questions devraient être dans cet ordre: quel genre de vie veut-on dans le secteur? Quel genre d'espace sera nécessaire pour cette vie? Et en conclusion, comment les bâtiments seront disposés en appui à ces espaces et à la vie dans le secteur? En bref, la formule doit être en premier la vie, puis l'espace et enfin les bâtiments.*"<sup>31</sup>

Ainsi la planification des espaces urbains doit être faite avec soin. Considérés comme des services de prolongement des logements et régénérateurs de la vie urbaine. La notion d'espace public fera désormais allusion à la fois aux qualités spatiales et à des pratiques sociales.

#### **II-4-2- Forme d'une place**

Pour décrire une place, on fait référence souvent à sa forme carrée, rectangle, ronde, régulière, ou irrégulière, grande ou petite.....

Pour C.Sitte "*même les places médiévales irrégulières et contrairement à ce que l'on pense s'identifient toutes dans la réalité à des figures géométriques connues (carré, rectangle et cercle).*"<sup>32</sup>

Ainsi afin de mieux comprendre les variations formelles des places, R.Krier<sup>33</sup> propose un travail typologique sur les places reposant sur ces trois formes : carré, rectangle et cercle (**cf. Fig. II-26**), qui sont traitées par brisure, répétition, combinaison, superposition et altération (**cf. Annexe A**).

Du point de vue composition urbaine et selon C.Sitte, les places carrées sont de mauvaise apparence, les places rectangulaires dont la longueur est de quatre fois supérieure et plus à sa largeur voient leur apparence se dégrader, quant aux places triangulaires, elles sont d'un effet très médiocre et cassent toute illusion d'optique en

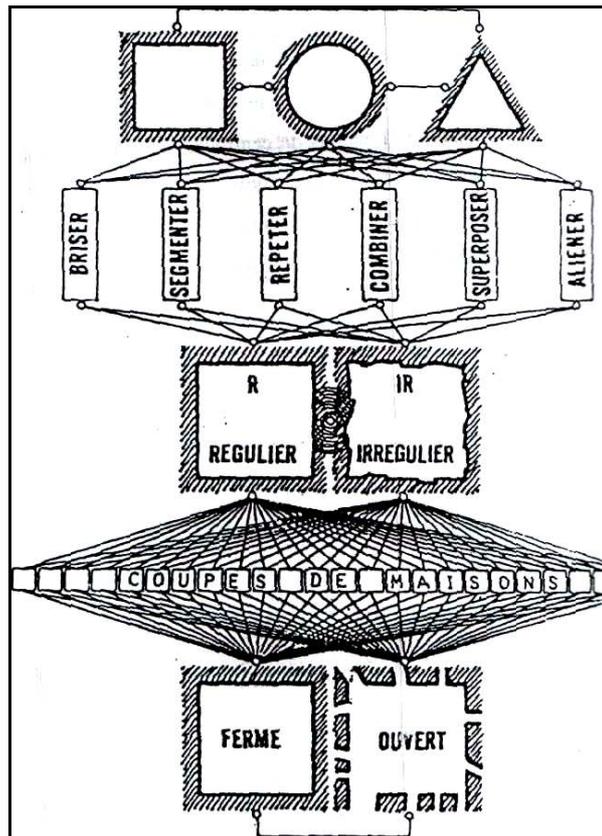
<sup>31</sup> J.Gehl , Life between buildings.5<sup>e</sup> édition Copenhagen: Danish Architectural, (1996) Press, <http://www.arkfo.dk>

<sup>32</sup> C.Sitte, Op.cit. 17, P.93

<sup>33</sup> R. Krier, L'espace de la ville, théorie et pratique, édition archive d'architecture moderne, Bruxelles.1980.

donnant l'impression que les bâtiments qui l'entourent semblent se heurter brutalement.<sup>34</sup>

Pour M.J. Bernard et H. Listowski : "Du point de vue de la forme, la place est une boîte, boîte à chaussures, boîte à chapeau, boîte ronde, ovale, rectangulaire ou carrée ; une boîte plus ou moins trouée ou pleine, ouverte ou fermée mais elle a toujours, comme toutes les boîtes, un fond, plusieurs cotés et un couvercle."<sup>35</sup>



**Fig. II-26:** Type d'espaces urbains  
Source : Krier,R.( 1975)

Le fond qui n'est autre que le sol qui peut être plat, incliné ou en gradin. Les parois peuvent être pleines, en claustras ou complètement ouvertes sur des paysages divers. Le plafond est particulier, transparent "...cadre l'ensemble et apporte par la lumière qu'il transmet suivant l'heure, les saisons et le climat, une quatrième dimension au paysage, modifié par les jeu d'ombres et du soleil, du vent, de la pluie ,... etc." <sup>36</sup>

<sup>34</sup> A.F.Tadjari, La place publique comme pièce maîtresse de la cohérence de la continuité urbaine, thèse de magister, Université de Sétif, Mars 1999.p 31

<sup>35</sup> M.J. Bernard, H. Listowski, Les places dans la ville. Les pratiques de l'espace, édition Dunod, 1984.

<sup>36</sup> Mission interministérielle pour la qualité des constructions publiques, Comprendre et reconnaître l'espace public avant d'agir, arche sud, Novembre 2001, p.26, [http:// www.archi.fr/MIOCP](http://www.archi.fr/MIOCP)

Les facteurs les plus importants sont donc la nature du plancher, les parois, et surtout de leur relation. Cette relation est exprimée à travers les dimensions et les proportions des places.

### **II-4-3- Dimensions et proportions des places**

Selon F. Gibberd, *"Il est impossible de donner une valeur plastique à un espace – volume quand la surface au sol est trop grande pour qu'il puisse exister un rapport entre le sol et les murs des bâtiments qui l'entourent.*

*Dans la pratique, on limite la hauteur des bâtiments, mais non la surface au sol et on s'aperçoit que d'innombrables espaces urbains sont des échecs parce qu'ils sont si grands que les bâtiments semblent se dresser au bord de l'espace.*

*Les murs et le sol de l'espace se dissocient et l'effet d'enceinte spatiale\* ne se produit pas.*<sup>37</sup> L'auteur continue: *".....c'est seulement sur plan qu'on peut trouver du mérite à une grande place (.....) De ce fait plus l'espace qui s'interpose entre nous et leurs façades est grand moins il nous semble impressionnant. En outre, plus grand est le vide qui nous entoure et moins nous avons la sensation d'enclosure spatiale."*<sup>38</sup> (cf.section **II-2-2**)

Les dimensions devraient procurer la sensation d'une "salle de séjour" en pleine air. Donc quelles devraient en être les dimensions?

Vitruve définit les proportions de la place comme suit: *"la grandeur des places publiques doit être proportionnée à la population de peur qu'elles soient trop petites si beaucoup de personnes y ont affaire ou qu'elles ne paraissent trop vastes si la ville n'est pas fort peuplée. Pour en établir la largeur; il faut diviser la longueur en trois parties et en prendre deux; par ce moyen la forme en sera longue et cette disposition sera bien plus commode pour y donner des spectacles."*<sup>39</sup>

La taille moyenne d'une place peut être définie par son échelle qui à son tour peut être définie par, d'une part les dimensions relatives à la place: c'est le rapport dimensionnel entre la moyenne de la longueur et la largeur de l'espace place et la hauteur du bâti moyen de la place. Et d'autre part les dimensions relatives à l'homme;

---

\*salle de séjour cité par A.F.Tadjari, opcit 34

<sup>37</sup> F.Gibberd, composition urbaine, édition Dunod, Paris, 1972, p. 100

<sup>38</sup> M.J. Bernard , H. Listowski, Op.cit 35

<sup>39</sup> M.Perrault , Les dix livres d'architecture de Vitruve, édition Pierre Mardaga, Liège 1996, le cinquième livre d'architecture, P .148

c'est le rapport dimensionnel entre la moyenne de la longueur et la largeur de l'espace place et la hauteur d'un homme de taille normal  $\approx 1\text{m } 65$ .<sup>40</sup>

Il y a un certain accord sur les dimensions optimales des places<sup>41</sup>, basées sur la distance maximale à laquelle un visage peut être identifié, approximativement 75 à 100 pieds.\*

Pour la mise en forme détaillée de l'espace urbain, Il faut également tenir compte des informations concernant le mode de vision de la silhouette humaine. A ce titre, on peut se rappeler la distance de 135 m qui constitue la limite de la différenciation d'une action quelconque.<sup>42</sup>

C.Sitte, nous indique que les dimensions moyennes des grandes places dans les villes anciennes sont 140 m de long et 60 m de large, et que la dimension minimale de la place doit être égale à la hauteur du bâtiment principal et sa dimension maximale ne doit pas excéder deux fois cette hauteur si elle n'est pas justifiée par la forme, la fonction et le type des bâtiments.

Hegemann et Peets (1988) et Duany et autres (2003) avancent une distance maximale de deux à trois fois sa hauteur si l'observateur veut voir plusieurs bâtiments à la fois.<sup>43</sup>

Yezioro et al<sup>44</sup> stipulent une hauteur des bâtiments autour de la place urbaine au dessous de 1/3 de sa largeur afin que plus de son tiers soit exposé aux rayons solaires d'hiver.

*"Néanmoins, à la fois parce que les espaces et les bâtiments qui les entourent peuvent être de formes si différentes, et parce que l'effet de plafond recouvrant l'espace est parfois si immatériel, ce n'est pas là un sujet sur lequel on puisse -contrairement à ce qui se passe dans le cas des volumes totalement enclos, comme les salles d'un édifice – poser des affirmations ayant force de dogme. Tout ce qu'on peut faire, c'est étudier les espaces urbains les plus satisfaisants et se rappeler, quand on doit en composer un, combien ils sont intimes, et de proportions modestes comparés aux espaces de l'urbanisme contemporains."*<sup>45</sup>

<sup>40</sup> Cité sans référence par A.F.Tadjari, Op.cit. 34, P. 32

<sup>41</sup> Alexandres et al, 1977, Lynch, 1981; Moughtin, 2003. Op.cit. 35

\* Si un pied est l'équivalent de 30.48 cm la distance sera donc de  $\approx 23 - 30$  m.

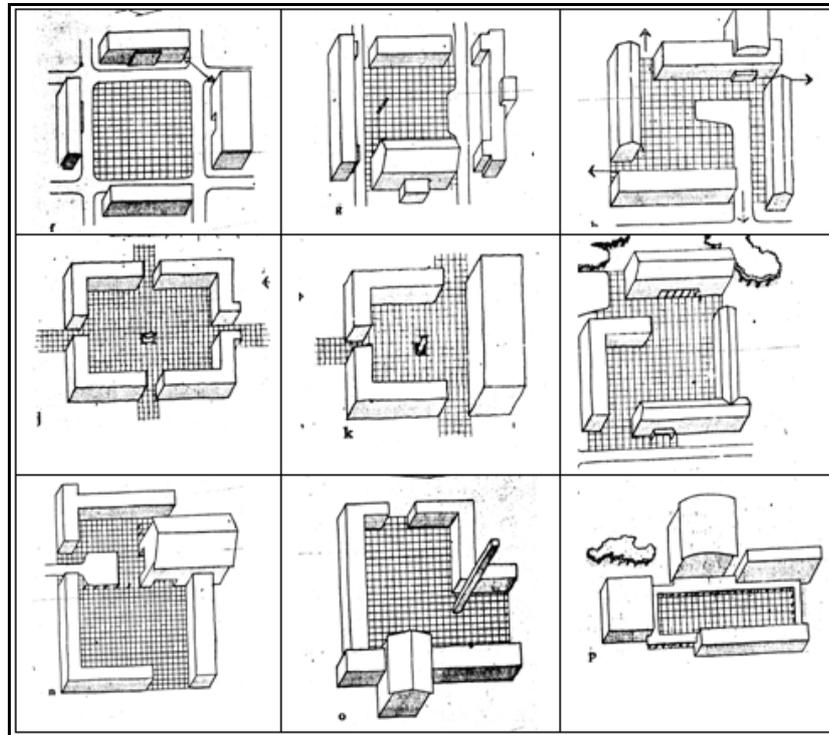
<sup>42</sup> Cité sans référence par S.Masmoudi, Relation entre géométrie urbaine ,végétation et confort thermique extérieur, Thèse de Magistère, Université Mohamed Kheidar, Biskra, 2003, p 40

<sup>43</sup> Cités par J.N Clement , Sociale, restorative and safe places, thèse de magister, université de Florida, 2004

<sup>44</sup> A. Yezioro,I.G. Capeluto, E. Shaviv, "*Design guidelines for appropriate insolation of urban squares*", Renwable Energy, Volume 31, Juin 2006, pp 1011-1023

<sup>45</sup> Mission interministérielle pour la qualité des constructions publiques, Op.cit. 36, P.101.

Les diagrammes qui suivent sont des exemples de quelques types qu'on rencontre le plus fréquemment dans nos villes<sup>46</sup> :



**Fig. II-27:** les tracés des places les plus fréquents dans la ville contemporaine.  
Les ouvertures aux coins ou au milieu, complètement entourée ou en forme de U.  
*Source : Gibberd, F. (1972)*

Mais jusqu'à quel degré toutes ces approches concernant les proportions d'un espace urbain réussi du point de vue composition urbaine coïncident-elles avec sa réussite du point de vue confort thermique sujet de cette recherche?

### Conclusion

A travers les différents paragraphes de ce chapitre, nous avons essayé de cerner le concept "place" en essayant de répondre à la question "qu'est-ce qu'une place?" D'abord rien que le monde en trois dimensions où l'on peut percevoir par les sens et dans lequel on peut séjourner. Cet espace est caractérisé par sa hauteur, sa longueur et sa largeur ainsi que son tracé.

<sup>46</sup> F.Gibberd, *Op.cit* 37, pp. 101- 103

Ces dimensions devraient procurer aux usagers la sensation d'enclos caractéristique importante pour créer une ambiance paisible et un sentiment d'intimité et de sécurité. Elle peut être façonnée par le soleil, l'ombre, la lumière, l'eau et la végétation ainsi que des façades richement décorées et un mobilier de qualité.

L'histoire nous enseigne que cette pièce maîtresse dans le tissu urbain ne devrait pas résulter d'une addition fortuite ni même un traitement de résidus délaissés entre les bâtiments, mais un espace incorporé dans le tissu urbain qu'il soit de formation graduelle ou planifiée. Elle nous enseigne aussi qu'il est nécessaire que le concepteur pense à entourer la place par des activités qui peuvent l'animer et renforcer son usage.

Le bon choix des activités sociales et récréatives ainsi que la prise en compte du climat pendant les différentes périodes de l'année pourront déterminer le degré du succès de la place et augmenteront considérablement son attractivité et par conséquent l'intensité de son utilisation journalière et saisonnière qui pourrait améliorer la qualité de la vie sociale des gens.

L'aménagement d'un espace public urbain s'avère donc être un problème qui ne peut être résolu par la recherche de formes préconçues, mais qui exige un travail avec des lois et des règles pluridisciplinaires donnant un minimum de cohérence et de signification à l'espace urbain c'est-à-dire un espace qui aide les riverains à vivre en harmonie avec leur environnement. L'une de ces règles est la connaissance de son impact sur le microclimat urbain sujet du chapitre suivant.



## *Chapitre III*

# **Microclimat urbain**

*« Une ville moderne ne peut être véritablement couronnée de succès que si elle peut démontrer ses qualités vertes en reconnaissant ses atouts naturels, en créant des infrastructures efficaces pour l'eau, l'énergie et le transport, et en protégeant ses citoyens contre les effets actuels et futurs des changements climatiques. »*

*Achim Steiner<sup>1</sup>*

### **Introduction**

Les questions d'urbanisme représentent aujourd'hui un problème important dans un contexte où l'on enregistre une forte croissance de la population des villes, une croissance qui, du point de vue historique, n'a jamais été aussi rapide que celle constatée aujourd'hui dans de nombreux pays en voie de développement.

*"En l'année 2000, 45% de la population du monde a vécu dans des secteurs urbains, avec une fraction beaucoup plus haute (75%) dans les pays plus développés. D'ici 2007, on le projette que la moitié de la population de la terre sera des habitants de ville si les tendances continuent, et la majeure partie de cette urbanisation additionnelle prendra endroit dans les pays en voie de développement".<sup>2</sup> (cf. Fig. III-1)*

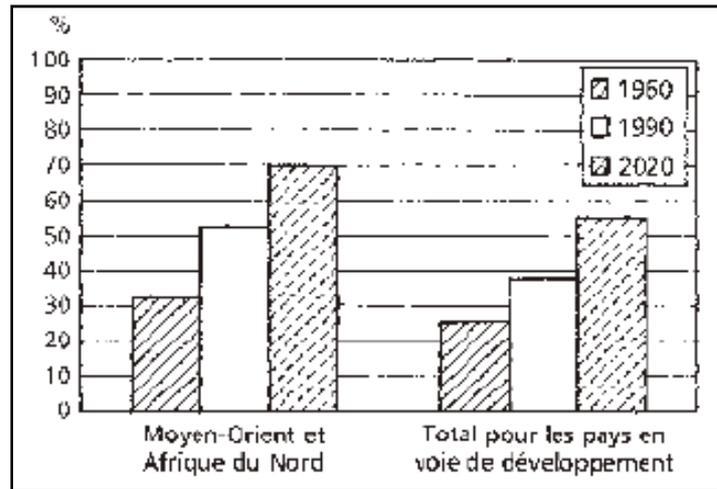
Pour l'Algérie, d'après les déclarations de l'ex-ministre délégué chargé de la ville A. Boukerzaza, 33 millions d'habitants sur 41 millions d'Algériens, soit 80%, seront concentrés dans les villes à l'horizon 2025.<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup>A.Steiner, Rapport session climatique sur le gouvernement local, Conférence des Nations Unies sur le Climat, Bali, Indonésie, 11 décembre 2007.

<sup>2</sup> A.J.Arnfield, "Review two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island", International journal of climatology, 23, 2003, pp.1-26.

<sup>3</sup>A. Mazari, "80% des Algériens habiteront dans les villes", Le Quotidien d'Oran, 17 janvier 2006.



**Fig.III-1** : Part de la population urbaine au Moyen-Orient et en Afrique du Nord et total pour les pays en voie de développement

Source : Banque Mondiale (2000)

Dans cette perspective, la compréhension du climat urbain est donc d'un grand intérêt pour la création d'un environnement confortable et sain auquel une quantité croissante d'habitants urbains sont et seront exposés.

Sachant que le climat représente un état transitoire, il est le résultat d'un équilibre interactif entre les différents éléments d'un système interne (l'atmosphère, les surfaces terrestres...) et leur stimulus externe (l'énergie du rayonnement solaire). Toute modification affectant l'un de ces éléments retentit sur les autres. Cet état d'équilibre étant précaire, le climat subit d'incessantes oscillations d'amplitudes diverses, à toutes les échelles de durée.

Donc c'est un sujet difficile que celui des relations entre l'urbanisme et le climat, car il faut considérer deux facteurs qui agissent l'un sur l'autre : l'effet du climat sur une ville et l'effet de la ville sur le climat.

Le climat agit sur la ville par l'ensoleillement et la nébulosité, l'humidité et les courants aériens ayant une influence sur la température des habitations, sur les ambiances des voies publiques, des terrains et des espaces verts, et d'une manière générale sur les conditions d'habitabilité des agglomérations. D'une autre part une ville une fois construite, le climat n'y est plus le même que celui qui régnait auparavant. L'urbanisation a mené aux changements distincts du paysage comparé aux conditions normales : le sol est redistribué, des ressources d'eau sont réacheminées, la quantité de végétation, principalement, est réduite, des matériaux de construction sont ajoutés, la

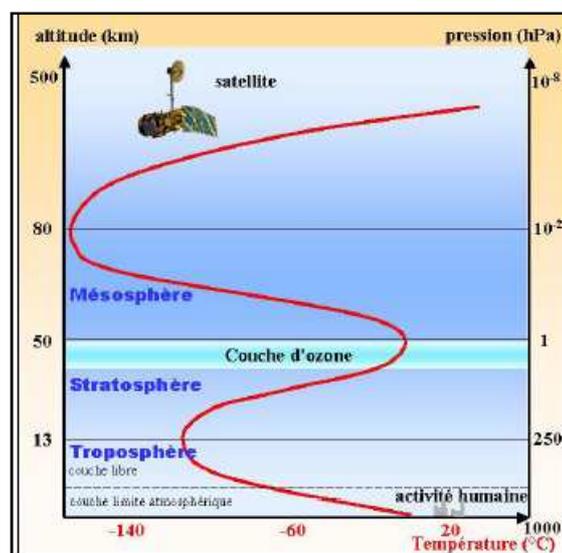
topographie est changée, et des sources anthropogènes de la chaleur et de l'eau sont introduites.

En conséquence, les développements urbains provoquent un changement du comportement physique du paysage, affectant ses propriétés hydrologiques, thermiques, radiatives et aérodynamiques, qui affecte alternativement l'échange de la chaleur, la masse et la vitesse d'air entre la surface et l'atmosphère. Finalement ces changements ont comme conséquence le développement d'un climat urbain "qui dévie de celui de ses environnement."<sup>4</sup>

De ce fait, la compréhension des interactions entre les grandes extensions urbaines et l'atmosphère est indispensable afin d'orienter raisonnablement le développement des agglomérations, dans l'optique de préserver voire d'améliorer la qualité de vie des citoyens et de minimiser les retombées indésirables sur l'environnement.

### III-1-L'atmosphère urbaine

La troposphère (couche de l'atmosphère enveloppant la surface de la Terre sur environ 10 km) est constituée de couches dont les propriétés dynamiques et thermodynamiques diffèrent, représentées par la **figure III-2**.



**Fig.III-2:** Les différentes couches de l'atmosphère terrestre et la troposphère

Source : Ung. A (2003)

<sup>4</sup>T.R.Oke, Boundary Layer Climates, Methuen, New York, 1987.

### III-1-1-La couche limite atmosphérique (CLA)

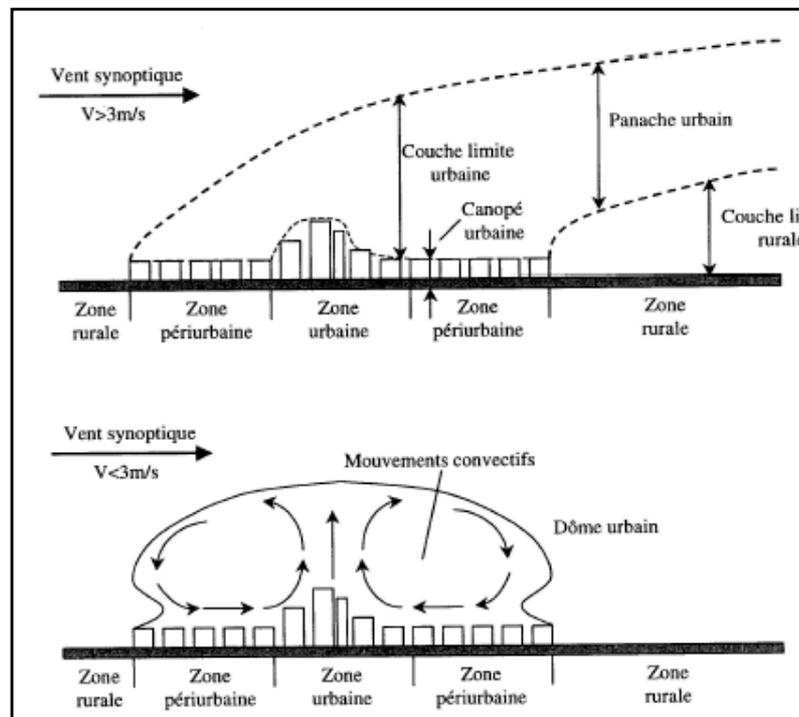
D'un point de vue thermique, c'est la zone de l'atmosphère au voisinage de la surface terrestre dans laquelle, la variation diurne du rayonnement solaire est directement perceptible.<sup>5</sup> C'est dans cet espace, principalement, que l'on va rencontrer le phénomène de turbulence.

### III-1-2-La couche limite urbaine

Un cas particulier de la CLA est la couche limite urbaine (qui se développe au-dessus des villes du fait de sa structure particulière (cf. Fig. III-3).

En effet la ville se caractérise par une forte hétérogénéité des types de surfaces, des matériaux utilisés, des hauteurs des bâtiments, et par une longueur de rugosité beaucoup plus grande que les zones rurales ou même qu'une forêt homogène.

L'allure de la CLU varie en permanence entre deux extrêmes : par vent fort, celle classique d'une couche limite sur plaque plane et par vent faible celle d'un dôme dominé par les effets thermiques.



**Fig.III-3:** Structure verticale de la couche limite urbaine pour des vitesses de vent inférieures et supérieures à 3 m/s (d'après Mestayer, Anquetin, 1995)

Source : Ringenbach.N (2004)

<sup>5</sup>S.Glockner, Contribution à la modélisation de la pollution atmosphérique dans les villes, Thèse de doctorat, Université Bordeaux1, 2000, p.13

T.R.Oke<sup>6</sup> évoque un principe fondamental pour les recherches en climatologie urbaine qui ont suivi ses travaux ; il distingue la CLU de la Couche de Canopée Urbaine.

### **III-1-3-La couche de surface (CLS)**

C'est La zone tout près de la surface. La production de turbulence est d'origine dynamique, due au frottement de l'air sur la surface solide, et thermique, liée au transfert de chaleur entre l'air et la surface.

### **III-1-4-La couche de canopée urbaine**

Elle englobe les éléments urbains rugueux, depuis le sol jusqu'au niveau moyen des toits. Dans cette couche, l'écoulement et les échanges d'énergie sont régis par des processus de micro-échelle, et dépendent précisément du lieu et du type de surface (**cf. Fig. III-4**).

En raison de l'hétérogénéité de la topographie des villes, leurs structures sont particulièrement complexes, composées de couches de cisaillement, recirculations, sillages...

### **III-1-5-La sous-couche rugueuse de la CLU**

Particulièrement perturbée. Son épaisseur devient beaucoup plus conséquente au-dessus d'une ville. Dans certaines conditions, elle pourrait atteindre plusieurs fois la hauteur moyenne des bâtiments.<sup>7</sup>

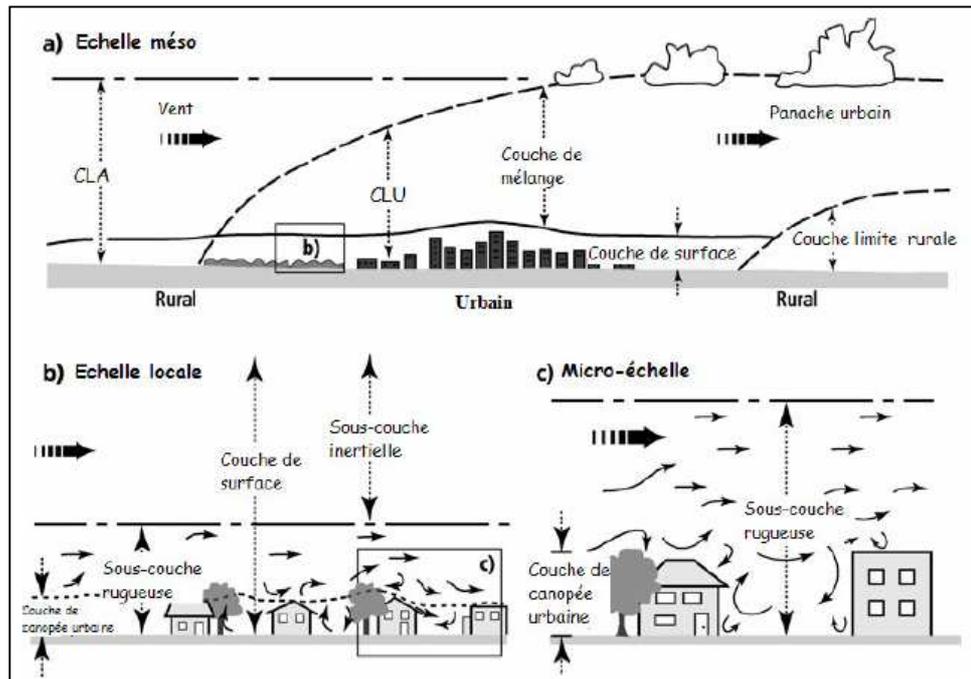
### **III-1-6-La sous-couche inertielle**

Zone située au-dessus de la sous-couche rugueuse et qui s'étend jusqu'au sommet de la couche de surface (**cf. Fig. III-4**).

---

<sup>6</sup> T.R.Oke (1976) cité par M. Bonavitaola , " *Vers un indice de la qualité des sites du point de vue de la pollution lumineuse* ", revue "Pulsar", éditée par la Société d'Astronomie Populaire (Toulouse) années 2000 et 2001.

<sup>7</sup> A.J.Arnfield, Op.cit.2



**Fig. III-4 :** Représentation schématique de la couche limite urbaine à :  
 (a) Méso-échelle, (b) échelle locale et (c) micro-échelle  
 Source : Sylvie.L (2006)

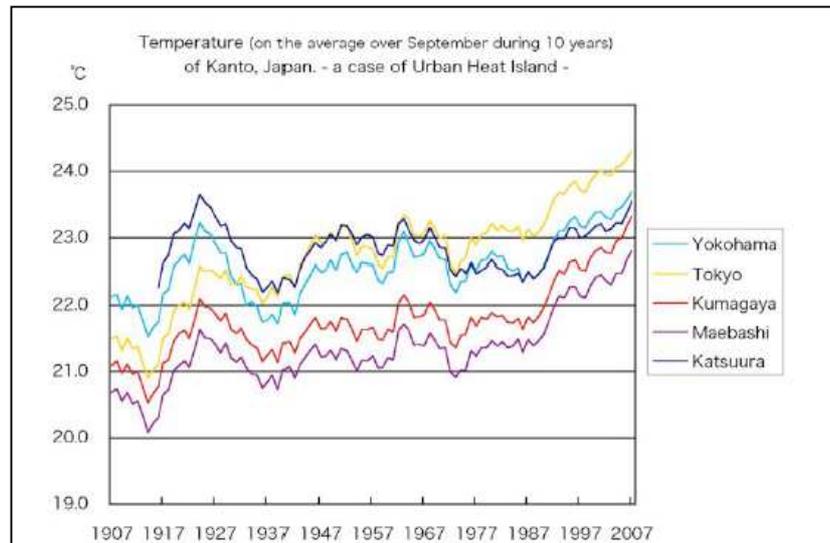
Ce qui différencie nettement la (CLU) de la (CLA) est l'existence au dessus des villes de ce qui est convenu d'appeler îlot de chaleur urbain.

Qu'est-ce qu'un îlot de chaleur urbain ? Quels sont les facteurs qui conduisent à sa formation ?

### III-2- Ilot de chaleur urbain (ICU)

Depuis que les villes se sont densifiées, il est apparu que la température de l'air est plus élevée en ville que dans la campagne avoisinante. Des relevés sur une trentaine de villes de Californie et des zones rurales environnantes ont montré qu'avant 1940, les zones urbaines étaient plus froides, contrairement à la situation actuelle où la température est plus élevée de 2,5 °C en moyenne.<sup>8</sup> (cf. Fig. III-5).

<sup>8</sup> H.Akbari, M.Pomerantz, H.Taha, " Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas ", *Solar Energy*, vol.70, n°3, 2001, pp. 295-310



**Fig.III-5** : Augmentation continue des températures moyennes de l'air au courant d'un siècle dans les villes du Japon.

Source : <http://www.data.jma.go.jp>

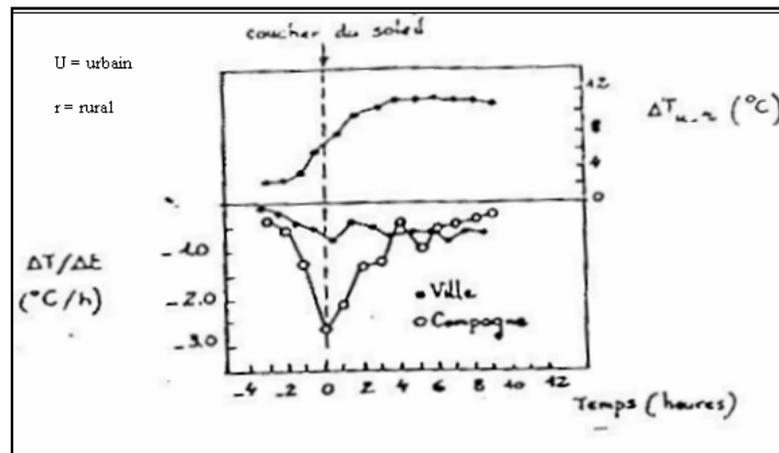
L'écart est surtout important juste avant et après le coucher du soleil comme illustré par la **figure III-6**.

On remarque sur cette figure que la température au cours de la nuit est du même ordre de grandeur en ville et à la campagne. L'écart est surtout important juste avant et après le coucher du soleil. Rien d'étonnant lorsque l'on considère le bilan énergétique global. Ceci n'est pas sans conséquences, et la vague de chaleur de 2003 en est l'exemple, car elle a provoqué la mort de 70.000 personnes en Europe avec une hausse seulement de 0,47°C aux valeurs moyennes sur 1961-1999.<sup>9</sup>

Ce phénomène est connu sous le nom d'îlot de chaleur urbain (ICU). Il peut être observé à l'échelle de la canopée urbaine ou à l'échelle de la CLU par vents faibles et ciel clair.<sup>10</sup>

<sup>9</sup> A.Chaon, " Avec deux degrés supplémentaires, la planète chauffe", Agence France presse, mercredi 4 avril 2007.

<sup>10</sup> T.R.Oke, op.cit 4



**Fig. III-6 :** Taux de refroidissement de l'air  $\Delta T/\Delta t$  (en  $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ) et intensité\* de l'îlot de chaleur urbain  $\Delta T_{u-r}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) à Montréal (d'après Oke - 1978)  
 Source : Bonavitacola.M.(2001)

### III-2-1- Différents impacts de l'ICU

Les conséquences néfastes des îlots de chaleur urbains sont grandes et multiples:

#### III-2-1-1- Impact sur les saisons<sup>11</sup>

Par la présence de vagues de chaleur : plus fréquentes, intenses, longues et humides. D'où l'augmentation du nombre de jours où les températures sont supérieures à  $35^{\circ}\text{C}$ , les hivers sont plus courts et plus doux, le nombre de jours de gel est diminué et l'écoulement des vents est ralenti.

#### III-2-1-2- Impact sur la qualité de l'air

Les effets planétaires que peuvent avoir les polluants sont par exemple l'augmentation de l'effet de serre, ou la création du trou d'ozone. Les effets locaux peuvent être par exemple le smog\* ou les pluies acides, et concernent surtout les citoyens. La pollution de l'air est néfaste pour la santé et ceci a un coût.

\* Intensité de l'îlot de chaleur urbain c'est l'écart entre la température de l'air dans la ville et celle de la zone environnante

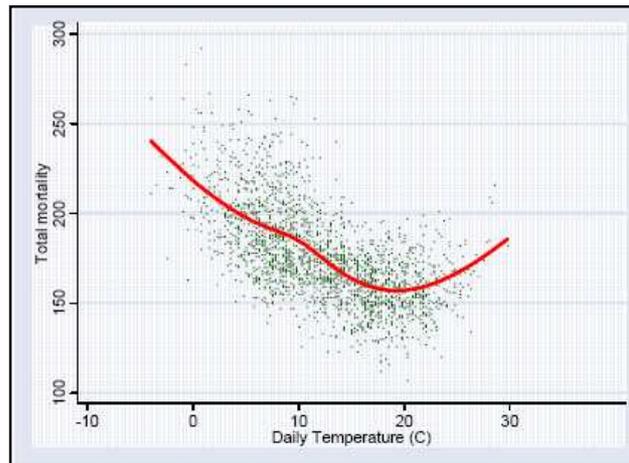
<sup>11</sup> M.Musy, Du Microclimat au bâtiment, conférence Ecole Nationale Supérieure d'Architecture Nantes, 16-10-2007, <http://www.grenoble.archi.fr>.

\* Smog : Mot anglais formé par la fusion de "smoke" (fumée) et "fog" (brouillard); le smog photochimique se compose d'ozone et de nombreux autres contaminants; il tend à former une brume de couleur brunâtre dans l'atmosphère.

### III-2-1-3-Impact sur la santé

Une forte corrélation entre la température moyenne journalière et la surmortalité due à cette chaleur excessive a été prouvée par une étude à Londres de 1976 à 1996.<sup>12</sup> La surmortalité liée à la chaleur augmente linéairement avec la température au-delà de 19°C (température journalière moyenne). (cf. Fig.III-7)

Pour une variation de 1°C au-delà de cette valeur moyenne, une surmortalité de 3,34% était constatée.



**Fig.III-7 :** Association entre les températures moyennes enregistrées par l'aéroport et le taux de mortalité à Londres. L'effet de la chaleur sur la mortalité est apparent lorsque la température moyenne est comprise entre 20-23°C (Hajat et al, 2002)

Source : [http://: www.london.gov.uk](http://www.london.gov.uk)

### III-2-1-4-Impact sur la consommation énergétique des bâtiments

D'une manière générale, dans les basses et mi-latitude l'îlot de chaleur est indésirable parce qu'il contribue à l'augmentation des charges de refroidissement, malaise thermique, et pollution atmosphérique, tandis que dans les hautes latitudes, provoque moins de problèmes parce qu'il peut réduire la consommation d'énergie calorifique. C'est une généralisation, cependant les impacts réels des climats urbains et des îlots de chaleur dépendent des caractéristiques des climats locaux.

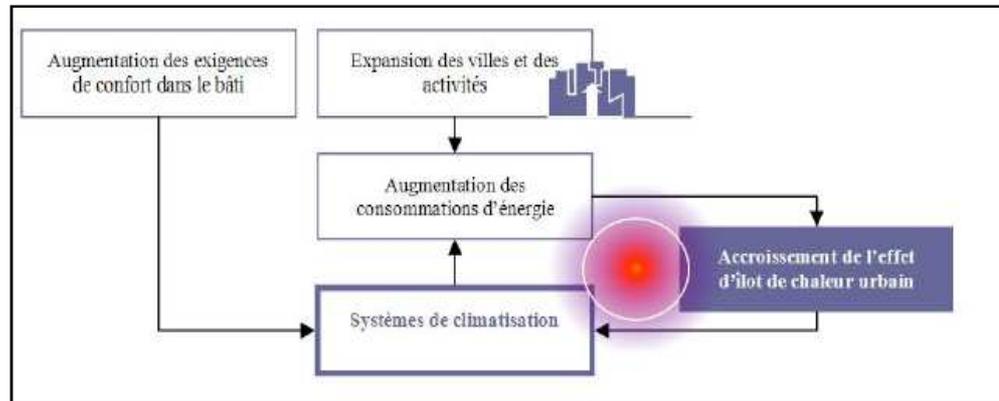
Si on prend l'exemple d'Athènes, en hiver son centre enregistre une diminution de charge de chauffage de 30 à 50% par rapport à celle de la banlieue<sup>13</sup>, en été les bâtiments climatisés ont une consommation énergétique accrue. Les vagues de chaleur

<sup>12</sup>Hajat et al, "London's Urban Heat Island: A Summary for Decision Makers", Mayor of London, October 2006, [http:// www.london.gov.uk](http://www.london.gov.uk).

<sup>13</sup> M.Musy, Op.Cit11

des années 90 ont causé une augmentation d'achat annuel des systèmes de conditionnement d'air de huit fois en Grèce dont la plupart d'entre eux étaient installés à Athènes.<sup>14</sup> Les dissipations thermiques des bâtiments notamment celles dues à la climatisation participent de façon importante à l'amplification du réchauffement urbain.

(cf. Fig.III-8)



**Fig.III-8:** Phénomène d'amplification de l'îlot de chaleur urbain dû aux sources anthropogéniques dont les systèmes de climatisation.

Source : Bozonnet.E (2006)

### **II-2-2-Caractérisation de l'ICU**

L'effet d'îlot de chaleur urbain est défini par l'écart de température maximum entre la ville et la campagne environnante  $\Delta T_{u-r \text{ MAX}}$ .

T. Oke<sup>15</sup> propose une expression de  $\Delta T_{u-r \text{ MAX}}$  en fonction de :

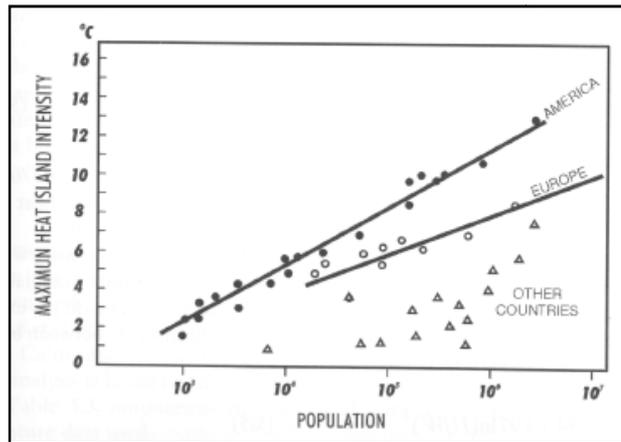
- la population (P) : l'écart maximum de température entre la ville et la campagne était proportionnel au logarithme de la population (cf. Fig.III-9)

On constate sur cette figure un comportement différent des villes nord-américaines et des villes européennes qui est très certainement dû à la différence de structure de ces villes : les villes américaines ont un noyau très dense de bâtiments très élevés et une zone bâtie très étendue ce qui, pour une même population, provoque un écart de température  $\Delta T_{u-r}$  plus élevé.

<sup>14</sup>E.Tsianaka, *The Role of Courtyards in Relation to Air Temperature of Urban Dwellings in Athens*, The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6-8 September 2006

<sup>14</sup> M.Bonavitacola, *Op.cit 6*

<sup>15</sup>T.R. Oke, "Overview of interactions between settlements and their environments". *WMO experts meeting on Urban and Building climatology*, WPC-37, WMO, Genève. 1982.



**Fig. III-9 :** Relation entre l'intensité maximale de l'îlot de chaleur et la population  
*Source : Oke.T.R (1973)*

On remarque également que même pour des petites villes de 1000 habitants il peut y avoir un effet d'îlot de chaleur.

- la vitesse du vent de référence (U).

**Tab.III-1:** Intensité de l'îlot de chaleur en fonction de la vitesse du vent Centre-Ville de Paris (*Source Escourrou. G, 1991*)

Vitesse de vent de référence (m/s)	Intensité de l'îlot de chaleur (K)
1	4.5
2	3.4
3	3.4
4	2.6
5	2.2

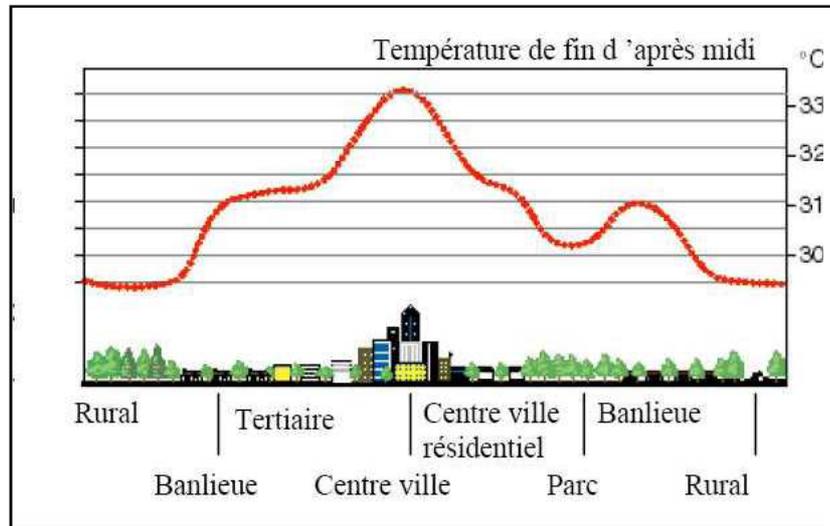
Soit  $\Delta T_{u-rMAX}$  est défini par l'équation :

$$\Delta T_{u-rMAX} = P^{0.25} / (4U)^{0.5} \dots\dots\dots Eq.III.1$$

Notons que la présence des parcs urbains coïncide avec les chutes de températures, jouant ainsi un rôle d'îlot de fraîcheur.(cf. Fig.III-10)

La température de surface est également plus élevée en ville qu'à la campagne, elle représente donc mieux les effets d'une zone urbaine dans son ensemble.

La distribution des températures dans la canopée urbaine est affectée par le bilan radiatif qu'il est indispensable de comprendre pour dévoiler les causes de sa défaillance à laquelle on attribue le phénomène ICU.



**Fig. III-10 :** Croquis d'un profil d'îlot de chaleur urbain

Source: <http://eetd.lbl.gov/HeatIsland>

**III-3- Bilan radiatif au dessus d'une ville**

**III-3-1-Les Flux d'énergie à la surface**

**III-3-1-a- Le flux radiatif**

Les échanges radiatifs correspondent à des transferts d'énergie par rayonnement. Le rayonnement absorbé par un objet ou une surface correspond au rayonnement net.

**(Fig. III-11)**

Le rayonnement net est la quantité d'énergie radiative disponible à la surface terrestre et pouvant être transformée en d'autres formes d'énergie par les divers mécanismes physiques ou biologiques de la surface. Le rayonnement net (**R<sub>n</sub>**) est obtenu par l'équation du bilan radiatif :

$$R_n = (1 - a_s) R_G + R_A - R_T \dots \dots \dots \text{Eq.III.2}$$

Où :

**R<sub>n</sub>** : Rayonnement net qui correspond à l'énergie radiative absorbée par la surface (W.m<sup>-2</sup>)

**a** : Albédo de la surface

**R<sub>G</sub>** : Rayonnement global correspondant à la somme des rayonnements direct et diffus incidents en courte longueur d'onde (rayonnement visible et proche infrarouge) (W.m<sup>-2</sup>)

**a R<sub>G</sub>** : est le rayonnement solaire réfléchi par la surface (W.m<sup>-2</sup>)

$$R_A = (1 - \rho_s) R_a \dots\dots\dots \text{Eq.III.3}$$

Où :

**R<sub>A</sub>** : Rayonnement solaire incident de grande longueur d'onde (W.m<sup>-2</sup>), émis par l'atmosphère de 3.5 à 8 μm (infrarouge).

**ρ<sub>s</sub>** : Coefficient de réflexion thermique de la surface.

**ρ<sub>s</sub> R<sub>a</sub>** : Rayonnement atmosphérique réfléchi par la surface.

**R<sub>T</sub>** : Rayonnement terrestre qui correspond à l'émission par la surface à la température **T<sub>s</sub>** en grande longueur d'onde (domaine infrarouge).

$$R_T = \epsilon_s \cdot \sigma \cdot T_s^4 \dots\dots\dots \text{Eq.III.4}$$

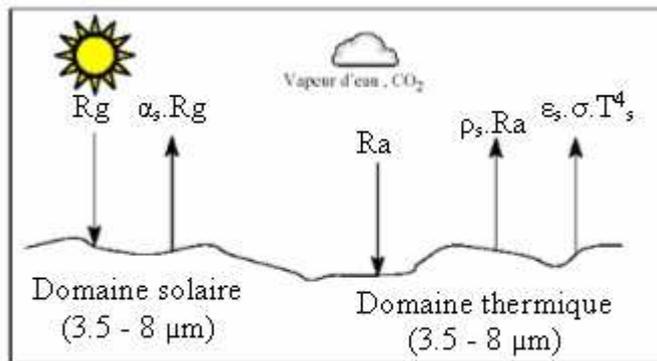
Où :

**ε<sub>s</sub>** : émissivité de la surface.

**σ** : constante de Stefan- Boltzmann (W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-4</sup>)

**T<sub>s</sub>** : température radiative de surface (K°)

On remarque clairement au travers de cette relation que le rayonnement est proportionnel à la température du corps et à son émissivité.



**Fig. III-11** : les différentes composantes du rayonnement net  
 Source : [http:// www Archimede.bibl.ulaval.ca](http://www.Archimede.bibl.ulaval.ca).

**III-3-1-b- Le flux conductif**

La conduction est un phénomène de transmission de chaleur dans un corps ou entre des corps en contact, par l'action moléculaire. Cette transmission s'effectue de proche en proche, sans déplacement de matière et sans modification des particules du ou des corps en présence. Selon l'équation de Fourier, le flux de chaleur par conduction dans le sol ( $G$ ) est proportionnel au gradient de température entre une profondeur de référence et la surface du sol, et à la conductivité thermique du sol.

$$G = h_s (T_{sol} - T_r) \quad (W.m^{-2}) \dots \dots \dots Eq.III.5$$

Où :

$h_s$  est la conductivité thermique du sol ( $Wm^{-2}K^{-1}$ ) entre la profondeur de référence à la température  $T_r$  ( $^{\circ}K$ ) et la couche supérieure du sol en contact avec l'atmosphère à la température  $T_{sol}$  ( $^{\circ}K$ ).

**III-3-1-c- Le flux convectif**

Les échanges convectifs correspondent 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), ou du mouvement forcé de l'air provoqué par une puissance extérieure (convection forcée). Les mouvements verticaux de l'air s'effectuent du plus chaud vers le plus froid.

Le flux de chaleur sensible ( $H$ ) et le flux de chaleur latente ( $LE$ ) sont des flux énergétiques résultants des échanges convectifs.

**III-3-1-d- Le flux de chaleur sensible (H):**

La chaleur sensible est la chaleur, qui contrairement à la chaleur latente, entraîne une modification de la température lorsqu'on l'ajoute ou la soustrait.

$$H = \rho \cdot Cp (T_s - T_a) ra \dots \dots \dots Eq.III.6$$

Où :

$H$  : Flux de chaleur sensible en ( $W.m^{-2}$ )

$\rho.Cp$  : capacité calorifique de l'air ( $1212 JK^{-1} m^{-1}$ )

**ra** : résistance aérodynamique de l'air ( $\text{sm}^{-1}$ )

**Ts** : température de la surface considérée ( $^{\circ}\text{k}$ )

**T<sub>a</sub>** : température de l'air ( $^{\circ}\text{k}$ ) prise à une hauteur de référence

### **III-3-1-e- Le flux de chaleur latente (LE)**

Il correspond à une quantité d'eau évaporée par unité de temps (**E**) convertie en énergie par la constante de vaporisation de l'eau  $\lambda$ , **L** étant la chaleur latente d'évaporation de l'eau.

La chaleur latente d'évaporation est la quantité de chaleur requise pour transformer un gramme de liquide en vapeur, sans changement de température.

Le flux de chaleur latente est plus communément appelé évapotranspiration car elle résulte de l'évaporation de l'eau présente sur les espaces physiques (sol, feuilles, eau libre) mais aussi de la transpiration foliaire.

$$\mathbf{LE} = [\rho \cdot Cp / \gamma] \cdot [(e_s - e_a) / (r_s + r_a)] \dots\dots\dots \text{Eq.III.7}$$

Où :

**$\gamma$**  : Constante psychrométrique ( $66.1 \text{ PaK}^{-1}$ ).

**rs** : résistance stomatique ( $\text{sm}^{-1}$ ) intervenant dans le cas d'un couvert végétal.

**es** : Pression de vapeur d'eau (Pa).

**ea** : Pression de vapeur d'eau de l'air au voisinage de la surface (Pa).

### **III-3-2- Equilibre énergétique sur une surface naturelle**

Un système est en équilibre énergétique avec l'extérieur lorsqu'il reçoit autant d'énergie de l'extérieur qu'il ne lui en communique (bilan d'énergie équilibré).

Le bilan d'énergie à la surface suit la loi de conservation de l'énergie. Une partie de l'énergie nette qui arrive à la surface sert à réchauffer le sol par conduction, une autre à l'évaporation de l'eau, une autre à modifier l'atmosphère par convection, une dernière partie, minime par rapport aux autres, sert les mécanismes photochimiques de l'assimilation chlorophyllienne chez les végétaux (**cf. Fig. III-12**).

Le bilan d'énergie des surfaces naturelles s'exprime par :

$$\mathbf{R_n} = \mathbf{G} + \mathbf{H} + \mathbf{LE} + \mathbf{J} \dots\dots\dots \text{Eq.III.8}$$

Où :

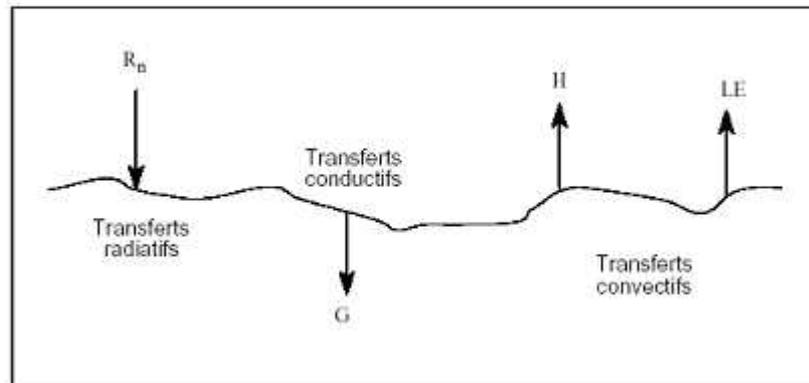
**R<sub>n</sub>** : Rayonnement net ( $\text{W.m}^{-2}$ ) (échanges radiatifs).

**G** : Quantité d'énergie utilisée pour la conduction de la chaleur dans le sol ( $\text{W.m}^{-2}$ ).

**H** : Flux de chaleur sensible ( $\text{W.m}^{-2}$ ) (échanges convectifs).

**LE** : flux de chaleur latente ( $\text{W.m}^{-2}$ ) (échanges convectifs).

**J** : stockage de l'énergie par les plantes pour assurer l'activité photosynthétique.



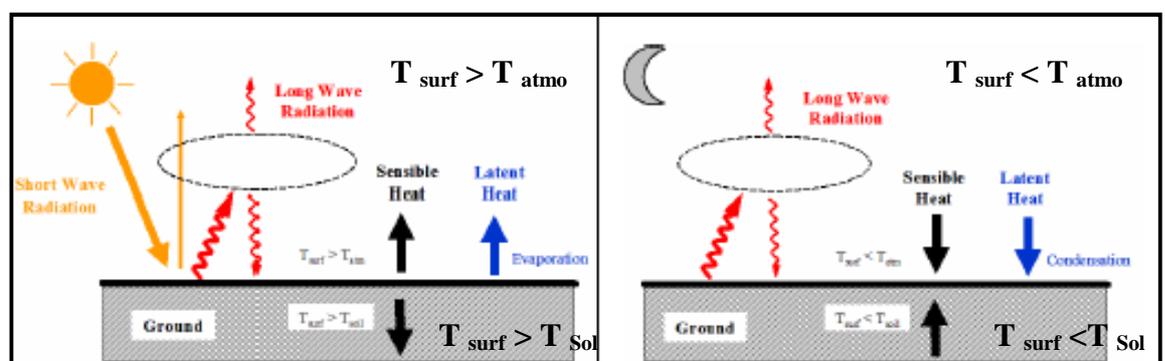
**Fig. III-12** : les différentes composantes du bilan d'énergie.

Source : <http://www.Archimede.bibl.ulaval.ca>.

Il est à noter que ce bilan est positif pendant la journée car l'air est plus froid que la terre ainsi le transfert thermique tend à diminuer la différence et à chauffer l'air (cf. Fig. III-13).

La nuit, il devient négatif à cause de l'absence de livraison d'énergie sur la surface de la terre par le soleil.

$$-R_n = G + H + LE + J$$



**Fig. III-13** : Schémas des flux d'énergie à la surface du sol, de jour et de nuit.

Source : Tristan.M (2006)

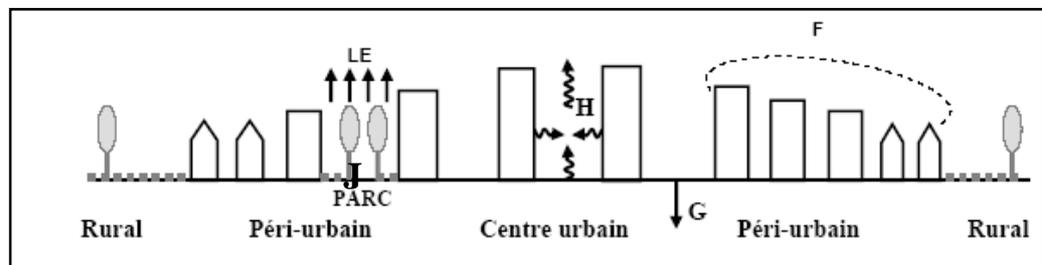
### III-3-3- Bilan énergétique au dessus d'une ville

L'environnement urbain caractérise un cas particulier, le bilan énergétique étant significativement modifié par les particularités de ce milieu assez complexe à cause des volumes importants des bâtiments, de la diversité des matériaux utilisés, ainsi que des activités humaines qui s'y déroulent (**cf.Fig.III-14**). Ainsi l'équilibre thermique pour un secteur urbain est donné par l'équation :

$$\mathbf{Rn + F = H + LE + G + J} \dots\dots\dots \text{Eq.III. 9}$$

Où :

- Rn** : Rayonnement net.
- F** : Energie anthropique fournie à l'atmosphère.
- H** : Flux de chaleur sensible.
- LE** : Flux de chaleur latente.
- G** : Flux de chaleur stockée par conduction dans le sol, les rues et façades des bâtiments.
- J** : Stockage de l'énergie par les plantes pour assurer l'activité photosynthétique.



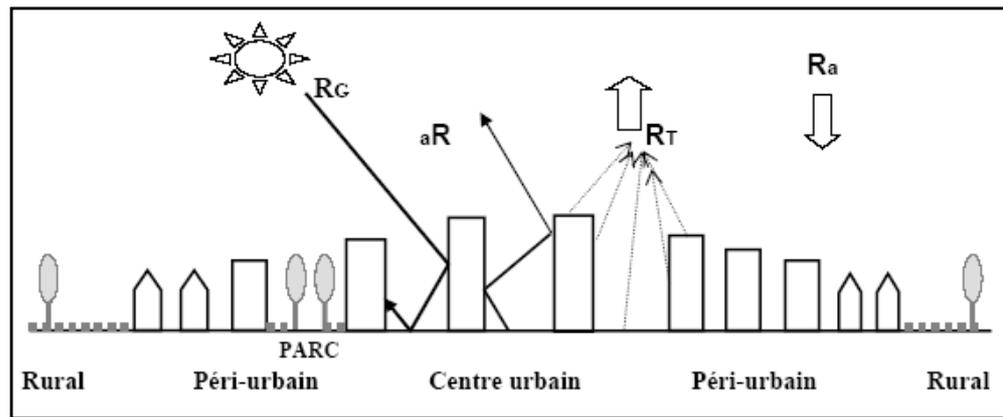
**Fig. III-14** : Bilan d'énergie au dessus d'une ville.

Source : Ringenbach.N (2004)

Dans quelle mesure une aire urbaine peut elle affecter chacun de ces termes ?

#### III-3-3-1- Effet de la ville sur le rayonnement net

Illustré par la **figure III-15** et dont les termes seront discutés dans les sections qui suivent.



**Fig. III-15 :** Bilan radiatif au dessus d'une ville.

Source : Ringenbach. N (2004)

### **a- Domaine du visible**

Au dessus d'une ville, on observe que le rayonnement solaire global incident et en général plus faible 3 à 10% que leur contrepartie ruraux environnants<sup>16</sup>. Taha<sup>17</sup> avance 12% de réduction, Stanhill et Kramer<sup>18</sup> avancent dans un cas extrême de la ville de Hong Kong une réduction de 33% du rayonnement incident sur une période de 35 ans. Cela s'explique par une plus grande concentration de polluants dans l'atmosphère urbaine.

Cette diminution concerne la composante directe du rayonnement solaire incident, tandis que le rayonnement diffus va augmenter en raison de nombreuse interaction avec les particules de l'atmosphère.<sup>19</sup>

La part du rayonnement global réfléchi par la canopée urbaine est donnée par l'albédo qui dépend de manière complexe des éléments constitutifs complexes et de la géométrie des surfaces urbaines.

#### **a-1-Albédo**

L'énergie solaire absorbée par une surface dépend de l'intensité du rayonnement incident, mais également des propriétés optiques de la surface. Une partie du

<sup>16</sup> A.J.Arnfield, *Op.cit2*

<sup>17</sup> H. Taha, "Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat", *Energy and Buildings* 25, 1997, pp.99-10

<sup>18</sup> Stanhill et Kramer (1995) cités par A.J.Arnfield, *Op.Cit2*

<sup>19</sup> N.Ringenbach, *Bilan radiatif et flux de chaleur en climatologie urbaine*. Thèse de doctorat, université Louis Pasteur Strasbourg 1, 2004

rayonnement solaire incident est absorbée, le reste est réfléchi. La fraction entre le rayonnement solaire réfléchi et le rayonnement incident est appelée coefficient de réflexion ou encore albédo.

$$\text{Albédo d'une surface} = \text{énergie réfléchie} / \text{énergie reçue} \dots \dots \dots \text{Eq.III.10}$$

L'albédo est exprimé par un nombre qui va de 0 à 1, ou bien est exprimé en pourcentage. Un objet parfaitement réfléchissant a un albédo de 1 et un objet parfaitement absorbant un albédo de zéro. Plus cette fraction de rayonnement réfléchi est élevée, plus l'énergie solaire absorbée est faible.

L'albédo d'une ville ou d'un quartier dépend de la forme du tissu urbain et de la nature des matériaux de revêtements utilisés.

#### a-1-1- La forme<sup>20</sup>

- L'albédo diminue quand les irrégularités augmentent, (plus marqué en hiver).
- L'hétérogénéité des hauteurs fait également diminuer l'albédo.
- L'albédo augmente avec l'angle solaire zénithal.

#### a-1-2- Les matériaux

Les albédos urbains sont dans la gamme (0.15 à 0.20)<sup>21</sup> ce qui est le cas pour la plupart des villes européennes et des USA, ce qui signifie qu'une grande partie de l'énergie solaire est absorbée par la ville. Cependant les villes du nord africain sont de bons exemples d'albédo élevé dans les secteurs urbanisés variant de 0.30 à 0.45, (couleur blanche plus réfléchissante).<sup>22</sup>

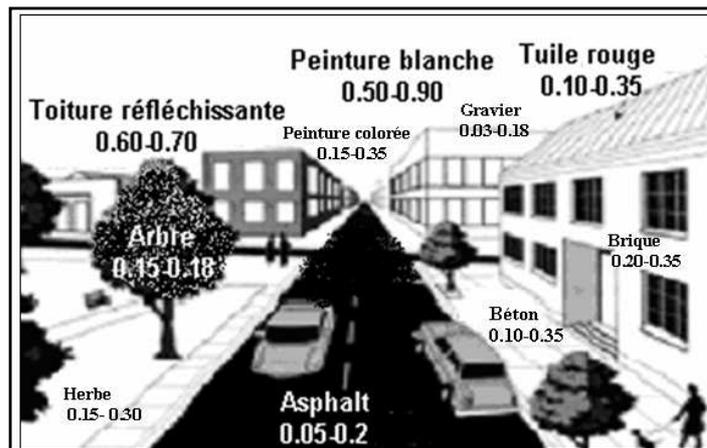
La surface urbaine est complexe et consiste en une mosaïque de matériaux différents. Chaque matériau a un albédo différent qui modifie la fraction d'énergie solaire réfléchi ou absorbée par la surface. La **figure III-16** présente les valeurs d'albédo pour les différents types de surfaces urbaines.

---

<sup>20</sup>M. Musy, Op.cit 11

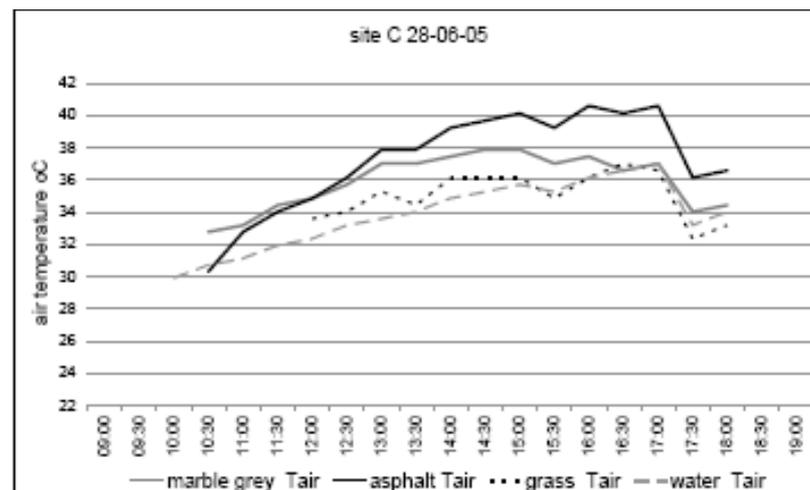
<sup>21</sup>H.Taha, Op.cit 17

<sup>22</sup>H.Taha, Op.cit.17



**Fig. III-16** valeurs d'albédo pour les différents types de surfaces urbaines  
 Source : [http:// www.atmosphère.mpg](http://www.atmosphère.mpg) (traduit par l'auteur)

Contrairement aux surfaces naturelles (cf. **Fig. III-17**), la grande capacité de stockage de chaleur des surfaces pavées et leur imperméabilité peuvent être d'une grande contribution à l'importance et à l'évolution de l'îlot de chaleur urbain.<sup>23</sup>



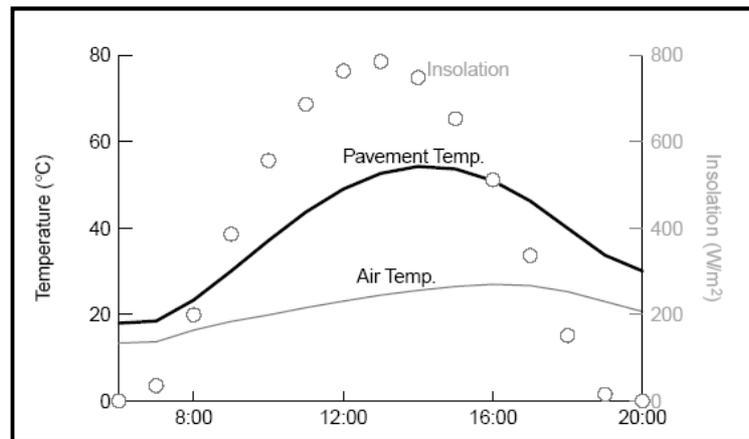
**Fig.III-17:** Températures de l'air au dessus des surfaces naturelles et des surfaces artificielles.

Source : Chatzidimitriou.A et al (2006)

La raison est que le pavage de la plupart des villes est fait d'asphalte (albédo 0.05 – 0.20) et de goudron (albédo 0.03 – 0.18) qui sont tout à fait foncé. Cela signifie qu'ils

<sup>23</sup>M. Pomerantz, B. Pon, H. Akbari, and S.-C. Chang, "The Effect of Pavements' Temperatures on Air temperatures in Large Cities", *Heat Island Group Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA 94720, April 2000.*

absorbent la majeure partie du rayonnement incident et contribue au réchauffement de l'air par convection. (cf. Fig. III-18)



**Fig. III-18** : la différence entre la température de l'air et la température surfacique au niveau de l'asphalte, ce qui affecte directement le confort piéton.

Source : Pomerantz.M, Pon.B, Akbari. H et Chang. S.C (2000)

Les études estiment que si "le rayonnement solaire absorbé par tous les trottoirs (dans la ville) sont réduits de 65% à 90%, la température de l'air maximale diminuerait d'environ  $0.6^{\circ}\text{C}$ <sup>24</sup>, Par conséquent, l'emploi des matériaux à albédo élevé réduit la quantité du rayonnement solaire absorbé par les enveloppes des bâtiments et par les structures urbaines, et garde ces surfaces froides.

Taha et al<sup>25</sup> ont mesuré sur terrain l'albédo et les températures surfaciques d'une variété de surfaces. Ils ont trouvé, par exemple, que les enduits élastomères blancs avec un albédo de 0.72 étaient plus frais de  $45^{\circ}\text{C}$  que les enduits noirs (avec un albédo de 0.08) mesuré dans l'après-midi d'un jour clair en été. Une surface blanche avec un albédo de 0.61 était plus chaude de seulement  $5^{\circ}\text{C}$  que la température de l'air ambiant, tandis que le gravier conventionnel avec un albédo de 0.09 s'était réchauffé de  $30^{\circ}\text{C}$  de plus que l'air.

## **b- Domaine de l'infrarouge**

### **b-1- Émissivité**

En l'absence des rayons solaires, elle est le facteur prédominant concernant l'équilibre thermique des matériaux. (l'émissivité concerne les radiations émises par la

<sup>24</sup> M. Musy, *Op.cit.11*

<sup>25</sup> H.Taha, *Op.cit.17*

terre et les surfaces). C'est la capacité d'une matière à émettre et à absorber le rayonnement, plus elle est élevée meilleures sont les performances thermiques du matériau.<sup>26</sup> Elle prend des valeurs entre 0 et 1 sans unité. Un objet solide a une émissivité très proche de 1, tandis que le vide a une émissivité de presque 0.

Un matériau ayant une forte absorption aux courtes longueurs d'ondes et une faible émissivité en grandes longueurs d'ondes constitue un véritable piège à énergie.

Le tableau **Tab.III-2** donne les valeurs de l'albédo **a** et de l'émissivité **e** pour différents matériaux rencontrés en zone urbaine.

**Tab. III- 2** : valeurs de l'albédo et l'émissivité de quelques matériaux de constructions et de revêtement (*Source : Bonavitacola. M. 2001*)

Nature	Albédo (a)	Emissivité (ε)	Nature	Albédo (a)	Emissivité (ε)
Sols			Peintures		
Sol nu	0.15- 0.25	0.91	Blanc	0.50- 0.90	0.85- 0.95
Asphalte	0.05- 0.20	0.95	Rouge, Brun, Vert	0.20- 0.35	0.85- 0.95
Toits			Noir	0.02- 0.15	0.90- 0.98
Goudron et gravier	0.08- 0.18	0.92	Murs		
Tuiles	0.10- 0.35	0.90	Béton	0.10-0.35	0.71- 0.90
Ardoises	0.10	0.90	Briques	0.20-0.35	0.90- 0.92
Chaume	0.15- 0.20	-	Pierre	0.20-0.35	0.90- 0.92
Tôle ondulée	0.10- 0.16	0.13- 0.28	Bois	-	0.90
Verre					
Hauteur du Soleil inférieure à 40°	0.08	0.87- 0.94	Hauteur du Soleil variant de 40 à 80°	0.09- 0.52	0.87- 0.92

La formule suivante permet de calculer les gains nets d'un matériau pour expliquer son comportement thermique<sup>27</sup> :

$$\text{Gain net} = \text{Absorptivité} - \text{rayonnement émis} \dots \dots \dots \text{Eq.III.11}$$

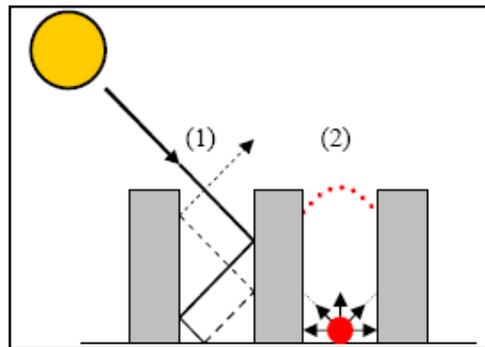
$$\text{Rayonnement émis} = \text{Absorptivité} \times \text{émissivité} \dots \dots \dots \text{Eq.III.12}$$

<sup>26</sup>A. Synnefa, M. Santamouris, I. Livada, "A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment", *Solar Energy* 80, 2006, pp. 968-981

<sup>27</sup>D. Watson, R.Camous, *L'habitat bioclimatique, de la conception thermique à la construction*, édition L'étincelle, Montréal, 1986.

### b-2- La géométrie urbaine\*

D'autre part, la géométrie de la canopée urbaine tend à piéger la radiation solaire (UV) par les multiples réflexions dans le canyon (1) (cf. **Fig.III.19**), et empêche de la même manière la libération de la radiation infrarouge vers l'atmosphère (2). Cet effet de piège est maximum avec un bâti haut et dense.



**Fig. III-19** : Effet de piègeage (UV et IR)  
Source : *Tristan.M (2006)*

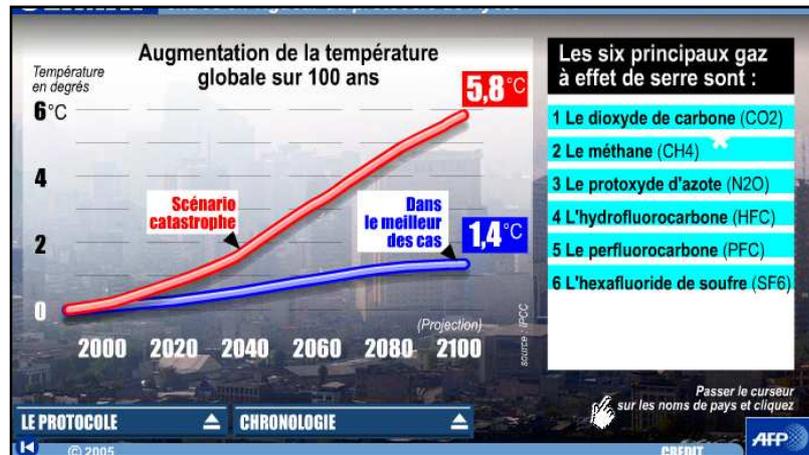
### III-3-3-2- Effet de L'énergie anthropique

La pollution de l'air due au rejet des différents gaz de l'industrie, du chauffage et la climatisation, influence le climat urbain. La radiation qui pénètre l'atmosphère est diminuée à cause des polluants, mais la radiation en grandes longueurs d'ondes vers le ciel est aussi diminuée, par conséquent l'effet net de la pollution est limité.<sup>28</sup> Cependant, cette couche d'air polluée peut contribuer à créer un effet de serre (cas de plusieurs grandes villes très polluées) qui contribue à augmenter le rayonnement infrarouge incident qui est emprisonné par l'atmosphère urbaine polluée qui réchauffe l'atmosphère et altère le bilan radiatif.

Il reste à noter que les gaz à effet de serre (GES) ont augmenté de 8,6% depuis 1990. La température moyenne de la planète est actuellement de 15°C. Selon les projections de groupes d'experts intergouvernementaux sur l'évolution du climat, nous pouvons nous attendre à une hausse de la température à l'échelle planétaire de l'ordre de 1,4°C (scénario optimiste) et 5,8°C (scénario pessimiste) dans les 150 prochaines années. (cf. **Fig. III-20**)

\* Etant sujet de cette thèse ce paramètre sera développé dans le chapitre suivant.

<sup>28</sup> T.R.Oke, *Op.cit4*



**Fig. III-20:** Scénario de l'augmentation de la température globale sur 100 ans  
 Source : [http:// www.Yahoo.fr](http://www.Yahoo.fr) (2007)

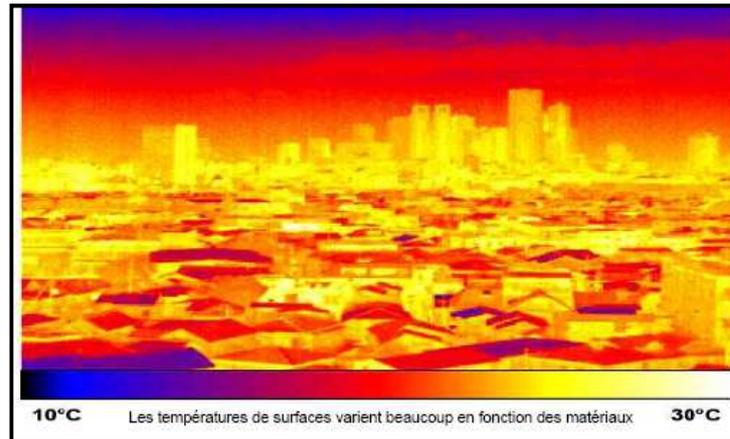
Il est important de comprendre qu'une augmentation de 6°C de la température sur terre induit des changements radicaux, car il ne faut pas confondre les degrés climatiques et les degrés météorologiques. Une simple baisse de 5°C de la température globale replonge la planète dans une ère glaciaire- seulement 4 à 6 degrés nous séparent de la dernière période glaciaire il y a 20.000 ans, alors qu'en est-il d'une augmentation de 6°C? <sup>29</sup>

### III-3-3-3- Effet de la ville sur le flux de chaleur dans le sol et les bâtiments (G)

Il s'agit de la quantité de chaleur stockée dans les sols et les matériaux. La surface urbaine absorbe plus d'énergie solaire que les aires rurales. Le rayonnement solaire incident atteint principalement les toitures, les murs verticaux et seule une faible part atteint le sol. Ces diverses surfaces émettent des rayonnements de grande longueur d'onde dont une partie importante est interceptée par les autres bâtiments, ce qui a pour effet de diminuer globalement les pertes radiatives. La part de flux radiatif absorbé est alors plus élevée que dans une zone rurale (**cf. Fig. III-21**).

De plus, la ville même est source de production d'énergie, qui s'ajoute à celle de la radiation solaire. Ainsi, la ville est plus riche en énergie que la campagne.

<sup>29</sup> S. Guilbaut, porte-parole pour Green peace au Québec, responsable du dossier des changements climatiques, L'Association des urbanistes et aménagistes municipaux du Québec, URBinfo, octobre 2006, <http://www.ouq.qc.ca/Congres/Etats>.



**Fig. III-21:** Carte des températures des surfaces de Singapore  
*Source : international Association for Urban climate*  
[http:// www.urban-climat.org](http://www.urban-climat.org)

#### **III-3-3-4- Effet de la ville sur le flux de chaleur latente (LE)**

A cause de l'imperméabilisation des sols urbains et l'évacuation rapide des eaux de pluies vers les égouts alliés au remplacement des surfaces végétales par du minéral, le phénomène d'évapotranspiration se trouve très réduit en ville.

L'énergie non utilisée pour la restitution de l'eau à l'atmosphère est répartie entre G et H. En effet une partie est stockée dans le sol et les matériaux avant d'être restituée dans la soirée, tandis que l'autre réchauffe les basses couches de l'atmosphère sous forme d'un flux de chaleur sensible.

#### **III-3-3-5- Effet de la ville sur le flux de chaleur sensible (H)**

Le fait que le flux de chaleur sensible soit plus longtemps alimenté en ville qu'à la campagne une partie de la nuit est une des causes majeures de l'effet de chaleur urbain. En effet l'énergie stockée dans les matériaux est restituée la nuit et continue à fournir H en énergie qui peut ainsi rester positif la nuit en ville. Le refroidissement radiatif plus rapide que la baisse de la température de l'air met en évidence le rôle du flux de chaleur sensible dans le réchauffement de l'atmosphère.<sup>30</sup>

De ce fait, l'apparition de l'ICU correspond à une anomalie du bilan énergétique,

<sup>30</sup> T.R.Oke et M. Nunez (1975) cités par N.Ringenbach, Bilan radiatif et flux de chaleur en climatologie urbaine : mesures, modélisation et validation sur Strasbourg, thèse de doctorat, université Louis Pasteur, Strasbourg, 2004

conséquence de la nature intrinsèque de l'agglomération et de ses activités, et se traduit par un excès de chaleur dans la zone urbaine.

### III-3-3-6- Le ratio Bowen

Le ratio Bowen est le rapport de la chaleur sensible au flux latent.<sup>31</sup>

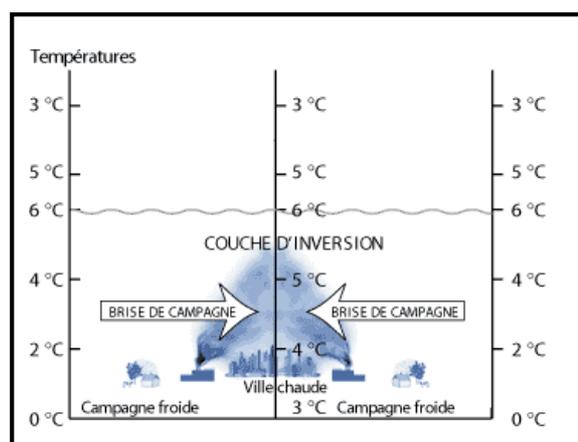
Si la quantité d'eau disponible dans le sol est réduite, l'évapotranspiration sera réduite. L'excès d'énergie sera dissipé sous forme de flux de chaleur et le rapport Bowen devient important. Il prend plusieurs valeurs selon le lieu où l'on se trouve.

Dans une oasis il est compris entre 0.5-2, dans les secteurs urbains, il est en général autour 5, dans un désert il est dans le voisinage de 10.

En Allemagne, Japon et l'Italie nombreuses villes et municipalités appliquent déjà depuis plusieurs années un principe de compensation qui prévoit de végétaliser en toiture l'équivalent de l'emprise au sol afin d'augmenter ce ratio.<sup>32</sup>

### III-4-La brise de ville

C'est un phénomène semblable aux circulations thermiques côtières (brise de mer et de terre) bien qu'il soit plus difficilement reconnaissable du fait du gradient thermique entre l'air de la ville plus chaud et l'air des zones avoisinantes, il se crée une circulation thermique de l'air qui a tendance à converger vers les points chauds. (cf. **Fig.III-22**).



**Fig. III-22:** Brise de ville.

Source : <http://Crdp.ac-amiens.fr>

<sup>31</sup> H.Taha, *Op.cit.*17

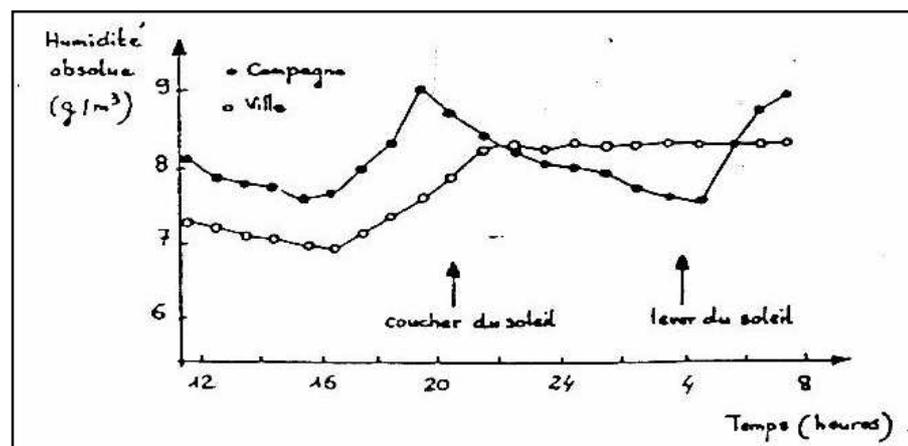
<sup>32</sup> D. G. Müller, *Architecture écologique*, édition le Moniteur, Paris, 2001

En effet, au milieu des autres perturbations dynamiques engendrées par la présence des bâtiments (sillages), de l'écoulement synoptique, il n'est pas toujours évident de mettre en évidence ce phénomène. Il est favorisé par un temps calme et ensoleillé comme en été. L'impact de la brise de ville sur le brassage des polluants est important, qu'ils soient émis en ville et déplacés en altitude dans les zones rurales, ou émis à proximité des villes et advectés vers le centre ville.

### III-5- Humidité de l'air dans la ville

Contrairement à la température, l'effet d'une zone urbaine sur l'humidité atmosphérique est plus difficile à préciser. Les écarts obtenus avec ce qui est mesuré dans la campagne environnante sont souvent faibles. L'humidité relative qui est fonction de la température et de la pression ambiante de l'air est en moyenne inférieure en ville à l'humidité relative enregistrée en rase campagne (sauf en hiver). Cette différence peut atteindre 20 à 30% en valeur extrême, et en moyenne 10% pour les mois d'été.<sup>33</sup>

On peut cependant à partir d'études expérimentales noter quelques traits caractéristiques du comportement de l'humidité en zone urbaine. En général, l'air des villes est souvent plus sec le jour et un peu plus humide la nuit. Ce phénomène apparaît plus nettement en été par beau temps. La **figure III-23** ci-dessous illustre cette variation diurne de l'humidité absolue en zone urbaine.



**Fig. III-23 :** Variation diurne de l'humidité absolue entre une zone urbaine et une zone rurale en été (d'après Hage – 1975)

Source : Bonavitacola. M. (2001)

<sup>33</sup> Hage (1975) cité par M. Bonavitacola, Op.Cit.6

L'excès d'humidité nocturne se traduit par un "îlot d'humidité", comparable à "l'îlot de chaleur". Comme pour ce dernier, la structure de l'îlot d'humidité dépend étroitement de la structure de la zone urbaine, de la même façon son intensité diminue avec l'augmentation de la vitesse du vent. En hiver par contre, l'air des villes est souvent plus humide que celui de la campagne environnante; cela peut être dû à la diminution du pouvoir de l'évapotranspiration de la campagne (sol gelé, absence de végétation) et à une augmentation du taux de vapeur en ville due aux processus de combustion.

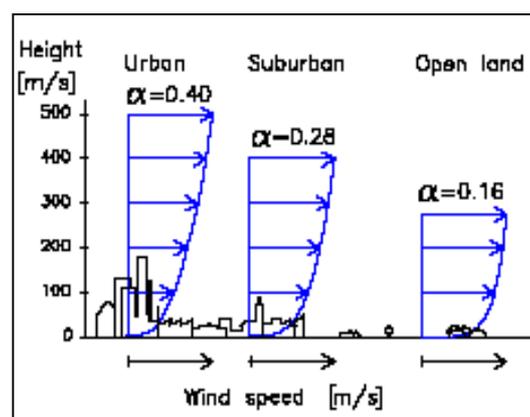
### III-6- Le vent en site urbain

Le terme est généralement appliqué aux déplacements naturels horizontaux de l'air sauf dans les régions montagneuses où la topographie joue un rôle important.<sup>34</sup>

Les mouvements de direction verticale sont des courants. L'air se déplace d'une zone de haute pression vers une zone de basse pression.

En site urbain, du fait de la rugosité variable, il se forme une couche limite urbaine ou Urban Boundary Layer ou UBL.<sup>35</sup> (cf. Section III-1-2 et Fig. III-3)

La résistance accrue qui en résulte réduit l'écoulement au niveau de la canopée urbaine. De cette façon une zone transitoire est créée entre le sol et l'écoulement calme du vent au-dessus de la couche limite urbaine. La **figure III.24** montre le profil des vitesses du vent en fonction de la rugosité du terrain.



**Fig.III.24** : profils de vitesses du vent pour trois différents types de surfaces. La rugosité  $\alpha$  est plus forte dans une ville dense avec des immeubles hauts.

Source Kofoed.N.U et Gaardsted.M (2004)

<sup>34</sup> G.Guyot, *Climatologie de l'environnement*, édition Dunod, Paris, 1999.

<sup>35</sup> T.R.Oke, *Op.Cit.4*

Le **tableau III.3** montre les valeurs typiques de  $Z_G$  et  $\alpha$  pour les vitesses moyennes de vent pour quatre types de terrain. Les valeurs et les catégories de terrain sont conformes à ceux adoptés dans d'autres applications d'engineering par exemple la norme ASCE7.<sup>36</sup>

**Tab.III.3:** Valeurs suggérées de  $Z_G$  et  $\alpha$  pour divers catégories de terrain.  
(Source Tahbaz.M, 2007)

Catégorie du terrain	Description	$\alpha$	épaisseur de la couche $Z_G$ (m)
1	Grands centres ville, où au moins 50% des bâtiments sont plus hauts que 21 m, sur une distance au moins de 2000 m à la ronde.	0.33	460
2	Secteurs urbains, suburbains, boisés, et autre secteurs avec des obstructions étroitement espacées comparés en grande partie à des logements unifamiliaux sur une distance au moins de 2000 m à la ronde.	0.22	370
3	terrain ouvert avec des obstacles dispersés généralement moins de 10 m de hauteur.	0.14	270
4	Secteurs plats et dégagés exposés au vent circulant sur une grande surface d'eau (pas plus de 500 m de profondeur).	0.10	210

Les écoulements d'air en milieu urbain sont également très instables du fait de la forte variabilité de la température d'un endroit à un autre, c'est pourquoi ils modifient la température d'air et peuvent rapidement évacuer la chaleur due à l'ensoleillement des surfaces.

L'écoulement est fortement perturbé aux abords des bâtiments ; Comme le terrain urbain est très compliqué, la distribution des écoulements d'air l'est aussi. **(cf. annexe).**

<sup>36</sup> M.Tahbaz, "The Estimation of the Wind Speed in Urban Areas", 2007, [http:// www.cibse.org](http://www.cibse.org)

Plusieurs effets ont été identifiés. Dans l'**annexe B1**, on retiendra les principaux répertoriés lors d'études menées en laboratoire et sur le terrain où l'on distingue les formes isolées et les formes associées.

### **III-6-1 Estimation de la vitesse du vent à l'échelle piéton :**

Pour contrôler la vitesse du vent par des procédés architecturaux ou par la conception urbaine, les données de la vitesse de vent sont nécessaires.

L'information sur les données de vent dans des stations de météorologie est obtenue à une hauteur de 10 mètres au-dessus du sol et sur un terrain complètement découvert donc non suffisante pour estimer la vitesse du vent dans le secteur urbain.

Les architectes et les urbanistes doivent rendre ces données appropriées à la conception par l'estimation de la vitesse du vent par des méthodes expérimentales (des mesures grandeur nature sur le site ou soufflerie), numériques (simuler l'écoulement de l'air en dynamique des fluides CFD) ou graphiques.

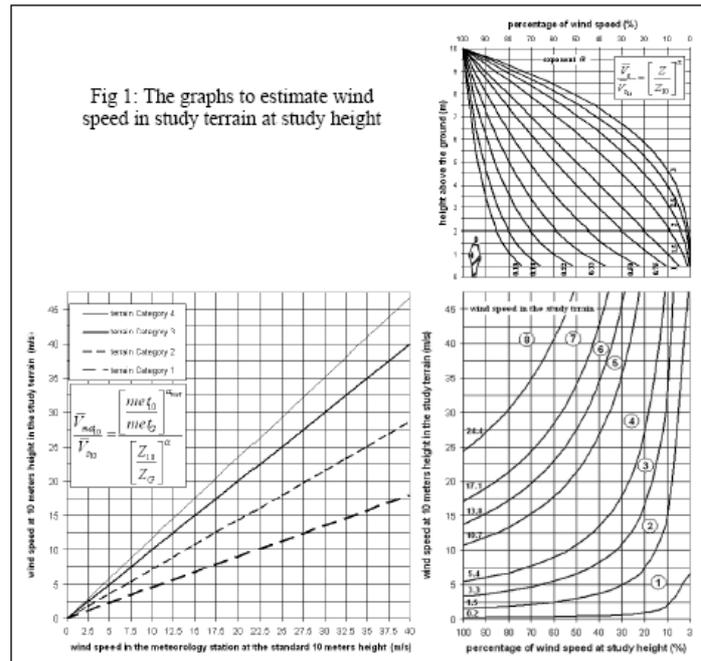
Pour faciliter le processus d'estimation de la vitesse du vent, une méthode graphique est recommandée par M.Tahbaz.<sup>37</sup>

Dans cette méthode, sans être impliqué dans des calculs, la vitesse du vent moyenne dans chaque terrain et chaque hauteur d'étude sera estimée facilement et rapidement grâce à un graphique produit par l'auteur. (cf. **Fig. III-25**).

Les explications de l'utilisation du graphique sont dans l'**annexe B2**.

---

<sup>37</sup> M.Tahbaz , idem 36



**Fig.III.25** : Graphe d'estimation de la vitesse du vent selon la hauteur du terrain.

Source : Tahbaz, M (2007)

## Conclusion

La ville est tout d'abord un milieu « fabriqué » dont les matériaux et les formes influent sur la relation entre la couche atmosphérique et le sol. En effet, l'albédo plus faible qu'en milieu rural d'une manière générale, la capacité calorifique des matériaux, le piégeage radiatif dû à l'alignement des bâtiments, ou encore l'imperméabilisation des sols pour ne citer que ceux-là, modifient les caractéristiques environnementales de la ville. Ceci est encore accentué par l'activité urbaine. En effet, la densification à la fois des lieux de résidence et de travail provoque des rejets de chaleur anthropique beaucoup plus importants qu'en zone rurale. A ceci s'ajoutent les activités polluantes, qu'elles soient, entre autres, industrielles ou liées aux transports.

Toutes ces transformations du paysage influent sur le climat local. Une rue, une place va avoir un microclimat mais d'une manière plus générale la ville elle-même va former ce que l'on appelle un méso climat, c'est-à-dire un climat observé à une échelle qui se rapproche de l'échelle régionale (1 à 100km).<sup>38</sup>

<sup>38</sup> C.Sacre, *Climatologie urbaine et climatologie de site*, Ecole d'Architecture de Nantes, 1983.

L'élément le plus facilement observable est bien entendu la température. Cependant, l'augmentation de la température est loin d'être l'unique facteur de ce climat particulier. L'humidité et par conséquent le brouillard ont globalement diminué, le régime des pluies a été légèrement modifié ainsi que le régime des vents.<sup>39</sup>

Ces faits s'observent à la fois par l'évolution des données climatiques durant le XX<sup>e</sup> siècle mais aussi dans la comparaison de celles-ci entre les zones rurales, résidentielles et le centre urbain.

Les recherches sur le climat urbain s'orientent majoritairement vers la compréhension du phénomène plutôt que sur les enjeux en termes d'aménagement.

*"Il est vrai qu'à l'heure actuelle le devant de la scène en termes de climat est plutôt occupé par la question du changement climatique global et des mesures sur les rejets de gaz à effet de serre comme le CO2. Par ailleurs les actions des villes en terme de développement durable concernent surtout les questions de déchets et de pollution."*<sup>40</sup>

Le climat urbain n'apparaît pas encore la préoccupation majeure des aménageurs. Pourtant le changement climatique influera certainement sur le climat urbain ne serait-ce qu'en augmentant la fréquence des canicules et par conséquent les impacts négatifs du climat urbain en période estivale comme le manque d'humidité et la chaleur nocturne. Par ailleurs, un projet d'aménagement urbain n'est pas sans conséquence, positive ou négative, sur le climat urbain.

Les chapitres qui suivent ont pour but de montrer que les choix effectués en matière d'aménagement et d'urbanisme peuvent avoir des conséquences suffisamment importantes sur le microclimat et par conséquent sur le méso climat urbain pour être prises en considération dès la phase du dessin.

---

<sup>39</sup> G. Escourrou, *Le climat et la ville*, édition Nathan, 1991.

<sup>40</sup> M. Colombert, "L'intégration des enjeux du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville", Juin 2005, <http://www.reseau-ideal.asso.fr>



# **La géométrie urbaine**

*« Si l'îlot de chaleur urbain se caractérise par une hausse globale des températures, on sait qu'il fait meilleur sous les platanes ou au bord du fleuve. En effet, il n'y a pas un climat d'une ville, mais en fait une mosaïque de microclimats. Dans la couche qui va du sol au sommet des immeubles règne le chaos microclimatique. D'une rue à l'autre, à l'ombre d'un immeuble, dans un parc public, le temps change. Plus ou moins froid, plus ou moins venteux. A ce stade, les études se font à l'échelle d'un quartier, de quelques rues, voire d'un immeuble. Le but est de comprendre comment fonctionne la zone et d'en déduire l'impact d'un aménagement.»*

*Claude Kergomard<sup>1</sup>*

## **Introduction**

Dans un bilan de ville, on observe généralement que plus dense est plus grande une ville, plus grande est l'intensité de l'ICU.<sup>2</sup>

Bien qu'il ait souvent un effet maximal de la température au centre ville, "... Ceci est largement le résultat de nombreuses anomalies des températures des petites poches urbaines. Ces centres villes sont la réplique d'une intensité d'énergie élevée avec une croissance de bâtiments de service par suite à une urbanisation rapide et densité urbaine toujours croissante"<sup>3</sup>, il est plus compliqué d'observer l'îlot de chaleur urbain sur une échelle réduite et son impact sur le confort des riverains.

R.Böhm affirme que les différences locales de température de l'air sont fortement influencées par l'environnement local d'un endroit particulier que par la ville elle-même.<sup>4</sup>

---

<sup>1</sup> C.Kergomard, "A chaque ville son microclimat", Revue Sciences et avenir, n° 730, Paris, décembre 2007.

<sup>2</sup> B.Givoni, Climate considerations in building and urban design, édition Van Nostrand Reinhold, New York, 1998.

<sup>3</sup> R.Aggrwal, "Energy design strategies for city-center: an evaluation", PLEA Genève, Suisse, 6-8 Septembre 2006.

<sup>4</sup> R.Böhm, "Urban bias in temperature time serie", Climatic change 38113- 128, Autriche,1998 in S.Y Putra, J.Yang, L.Wenging, "GIS analysis for the climate evaluation of 3D urban geometry" [http:// www. Gisdevelopment. net/ proceedings/Gisdeco/2004](http://www.Gisdevelopment.net/proceedings/Gisdeco/2004).

En effet et à l'échelle microclimatique, la morphologie de la ville et des bâtiments, soit le mode d'occupation au sol et la géométrie, intervient sur les écoulements d'air en diminuant leur vitesse et en accentuant leur turbulence ainsi que sur l'ensoleillement. Elle s'est avérée avoir un grand rapport avec la formation de l'ICU.<sup>5</sup> Ainsi tout choix de densité et de profil urbain et d'organisation au sol agit sur la chaleur stockée dans les bâtiments et par conséquent sur le bilan thermique global. Ce chapitre vise à définir les caractéristiques géométriques des configurations urbaines qui détermineront son bilan local afin de bien comprendre sa contribution dans la définition du microclimat urbain.

#### **IV-La géométrie urbaine**

Ou bien encore morphologie urbaine signifie simplement la forme tridimensionnelle d'un groupe de bâtiments ainsi que les espaces qu'il crée. Elle est d'une importance primordiale pour le microclimat extérieur.<sup>6</sup>

La comprendre permet aux concepteurs et planificateurs de mesurer les conséquences de leurs dessins et plans sur le site d'implantation ainsi que le confort des utilisateurs et opter ainsi pour des choix stratégiques quant à la conception urbaine et architecturale, car chaque élément constitutif de la géométrie urbaine est lié à un paramètre climatique à savoir :

##### **IV-1- L'orientation**

L'orientation par rapport au soleil qui est un facteur déterminant pour toute conception passive de part l'exposition de ses différentes façades aux rayons solaires, définissant ainsi la quantité d'énergie solaire incidente sur ces parois verticales.

L'énergie fournie par une tâche de soleil est fonction de sa surface, de l'angle d'incidence du rayon solaire instantané en chaque point, du temps d'exposition au soleil et du matériau exposé (transmission, réflexion et absorption).

---

<sup>5</sup> Steadman 1979, Oke 1981, Barring et al 1985, Eliasson 1996, Pierre et al 2001, Lapidier 2002. Cités par S.Y Putra, J. Yang, L. Wenging, Op.cit 4

<sup>6</sup> A.Koen, M.C. Steemers, M.Sinou, "*Morphologie urbaine*", [http:// www.alpha.cres.gr/ruros](http://www.alpha.cres.gr/ruros)

**IV-2-La Forme du bâtiment :**

Définie par son facteur de forme (**Cf**) exprimé ainsi :

$$\mathbf{Cf} = \frac{\mathbf{Se}}{\mathbf{V}} \dots\dots\dots \text{Eq.IV.1}$$

Où :

*Se* : Surface de l'enveloppe en m<sup>2</sup>

*V* : Volume habitable en m<sup>3</sup>

Ce ratio exprime la quantité de surface extérieure (surface de contour ramenée à l'unité de volume). Sous les mi-latitudes plus ce ratio est réduit plus il a des implications positives par rapport au confort thermique intérieur de par la faible surface des façades exposées aux soleil et au confort piéton par rapport à l'énergie rayonnée par ces mêmes façades.

La forme du bâtiment est conditionnée par les variations des dimensions que peuvent avoir les formes différentes ; car deux bâtiments de même volume mais de formes différentes présentent un ratio (**Cf**) différent donc un comportement thermique différent.

**IV-3-La densité du plan :**

Représentant l'emprise au sol Elle est déterminée par la relation :

$$\mathbf{P} = \frac{\mathbf{Surface\ toiture}}{\mathbf{Surface\ totale}} \dots\dots\dots \text{Eq.IV.2}$$

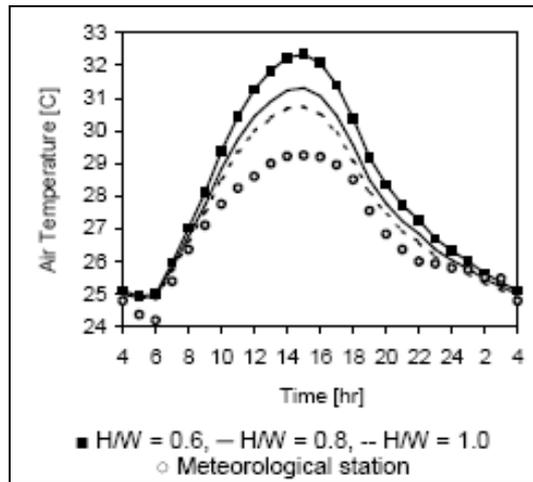
C'est un paramètre déterminant de la quantité des surfaces réceptrices du rayonnement solaire tels que les toits, murs et sol donc dépendant du profil urbain **H/W** qui conditionne d'une manière considérable le degré d'absorption et de réflexions de la radiations solaire globale au niveau de la canopée urbaine et de la CLU.

En effet, les rayons de soleil réfléchis et absorbés entre les bâtiments opèrent d'une façon assez complexe ; le refroidissement dû au rayonnement net d'ondes longues vers le ciel se produit principalement au niveau des toitures tandis qu'une faible

proportion provient des rues et des façades. En conséquence, le refroidissement, qui a lieu principalement en période nocturne, s'effectue lentement au niveau de la rue.

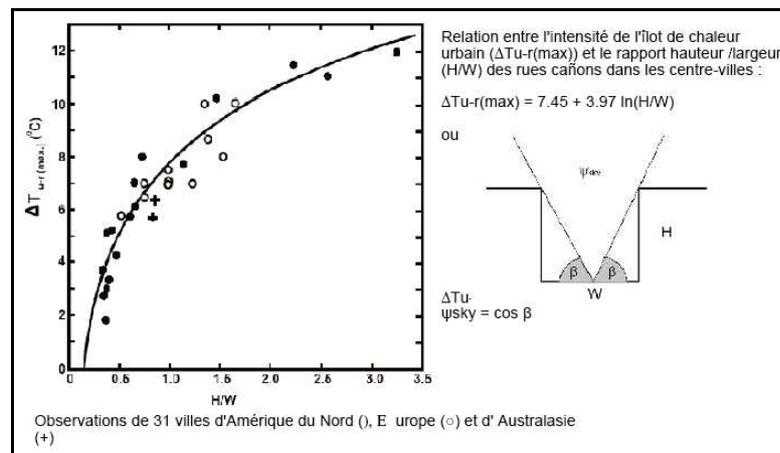
**IV-4- Le profil H/W :**

C'est le rapport entre la hauteur moyenne des bâtiments qui entoure l'espace sur sa largeur. Il est aujourd'hui démontré que la température des villes dépend de la hauteur des bâtiments **H** et de la largeur des rues **W**.<sup>7</sup> (cf.Fig.IV.1)



**Fig.IV.1** : Effet du rapport H/W sur les températures de l'air  
 Source : Shashua-Bar.L et al (2006)

Plus le rapport H/W est élevé, soit il s'éloigne du 0, plus on remarquera le phénomène de l'îlot de chaleur nocturne. (cf.Fig.IV.2)

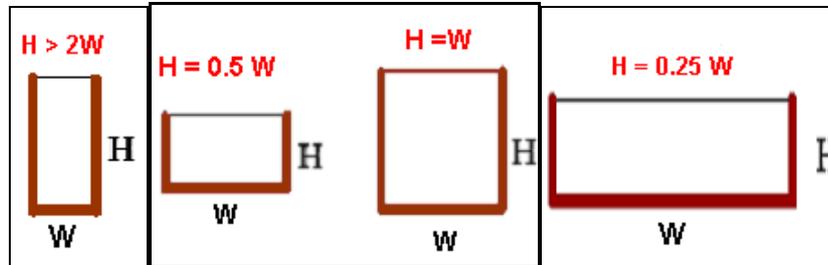


**Fig.IV.2** : Relation de l'intensité de L'ICU nocturne et le rapport H/W  
 Source : international Association for urban climat (2004)

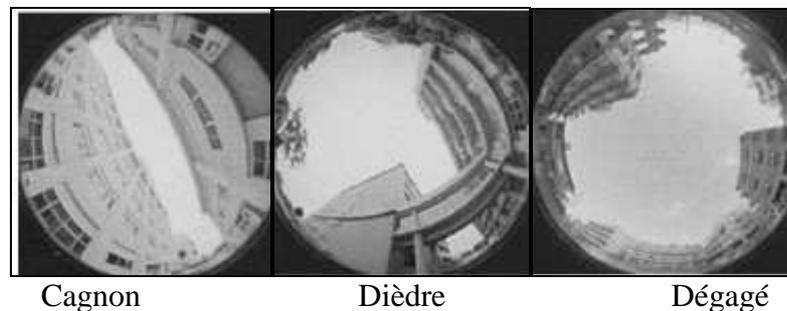
<sup>7</sup> T.R.Oke, Boundary Layer Climates, Methuen and co, New York, 1987

Cependant on peut obtenir une température diurne inférieure à celle de la campagne avoisinante. Ce phénomène est appelé *îlot de fraîcheur* (cool island).

La valeur de ce rapport définit trois classes de typologie urbaine. (cf. **Fig.IV.3 et IV.4**)



**Fig.IV.3** : Différentes classes de typologie urbaine : canyon, dièdre et dégagée  
Source : Jean Louis Izard (2000)



**Fig.IV.4** : Photos Fish-eye des trois classes de typologie urbaine  
Source : U.M. Moin, J.I. Tsutsumi (2004)

#### **IV-4-1-La forme Canyon ( $H/W > 2$ )**

Comme son nom l'indique, c'est un espace étroit où le rayonnement ne parvient pas à pénétrer sauf s'il se présente dans le plan axial du canyon, ce qui dépend de l'orientation de ce dernier. Le rayonnement solaire est alors piégé et peut provoquer des échauffements instantanés importants mais la durée de ce phénomène est faible à l'échelle de la journée suivant l'orientation de la rue.<sup>8</sup> Le sol s'échauffe peu et l'air y est en général très calme se qui rend la possibilité de leur ventilation très limitée en cas de surchauffe.

#### **IV-4-2- La forme dièdre ( $H/W = 0.5$ ou $H/W = 1$ )**

Dans un espace dièdre, le ciel et les façades sont vues angulairement de manière

<sup>8</sup> A.Benadji, Adaptation climatique ou culturelle en zones arides : cas du Sud-est Algérien, Thèse de Doctorat, Université de d'Aix-Marseille1, 1999.

équivalente : on peut donc avoir en même temps un ensoleillement direct et un éclairage par les façades. Le dièdre ainsi formé est le siège de multi-reflexions d'une surface vers l'autre en fonction de l'orientation de l'ensemble.

L'utilisateur qui circule à proximité de l'arête du dièdre subit un cumul du rayonnement global, des parois verticales ainsi que celui du sol.

Il est à noter que le refroidissement de ce dernier se produit plus difficilement, à cause de la présence de la surface verticale qui lui masque une partie du ciel.

#### **IV-4-3- La forme dégagée (H/W < 0.25)**

Tout espace libre non bordé par des immeubles ou des masses végétales où le ciel occupe une proportion importante de la visibilité angulaire de l'espace est exposé au rayonnement très important du soleil et du ciel. Avec des faibles vitesses d'air, la température de surface au sol dépend essentiellement de l'albédo qui règle la quantité d'énergie absorbée. (cf. Chap. III).

La partie réfléchie si elle ne participe pas à l'échauffement du sol, elle constitue un apport radiatif pour le piéton qui se trouve ainsi exposé à deux flux solaire : incident et le flux solaire réfléchi par le sol.<sup>9</sup> Ce dernier échauffé a tendance à se refroidir par rayonnement en grande longueur d'onde vers la voûte céleste plus froide, " Dans un espace dégagé rien ne s'oppose à ce rayonnement, si bien qu'en fin de nuit, cette surface est froide ; elle peut même être plus froide que l'air ambiant."<sup>10</sup>

Plusieurs recherches dans le monde ont essayé de définir la plage optimale de ce ratio, T.R.Oke<sup>11</sup> qui a étudié l'intervalle de ce ratio pour une ville hypothétique de mi-latitude a suggéré une valeur comprise dans l'intervalle  $0.4 < H / W < 0.6$  qui représente un compromis acceptable qui satisfait les critères pour un confort thermique exigeant un grand rapport et les critères pour dissiper la pollution exigeant un faible rapport. Cet intervalle a été validé par Arnfield<sup>12</sup>, et il a rajouté que cet intervalle est souhaitable pour toutes les latitudes surtout pour les climats caractérisés par une fréquente nébulosité où le contrôle de l'accès solaire par la manipulation de la

<sup>9</sup> A.Chatzidimitriou, N. Chrissoumallidou et S.Yannas, "Ground surface materials and microclimates in urban open spaces", PLEA, the 23<sup>rd</sup> conference, Genève, Suisse, 6-8 Septembre 2006.

<sup>10</sup> J.R. Vaillant, *Utilisation et promesse de l'énergie solaire*, édition Eyrolles, 1978.

<sup>11</sup> T.R.Oke, "Street design and urban canopy layer climate", *Journal of Energy and Buildings*, 1988, 103-113

<sup>12</sup> A.J.Arnfield., "Street design and urban canopy layer and climate, *Energy and Buildings*, 1990, 117-123

géométrie des rues est difficilement réalisée. En appliquant ces recommandations sur la chaude et humide côte d'Israël, Shaviv et al<sup>13</sup> indiquent que cette marge de ratio est affectée par l'orientation.

Il y a cependant peu d'études sur le microclimat urbain dans les climats chauds et secs. Dans la ville d'EL-Oued (33° N) en Algérie, par simulation, F. Bourbia<sup>14</sup> a trouvé que la meilleure orientation des rues est le nord-sud avec une marge de ratio comprise entre 1 et 2 en considérant les deux saisons chaude et froide.

Kitous et al<sup>15</sup> dans une étude sur les variations de la température de l'air diurne en fonction du profil des rues à Ghardaïa, ont trouvé que les fluctuations de la température de l'air restaient très faibles pour des prospects de rues compris entre 2.7 et 6.2. Ils ont conclu que si la compacité urbaine est efficace dans la réduction des températures de l'air, elle demeure néanmoins limitée à partir d'un certain seuil de prospect compris entre 1.7 et 2, par contre les passages couverts et l'orientation des rues jouent un rôle plus prépondérant.

Une autre étude combinant orientation et ratio H/W sur la ville d'Athènes (38°N) où le programme Ecotec a été employé par F.Bougiatioti<sup>16</sup> afin d'analyser l'ombrage et l'insolation pour les surfaces horizontales (le sol) et verticales (façades de bâtiment). pour différentes configurations d'espaces ouverts (H/W= 0.1, 0.25, 0.5, 1, 1.5, 2, 3) selon les quatre orientations principales et pour la journée typique du 21 Juin. (cf.Fig.IV.5)

Les diagrammes résultants de la simulation sont mentionnés en **annexe D**. Les résultats de l'étude sont récapitulés dans les deux tableaux suivants\* :

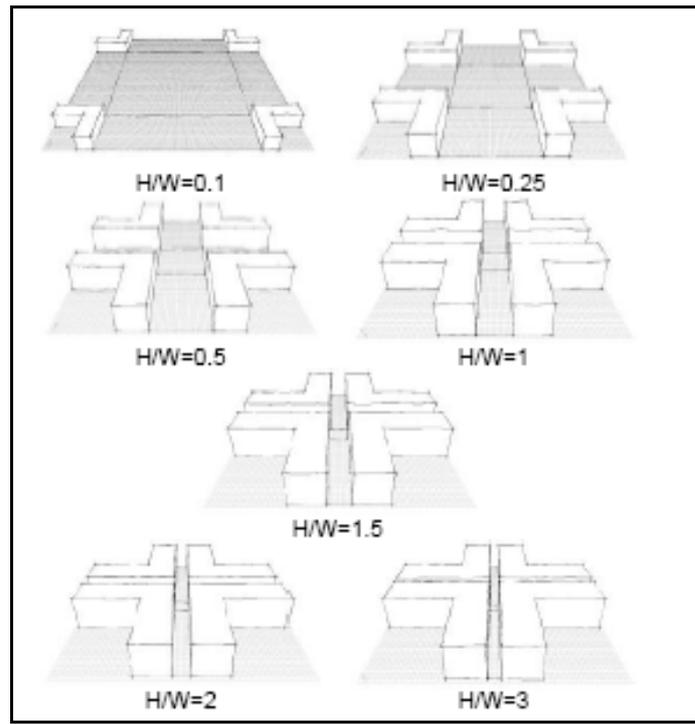
<sup>13</sup> E.Shaviv, A.Yezioro, I.G. Capeluto, "Climatic and energy aspects of urban design in hot humid region of Israel, Technion Research and Development Foundation, Haifa, Israel, 1996-1998 in L.Shashua-Bar, M.E.Hoffman." *Geometry and orientation aspects in passive cooling of canyon streets whit trees*", Energy and Buildings 35 , 2003, 61-68

<sup>14</sup>F. Bourbia, H.B, Awbi, "Building cluster and shading in urban canyon for hot dry climate.Part 2: Shading simulations", Renewable Energy 29 , 2004, 291-301

<sup>15</sup> S.Kitous et al, "Pour un urbanisme climatique des villes : Cas de la vallée du Mzab", acte de colloque, Ghardaïa, Algérie, Décembre 2006

<sup>16</sup>F.Bougiatioti, "Effect of urban geometry on surface temperatures of skin materials in Greek cities", PLEA, the 23<sup>rd</sup> conference, Genève, Suisse, 6-8 Septembre 2006

\* Noter pour les tableaux (IV.1 et IV.2) : Dans les cas, qui sont dénotées avec (x), la surchauffe des matériaux peut ne pas être comme critique, parce que les surfaces sont en partie ombragées (de 10-30%) avant ou pendant la période où les températures de surface maximum se produisent.



**Fig.IV.5 :** Différents ratios H/W configurés dans l'étude sur Athènes.  
*Source : Bougiatioti. F (2006)*

**Tab.IV.1:** Résultats du scénario du " cas extrême de surchauffe" pour les surfaces horizontales pour différents ratios (H/W) et différentes orientations.  
*(Source : Bougiatioti. F ,2006)*

	0	.1	.25	.5	1	1.5	2	3
N-S	x	x	x	x	(x)			
E-W	x	x	x	x	x	x	(x)	
NE-SW	x	x	x	x	x	(x)		
NW-SE	x	x	x	x	(x)			

De l'étude du tableau **Tab.IV.1** pour les surfaces horizontales, on peut conclure que:

- Pour les configurations avec une orientation Nord-Sud ou Nord-ouest/ Sud-est, les cas où les matériaux des surfaces horizontales sont liés à la surchauffe pendant l'été comprennent les ratios H/W de 0 à 0.5 (ou à 1).
- Pour les configurations avec une orientation Nord-est/Sud-ouest, ces cas incluent également des cas plus étroits, avec ratio de 1 (ou de 1.5).
- la surchauffe des surfaces horizontales dont l'axe principal est orienté Est/ Ouest est probable en été même pour un ratio égal à 2.

Dans tous les cas des surfaces horizontales mentionnées ci-dessus, la surchauffe des matériaux à midi et l'après-midi des jours d'été peuvent contribuer à la dégradation des conditions microclimatiques et par suite du confort thermique dans les espaces urbains de la ville. Pour cette raison, elle devrait être prise en compte sérieusement par les architectes et les urbanistes (**cf. Chap.III**).

Pour les surfaces verticales, de l'étude du **tableau IV.2** ci-dessous, on peut conclure que:

- Pour les surfaces verticales avec orientation Est et ouest, incluant les configurations urbaines avec un ratio de 0 à 0.5 (ou à 1), les façades nord ne surchauffent jamais, en raison des quelques heures d'insolation et de l'altitude du soleil par contre ceux d'orientation Sud ne sont jamais ombragées durant l'été même pour un ratio H/W égal à 3.
- Les façades du nord-ouest peuvent surchauffer avec des ratios s'étendant de 0 à 2 (ou à 3), tandis que pour celles du sud-est l'effet du ratio est plus prononcé et la surchauffe peut se produire pour H/W jusqu'à 1.5
- les matériaux qui constituent les façades nord-Est peuvent atteindre leurs températures de surface maximum quand l'espace ouvert urbain ait un ratio allant de 0 à 1 (ou à 1.5).

Pour les façades du sud-ouest, ces cas incluent des cagnons plus étroits soit de 1.5 (ou de 2).

**Tab.IV.2** : Résultats du scénario du « cas extrême de surchauffe » pour les surfaces verticales pour différents ratios (H/W) et différentes orientations.  
(Source : Bougiatioti. F, 2006)

	0	.1	.25	.5	1	1.5	2	3
E	x	x	x	x	(x)			
W	x	x	x	x	(x)			
N								
S	x	x	x	x	x	x	x	x
NW	x	x	x	x	x	x	x	(x)
SE	x	x	x	x	x	x		
NE	x	x	x	x	x	(x)		
SW	x	x	x	x	x	x	(x)	

Dans tous les cas de façades des bâtiments mentionnés ci-dessus, la surchauffe des matériaux dans différentes périodes du jour, selon leur orientation, pendant l'été, peut avoir un effet négatif sur le microclimat urbain et le confort thermique. En outre,

l'aspect de la température de surface élevée sur les façades et les toits des bâtiments peut avoir un effet négatif sur les conditions internes, lorsqu'il s'agit des bâtiments mal isolés. L'intérêt de ces conclusions pour la présente étude est de pouvoir déterminer les zones confortables et inconfortables pour les différentes activités qui peuvent se dérouler au sein de la place ainsi que les zones qui nécessitent une correction bioclimatique.

Au lieu du rapport H/W, d'autres mesures ont également été utilisées tel que le facteur de vue du ciel pour décrire le rapport entre la géométrie urbaine et les intra variations des températures urbaines.

#### **IV-5-Sky view factor (SVF)**

Le facteur de vue du ciel (SVF) est simplement une mesure de l'angle solide sous lequel le ciel est vu depuis un espace urbain (la section de l'espace qui s'ouvre vers le ciel). Il détermine les échanges de chaleur par rayonnement entre l'espace et le ciel.

Il est exprimé par la relation suivante :

$$\text{SVF} = \frac{\text{L'angle solide de vision du ciel}}{\text{L'angle solide hémisphérique}} \dots\dots\dots \text{Eq.IV.3}$$

Ses valeurs peuvent être obtenues par l'équation suivante<sup>17</sup>:

$$\text{SVF} = \frac{400 \cdot L \cdot W}{\pi (L^2 + H^2)} \% \dots\dots\dots \text{Eq.IV.4}$$

Où : **L** est la longueur de l'espace, **W** sa largeur moyenne et **H** la hauteur moyenne des bâtiments environnants.

C'est un nombre sans dimensions compris entre 0 et 1. Un SVF de **1** signifie que la vue du ciel est dépourvue de toute obstruction, par exemple depuis un champ isolé et que, par conséquent, les températures suivront de près les valeurs météorologiques. Un SVF de **0** signifie que la vue du ciel est totalement obstruée et que, dès lors, les températures seront fortement influencées par le contexte urbain.

<sup>17</sup> E.Tsianaka "the Role of Courtyards in Relation to Air Temperature of Urban Dwellings in Athens, The23rdConference on Passive and Low Energy Architecture, Genève, Suisse, 6-8 Septembre 2006.

Ainsi, dans une ville médiévale avec des rues étroites, on s'attend à un SVF faible autour de **0.2**, alors que dans un environnement urbain plus ouvert avec des rues et des espaces larges, le SVF sera plus près de **0.8**.

Dans une ville donnée, il peut y avoir des valeurs de SVF typiques qui déterminent globalement les variations de températures, mais il peut aussi y avoir des variations significatives du SVF à l'intérieur du tissu urbain.<sup>18</sup>

Un changement de SVF de moins d'un dixième est peu susceptible d'être de toute grande importance.<sup>19</sup>

#### **IV-5-1-La Corrélation forte entre le SVF et la performance thermique locale**

Le SVF est considéré en tant qu'un des facteurs morphologiques les plus importants qui ont des impacts essentiels sur le climat urbain. Les paramètres tels que la chaleur anthropogène et les propriétés thermiques des matériaux sont liées à l'intensité de l'ICU, mais seul les simulations du SVF ont montré que ce dernier peut produire un  $\Delta T_{u-r}$  d'une importance de 7 °C.<sup>20</sup>

Cependant une Corrélation forte entre l'intensité maximum de l'ICU,  $\Delta T_{u-r}(\max)$ , et le SVF a été trouvé.<sup>21</sup>

$\Delta T_{u-r}(\max)$  conclu par Oke est fonction de la moyenne du SVF ( $\psi$ ) au-dessus d'un grand secteur urbain:

$$\Delta T_{u-r}(\max) = 15.27 - 13.88 \psi \dots \dots \dots \text{Eq. IV.5}$$

M.J. Alcofarado et al<sup>22</sup> dans leur étude des variations locales de la température de l'air dans le centre ville de Lisbonne relativement dense sur une période de mesure s'étalant d'Août 1998 – Juillet 1999, où deux thermo-hygrographes ont été installés l'un dans une rue canyon et l'autre dans une cour urbaine de l'ancien tissu du centre ville, ont observé une différence moyenne nocturne de 4°C de la périphérie vers le centre.

<sup>18</sup> A.Koen et al, Op.cit. 6

<sup>19</sup> G.T.Johnson, I.D.Watson, "The determination of sky view factors in urban canyons", Journal of climatology 23, 1985, pp. 329- 335

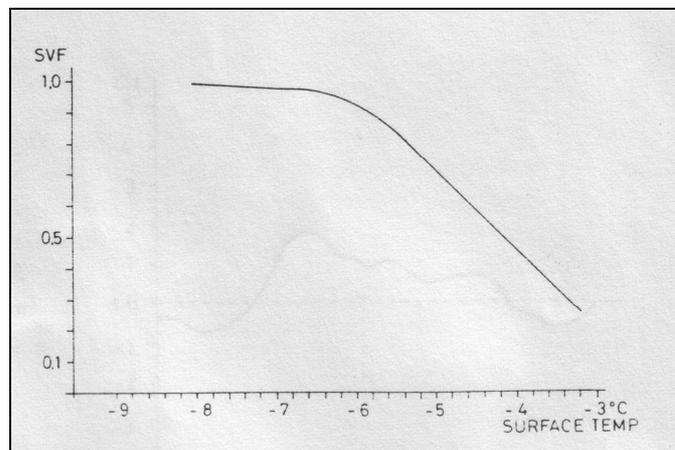
<sup>20</sup> Oke, 1981, Oke et al 1991, Chapman et al 2001, Cités par M.K.Svensson, "Sky view factor analysis – implications for urban air temperature differences", Meteorol. Appl. 11, 2004, pp. 201–211

<sup>21</sup> Oke 1987, Yamashita 1986, Park 1987 cités par S.Y.Putra, J.Yang, L.Wenging, Op.cit 4

<sup>22</sup> M.J. Alcofarado et al, " Nouvelles observations sur les températures de l'air et de surface à Lisbonne", Climat et environnement, 2000.

Cependant durant le jour en été, ce même centre se comporte tantôt comme un puits de fraîcheur conséquence des brises d'été, tantôt comme puits de chaleur causé par les différences géométriques urbaine.

I. Eliasson<sup>23</sup> mène à l'échelle de la rue, une étude quantitative dans la ville de Göteborg, située à l'ouest de la Suède. Il s'agit de comprendre la relation entre la géométrie urbaine et la variation des températures dans deux secteurs urbains du centre ville : le secteur nord expose un SVF des rues canyons qui varie entre 0.25 et 0.45. Le deuxième secteur situé dans la partie sud de la ville présente une géométrie irrégulière. Les valeurs du SVF des rues varient entre 0.5 et 0.9. Les résultats de cette recherche montrent la corrélation forte entre le SVF et la température de surface dans le bilan local. Ils montrent aussi un phénomène d'îlot de chaleur urbain. (cf. Fig. IV- 6)



**Fig. IV- 6** : Relation entre le SVF et les températures surfaciques mesurées le 2 Décembre 1988 (17- 20h)  
Source : Eliasson.I (1991)

La différence de température de l'air entre le centre ville et le grand square avoisinant est de 4°C en moyenne. Ce différentiel est du même ordre que celui constaté entre la température urbaine et rural qui varie entre 3.5°C et 6°C. Une différence entre 1°C – 5°C a été enregistrée entre la ville et la campagne du 11 au 12 Octobre 1988 de 14h- 6h.<sup>24</sup>

<sup>23</sup> I.Eliasson, "Urban nocturnal temperatures, street geometry and land use", *Atmospheric environment*, Volume 30, N° 3, pp.379-392.

<sup>24</sup> I.Eliasson, "Urban geometry, surface temperature and air temperature", *Energy and Buildings*, 15- 16, 1990/ 91, pp. 141- 145.

Donc le SVF est un facteur de contrôle essentiel de l'effet de l'ICU, et peut être employé pour l'ajuster. (Le diminuer ou l'augmenter selon les conditions climatiques locales).

Contrairement aux températures de surface, les températures de l'air dans le bilan local n'ont pas une corrélation évidente avec le SVF car les résultats sont plutôt contradictoires<sup>25</sup> (cf. **Tab.IV.3**), puisque la température de l'air dépend des facteurs régionaux plus complexes.<sup>26</sup>

**Tab.IV.3:** Résumé des recherches examinant la relation entre la température de l'air nocturne et le SVF. Le coefficient de corrélation et de détermination sont dénotés, respectivement,  $r_{x,y}$ , et  $R^2$  (Source : Svensson. M. K .2004)

Author(s)	Sky view interval	Number of stations	Number of occasions	Season	$r_{x,y}$	$R^2$	Method	Type of environment
Bärring et al. (1985)	0.52–0.98	75	1	cold	–0.54	0.29	car meas.	urban
Bärring et al. (1985)	0.52–0.98	75	5	cold	–0.48	0.23	car meas.	urban
Yamashita et al. (1986)	0.55–0.90	9	1	cold	–0.68	0.46	car meas.	urban
Yamashita et al. (1986)	0.55–0.90	21	1	cold	–0.62	0.38	car meas.	urban
Eliasson (1996)		10–30	6	cold	– <sup>a</sup>	–	car meas.	urban
Upmanis (1999)	0.38–1*	7	1	cold	–0.54	0.29	perm. stations	central city
Upmanis (1999)	0.60–0.80*	6	10	summer	–0.87	0.76	perm. stations	central park
Karlsson (2000)	0.42–0.99	13		cold	– <sup>b</sup>	–	perm. stations	forest
Postgård (2000)	0.26–0.98	–	1	spring	–	0.44	car meas.	forest
Postgård (2000)	0.26–0.98	–	1	cold	–	0.45	car meas.	forest
Svensson (2004)	0.34–0.98*	16	36	all year	–0.76	0.58	perm. stations	built-up
Svensson (2004)	0.70–0.98*	8	36	all year	–0.63	0.39	perm. stations	multi-family
Svensson (2004)	0.78–0.94*	6	36	all year	–0.73	0.53	perm. stations	single houses
Svensson (2004)	0.22–0.82*	13	1	cold	–0.75	0.57	car meas.	open and dense canyons
Svensson (2004)	0.22–0.60*	9	1	cold	–0.88	0.78	car meas.	dense canyons

Notes: \* Sky view factor from images captured at ground level (SVEg); <sup>a</sup> no significant correlation; <sup>b</sup> strong correlation presented graphically

Pour tester la performance d'un modèle 3DSkyView pour l'analyse environnementale. Vingt canyons urbains d'un même voisinage résidentiel de la ville moyenne brésilienne Bauru ont été choisis par L. C .L De Souza et al<sup>27</sup> de manière à avoir une gamme étendue des valeurs du SVF (0.7 – 0.9).

Les canyons sont orientés selon deux orientations NE-SO et SE-NO. Une collecte de donnée sur les températures de l'air, de surface et de la consommation énergétique **diurnes** a été effectuée usant du modèle GIS (SIG), et qui ont eu une bonne corrélation avec ceux fournies par le modèle 3DSkyView.

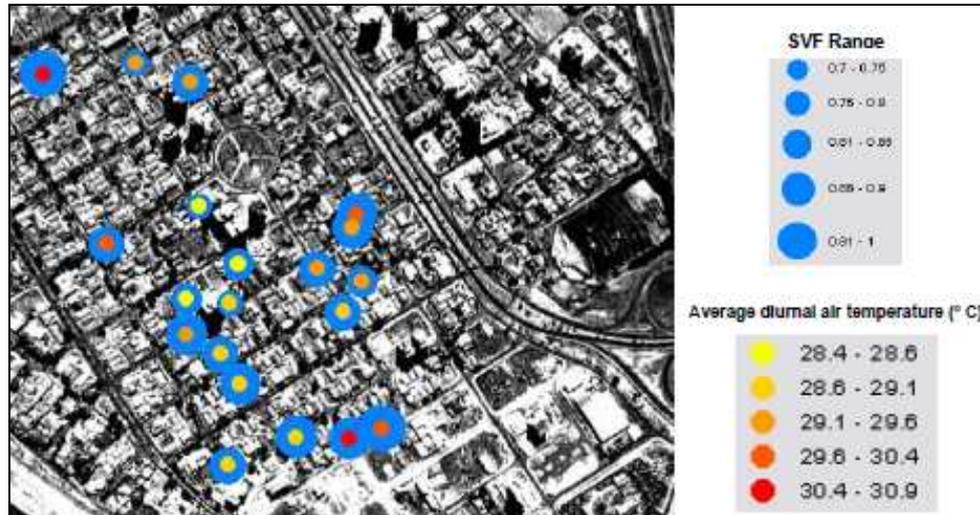
<sup>25</sup> J.Unger. "Intra-urban relationship between surface geometry and urban heat island: review and new approach", *Climate Research*, Vol. 27, 2004, pp. 253-264, [http://: www.int-res.com](http://www.int-res.com)

<sup>26</sup> S. Y. Putra, J. Yang, L. Wenging, *Op.cit 4*

<sup>27</sup> L. C .L De Souza et al, "Incorporating sun paths for solar analysis in the 3DSkyview extension." , *CUPUM* ,The 9<sup>th</sup> international conference, London 2005.

L'étude a eu pour résultats :

- Plus le SVF est grand, plus les températures moyennes journalières et maximales sont élevées, indiquant l'influence de la pénétration des rayons solaires dans un espace urbain (cf. fig. IV- 7) et un îlot de chaleur **diurne**.



**Fig. IV- 7 :** Températures moyennes de l'air journalières en fonction du SVF  
*Source : L. C. L De Souza et al (2005)*

- Les températures surfaciques ont prouvé la même tendance trouvée dans le premier cas. Les résultats sont illustrés par le **tableau IV- 4** :

**Tab; IV- 4:** Résultats des moyennes et minimales des températures surfaciques et les minimales des températures moyennes de l'air en fonction du SVF (*Source : L. C. L De Souza et al, 2005*)

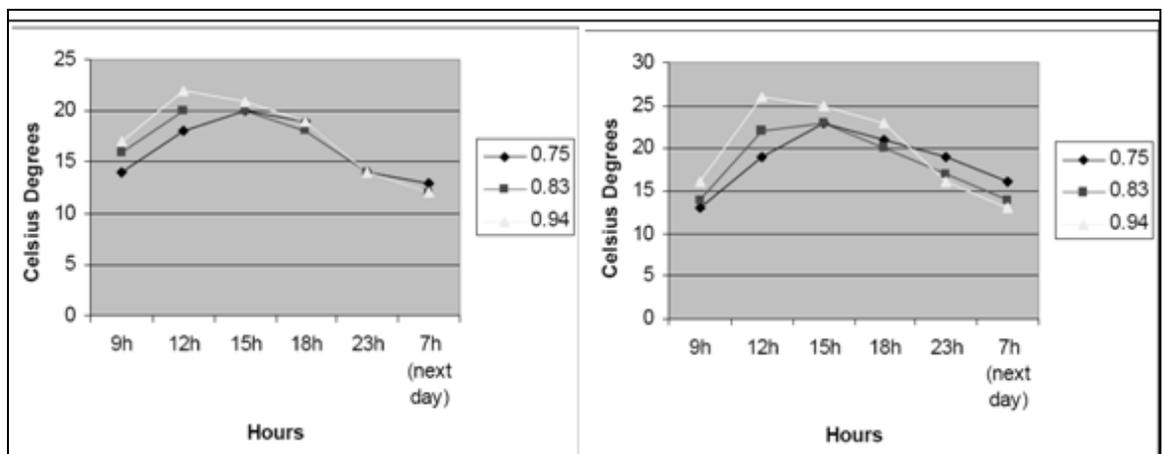
SVF ranges	Surface Temperature	Minimum air	Minimum surface temperature
0.70 a 0.75	29.8	25.4	22.5
0.76 a 0.80	29.2	24.7	21.9
0.81 a 0.85	30.2	24.6	21.8
0.86 a 0.90	30.5	24.9	22.2
More than 0.91	32.0	25.6	22.0

- Pour les températures minimales, se produisant tôt le matin, il y a également une tendance que plus grand est le **SVF**, plus grand est son degré de refroidissement indiquant un îlot de chaleur **nocturne**.

Pour démontrer le potentiel du SVF comme indicateur environnemental au niveau piéton, le même auteur<sup>28</sup> a effectué une étude antérieurement à São Carlos-PS, une ville moyenne brésilienne située à une altitude moyenne de 854 m, bien exposée au vent et donc bénéficiant d'une grande capacité de refroidissement.

Afin d'étudier le rapport du SVF avec les températures de l'air et les températures surfaciques, trois points de mesures ont été choisis représentant différentes valeurs de SVF, 0.75, 0.83 et 0.94 mais avec la même altitude, même densité, même orientation par rapport à l'incidence des rayons solaires (Est-Ouest), même direction d'ouverture au vent et même nature du sol.

Les résultats enregistrés en ces points sont représentés sur la **figure IV-8**.



**Fig. IV- 8 :** Variations des températures de l'air (à gauche) et des températures des surfaces au sol (à droite) en fonction du SVF pour des espaces homogènes.

*Source : L. C. L De Souza et al (2003)*

En comparant les températures de l'air rassemblées pour les trois points, il est possible de vérifier une tendance des courbes de deux phases: avant 15h et après 15h. Avant 15h les températures de l'air les plus élevées sont liées à un plus grand SVF. Cette tendance commence à s'inverser après 15h avec un SVF plus élevé atteignant les plus basses températures peu de temps après le coucher du soleil. Ceci confirme l'îlot de chaleur urbain.

<sup>28</sup> L. C. L De Souza "Implementing a Geometry-Related Environmental Indicator in a 3D-GIS", the 5<sup>th</sup> international conference on urban climate, Lodz, Poland, Septembre 2003.

Cependant, pour la température de surface l'inverse est vrai. Car on peut voir aussi qu'il existe deux phases sur leurs courbes. Les plus élevées ont été directement liées à des valeurs plus élevées de SVF avant 15h, ensuite la tendance a commencé à s'inverser et les capacités de refroidissement des surfaces ont été réduites pour les surfaces de plus petites valeurs de SVF.

Donc pour des géométries urbaines, ayant les mêmes caractéristiques (**voir supra**)

Une forte corrélation entre les températures de l'air et de surface et le SVF existe mais son sens (négatif ou positif) diffère avant et après 15h.

Le SVF a également une influence significative sur le confort thermique. Depuis que la température de surface est corrélée au SVF, et employée pour dériver la température moyenne radiante (MRT ou  $T_{mrt}$ )\*, un des indices principaux affectant le confort thermique (**cf. Chap.V**). En fait, le SVF a été pris comme facteur principal dans la détermination de la MRT ( $T_{mrt}$ ) dans le modèle prédictif RayMan<sup>29</sup> (**cf. Chap V. section V-4- 5**).

#### **IV-6- Les galeries (espace semi-ouvert)**

La géométrie des contours des bâtiments joue également un rôle important en affectant le microclimat de l'espace urbain. Elle constitue un autre aspect de la géométrie des espaces ouverts de par l'utilisation des galeries au rez-de-chaussée qui a été étudiée par Aizenberg.<sup>30</sup>

Les résultats de l'étude, en utilisant le modèle CTTC sur différentes typologies construites avec des colonnades, indiquent que sur la côte méditerranéenne par exemple, leur effet de refroidissement maximum trouvé en été à midi était de 3-5 K pour  $H/W = 0.5$  et 2 ou 3 K dans les plus étroites rues ( $H/W = 3$ ).

---

\* MRT est la moyenne des températures de surface de l'environnement avec lequel le corps échange la chaleur par rayonnement

<sup>29</sup> A.Matzarakis, F. Rutz, H.Mayer, "Modelling the thermal bioclimate in urban areas with the RayMan Model", The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Genève, Suisse, 6-8 Septembre 2006.

<sup>30</sup> A.Aizenberg, Development of climatic urban design guidelines based on the analytical CTTC model for prediction of air temperature variations M.Sc. Thesis, Technion, Haifa, Israel, 1999. In L. Shashua-Bar., M.E.Hoffman, "Geometry and orientation aspects in passive cooling of canyon streets with trees", Energy and Buildings 35, 2003, pp. 61-68

#### **IV-7- l'espace couvert**

Une autre typologie d'espace tout à fait indépendante du ratio H/W, à l'abri de tout rayonnement solaire et bénéficiant d'un environnement plus frais. (cf. **chapitre I**) Dans une analyse du microclimat de la ville de Ghardaïa, les résultats étaient concluants : "*Hiver comme été, les températures d'air les plus basses sont enregistrées au passage couvert. La différence de température de l'air entre le passage couvert et les rues exposées au rayonnement solaire est de 1°C en hiver tandis qu'elle varie entre 2 et 5°C en été, selon les prospects des rues. De même, les températures de surface du sol à l'abri de l'irradiation solaire directe, sont respectivement de 14 à 20°C plus basses que celles des rues ouvertes. En plus de l'effet d'ombre qu'il procure, le passage couvert est à l'origine d'une accélération des vents qui peut être recherchée en été, lorsque les écoulements d'air sont faibles.*"<sup>31</sup>

#### **IV-8- Forme urbaine et ensoleillement**

Dans le but de concevoir et de déterminer la relation entre la forme urbaine et la répartition du rayonnement solaire sur les surface bâties et non bâties, la manipulation des formes caractéristiques en général de type îlot (cour), barre et tour ont fait l'objet de plusieurs travaux. Dans ce sens on peut citer :

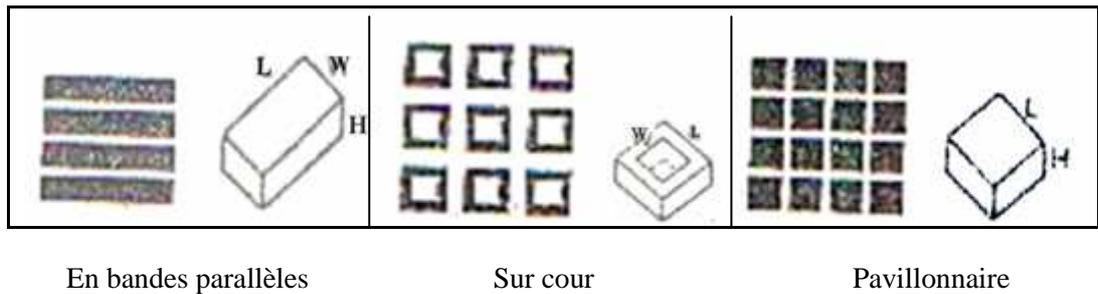
##### **IV-8-1- L'étude de Gupta et al**<sup>32</sup>

L'équipe a mené une étude concernant les performances thermiques de trois types de forme de constructions, qu'ils avaient établi du point de vue occupation au sol.(cf. **Fig.IV.9**)

---

<sup>31</sup>S.Kitous et al, Op.cit 15

<sup>32</sup> Citée par S. Masmoudi, Relation entre géométrie urbaine , végétation et confort thermique extérieur : cas de la place dans les regions arides à climat chaud et sec, thèse de magister, Université Mohamed Khaider, Biskra, 2003.



**Fig.IV.9** : Formes des groupements choisies selon l'occupation du sol.

*Gupta- 1986 in Masmoudi. S (2003)*

Les résultats de leur étude pour les climats chauds sont les suivants :

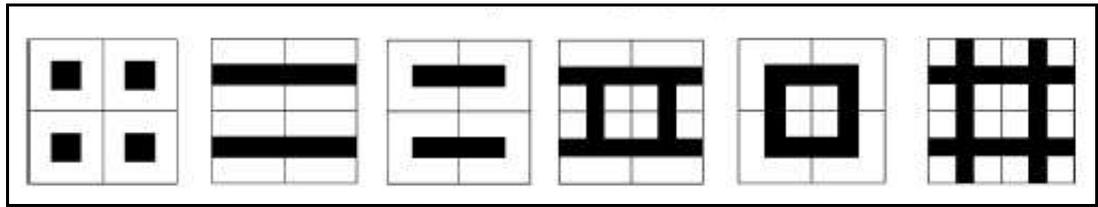
- La forme urbaine optimale oscille entre le groupement de maisons autour d'une cour et la construction en bande.
- La largeur des bandes de constructions allongées selon l'axe Est-Ouest n'est pas importante du point de vue apports solaires. Toutefois, les bandes de constructions étroites sont recommandées dans le cas d'allongement sur l'axe Nord-Sud. (soit qui tendent vers le canyon avec une orientation Nord-Sud).
- Les constructions de 4 à 8 niveaux sont recommandées pour ce type de climat.
- Pour les constructions sur cour, un groupement important de blocs avec de petites cours est préférable à un groupement d'un nombre réduit de blocs avec de larges cours.

#### **IV-8-2-L'étude de Steemers et al**<sup>33</sup>

Dans cette étude, trois formes différentes, à savoir: le type tour, le type cour, et le type barre, ont été choisies suivant deux orientations ; Est-ouest et une autre Orientation Nord-sud (**cf. Fig.IV.10**).

L'étude a été faite par simulation pour comparer le rayonnement solaire incident. Il a été calculé pour les parois verticales, pour le sol et enfin pour l'ensemble parois et sol. L'albédo des murs a été pris 40% pour les murs et 20% pour le sol.

<sup>33</sup> K.Steemers, A,Low energy urban design, 1996, in T.Belatrache , Effets thermoradiatifs et caractérisation microclimatique des cours intérieures dans les édifices publics. Thèse de magistère, Université Mentouri, Constantine, Algérie, 2006



**Fig.IV.10** : Formes bâties choisies pour l'évaluation de la radiation solaire  
*Source Steemers K. et al (2003)*

A partir de cette recherche il a été conclu ce qui suit :

- La manipulation des formes des constructions et leurs dispositions conditionne l'espace libre, et par conséquent une influence directe sur l'ensoleillement des espaces extérieurs et intérieurs.
- A l'échelle urbaine, le rayonnement solaire possède une forte autorité sur la manipulation des formes urbaines et doit satisfaire de subtils compromis entre l'intention d'ensoleillement et la répartition du bâti.
- Par comparaison des différentes formes, la tour favorise l'interception des rayons solaires sur les murs et l'îlot sur les toits. Cependant, ce dernier intercepte moins de rayons sur les parois de part leurs obstructions partielles.
- La disposition de type barre (allongée) est la forme la plus affectée par l'orientation.

#### **IV-8-3-L'étude Johansson<sup>34</sup>**

Dans le but d'étudier l'influence de la géométrie urbaine sur le confort thermique extérieur en comparant une rue extrêmement profonde ( $H/W= 10$ ) dans le vieux tissu urbain de la ville de Fez à climat caractérisé par des étés chauds et secs et hivers froids, et une rue peu profonde ( $H/W= 0.6$ ) dans le tissu éclaté de sa ville nouvelle.

Les matériaux extérieurs sont semblables (plâtre et brique, béton et asphalte) et n'ont pratiquement aucune source de chaleur artificielle.

Cette étude a conclu que:

- Une forme urbaine compacte avec des rues très profondes donne une bonne protection pendant les longues chaudes périodes d'été de part ses basses températures d'air et l'ombre fournie aux piétons pendant la partie la plus

<sup>34</sup> E.Johansson, " *Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco* ", *Energy and Buildings*, 5 July 2005

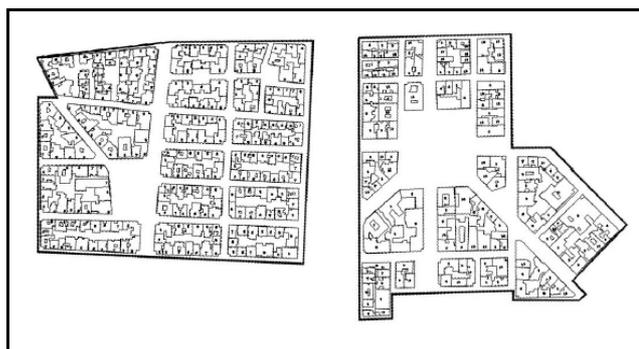
chaude du jour. Cependant, le confort thermique en hiver est trop faible par manque d'accès solaire.

- Une forme urbaine dispersée, au contraire, crée un environnement extrêmement inconfortable durant les journées d'été mais en hiver elle offre l'opportunité au piéton de se déplacer entre les zones ensoleillées et celles ombrées. Cependant, cela n'est possible que seulement pendant la saison froide. En été, quand l'altitude solaire est haute, il est presque impossible de trouver l'ombre.

En conséquence, une forme urbaine compacte se trouve la bonne solution en été pour des villes chaudes avec un hiver froid, mais elle devrait également inclure quelques rues plus larges ou espaces ouverts ou tous les deux pour permettre l'accès solaire. De tels espaces ouverts qui fonctionnent comme tâches solaires en hiver, exigent la protection solaire au niveau piétonnier en été.

#### IV-8-4- L'étude de Tsianaka<sup>35</sup>

Examinant les avantages et les inconvénients de l'espace ouvert au centre de la ville d'Athènes en étudiant les rues et les cours (cf. Fig. IV.11), cette étude avait pour objectif la détermination de la manière dont la morphologie urbaine affecte la température de l'air, et si les avantages des cours (enclos, places) pourraient être employés pour améliorer le confort thermique intérieur du côté du bâtiment donnant sur la rue.



**Fig.IV.11** : le site d'Amerikis et Ammonias retenus pour l'étude  
Source : Tsianaka.E (2006)

Les résultats de l'analyse sur terrain et par simulation sont très révélateurs de l'importance de ces espaces dégagés au niveau du tissu urbain :

<sup>35</sup> E.Tsianaka, Op.cit 17

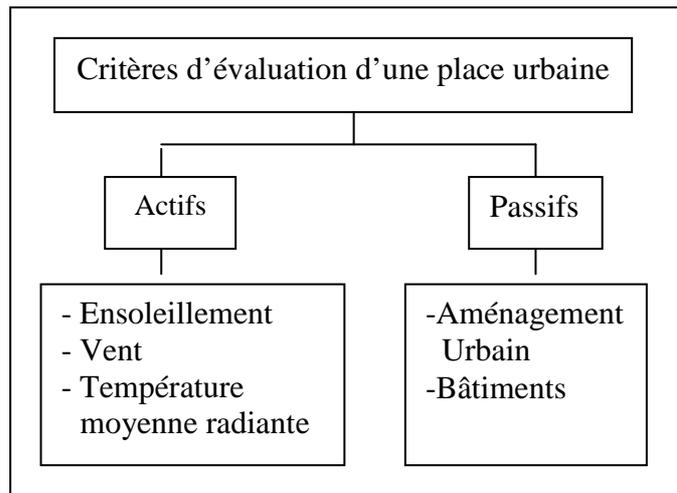
- Les niveaux inférieurs des bâtiments donnant sur les cours sont plus frais que ceux donnant sur la rue.
- les températures des cours sont inférieures de 4.4 °C en moyenne que ceux des rues. Par conséquent les cours tendent à être les espaces adéquats pour la ville d'Athènes, contrairement aux rues qui sont sources de chaleur.
- En termes de taille de cour, dans les secteurs de densité élevés, les petites cours sont plus bénéfiques que les plus grandes cours.
- L'évaluation de la température a également prouvé que les cours peuvent réduire l'utilisation de l'énergie de refroidissement des bâtiments.
- Les appartements du côté rue peuvent également bénéficier du service d'air frais depuis la cour. C'est possible à condition qu'il y ait une ouverture entre la rue et la cour, pour favoriser un écoulement d'air et réaliser une ventilation transversale.

A travers ces quatre études sus citées, il apparaît que la disposition des bâtiments autour d'une cour, enclos, place.....semble donner les meilleures performances tant bien pour l'intérieur que l'extérieur à condition que ces espaces ouverts répondent à certains critères qu'on définira dans la section suivante, et qui pourraient être une solution pour la régulation thermique du microclimat urbain, et à une échelle plus grande du climat urbain.

#### **IV-9- Critères d'évaluation d'une place urbaine**

Définie comme volume créé par les bâtiments qui peuvent être de hauteurs différentes (**cf. Chap. II**), la géométrie de la place urbaine détermine si l'endroit sera thermiquement plaisant ou inconfortable pendant différentes heures du jour et tout au long de l'année.

Les critères d'évaluation de la place urbaine d'ordre actif (critères de conception) et passif (critères se rapportant aux détails concernant la conception des bâtiments et les mesures réparatrices par les aménagements urbains) sont résumés dans l'organigramme qui suit :



**Fig. IV.12** : Critères d'évaluation d'une place urbaine.  
Source : Aggarwal.R (2006)

#### **IV-9-1- L'ensoleillement d'une place:**

L'ensoleillement représente l'ensemble des interactions entre la lumière naturelle directe, dans sa composante géométrique, et les objets d'un environnement architectural ou urbain localisé. Ces interactions se manifestent sous forme de tâches d'ombre ou de soleil sur les surfaces composant l'environnement. Elles ont des formes variables dans l'espace et mouvantes dans le temps. Les tâches d'ensoleillement peuvent être considérées comme des sources locales d'énergie positives (tâches de soleil) ou négatives (tâches d'ombre).

L'énergie fournie par une tâche de soleil est fonction de sa surface, de l'angle d'incidence du rayon solaire instantané en chaque point, du temps d'exposition au soleil et du matériau exposé (transmission, réflexion et absorption).

##### **IV-9-1-1-Le rayonnement dans la place**

L'échauffement de la place se produit généralement en raison de l'énergie solaire de courtes longueurs d'ondes qu'elle reçoit.

La quantité du rayonnement solaire incident dépend de sa position géographique, la période de l'année et les conditions du ciel. Ses variations locales sont le résultat de la position des surfaces réceptrices, de la réflexion et l'ombrage des surfaces environnantes.

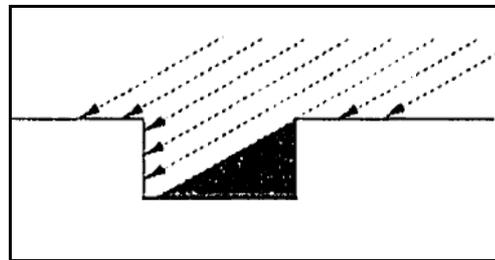
**IV-9-1-1-a- Le rayonnement solaire de courte longueur d'onde** reçu par une surface est généralement classé par catégorie dont les trois composants :

**IV -9-1-1-a-1- Le rayonnement direct**

Qui ne subit pas de déviation dans son parcours à travers l'atmosphère jusqu'au sol, et arrive sur terre dans des faisceaux parallèles

L'énergie reçue par unité de surface diminue avec l'obliquité des surfaces et les masques environnementaux (cf. Fig. IV.13).

C'est cette partie qui produit le plus grand effet thermique et par conséquent, en son absence des variations très petites du microclimat sont prévues.



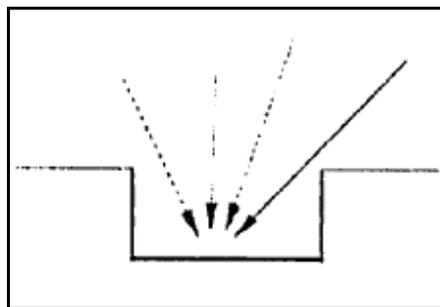
**Fig. IV.13 :** Orientation et masques d'environnement affectent l'énergie reçue par rayonnement direct.

*Source : Oke.T.R (1987)*

**IV -9-1-1-a-2- Le rayonnement diffus du ciel**

Représentant 10-20% de l'énergie incidente par une journée claire, c'est une source importante d'énergie.

Comme illustré sur la **figure IV.14**, le rayonnement diffus est limité par les obstacles qui masquent le ciel.



**Fig. IV.14 :** Rayonnement diffus reçu dans une place.

*Source: Oke.T.R (1987)*

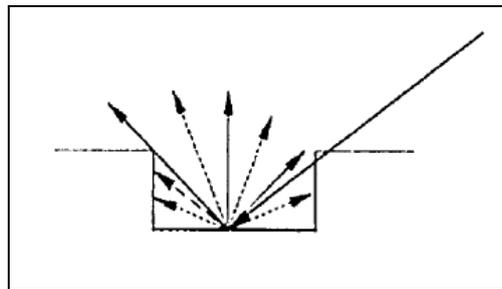
#### IV-9-1-1-a-3- Le rayonnement réfléchi

Renvoyé dans une direction privilégiée (réflexion dite spéculaire) ou de manière diffuse par la surface terrestre. Le sol réfléchit plutôt le rayonnement de manière diffuse et anisotrope.

La distribution et l'intensité du rayonnement réfléchi dépend de la nature de la surface réfléchissante (albédo) et de la géométrie entre la source, le réflecteur et le collecteur.

Il peut représenter une substantielle source d'énergie si les environnements sont fortement réfléchissants.

Dans les cours, les réflexions multiples entre les différentes surfaces servent à augmenter la quantité d'énergie absorbée (cf. Fig. IV.15) "...parce qu'après réflexion initiale d'une surface du système, il y a au moins une certaine chance que le rayonnement diffus réfléchi rencontre une autre surface avant de sortir à l'atmosphère."<sup>36</sup> Ce phénomène a pour conséquence l'augmentation de la température à l'intérieur des cours.<sup>37</sup>



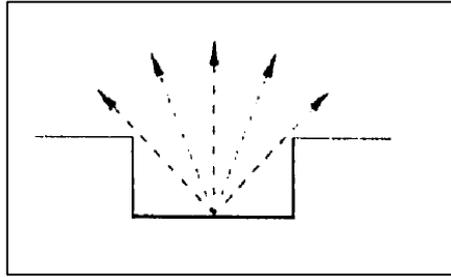
**Fig.IV.15 :** Les rayons en courtes longueurs d'ondes réfléchis ont de fortes chances d'être absorbés par les surfaces adjacentes avant d'atteindre le ciel.

Source : Oke.T.R (1987)

**IV-9-1-1-b- Le rayonnement infrarouge en grande longueur d'onde** résultant de la transformation du flux incident absorbé par les matériaux en chaleur sensible est fonction du degré d'ouverture au ciel. Un bâti haut et dense piège cette chaleur et empêche sa libération vers l'atmosphère. (cf. Fig. IV.16)

<sup>36</sup> T.R.Oke, *Op.cit* 7

<sup>37</sup> M. Aida, K. Goth, "Urban albedo as a function of the urban structure", *Boundary layer meteorology* 23,1 982, pp.405-415



**Fig.IV.16:** Le degré d'ouverture au ciel détermine la libération des radiations infrarouges vers l'atmosphère.

Source : Oke.T.R (1987)

Donc l'influence énergétique de l'ensoleillement dépend de la morphologie des objets urbains et de leurs relations spatiales.

Les paramètres de la forme d'une place qui ont une influence considérable sur la quantité d'énergie solaire reçue ont été définis par Mohcen en 1979, Yezioro et al en 2005, Aggarwal en 2006. Il s'agit principalement de ses proportions, sa taille et son orientation.

#### **IV-9-1-2- Les proportions de la place urbaine**

Soit le rapport longueur à la largeur et la hauteur des bâtiments qui l'entourent. Par leur interaction avec les rayons solaires, affectent des tâches d'ombre ou de soleil sur les surfaces composant l'environnement. En conséquence, elles déterminent si l'endroit sera thermiquement agréable ou inconfortable pendant différentes heures du jour et tout au long de l'année.

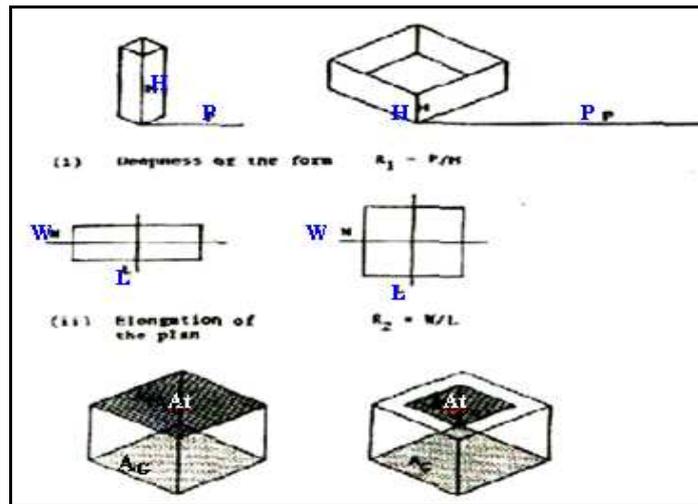
Les trois ratios définissant les proportions de la place (patio)<sup>38</sup>, et qui affectent la fraction d'énergie solaire sont définis comme suit (cf. Fig. IV.17) :

**R1** : indique la profondeur de la forme ( $P/H$ ) où  $P$  indique le périmètre et  $H$  la hauteur.

**R2** : indique l'allongement de la forme ( $W/L$ ) où  $W$  indique la largeur et  $L$  la longueur.

**R3** : indique son ouverture au ciel ( $AT/AG$ )

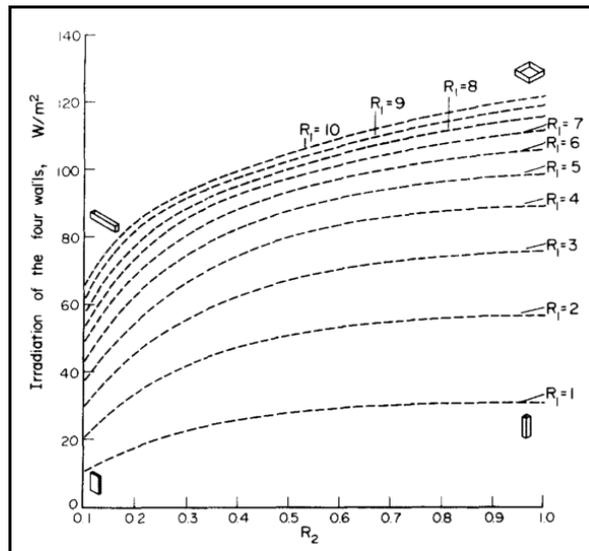
<sup>38</sup> M.A.Mohcen. "Solar radiation and courtyard house form II: Application of the model", Building and Environment, Vol 14, 1979, pp. 185- 201



**Fig. IV.17** : Les Ratios définissant les paramètres géométriques de la cour.  
*Source : Mohsen.M.A (1979)*

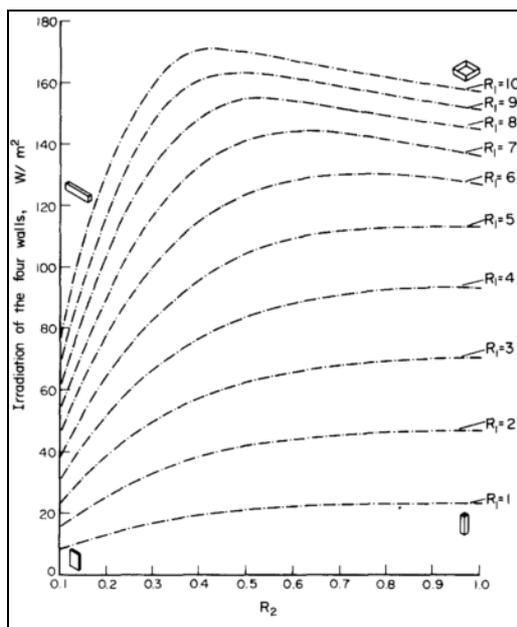
Considérant la ville du Caire comme exemple représentatif des régions arides à climat chaud et sec, les résultats suivants ont été obtenus par M.A. Mohcen:

- Le changement dans la valeur de  $R_1$  (profondeur) affecte l'énergie solaire reçue, en particulier l'hiver. Le changement dans la valeur de 10 à 1 est accompagné d'une réduction de 75% dans l'irradiation solaire en été et une réduction de 85 % dans l'irradiation solaire en hiver (dans le cas de forme carrée), (cf. **Fig.18** et **19**).
- La réduction devient moins marquée lorsque le plan devient plus allongée ( $R_2$  ayant des valeurs réduites).
- Le changement dans la fraction d'énergie solaire reçue l'été qui résulte du changement dans le ratio en plan est expliqué comme suit : Les formes ayant le plus petit ratio reçoivent le minimum d'énergie solaire. Lorsque le ratio augmente, l'irradiation augmente. Elle atteint son maximum lorsque le ratio  $R_2$  approche la valeur 1, dans le cas de formes carrée. Lorsque les formes deviennent plus allongées, le maximum est déplacé vers le cas de plans plus allongés avec l'axe longitudinal dans la direction Nord-Sud.

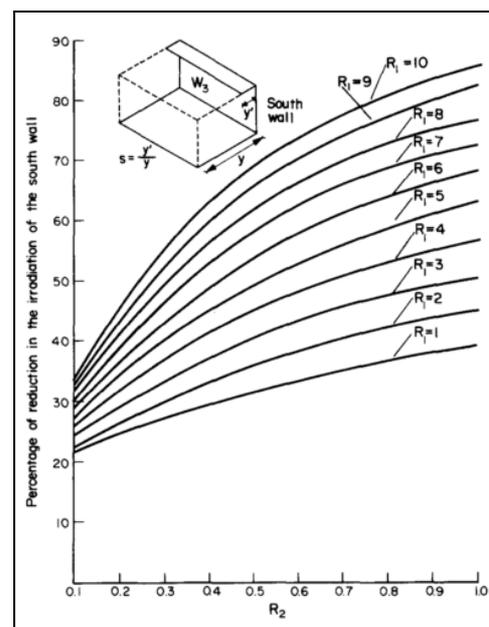


**Fig. IV.18** : L'effet du changement du ratio  $R_1$  et le ratio  $R_2$  sur l'énergie solaire reçue par l'enveloppe du patio en été.

Source : Mohsen. M.A (1979)



**Fig. IV.19** : L'effet du changement du ratio  $R_1$  et le ratio  $R_2$  sur l'énergie solaire reçue par l'enveloppe du patio en hiver.



**Fig. IV.20** : Effet de l'introduction d'un auvent au niveau du mur Sud sur l'énergie solaire reçue par le patio en été.

Source : Mohsen.M.A (1979)

- L'énergie solaire reçue sur les différentes surfaces est réduite de façon significative par l'introduction d'un auvent sur le mur Sud. (cf. **Fig. IV.20**). Cette réduction est plus importante que n'importe quelle réduction causée par l'auvent sur l'un des trois autres murs.

- Le changement dans l'énergie solaire dû à l'effet de l'orientation dépend aussi du ratio  $R_2$  : ainsi, pour les formes carrées, le changement dans l'orientation n'a aucun effet sur l'énergie reçue. Cet effet devient plus significatif lorsque le plan devient plus allongé. L'effet du changement dans l'orientation et le ratio  $R_2$  est expliqué comme suit: avec un angle d'orientation égal à  $0^\circ$ , c'est-à-dire axe longitudinal orienté E/O, la contribution du mur Nord est minime, ne dépassant pas 10%, même dans le cas de forme allongée. Les murs Est et Ouest réunis contribuent avec 25% pour des ratios  $R_2$  réduits.
- Cette contribution augmente à 70% lorsque  $R_2$  approche la valeur 1. Par contre, le mur Sud contribue avec 60% dans le cas de formes très allongées et avec 25% dans le cas de formes carrées.
- Le changement dans l'orientation conduit au changement dans la distribution de l'énergie solaire reçue sur les surfaces des quatre murs. En orientant une forme carrée à  $45^\circ$ , chacun des murs Est et Sud contribue à 33 % de la fraction totale. Le tiers restant est distribué de façon égale sur les deux autres murs.
- Pour les formes ayant un ratio  $R_2$  réduit, la contribution des deux murs les plus longs Nord et Sud augmente de façon significative lorsque l'angle d'orientation augmente : à une orientation de  $90^\circ$ , les murs Nord et Sud reçoivent l'irradiation de façon égale. D'un autre côté, la contribution du mur Ouest est réduite.

A.Yezioro et al<sup>39</sup> en étudiant par simulation les meilleures proportions d'une place (Latitude  $26^\circ\text{N}$ ,  $32^\circ\text{N}$ ,  $34^\circ\text{N}$ ) de sorte que plus de son tiers soit exposé aux rayons solaires d'hiver, partant du principe que le soleil ne peut pas être rajouté à un espace, par contre l'ensoleillement intense d'été peut être réduit par les aménagements urbains. La largeur a été fixée (W), la longueur et la hauteur ont été variées en rapport avec cette largeur. L'étude a eu comme conclusion :

- En général, la hauteur des bâtiments autour de la place urbaine devrait être au dessous de  $1/3$  de sa largeur.

---

<sup>39</sup> A.Yezioro, I.G.Capeluto, E. Shaviv , “*Design guidelines for appropriate insolation of urban squares*”, *Renwable Energy*, Volume 31, Juin 2006, ,pp 1011-1023.

- Quand le rapport est  $L = 1.5W$  et l'axe principal est d'orientation N/ S, la hauteur des bâtiments autour de la place est comprise dans l'intervalle  $1/3 W < H \leq 1/2 W$ .
- Quand le rapport est  $L = 2W$  et l'axe principal est d'orientation N/ S ou NO/SE ou NE/SO la hauteur des bâtiments autour de la place est comprise dans l'intervalle  $1/3W < H \leq 1/2 W$ .
- En général, les places urbaines rectangulaires prolongées le long de la direction N/S sont la meilleure solution. Mais cette orientation nous semble contradictoire à toutes les recherches pour ces latitudes (**cf. section IV. 8-1**) car on se demande dans ce cas quant au confort intérieur des bâtiments dont les façades seront prolongées dans la direction E/O.
- En second lieu ce sont les places rectangulaires prolongées le long des directions NO/SE ou NE/ SO.
- La plus mauvaise direction pour une place rectangulaire est quand elle est prolongée le long de la direction E/O.
- Sur la partie nord de la place urbaine, des bâtiments plus hauts peuvent être édifiés, à condition qu'ils n'ombragent pas les promenades piétonnières, les espaces ouverts entre les bâtiments ou les autres bâtiments, plus qu'il en est permis.
- L'ombrage additionnel d'été de la place urbaine est toujours exigé. Dans les secteurs exposés au soleil d'hiver, l'ombre additionnel devrait être réalisé par des solutions dynamiques, comme les arbres à feuilles caduques ou les pergolas. D'autre part, des dispositifs d'ombrage permanent, comme des surplombs, des toits ou des arbres persistants, peuvent être situés dans les secteurs qui sont de toute façon à l'ombre même en hiver.

#### **IV-9-1-3- L'orientation**

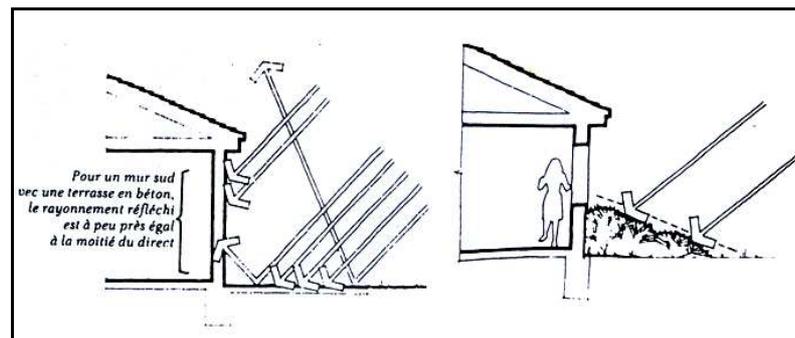
Par rapport à la course solaire, c'est-à-dire l'orientation de l'axe principal, détermine principalement la durée d'ensoleillement, la quantité d'énergie reçue et par conséquent les températures des surfaces horizontales et verticales en rapport avec la géométrie de la place et les propriétés des matériaux (**cf. chapitre III**) influençant le bilan énergétique de la place.

En été, l'énergie solaire reçue par  $m^2$  de sol est environ le double de l'énergie totale reçue par  $m^2$  sur les murs Est et Ouest.<sup>40</sup> Le rayonnement réfléchi par le sol vers les fenêtres et les murs représente une part non négligeable du gain de chaleur d'un bâtiment.

Il faut signaler que pour une surface horizontale donnant une réflexion parfaitement diffuse telle que les surfaces naturelles, la quantité de rayonnement réfléchi sur un mur vertical sera égale à la moitié du rayonnement réfléchi par la surface horizontale (cf. **Fig. IV.21**).

En considérant qu'en été, un sol horizontal reçoit 2.5 fois plus de rayonnement solaire qu'un mur vertical sud, le rayonnement réfléchi sur ce mur sera de  $\frac{1}{2} \times 2.5 R = 1.25$  fois le rayonnement direct reçu par le mur.<sup>41</sup> (R représente l'albédo du sol).

Pour contrôler ce rayonnement réfléchi, l'utilisation de la végétation absorbera le rayonnement solaire et dissipera la chaleur par le phénomène d'évapotranspiration.



**Fig. IV.21:** Comportement des rayons solaires incidents sur un sol nu et végétalisé à proximité d'une paroi verticale.

Source: Watson.D et Camous.R (1986)

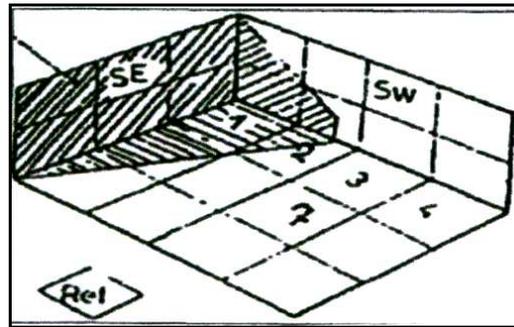
Pour mettre en évidence l'effet des inter-réflexions entre différentes surfaces de l'environnement d'un espace extérieur, J. Noilhan<sup>42</sup>, à la latitude de  $45^\circ$ , a étudié en une journée ensoleillée d'un 18 Octobre le cas d'une cour de 30 x 40 m de dimensions entourée sur les trois cotés par des façades d'immeuble de 14 m.

La cour a été découpée en un ensemble de carré de 10 x10 m numéroté de 1 à 12 (cf. **Fig. IV.22**)

<sup>40</sup> Watson.D, Camous.R, *L'habitat bioclimatique: de la conception à la construction*, Edition l'Étincelle, Montréal, Québec, Canada, 1986, p 131.

<sup>41</sup> Watson.D, Camous.R, *Idem*<sup>40</sup>

<sup>42</sup> J.Noilhan, 1980, cité par T.Belatrache, *Op.cit* 33



**Fig. IV.22 :** Echanges radiatifs entre les différentes surfaces composant l'environnement de l'espace ouvert.

Source : Noilhan, J (1980)

L'énergie (sous forme de rayonnement net) reçue par les carrés 3 et 7 de la cour et au carré de référence (**Ref**), est respectivement égale à 286, 238 et 227  $W/m^2$ , les apports par inter-réflexion entre le mur Sud-ouest et le sol sont limités en grande partie à la surface adjacente (3) avec un écart de 59  $W/m^2$  représentant 26% de plus que la référence, par contre la surface (7) située à 15 mètres du mur, elle ne dépasse la valeur de la référence que de 11  $W/m^2$  ce qui représente 5%, bien que le facteur de vue du ciel soit passé de 0.55 en (3) à 0.74 en (7) entraînant une augmentation du rayonnement global ce qui met en évidence la grande part des inter-réflexions entre le mur et le sol. Ce qu'on peut conclure de cette étude est que :

- Il existe une décroissance très rapide des échanges radiatifs lorsque les surfaces s'éloignent l'une de l'autre.
- Les surfaces attenantes (sol + murs) sont très préjudiciables au confort thermique intérieur si elles ne sont pas contrôlées comme il a été déjà mentionné plus haut. Elles le sont autant pour le confort thermique de l'utilisateur des espaces extérieurs de par le cumul de radiations qu'il reçoit de son environnement. Il faut donc éloigner ce dernier de cet effet en respectant les distances entre les parois et les emplacements des différentes activités qui s'y déroulent ou en créant des écrans judicieux.

S.Masmoudi<sup>43</sup>, en simulant par le biais du logiciel Solene, l'effet du rayonnement du point de vu énergétique sur les températures surfaciques selon différentes orientations des places (latitude 34°80 N) a conclu que :

- l'échauffement de la place est du principalement à l'échauffement du sol aussi bien en été qu'en hiver.

<sup>43</sup> S.Masmoudi, Op.cit 32

Il s'avère nécessaire donc, dans la présente étude, de prendre en considération en prime abord l'élément sol et son comportement thermique. (cf. . **Chap. III et Chap. VI** )

- l'orientation nord-est/Sud-ouest permet une adaptation au confort aussi bien estival qu'hivernal, et que l'effet de la taille n'est perceptible qu'avec une forme rectangulaire selon cette même orientation.

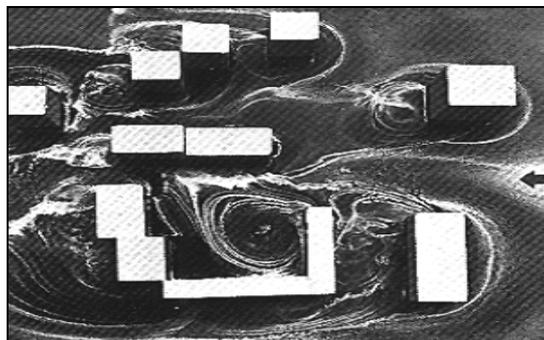
#### **IV-9-1-4-La taille**

Déterminée par son coefficient de forme qui détermine la quantité d'énergie absorbée par les surfaces qui l'entourent influençant le confort intérieur et extérieur (cf section IV-2)

#### **IV-9-2- Conditions du vent dans la place**

Le vent est un facteur important, car il a une forte influence sur le confort des piétons en modifiant la température de l'air en évacuant rapidement la chaleur due à l'ensoleillement des surfaces. Il est particulièrement difficile à prévoir en ville. Il s'accélère dans une rue qui se resserre, il est dévié par une tour, absent d'une place trop fermée (cf. **Chap. III et annexe B**).

Le degré auquel un objet du paysage urbain modifie l'écoulement du vent dépend de sa taille, sa forme, son orientation, sa rugosité, sa porosité et sa position par rapport aux autres objets urbains (cf. **Fig. IV.23**).



**Fig. IV.23:** Simulation en soufflerie du comportement du vent à la rencontre des obstacles urbains.

*Source : Izard.J.L (2000)*

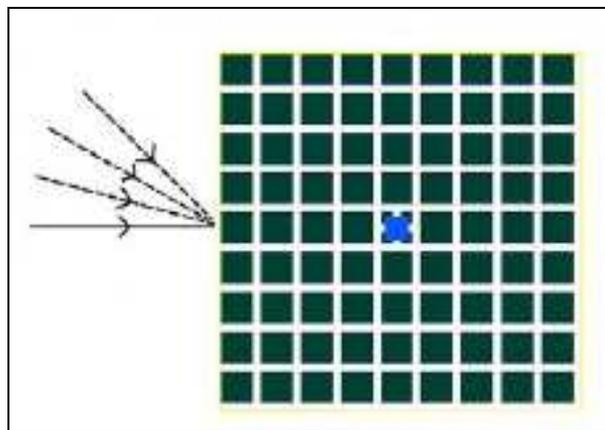
Pour pouvoir cerner, expliquer et résumer les différents effets du vent en interaction avec les obstacles urbains ainsi que leur configuration au sol relevés dans une littérature très abondante, les observations et les conclusions d'un exemple d'étude par modèle CFD<sup>44</sup> menée dans le cadre du projet RUROS dont les objectifs sont d'évaluer les effets de différents paramètres sur les conditions de vent au niveau du piéton (1.5 m au-dessus du sol) dans un espace quadrilatère entouré d'immeubles (place), vont nous servir de toile de fond.

Les topographies des lieux environnants ont été inclus dans le modèle CFD pour prendre en compte les effets des structures urbaines environnantes (**Fig. IV.24**).

La hauteur du voisinage considéré est de 18 m ( $H_{\text{Neighbourhood}}$ ).

L'étude prend en compte les paramètres suivants :

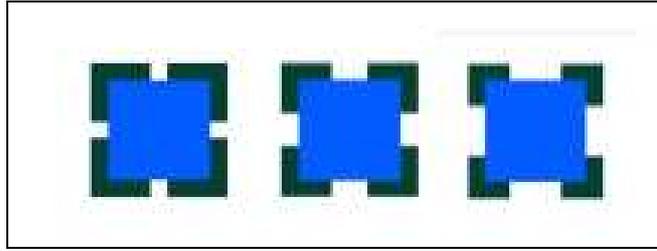
1. Les dimensions du quadrilatère ( $A_{\text{Square}}$ ): 1600m<sup>2</sup> et 3600m<sup>2</sup>.
2. La vitesse du vent en site dégagé à 10 m de hauteur ( $V_{10}$ ): 2.5m.s-1 et 5m.s-1.
3. La hauteur des immeubles aux bords ( $H_{\text{Boundary}}$ ): 9 m, 18 m, 27 m.
4. La direction du vent: 0°, 15°, 30°, 45° (**Fig. IV.24**).
5. Largeur et position des quatre ouvertures du quadrilatère (**Fig. IV.25– IV.26**).



**Fig. IV.24 :** Représentation graphique du modèle CFD avec les directions du vent (0°,15°,30°, 45°). Le square est situé au centre du modèle et entouré par un voisinage suburbain modélisé par des blocs de 18 m de hauteur.

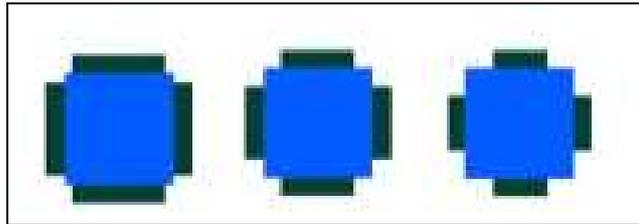
Source : [http:// www.alpha.cres.gr/ruros](http://www.alpha.cres.gr/ruros)

<sup>44</sup> N.U.Kofoed, M. Gaardsted , "Prise en compte du vent dans les espaces urbains", Esbensen Consulting Engineers Ltd, Denmark, [www.alpha.cres.gr/ruros](http://www.alpha.cres.gr/ruros)



**Fig. IV.25** : Square avec les ouvertures au milieu ; largeur: 10 m, 20 m, 30 m.

Source : [http:// www.alpha.cres.gr/ruros](http://www.alpha.cres.gr/ruros)

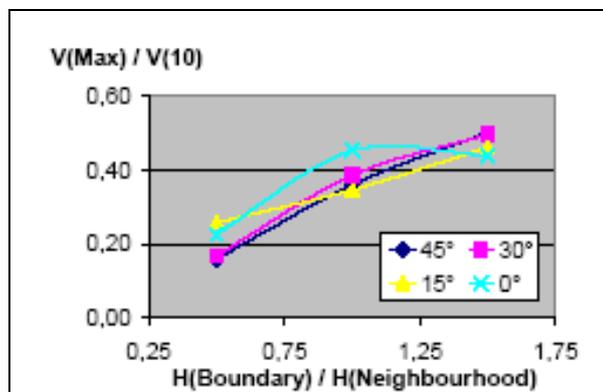


**Fig. IV.26** : Square avec les ouvertures aux coins ; largeur: 7 m, 14 m, 21 m.

Source : [http:// www.alpha.cres.gr/ruros](http://www.alpha.cres.gr/ruros)

Sur la base des observations, des conclusions ont été tirées :

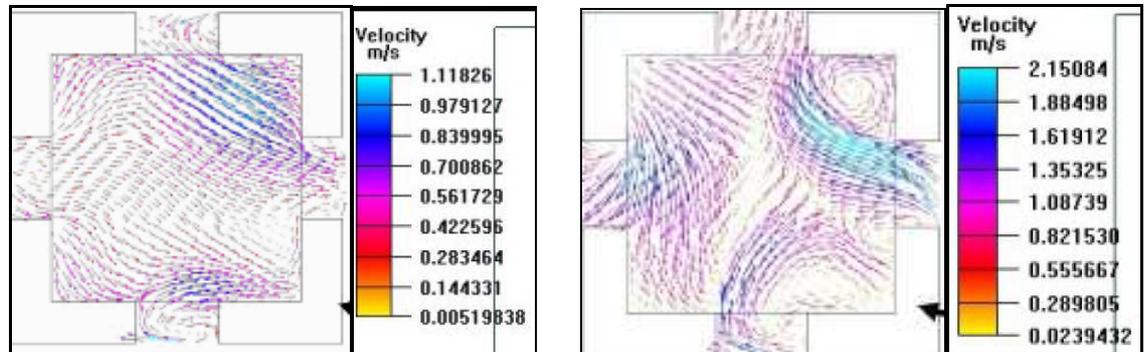
- Le quadrilatère devrait être configuré le plus petit possible, car plus le quadrilatère est grand plus intense est la vitesse du vent dans cet espace, avec une relation quasi-linéaire entre  $A_{\text{Square}}$  et la vitesse du vent, et plus l'écoulement est turbulent.
- Plus hauts sont les immeubles aux bords de l'espace par rapport à ceux du voisinage, plus intense est le vent dans le quadrilatère (cf. Fig. IV.27– IV.28) car l'échelle de la turbulence croit avec la hauteur. (Effet Wise).



**Fig. IV.27** : Une faible vitesse de vent est observée quand les immeubles aux bords sont moins élevés que ceux du voisinage.

Source : [http:// www.alpha.cres.gr/ruros](http://www.alpha.cres.gr/ruros)

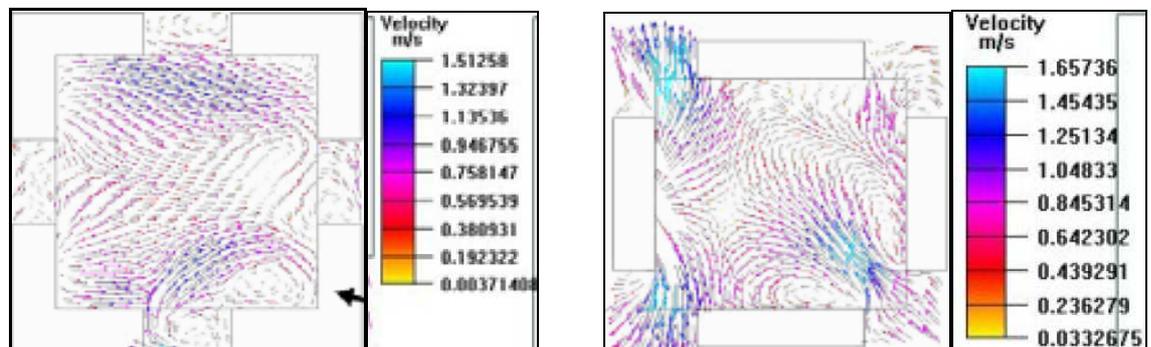
Donc pour avoir des faibles vitesses de vent sur les façades et les cheminements, on a intérêt à construire dans les zones rugueuses des édifices de faible hauteur par rapport au voisinage.<sup>45</sup>



**Fig. IV.28 :** Graphique vectoriel montrant les directions et vitesses du vent dans le square. Hauteur des bâtiments aux bords: 9 m (à gauche) et 27 m (à droite), direction du vent 15°. Plus hauts sont les bâtiments aux bords comparativement au voisinage (18 m), plus le vent est turbulent.

Source : [http:// www.alpha.cres.gr/ruos](http://www.alpha.cres.gr/ruos)

- Les ouvertures dans les coins du quadrilatère produisent un écoulement plus turbulent que des ouvertures situées au milieu de ce dernier (cf. **Fig. IV.29**).



**Fig. IV.29 :** Graphique vectoriel montrant les directions et vitesses du vent dans le square avec une ouverture de taille moyenne placée au milieu (à gauche) et aux coins (à droite), direction du vent 15°, et avec l'axe principal du quadrilatère orienté parallèlement à la direction des vents dominants et de l'orientation dominante des alignements des rues voisines.

Source : [http:// www.alpha.cres.gr/ruos](http://www.alpha.cres.gr/ruos)

- Plus les ouvertures sont grandes, plus le vent est turbulent dans le quadrilatère.

<sup>45</sup> A. Chatelet, P. Fernandez, P. Lavigne, *Architecture climatique une contribution au développement durable. Tome 2 : Concepts et dispositifs*, EDISUD, Aix-en-Provence, 1998.

Il est important que la largeur des ouvertures en direction de l'espace ne dépasse pas 25% de la longueur du périmètre de la place. (Effet de barre)

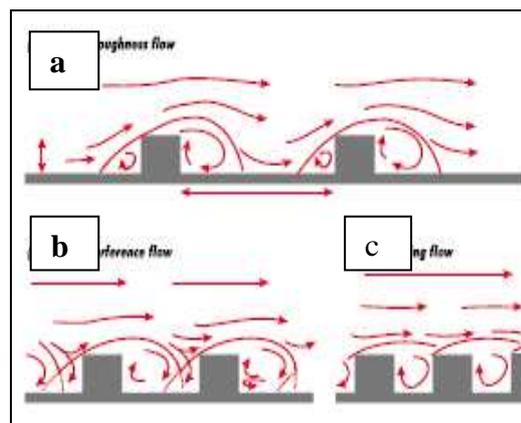
- Il existe une tendance claire que l'écoulement devient plus chaotique lorsque la direction du vent s'écarte de l'orientation principale de cet espace. Plus grand est l'angle d'admission du vent, plus intense est la turbulence.

En effet ceci est dû à l'effet de canalisation car si le vent est parallèle au sens d'orientation de la place, l'écoulement du flux est entretenu. Toute fois, Il faut éviter de placer un espace urbain en ligne directe avec de longues avenues linéaires (effet de canalisation), l'effet peut même être pire si les rues forment un entonnoir (effet Venturi).

Lorsque le vent lui est perpendiculaire, un rouleau tourbillonnaire plus ou moins stationnaire à axe horizontal se développe, observé aussi au contact des parois de la place. Quand la direction prédominante de l'écoulement d'air est approximativement perpendiculaire ( $\pm 30$  degrés), avec l'axe d'orientation de la place, et en fonction du rapport (L/H), du rapport (H/W) et la géométrie<sup>46</sup> ; où H est la hauteur moyenne des bâtiments, L est la longueur de la rangée des bâtiments et W est l'espacement entre les bâtiments, on observe ce qui suit:

- Quand les bâtiments sont bien distants, ( $H/W > 0.05$ ), il n'y a pas d'interaction dans leurs champs d'écoulement.<sup>47</sup>

A un espacement plus étroit, on observe trois régimes de circulation d'air (cf. **Fig. IV.30** et **Fig. IV.31**)

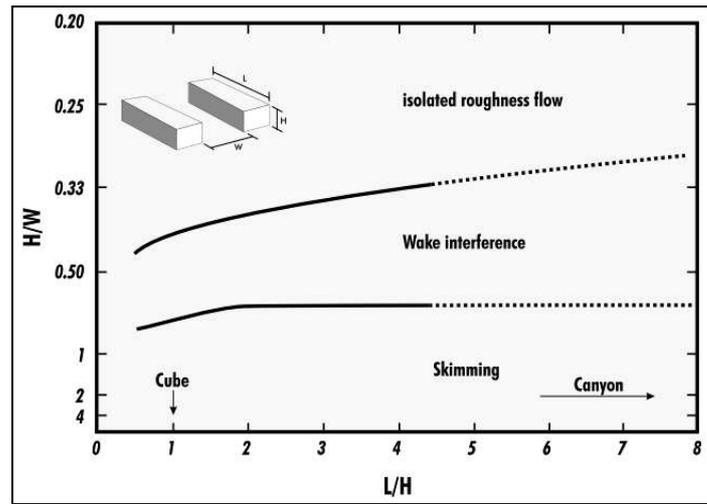


**Fig. IV.30** : Régimes d'écoulement du vent à une direction transversale.

Source : Santamouris, M. et al (2004)

<sup>46</sup>M. Santamouris, N.Klistikas, K. Niahou, "Ventilation of street canyons and its impact on passive cooling design", Renewable in the city Environment project, <http://www.lemma.ulg.ac.be/tools/rice>

<sup>47</sup>M. Santamouris et al, *Idem*.46



**Fig. IV.31:** Influence des ratios  $H/W$  et  $L/H$  sur l'écoulement du vent dans une rue  
*Source : Santamouris, M et al (2004)*

- Un écoulement de type rugosité isolée (**Fig. IV.30 -a**) pour  $H/W < 0.4$  ( $W/H > 2.5$ ) ; l'écoulement s'apparente à une succession de structures identiques autour des bâtiments isolés.
- Un écoulement à interférence de sillage (**Fig. IV.3 -b**) pour  $0.4 < H/W < 0.65$  ( $1.538 < W/H < 2.5$ ) ;
- Un écoulement de type rasant (**Fig. IV.30 -c**) pour  $H/W > 0.65$  ( $W/H < 1.538$ ).  
 Ce cas est considéré le plus défavorable car la recirculation à l'intérieur de l'espace ouvert limite le flux d'énergie vers l'extérieur.

Dans le cas où les vitesses du vent au dessus des toitures sont inférieures à 4 m/s, les effets thermiques et mécaniques rendent l'écoulement chaotique. On observe alors la formation des zones non ventilées où la chaleur s'accumule.<sup>48</sup>

Une étude réalisée en soufflerie pour des espaces rectangulaires<sup>49</sup> a démontré qu'avec des espaces réduits et moyennement réduits ( $W_{\text{Space}} / H_{\text{Boundary}} = 1-4$ ), la longueur optimale de l'espace est de 4 à 5 fois la hauteur des bords. Avec de grands espaces ( $W_{\text{Space}} / H_{\text{Boundary}} = 8$ ), la longueur optimale de l'espace est de 6 à 8 fois la hauteur des bords.

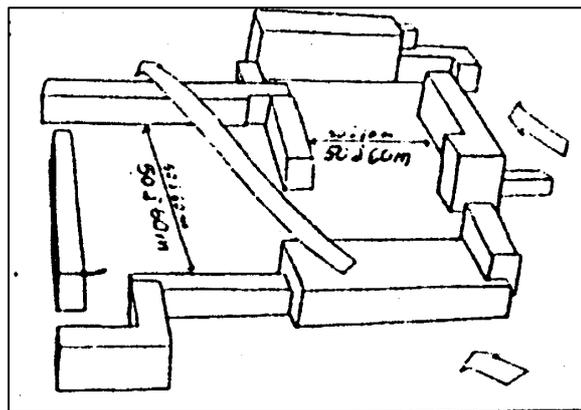
<sup>48</sup> E.Bozonnet, E.Wurtz, R.Belarbi, F.Allard, Simulation thermo-aéraulique du microclimat urbain à l'échelle d'une rue canyon, IBPSA, 2002.

<sup>49</sup> N.U.Kofoed, M. Gaardsted, Op.cit 44

U.Westerberg<sup>50</sup> stipule que les bâtiments se protègent mutuellement s'ils sont assez proches les uns des autres. Une distance équivalente à 5- 8 fois la hauteur du bâtiment permet d'inclure des cours suffisamment ensoleillées et protégées. On leur ajoutera quelques arbres qui apportent de l'ombre et maintiennent le vent en hauteur.

- Les dimensions des espaces urbains peuvent être conçues de manière à ce que le vent s'écoule plutôt au-dessus et non dans cet espace réservé aux piétons en créant ainsi des conditions inconfortables. Cet effet est appelé effet de maille (cf. **Annexe B**) qui fait intervenir le paramètre  $K = A_{\text{Space}} / (H_{\text{Boundary}})^2$  ; où  $A_{\text{Space}}$  est la surface de l'espace urbain et  $H_{\text{Boundary}}$  est la hauteur des immeubles avoisinants (ou celle d'autres structures comme les paravents).  $K$  est un paramètre sans dimension.
- L'effet de maille est aussi valide dans les cas d'autres formes que des quadrilatères et des rectangles.

D'une façon générale, « toutes mailles plus ou moins bien définies augmentent le confort si les dimensions transversales sont de l'ordre de 50 - 60 m. (cf. **Fig. IV.32**) L'effet de protection est d'autant plus net que  $A/H^2$  est faible et  $< 30$  ; que les mailles sont ouvertes au vent ou sous le vent ; que l'ouverture est minimum, soit  $< 0,25$  fois le périmètre; qu'elles sont remplies de constructions de hauteurs voisines de celle des bras de la maille. »<sup>51</sup>



**Fig. IV.32:** Dimensions transversales optimales pour une maille.

Source : Chatelet, A (1998)

<sup>50</sup> U. Westerberg, "Climatic Planning - Physics or Symbolism", *Arch. & Comport.*, Vol. 10, no 1, 2004, pp. 49 – 71.

<sup>51</sup> A. Chatelet, P. Fernandez, P. Lavigne, *Op.cit* 45.

"Avec des ouvertures au milieu de l'espace et avec l'axe principal du quadrilatère orienté parallèlement à la direction des vents dominants et de l'orientation dominante des alignements des rues voisines."<sup>52</sup>

Un exemple<sup>53</sup> est donné par l'espace du quadrilatère de la **figure. IV.25** où  $H_{\text{Boundary}} = 18$  m. Dans ce cas, la surface maximale du quadrilatère devrait être :  $A_{\text{Space}} = 18^2 \times 6 = 1944 \text{ m}^2$  ( $44 \times 44 \text{ m}^2$ ) et la largeur maximale des ouvertures =  $0.25 \times 4 \times 44 = 44$  m. Avec quatre ouvertures de même taille cela donne une largeur  $44/4 = 11$  m par ouverture.

#### **IV-9-3- Température moyenne radiante :**

Paramètre clé dans la détermination du confort humain. Définie comme chaleur résultante de plusieurs modes d'échanges thermiques entre l'individu et son environnement (**cf. chap. V**). Elle est fonction des caractéristiques des éléments extérieurs en termes de texture et couleur, de la géométrie de l'espace et de l'activité anthropogène.

#### **IV-9-4- Les bâtiments**

Par leur taille et proportions (**voir supra**), le rapport des surfaces en verre et leurs natures, détermineront la quantité du rayonnement réfléchi dans la canopée ainsi que la masse thermique de l'enveloppe dépendant du climat.

Les villes qui sont marquées par une variation journalière élevée de la température devraient avoir la masse thermique élevée pour réduire les demandes énergétiques annuelles. "*Un déphasage de 3-4 heures est approprié. Davantage d'isolation réduit considérablement des demandes énergétiques par rapport aux enveloppes minces ou massives non-isolées.*"<sup>54</sup>

#### **IV-9-5- Les aménagements urbains**

Évalués en termes des changements bioclimatiques de la place urbaine notamment par la diminution des surfaces environnantes dures, sièges de températures radiantes

<sup>52</sup> N.U.Kofoed, M. Gaardsted, Op.cit 44

<sup>53</sup> N.U.Kofoed, M. Gaardsted, Op.cit 44

<sup>54</sup> R. Aggarwal, Op.cit3

élevées au niveau piéton, et son remplacement par une couverture molle (végétation) permettant l'absorption de l'énergie solaire.(cf.chap.VI).

### **Conclusion**

Nous pouvons considérer que la place urbaine est influencée par un nombre de facteurs qui se complètent dans la combinaison de son comportement thermique : caractéristiques physiques de divers éléments urbains de part leurs propriétés thermiques et la géométrie des espaces. Cette dernière définie par tous ces éléments sus cités (SVF, H/W,.....) est importante de plusieurs manières puisqu' elle détermine la quantité des surfaces exposées aux procédés d'échange thermique; contrôle et complique la distribution spatiale des entrées des rayons solaires; provoque l'interaction radiative entre les surfaces ; influencent le rayonnement en grandes longueurs d'ondes vers le ciel, dirige l'écoulement de l'air et lui attribue le régime.

Cette combinaison a un impact très significatif dans la qualification des ambiances de l'espace urbain et la modification des activités et le confort des usagers des espaces extérieurs ainsi que leurs corollaires intérieurs. Sa connaissance est d'une importance capitale pour tout concepteur qui voudra donner une signification à son dessin.

Le chapitre suivant mettra l'accent sur les différents paramètres définissant le confort thermique humain, et permettra d'éclaircir et d'évaluer l'impact de la géométrie sur le confort piéton dans les espaces extérieurs.



## *Chapitre V :*

# *Le confort thermique dans les espaces extérieurs*

*« Tester la qualité du monde sensible, c'est d'abord voir comment il assure effectivement le bon fonctionnement de notre organisme. La première exigence est l'aptitude des gens à utiliser leurs différents sens : sentir, voir, toucher et entendre. Il est important que la sensation soit intense, informative, agréable et soumise au contrôle de celui qui l'éprouve. »*

*K. Lynch<sup>1</sup>*

## **Introduction**

Le confort est une notion globale, elle est la combinaison de facteurs physiologiques, psychologiques, et psychosensoriels qui varient d'un individu à un autre et qui le conduisent à exprimer le bien être de son état.

Elle est sujette donc à la subjectivité puisque elle dépend de l'individu qui subit non seulement l'influence de son état physiologique mais aussi de sa société de part ses croyances et cultures et son évolution dans le temps (les préférences de nos ancêtres diffèrent bien évidemment des notre) *« car certaines sociétés favorisent un aspect au détriment d'un autre. »*<sup>2</sup>

Néanmoins, on peut fixer pour des types particuliers de régions et d'individus des normes de perception généralement admissibles. Ces normes peuvent être déterminées et validées par des études des préférences et de comportement.

La définition de la notion de confort embrassant plusieurs champs s'avère une tâche difficile. Cependant les définitions relevées dans la littérature mettent tous l'accent sur le confort thermique d'où la connaissance des effets des ambiances sur l'homme a beaucoup progressé lors des trente dernières années d'abord à :

- l'intérieur dans un but économique suite aux différentes crises énergétiques mondiales, ou lucratif où un meilleur rendement est exigé du travailleur ne subissant

---

<sup>1</sup>K. Lynch, Voir et planifier. L'aménagement qualitatif de l'espace, édition Bordas, 1982, P.15

<sup>2</sup>L.Rappaport (1972) in S. Masmoudi, Relation entre géométrie urbaine, végétation et confort thermique extérieur : cas de la place dans les régions arides à climat chaud et sec, Thèse de Magistère, Université Mohamed Kheidar, Biskra, 2003.p.21

aucune contrainte climatique, et écologique de part la pollution atmosphérique générée d'une part par l'utilisation abusive des moyens de refroidissement ou de réchauffement et les changements climatiques qui en résultent.

- L'extérieur qui se révèle d'intérêt pluridisciplinaire : sociologie, psychologie, tourisme, climatologie urbaine, urbanisme et architecture.

Si pour les premiers l'intérêt est suscité par la volonté de vouloir prolonger le temps d'utilisation des espaces extérieurs tout au long de l'année, ceci régénérera sans doute la vie sociale au sein des agglomérations d'autant plus " *qu'une des caractéristiques de la vie dans les climats méditerranéens est l'utilisation des espaces extérieurs en tant que zone habitable. Ces espaces sont employés pour atteindre un niveau de confort thermique, cependant l'attente d'un sentiment de bien être comparable aux conditions d'intérieurs n'est pas le but* »<sup>3</sup> ; pour le dernier, il a été prouvé qu'une personne exposée à des conditions de surchauffe pendant une certaine durée demande un degré de confort thermique supérieur à l'habituel quand elle est à l'intérieur.<sup>4</sup> Ceci aura pour conséquence une utilisation abusive de climatisation active qui augmentera sensiblement les consommations énergétiques. D'une autre part le confort intérieur des bâtiments tant étudié est indissociable de celui des espaces extérieurs qu'ils encadrent.<sup>5</sup>

Ce chapitre constitue une investigation spécifique sur le confort thermique extérieur et les réponses physiologiques à toute astreinte (froid ou chaleur).

Parmi les différents acquis, on citera la mise au point de modèles fiables de prévision de l'astreinte à partir de la mesure de la contrainte thermique.

---

<sup>3</sup> J.M. Ochoa, J.R. Calzda, R. Serra, "Vegetation influences on the human thermal comfort in outdoor spaces", <http://www.fa.upc>.

<sup>4</sup> S.A. Khandakar, "Comfort in urban spaces: Defining the boundaries of outdoor thermal comfort for the tropical urban environments", *Energy and Buildings* 35, pp. 103-110

<sup>5</sup> R. Aggrwal, "Energy design strategies for city-center: an evaluation, *PLEA*, Genève, Suisse, 6-8 Septembre 2006.

### **V-1-Le confort thermique**

Le confort thermique est défini « *comme un état de satisfaction vis-à-vis de l'environnement thermique. Il est déterminé par l'équilibre dynamique établi par échange thermique entre le corps et son environnement.* »<sup>6</sup>

Cet équilibre est atteint lorsque « *les conditions sous lesquelles les mécanismes d'autorégulation du corps sont dans un état d'activité minimum.* »<sup>7</sup>

Donc, on peut envisager ce bien être comme une condition de neutralité thermique où le corps n'a pas besoin de fournir d'effort pour augmenter ou réduire sa perte de chaleur. Cependant Hoffman affirme que : « *le confort n'est pas forcément lié au maintien permanent de la neutralité thermique, mais qu'il peut aussi résulter de l'alternance de stimuli qui se compensent à condition que le sujet en ait une maîtrise parfaite.* »<sup>8</sup>

Malgré la complexité évidente d'appréhension de cette notion, il est possible d'estimer des circonstances où aucun niveau de confort n'est atteint qu'on définira par stress thermique.\*

De ce fait la sensation de confort thermique est généralement approchée à travers la connaissance des différents paramètres du confort thermique ainsi que les échanges thermiques entre l'individu et son environnement.

### **V-2-Paramètres du confort thermique**

Le confort thermique de l'être humain dépend de plusieurs paramètres qu'on pourra diviser en :

- Paramètres relatifs à l'individu.
- Paramètres relatifs à l'environnement.

---

<sup>6</sup>A.Liebard, A.De Herde, Guide de l'architecture bioclimatique, éd. Système solaire, Observer, Paris, 1996.

<sup>7</sup> B.Givoni, l'homme, l'architecture et le climat, éd. Moniteur, 1978.

<sup>8</sup> Hoffman (1994) **in** S.Masmoudi, Relation entre géométrie urbaine végétation et confort thermique extérieur : cas de la place dans les régions arides à climat chaud et sec, Thèse de magistère, Université Mohamed Kheidar. Biskra, 2003, p.22

\*Le Stress désigne à la fois la contrainte exercée sur l'organisme pour induire une rupture de l'équilibre du milieu intérieur et l'état induit par le déséquilibre.

### V-2-1- Paramètres relatifs à l'individu

Les deux grandeurs liées à l'individu sont le métabolisme (charge thermique interne) et l'isolement thermique.

#### V-2-1-1- La charge thermique interne

Elle est la conséquence de l'activité métabolique. La production métabolique représente environ 80 % de la dépense énergétique du fait du rendement musculaire. Elle est d'une valeur minimale de 75 watt ( $\approx 45 \text{ w.m}^{-2}$ ) pendant le sommeil et 120 watt ( $\approx 60 \text{ w.m}^{-2}$ ) lorsqu'il est éveillé mais au repos.<sup>9</sup> Elle augmente avec l'activité du corps. La dépense énergétique dans ce cas dépend de la vitesse de marche, de la nature du terrain et aussi de la charge portée.<sup>10</sup>

Elle est évalué en général en met,  $1\text{met} = 58.2 \text{ w/m}^2$  (unités de SI).

La norme ISO 8996 (cf. **Tab. V-1**) donne une classification de la dépense énergétique en cinq classes :

**Tab. V-1 :** Classification de la dépense énergétique selon la norme ISO 8996  
(Source : *adnsp*, 2003)

Classe	Dépense énergétique $\text{w.m}^{-2}$	Activité	Vitesse de marche Km/ h
0	65	Repos	-
1	100	Travail léger assis ou marche	3.5
2	165	Travail soutenu debout ou marche	3.5- 5.5
3	230	Travail intense ou marche	5.5-7
4	290	Activité intense à allure rapide ou marche	>7

#### V-2-1-2- L'isolement thermique des vêtements

L'habillement joue un rôle considérable sur la sensation de confort. On peut ressentir très rapidement une impression de bien être par temps froid en s'habillant

<sup>9</sup> N.B.Hutchon, "Température ambiante et bien être", *Environnement canada*, Mars 1972.

<sup>10</sup> Adnsp, 2003, p 6, <http://www.adnsp.fr>

un peu plus et inversement par temps chaud par une tenue plus légère, car il offre une résistance à l'écoulement de la chaleur entre la peau et l'environnement.

Une personne en costume de travail et sous-vêtement en coton peut demander une température d'environ 9°C inférieure à un corps nu.<sup>11</sup>

La température de la peau ( $T_{sk}$ ) peut varier entre 33 à 34.5°C d'où il y a inconfort généralisé en dessous de 32,5°C et au dessus de 34.8°C.<sup>12</sup>

Lorsque l'on dispose d'un descriptif détaillé d'une tenue, on peut calculer sa résistance thermique totale  $R_{\gamma}$  à partir des résistances thermiques élémentaires  $R_{\gamma i}$  de ses différents composants selon la formule :

$$R_{\gamma} = 0.75. \sum R_{\gamma i} + C \dots \dots \dots \text{Eq.V.1}$$

$$C = 0.012 \text{ m}^2. \text{ }^{\circ}\text{C.w}^{-1} = 0.08 \text{ Clo}$$

$$1 \text{ Clo (de clothing)} \approx 0.155 \text{ m}^2. \text{ }^{\circ}\text{C.w}^{-1}$$

Les **tableaux D-1 et D-2. Annexe D**, donnent les résistances thermiques des ensembles vestimentaires.

Il reste à noter que sous des conditions venteuses et humides, le pouvoir réchauffant des vêtements diminue de 90% par rapport à des conditions sèches.<sup>13</sup>

### V-2-2- Paramètres relatifs à l'environnement (charge thermique externe)

La prise en compte de l'environnement relatif à l'individu, nécessite la connaissance des paramètres microclimatiques importants qui jouent un rôle prépondérant dans ses échanges thermiques avec cet environnement.

#### V-2-2-1- Les échanges thermiques : Ils sont effectués par :

##### V-2-2-1- a- Rayonnement

Dans le domaine du confort extérieur, on peut distinguer deux types de rayonnement :

<sup>11</sup> O.H. Koenisberger, T.G. Ingersoll, A. Mayhew, S.V. Szokolay, Manual of tropical Housing and building. Part: 1. Climate design, édition Longman group, New York, 1973, p.47

<sup>12</sup> Vinet 2000, in T. Belatreche, Effets thermo radiatifs et caractérisation microclimatiques des cours intérieures dans les édifices publics, Thèse de magistère, université Mentouri, Constantine, 2006, p. 38

<sup>13</sup> <http://www.med.univ.angers.fr/cours/physiologie/thermoregulation>, 2002-2003

- Le rayonnement de courtes longueurs d'ondes (CLO).
- Le rayonnement de grandes longueurs d'ondes (GLO).

- **Le rayonnement de courtes longueurs d'ondes**

Qui correspond aux apports solaires (directs, indirects, diffus et réfléchis). (cf. **Chap. IV**) Il dépend de la surface du corps soumise au rayonnement solaire plus importante pour la position debout qu'assise.

*« La quantité du rayonnement direct tombant sur un homme à demi- nu portant un chapeau dans une position debout est d'environ 70% de celle incidente sur un sujet assis le dos tourné au soleil. Ceci est valable pour les mois d'été à des latitudes comprises entre 35° Nord et 35° Sud et pour les heures comprises entre 9h et 15h.*

*Par contre, la quantité du rayonnement réfléchi en (CLO) par l'environnement est d'environ 50% inférieure pour un sujet assis que pour un sujet debout.»<sup>14</sup>*

Cette quantité est fonction de l'albédo du terrain et des surfaces verticales environnantes.

La vitesse du vent réduit le gain de chaleur dû au rayonnement solaire dont la grandeur de ses effets dépend de la tenue vestimentaire soit sa résistance thermique, sa couleur qui n'a apparemment qu'une petite influence sur la protection contre le rayonnement solaire, et son ampleur puisque les vêtements interceptent les rayons solaires à une certaine distance de la peau.<sup>15</sup>

- **Le rayonnement de grandes longueurs d'ondes** (rayonnement de surface)

Tout objet dont la température est supérieur à 0°K (-459 °F ou -273°C) émet de l'énergie radiante.<sup>16</sup> Ces échanges s'opèrent sans contact entre le corps humains et les surfaces environnantes de différentes températures. Chacun d'eux absorbe une fraction de l'énergie par radiation émise par l'autre. Cette fraction dépend de leur température, de leur pouvoir respectif d'absorption et d'émission, de leur albédo et couleur.

---

<sup>14</sup> B.Givoni. Op.cit7

<sup>15</sup> B.Givoni, Op.cit7

<sup>16</sup> R.D.Brown , Application of Human Thermal Comfort to Landscape Architecture: A New Approach. MLA thesis, University of Guelph, 1982.

**V-2-2-1-b- Convection (C)**

Echanges se produisant à chaque fois que le corps est en contact avec l'air en mouvement ou l'eau.

L'air directement en contact avec la peau se réchauffe; il est alors plus léger et monte pour être remplacé par de l'air froid: c'est la convection naturelle\* (cf. Fig. V-1)

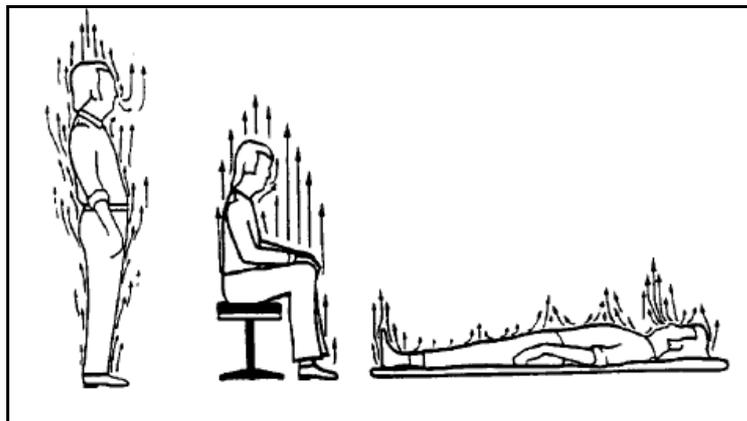
La densité du flux des échanges thermiques entre un corps et son environnement exprimé en ( $W.m^{-2}$ ) est donnée par la relation<sup>17</sup> :

$$C = h_c \Delta T \dots\dots\dots Eq.V.2$$

Où :

$h_c$  : le coefficient de transfert ( $W m^{-2} °C^{-1}$ ) dépendant de la vitesse du vent.

$\Delta T$  : la différence moyenne entre la température de surface du corps  $T_s$  , considérée constante à  $35°C$ , et la température de l'air environnant  $T$ .



**Fig. V-1:** Echanges par convection entre le corps humain et l'air.

Source : [http:// www.med.univ.angers.fr](http://www.med.univ.angers.fr)

**V-2-2-1-c- Conduction (K)**

Négligeable de part la grande résistance des chaussures et la faible densité de

\*La convection est dite naturelle si le mouvement d'air est lié à son réchauffement à proximité du corps immobile pour des vitesses d'air inférieures à 0.1 m/s. Elle est dite forcée si ce mouvement est provoqué par le vent naturel ou un ventilateur.

<sup>17</sup> D. Pearlmutter, P. Berlinera, E. Shaviv, "Physical modeling of pedestrian energy exchange within the urban canopy", *Building and Environment* 41 , 2006, pp. 783–795

l'air qui en fait un mauvais conducteur. Cependant la température optimale du sol est de 23°C pour un individu chaussé debout et 25°C pour un individu chaussé assis.<sup>18</sup>

Par contre, lorsque la surface de contact avec un élément solide augmente, les pertes peuvent devenir nettement plus importantes : par exemple, sujet allongé sur un sol froid.

Ces échanges dépendent du gradient de température existant entre la température de la peau du sujet et les paramètres environnementaux suivants :

#### **V-2-2-2- La température de l'air**

Les échanges par convection sont très dépendants de la température de l'air. Si celle-ci dépasse la température cutanée, les échanges par convection vont eux aussi entraîner une élévation de la température corporelle.

Leur importance varie selon la surface corporelle exposée et selon la vitesse du vent pour la convection.

#### **V-2-2-3- La température moyenne radiante (MRT ou Tmrt)**

Quantité de chaleur englobant plusieurs modes d'échanges thermiques entre l'individu et son environnement soit par rayonnement (CLO et GLO).

C'est le paramètre d'entrée météorologique le plus important pour le bilan énergétique humain par temps ensoleillé d'été. Par conséquent, elle a la plus forte influence sur les indices thermo physiologiques significatifs tels que la PET (la température physiologique équivalente) ou le PMV (vote moyen prévisible).<sup>19</sup>

Elle est définie comme *"température uniforme des surfaces extérieures environnantes qui procurent un rayonnement de corps noir (coefficient d'émission  $\epsilon = 1$ ) donnant lieu, pour le corps humain aux mêmes apports radiatifs que les flux radiatifs, souvent très variables, qui prévalent dans les conditions d'un espace ouvert.*

*En d'autres termes, la MRT est une valeur moyenne des températures des surfaces solides ou fictives (comme la voûte céleste) pondérées par des facteurs de forme."*<sup>20</sup>

---

<sup>18</sup> T.Belatreche, *Op.Cit 12*, p. 47

<sup>19</sup> A.Matzarakis, F. Rutz et H. Mayer, "Estimation and calculation of the mean radiant temperature within urban structures, 2006, <http://www.meteo-uni.freiberg.de>

<sup>20</sup> Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces, 2004, p. 63, <http://alpha.cres.gr/ruros>.

La MRT peut être obtenu par mesure directe de tous les flux radiatifs régnant dans l'espace ou par des calculs.<sup>21</sup>

Les parois chaudes ou froides entraînent, donc, des déséquilibres au niveau des échanges radiatifs qui peuvent engendrer une sensation d'inconfort. Cependant, «*On considère qu'il n'y a pas de gêne si à 1m devant la façade, l'écart entre la température radiante orientée vers cette façade et la température radiante orientée vers la paroi opposée ne dépasse pas les 8°C.*»<sup>22</sup>

D. Pearlmutter et al<sup>23</sup> calculent le rayonnement net incident sur le corps d'un piéton (assimilé à un cylindre de 1.5 m de taille et 0.17 m de diamètre) centré dans un espace urbain ouvert notamment les rues canyons par la formule suivante illustrée par la **figure V- 2**:

$$R_n = (\mathbf{K}_{dir} + \mathbf{K}_{dif} + \alpha_h \mathbf{K}_h + \alpha_v \mathbf{K}_v) (1 - \alpha_s) + \mathbf{L}_d + \mathbf{L}_h + \mathbf{L}_v - \varepsilon \sigma \mathbf{T}_s^4 \dots\dots\dots \text{Eq.V.3}$$

Où :

$\mathbf{K}_{dir}$  et  $\mathbf{K}_{dif}$  : sont respectivement les composantes du rayonnement solaire direct et diffus incident sur les surfaces du cylindre.

$\alpha_h \mathbf{K}_h$  et  $\alpha_v \mathbf{K}_v$  : sont les flux incidents des radiations en CLO réfléchis et diffus respectivement par les surfaces horizontales et verticales,  $\alpha_s$  l'albédo du corps.

$\mathbf{L}_d$  : le flux des radiations en GLO absorbé émis de haut en bas par le ciel.

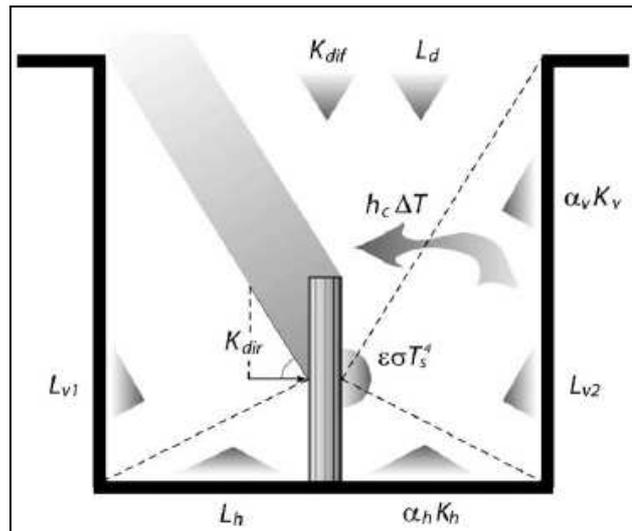
$\mathbf{L}_h$  et  $\mathbf{L}_v$  : sont les flux des radiations en GLO émis respectivement par les surfaces horizontales et les surfaces verticales.

$\varepsilon$  : émissivité de la surface du corps;  $\sigma$  est la constant de Stefan Boltzmann ; et  $\mathbf{T}_s$  est la températures moyenne de la surface du corps.

<sup>21</sup> A.Matzarakis et al, Op.cit 19

<sup>22</sup> T. Belatreche, Op.cit12, P.46

<sup>23</sup> D. Pearlmutter, P. Berlinera, E. Shaviv, Op.cit 17



**Fig. V- 2 :** Description schématique des échanges énergétiques d'un piéton avec son environnement.

Source : Pearlmutter, D et al (2006)

#### V-2-2-4- L'humidité de l'air

Une augmentation d'humidité de l'air n'affectera pas le taux de sueur mais diminuera la perte de chaleur théorique maximum par l'intermédiaire de l'évaporation et de l'humidité efficacement décroissante de la peau.<sup>24</sup>

#### V-2-2-5- La vitesse du vent

Tous les facteurs ajoutant une convection forcée à la convection naturelle vont accroître considérablement les déperditions thermiques. C'est le cas du vent : il renouvelle constamment la couche au contact de la peau qui n'a jamais le temps de se réchauffer. La différence de température entre la peau et cette couche est toujours maximale ce qui augmente les pertes thermiques. Ceci explique que la même température soit beaucoup plus difficile à supporter quand il y a du vent.

Dans les climats froids, le vent diminuera presque toujours les conditions de confort à l'extérieur, tandis que l'inverse est vrai dans les climats chauds.

Considérant les effets mécaniques, selon les recommandations pour les piétons établies par l'échelle de Beaufort et Penwarden<sup>25</sup> (cf. **Tab. D-3, annexe D**), il est possible de diviser les vitesses urbaines du vent en trois catégories :

<sup>24</sup> A. Mathai, N.Rabadi et N. Grosland, Digital Human Modeling and Virtual Reality for FCS, Technical Report No.VSR-04.02, chapter 12. 2004.

1- la vitesse de vent acceptable qui est moins de 5.4 m/s:

Feuilles et petits rameaux en mouvement permanent, le vent déploie pleinement les drapeaux, les cheveux sont décoiffés, les vêtements amples battent au vent.

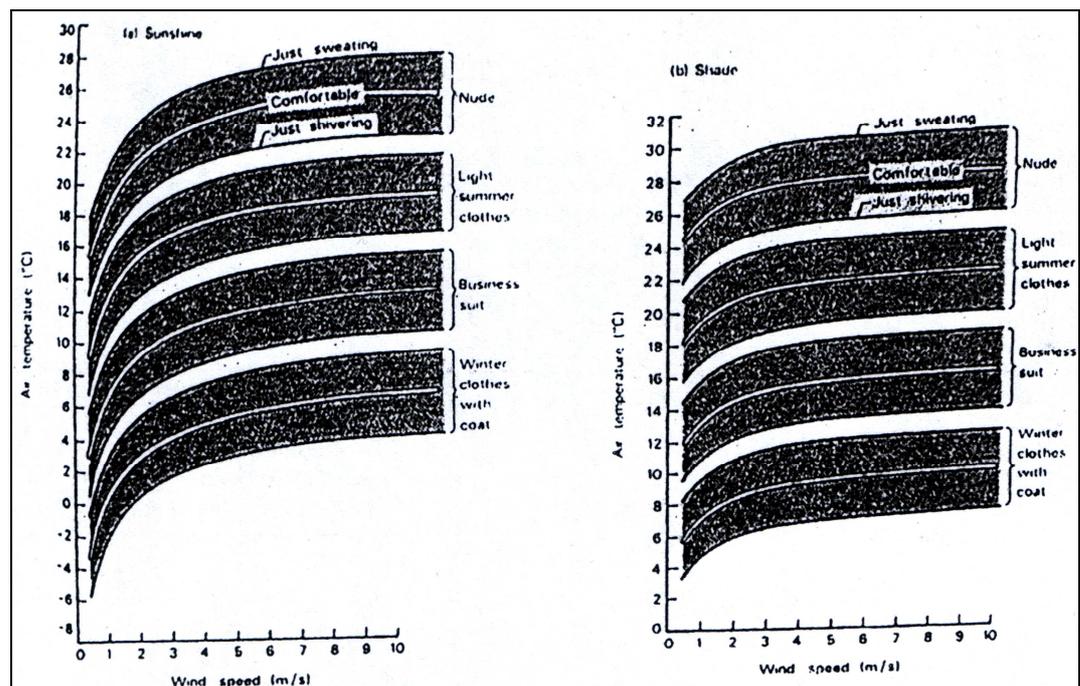
2- vitesse de vent désagréable plus de 7.5 m/s :

Il est difficile de marcher droit, les parapluies sont difficiles à utiliser, Le vent siffle dans les oreilles.

3- vitesse de vent dangereuse au delà de 14,6 m/s :

Progression pédestre très difficile et dangereuse avec risque d'être projeté par terre.

Considérant les effets thermiques qui se font sentir pour des vitesses inférieures à 5 m/s, selon les travaux de Penwarden (1974) qui ont abouti à l'établissement des conditions de confort pour un piéton à l'ombre ou au soleil combinant température de l'air, vitesse du vent et habillement illustrées par la **figure V-3** , le critère de confort de 5 m/s du **tableau V-2** peut être utilisé, si nous présumons que les gens adaptent leur comportement et leurs vêtements selon la saison.



**Fig. V- 3** : conditions de confort dans les espaces ouverts pour un piéton au soleil (à gauche) et à l'ombre (à droite) d'après Penwarden

Source : Tahbaz.M (2006)

<sup>25</sup> T.V .Lawson, A.D. Penwarden,(1975), "The Effects of Wind on People in the Vicinity of Buildings, in B. Blocken, J. Carmeliet, "Pedestrian Wind Environment around Buildings", Laboratory of Building Physics Leuven, Belgium, 5 Septembre 2003

**Tab.V-2** : Caractéristiques du critère 5 m/s. A= Acceptable, I= Inconfortable, TI= Très inconfortable / Dangereux (Source : [http:// www.alpha.cres.gr/ruros](http://www.alpha.cres.gr/ruros))

Activité	Emplacement	Caractéristiques		
		A	I	TI
Marche rapide	Chaussée, chemins	43%	50%	53%
Déambuler	Parcs, rues marchandes	23%	34%	53%
Debout /assis pour une courte période	Parcs, espaces urbains	6%	15%	53%
assis pour une longue période	Restaurants extérieurs	0.1%	3%	53%

L'environnement éolien sera acceptable pour des personnes assises à l'extérieur pour de courtes périodes si la vitesse moyenne du vent n'excède pas 5 m/s plus de 6% du temps. Si ces personnes restent assises pour de plus longues périodes, les 5 m/s ne doivent pas être dépassés plus de 0.1% du temps.

Le **tableau V- 2** peut être utilisé pour une température de l'air supérieure à 10°C.

### **V-3- Le bilan thermique chez l'être humain**

L'homme est un endotherme homéotherme qui maintient sa température interne dans des limites très restreintes  $37 \pm 0.8 \text{ }^{\circ}\text{C}^{26}$  bien qu'il vive dans des ambiances climatiques variables grâce au sang qui parcourt toutes les parties du corps.

Le recours à la technologie (climatisation, ventilation..) et à des attitudes comportementales (habillement, boisson ...) lui permet d'affronter ces différentes ambiances. Toutefois le maintien de l'homéothermie fait appel avant tout aux mécanismes physiologiques assurant la thermorégulation dont le but est de conserver un équilibre entre les gains et les pertes de chaleur selon l'équation :

$$M \pm K \pm C \pm R - E = 0 \dots \dots \dots \text{Eq.V.4}$$

Où :

<sup>26</sup> Reckenagel, Manuel pratique du génie climatique, 2<sup>e</sup> édition, 1996.

M : flux d'énergie produit par le métabolisme des organes (toujours positif)

K : flux d'énergie perdu ou gagné par conduction.

C : flux d'énergie perdu ou gagné par convection.

R : flux d'énergie perdu ou gagné par rayonnement.

E : flux d'énergie perdu par évaporation (toujours négatif).

Ce bilan thermique doit être égal à zéro sinon l'équation est :

- positive : donc les gains sont supérieurs aux pertes de chaleur, un stockage thermique intervient avec risque d'hyperthermie et de déshydratation.

Seule l'évaporation sudorale assure une thermolyse efficace pour rétablir l'équilibre du bilan thermique mais cette dernière dépend aussi du gradient qui existe entre la pression saturante de vapeur d'eau au niveau de la peau, fonction de la température de la peau et la pression partielle de la vapeur régnant dans l'air, fonction à son tour de la température de l'air et l'humidité relative.<sup>27</sup>

- Négative : les pertes de chaleur sont supérieures aux gains, une dette thermique s'installe, la température interne chute avec risque d'hypothermie accidentelle. le corps peut lutter en générant un mécanisme thermo protecteur qui est le frisson.

#### **V-4- Evaluation du confort thermique**

La plupart des recherches au sujet du confort thermique se sont focalisées sur les espaces intérieurs. Cependant, beaucoup de recherches se sont intéressées au confort au niveau des espaces extérieurs, ce qui a exigé la reconsidération et l'addition d'autres facteurs tels que le rayonnement solaire, vitesse de vent, différentes activités, le taux de sueur et les vêtements.

Nous présentons ici les indices les plus employés dans les recherches récentes relevés dans la littérature et applicables dans notre cas d'étude.

---

<sup>27</sup> Adnsp n° 45, 2003. <http://www.adnsp.fr>

**V-4- 1- La nouvelle température effective standard SET\***

Présentée par Gagge, 1967, la définissant comme la température de l'air dans laquelle, dans un environnement donné de référence, la personne a la même température de peau ( $t_{sk}$ ) et humidité relative comme dans l'environnement réel. L'environnement de référence est défini par :

- la température radiante moyenne ( $t_{mrt}$ ) = température de l'air ( $t_a$ );
- vitesse de l'air ( $V$ ) = 0.15 m/s;
- humidité relative (RH) = 50%;
- métabolisme (M) = 1.2 met;
- Résistance des vêtements ( $R_{clo}$ ) = 0.9 clo.

Le SET\* est déterminé par un modèle de régulation thermique du corps humain à deux nœuds. L'utilisation de la température radiante moyenne en extérieur, calculée par le modèle OUT\_MRT et introduite par le modèle à deux nœuds de Gagge permet de calculer l'indice de confort thermique OUT\_SET.<sup>28</sup>

**V-4- 2- Le modèle Klima Michel - PMV (corrigé) :**

Jendritzky et al. 1979 développa le Klima Michel Model (KMM). C'est une adaptation du PMV de Fanger (1970), avec les radiations de courtes longueurs d'ondes, calculées dans la température moyenne radiante.

Michel est un nom allemand typique, fait référence à ce que Jendritzky appelle un Allemand de référence: un mâle de 35ans, 1,75m de taille, 75 kg de poids et marche à 4 km/h.

Pour ce qui concerne l'habillement, il est sélectivement choisi entre 0.5 et 1.75 clo (ensembles d'habillement allemands d'été et d'hiver respectivement). Considérant ce dernier, le PMV est déterminé selon les équations de Fanger.

---

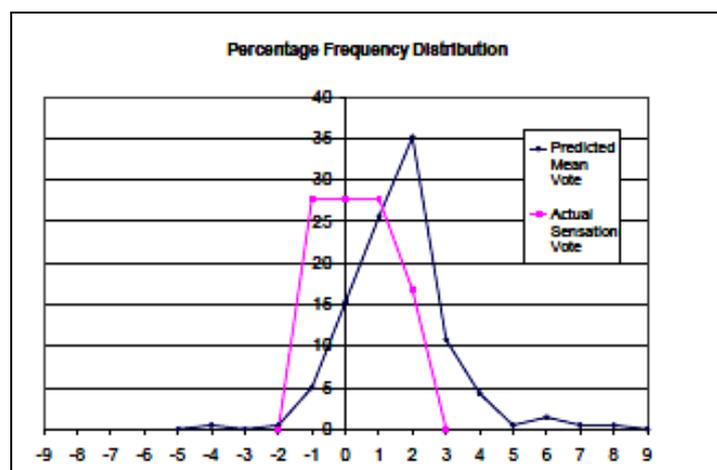
<sup>28</sup>S. Masmoudi, Op.cit 8

**Tab. V- 3:** Klima Michel Model (PMV), Jendritzky 1979  
( Source : Monteiro.L.M, Alucci.M.P, 2006)

PMV	classification
>2.5	Extrêmement chaud
1.5~ 2.5	Très chaud
0.5 ~ 1.5	Chaud
-0.5~ 0.5	confortable
-1.5~ -0.5	Frais
-2.5~ -1.5	Froid
< -2.5	Très Froid

Cependant cet indice purement physiologique a été remis en cause par plusieurs recherches expérimentales sur l'évaluation du confort thermique extérieur à court terme principalement, parce qu'il ne peut pas analyser l'exposition passagère<sup>29</sup>, et d'une autre car il ne prend pas en considération la subjectivité du confort thermique.<sup>30</sup>

La figure V-4 exprime l'écart entre la sensation thermique exprimée par les personnes, et la sensation thermique évaluée avec le PMV.



**Fig. V- 4:** Comparaison entre le vote de sensation effective (ASV) obtenu à partir des questionnaires et le (PMV) calculé à partir du modèle mathématique

Source : Nikolopoulou.M et al. (2002)

<sup>29</sup>S. Thorsson, M. Lindqvist, S.Lindqvist, "Thermal bioclimatic conditions and patterns of behaviour in an urban park in Göteborg, Sweden", *International Journal of Biometeorology*, Berlin, 2006

<sup>30</sup>M.Nikolopoulou, N .Baaker, K. Steemers, "Thermal comfort in outdoor urban space: the human parameter", *Solar Energy*, 2001

### V-4- 3- Taux d'évaporation de la sueur régulatrice Ersw :

Dominguez et al, 1992, présentèrent les résultats de la recherche de Termotecnia Group de l'université de Séville, basées sur Vogt (1981). Le traitement du climat extérieur de l'expo de Séville (1992) faisait partie du programme de développement de la société gouvernementale pour l'Expo'92, créée en 1987.

Le but était de trouver les solutions techniquement et économiquement viables pour améliorer le confort thermique extérieur. Les auteurs ont supposé que toute évaporation de sueur garde le confort thermique, bien qu'aucune sueur ne soit du tout désirable. De bas taux de sueur ont été acceptés selon le traitement exigé.

Dans les zones piétonnes, là où il y a un mi-niveau de traitement, le taux de sueur était fixé au dessous de **90 g/h**. Dans les zones restantes où il y a un niveau élevé de traitement, le taux de sueur était fixé au-dessous de **60 g/h**.

### V-4- 4- La méthode Comfa :

Brown et Gillespie proposèrent en 1995 une formule de confort extérieur basée sur le bilan thermique. Les classes des sensations thermiques sont décrites dans le tableau **Tab. V- 4** :

**Tab. V- 4:** Méthode Comfa Bilan thermique Brown et Gillespie  
( Source : Monteiro.L.M, Alucci.M.P, 2006)

Bilan thermique	Préférences
>150	Beaucoup plus froid
50~150	Plus frais
-50~ 50	Confortable
-150~ -50	plus chaud
<150	Beaucoup plus chaud

### V-4- 5- Température physiologique équivalente PET

Définie par Höppe en 1999, c'est la température d'un environnement avec ou sans rayonnement solaire, à laquelle, dans l'environnement de référence, l'équilibre thermique de la peau et la température centrale sont les mêmes que ceux trouvés dans l'environnement donné.

L'environnement de référence est défini par :

- La température moyenne radiante ( $t_{rm}$ ) = température de l'air ( $t_a$ );
- vitesse d'air ( $V$ ) = 0.1 m/s;
- pression de vapeur ( $p_v$ ) = 12 hPa (humidité relative RH = 50% à  $t_a=20$  °C);
- Métabolisme ( $M$ ) = 114W (activité légère, métabolisme de travail de 80 w à ajouter au métabolisme de base)
- Résistance des vêtements ( $R_{clo}$ ) = 0.9 clo ;

Pour un sujet âgé de 35 ans, de 1.75 m de taille et d'un poids de 75Kg.

Le **tableau V- 5** donne les classes de sensation indiquées par la PET.

Dans le cas concret d'une journée chaude et ensoleillée d'été, la valeur de la PET peu valoir 43°C, cela signifie qu'un individu dans une pièce avec une température de l'air de 43°C atteint le même état thermique que dans ces conditions en extérieurs. S'il avait à se déplacer à l'ombre, la PET diminuerait de 29°C.<sup>31</sup> Ainsi la PET permet de comparer les effets d'un environnement thermique complexe en extérieur avec sa propre expérience en intérieur.

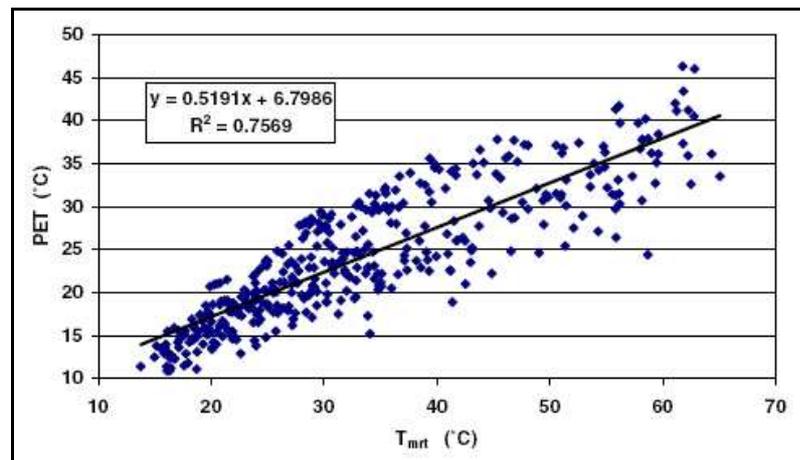
**Tab V- 5 :** Classes de sensation thermique indiquées par la PET  
(Source : Matzarakis et al , 2006)

PET	Sensation humaine
< 4°C	Très froid
4~8°C	Froid
8~13°C	Frais
13~18°C	Légèrement frais
18~23°C	Confortable
23~29°C	Légèrement chaud
29~35°C	Chaud
35~ 41°C	Très chaud
> 41°C	Extrêmement chaud

<sup>31</sup> S. Masmoudi , Op.cit8, P.28

Pour la PET, il est important d'évaluer tous les paramètres climatiques à 1.1m relative au centre de gravité d'une personne debout.<sup>32</sup>

Le paramètre clé influençant la température de l'air lorsque la vitesse du vent est faible est la  $T_{mrt}$  ; La **figure V- 5** montre la corrélation positive entre la  $T_{mrt}$  et la PET.



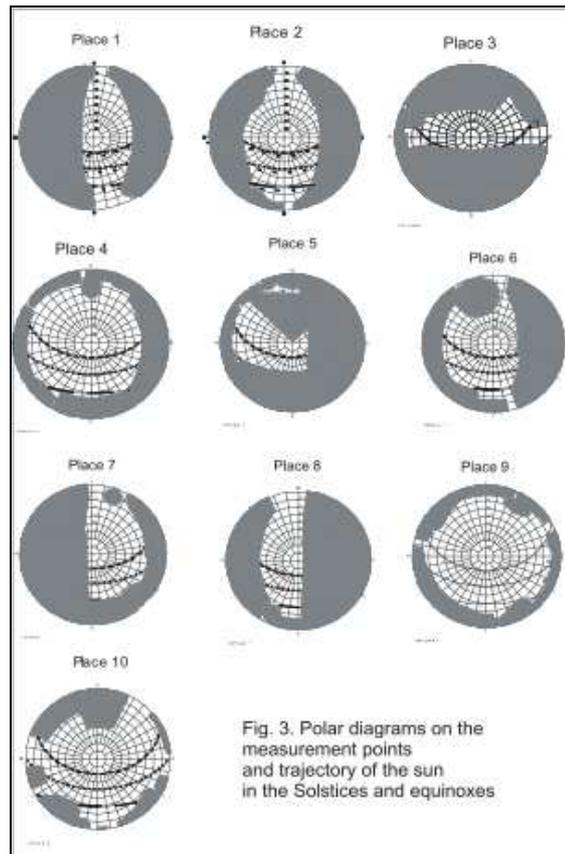
**Fig. V- 5** : Relation entre  $T_{mrt}$  et PET durant des journées d'été (2001) à Fribourg  
Source : Matzarakis.A et al J. Biometeorol (2007)

La **PET** est devenu le moyen le plus adéquat pour évaluer le confort thermique pour les différents climats. Elle peut évaluer l'effet de plusieurs éléments sur l'environnement thermique urbain.

Dans le cadre du projet Climlis, le quartier résidentiel à Lisbonne Telheires dont les bâtiments ne dépassent pas une hauteur de 25m avec un rapport H/L = 0,65 et 1.1 est sélectionné afin d'étudier les conditions bioclimatiques par H. Andrade et al.<sup>33</sup> Température de l'air, rayonnement global et rayonnement terrestre ont été mesurés. La température moyenne radiante a été calculée par le modèle RayMan. La PET pour une production de chaleur de  $80 \text{ w/m}^2$  et un habillement de 0.9 Clo a été calculé dans 10 endroits représentant des différences microclimatiques durant deux périodes, 24 jours en juin et juillet et 10 jours en février 2000. (cf. **Fig. V- 6**)

<sup>32</sup> A.Gulyas, J. Unger, A.Matzarakis, "Assesment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: Modelling and measurements", *Building and environment* 41, 2006, pp.1713- 1722.

<sup>33</sup> H. Andrade et al, "Microclimatic variations of thermal comfort in Lisbon city district", the 5<sup>th</sup> international conference on urban climate, Lodz, Poland, Septembre 2003.



**Fig. V- 6 :** Diagrammes polaires des dix stations de mesures à Telheires.

Source : Andrade. H (2003)

Durant la nuit, des faibles variations de la température de l'air ont été relevées, la valeur de la différence moyenne entre les espaces était de  $0.6^{\circ}\text{C}$  en hiver et  $0.8^{\circ}\text{C}$  en été. La température de l'air a une corrélation négative\* très significative avec le SVF en été d'où  $R^2 = 0.72$ , contrairement à l'hiver où  $R^2 = 0.51$ .

Les températures de l'air les plus élevées sont presque toujours liées aux sites 3 et 5 aux faibles SVF et les plus basses dans les sites 9 et 10 les plus ouverts.

Pendant le jour, la différence thermique était plus grande. Une moyenne de  $1.9^{\circ}\text{C}$  en hiver et  $3.2^{\circ}\text{C}$  en été ont été trouvées.

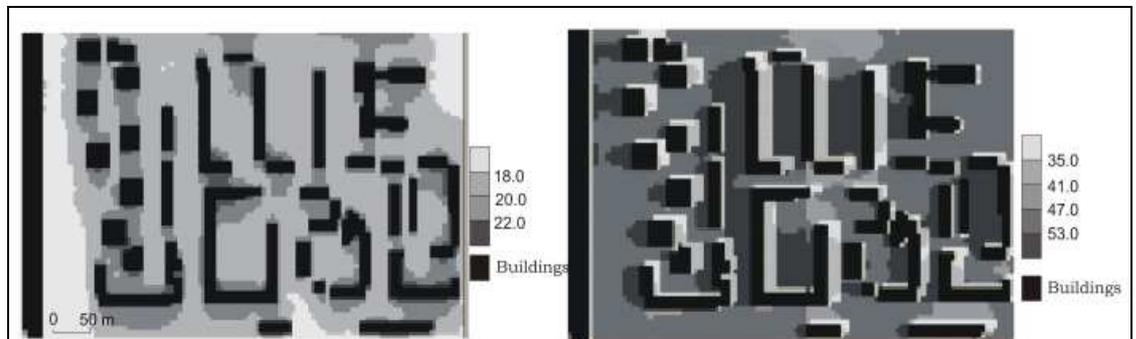
Les résultats de la modélisation de la  $T_{mrt}$  ont montré une forte corrélation négative entre le SVF et la  $T_{mrt}$  la **nuit**, cependant cette relation était beaucoup plus compliquée **durant le jour**. La  $T_{mrt}$  était élevée dans tous les espaces ouverts à grand SVF surtout ceux présentant des ouvertures vers le Sud et l'Est et avec albédo élevé.

\* Négatif : plus le SVF augmente plus la PET diminue, positif : plus le SVF augmente plus la PET augmente

La PET a des plus grandes variations que la température de l'air. Elle dépend du contraste entre la  $T_{mrt}$  et la vitesse du vent. La **nuît** la valeur moyenne de la différence maximum de la PET était de 3.5°C en été et 3.9 °C en hiver avec une corrélation négative avec le SVF ( $R^2 = 0.79$  en été et 0.65 en hiver)

Les plus grandes valeurs de la PET ont été enregistrées dans les espaces 3, 5, 7, et 1 (cf. Fig. V- 6) soit aux plus faibles SVF. Le **jour**, la différence maximale était de 13.1°C en été et 8.9°C en hiver. La différence dépend principalement des conditions du rayonnement soit le SVF et à un degré moindre de la vitesse du vent.

La PET obtenue par le modèle GIS (cf. Fig. V- 7) pour la période d'été **durant la nuit** (tous les espaces ont été soumis à la même température de l'air et la même vitesse du vent 2.1 m/s de direction nord.) était supérieur à 18°C, les valeurs élevée de la PET (> 23°C) ont été enregistrée dans les endroits à faible SVF. Durant la période **diurne**, la PET estimée pour les espaces soumis à  $T_a = 34.6^\circ\text{C}$  et vent  $V = 3.2 \text{ m/s}$  de direction Est en conditions d'ombre et d'ensoleillement, était de 55-58°C en condition d'ensoleillement. Cette marge peut être réduite de 46°C à 49 °C avec une meilleure ventilation. En condition d'ombre la PET variait de 30 – 39 °C.



**Fig. V- 7 :** Estimation de la PET pour un été chaud à Telheires  
La nuit à 0h (à gauche), le jour à 15h (à droite)  
*Source : Andrade. H (2003)*

L'étude a conclu que le facteur principal qui contrôle la PET est la **géométrie urbaine**, puisque les endroits étaient homogènes en végétation et en matériaux de façade et de couverture au sol et exposés à la même direction du vent.

Il est évident que le SVF joue un rôle indispensable dans le confort thermique local et la PET est un bon outil pour la planification urbaine.

**V-4- 6- La sensation thermique TS :**

Givoni et Noguchi, 2000, décrivent en une recherche expérimentale du confort thermique extérieur. La sensation thermique et la sensation globale de confort ont été étudiées en un parc en Yokohama, Japon. Le but était de mesurer l'effet du projet architectural sur l'incidence du rayonnement solaire et le vent. La recherche sur terrain a été faite en quelques jours pendant les quatre saisons de l'année, considérant les vêtements généralement utilisés dans les différentes saisons. 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. Les trois secteurs étaient proches l'un de l'autre, et les couples changeaient d'endroit après 20 minutes et répondaient au questionnaire en 5 minutes, pendant que les conditions de l'environnement sont mesurées : température de l'air, humidité relative, vitesse de l'air et températures superficielles. La Sensation Thermique (**TS**) était mesurée sur une échelle de 1 (très froid) à 7 (très chaud), aussi bien que la sensation de confort (très inconfortable / très confortable). La valeur 4 représente la neutralité. Considérant les données expérimentales, on proposa l'équation suivante :

$$\mathbf{TS = 1.7 + 0.118 t_a + 0.0019 I_H - 0.322 v - 0.0073 RH + 0.0054 t_{s,ent}} \dots \dots \dots \text{Eq.V.5}$$

Où :

$t_a$  : température de l'air, °C;

$I_H$  : rayonnement solaire incident, W/m<sup>2</sup>;

$V$  : vitesse de l'air, m/s;

RH : humidité relative, %;

$t_{s,ent}$  = température moyenne de l'air superficielle de l'environnement, °C.

**V- 4 -7- Le vote de sensation effective ASV :**

En 2004, Nikolopoulou a présenté les travaux développés par le projet appelé (RUROS). Elle propose un modèle représentant des différentes conditions climatiques européennes dont les classes sont indiquées par le **tableau V- 6** :

**Tab. V- 6 :** Le vote de sensation effectif ASV (Nikolopoulou)  
(Source : Monteiro.L.M, Alucci.M.P , 2006)

ASV	Sensation
>1.5	Très chaud
0.5 ~1.5	Chaud
-0.5~0.5	Confortable
-1.5~ 0.5	Froid
< 1.5	Très froid

L'équation du vote de sensation effectif (ASV) est donnée comme suit :

$$\text{ASV} = 0.049 \cdot T_{\text{air}} + 0.001 \cdot T_{\text{sol}} + 0.051 \cdot V + 0.014 \cdot \text{RH} - 2.079 \dots \dots \dots \text{Eq.V.6}$$

T : température (°C), V : vitesse vent (m/s) et RH : humidité relative (%)

L'équation est valide à  $5 \text{ °C} < t_{\text{air}} < 35 \text{ °C}$ <sup>34</sup> et les données à employer sont celles des stations météorologiques. Ainsi, les considérations spécifiques d'une situation donnée ne peuvent pas être considérées.

### **V-5- Subjectivité du confort thermique**

Le confort thermique extérieur est non seulement influencé par la réponse physiologique aux paramètres microclimatiques fortement variables mais également par l'adaptation psychologique et culturelle.

Les variables psychologiques peuvent prendre en compte jusqu' à plus de 50% de l'évaluation globale du confort.<sup>35</sup>

L'adaptation est définie en tant que diminution progressive de la réponse de l'organisme à une exposition répétée à un stimulus.

Dans le contexte du confort thermique, ceci peut comporter tous les processus d'amélioration que l'individu fait intervenir pour s'ajuster à ses conditions environnementales.

L'adaptation peut être divisée en trois différentes catégories: physique, physiologique et psychologique.<sup>36</sup>

<sup>34</sup> L. M . Monteiro, M.P. Alucci, "Calibration of outdoor thermal comfort models", PLEA, the 23<sup>rd</sup> conference, Genève, Suisse, Septembre, 2006.

<sup>35</sup>M. Nikolopoulou, K. Steemers, "Thermal comfort and psychological adaptation as guide for designing urban spaces", Energy and Buildings 35, 2003, pp.95- 101.

**V-5-1- Adaptation physique**

L'adaptation physique implique tous les changements qu'une personne effectue afin de s'ajuster à l'environnement, ou changer l'environnement selon ses besoins soit en changeant son niveau d'habillement, sa position ou même sa chaleur métabolique avec la consommation des boissons fraîches ou chaudes ou bien encore ouvrir une fenêtre, un parasol....

**V-5-2- Adaptation physiologique**

Appelée aussi acclimatation physiologique. Elle implique des changements des réponses physiologiques résultants de l'exposition répétée à un stimulus notamment dans les environnements extrêmes. Ces changements s'opèrent par hypertrophie des glandes sudoripares à long terme pour s'acclimater à la chaleur, ceci permet d'augmenter le débit sudoral tout en diminuant les pertes de sel. Pour s'acclimater au froid, l'hypertrophie de la glande thyroïdienne permet l'augmentation de ses sécrétions hormonales, d'où l'augmentation du métabolisme cellulaire et donc du métabolisme basal.<sup>37</sup>

**V-5-3- L'adaptation psychologique**

Les facteurs psychologiques influencent la perception thermique d'un espace et les changements qui s'y produisent comme décrit ci-dessous :

**V-5-3-a- Naturel**

Il est évident que les gens peuvent tolérer les changements de l'environnement physique, tant qu'ils sont naturels.

**V-5-3-b- L'espérance**

Les attentes de ce que devrait être l'environnement plutôt que ce qu'il est réellement influencent considérablement les perceptions des personnes, comme dans les bâtiments naturellement aérés là où les gens s'attendent à des variations

---

<sup>36</sup> M. Nikolopoulou, K. Steemers, Idem 34

<sup>37</sup> <http://www.med.univ.angers.fr>

temporelles et spatiales des températures, tandis que dans les espaces climatisés elles s'attendent à un environnement thermique beaucoup plus stable.

#### **V-5-3-c- Le passé thermique**

A court terme est lié à la mémoire et semble être responsable des préférences des personnes. Dans une étude de Höppe<sup>38</sup> dans le domaine de la climatologie urbaine, environ 250 passants pris dans une rue ensoleillée et sur une pelouse en parc ont été interviewés un jour chaud d'été. Le confort évalué par l'indice PMV indiquait des valeurs correspondant à une sensation chaude, Cependant, la plupart des sujets ont exprimé une sensation de confort. En général, ils ont expliqué que l'une des raisons de leur perception des conditions objectivement trop chaudes comme confortables est que les jours précédents les entrevues, le temps était froid et maintenant ils étaient heureux que le soleil ait brillé de nouveau.

#### **V-5-3-d- Le temps d'exposition**

L'exposition au stress thermique n'est pas considérée négative si l'individu prévoit qu'elle soit de courte durée, cependant cette durée peut être prolongée si l'espace offre des stimuli récréationnels, la capacité de se déplacer dans son environnement entre zones confortables et inconfortables et selon le passé thermique de cet individu.<sup>39</sup>

#### **V-5-4- La culture**

Pour prouver que la culture prend une part dans l'évaluation subjective des espaces urbains en dépit des conditions thermiques semblables, S. Thorsson et I. Knez<sup>40</sup> ont évalué quatre espaces publics. Une place et un parc dans la ville de Göteborg en Suède (57°42'N, 11°58'E) et une place et un parc dans Matsudo une

---

<sup>38</sup> P. Höppe, "Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort". Energy and Buildings, Volume 34, Juillet 2002, pp.661-665

<sup>39</sup> M. Nikolopoulou, K. Steemers, Op.cit 34

<sup>40</sup> S Thorsson, I. Knez, "Influence of culture and environmental attitude on thermal emotional and perceptual evaluations of outdoor places" Sixth international conference on urban climate, proceeding 204, Suède, 2006.

ville satellite de Tokyo au Japon (35°78'N, 139°90'E) ont été choisis (cf. **Fig. V-8**).



**Fig.V- 8** : Places et parcs évalués en Suède et au Japon.

*Source: Thorsson. S, Knez. I. (2006)*

Au total, 204 personnes ont participé aux deux études. 43 et 60 visiteurs de la place et le parc suédois respectivement, 63 et 38 visiteurs de la place japonaise et le parc respectivement.

Ces personnes ont été choisies parce que leurs présences coïncidées à l'intervalle thermiquement confortable de la PET de 18-23°C indice utilisé pour l'étude.

Pour mettre en évidence l'effet de la culture, tous les autres paramètres ont été fixés :

- Conditions thermiques : Pendant l'investigation, les participants suédois ont été exposés à une valeur moyenne de PET 20.3°C dans la place et à une valeur moyenne de la PET de 20.5°C dans le parc. Les participants japonais étaient exposés à une valeur moyenne de la PET de 20.7 °C dans la place et une valeur de 19.6 °C dans le parc.

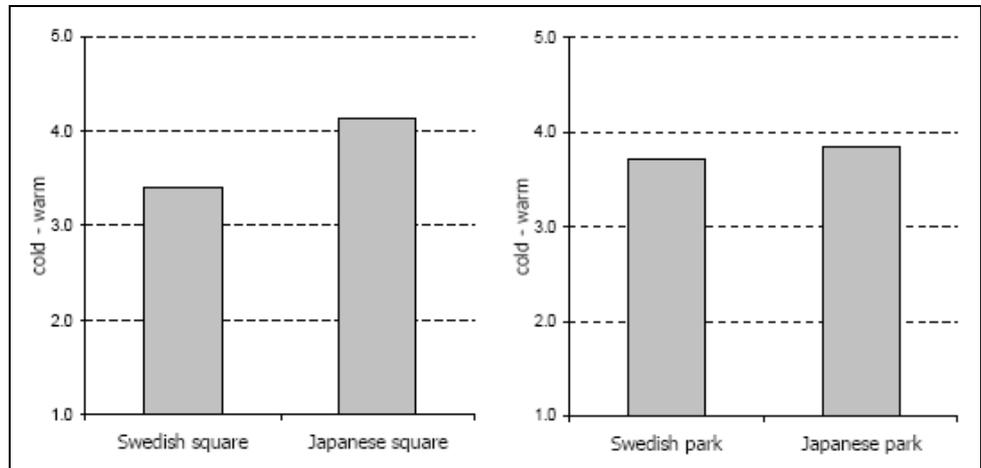
- Genre : Environ 50 % des Suédois et 60 % des participants japonais aux parcs étaient des femmes contre respectivement 40 % et 55 % dans les deux places.

- Habillement : L'habillement des interviewés, exprimé en Clo a été examiné. L'habillement moyen porté par les interviewés japonais était d'environ 0.9 Clo, supérieur d'environ 0.1 Clo que celui des interviewés suédois (0.8 Clo).

- Fréquentation de l'endroit : Environ 30-50 % des visiteurs des deux endroits dans les deux pays ont répondu qu'ils traversent l'endroit quotidiennement ou plusieurs fois par semaine.

- Dans les places environ 60 -70% des participants ont répondu qu'ils étaient sur leur chemin de la maison ou de travail, l'institut.... Cependant 50- 60% des participants aux parcs ont déclaré que les motifs importants sont de s'exercer,

respirer de l'air, se rencontrer et se détendre. Donc fonctions et activités semblables dans les deux cultures.



**Fig. V- 9** : Comparaison des résultats de l'évaluation du confort dans les places et parc japonais et suédois.

Source : Thorsson. S, Knez. I. (2006)

Dans le parc, les résultats (cf. **Fig. V- 9**) montrent que les Suédois ont évalué le temps plus froid que les Japonais bien que ces derniers aient été exposés à une PET moyenne inférieure de 0.9°C. Ils ont également évalué différemment les qualités esthétiques des espaces où les participants suédois, contrairement aux Japonais, ont estimé la place comme sensiblement plus belle et plaisante que le parc.

En somme, les résultats présentés suggèrent que l'évaluation du confort thermique avec les modèles physiologiques d'équilibre thermique dans les espaces extérieurs peut ne pas être applicable dans différentes zones climatiques et culturelles sans modifications et que le facteur psychologique doit être pris en considération.

### **Conclusion**

La connaissance du confort thermique des humains dans les espaces extérieurs joue un rôle important dans la santé et les activités, particulièrement dans le tourisme, la récréation, les loisirs et le sport.

Afin d'établir son équilibre thermique dans un environnement donné, le corps humain amorce plusieurs processus physiologiques de déperdition et de production de la chaleur en interaction avec d'autres d'ordre psychologique.

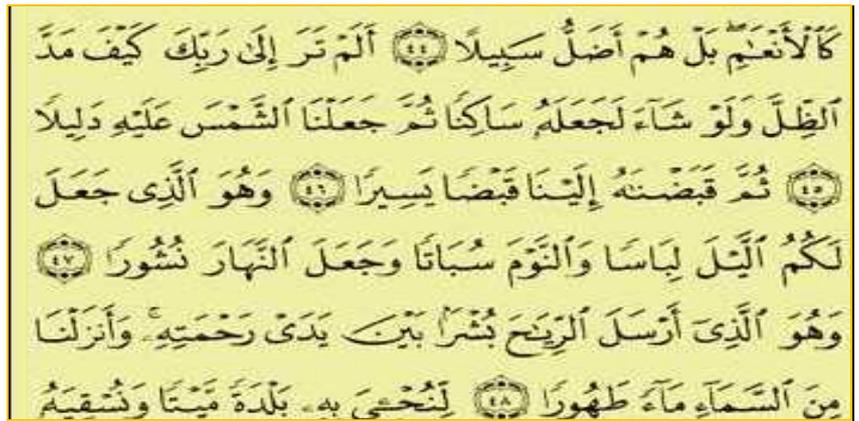
Les paramètres climatiques en interaction avec les composants du paysage urbain jouent un rôle prépondérant dans la détermination du bilan thermique de l'individu.

Par temps calme, la température moyenne radiante résultant de la somme des différents flux radiants en interaction avec les obstacles urbains selon leurs propriétés thermiques et dispositions géométriques (flux sensible) joue un rôle plus important que la température de l'air ; le mouvement de l'air accélère les échanges par convection, l'humidité relative de l'air détermine le taux de l'évaporation sudorale phénomène clé d'une thermolyse efficace.

Malgré les efforts fournis depuis le dernier siècle pour déterminer des indices d'évaluation de ce confort permettant d'élaborer des outils de conception urbaine, les résultats ne peuvent pas complètement clarifier l'impact de l'environnement urbain sur les utilisateurs, car il est sujet à la subjectivité de part l'influence physiologique, psychologique et culturelle différente entre individus et pays. Néanmoins ces indices restent le seul outil efficace pour pouvoir tester et évaluer les résultats des différentes stratégies d'amélioration du microclimat urbain et du confort thermique humain sujet du chapitre suivant.



**Stratégies d'amélioration du confort thermique  
dans les espaces extérieurs**



Versets coraniques 45- 48 de la sourate 25 (El-Forkane)

## **Introduction**

Le confort thermique humain est un des facteurs influençant les activités en plein air dans les rues, places, cours de jeu, parcs urbains,.....etc.

La chaleur intense due à l'effet combiné de la température de l'air et des surfaces environnantes, la vitesse du vent et le niveau d'humidité peuvent décourager l'utilisation de ces espaces extérieurs. Seule la disponibilité des espaces ombrés peut stimuler un plus grand usage. D'une manière semblable, le froid dû à la combinaison des basses températures de l'air, des vitesses des vents dominants froids et l'obstruction au soleil par différents obstacles environnants en fait de même. Seule la fourniture des espaces ensoleillés protégés des vents froids prolongent vie et activités dans ces espaces.

Si dans les climats extrêmes, les solutions de par l'organisation spatiale qu'elle soit compacte ou éclatée, selon le cas froid ou chaud, peut à elle seule garantir une grande part du confort thermique dans les espaces extérieurs, sous nos latitudes où le climat se trouve contrasté, la morphologie spatiale devrait trouver un compromis entre un hiver froid exigeant une ouverture aux rayons solaires et un été chaud desquels on doit se protéger. (cf. **chap. IV, section IV-8**). Des solutions dynamiques s'imposent afin de sauvegarder la vie dans les espaces publics à longueur d'année et durant les différentes heures de la journée.

Il y a quatre manières principales de modifier le microclimat urbain : la modification de l'écoulement du vent, la modification de l'humidité relative grâce à

l'évapotranspiration, la modification de la quantité du rayonnement solaire incident et la modification du rayonnement provenant des surfaces au sol et d'autres surfaces environnantes.

A travers ce chapitre, on essaiera de mettre le jour sur chacun de ces différents éléments de correction du microclimat urbain, notamment de rafraîchissement, de définir les détails de leurs dispositions recueillis des recherches scientifiques afin d'optimiser leurs impacts positifs sur le confort humain.

### **VI-1- Les matériaux**

Le rôle des matériaux de construction est impératif pour la réduction des gains thermiques et des surchauffes liés principalement à leurs comportements vis à vis le rayonnement solaire déterminés par leurs caractéristiques optiques (albédo) et thermiques (émissivité).

La réduction de la température de surface réduit également l'intensité du rayonnement en grande longueur d'onde. Les températures ambiantes de l'air seraient inférieures en raison du flux de chaleur convecteur réduit en provenance des surfaces plus fraîches.

**(cf. Chap. III, section 3-3-1- b)**

Une telle réduction des températures peut avoir des impacts significatifs sur la consommation d'énergie de refroidissement dans les secteurs urbains, un fait d'importance particulière dans les villes à climat chaud.

Des Simulations météorologiques unidimensionnelles effectuées par H. Taha et al<sup>1</sup> ont prouvé que pendant les après-midi des jours d'été, les températures de l'air intérieures peuvent être abaissées d'environ 4°C en augmentant l'albédo extérieur de 0.25 à 0.40 dans un climat chaud typique de mi-latitude.

D'autres Simulations tridimensionnelles de l'effet de l'augmentation de l'albédo à l'échelle méso dans le bassin de Los Angeles effectuées par le même chercheur en 1994, ont montré d'importants effets semblables sur la température de l'air en été. Une diminution moyenne de 2°C et jusqu'à 4°C peut être possible en augmentant l'albédo de 0.13 dans le secteur urbanisé du bassin. La diminution de la température de cette

---

<sup>1</sup> H. Taha, H. Akbari, A. Rosenfeld, "Residential cooling loads and urban heat island: The effect of Albedo", Building and environment, Vol. 3, N°. 4, 1988, pp. 271-283.

grandeur a pu réduire la charge de l'électricité de la climatisation de 10% et le smog (concentrations en ozone) d'environ 20% pendant un jour d'été chaud.<sup>2</sup>

Ainsi, la sensibilité de la température de l'air au changement de l'albédo a été d'intérêt majeur pour les recherches visant à réduire l'effet de l'ICU.

H. Akbari et al<sup>3</sup> ont pu augmenter l'albédo des surfaces pavées ou revêtues comme les routes, les cours de récréation et les parkings par l'ajout d'une couche mince de granulats clairement colorés sur les surfaces d'asphalte et leur donner ainsi une couleur plus claire et diminuer ainsi leur absorption de la chaleur. Le remplacement de l'asphalte par du béton permet aussi une légère augmentation de l'albédo.

Asaeda et Wake<sup>4</sup> ont examiné les effets de divers matériaux de pavage sur la température de l'air. L'étude a prouvé que les surfaces d'asphalte, aussi bien que les températures de l'air environnantes, étaient beaucoup plus chaudes en fin d'après-midi et pendant la nuit que les surfaces en béton ; cependant les températures prises à midi ont montré des températures de l'air au-dessus des surfaces en béton beaucoup plus élevées que celles au-dessus des surfaces en asphalte. C'est dû à la réflectivité élevée des surfaces en béton. Ce rayonnement solaire réfléchi va être absorbé par les bâtiments voisins et les piétons.

Doulos et al<sup>5</sup> ont déterminé une gamme de matériaux dits "frais" dont l'émissivité est d'environ 0.9 et cela après avoir varié les caractéristiques physiques à savoir la couleur, la texture extérieure et les matériaux de composition affectant l'albédo des carreaux de pavage. Les "matériaux froids" sont caractérisés par une couleur claire, une texture lisse et plate et composés de marbre, ou mosaïque ou de la pierre. Par opposition, les "matériaux chauds" pourraient être définis par ceux de surface rugueuse, de couleur foncée et composés de cailloux, pavement de pierre ou d'asphalte

---

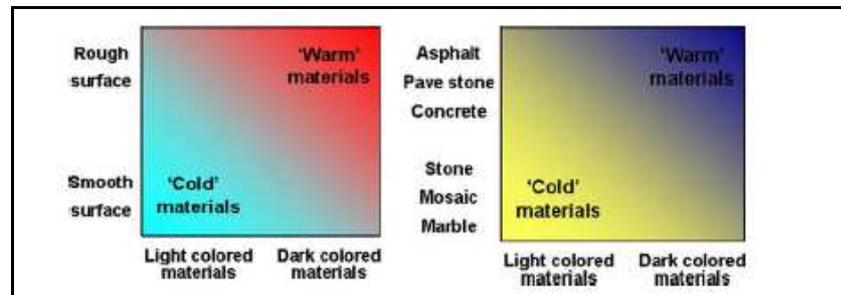
<sup>2</sup> H.Taha, S.Douglas, J.Hancy, "Mesoscale meteorological air quality impacts of increased urban albedo, and vegetation", *Energy and buildings* 25, 1997, pp.169-177.

<sup>3</sup> M.Pomerantz, B. Pon, H. Akbari, et S.-C. Chang, "The Effect of Pavements' Temperatures on Air Temperatures in Large Cities", *LBNL-43442*. Berkeley, CA: Lawrence Berkeley, 2000.

<sup>4</sup> T.Asaeda, V.T. Ca, A. Wake, "Heat Storage of Pavement and its Effect on the Lower Atmosphere." *Atmospheric Environment* 30 (3), 1996, pp.413-427, cites par A.M.Harisson, *Designing With Climate, Using Parking Lots to Mitigate Urban Climate*, Master of Landscape Architecture Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, 8 Avril 2004.

<sup>5</sup> L.Doulos, M. Santamouris, I. Livada, "Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials", *Solar Energy*, Volume 77, 2004, pp. 231-249

(cf.Fig.VI-1).



**Fig. VI-1:** Définition des matériaux chauds et des matériaux froids.

Source : Doulos et al (2004)

Ils réduisent la quantité du rayonnement solaire absorbée par les enveloppes des bâtiments et les structures urbaines et libèrent rapidement la chaleur absorbée par ces surfaces accélérant ainsi le refroidissement des espaces.

Cependant, le fait que les surfaces de couleurs claires peuvent augmenter la quantité du rayonnement réfléchi atteignant un corps exposé, soulève des questions sur la convenance de leur usage dans les espaces ouverts, particulièrement concernant les états de confort des piétons. Les études ont indiqué que les températures moyennes radiantes les plus élevées correspondent aux secteurs aux surfaces à albédo élevé, comparées aux surfaces moins réfléchissantes.<sup>6</sup> (cf. Chap. V, section V- 4-5)

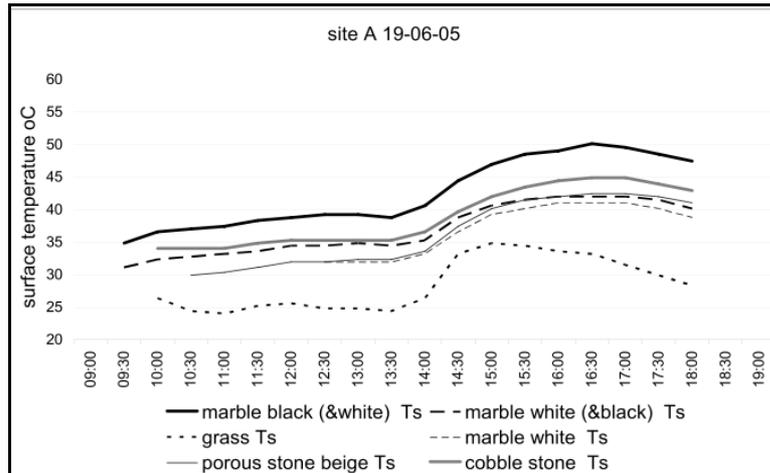
Chatzidimitriou et al<sup>7</sup> ont observé l'effet de la porosité en comparant les températures de surface de la pierre et du marbre poreux. La pierre poreuse de couleur claire présente des températures surfaciques semblables à celles du marbre blanc qui a un albédo plus élevé et une surface plus lisse.

Les résultats ont indiqué une plus basse température des matériaux poreux attribuée aux taux élevés d'échange de l'eau entre la surface et le sol profond, qui augmente le refroidissement par évaporation (cf.Fig.VI-2).

<sup>6</sup> Y.Shiraishi, H.Kagawa, J. Nakano,2005 cités par A.Chatzidimitriou, N. Chrissoumaliidou et S.Yannas, "Ground surface materials and microclimates in urban open spaces", PLEA, the 23<sup>rd</sup> conference, Genève, Suisse, 2006.

Et H. Andrade et al, "Microclimatic variations of thermal comfort in Lisbon city district", the 5<sup>th</sup> international conference on urban climate, Lodz, Poland, September 2003.

<sup>7</sup> A.Chatzidimitriou et al, Idem.<sup>6</sup>



**Fig.VI-2:** Températures de surface des couvertures au sol.  
*Source : Chatzidimitriou. A et al (2006)*

L'étude d'A. Chatzidimitriou et al<sup>8</sup> a révélé aussi l'importance de l'ombrage des surfaces pavées. Les surfaces ombragées (herbe et carreaux de béton) ont des températures surfaciques inférieures de 21% que la température de l'air au dessus des surfaces à découvert et sont plus froides de 40% que les mêmes surfaces exposées aux rayons solaires. La différence de température entre les différentes surfaces ombragées (cf. Fig. VI-3) est minime et sous différentes couvertures pour la même surface est négligeable. (cf. Fig. VI- 4, VI-5)



**Fig.VI-3 :** Différentes couvertures utilisées pour l'ombrage.  
*Source : Chatzidimitriou.A.(2006)*

<sup>8</sup> A.Chatzidimitriou et al, Idem.6

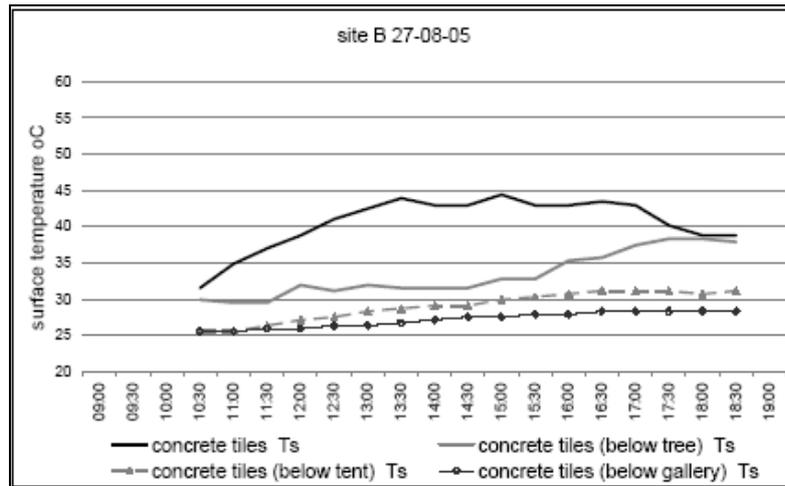


Fig.VI- 4: Températures surfaciques des carreaux de béton sous différentes couvertures utilisées pour l'ombrage  
Source Chatzidimitriou.A. (2006)

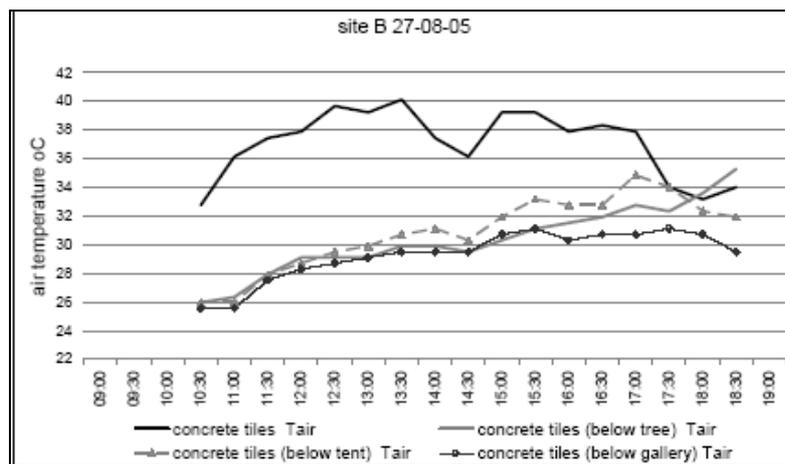


Fig.VI-5: Températures de l'air des carreaux de béton sous différentes couvertures utilisées pour l'ombrage.  
Source : Chatzidimitriou.A. (2006)

Ceci met en évidence l'importance de la réduction de l'effet négatif des matériaux de surface sur le microclimat par des faibles SVF.

## VI-2- L'eau

« L'eau a sur le citadin un effet magique, peut être plus encore que la végétation. A la moindre occasion il s'en approche et s'y livre à diverses activités (...) Elle est universelle, plait aux calmes, aux poètes et aux agités. Le plus affreux restaurant

*devient merveille sur ses rives, la place la plus triste devient lieu de rassemblement au moindre jet d'eau. C'est le grand miracle urbain."*<sup>9</sup>

Mais elle n'est pas un simple élément décoratif. L'eau qui s'écoule des fontaines ou sur les cascades, agit comme un amortisseur sonore, son bruit voile les bruits forts ainsi que ceux de la circulation. Ce bruissement est créateur d'ambiance "un bruit qui calme."<sup>10</sup>

L'eau est aussi un outil spatial et visuel, elle joue la fonction d'un miroir qui crée des surfaces réfléchissantes et favorise des effets optiques de jour comme de nuit.



**Fig.VI- 6 :** Les effets optiques de l'eau

Source : <http://.www.learn.londonmet.ac.ul>.

L'eau est aussi un créateur de microclimat, elle apporte de la fraîcheur plus encore dans un cadre où la végétation est judicieusement disposée.

La sensation de bien être éprouvée auprès des bassins et des fontaines est la conjugaison de deux facteurs liés à l'évaporation : refroidissement de l'atmosphère et augmentation de l'humidité. Les apports énergétiques solaires, qui en été peuvent atteindre des valeurs élevées et qui arrivent sur la surface de l'eau, sont faiblement réfléchis puisque le coefficient de réflexion n'est que de 3% pour les heures du rayonnement maximal. Elle absorbe pratiquement 80% du rayonnement solaire selon la profondeur du bassin.<sup>11</sup>

Donc les étendues d'eau stockent des grandes quantités de chaleur avec aisance et agissent comme tampon thermique en réémettant la chaleur par rayonnement et par convection lors des chutes des températures. Elle réduit donc les variations extrêmes. Cette réduction augmente d'autant plus que la surface est à l'ombre.

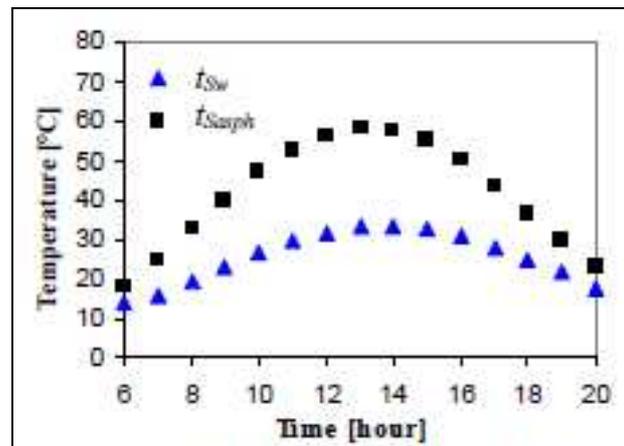
---

<sup>9</sup>M. Sablet , Des espaces urbains agréables à vivre, édition du Moniteur, Bruxelles, 1980.

<sup>10</sup> M. Sablet, Idem 9

<sup>11</sup>F. Sánchez de la Flor, S. A. Dominguez, "Modelling microclimate in urban environments and assessing its influence on the performance of surrounding buildings", Energy and Buildings 36, 2004, pp 403-413

Des mesures ont été effectuées par simulation pour mettre en évidence cette réalité.<sup>12</sup> Les résultats prouvent, comme illustré par la **figure VI-7** qu'il y a une grande différence entre la température de surface de l'eau et celle de l'asphalte. Cette différence est de 4°C à 6h et 25°C à 13h quand la valeur maximum de la température de surface est enregistrée, c'est à dire 33.2°C pour la surface de l'eau et 58.3°C pour la surface d'asphalte. Cette différence est due à l'évaporation de l'eau aussi bien qu'en raison des propriétés des matériaux des deux surfaces, eau et asphalte.

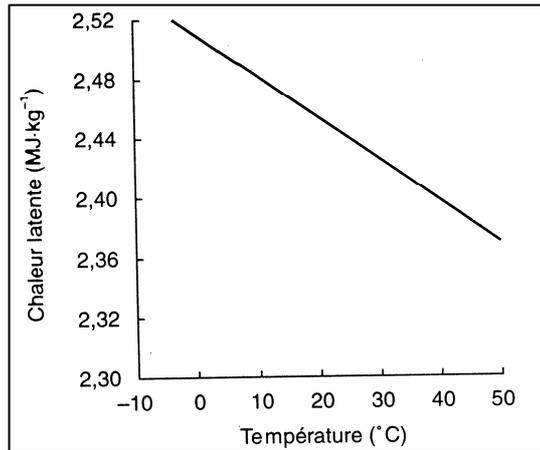


**Fig. VI- 7 :** Températures surfaciques de l'eau et de l'asphalte.  
*Source : Robitu. M. et al (2004)*

A l'inverse des sols qui s'échauffent et restituent la chaleur rapidement, l'eau emmagasine et rend la chaleur lentement. Par sa masse thermique élevée proportionnelle à la profondeur du bassin<sup>13</sup>, l'eau atténue les fluctuations des températures en absorbant la chaleur de l'air pour passer de l'état liquide à l'état gazeux. Ce changement de phase nécessite une certaine quantité de chaleur "L" par unité de masse appelée chaleur latente de vaporisation de l'eau (chaleur massique de vaporisation). Elle diminue pratiquement linéairement lorsque la température augmente. (cf.Fig.VI- 8)

<sup>12</sup> M. Robitu, Ch. Inard, M.Musy, D. Groleau, "Energy balance study of water ponds and its influence on building energy consumption", *Eighth International IBPSA Conference*, Eindhoven, Netherlands, August 11-14, 2003.

<sup>13</sup> F. Sánchez de la Flor, S. A. Dominguez, [Op.cit11](#)



**Fig.VI- 8:** Variations de la chaleur latente de vaporisation de l'eau en fonction de la température de l'air

Source : Guyot .G (1999)

A 0°C, L est égale à 2.501 MJ.kg<sup>-1</sup> et à 20°C à 2.454 MJ.kg<sup>-1</sup>

Ainsi l'évaporation de l'eau liquide dans l'atmosphère à partir d'une surface d'eau libre (lac, mer, ou couvert végétal) nécessite la fourniture d'une importante quantité d'énergie.

Il est à noter que pour évaporer une lame d'eau de 1 mm d'épaisseur sur une surface de 1m<sup>2</sup>, il faut 2.45 MJ.m<sup>-2</sup> (ou 590 kcal.m<sup>-2</sup>)<sup>14</sup>, et que la quantité d'eau transmise par évaporation d'une surface d'eau calme à l'air et avec suffisamment de précision est donnée par la formule suivante<sup>15</sup> :

$$W = \sigma A (x'' - x) \text{ Kg /h} \dots\dots\dots \text{Eq. VI.1}$$

Où :

- W : quantité d'eau évaporée en Kg /h
- σ : coefficient d'évaporation en Kg / m<sup>-2</sup> h

$$\sigma = 25 + 19V_{\text{air}} \dots\dots\dots \text{Eq. VI.2}$$

.....

- A : Surface de l'eau en m<sup>2</sup>
- x '' : teneur en eau de l'air saturé à la température de la surface d'eau en Kg / Kg

<sup>14</sup> G.Guyot, Climatologie de l'environnement, édition DUNOD, 1999.

<sup>15</sup> Recknagel, Manuel pratique du génie-climatique, 2<sup>e</sup> édition, 1986, P.118

x : teneur en eau de l'air en Kg/kg

$V_{\text{air}}$  : vitesse de l'air en m/s

Il est à conclure de ces deux notes que pour maximiser l'effet de l'eau, il convient d'augmenter la surface de contact de l'air avec l'eau et le mouvement relatif de l'air par rapport à l'eau. Donc on ne peut pas compter sur une simple fontaine pour assurer un rafraîchissement naturel vu les faibles échanges entre cette petite surface froide et l'air. Par contre l'eau projetée vers le haut et retombant en jet a prouvé son efficacité.<sup>16</sup>

Les mesures de température de l'air effectuées en 1998 par Nishimura cité par M. Robitu et al<sup>17</sup> du côté sous le vent d'un jet d'eau ( sa hauteur n'a pas été indiquée) ont enregistré une réduction approximativement de 3 K durant la période 14h- 15h, et cet effet a été ressenti jusqu'à une distance d' approximativement 35 m.

Toutes ces réalités scientifiques ont été empiriquement utilisées par nos ancêtres à l'intérieur des demeures comme à l'extérieur, "*les grands bassins de l'Alhambra à Grenade et à Taj Mahal, le Silsabil que l'on trouve principalement à Fostat en Irak, ainsi que des plans inclinés taillés dans la pierre, où l'eau ruisselle en formant de fines gouttelettes.*"<sup>18</sup>

Dans les villes où les surfaces imperméabilisées sont importantes, il est devenu indispensable de favoriser l'évaporation des eaux de pluie et leur infiltration naturelle. Plusieurs mesures facilement et rapidement applicables ont déjà prouvées leur efficacité. On peut citer :

- la substitution des aires imperméables par un revêtement qui permet l'infiltration de l'eau dans le sol par exemple du gazon stabilisé ou du gazon sur dalles perforées (**cf. Fig.VI- 9**)

---

<sup>16</sup> Groupe ABC, 1977 in T.Belatrehche, Effets thermo radiatifs et caractérisation microclimatiques des cours intérieures dans les édifices publics,Thèse de magistère, université Mentouri, Constantine, 2006, p121

<sup>17</sup> M. Robitu,, M. Musy Ch. Inard. D. Groleau, "*Modeling the influence of vegetation and water pond on urban microclimate*", Solar Energy 80, 2006, pp 435–447

<sup>18</sup> F.Fardaheb, "*classification des techniques de rafraîchissement naturel dans l'architecture vernaculaire des pays du Moyen orient*", communication présentée au troisième séminaire sur l'énergie solaire. Tlemcen, Algérie, 7-8 Mars 1989.



**Fig.VI- 9** : Stratégie pour rendre les surfaces urbaines perméables.

Source :Energy Research Group, [http:// www. erg.ucd.ie](http://www.erg.ucd.ie).

- La conduite des eaux de ruissellement dans des tranchées drainantes, des fossés absorbants engazonnés ou des petites marres plantées (cf. Fig. VI- 10).



**Fig.VI- 10** : L'eau ruisselant en surface dans les espaces ouverts augmente le flux latent

Source: Energy Research Group, [http:// www. erg.ucd.ie](http://www.erg.ucd.ie).

Ces techniques alternatives favorisant à la fois l'infiltration lente des eaux dans le sol et une évaporation en surface qui augmente l'humidité de l'air et améliore le microclimat par l'amélioration du ratio Bowen (cf. Chap. III, section 3-3-6).

- la végétalisation des toitures qui outre son amélioration du microclimat et des ambiances intérieures des bâtiments peut retenir en cas de fortes pluies 70 à 90% des eaux de pluie retardant ainsi son évacuation.<sup>19</sup>

### **VI- 3- La végétation**

Elle se présente dans les espaces urbains sous forme d'espaces verts, plantations d'alignement et décorations florales ; pergolas de toutes formes, sculptures végétales, plantations en cascade, bacs suspendus et végétations grimpantes sur murs, piliers et

---

<sup>19</sup> D. Gauzin –Müller, *Architecture écologique*, édition le Moniteur, Paris, 2001

colonnes. Elle est probablement la composante de l'aménagement urbain à laquelle on prête le plus de qualité car :

- véritable antidote contre les traumatismes psychologiques en apaisant les tensions, d'où il a été démontré que les habitants des immeubles proches des espaces verts avaient un sens de la communauté plus développé et résistaient plus au stress et aux difficultés de la vie en milieu urbain ; en plus qu'ils étaient moins agressifs et moins violents, tout en obtenant de meilleurs résultats lors des tests de concentration.<sup>20</sup>

- antidote contre les traumatismes esthétiques infligés aux citoyens en réduisant l'échelle entre des espaces plats et des volumes imposants et en créant un changement de texture, un contraste de couleurs et de formes par rapport aux bâtiments adjacents.

- Joue un rôle social de par les endroits de réunion qu'elle offre pour des activités publiques sociales et culturelles ainsi que pour rétablir les contacts sociaux.

- Joue un rôle écologique :
  - fixe les poussières où il a été démontré qu'un arbre fixe 10 fois plus qu'une pelouse, 30 à 60 fois plus qu'une surface goudronnée<sup>21</sup>, "38 - 42% grâce aux plantes à feuilles persistantes et de 27-30 % grâce aux espèces à feuilles caduques."<sup>22</sup>
  - Assainit l'air car les feuilles peuvent être un filtre efficace pour des polluants de l'air tels que le NO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, le SO<sub>2</sub> et l'O<sub>3</sub>.<sup>23</sup>

En outre, les arbres masquent souvent les émanations et les odeurs désagréables, en les remplaçant par des odeurs plus agréables ou en les absorbant.

- Procure un effet d'oxygénation et absorbe le dioxyde de carbone.
- Contribue à la gestion écologique des eaux pluviales.
- Protège les sols de l'érosion par l'eau et le vent.
- Assure la protection de la faune terrestre et avienne.
- Lutte contre les nuisances sonores. Bien qu' " *on ne peut parler réellement d'écran contre le bruit que lorsqu'il s'agit d'une bande de végétation profonde*

---

<sup>20</sup> A.Meziane. " *Le choix pour un avenir des aménagements d'espaces verts en Algérie*", 30 avril 2007 <http://www.paysagiste.blogspot.fr>.

<sup>21</sup>J.L.Izard, *archibio*, édition parenthèses, 1979.

<sup>22</sup> G.Kuchelmeister. S. Braatz, "Nouveau regard sur la foresterie urbaine", *Unasyva* n° 173, <http://www.Fao.org>

<sup>22</sup> T.Keller, "The possibilities of using plants to alleviate the effects of motor vehicles", *TRRL Symposium Report 513 DOE/DT*, 1979.

<sup>23</sup> M. Santamouris et al, " *Managing the Growth of the Demand for Cooling in Urban Areas and Mitigating the Urban Heat Island Effect*" *presse de l'école de mine de Paris*, 2001

*sur plusieurs dizaines de mètres.*"<sup>24</sup>

- Réduit l'éblouissement : le confort lumineux exige des espaces extérieurs une transition entre l'ombre et la pleine lumière afin d'éviter le phénomène d'éblouissement.<sup>25</sup> (cf. Fig. VI-11)



**Fig. VI- 11** : L'Arbre tamise la lumière et préserve le confort  
*Source : Guyot.M.A*

- **Modifie le microclimat**

Les arbres peuvent avoir un effet certain sur chacun des facteurs climatiques, mais les plus importants sont leur influence sur le rayonnement solaire en courtes longueurs d'ondes et le rayonnement terrestre émis par des objets sur terre en grandes longueurs d'ondes atténuant ainsi les températures extrêmes.

L'effet d'ombrage apporté par la végétation cumulé avec le phénomène d'évapotranspiration joue un rôle très important dans l'atténuation des températures urbaine. M.E. Hoffman et al <sup>26</sup> attribuent 80% des effets du refroidissement des sites à l'ombrage des arbres.

### **VI- 3-1-Arbres et rayonnement solaire**

La majeure partie de l'énergie solaire que nous recevons est sous forme de lumière visible et d'infrarouge solaire. Les longueurs d'ondes visibles (lumière) sont absorbées

---

<sup>24</sup> J.L. Izard. *Op.cit 17*

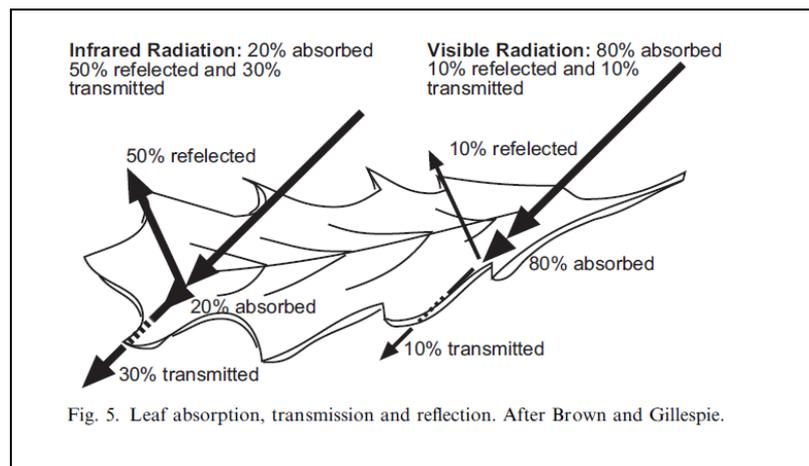
<sup>25</sup> M.A.Guyot, "L'Arbre urbain : un composant du confort pour l'Architecture et l'Espace Public", Extrait d'intervention de cours, [http:// www. marseille.archi.fr](http://www.marseille.archi.fr)

<sup>26</sup> M.E .Hoffman, L. Shashua-Bar; "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 Buildings* 31, 2000, pp 221-235

par les feuilles des plantes par la photosynthèse où les plantes transforment l'énergie solaire en énergie biochimique dissipée en chaleur latente causant une réduction sensible de la température.

L'infrarouge solaire est au delà du rouge du spectre visible. Les feuilles ne peuvent pas employer ce dernier pour la photosynthèse et elles le rejettent donc par l'intermédiaire de la réflexion ou de la transmission affectant le bilan d'énergie et le confort thermique.

Une seule couche de feuilles absorbera généralement 80% du rayonnement visible incident (le plus chaud) tout en réfléchissant 10 % et transmettant 10 %. (cf.fig. VI- 12) Avec l'infrarouge solaire approximativement 20 % est absorbé, 50 % est réfléchi et 30% transmis.<sup>27</sup> Donc plusieurs couches de feuilles seront plus efficaces dans la réduction du rayonnement solaire sous un arbre d'où l'importance de la densité du feuillage.

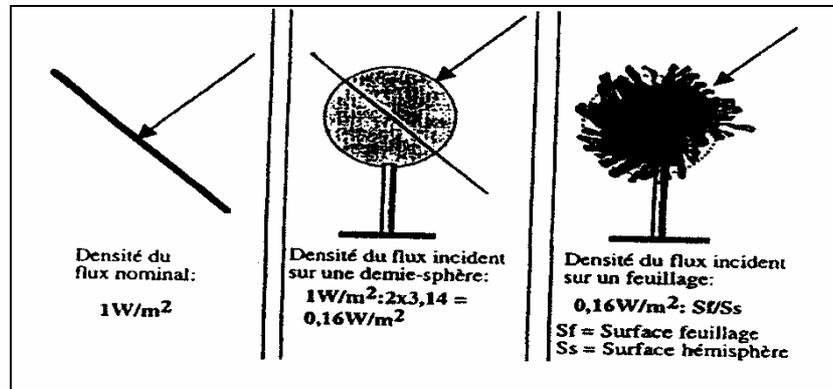


**Fig .VI- 12 :** absorption, transmission et réflexion des feuilles d'arbres  
*Source : Kotzenn. B (2003)*

L'ombre créée principalement par le feuillage et les branches, indique cette réduction du flux énergétique de la lumière visible et d'infrarouge solaire. La quantité d'énergie absorbée réémise en tant que rayonnement en grandes longueurs d'ondes est fonction de la température des objets. En bloquant le rayonnement solaire incident, les branches et les feuilles d'un arbre réduisent directement l'énergie atteignant le sol (cf.Fig.VI- 13) et par conséquent sa température ainsi que son rayonnement en grandes

<sup>27</sup> B.Kotzenn, " investigation of shade under six different tree species of the Negev", *Journal of Arid Environments* 55, 2003, pp 231–274

longueurs d'ondes comparativement aux surfaces artificielles dures, réduisant ainsi la température moyenne radiante de l'environnement ( $T_{mrt}$ ).



**Fig.VI- 13** : Division de la densité du rayonnement solaire reçu par un feuillage.

Source : Belatreche.T (2006)

Cette réduction est en effet importante quand on considère que la combinaison de la charge thermique de l'air, le soleil et le sol peut devenir aussi grande qu'elle excède 10 fois la production métabolique de la chaleur d'un homme.<sup>28</sup>

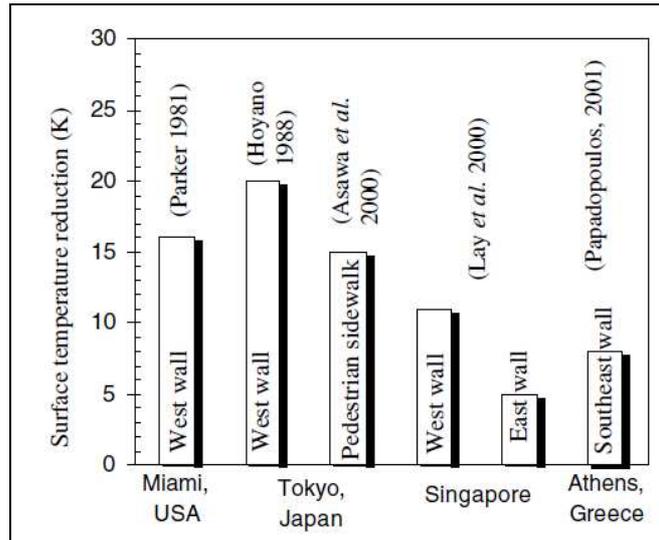
la densité du feuillage peut contribuer également à changer le flux d'énergie atteignant les bâtiments voisins et la température de l'air environnante

Plusieurs auteurs, Hoyano, Asawa, Papadopoulos rapportent, comme indiqué sur la **figure VI- 14**, que les surfaces ombrées par la canopée verte sont refroidies de 5-20 K plus que les surfaces exposées. L'ombre d'un seul grand arbre peut abaisser la température intérieure dans un immeuble donné dans les mêmes proportions que le feraient 15 climatiseurs de 4000 BTU (British thermal unit), soit 4220 kJ, dans un immeuble analogue mais non ombré.

Ip et al (2004) cité par M. Musy<sup>29</sup> ont mis en évidence une baisse de température intérieure de 4 à 6°C au plus fort de l'été avec une légère augmentation de l'humidité dans la pièce pour un écran végétal (vigne vierge) associé à une façade légère.

<sup>28</sup>B. Kotzenn, *Idem.* 27

<sup>29</sup>M. Musy, "Du Microclimat au bâtiment .Concevoir en milieu urbain : prise en compte des interactions bâti environnement urbain", *conf 16-10- 2007*, [http:// www.grenoble.archi.fr](http://www.grenoble.archi.fr)



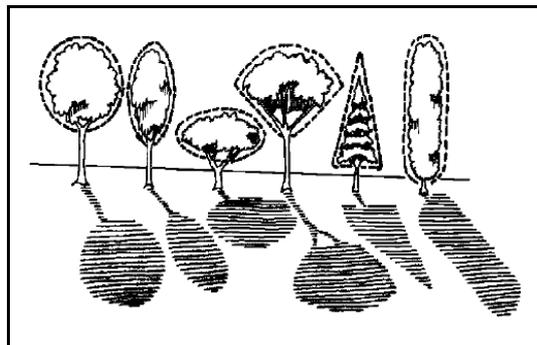
**Fig.VI-14** : réduction des températures des surfaces de bâtiment par l'ombrage des arbres. (Parker, 1981 ; Hoyano, 1988 ; Asawa et al, 2000 ; Lay et al, 2000 ; Papadopoulos, 2001)

Source : Robitu.M et al (2006)

Les économies d'énergie réalisées en plantant des arbres autour des maisons vont de 10 à 50 % pour le refroidissement et de 4 à 22 % pour le réchauffement.<sup>30</sup>

L'ombre créée par un arbre est sujette donc à un nombre de variables telles que:

- la dimension et la forme de la plante (la hauteur maximum et sa structure) dont la couronne et les branches changent d'une espèce d'arbre à une autre, d'arbre à arbre dans l'espèce, influencent fortement la forme de l'ombre projetée. Par conséquent détermineront les surfaces horizontales et verticales à protéger.<sup>31</sup> (cf.fig. VI- 15)



**Fig.VI- 15** : Formes des ombres projetées selon les différentes formes d'espèces d'arbres.

Source : Meerow et al (1991)

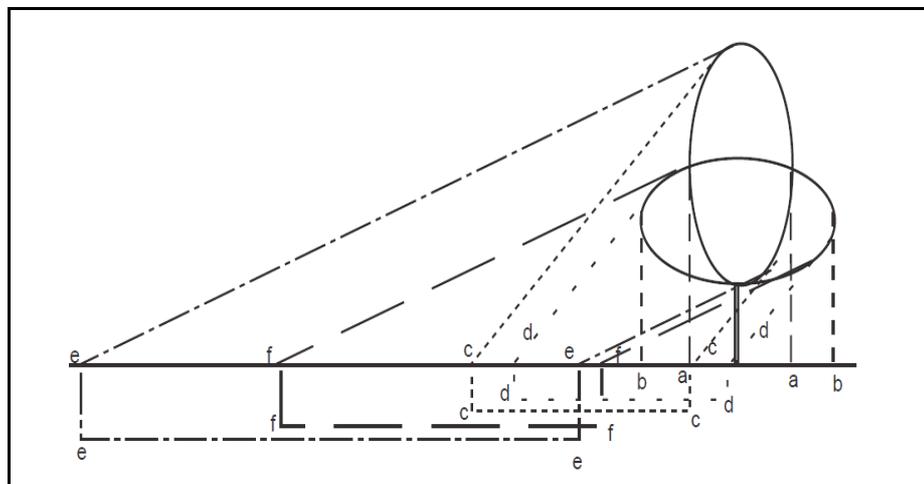
<sup>30</sup> Kuchelmeister. G et Braatz. S, *Op.cit.*22

<sup>31</sup> A.W.Meerow, R.J.Black. "Energy information Handboock ,Chapter 9, Energy information Document 1028, Série de Florida energy extension service, Aout 1991, [http:// www .pays.org](http://www.pays.org)

- les angles solaires : L'intensité de l'ombre varie pendant la journée en fonction de la course solaire. Le soleil passe au début et vers la fin de la journée par les basses altitudes solaires ce qui donnera des ombres longues ; c'est pourquoi les arbres donnent leur meilleurs rendement pour les orientations Est et Ouest, plus courtes pour les orientations Sud-est et Sud-ouest ; cependant au milieu de la journée le soleil est haut et l'arbre projette son ombre sur lui-même.<sup>32</sup> Ceci conduit à l'emploi des treillis avec la vigne,.....afin de maximiser l'ombrage au sol des espaces extérieurs et limiter les échauffements des façades sud des bâtiments.

Le diamètre de la couronne couplé aux angles et azimuts solaires départagera le choix de l'espèce selon le climat et la quantité d'ombre désirée.

Dans une étude menée par B. Kotzenn<sup>33</sup>, récapitulée par la **figure VI-16**, sur les espèces d'arbre au désert de Najaf et leur performance en été et l'hiver en fonction des angles solaires ainsi que la forme et le diamètre de la couronne, a conclu que: les arbres aux larges couronnes sont plus performants pour les climats chauds et arides vu la grande surface qu'ils masquent.



**Fig. VI- 16:** Comparaison de la quantité d'ombre créée par une large canopée d'arbre par opposition à une grande canopée selon les angles solaires.

*Source Kotzenn .B (2003)*

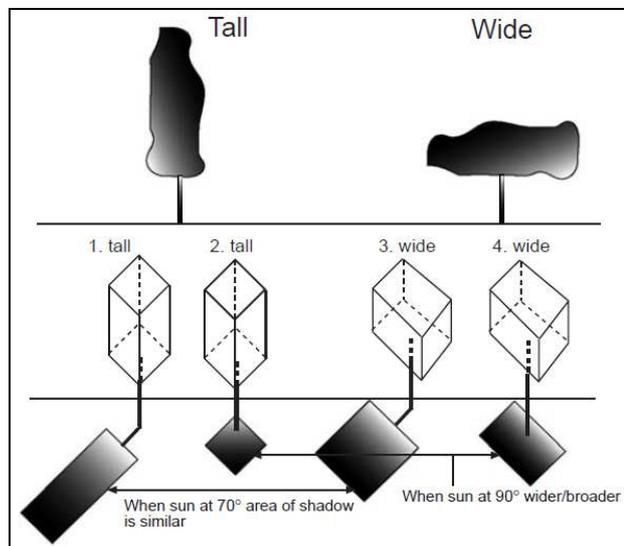
Les figures **VI-16** et **VI-17** indiquent généralement comment les larges couronnes créent plus d'ombre au courant de toute la journée particulièrement à midi pendant les mois d'été. Quand le soleil est haut dans le ciel, l'ombre est concentrée directement

<sup>32</sup> Olgay & Olgay, *Solar control & shading devices*, édition Princeton University press, New Jersey 1957.

<sup>33</sup>B. Kotzenn, *Op.cit 27*

autour de la couronne d'arbre. Par conséquent non seulement un large arbre fournit sensiblement plus d'ombre toute la journée, mais aussi pendant les heures de surchauffe de la journée où elle est la plus nécessaire.

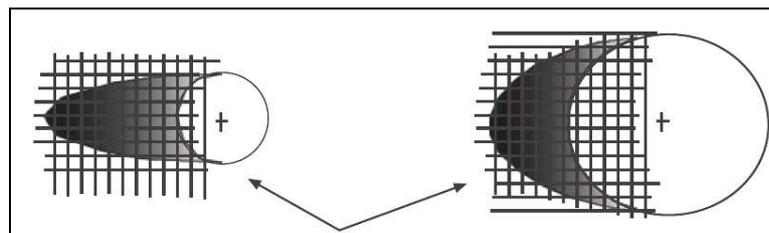
- Le soleil à une hauteur de  $90^\circ$  avec une large canopée (cf. Fig. VI- 16), b-b, donne la meilleure longueur d'ombre.
- Le soleil à  $45^\circ$  avec une grande canopée, c-c, et une large canopée, d-d, donne presque la même longueur d'ombre. (cf. Fig. VI- 16),
- Le soleil à  $20^\circ$  avec une grande canopée, e-e, donne une meilleure longueur d'ombre qu'une large canopée, f-f. (cf. Fig. VI- 16).



**Fig. VI- 17 :** Comparaison de l'ombre projetée par rapport au diamètre de la couronne.

*Source : Kotzenn.B (2003)*

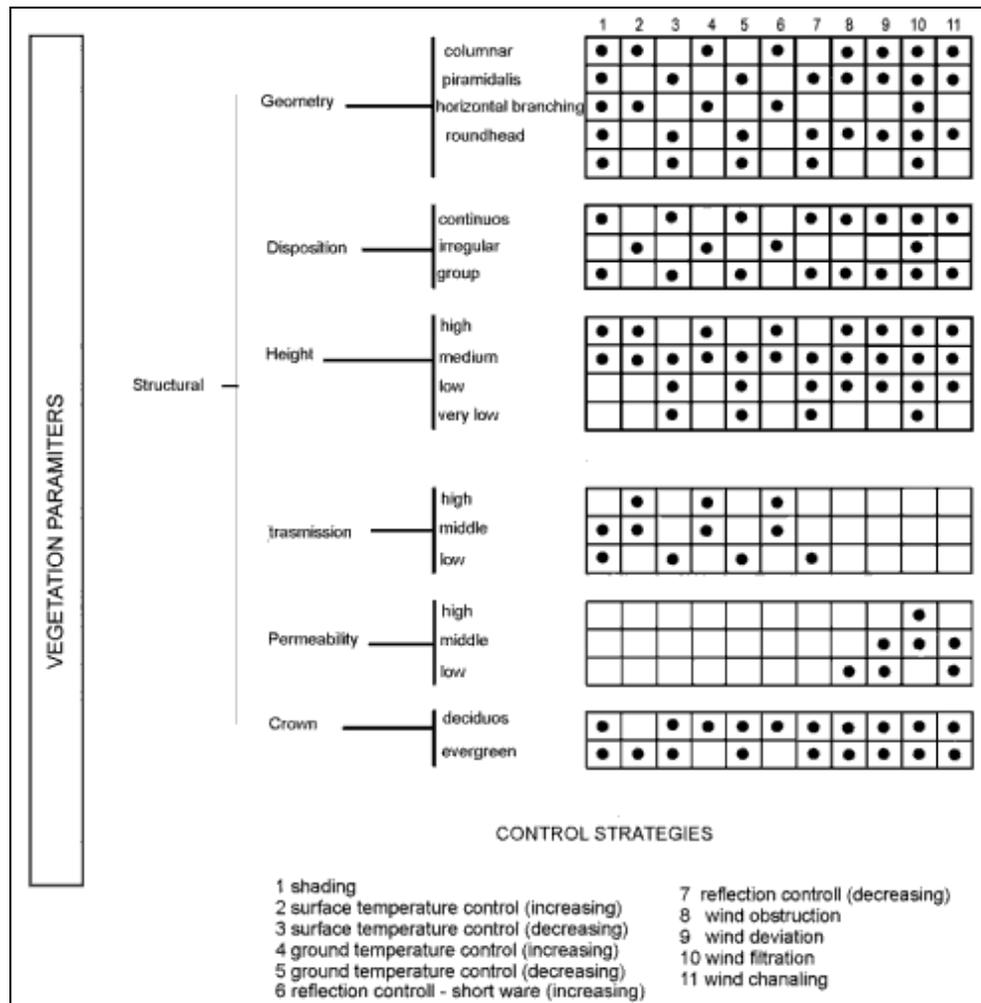
Mais si on tient compte aussi de la largeur de l'ombre, la canopée large et ronde donne une ombre meilleure. (cf. Fig. VI-18),



**Fig. VI-18 :** Diagramme illustrant que la longueur d'ombre perdue par les larges canopées rondes est compensée par leur largeur.

*Source : Kotzenn.B (2003)*

Ayant à l'esprit les paramètres de la végétation qui affectent le rayonnement solaire et le vent, G.Scudo et Ochoa de la torre <sup>34</sup> ont proposé une méthode simplifiée aux concepteurs sous forme de directives (cf.Fig.VI- 19) quant aux choix de la bonne stratégie à adopter pour le contrôle microclimatique souhaité lors de la phase de conception d'un espace urbain (rue, place et cour).



**Fig. VI -19 :** Stratégies de contrôle microclimatique à travers les caractéristiques de la végétation.

*Source : Scudo. G et Ochoa de la Torre (2002)*

A titre d'exemple, pour ombrager le centre d'une terrasse de café de forme rectangulaire dans une ville de mi-latitude pendant le déjeuner en été, la stratégie 1 et 3

<sup>34</sup> G. Scudo, "Green structures and urban planning", Built Environment Sciences and Technology Milan, Oct 2002

semblent les plus adéquates pour protéger les utilisateurs du rayonnement solaire direct, diffus et ombrer le secteur voisin pour diminuer le rayonnement en grandes longueurs d'ondes.

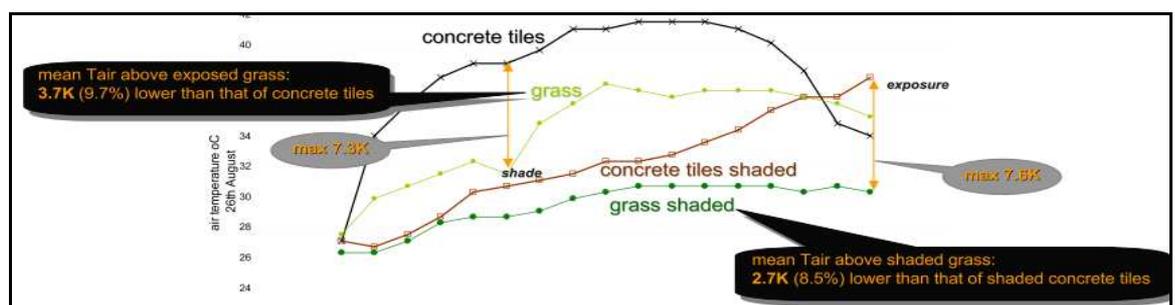
Pour une meilleure efficacité le choix doit se porter sur la forme des branches, disposition continue, basse transmission (couronne dense), afin d'obtenir un parasol vert efficace au-dessus de la terrasse du café.

En hiver le choix de la stratégie 2 et 4 s'impose pour augmenter les températures de surface et réchauffer ainsi la terrasse. La superposition des stratégies conduit aux choix des espèces caduques avec grande transmission en hiver et faible transmission en été (cf. Fig. VI - 19)

Dans l'annexe E, quelques dimensions d'espèces d'arbres de la région méditerranéenne sont mentionnées.

### **VI- 3-2-Pelouse et rayonnement solaire**

La pelouse soumise au rayonnement solaire connaît des échauffements modestes<sup>35</sup> et comme les arbres elles ont tendance à équilibrer leur température avec celle de l'air ; Par manque d'inertie et contrairement aux surfaces minérales, ces échauffements disparaissent dès que le rayonnement solaire cesse ainsi une pelouse à l'ombre reste toujours une surface fraîche (cf.fig.VI- 20). Ces écarts sont plus importants pour une pelouse humide (cf. Tab.VI-1) d'après une étude menée par Izard et al.<sup>36</sup>



**Fig. VI- 20 :** Comparaison des effets thermiques à l'ombre (shad) et au soleil (exposure) d'une pelouse (grass) et une allée minérale (concrete tiles).

Source : Chatzidimitriou.A. (2006)

<sup>35</sup> A. Chudnovsky et al, "Diurnal thermal behaviour of selected urban objects using remote sensing Measurements", *Energy and buildings* 36, 2004, pp 1063-1074.

<sup>36</sup> J.L.Izard et al (1997/98), citée par T. Belatreche, *Effets thermo radiatifs et caractérisation microclimatique des cours intérieurs dans les édifices publics*. Thèse de magistère, Université Mentouri, Constantine, Algérie, 2006.

**Tab.VI-1** Températures du pavage minéral et des pelouses sèches ou humides.  
(Source : Belatreche.T, 2006).

Revêtement du sol	Ts °C (ombre)	Ts °C (soleil)	Ecart °C
Allée en asphalte	24,5	40,1	14,6
Pelouse Sèche	22,8	30,9	8,1
Pelouse humide	22	28	6

### **VI- 3-3-Arbre et évapotranspiration**

L'évaporation est un changement de phase qui se produit dans les feuilles exigeant une absorption d'énergie thermique. La plante, afin d'absorber le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère, doit maintenir ses stomates ouverts et de cette façon elle desserre l'eau sous forme de vapeur. "Sachant que chaque gramme de vapeur demande 633 calories, une place de 100 m x100 m bordée d'arbre peut atteindre un niveau de transpiration de 50.000 litres par jour. Ainsi pour le changement d'état de l'eau approximativement 31.650.000 calories sont employées et prises de l'environnement extérieur au lieu d'être absorbées par les bâtiments et restituées par la suite comme chaleur sensible qui réchauffe l'atmosphère."<sup>37</sup> Ceci dit qu'on s'attend à une réduction de température de l'air entourant la végétation d'environ 9°F (5°C)<sup>38</sup> ; les expériences entreprises en Allemagne accentuent la différence dans la température entre les parcs et les secteurs urbains environnants pour être aussi haute que 7°C<sup>39</sup>. Pour les basses latitudes, elle peut même atteindre 8°C à une hauteur de 50 centimètres au-dessus de l'herbe que sur un sol nu.<sup>40</sup>

Dans les régions chaudes et humides, dans le cas d'arbres adultes, l'effet de rafraîchissement peut atteindre 3 à 6°C dans la journée.<sup>41</sup>

La présence d'arbre conduit ainsi à des zones plus fraîches dans l'environnement urbain. C'est le phénomène d'oasis.

---

<sup>37</sup> B.F. Fabio, "The urban Heat isles and the microclimatic variations ", Bio-architettura, [http:// www. My best life.com](http://www.Mybestlife.com).

<sup>38</sup> A.W. Meerow et R.J Black, "Paysage pour conserver l'énergie : un guide du microclimat", Energy Information Document 1028, 1991

<sup>39</sup> A. Dimoudi, M.Nikoloupoulou, "Vegetation in the urban environment, microclimate analysis and benefits", Energy and buildings, 2003

<sup>40</sup> T.Haider, "Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat", Energy and Buildings 25 , 1997, pp 99-103

<sup>41</sup> M. Musy, Op.cit.29

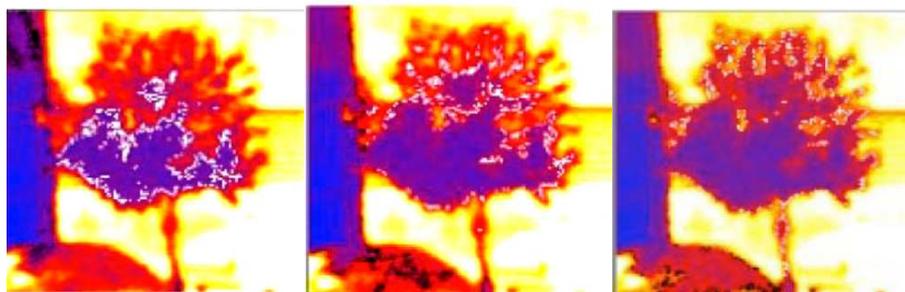
Les effets d'un refroidissement efficace par évapotranspiration sont influencés par :

- **la taille de l'espace vert**<sup>42</sup> où l'on enregistre une diminution de 1°C pour chaque 100 m<sup>2</sup> d'espace vert.<sup>43</sup> Des études ont montré pour les mi-latitudes européennes, que si au moins 20 % d'un secteur urbain est planté, plus de rayonnement solaire est employé pour évaporer l'eau par les feuilles des plantes que pour soulever la température d'air, fournissant une stratégie de refroidissement naturelle efficace.<sup>44</sup>

Un rapport végétation/espace bâti de 60/40 et plus est recommandé<sup>45</sup> ; plus il est important meilleur est le refroidissement.

- **La densité des plantes** : Bien que les gens sentent que la température de l'air est plus basse sous des arbres isolés des jours ensoleillés, il est maintenant bien su que la température de l'air sous un arbre isolé est presque exactement la même que la température de l'air à découvert.<sup>46</sup> (cf. Chap. VII)

- **le rayonnement solaire net** : la différence de température entre les feuilles et l'air dépend : de la valeur de leur diffusivité et l'écart entre le flux en grande longueur d'onde, le flux du rayonnement solaire et le flux de la chaleur latente. Si le flux du rayonnement net est presque totalement absorbé par le processus d'évaporation, la température des feuilles sera très étroitement la même que la température ambiante.<sup>47</sup>



**Fig. VI.21** : thermographie d'un arbre sous le soleil  
Ligne blanche = isothermes à 27, 28 et 29°C  
Source : Sanchez de la Flor, F., Dominguez, S.A. (2004)

<sup>42</sup> G.M. Heisler, "Trees modify metropolitan climate and noise", *Journal of Arbiculture*, Vol.3,N°:11, Novembre 1977

<sup>43</sup> A. Dimoudi, M.Nikoloupoulou, *Op.cit.*39

<sup>44</sup> M.Hough, *Cities and Natural Process*, Routledge, 1995 in Heisler, *Op.cit.* 42

<sup>45</sup> Tareb, *Energie dans l'environnement urbain- Architecture basse énergie*, chapitre 4, <http://www.learn.londonmet.ac.ul>.

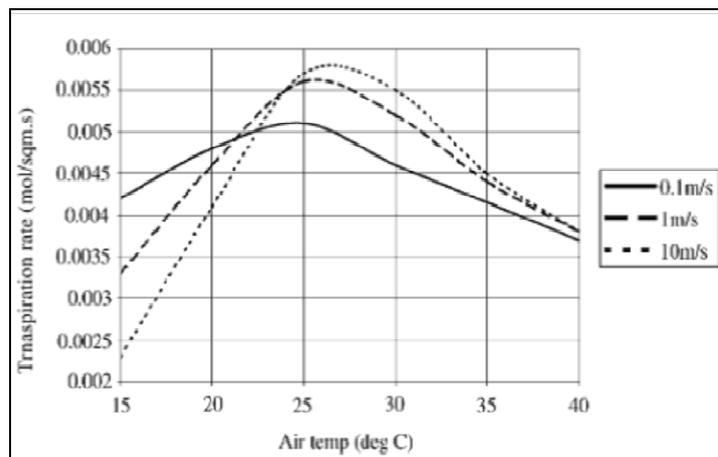
<sup>46</sup> R.Brown, T.J. Gillespie, "Estimating radiation received by a person under different species of shade trees", *Journal of arboriculture* 16 (6), June 1990, pp.158-161

<sup>47</sup> F. Sanchez de la Flor., S.A. Dominguez, "Modelling microclimate in urban environments and assessing its influence on the performance of surrounding buildings", *Energy and Buildings* 36, 2004, pp.403-413

La thermographie de l'arbre ensoleillé (**cf.Fig.VI-21**) montre que la température moyenne de l'arbre varie de 27 à 29°C, alors que la température de l'air est de 28°C.

Pour un meilleur rendement, il faut prévoir une texture au sol végétale ou à défaut sur plan d'eau afin d'éviter le stress thermique dû aux températures élevées du minéral. Les arbres plantés sur une surface minérale ont des feuillages plus chauds que ceux qui sont plantés sur pelouse causant une perte d'eau élevée des feuilles. Au delà de 25 à 30°C, elles provoquent une fermeture prolongée des stomates induisant une diminution de la transpiration. En outre, ces arbres ont un aspect malingre et un feuillage clairsemé, ce qui diminue de leur intérêt dans la réduction du SVF.<sup>48</sup>

• **la vitesse du vent** : lorsque la vitesse du vent augmente, elle entraîne d'abord une ouverture des stomates puis leur fermeture.<sup>49</sup> Dimoudi et Nikolopoulou<sup>50</sup> ont étudié ce phénomène pour des températures de l'air variant de 15 à 40°C, des vitesses de vent de 0,1, 1, 10 m/s et pour une humidité relative de 50%. Les résultats sont illustrés sur la **figure VI- 22**.



**Fig.VI- 22** : Variation du taux de transpiration des feuilles en fonction des températures de l'air et des vitesses du vent.

Source : Dimoudi.A et Nikolopoulou.M (2003)

On remarque sur ce graphique que le taux de transpiration le plus élevé se produit pour des

<sup>48</sup> R.K.Kljelgren., J.R Clarck., "Growth and water relation of liquidambar styraciflua in an urban park and plaza in structure ad function trees", 1994, in Lehtihet M.C.H, Modification des microclimats urbains par la couverture végétale, thèse de magister, Université de Jijel faculté des sciences de l'ingénieur, 2006.

<sup>49</sup>H.Tabani, Impact de la végétation sur le microclimat et le confort thermique des espaces urbains publics :Cas du cours de la révolution d'Annaba,Thèse de Magister, Université Mentouri, Constantine, 2006

<sup>50</sup> A. Dimoudi, M.Nikoloupoulou , Op.cit.39

températures de l'air variant entre 25 à 30°C et pour les vitesses de vent les plus importantes par contre au dessus de 25°C le phénomène s'inverse.

- **le cycle de croissance** (à feuilles persistantes ou plantes à feuilles caduques), sont les raisons qui détermineront le taux du rayonnement solaire traversant la plante entraînant l'ouverture des stomates et donc de la transpiration.

### **VI- 3-4- L'arbre et le vent**

Implantée en fonction des contraintes climatiques et topographiques, une grande variété de végétaux de type arbres, arbustes, conifères et feuilles peut être utilisée pour réaliser les écrans végétaux réduisant ainsi la vitesse du vent en offrant une résistance au déplacement d'air due à leur porosité. (cf. **section VI-4**)

### **VI- 4 - Les brise-vents**

Les vitesses de vent importantes sont un facteur qui peut contrer l'utilisation des espaces extérieurs. En plus des critères de conception concernant la morphologie des espaces recueillis dans **l'annexe B1** et **le chapitre IV**, des paravents peuvent être utilisés pour protéger les piétons dans l'espace urbain des vents intenses et de la turbulence et peuvent être à la fois des structures entières (immeubles, murs, etc.) ou partielles (végétation, clôtures, etc.)

Les effets aérodynamiques des brise-vents dépendent tout d'abord de leurs caractéristiques géométriques (hauteur, longueur, porosité\*, leur structure, .....)

#### **VI-4-1-Règles générales pour la conception des écrans protecteurs**

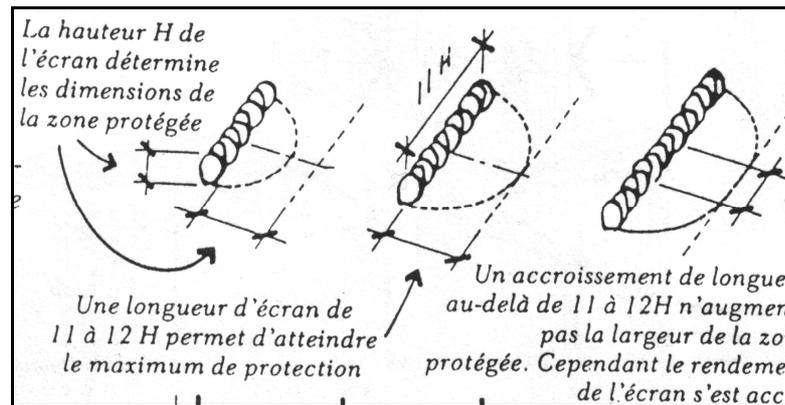
- A.** La grandeur des zones protégées est proportionnelle à la hauteur de l'écran protecteur.
- B.** L'inclinaison de l'écran est également un facteur important. Plus cette inclinaison se rapproche de la verticale, plus l'effet de protection est important.<sup>51</sup>

---

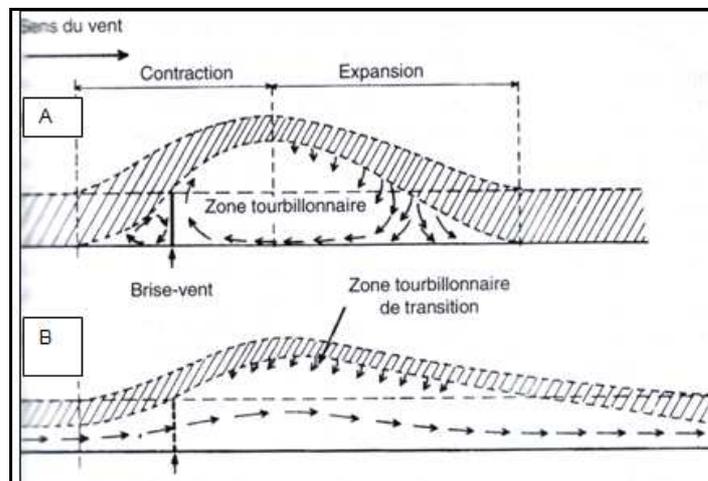
\* Porosité : pourcentage de la surface frontale occupée par les trous, pour un brise-vent sans épaisseur.

<sup>51</sup> D.Watson, R.Camous, L'habitat bioclimatique de la conception à la construction, édition L'étincelle, Montréal, 1986.

- C. Pour une hauteur donnée, le maximum de protection est obtenu lorsque la longueur de l'écran est de 11 à 12 fois sa hauteur.<sup>52</sup>(cf.Fig.VI- 23).
- D. La perméabilité ou la densité de l'écran a un effet sur les dimensions de la zone protégée. les écrans massifs et denses provoquent une forte réduction de la vitesse du vent mais seulement sur une courte distance immédiatement après l'écran. (cf.Fig.VI- 24).



**Fig.VI- 23 :** Effet protecteur d'un brise-vent en fonction de sa longueur et sa hauteur.  
 Source : Watson, D, Camous. R (1986)

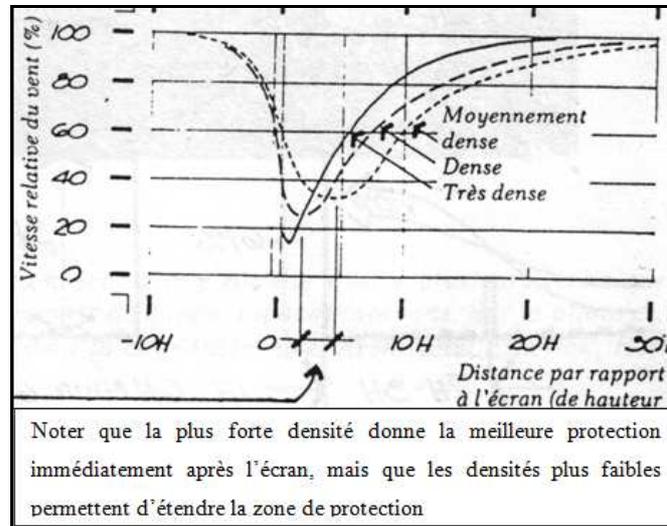


**Fig.VI- 24:** Représentation schématique de l'effet d'un brise-vent sur l'écoulement de l'air . A- Brise-vent imperméable. B- brise-vent perméable  
 Source : Guyot. G (1987)

Les écrans protecteurs les plus intéressants sont ceux qui présentent 25 à 60 % de porosité. A 50% de porosité, ils fournissent en général une bonne protection dans la

<sup>52</sup> D.Watson, R.Camous, Idem,51

zone comprise entre la distance 5H et 20H, la vitesse de l'air est alors réduite de 30%.<sup>53</sup> (cf.Fig.VI- 25).



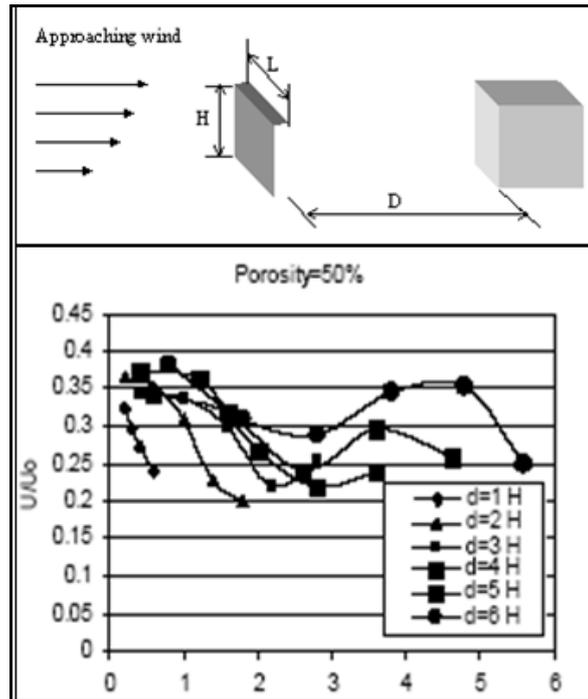
**Fig.VI- 25:** Effet de protection en fonction de la densité de l'écran.  
Source : Watson. D, Camous.R (1986)

Pour tester l'effet de la distance sur la réduction de la vitesse du vent, un brise vent a été placé à des diverses distances du bâtiment.<sup>54</sup> (cf.Fig.VI- 26).  
Quand la distance était moins de 4H, l'effet du brise-vent poreux n'a montré aucune différence. Mais si la distance excède 4H, la porosité de la barrière est devenue très importante.

- E. Il est important que les ouvertures dans la barrière soient distribuées sur toute la surface ainsi plusieurs petits trous produiront un vent plus agréable à supporter qu'un petit nombre de trous de plus grandes dimensions.
- F. Il est impératif que la plate bande produise la même protection en pleine hauteur lorsque les brise-vents sont constitués par des rideaux d'arbres, leur porosité peut varier en fonction de la hauteur au dessus du sol.

<sup>53</sup> D.Watson, R.Camous, *Idem*.51

<sup>54</sup> W. Li, F. Wang, S. Bell, "Windbreak effects on outdoor open spaces sheltering", *Eighth International IBPSA Conference*, Eindhoven, Netherlands, 11-14 Août, 2003



**Fig.VI- 26** :.Effet de la distance du brise-vent en fonction de la hauteur.  
Source : Li. W et al (2003)

Ils peuvent avoir soit une base imperméable, fermée par des buissons ou des arbustes, soit au contraire une base très perméable et une partie supérieure peu perméable.

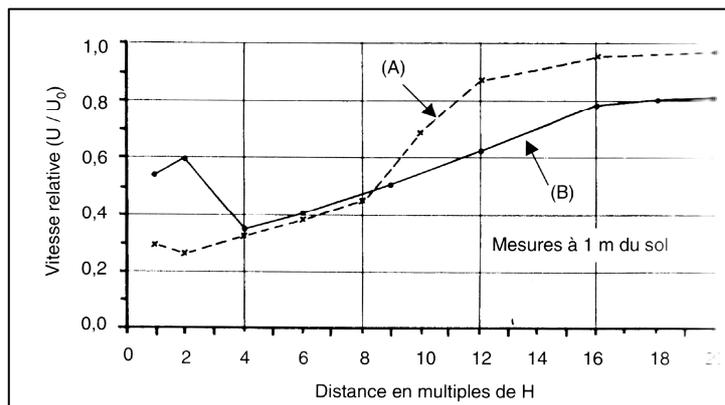
La figure VI- 27 présente les résultats d'une expérience effectuée avec un brise-vent artificiel de 2m de haut, constitué par trois bandes parallèles de porosité différentes et de 0,67 m de haut où il a été démontré les répercussions importantes de la position de la bande imperméable sur la réduction de la vitesse du vent.

Dans un premier cas, ils ont placé une bande imperméable à la base du brise-vent, une bande peu perméable au milieu et une bande très perméable en haut.<sup>55</sup>

Les résultats sur la figure montrent que le brise-vent dont la base est imperméable se comporte pratiquement comme un brise-vent totalement imperméable.

Dans un deuxième cas, les positions ont été inversées et les résultats montrent que se derniers dont la base est perméable se comporte pratiquement comme un brise-vent perméable sur toute sa hauteur. Donc il est judicieux de combiner écran perméable et imperméable pour obtenir la protection désirée.

<sup>55</sup> G.Guyot, Climatologie de l'environnement, édition Dunod, Paris 1999, P. 242.



**Fig.VI- 27** : Variation de la vitesse du vent en fonction de la distance à un brise- vent constitué de 3 bandes superposées.

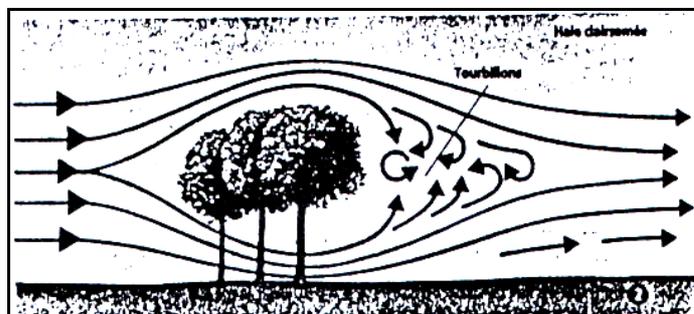
(A) Bande imperméable en bas, (B) bande imperméable en haut.

Source : Guyot, G (1987)

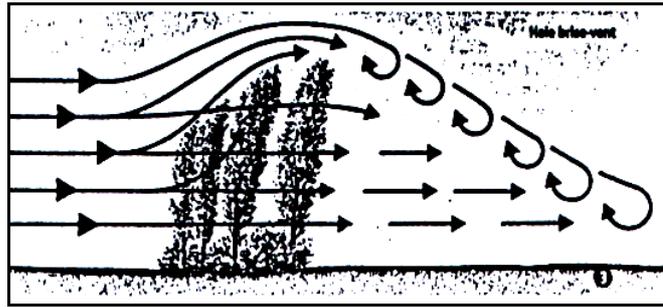
Ainsi si le choix des protections est porté sur le végétal, il est nécessaire de combiner différent type de végétation par exemple en utilisant des arbres pour protéger en hauteur et des arbustes/ buissons pour la protection près du sol (cf. Fig.VI- 28. A, B, C)



(A)-La haie est trop imperméable et trop dense, elle agit comme un mur : le vent heurte violemment l'obstacle passe au dessus et redescend aussitôt sur la parcelle, attiré par le vide qui crée un appel d'air. Dans ce cas la distance de protection est faible.



(B)- Si la haie est constituée d'arbres très espacés, le vent se concentre dans les vides intercalaires pour former des tourbillons L'effet protecteur est aussi quasiment nul.



(C)-Pour obtenir une efficacité maximum, la haie doit-être semi perméable, de façon à filtrer et ralentir le flux d'air incident. Une partie de ce flux traverse la haie tandis que l'autre partie la contourne. La 1<sup>ère</sup> s'oppose à la descente rapide de la seconde, augmentant ainsi la distance de protection.

**Fig.VI- 28 :** L'effet brise- vent de la vegetation

*Source : sciences et vie (1992)*

## **Conclusion**

Les facteurs microclimatiques peuvent contrer d'une manière significative la fréquentation des espaces extérieurs tels que les places. Cependant plusieurs stratégies passives peuvent être employées pour modifier positivement les conditions du confort thermique des leurs usagers et optimiser ainsi leur utilisation.

Dés périodes antiques, le refroidissement par évaporation est l'un des manières les plus efficaces du refroidissement passif pour les bâtiments et les espaces urbains dans les régions chaudes. L'efficacité du processus d'évaporation dépend des températures de l'air et de l'eau, de l'humidité de l'air, mais aussi de la circulation de l'air au niveau des surfaces d'eau.

L'effet de réduction de la température dû au végétal et à l'eau peut être examiné seulement sur une échelle locale et à une distance relative, parce que les échanges d'air réduisent l'influence sur une plus grande échelle. Néanmoins, les recherches ont révélé que l'augmentation des espaces verts et des surfaces d'eau dans une ville par le processus d'évapotranspiration contribue de manière significative à améliorer la température globale d'été (**cf. chap. VII**).

L'effet de réduction du rayonnement net et de la température moyenne radiante du à l'ombrage des surfaces horizontales et verticales par les arbres semblent supérieur à l'évapotranspiration, puisque cette dernière est liée aux vitesses du vent, à la

température de l'air, à la nature des surfaces au sol, ainsi que la présence d'eau dans l'espace.

Pour que cette ombre soit efficace, les dimensions, la forme, l'espèce et l'implantation par rapport aux angles solaire doivent être étudiées.

Le type et la densité des brise-vents ainsi que leur combinaison ont un impact apparent sur le flux d'air près du sol à double effets contraires sur le confort de l'homme dans son espace vital de par l'opposition entre une exposition en saison chaude et une protection en saison froide.

L'emploi des matériaux froids peut atténuer les températures de l'air et des surfaces mais leur contribution à l'augmentation de la température moyenne radiante pose problème pour le confort piéton.

L'ombrage des surfaces minérales par les arbres ou d'autres structures, donne les meilleurs résultats de la réduction du flux thermique pénétrant. Ceci met en exergue l'importance de la réduction du **SVF** dans l'amélioration du microclimat local.

Le chapitre suivant constitue un recueil de quelques recherches touchant le thème effectuées à travers le monde qui ont essayé de quantifier l'influence de l'effet combiné de la géométrie urbaine avec les stratégies d'amélioration du microclimat.



# *Chapitre VII*

***Etat de l'art sur les stratégies d'amélioration  
du microclimat urbain***

*"La place plantée de platanes avec sa fontaine correspond à un modèle d'espace extérieur urbain présentant des aptitudes microclimatiques favorables au confort dans la région méditerranéenne. En effet, où l'on se trouve, la voûte formée par le feuillage protège des rayons chauds et éblouissants, par ailleurs elle maintient la fraîcheur dégagée par la présence d'eau."*

*J.L.Izard<sup>1</sup>*

## **Introduction**

La qualité des espaces urbains ouverts a suscité beaucoup d'attention ces dernières années. Il y a une large identification que les conditions microclimatiques contribuent à la qualité de vie dans les villes du point de vue économique ou social.

En conséquence, universités et organismes de recherche, municipalités et gouvernements ont montré un intérêt significatif et assigné ressources pour examiner les conditions microclimatiques et leur effet sur le confort humain extérieur.

Pour notre cas, très rares sont les recherches qui ont porté sur l'amélioration du microclimat en été en agissant sur les proportions des places et par conséquent sur le SVF. Cependant, beaucoup de recherches se sont focalisées sur l'influence des éléments surajoutés tels que les arbres sur l'amélioration du microclimat urbain.

Ce chapitre se concentre sur quelques recherches ayant pour objectif l'interaction de la géométrie urbaine avec d'autres éléments du paysage urbain et leur effet combiné sur le confort humain de par la réduction du SVF.

### **VII-1-Interactions morphologie de l'espace d'implantation et le végétal**

Plusieurs études ont été effectuées par les différents chercheurs à travers le monde pour mesurer les interactions de la végétation avec les différences morphologiques des

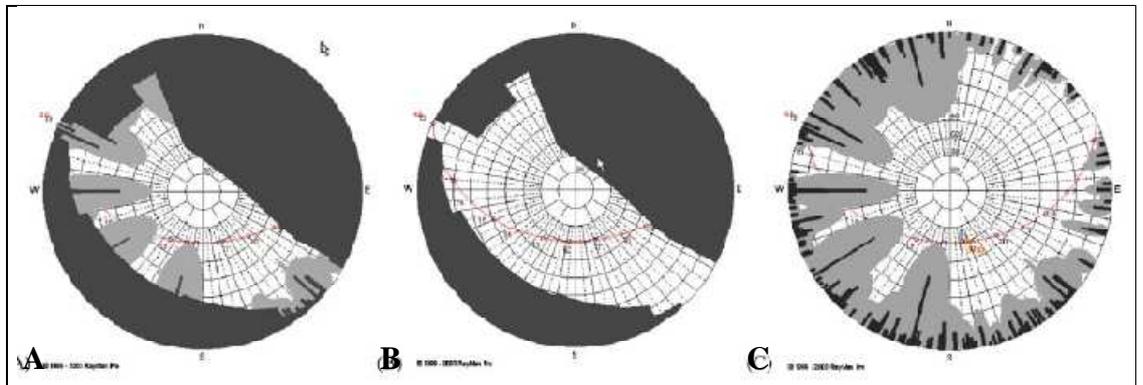
---

<sup>1</sup>J.L. Izard, *archibio*, édition parenthèses, 1979.

espaces.

### VII-1-1- Etude de Gulyas et Matzrakis (2005)

Pour une démonstration quantitative des effets climatiques des arbres et des bâtiments dans un certain endroit urbain à Szeged en Hongrie<sup>2</sup> (46° N, 20°E), les calculs de trois indices bioclimatiques ont été effectués par le modèle RayMan en considérant la structure extérieure existante, arbres et bâtiments **t+b** (cf. **Fig. VII-1-A**), en omettant les arbres, **b** (cf. **Fig. VII-1-B**) et en omettant les bâtiments environnants, **t** (cf. **Fig. VII-1-C**).



**Fig. VII-1** : les diagrammes Fish-eye du SVF produits par le modèle Rayman illustrent l'ombre produite par les trois situations.

*Source : Gulyas et al (2005)*

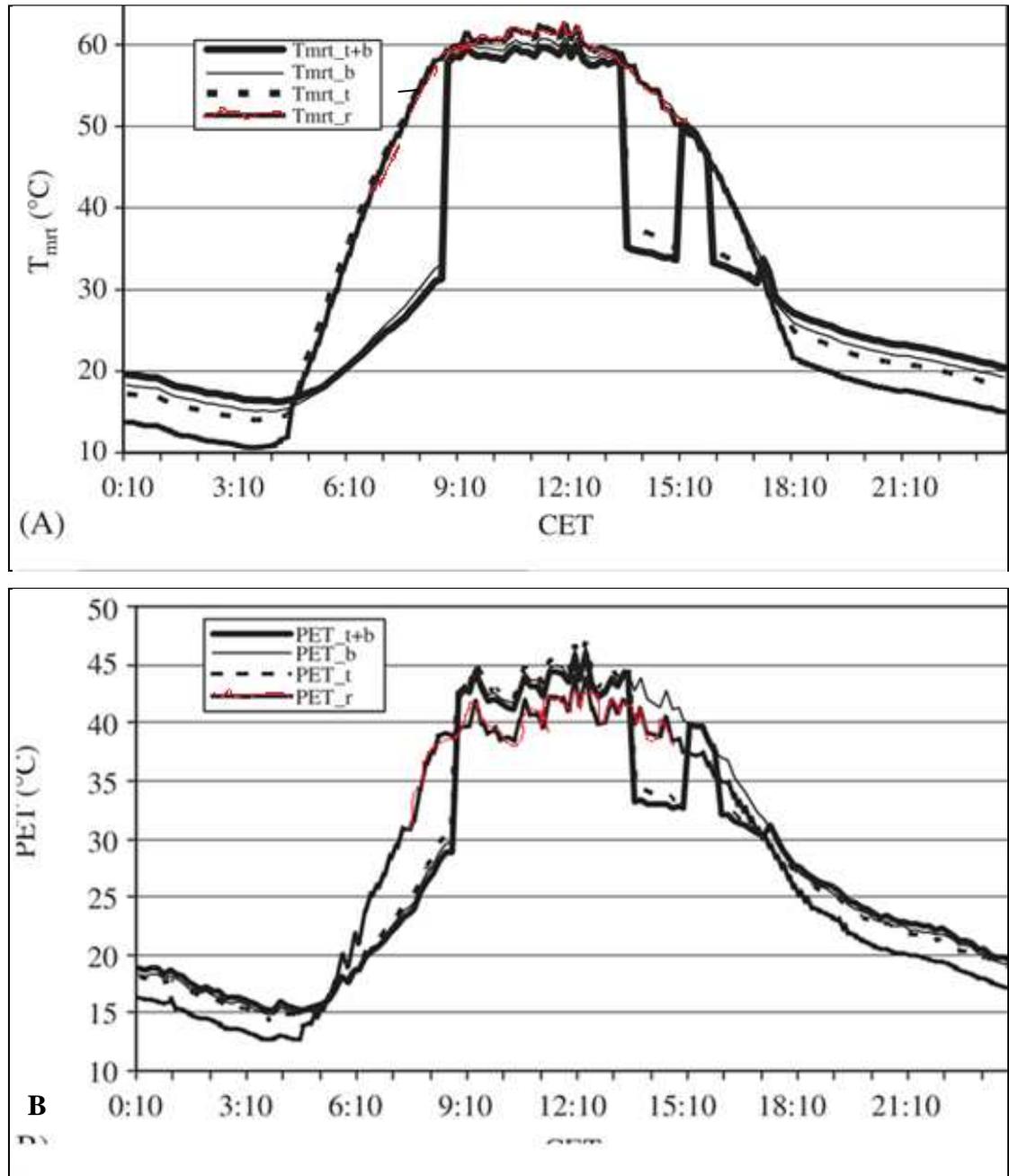
Comme montré sur la **figure VII-1**, il y a des différences considérables entre les facteurs SVF calculés (situation A : 0.278, situation B : 0.431, situation C : 0.560).

Les valeurs de la Tmrt et la PET obtenues indiquent les changements cruciaux des propriétés bioclimatiques provoquées par la différence des structures des surfaces.

La figure **VII-2** montre ces valeurs durant le jour dans les trois situations et en plus des valeurs ont été mesurées sur le toit, **r**, à une hauteur de 30 m avec un SVF = 1.

Les valeurs de la Tmrt ont des corrélations fortes avec les valeurs du rayonnement global du jour de mesure ensoleillé, par conséquent les changements significatifs dans la forme des courbes sont causés principalement par les différentes situations d'ombrage (cf. **Fig. VII-2-A**).

<sup>2</sup> A.Gulyas, J.Unger, A. Matzarakis, "Assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: Modling and measurements", *Building and Environment* 41, 2006, pp. 1713–1722



**Fig. VII-2:** Température moyenne radiante ( $T_{mrt}$ ) et PET calculées par RayMan dans les trois structures urbaines et sur le toit.

Source : Gulyas, A et al (2006)

Après le lever du soleil, les valeurs de la  $T_{mrt}$  s'accroissent rapidement sur le toit ( $T_{mrt\_r}$ ) avec un SVF de 1 et dans le cas des arbres seuls ( $T_{mrt\_t}$ ) avec un SVF de 0.560. Dans les deux autres situations l'accroissement commence seulement à 9h, quand le rayonnement direct frappe le corps hypothétique. (cf. Fig. VII-2- A)

Le degré d'accroissement observé est autour de 30°C. Les formes des courbes sont semblables à midi, parce que le rayonnement direct frappe le corps dans toutes les situations, mais il y a des différences dans les valeurs maximales observées.

La valeur maximale de 62.3°C est calculée sur le toit (Tmrt\_r), tandis qu'en même temps cette valeur atteint seulement 59.9°C dans le cas de (Tmrt\_t+b) soit la structure extérieure existante. Cette différence est provoquée par la projection des ombres des différents éléments environnants (murs, arbres, etc.).

Selon les valeurs calculées de la PET, un stress thermique est éprouvé le jour d'étude illustré par la valeur maximale de 46.8°C sur le toit. (**cf. Fig. VII-2- B**).

Il est remarquable sur la **figure VII-2- A** que la Tmrt sur le toit entre 10h et 13h est la plus élevée, Cependant en cette période sa PET est la plus faible. Ce comportement est expliqué par les grandes vitesses du vent sur le toit (à 30m) comparativement aux faibles vitesses du vent au niveau de la rue. **Donc l'influence de la Tmrt sur le confort thermique diminue sous l'effet du vent.**

La recherche sur différents environnements modelés par RayMan (des bâtiments seulement, arbres et bâtiments et seulement des arbres) montre des changements significatifs de la sensation humaine de confort entre les différentes situations.

**Elle révèle que l'influence des bâtiments seuls est bien plus significative que les arbres seuls.**

L'étude conclut que les conditions bioclimatiques humaines désavantageuses dans un emplacement urbain peuvent être améliorées par exemple en plantant des arbres mettant **en évidence l'effet combiné bénéfique de la réduction du SVF par des bâtiments et des arbres.**

### **VII-1-2- Etude de Gianni Scudo (1995)**

Gianni Scudo<sup>3</sup> et ses étudiants durant juillet 1995 et pendant des jours de faible vent, ont tenté d'estimer l'effet de la végétation sur le confort de quelques places publiques de Milan, ville affectée par l'ICU diurne (jusqu'à 1.5 °C) et nocturne (jusqu'à 4.5°C).

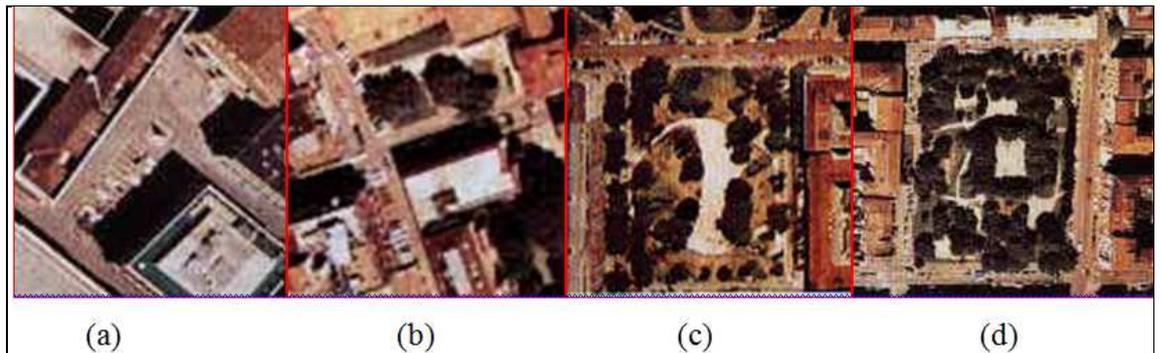
---

<sup>3</sup> G. Scudo, "The room's greens in the stone city", *Ambiente costruito: Bioclimatica*, 1995, [http:// www.mybestlife.com](http://www.mybestlife.com)

Les critères de choix des exemples d'étude pour caractériser le confort dans les places publiques sont la dimension et la situation dans le système urbain. Quatre places ont été choisies dans ce but (cf. **Fig.VII-3**) :

Deux de petites dimensions soit 2000 m<sup>2</sup>, place Saint Fedele, place typique des places à ciel ouvert et avec très peu de végétation du centre de Milan, de forme allongée orientée selon l'axe NE-SO, relativement entourée de bâtiments de hauteurs moyennes et la Place de sainte-Marie des croisades de même forme et orientation que la précédente, plus ouverte au ciel et avec de la végétation caduque au centre.

Deux autres de grandes dimensions : la place de Leonardo de Vinci de 35.000 m<sup>2</sup> de forme rectangulaire orientée selon l'axe N-S avec une importante distribution d'un mélange de végétation paysagée. La seconde est la place Aspromonte de 22.000 m<sup>2</sup> de forme carrée avec une importante végétation caduque qui donne un ombrage presque permanent.



**Fig.VII-3** : Photos aériennes des quatre places étudiées : (a) saint Fedele 2000 m<sup>2</sup>, (b) sainte-Marie des croisades, 2000 m<sup>2</sup>, (c) Leonardo de Vinci, 35000 m<sup>2</sup>, (d) Aspromonte, 22000 m<sup>2</sup>

*Source : Scudo.G (1995)*

Les résultats pour la place Sainte-Marie des croisades font apparaître clairement l'effet de l'ombre des arbres sur les températures de l'air où une différence moyenne de 2.5 °C et une maximale de 4°C est enregistrée entre les zones à l'ombre et au soleil. Par contre la place Aspromonte à végétation dense et ombrage permanent n'enregistre qu'une différence moyenne de 2°C et une maximale de 3.5°C entre les zones à l'ombre et les zones au soleil. Cependant les températures moyennes de l'air sont inférieures de 2°C par rapport à la place précédente.

De même, dans la place publique Leonardo de Vinci, l'influence de l'ombrage des arbres donne une différence moyenne et maximale respectivement de 2°C et 3°C donc

inférieure aux deux précédentes ; ceci nous ramène à dire que pour bénéficier au maximum du refroidissement dû à l'effet combiné de l'ombrage et l'évapotranspiration des arbres, il faut prévoir des petites places presque fermées à ombrage permanent, soit de faible SVF.

### VII-1-3- Etude de Shashua-Bar et Hoffman (1996)

La même conclusion suscitée s'illustre bien dans les résultats de l'étude menée par Limor Shashua-Bar et Milo E. Hoffman<sup>4</sup> sur l'effet du refroidissement lié à l'ombre des arbres à partir d'un modèle empirique dans 11 espaces urbains situés à Tel-Aviv.

Les résultats de l'effet du refroidissement dû aux arbres, par rapport à un espace nu de référence **R**, (cf. Fig. VII-4) et aux heures les plus significatives de la journée, pour Borochove square (60 x 60m), une cour urbaine **A** (15 x 30m) et une autre cour urbaine **B** (20 x 25m) sont résumés sur le **tableau VII-1**.

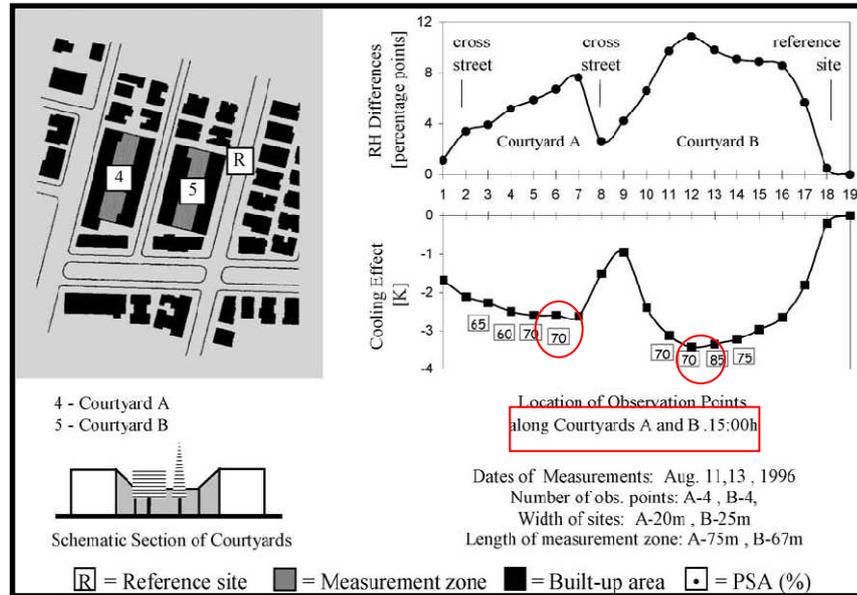
**Tab.VII-1** : Valeur du taux de refroidissement journalier maximum **K** des espaces urbains arborés par rapport à un espace nu de référence (R). (Source Shashua-Bar. L, Hoffman. M. E. 2004).

Emplacemen	9h	15h	18h
Borochove square	-1,30	-2,90	-1,20
cours urbaine A	-1,50	-2,50	-2,30
cours urbaine B	-1,80	-3,40	-2,60

L'analyse a été effectuée sur les données de température de l'air mesurées antérieurement durant Juillet-Août 1996. Un modèle empirique a été développé pour la prévision de l'effet de refroidissement à l'intérieur des sites.

L'effet de refroidissement moyen dans les trois emplacements était environ 2.8 K à 15h, le maximum atteint les 4 K dans la cour B.

<sup>4</sup> Shashua-Bar.L, Hoffman. E, "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



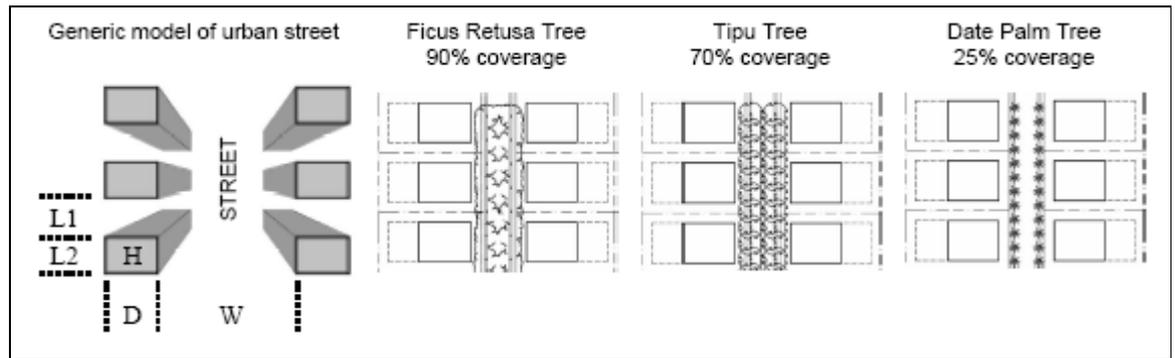
**Fig.VII-4:** Plan et section des deux cours urbaines A et B et le graphique du taux de refroidissement fonction de la surface partielle d'ombre (PSA).  
*Source: Shashua-Bar, L. Hoffman, M. E (2004).*

Les espaces les plus petits bénéficient donc d'un plus grand refroidissement, cependant les résultats révèlent qu'en plus des dimensions, l'effet de refroidissement dépend aussi de la température de l'air de l'espace adjacent, plus il est chaud meilleur est le refroidissement des espaces. Ceci explique le meilleur taux de refroidissement enregistré pour la cour B par rapport à la cour plus petite A. **Résultat d'une circulation d'air d'origine convective.**

#### VII-1-4- Etude de Shashua-Bar et al (2006)

L. Shashua-Bar et al<sup>5</sup> ont analysé trois espèces d'arbres avec différentes caractéristiques de canopée et trois niveaux de géométrie de rue indiqués par le rapport H/W (0.6, 0.8, 1) afin de déterminer leurs effets thermiques sur le microclimat d'une rue pendant la mi- juillet.(cf. **Fig. VII-5**).

<sup>5</sup>L.Shashua-Bar, O. Potchter, A. Bitan, D. Boltansky, Y.Yaakov, Climatic performance of urban trees under various building densities in the Mediterranean climate- A n an empirical and analytical study in Tel-Aviv, Sixth International conference on urban climate, 2006, p 248.



**Fig. VII-5 :** Caractéristiques géométriques de la rue avec différents pourcentages de couvertures d'arbres

Source Shashua-Bar. L et al (2006).

Les caractéristiques des espèces d'arbres utilisés sont résumées sur le **tableau VII-2**. Pour toutes les configurations étudiées,  $W = 27$  m,  $L1 = 10$  m,  $L2 = 20$  m et  $D = 25$  m. Trois configurations d'une rue commerçante urbaine typique de largeur de 27 m, avec 4, 6 et 8 étages (correspondant à un ratio  $H/W$  de 0.6, 0.8, et 1) respectivement ont été analysées. Les données climatiques d'été d'une station météorologique près de la ville de Tel-Aviv ont été employées pour calculer les écarts entre l'urbain et le rural.

**Tab.VII-2 :** Caractéristiques des arbres utilisés pour la simulation (Source : Shashua-Bar. L et al, 2006)\*

Espèce d'arbre	Diamètre des couronnes (m) et caractéristiques	Distance entre les arbres (m)	Hauteur de la couronne (m)	Niveau de protection de la rue par les canopées
Ficus retusa (figuier)	20 dense et large	12	20	90%
Tipuana Tipu	15 taille modérée	12	10	70%
Palmier	8 clairsemée et étroite	7	15	20%

Pour produire par simulation les modèles étudiés et analyser les différences des températures de l'air entre la géométrie de l'espace urbain ouvert étudié (en tenant compte des dimensions géométriques, des propriétés thermo-physiques et les paramètres de végétation) et les données de la station de référence, le modèle CTTC a été utilisé.

\* Informations récapitulées depuis la publication sous forme de tableau par l'auteur.

Pour les trois géométries étudiées d'abord sans végétation, les valeurs de la température de l'air urbaine sont plus élevées que les valeurs météorologiques.

La différence maximale en fonction de la géométrie est atteinte à 15h régressant de

$\Delta T_2 = 3^\circ\text{C}$  pour  $H/W = 0.6$  à  $\Delta T_2 = 1.5^\circ\text{C}$  pour  $H/W = 1$  (cf. **Tab.VII-3**)

**Ceci implique que plus profonde est la géométrie de l'espace ouvert, plus fraîches sont les températures journalières de l'air dues à un faible SVF.**

Après introduction des arbres, les résultats indiquent sur le **tableau VII-3** leur importance dans la diminution des températures extrêmes du même secteur sans arbres. Cet effet n'est pas constant dépendant principalement du niveau de protection des surfaces minérales par les couronnes, d'où les arbres de Ficus, principalement, ont montré l'effet de refroidissement le plus élevé car leurs couronnes couvrent 90% de la surface de la rue. Ce qui indique, comme solution, l'importance de la diminution du **SVF** par les couronnes d'arbres. Cependant cet effet diminue avec la profondeur de l'espace du à l'effet protecteur de la géométrie. (**Ainsi l'effet d'une géométrie à faible SVF diminue de l'effet des couronnes d'arbres**).

L'effet de refroidissement du Ficus est à son maximum  $\Delta T_1 = 3.44^\circ\text{C}$  à 15h pour  $H/W = 0.6$  et décline à  $2.69^\circ\text{C}$  pour  $H/W = 1$ .

En calculant les écarts entre les températures de la rue avec arbres et celles de la station météorologique à 15h, combinant ainsi l'effet thermique de la géométrie et l'effet maximum de refroidissement par les arbres sur l'ICU, les résultats indiquent que dans le cas du Ficus pour tous les niveaux de  $H/W$ , l'effet des arbres diminue des effets de la géométrie de la rue annulant de ce fait sa contribution à l'ICU.

Avec un  $H/W = 1$ ,  $\Delta T_2 = -1,2^\circ\text{C}$  ; alors qu'à un niveau de protection de 25%, le palmier a peu d'effet sur la charge thermique de la rue (cf. **Tab.VII- 3**).

Les conclusions principales de l'étude sont :

✓ L'effet de refroidissement de l'arbre s'est avéré pour dépendre principalement du niveau de couverture par sa couronne et peu sur d'autres caractéristiques d'espèces.

✓ l'effet de l'arbre en été est fortement lié à la géométrie urbaine de l'espace ouvert. Pour tout niveau de couverture d'arbre, l'effet de refroidissement n'est pas constant plus l'espace ouvert est profond, plus l'effet de refroidissement par les arbres est petit. Dans ce dernier cas, les arbres avec des couronnes de petits diamètres sont plus appropriés que ceux aux grands diamètres. Elles sont la plupart du temps nécessaires le long des trottoirs au profit des piétons.

**Tab.VII- 3 :** L'effet de refroidissement des différentes espèces d'arbres d'une rue selon différentes géométries en fonction de leurs protections maximales à 15h durant le mois de Juillet à Tel-Aviv (Source : *Shashua-BaR. L et al\**, 2006)

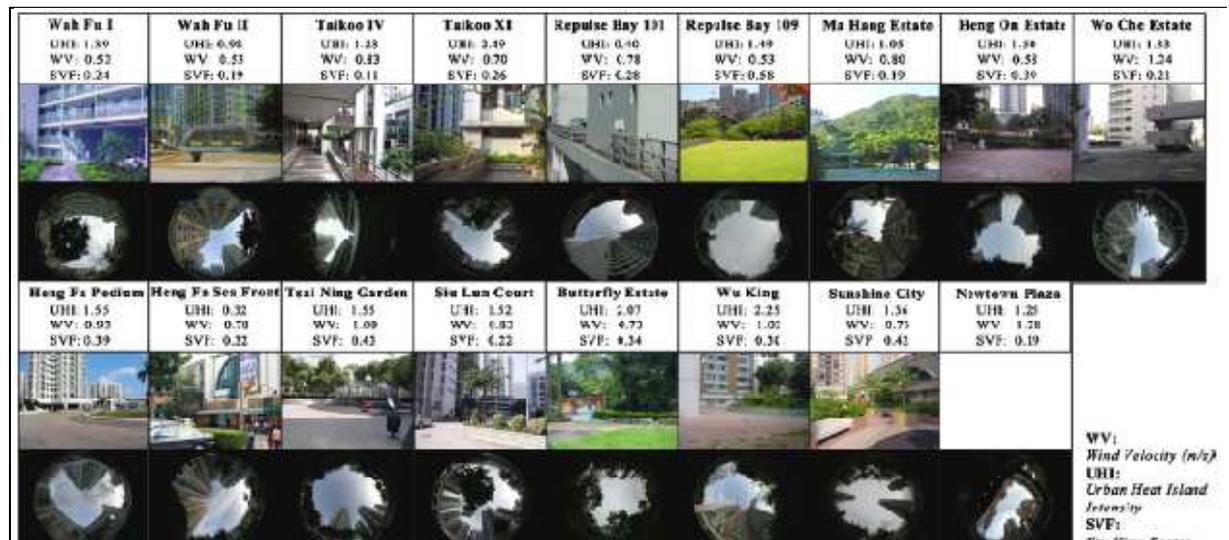
Espèce d'arbre	Protection	$\Delta T_1$ (°C)			$\Delta T_2$ (°C)		
		H / W			H / W		
		0.6	0.8	1	0.6	0.8	1
Rue sans arbres	"	"	"	"	+3,08	+2,05	+1,48
Ficus Retusa (figuier)	90%	-3,44	-2,99	-2,69	-0,35	-0,93	-1,20
Tipuana Tipu	70%	-2,06	-1,79	-1,61	+1,02	+ 0,26	-0,13
Palmier	25%	-0,46	-0,40	-0,36	+2,63	+1,66	+1,13

$\Delta T_1$  = différence de température entre la rue avec arbres et sans arbres.

$\Delta T_2$  = différence de température entre la rue et la station météorologique de référence.

**VII-1-5- Etude de Giridharan et al (2002-2004)**

Les expériences sur terrain effectuées par R. Giridharan et al<sup>6</sup> dans 8 domaines de logements collectifs et 9 privés (cf. **Fig. VII- 6**) sur la côte de Hong Kong révèlent d'autres paramètres.



**Fig.VII.6 :** Sites caractérisés par une grande intensité d'ilot de chaleur diurne.  
 Source : *Giridharan. R et al*, (2006)

\* Informations recueillies depuis la publication sous forme de tableau par l'auteur.

<sup>6</sup> R. Giridharan, S. Y. Lau, S.Ganesan, B. Givoni, "Impact of on-site variables on the influence of vegetation in lowering outdoor temperature in High-rise high-density environments, *PLEA* , The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture , Geneva, Switzerland, 6-8 September 2006

Elles indiquent que les variables in situ (albédo, SVF, altitude par rapport au niveau de mer, la surface couverte de végétation de plus d'1 m de hauteur) ont une influence substantielle sur le taux de réduction des températures extérieures par l'impact de la végétation et particulièrement le **SVF** et l'altitude de l'espace.

L'étude a conclu que :

✓ pour un **SVF faible** variant de 0.1 à 0.25, la végétation dont la taille est au-dessous de 1m couvrant 10 à 15 % par 1000 m<sup>2</sup> d'un terrain pourrait réduire sensiblement les températures de l'air aussi bien que le même pourcentage de végétation dont la taille est au-dessus de 1m dans les endroits où le SVF est élevé (0.4 ou plus).

✓ La réduction moyenne de l'ICU diurne et nocturne pour un terrain de 1000 m<sup>2</sup> planté à bas pourcentage de (0 à 10%) et plus élevé de (40 à 50%) de végétation dont la hauteur dépasse 1m sont 1 °C et 0.5 °C respectivement.

Les deux variables les plus influents étant le SVF et l'altitude.

L'augmentation du pourcentage de végétation de taille au-dessus de 1m diminuera l'intensité de l'ICU.

✓ Si une couverture insuffisante (moins de 20%) de végétation de taille supérieure à 1m est présente dans des endroits de haute altitude et avec un SVF de 0.25 à 0.45, l'ICU diurne augmentera ; par contre dans les endroits à basse altitude et avec un SVF de 0.1 à 0.25, même moins de 20% de végétation de taille supérieure à 1m diminuera l'ICU diurne.

✓ provoquer des différences de niveau par rapport au niveau du sol, dans le paysage urbain aussi petit que 0.5 m combiné à une végétation de plus d'1m de taille peut produire des résultats réels de part la réduction du **SVF**.

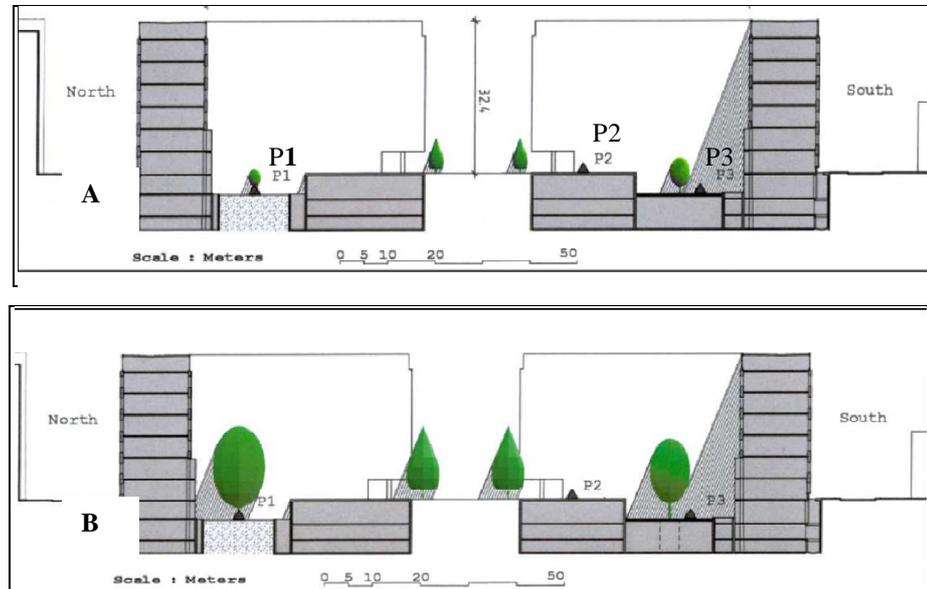
#### **VII-1-6- Etude de Picot (2004)**

Une étude de X. Picot<sup>7</sup> rend compte de l'impact évolutionnaire de la végétation sur le confort des utilisateurs dans une place nouvellement conçue, Piazza della Scienza à Milan, ville caractérisée par le phénomène d'ICU pendant la saison d'été.

---

<sup>7</sup>X. Picot, "Thermal comfort in urban spaces: impact of vegetation growth Case study: Piazza della Scienza, Milan, Italy", *Energy and Buildings* 36, 2004, 329–334

L'orientation de la place correspond étroitement aux points cardinaux. Les arbres sont trouvés à deux niveaux différents à chaque coin de la place. (cf. **Fig. VII-7**)



**Fig. VII-7** : Section de la place della Scienza à Milan,  
**A** en 2002, **B** en 2032

*Source : Picot, X (2004)*

La méthodologie adoptée implique un ensemble de mesures sur terrain (température de l'air température moyenne radiante, vitesse de vent et humidité relative) prises pendant un jour typique en juillet 2001 à une hauteur de 1.50 m du sol de 6 heures du matin à 18 h. (temps solaire) pour une évaluation simplifiée du confort thermique avec la méthode Comfa (cf. **Chap.V, section V-4-4**) et une simulation d'un scénario prenant en considération seulement la croissance des arbres jusqu'à ce qu'ils deviennent adultes, sans changer les caractéristiques de l'emplacement.

Trois points de mesures pour une évaluation significative ont été choisis :

Le point **P<sub>1</sub>** situé au Nord-est sur un sol engazonné, le point **P<sub>2</sub>** situé au centre de la place sur un sol minéral et entièrement exposé au rayonnement solaire. Le point **P<sub>3</sub>** situé au sud-est sur un sol minéral entre les arbres et les bâtiments et n'est jamais exposé au rayonnement solaire direct.

Les résultats calculés avec la méthode Comfa pour chaque point étudié sont montrés sur le **tableau VII-4** où les valeurs du bilan sont calculées pour juillet à 12h solaire.

**Tab.VII-4** : Résultats du bilan de 2002 à 2032 le 12 juillet à 12h solaire  
(Source : Picot. X, 2004)

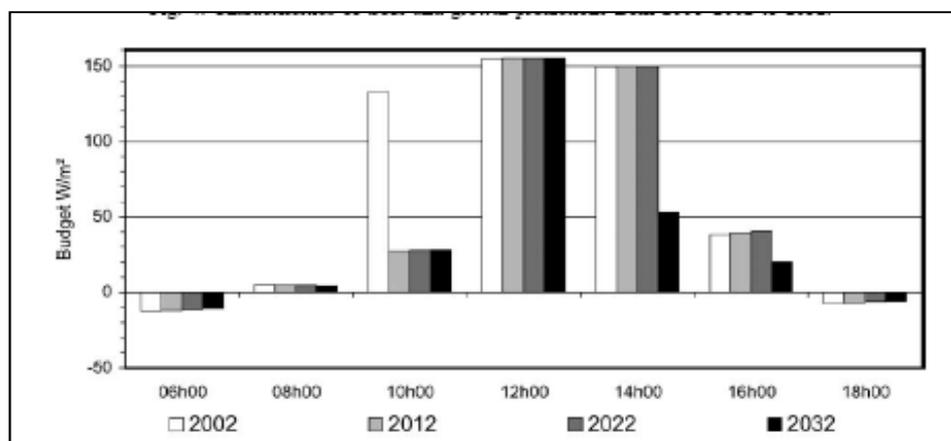
	2002	2012	2022	2032
<b>P1</b>				
Ground albedo (%)			22.00	
Mean environment albedo (%)	17.55	17.77	17.91	18.10
Sky view factor (%)	25.4	21.4	17.8	13.7
Absorbed radiation	479	479	479	479
Budget	155	155	155	155
<b>P2</b>				
Ground albedo (%)			16.00	
Mean environment albedo (%)	22.08	22.12	22.23	22.24
Sky view factor (%)	43.6	42.5	40.9	38.9
Absorbed radiation	454	454	454	454
Budget	191	191	191	191
<b>P3</b>				
Ground albedo (%)			15.00	
Mean environment albedo (%)	17.75	17.83	17.93	17.98
Sky view factor (%)	27.2	24.7	22.2	20.3
Absorbed radiation	368	368	368	367
Budget	46	46	46	46
Budgets in W/m <sup>2</sup> .				

Nous pouvons observer un niveau constant du rayonnement absorbé par un corps humain « P » de 2002 à 2032. Les points situés dans les secteurs ensoleillés (P<sub>1</sub> et P<sub>2</sub>) ont des résultats de bilan de plus de 150 W/m<sup>2</sup>, correspondant aux niveaux élevés du rayonnement absorbé et d'une sensation chaude.

Les résultats pour le point P<sub>3</sub> montre l'effet de l'ombrage constant des bâtiments, indépendamment de la croissance des arbres, sur la valeur du bilan énergétique d'une personne où 46 W/m<sup>2</sup> ont été enregistrés durant les heures les plus chaudes de la journée soit très près du confort. (cf.Tab.V- 4 , Chap. V)

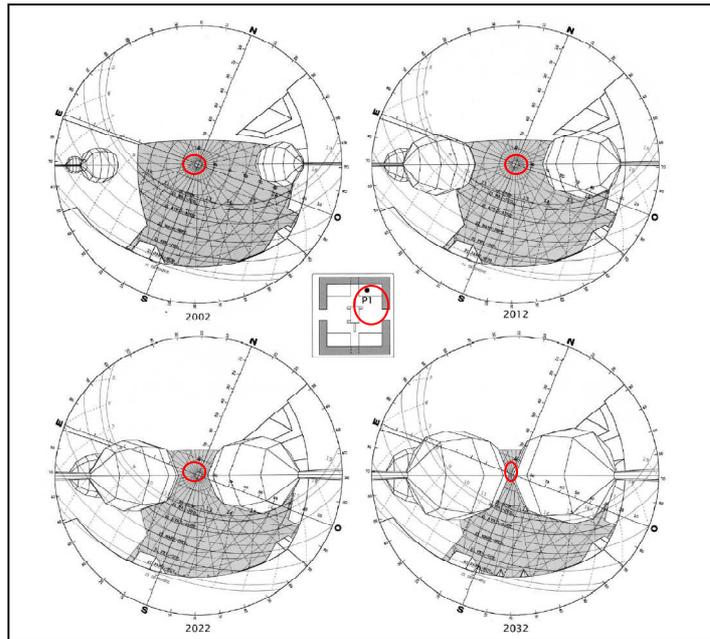
**Ceci met en évidence encore une fois un effet meilleur de la réduction du SVF par les bâtiments que par les couronnes d'arbres.**

Les résultats pour P<sub>1</sub> sont exprimés sur la **figure VII-8**.



**Fig.VII-8** : Résultats du bilan pour le point P<sub>1</sub> de 2002- 2032

Source : Picot. X (2004)



**Fig.VII-9** : Impact de la croissance de l'arbre sur la surface vue par le ciel au point P<sub>1</sub>.  
Source Picot. X (2004)

L'expansion du feuillage réduit le SVF (cf. **Fig. VII-9** et **Tab. VII-4**) et diminue le rayonnement solaire absorbé par P<sub>1</sub>, tandis qu'il augmente légèrement les radiations terrestres absorbés par P<sub>1</sub>.

Si l'effet d'ombrage par les bâtiments est responsable de la sensation du confort à 6h, 8h et 18h, la diminution du facteur SVF due à la croissance du feuillage (cf. **tab VII-4** et **Fig. VII-8**) n'a pas d'effet sur le rayonnement solaire absorbé par une personne à midi durant toute la période de mesure et par conséquent sur son bilan d'énergie.

Le premier effet de croissance des arbres sur la sensation de confort apparaît en 2012 avec une réduction forte du bilan de 132.97 à 27.46 W/m<sup>2</sup> à 10 heures du matin.

Le deuxième changement se produit en 2032 quand les arbres sont assez grands pour ombrager la partie nord de la place à 14 heures et 16 h. (cf. **Fig. VII-7**)

Durant toute la période d'étude, P<sub>1</sub> n'est jamais à l'ombre à midi et le bilan atteint toujours 150 W/m<sup>2</sup> (cf. **Fig. VII -9**).

**Ces résultats révèlent que les canopées des arbres ne donnent pas une ombre importante même après maturité si la distance entre les arbres ne produit pas l'effet souhaité.**

Cette conclusion nous mène à citer un exemple d'étude sur l'effet de la densité des arbres de par la réduction du SVF.

### **VII-1-6- Etude de Streiling et Matzarakis**

S. Streiling et A. Matzarakis<sup>8</sup> ont mesuré la température de l'air et l'humidité relative sous un arbre isolé et un groupement d'arbres, ils ont trouvé une différence de température de l'air de 0.9 à 1°C entre le groupement d'arbres et un espace découvert de référence, cependant pour un arbre isolé la différence était seulement 0,1°C.

Par contre les différences dans l'humidité relative moyenne étaient insignifiantes, elles étaient respectivement de 5% à 7% entre les secteurs avec arbres et sans arbres. Des petites différences de 1.1% et de 0.9% étaient enregistrées, respectivement, sous la couronne d'un arbre isolé et le groupement d'arbres. Ces mêmes résultats ont été prouvés antérieurement, 1975, par une étude dans la zone du centre d'affaire de Syracuse (USA) par Herrington et Vittum citées par Heisler<sup>9</sup> et en 1998 par C. Calzada et al<sup>10</sup> dans une étude dans le centre de Barcelone.

Cependant, leurs résultats de l'influence des arbres sur le paramètre thermique  $T_{mrt}$  et la PET étaient d'un intérêt spécial. Des différences maximales de 30.8°C et de 34°C dans la  $T_{mrt}$  ont été trouvées entre les endroits fortement et légèrement influencés par les arbres. Les différences moyennes et maximales sont respectivement de l'ordre de 19.3°C et 21.0°C.

Les différences maximales montrées par la PET sont de l'ordre de 17.6 °C et 16.6°C, tandis que par rapport aux valeurs moyennes, il y avait des différences maximales de 7.5°C et de 9.9 °C respectivement.

Le sentiment de fraîcheur exprimé par les personnes est donc un résultat d'une réduction du rayonnement reçu (R) qu'il soit direct diffus ou réfléchi, c'est-à-dire de la réduction du **SVF**, aussi bien que des radiations en grandes longueurs d'ondes provenant notamment des sols artificiels.

De ce fait un petit groupe d'arbres aussi bien qu'un arbre isolé a des effets positifs sur le confort thermique.

---

<sup>8</sup> S. Streiling, A. Matzarakis: "Influence of single and small clusters of trees on the bioclimate of city", *Journal of Arboriculture* 29 (6), November 2003, pp. 311- 316.

<sup>9</sup> G.M.Heisler, "Trees modify Metropolitan climate and Noise", *journal of arboriculture*, volume 3 N° 11, Novembre 1977.

<sup>10</sup> J. R Calzada, J. Roset, Ochoa et Serra, "Vegetation influences on the human thermal comfort in outdoor spaces", <http://dfa.upc.es/personals/jroset/lyonvege>.

## **VII-2- Comparaison des techniques de rafraîchissement**

Afin de déterminer quelle technique serait plus salubre pour l'amélioration du confort thermique. Différentes recherches se sont focalisées sur des scénarios de comparaison et/ou de combinaison.

### **VII-2-1- Etude d'Eleftheria et Jones (2006)**

Des techniques traditionnelles pour abaisser les températures autour des bâtiments, telles que le contrôle de la quantité du rayonnement absorbée par les surfaces ou l'utilisation des surfaces transpirantes sont examinées théoriquement pour différentes caractéristiques climatiques et pour le mois de Juillet.<sup>11</sup>

Un des climats examinés est le méditerranéen (chaud et sec) avec des données climatiques d'Athènes, Les températures de surface aussi bien que le confort thermique humain ont été examinés pour cinq types de toits à grand SVF qu'on pourra assimiler à un espace public ouvert.

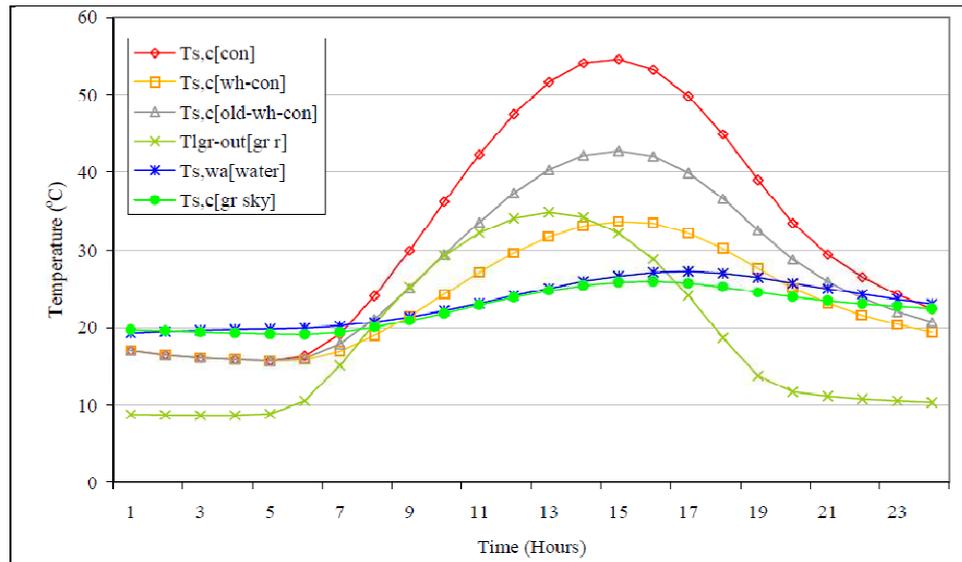
Pour le cas d'Athènes (cf. **Fig. VII-10** et **Tab. VII-5**), Sous la pergola ( hauteur 2 m et une végétation de 20 cm d'épaisseur), le rayonnement solaire qui atteint la surface du toit en béton est seulement la fraction permise par sa couronne, soit diminution considérable du SVF. On peut observer que les températures de surface sous la pergola ont une distribution très semblable à celle du toit bassin où la différence extrême est de 0.8 °C.

Ces deux types de toit atteignent une différence maximale d'environ 28°C avec le toit à découvert en béton.

Le jour, le toit végétal montre des températures de surface beaucoup plus basses que le toit enduit de blanc avec une différence moyenne de 10.1°C. Après trois ans, quand l'albédo du toit blanc baisse de 25%, cette diminution de température perd 57%.

---

<sup>11</sup>A. Eleftheria.A, Jones. P, "Ponds, Green Roofs, Pergolas and High Albedo Materials; Which Cooling Technique for Urban Spaces?" , PLEA, the 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Genève, Suisse, 6-8 Septembre, 2006.



**Fig.VII-10:** température de surface pour un toit en béton [con], toit en béton enduit de blanc [wh-con] , toit en béton enduit de blanc après vieillissement [old-wh-con] , toit vert [gr r], toiture bassin [water] et pergola [gr sky] pour Athènes.

Source Eleftheria.A, Jones. P (2006)

**Tab.VII-5:** tableau récapitulatif des différences des températures de surface ( $\Delta T_s$  en °C) entre le toit en béton de référence et les différents types de toits.

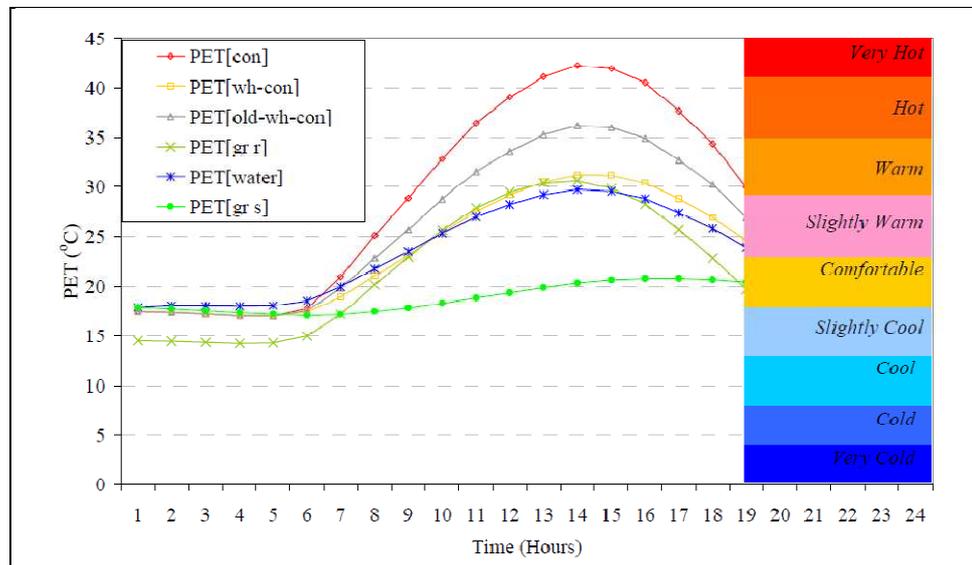
(Source : Eleftheria.A, Jones. P\*, 2006)

Type de toiture	$\Delta T_s$ max	$\Delta T_s$ moy
Toit en béton enduit de blanc	20.9	12.4
Toit en béton enduit de blanc après 3 ans.	11.9	7.1
Toit vert	26.2	14.4
Pergola	28.8	15
Toiture bassin	28.1	14.8

Avec l'utilisation de la température équivalente physiologique (PET) et son rapport avec la perception thermique, le confort thermique d'un homme debout sur chacun des cinq types de toits est examiné.

\* Informations recueillies depuis la publication sous forme de tableau par l'auteur.

Comme observé sur la **figure VII-11**, l'ombrage fait de la pergola la technique la plus efficace du point de vue confort thermique de par son rôle dans la réduction du SVF et l'évapotranspiration.



**Fig.VII-11** : température physiologique équivalente pour une personne debout sur un toit en béton [con], toit en béton enduit de blanc [wh-con] , toit en béton enduit de blanc après vieillissement [old-wh-con] , toit vert [gr r], toiture bassin [water] et pergola [gr r] pour Athènes.

Source Eleftheria.A, Jones. P, (2006)

La sensation thermique sur le toit enduit de blanc s'étend de " légèrement froid" à légèrement chaud à Athènes. Après 3 ans, la sensation thermique sur ce toit n'est pas aussi agréable en atteignant la sensation "chaud" pendant 8 heures à Athènes. Comme peut être observé aussi, la perception thermique sur le toit plat en béton est très désagréable atteignant la zone "très chaude" durant 3 heures.

**Il est évident que les techniques les plus efficaces pour créer des espaces thermiquement plus confortables sont ceux provoquant l'évapotranspiration (les toits verts et les pergolas) et réduisant le SVF (Pergolas). Les matériaux à haut albédo peuvent améliorer la sensation thermique pendant quelques heures seulement et même cette durée décline au fil des années.**

### **VII-2-2- Etude Echave et Cuchí (2004)**

Une autre étude par simulation a été menée en Espagne par C. Echave et A. Cuchí<sup>12</sup> pour l'application d'une méthode d'analyse de l'habitabilité d'un espace urbain. L'évaluation de l'habitabilité est basée sur la détermination du nombre d'heures de confort thermique par jour dont peuvent jouir des personnes engagées dans différentes sortes d'activités dans les espaces urbains comme la lecture, le repos, la marche, le vélo ou de l'exercice et tout au long de l'année, en vue de leur utilisation potentielle et également pour proposer des modifications des détails de conception dans ces endroits où les conditions critiques peuvent apparaître en se basant sur le modèle du confort thermique proposé par Ochoa de la Torre (Brown et Gillespie, méthode Comfa, **cf. chap.V**).

La simulation du rayonnement a utilisé le programme Radtherm en tant qu'outil de calcul. Pour analyser les conditions en été et en hiver, des données météorologiques de deux jours représentatifs de Juin et de Janvier à Madrid ont été utilisées.

Le scénario étudié représente un boulevard situé à Madrid de 550 m de long, 50 m de large et entouré de bâtiments de 20 m de hauteur. Trois scénarios différents ont été proposés dans lequel la présence de la végétation est prise comme variable :

- **Le scénario A** : le boulevard est considéré sans aucune trace de végétation.

Le pavage se compose de carreaux en béton (concrete tiles) pour les secteurs piétonniers et du macadam (tarmac surface) sur la chaussée et dans les aires de stationnement.

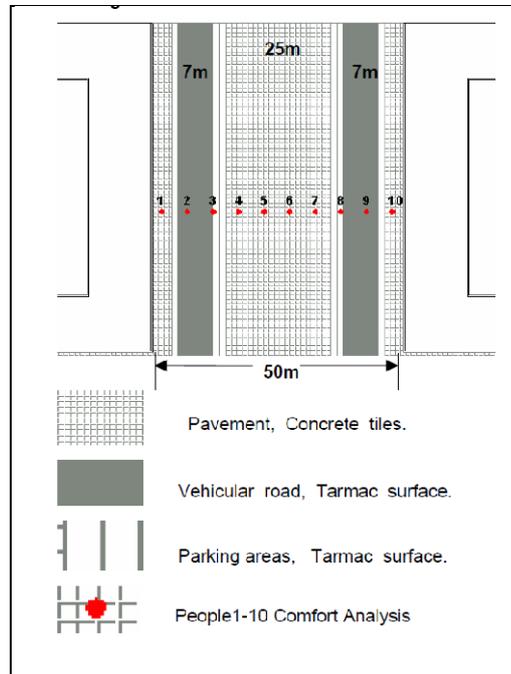
- **Le scénario B** : estime que le boulevard est ombragé par des arbres de 6 m de hauteur et 6 m de diamètre pour les couronnes dont le coefficient de transmission du rayonnement solaire est de 14%. La promenade centrale est plantée d'arbres de 10 m de hauteur et 7 m de diamètre pour les couronnes avec un coefficient de transmission du rayonnement solaire de 20%.

- **Le Scénario C** : basé sur le scénario B remplaçant le macadam des aires de stationnement par les carreaux de béton et les trottoirs de la promenade centrale par de l'herbe.

---

<sup>12</sup> C. Echave, A. Cuchí, "*Habitability Method Analysis in Urban Spaces*", PLEA, the 21<sup>st</sup> Conference on Passive and Low Energy Architecture, Eindhoven, Hollande, 2004.

Comme représenté sur la **figure VII-12**, dix personnes ont été localisées à 5 m de distance l'une de l'autre le long d'une section transversale du boulevard.



**Fig.VII-12:** Caractéristiques de la rue.  
*Source : Echave. C et Cuchi. A (2004)*

Les résultats obtenus le long de cette section pour une activité légère pendant le mois de Juin ont montré des variations considérables à travers la quantité du rayonnement absorbée par une personne. Sur les **tableaux VII-6, VII-7, VII-8.**

le nombre total d'heures de confort par jour (**UCH/ day**) est exprimé pour une activité légère comme la lecture ou le repos.

Les résultats obtenus dans les trois scénarios, font clairement voir la tendance vers une augmentation du nombre d'heures utiles de confort par jour quand les caractéristiques extérieures du boulevard ont été améliorées.

L'étude montre une amélioration de l'équilibre des personnes quand les surfaces sont protégées des rayons solaires directs soit la réduction du **SVF**, et le remplacement du macadam par les carreaux de béton et l'introduction des herbes.

La présence simple des arbres le long d'une rue dans le scénario **B** cause une augmentation entre (76 et 78%) du nombre d'heures utiles de confort par jour ; passant de 4.80 UCH/day à 8.80 UCH/day. L'introduction des surfaces d'herbe dans le scénario

C a causé une augmentation de 17% du nombre d'heures comparé au scénario des arbres seuls soit **10.80 UCH/ day**.

L'état de confort s'est amélioré par l'ombre des arbres spécialement dans les secteurs les plus près des façades des bâtiments entourant le boulevard en général tôt le matin et en début d'après midi.

En hiver, le plus grand nombre d'heures de confort utile a été enregistré dans les quatre mètres les plus près des façades des bâtiments le long du boulevard, et dans la zone centrale qui reçoit la plus grande quantité du rayonnement direct.

Un autre facteur important est l'orientation de la rue NE-SO qui offre plus de 37% d'heures de confort utile par jour qu'avec une orientation N-S.

**Tab.VII-6 :Scénario A** (Source. Echave. C et Cuchi. A ,2004)

Balance Interpretation										
Very Warm	> 150W/m2									
Would prefer to be cooler	50 to 150W/m2									
Comfort Level	-50 to 50 W/m2									
Would prefer to be warmer	-50 to -150W/m2									
Solar Time	People's Energy Balance Light Activity (W/m2)									
	Scenano A									
June 24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0:00	-39	-42	-46	-57	-59	-59	-56	-42	-38	-38
1:00	-43	-46	-50	-60	-62	-62	-56	-47	-43	-42
2:00	-47	-51	-55	-63	-65	-65	-62	-52	-48	-46
3:00	-51	-54	-58	-68	-68	-68	-65	-55	-52	-50
4:00	-55	-59	-63	-69	-71	-71	-66	-61	-57	-54
5:00	-55	-59	-64	-70	-71	-71	-66	-63	-59	-56
6:00	-27	-33	-36	-29	-31	-31	-32	-38	-37	-31
7:00	61	7	1	15	11	10	6	-11	-12	-4
8:00	110	63	77	137	144	15	38	12	11	20
9:00	138	108	100	122	150	147	76	36	32	43
10:00	137	127	124	180	190	178	106	72	61	61
11:00	100	135	134	167	198	197	180	105	99	74
12:00	177	149	149	213	210	215	204	128	123	148
13:00	154	153	150	218	223	223	214	147	143	173
14:00	120	131	177	227	231	231	225	175	173	198
15:00	130	108	117	223	226	226	220	184	195	210
16:00	75	77	01	75	137	100	204	109	134	214
17:00	01	00	01	50	57	57	64	129	134	-41
18:00	32	32	32	10	20	20	20	54	62	54
19:00	6	6	9	33	35	35	28	5	10	0
20:00	-24	-22	-20	-49	-52	-51	-40	-15	-10	-10
21:00	28	28	32	61	63	53	48	24	19	24
22:00	31	32	36	62	61	51	50	30	26	29
23:00	-34	-36	-40	-53	-56	-55	-52	-36	-31	-32
<b>UCH/day</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>

**Tab.VII-7 : Scénario B** (Source: Echave, C et Cuchí, A, 2004)

Balance Interpretation										
Very Warm	> 150W/m <sup>2</sup>									
Would prefer to be cooler	50 to 150W/m <sup>2</sup>									
Comfort Level	-50 to 50 W/m <sup>2</sup>									
Would prefer to be warmer	-50 to -150W/m <sup>2</sup>									

Solar Time	People's Energy Balance Light Activity (W/m <sup>2</sup> )									
	Scenario B									
June 24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0:00	-34	-43	-43	-46	-44	-43	-45	-41	-41	-31
1:00	-37	-47	-47	-48	-46	-45	-47	-44	-45	-34
2:00	-40	-51	-51	-51	-49	-48	-50	-48	-49	-38
3:00	-43	-54	-53	-53	-51	-50	-52	-51	-52	-40
4:00	-46	-57	-57	-56	-54	-53	-55	-55	-55	-43
5:00	-47	-58	-58	-57	-55	-54	-56	-57	-57	-45
6:00	-36	-41	-40	-31	-31	-31	-33	-41	-42	-34
7:00	21	-18	-16	-3	-5	-5	-9	-22	-25	-20
8:00	3	1	5	25	18	17	12	-5	-8	-7
9:00	35	20	25	47	45	51	42	13	9	7
10:00	79	76	40	65	60	59	123	44	23	18
11:00	79	84	85	73	85	70	114	77	68	26
12:00	80	100	102	81	111	111	71	93	86	72
13:00	59	110	115	137	76	91	73	108	102	100
14:00	55	88	137	179	84	81	93	80	126	123
15:00	47	68	81	184	96	78	72	74	73	142
16:00	29	43	51	44	151	107	52	55	53	46
17:00	20	30	36	27	28	28	30	44	28	30
18:00	5	9	13	3	7	5	7	18	20	15
19:00	-16	-17	-16	-29	-24	-28	-27	-11	-11	-10
20:00	-23	-28	-27	-40	-31	-38	-38	-23	-23	-19
21:00	-25	-32	-31	-40	-30	-39	-39	-28	-28	-22
22:00	-27	-35	-34	-41	-28	-39	-39	-31	-32	-24
23:00	-29	-38	-37	-42	-26	-39	-41	-35	-35	-26
UCH/day	5	5	5	3	3	3	6	6	6	6

**Tab.VII-8 : Scénario C** (Source: Echave, C et Cuchí, A, 2004)

Balance Interpretation										
Very Warm	> 150W/m <sup>2</sup>									
Would prefer to be cooler	50 to 150W/m <sup>2</sup>									
Comfort Level	-50 to 50 W/m <sup>2</sup>									
Would prefer to be warmer	-50 to -150W/m <sup>2</sup>									

Solar Time	People's Energy Balance Light Activity (W/m <sup>2</sup> )									
	Scenario C									
June 24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0:00	-39	-52	-52	-46	-41	-40	-47	-48	-48	-38
1:00	-41	-54	-54	-49	-45	-44	-50	-51	-51	-40
2:00	-43	-56	-57	-52	-48	-47	-53	-53	-54	-43
3:00	-44	-58	-59	-54	-51	-50	-56	-55	-55	-45
4:00	-47	-61	-62	-58	-54	-53	-59	-58	-58	-48
5:00	-48	-62	-63	-59	-56	-56	-60	-59	-60	-49
6:00	-42	-45	-46	-43	-39	-39	-45	-45	-45	-40
7:00	-18	-24	-23	-29	-16	-17	-24	-25	-27	-27
8:00	-21	-6	-3	0	3	2	-5	-7	-10	-4
9:00	-13	13	16	20	23	22	16	9	6	-4
10:00	7	66	32	35	39	38	66	35	17	3
11:00	8	72	75	46	52	50	62	68	63	9
12:00	11	88	92	58	84	79	51	87	81	45
13:00	6	100	102	79	66	65	51	96	92	69
14:00	0	76	117	111	74	73	58	61	102	82
15:00	-6	46	51	123	68	68	52	51	47	98
16:00	-14	17	22	36	123	71	34	35	30	17
17:00	-17	3	8	22	31	32	20	27	61	24
18:00	-18	-13	-6	0	19	12	2	-2	-1	-4
19:00	-31	-37	-35	-27	-20	-19	-29	-31	-32	-26
20:00	-34	-47	-46	-37	-30	-29	-39	-42	-42	-34
21:00	-35	-48	-48	-39	-33	-32	-41	-44	-44	-34
22:00	-35	-49	-49	-41	-35	-34	-43	-45	-45	-35
23:00	-36	-50	-50	-43	-38	-37	-45	-46	-46	-36
UCH/day	15	10	10	11	9	10	9	10	10	12

### VII- 3-Effets combinés de l'eau et la végétation

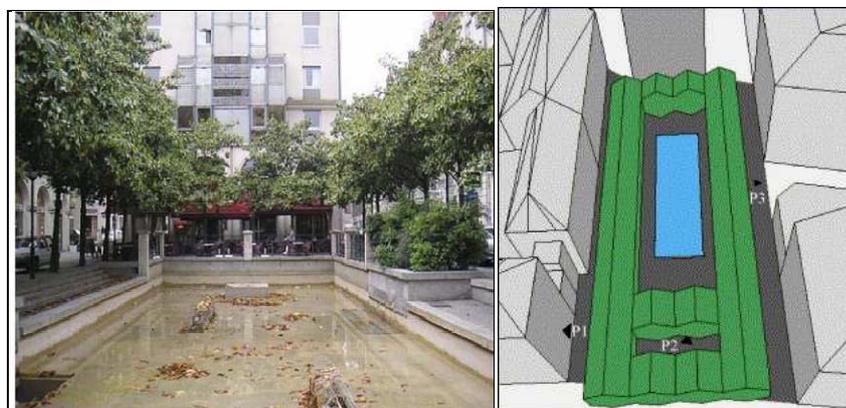
La présence des arbres et des bassins d'eau améliore l'environnement thermique urbain en été par le refroidissement de l'air et l'ombrage des surfaces urbaines.

Évaporation et évapotranspiration sont toujours associées au transfert de chaleur entre l'eau, la végétation et l'air. Le vent a un rôle essentiel dans le processus ; il remplace l'air saturé par de l'air plus sec à proximité des surfaces d'eau et de végétation.

Les recherches ont vérifié que le refroidissement en raison de la transpiration d'une plante de grande dimension associée à un jet d'eau est égal à la capacité de cinq petits dispositifs de climatisation fonctionnant pendant 20 heures par jour.<sup>13</sup>

#### VII- 3-1- Etude de Robitu et al (2006)

Les simulations à l'aide du modèle numérique Solene ont été effectuées pour la place Fleuriot à Nantes, France (latitude 47° nord)<sup>14</sup>, pour une journée typique d'été ensoleillée, claire et chaude, le 15 Juillet. C'est un espace minéral ouvert avec un bassin d'eau et des arbres de magnolia (**Fig. VII-13**) orienté NO-SE.



**Fig. VII-13** : Positions des points d'analyse.

Source : Robitu. M et al (2006)

La température de l'air changeait de 294 K à 305 K (20.8°C à 31.8°C), l'humidité relative a été fixée à 55%, et à un vent de direction sud d'une vitesse de 2 m/s à 10 m au-dessus du sol a été utilisé.

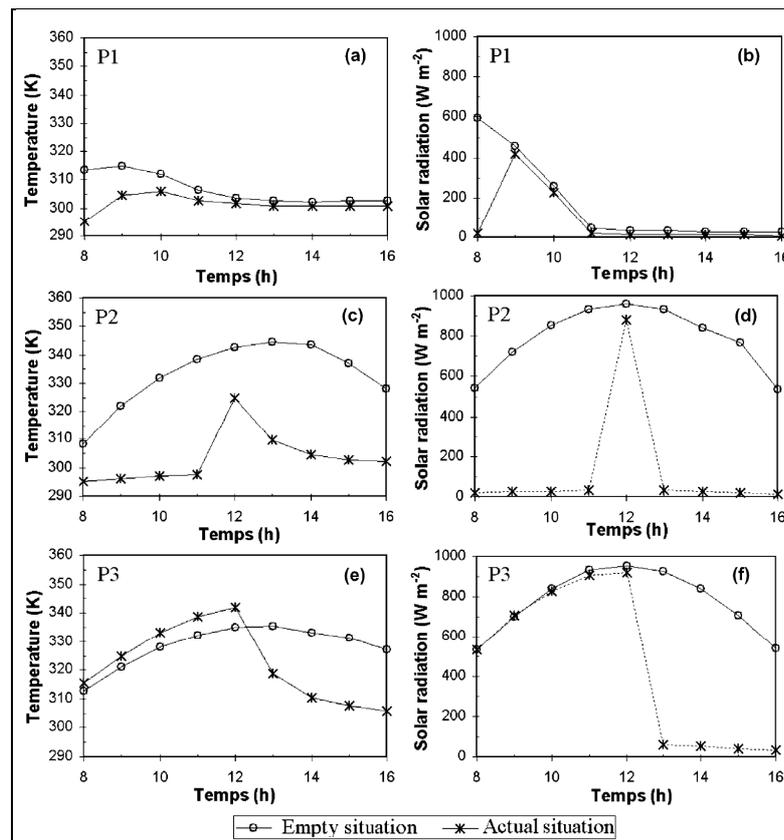
<sup>13</sup> G. M Heisler, *Op.cit* 9

<sup>14</sup> M.Robitu, M. Musy, C. Inard, et D. Groleau "Modeling the influence of vegetation and water pond on urban microclimate", *Solar Energy* 80, 2006 , pp 435-447

L'étude de l'impact des arbres et de l'étang d'eau sur le microclimat et le confort thermique est effectuée pour deux scénarios : la place considérée nue (empty), sans eau sans végétation, et la situation réelle (actual situation) avec un étang d'eau et les arbres, qui peuvent fournir une grande ombre. Des mesures sur terrain ont été faites au préalable, et leur grande corrélation avec celles simulées a été vérifiée.

Les résultats de la simulation correspondant à trois points de la place Fleuriot sont analysés. Les emplacements de ces points sont représentés sur la **figure.VII-13** où les points sont : P1, sur le mur de bâtiment ; P2, sur le sol, au-dessous de la couronne d'un arbre ; et P3 sur le sol nu.

Dans les trois points, la température de surface est différente pour les deux situations analysées (cf. **Fig. VII-14**). Les résultats montrent l'effet des arbres sur la réduction du rayonnement solaire incident sur les surfaces et par conséquent les températures de surface (**Réduction du SVF**).



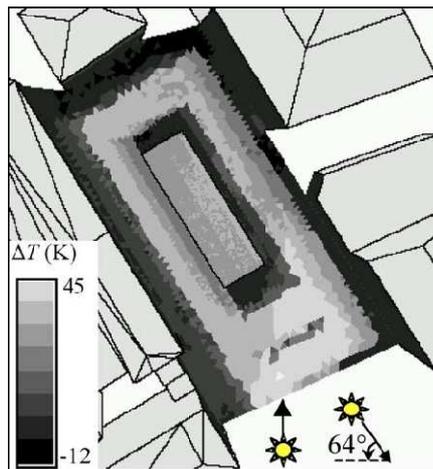
**Fig.VII-14** : Températures surfaciques et rayonnement solaire à la place Fleuriot en situation nue et réelle.

Source : Robitu. M et al (2006)

La valeur de la différence maximale de température est égale à 40.8 K est obtenue dans P<sub>2</sub> à 11h du matin pour un rayonnement solaire de 96.5%. Réduction due à la présence d'arbres.

Une différence de température négative entre la place nue et le cas réel est obtenue jusqu'à midi où une importante diminution du rayonnement solaire est enregistrée (cf. Fig. VII-14-e, VII-14-f). Elle s'explique par une augmentation significative du flux d'air convecteur dû à l'échauffement de la surface minérale dans la situation nue.

La Fig. VII-15 illustre la différence de température de surface ( $\Delta T$ ) entre situation nue et réelle à midi. On peut observer que la différence obtenue pour l'étang d'eau et les surfaces ombragées est significative en raison de la réduction et le changement du flux d'air. Des différences de température de surface négatives sont obtenues. (cf. Fig. VII-15).

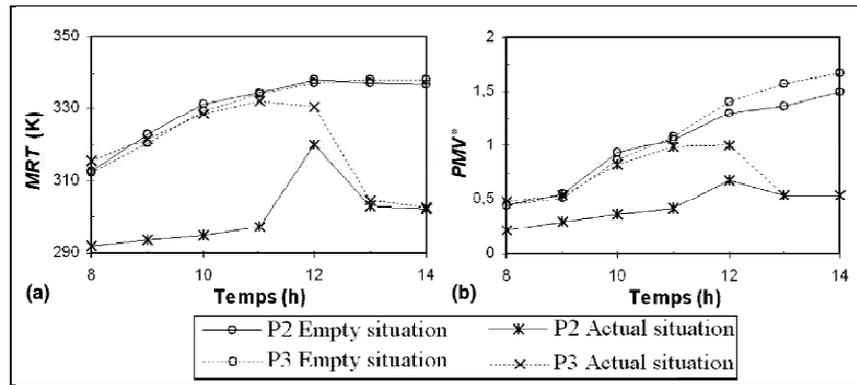


**Fig. VII-15** : Différences de température de surface entre la situation nue et la situation réelle à 12 h.

*Source : Robitu. M et al (2006)*

Les températures moyennes radiantes MRT (T<sub>mrt</sub>) obtenues pour la situation réelle (avec arbres et bassin d'eau) enregistrent une réduction significative comparée à celles obtenues pour la situation nue. L'évolution de la température radiante moyenne est corrélée avec l'évolution du rayonnement solaire.

Par exemple, à 14 h, la différence de température moyenne radiante entre la situation nue et réelle est égale à 35.1 K en P<sub>2</sub> et à 40.1 K en P<sub>3</sub>. A ce moment, pour la situation réelle, P<sub>1</sub> et P<sub>3</sub> sont dans l'ombre des arbres. (cf. Fig. VII-16)



**Fig.VII-16 :** La température moyenne radiante et l'indice PMV\* à 1.5 m au-dessus du sol pour une personne debout dans le P2 et le P3  
*Source : Robitu. M et al (2006)*

Semblable aux températures moyennes radiantes, le PMV obtenu pour la situation réelle (avec étang d'eau et arbres) montre une réduction significative comparée à celle obtenue pour la situation nue. Le PMV maximum à 14h est environ 3.4 (extrêmement chaud) pour la place nue et 0.54 (zone de confort neutre) pour la situation réelle, avec des arbres et étang d'eau. **Ceci montre l'effet positif de la combinaison de l'eau et la végétation pendant les heures de surchauffe.**

### VII- 3-2- la recherche de Termotecnia Group\* (1987-1992)

Durant l'EXPO 1992 de Séville dont l'un des objectifs principaux des concepteurs était de fournir un environnement extérieur confortable dans lequel les 290.000 visiteurs estimés par jour peuvent se détendre en visitant les cent pavillons internationaux repartis sur 215 hectares dont les trois quarts sont laissés en tant qu'espaces extérieurs.

Un programme-cadre a été conçu par une équipe d'architectes, de planificateurs et les autorités où ils ont établi des critères pour réaliser un cadre bioclimatique et écologique. Le principe fondamental était de fournir un refroidissement externe passif par l'utilisation de l'eau et l'emploi de la végétation de différentes espèces et tailles, pour maximiser la filtration du rayonnement solaire et de l'air chaud à différents niveaux. Des couloirs de vents dominants ont été créés par des écrans végétaux augmentant le refroidissement. Un rapport espace végétal /espace construit de 60 / 40 a été respecté.

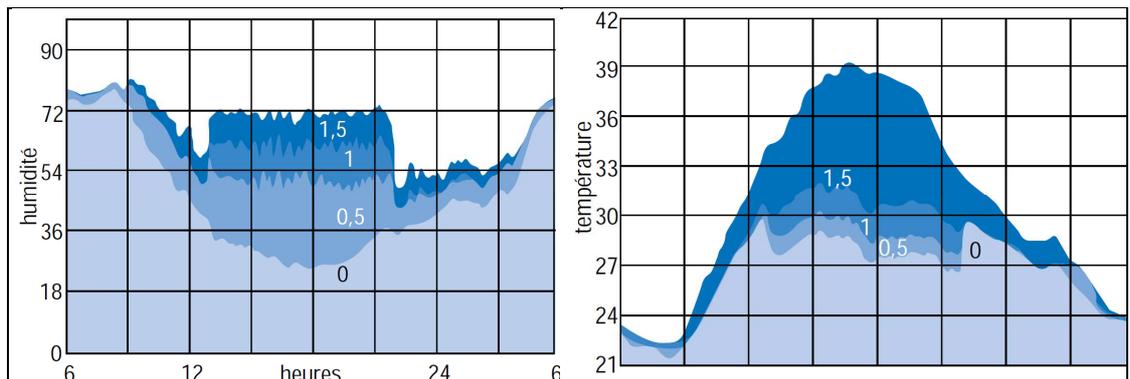
\* Université de Séville

L'eau a été employée dans tous les emplacements ; en fontaines, murs d'eau, bremiseurs, cascades et bassins. (cf. Fig. VII- 17)



**Fig.VII-17** : Parmi les stratégies de rafraîchissement utilisées dans l'Expo de Séville  
*Source: Energy Research Group, [http:// www. erg.ucd.ie](http://www.erg.ucd.ie).*

Les résultats extraordinaires de l'effet combiné des systèmes de rafraîchissement sont illustrés sur les deux graphes suivants :



**Fig.VII-18** : Effets climatiques des systèmes de rafraîchissement par humidification utilisés à Séville, au pavillon de la CE. Température et humidité à différents niveaux (0.5, 1, 1.5 m).

*Source : Izard. J.L (1993)*

## **Conclusion**

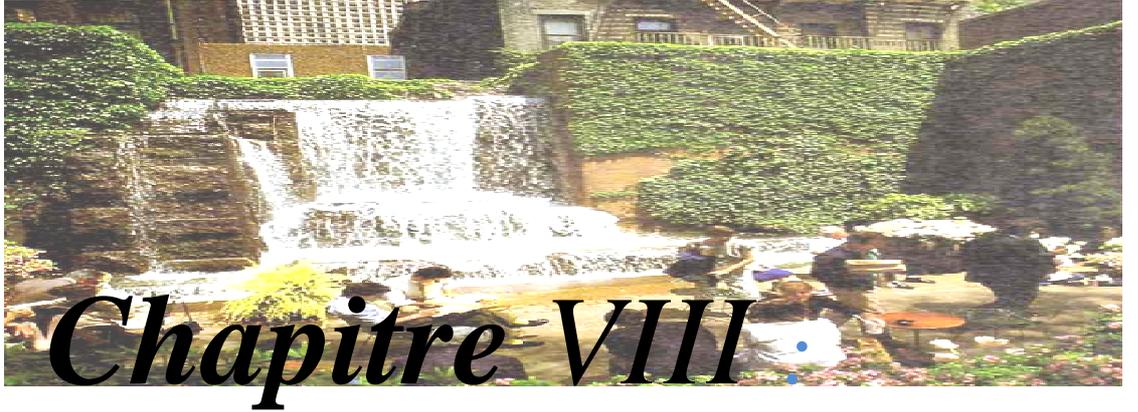
La finalité du traitement des espaces extérieurs est bien de créer des espaces confortables pour leurs usagers ainsi qu'aux abords des bâtiments. Pour cela le concepteur peut jouer au maximum sur ce qui améliore les bilans radiatif, convectif et évaporatif.

La conception urbanistique et architecturale des espaces de vie extérieurs doit prendre en compte les évolutions saisonnières et les fluctuations journalières des ambiances extérieures (température et ensoleillement principalement) et en déduire leur implantation et configuration optimales.

Les résultats montrent que les différentes techniques de rafraîchissement des espaces urbains : surfaces à haut albédo, bassins d'eau, arbres et herbes peuvent atténuer les températures de l'air et des surfaces d'une manière significative. Cependant les surfaces transpirantes ont plus de capacité d'abaisser les températures, surtout dans les endroits à grand SVF, que les surfaces à haut albédo. Or comme déjà vu, dans un environnement urbain l'influence des bâtiments est bien plus significative, car leurs ombres projetées sur les façades et les surfaces horizontales peuvent diminuer d'une façon considérable les effets du rayonnement solaire sur le confort des espaces extérieurs.

La présence des arbres, après maturité, réduit le facteur de vue du ciel et par conséquent le rayonnement absorbé par le corps humain et les bâtiments, et provoque des échanges convectifs. Les différentes recherches indiquent aussi que la simple présence de la végétation dans un tissu urbain notamment dense ne mènera pas à une réduction significative de la température extérieure. Les effets principaux de la végétation sont sur le rayonnement solaire et le vent. Ce dernier est affecté davantage par la configuration urbaine que par la végétation. L'introduction de la végétation devrait être soigneusement combinée avec d'autres variables sur place telles que la géométrie définie par le SVF ou le rapport d'aspect H/W, l'albédo des surfaces minérales, l'altitude, son pourcentage de couverture de l'espace ainsi que les dimensions de l'espace d'implantation qui devraient être restreintes.

L'exposition des résultats des différentes recherches nous mène à dire que les arbres et l'eau des bassins et étangs devraient être considérés en tant que vrais moyens de l'amélioration des conditions microclimatiques des espaces extérieurs et donc d'une manière significative du confort thermique de leurs usagers.



# *Investigation*

*(.....Non plus que nous ne pouvons continuer d'ignorer les pressants besoins de requalification des espaces de vie inadaptés aux nouvelles exigences ou dégradés du fait des errements passés. Comme nous ne saurions continuer à tolérer les disfonctionnements des tissus urbains, leurs excroissances anarchiques, la multiplication des zones d'insalubrité, la corruption croissante de l'hygiène et de l'esthétique des paysages de nos villes et villages.)*

*A.Bouteflika<sup>1</sup>*

## **Introduction**

Par divers processus en rapport avec la domination coloniale, puis l'exode rural post colonial l'Algérie a reçu l'urbanisme occidental, produit à l'usage occidental propre, "clés en mains" ce qui la induit dans des situations conflictuelles violentes au niveau de l'architecture et de l'urbanisme se manifestant par des incompatibilités climatiques plus encore que fonctionnelles et esthétiques. Ces violences continuent à se développer avec les pratiques des architectes et urbanistes locaux, des services municipaux, des directions ministérielles responsables même dans les villes nouvelles qui ont pour mission d'offrir une forme d'exemplarité en matière de qualité de vie.

Plus encore, si toutes les villes du monde entier fournissent des exemples inspirants dans la quête mondiale pour la durabilité et la lutte contre les changements climatiques par la réanimation à travers les espaces publics, la lutte contre les différentes pollutions et l'ajustement climatique, l'Algérie à travers la nouvelle loi sur la ville (2006) et les espaces verts publics (2007) semble encore être préoccupée beaucoup plus par l'embellissement des quartiers des villes sans toutefois mentionner la prise en compte de la dimension climatique du point de vue formel ou énergétique.

---

<sup>1</sup>A.Mellah, "Allocution du Président de la République à l'occasion des assises de l'architecture en Algérie", mardi 01 janvier 2008, [http://: ww.blogspot.fr](http://ww.blogspot.fr)

C'est ce que décèlent du moins les lois précitées et les derniers propos du premier responsable du pays peut être par méconnaissance que le climat est l'esprit de l'endroit, c'est le véritable génie du lieu, c'est le point de référence dans toute conception urbaine si elle se veut efficace et durable. (cf. chapitre II)

L'objectif de cette recherche est :

- d'étudier le rapport entre la morphologie d'une pièce du tissu urbain soit la place et son comportement microclimatique,
- mesurer son implication sur le confort thermique des usagers.

L'investigation, dont le site retenue est la ville nouvelle d'Ali Mendjli (Constantine), devrait aboutir à la détermination d'une stratégie d'intégration du microclimat dans la conception des places urbaines dans un climat contrasté comme celui de la région de Constantine pour :

- assurer le confort piéton,
- limiter les consommations d'énergie des bâtiments,
- faire de ces espaces extérieurs un facteur du développement durable des villes.

### **VIII-1-Méthodologie de l'investigation**

Dans cette phase de la recherche, la méthodologie d'approche sera basée sur :

**A-** Une étude climatique de la région de Constantine car l'insertion d'un projet dans un contexte climatique donné nécessite une collecte de données climatiques de la région considérée. Le plus souvent il faut se rapprocher du service météorologique le plus proche du site considéré pour pouvoir entreprendre une analyse climatique correcte et par conséquent dégager des solutions.

**B-** Une étude sur terrain dont l'objectif est de:

- palper et mesurer le comportement des différents paramètres climatiques dans les espaces ouverts urbains tels que les places,
- essayer de l'expliquer en fonction du paramètre *géométrie*,
- évaluer son impact sur le confort des utilisateurs de ces espaces.

L'investigation se basera sur les effets climatiques les plus perceptibles affectant directement le site choisi qui sont les effets thermiques, aérodynamiques et hygrothermiques.

**C-** une Simulation qui interviendra sur deux phases :

1- Détermination du SVF des stations d'étude après modélisation par le logiciel RayMan 1.2 (cf. Chap. IX)

➤ Tracer les ombres pour chaque période de mesure durant la journée d'étude afin de mieux percevoir les ombres portées sur le site ainsi que son ensoleillement pour pouvoir comprendre et expliquer le comportement des facteurs climatiques relevés durant la campagne de mesure.

➤ Mesure de l'indice de confort thermique piéton (PET) basé sur la  $T_{mrt}$  dont on ne dispose pas d'outils pour la mesurer.

2- Apporter des améliorations des conditions de confort thermique dans ces espaces en effectuant des changements :

- ✓ Sur la géométrie par quelques propositions de réduction du SVF,
- ✓ l'amélioration des caractéristiques thermiques des matériaux,
- ✓ l'introduction de l'élément végétal en tant que masque solaire pour la réduction du facteur d'ouverture au ciel.

La réponse aux conditions d'hiver et le calcul de l'indice de confort thermique PET, après variations, détermineront la (où les) solution qui répondra le mieux au confort piéton.

Pour pouvoir déterminer les zones climatiques et bioclimatiques auxquelles appartient la ville nouvelle Ali Mendjli, il est indispensable de procéder à une étude climatique de la région de Constantine.

## **VIII-2-Etude climatique de Constantine**

L'étude climatique de la ville de Constantine, qui nous servira de base pour l'intervention sur le terrain d'investigation Ali Mendjli, se fera sur la base des données météorologiques fournies par ONM\* de Constantine, dont les stations de mesure sont situées sur le plateau d'Ain el Bey donc très proche du site retenu pour l'investigation.

### **VIII-2-1- Situation**

Constantine est une ville du Nord-est de l'Algérie situé dans les monts de Constantine, à une latitude de 36°17 Nord et une longitude de 6°37 de longitude Est. La ville s'étend sur un plateau rocailleux à plus de 640 m au-dessus du niveau de la mer.

---

\* Office national de météorologie (ONM)



**Fig.VIII- 1 :** Situation géographique de la ville de Constantine

*Source Encarta 2005*

Son rapprochement de la mer (89 Km de Skikda) joue un grand rôle sur les températures. En hiver la mer est chaude par rapport à l'air de l'océan, ce qui crée un centre de dépression qui attire les cyclones océaniques d'où les mauvais jours de Constantine. En été, la mer est froide, ce qui crée un centre de haute pression qui favorise la sérénité de l'atmosphère dans la zone.

Les agissements du Sahara avec son été chaud et son froid d'hiver provoquent des variations de températures et provoquent des sécheresses en été.

D'après les données climatiques de la ville de Constantine (cf. **Tab.F-1 annexe F**) et la classification du **Tab.F-2 (cf.annexe.F)**: elle est située dans la zone bioclimatique d'hiver **H2** et la zone d'été **E2** dont les caractéristiques sont décrites en **annexe F**.

### **VIII-2-2-Interprétation des données climatiques**

#### **VIII-2-2-1- Analyse du rayonnement solaire**

A Constantine, le rayonnement solaire est une composante importante. La **figure VIII-2** nous présente la durée d'insolation totale en heure où on remarque que la ville reçoit les rayons solaires durant toute l'année. Le rayonnement solaire est intense et de l'ordre de  $7380 \text{ Wh/m}^2$  sur un plan horizontal pendant le mois de Juillet (cf. **Fig.VIII-3**) qui correspond à une durée d'ensoleillement de 337 heures (cf. **Fig .VIII-2**) et qui peut dépasser 14h par jour .En hiver, le rayonnement solaire incident atteint son minimum pendant le mois de Décembre soit une intensité de  $1088 \text{ Wh/m}^2$

(cf. Fig.VIII-3) sur un plan horizontal qui correspond à une durée d’insolation de 152 heures (cf. Fig. VIII-2) et qui peut atteindre 9h par jour.

L’ensoleillement est donc un facteur majeur dans la variation de la température.

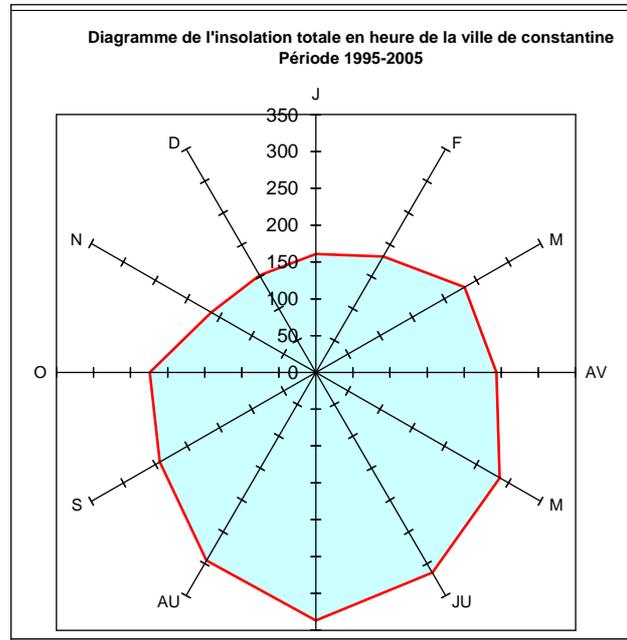


Fig.VIII -2 : Moyenne mensuelle de la durée d’insolation totale de la ville de Constantine. Période 1995-2005

Source: ONM Ain el Bey

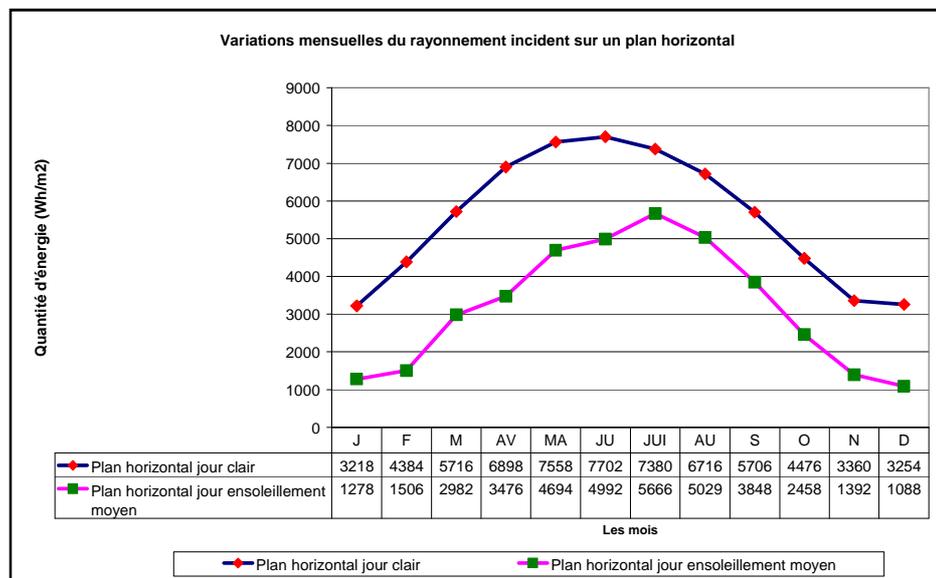


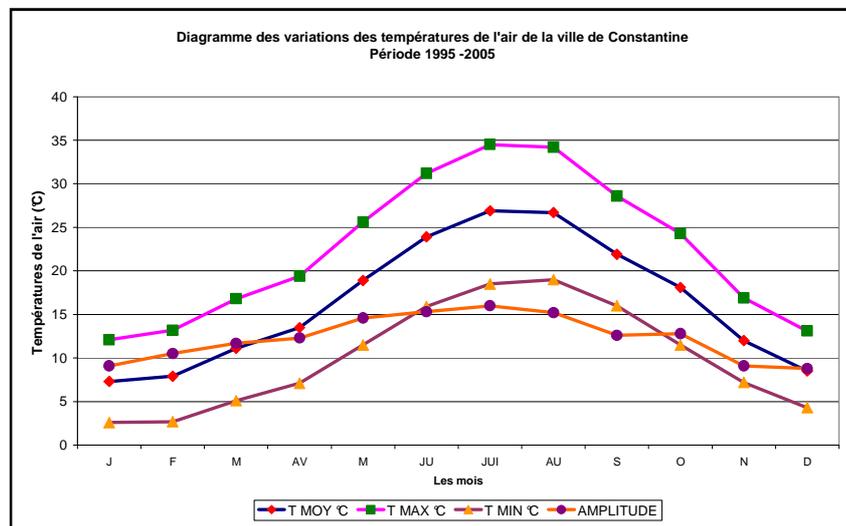
Fig.VIII- 3:Diagramme des variations mensuelles de l’énergie incidente sur un plan horizontal.

Source: Capderou.M (1985)

### VIII-2-2-2- Analyse des températures de l'air

L'étude des valeurs des températures du **tableau F.1 (cf.annexe F)** et des courbes des moyennes mensuelles et températures mensuelles maximales et minimales (**cf.Fig.VIII- 4**) nous révèle une évolution des températures régulière. La température moyenne annuelle est de 16.4 °C. Elle varie de 7.3°C en janvier à 26.9°C et 26.8°C en Juillet et Aout respectivement considérés comme les mois les plus chauds.

L'amplitude moyenne mensuelle entre la moyenne max et min est très variable où elle culmine avec une valeur de 16°C pendant le mois de Juillet. L'amplitude moyenne annuelle est de 12.81°C, par contre l'amplitude entre la valeur max des max et min des min et de 31.9 °C. Ceci nous laisse distinguer trois périodes :



**Figure VIII-4:** Variations des températures de l'air extérieures de la ville de Constantine -Période1995- 2005 –

*Source: Auteur*

#### ➤ La période chaude

Les mois d'été Juin, Juillet, Août et même Septembre sont considérés des mois chauds avec des températures moyennes maximales allant de 28.6 à 34.5°C. Les températures moyennes nocturnes restent très douces voire fraîches pendant la période estivale allant de 15.9°C le mois de juin jusqu'à 19°C pour le mois d'Août.

➤ **Intersaison** : Mai et Octobre correspondent à la période confortable avec des températures moyennes mensuelles maximales de 25.6°C, et 24,3°C respectivement.

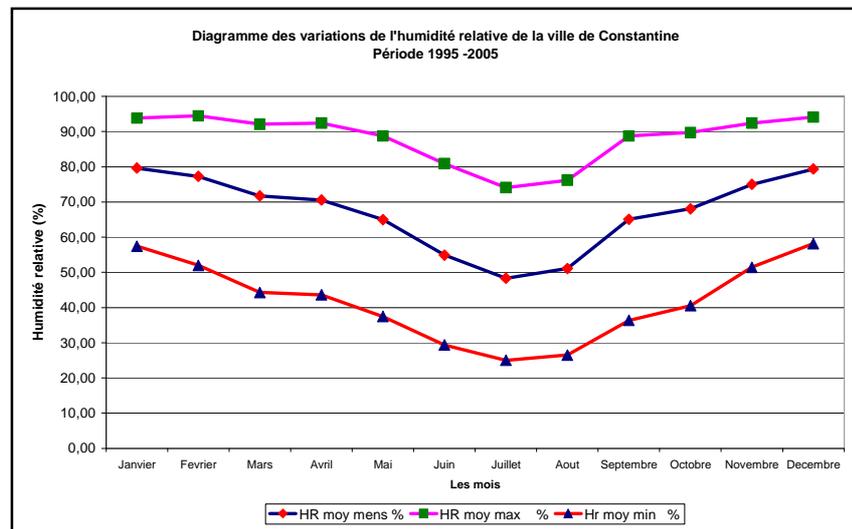
➤ **La période froide** : s'étalant de Novembre jusqu'à Avril est considérée comme froide où les nuits sont très froides avec des températures au dessous de 10 °C. Les

températures moyennes mensuelles diurnes restent très froides décroissant de 12°C le mois de Novembre jusqu'à 2.6°C pour Janvier le mois le plus froid.

### VIII-2-2-3- Analyse de l'humidité de l'air

Pour la ville de Constantine, en analysant ses courbes d'humidité relative (cf. Fig. VIII-5), on remarque qu'elles varient entre les deux périodes hivernale et estivale. La moyenne des maximales est de l'ordre de 88.14%, la moyenne des minimales est de l'ordre de 41.86% et la moyenne annuelle est de l'ordre de 67.17%.

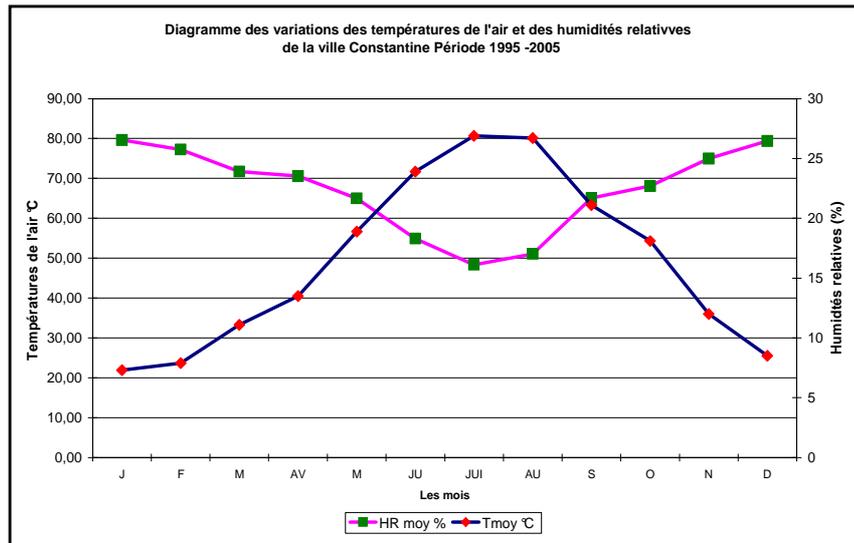
Les minimales varient entre 25% pour le mois de Juillet et 58.18% pour le mois de Décembre. Les maximales varient entre 74.09% pour le mois de juillet (mois chaud) et 94.45 % pour le mois d'avril.



**Figure VIII-5:** Variations de l'humidité relative à Constantine Période 1995- 2005

Source: Auteur

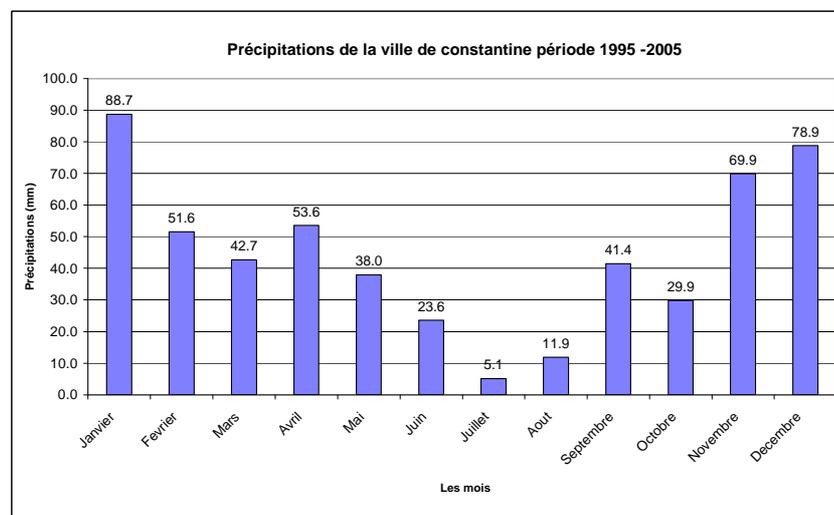
Si on compare la courbe des températures moyennes annuelles avec celle des humidités relatives moyennes annuelles (cf. Fig. VIII-6), on constatera qu'elles varient dans le sens inverse l'une de l'autre, ce qui confère à la ville de Constantine un climat froid et humide en hiver et sec et chaud en été.



**Fig.VIII- 6 :** variations des températures et des humidités relatives annuelles Constantine période 1995- 2005

Source: Auteur

**VIII-2-2-4- Analyse des précipitations**



**Fig. VIII- 7 :** Précipitation de la ville de Constantine. Période 1995- 2005-

Source: Auteur

La lecture de l'histogramme des précipitations de la ville de Constantine (cf **Fig. VIII- 7**), nous fait part d'une grande irrégularité des précipitations.

En juillet, Constantine n'enregistre que de faibles traces de précipitations (5.1mm), sous forme d'orages occasionnels car au cours de l'été septentrional, la crête anticyclonique qui maintient la sécheresse sur le Sahara se déplace vers le nord et

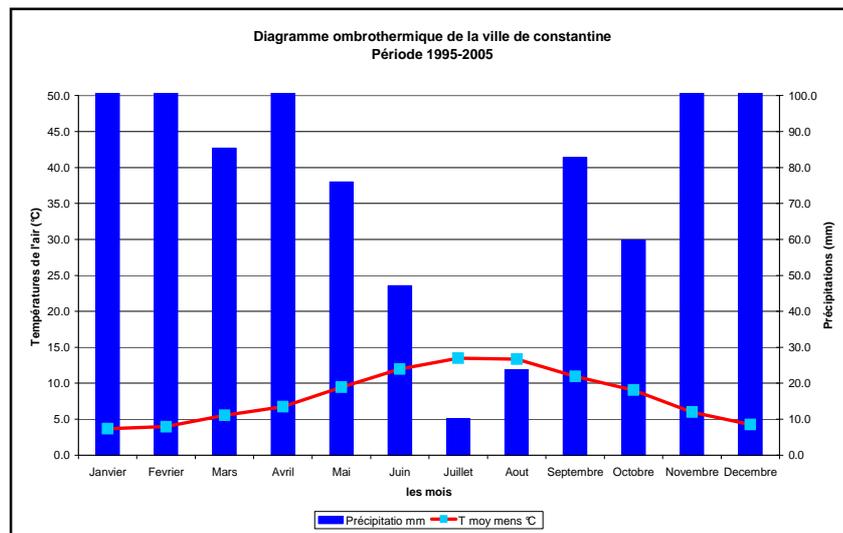
bloque le flux d'air atlantique humide dans le bassin méditerranéen. Il en résulte une sécheresse estivale saisonnière.

Au cours de l'hiver de l'hémisphère Nord, les vents d'ouest dominants véhiculent l'air humide de l'océan Atlantique vers le bassin méditerranéen entraînant d'abondantes pluies.<sup>2</sup> Cependant l'organisation zonale du relief en Algérie (les écrans montagneux) est responsable évident de la rapide diminution des précipitations vers l'intérieur : plus de 1000 mm sur le littoral, mais Seulement 535.2 mm à Constantine avec un maximum de 88.7 mm en Janvier.

### \*Diagramme ombrothermique

Pour pouvoir distinguer la période humide de la période sèche on a recours au diagramme ombrothermique.

Lors des mois où la courbe des précipitations dépasse celle de la température, on parle de mois humide. Lorsque la courbe de la température est supérieure à celle des précipitations, le temps est sec.



**Figure VIII- 8**-Diagramme ombrothermique de la ville de Constantine  
Période 1995-2005

Source : Auteur

D'après ce diagramme (**Fig.VIII- 8**), il en ressort deux période distinctes :

- **Une période sèche** très courte correspondant aux mois de juillet et août
- **Une période humide** correspondant aux autres mois de l'année où la somme des

<sup>2</sup> Encyclopédie Encarta (2005)

cumuls enregistré est de 439.3 mm soit 82.08 % du total annuel.

Donc la pluviosité de la ville durant cette longue période, nous guide à conclure la nécessité de prévoir la protection des constructions contre les pluies ainsi que les systèmes de drainage.

**\*Calcul d'Indice d'aridité d'après E.D. Martonne :**

$$Im = P / (T + 10)$$

$$= 535.2 / (16.4 + 10)$$

$$= 20.27$$

Im=indice d'aridité

P=précipitations de l'année

T= température moyenne annuelle

La lecture caractéristique de cet indice se fait de la manière suivante :

\*Im < 5..... climat hyper-aride.

\*5 < Im < 10..... climat aride.

\*10 < Im < 20..... climat semi-aride.

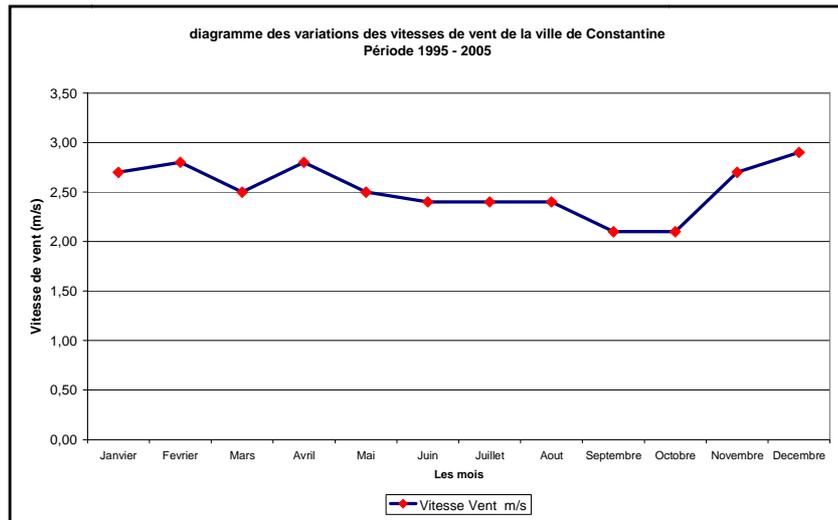
\*20 < Im < 30.....climat semi-humide.

\*30 < Im < 55.....climat humide

Donc le climat de Constantine à travers ces données est un **climat semi-humide**

**VIII-2-2-5- Analyse des vents :**

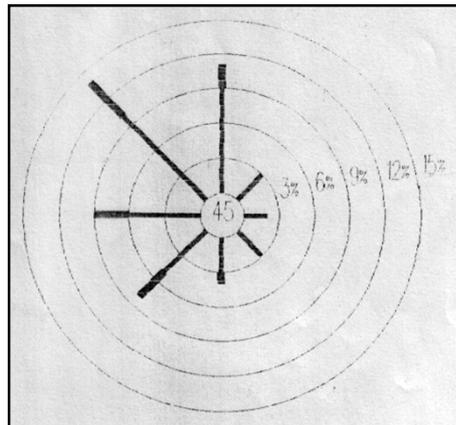
D'après les figures **VIII-9** et **VIII-10**, et le tableau des fréquences des vents ( **cf. annexe F**), Les vents qui prédominent à Constantine sont de direction nord et nord Ouest (**cf. annexe F**) avec des vitesses moyennes qui enregistrent leur maximum le mois d'Avril avec une vitesse de 2,9 m/s soit 10.44 km/h, et leur minimum pendant les mois de septembre et Octobre où ils atteignent 2.1 m/s soit 7.56 km/h avec une moyenne annuelle de 2,52 m/s soit 9.07 km/h et un fréquence de 47%. Vents en moyenne faibles force **2** sur l'échelle de Beaufort (**cf. annexe D**), considérés comme des légères brises.



**Fig. VIII- 9 :** Diagramme des variations des vitesses de vent de la ville de Constantine. Période 1995- 2005

Source : Auteur

Ces vents sont chauds en été (le sirocco souffle en moins une fois en été), par contre ils sont froids en hiver.



1-10 nœuds	11-20 nœuds	21-30 nœuds	31-40 nœuds	41- 50 nœuds
1 - 5 m/s	2.80-10.28 m/s	10.80-15.43 m/s	15.94-20.57 m/s	21.09-25.72 m/s

**Fig.VIII-10:** Rose des vents de la ville de Constantine. Période 1995- 2005

Source : ONM Ain el Bey

### VIII-2-3 Détermination des isothermes de la ville de Constantine

D’après le diagramme des isothermes de Constantine, on distingue trois zones (cf. **Fig.VIII- 11)**

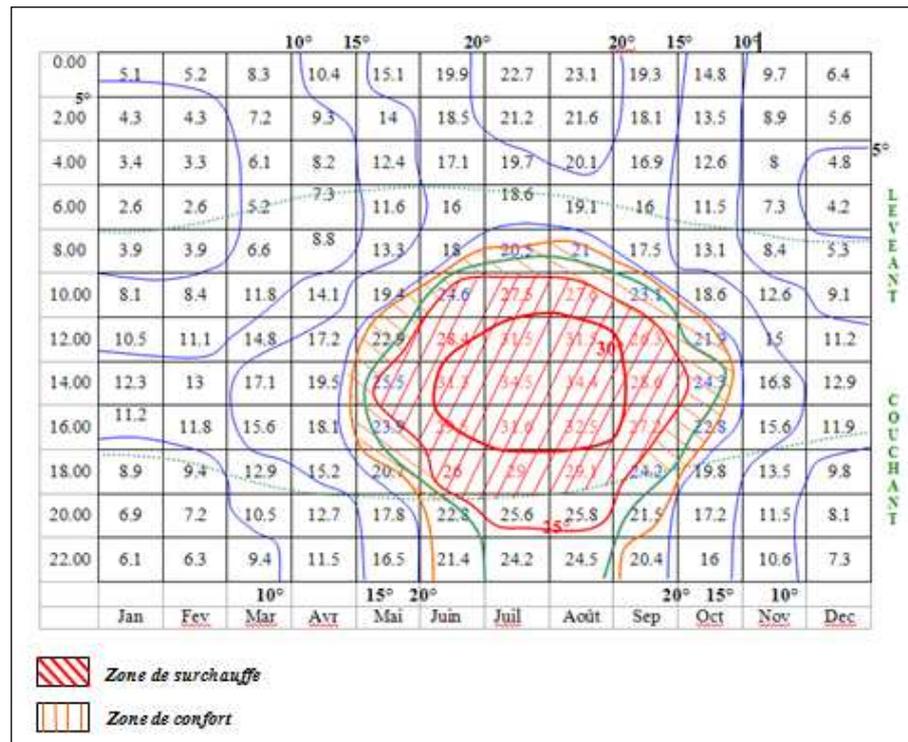


Fig. VIII-11 : Matrice des isothermes par mois et en heures

Source : Auteur

- **La zone de surchauffe** : dont les températures sont au delà de la courbe 24.68°C surtout entre 10h et 16h. Elle s'étale du mois de Mai jusqu'au mois d'Octobre, mais la tranche horaire diffère d'un mois à l'autre.

- **La zone de confort** : délimitée par les courbes des limites de confort 20,68 et 24,68 °C. Elle englobe les mois les plus chauds (juillet et août) de 6h à 8h et leurs soirées au-delà de 20h, ainsi que les mois d'Avril, Mai septembre et octobre.

**La zone de sous chauffe** : délimitée par les courbes inférieures à 20.68°C. Elle englobe principalement les mois d'hiver ainsi que Mars, avril, octobre, novembre avec des tranches horaires différentes.

La période de surchauffe étant fixée par le choix d'une limite inférieure pour la température de confort, on peut la représenter en transcrivant les contours sur le diagramme solaire. (cf. Fig.VIII- 12)

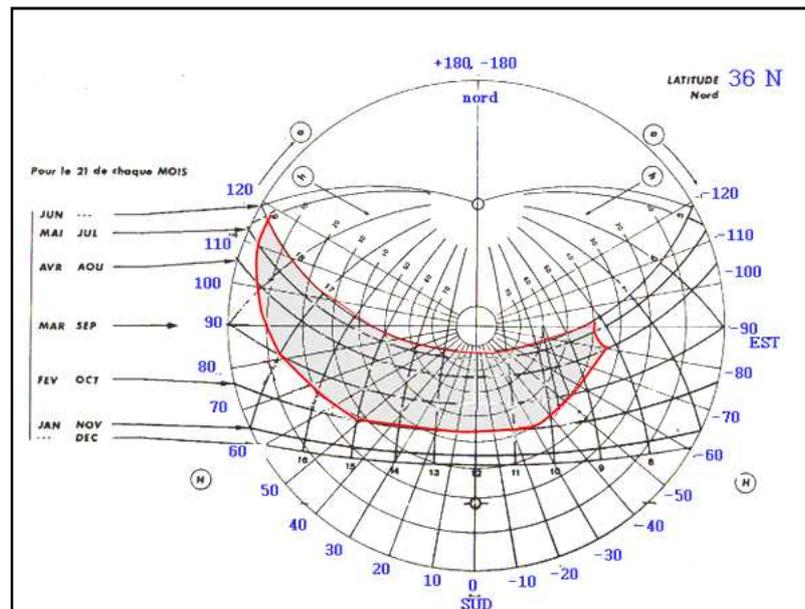


Fig. VIII- 12 : la zone de surchauffe reportée sur le diagramme solaire

Source : Auteur

#### VIII-2-4-Conclusion de l'analyse climatique de la ville de Constantine

La ville de Constantine, de par sa situation, est soumise à un climat continental à deux saisons distinctes froide en hiver, chaude en été avec des écarts de température diurne assez importants, des vents faibles, une moyenne pluviosité qui augmente en hiver et une humidité très forte en saison froide mais faible en été.

Vu les changements climatiques qui affectent le globe terrestre et qui deviennent de plus en plus perceptibles tout au long des mois et des saisons, Constantine qui jadis jouissait d'un climat marqué par les quatre saisons distinctes répondant chacune à ses caractéristiques (cf. Tab.F-4 annexe F) a basculé vers le semi-aride durant la décennie 1990- 2000 ( indice de De Marton Im =19,93), qui s'explique par le réchauffement de la couche atmosphérique près de la terre de 0,4° et 0,8°C au cours des 100 dernières années selon le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat).

Des recherches récentes de l'OMM (Organisation météorologique mondiale), montrent que les dix années les plus chaudes ont été enregistrées depuis 1983 et dont huit d'entre elles depuis 1990.<sup>3</sup>

<sup>3</sup> <http://www.civil.usherbrook.ca>

Les précipitations sont perturbées et leur taux a connu un grand changement (cf. **Tab.F-5 annexe F**), car au cours du 20<sup>ème</sup> siècle les précipitations ont augmenté de 0.5% à 1% par décennie dans la plupart des pays de moyennes et hautes latitudes de l'hémisphère Nord, ainsi que dans une grande partie de l'Australie et de l'Amérique du sud<sup>4</sup>, Ce qui a fait basculé Constantine encore une fois vers la semi-humidité. (Im = 20.27)

Changement climatique inquiétant qui sévit encore plus par l'étalement urbain de la région et les activités humaines, altérant la composition de l'atmosphère et rendant encore plus difficile la tâche des architectes et urbanistes. Ces derniers devraient penser à des nouvelles stratégies pour répondre à la dimension climatique des projets architecturaux et urbains en prenant en considération ce chevauchement entre la semi aridité et la sub-humidité tout en satisfaisant les deux saisons, froide et chaude, et par conséquent parer à toutes les agressions du climat.

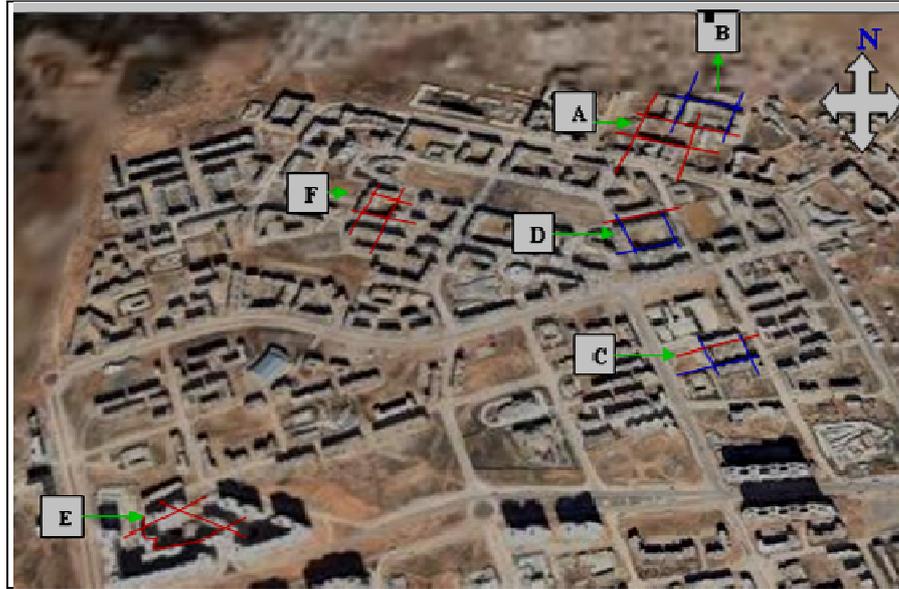
### **VIII-3- Investigation**

Le volet pratique de ce travail a pour objectif de mettre en exergue l'influence de la géométrie urbaine sur le microclimat et le confort thermique au niveau des places urbaines. La comparaison des différentes morphologies sera abordée sur la base d'une investigation sur terrain dont le site retenu est la ville nouvelle Ali Mendjli (36°15' N et 6°35'E).

L'ensemble des immeubles constituant les différents quartiers sont de cinq à six niveaux, sauf pour le site de l'AADL où les immeubles sont de neuf à seize niveaux. Ils sont desservis par des rues larges. Ces immeubles s'organisent autour d'enclos (cf. **fig. VIII-13**) de différentes grandeurs assez conséquentes qu'on pourra assimiler à celles des places urbaines (cf. **chap.II, section.II-4-3**) et qu'on a retenu pour stations de mesure.

---

<sup>4</sup> Idem. 3



**Fig.VIII-13:** Vue aérienne des stations retenues pour l’investigation à Ali Mendjli

*Source : Google Earth (2007)*

### VIII-3-1- Méthodologie d’approche de la partie investigation

La méthodologie d’approche de cette phase de recherche se basera sur les données collectées dans le cadre d’une campagne de mesure d’une journée d’été, le 9 Août 2007 s’étalant peu avant le lever du jour jusqu’à peu après le coucher du soleil. Le Ciel n’était pas complètement clair le matin où il a été frappé d’une nébulosité de 3 octas à midi.

Six stations de mesures ont fait l’objet de cette campagne qui s’est faite avec des appareils de mesures mobiles, à différents moments de la journée comprenant :

- Les températures et les vitesses de l’air sont mesurées à trois niveaux:
  - 1.5 m pour être comparées avec les mesures enregistrées dans la station météorologique afin de mettre en évidence ce qui se passe dans l’espace urbain sur le plan thermique et aéraulique par rapport à un site rural.
  - 1.1m nécessaire pour le calcul de l’indice de confort PET en utilisant le logiciel RayMan1.2. (cf. **Chap. V, section V-4-5**)
  - 2 m, mesure de la composante verticale du vent pour mettre en évidence les turbulences d’ordre mécanique ou convectif et leurs conséquences sur le microclimat de la station de mesure.
- l’humidité de l’air pour achever la caractérisation du confort et pour mesurer les effets du peu de végétation existante.

- Les températures des surfaces au sol à l'ombre et au soleil ont été aussi mesurées pour mettre en évidence les champs radiatifs thermiques dans la station.
- Les températures des surfaces des parois verticales à 1.5 m du sol.

### VIII-3-2- Les instruments de mesures

Les instruments utilisés pour mesurer les différents facteurs climatiques sont :

(cf. Fig. VIII-14)



**Thermo-hygromètre    Anémomètre    Multimètre    Centrale météo**

**Fig. VIII-14 :** Appareils de mesures des variables climatiques.

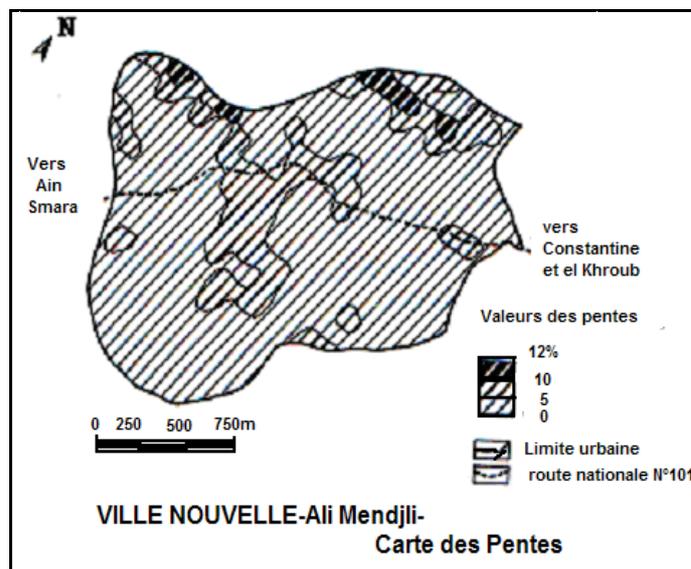
*Source : Auteur*

- **Un thermo-hygromètre :** un appareil digital du model TSE-1360 avec un degré de fiabilité de  $\pm 3\%$  et  $\pm 0.8\%$  °C .Il permet à la fois de mesurer la température de l'air et l'humidité relative.
- **Un anémomètre :** Appareil de type compact Testo 425 avec sonde fil chaud télescopique déportée pour mesurer la vitesse du vent à l'intérieur et l'extérieur ainsi que les températures de l'air avec une précision de  $\pm 0.03$  m/s et  $0.7$  °C.
- **Un multimètre digital :** Pour mesurer les températures surfaciques à l'aide d'une sonde. Le degré de précision est de  $\pm 2$ °C.
- **Une centrale météo sans fil TermoTECH-OTIO :** pour mesurer la température de l'air avec une précision de  $\pm 2$ °C et l'humidité relative avec un degré de fiabilité de 5%.

### VIII-3-3- Justification du choix du site d'investigation

Le choix des stations d'étude à Ali Mendjli a été guidé par plusieurs critères :

- L'absence de l'influence du relief sur les différentes stations, car la ville nouvelle Ali Mendjli se présente sur un plateau d'une hauteur de plus 780 mètres. Le site est une vaste surface plane très légèrement ondulée. Il présente des pentes variées mais généralement faibles de l'ordre de 2 à 5% (cf. fig. VIII-15) ce qui explique l'absence de zones d'ombre. Cette situation illustrée par la figure. VIII-16 a fait que le site reçoit des quantités importantes d'énergie solaire durant les mois d'été.



**Fig.VIII-15:** Carte des pentes de la nouvelle ville –Ali- Mendjli  
*Source: Louafi. S (2005)*



**Fig. VIII-16 :** Absence de masques naturels expose Ali Mendjli au rayonnement direct intense.  
*Source : Google Earth ( 2007)*

Il est à noter l'existence de la montagne Felten, Ouled Slem et Lekbeb, joue un rôle de barrière contre les vents venant du côté Ouest ce qui fait que le site soit protégé contre les vents froids d'hiver.<sup>5</sup>

- les stations d'étude présentent une différence d'altitude de 36 m (754 – 790 m). Sachant qu'en gagnant de l'altitude, la température de l'air baisse en moyenne de 1.6°C à chaque palier de 300 m<sup>6</sup>, cette différence est considérée comme insignifiante.
- Uniformité de la couleur : les couleurs employées sont des couleurs claires.



**Fig. VIII-17** : Couleurs des façades claires - Ali Mendjli-  
Source : Auteur

- Uniformité des matériaux de construction des façades (brique, mortier de ciment).
- Pratiquement aucune source de chaleur artificielle : absence d'industrie, le trafic automobile n'est pas intense (observation personnelle), et climatisation insignifiante des bâtiments.
- Absence de couvert végétal dense (**cf. Fig. VIII-18**), sauf quelques jeunes arbres qui poussent ici et là, normalement sans influence significative. Car la maturité est indispensable pour une évapotranspiration efficace<sup>7</sup> du fait que les arbres âgés aient des températures de feuillage légèrement inférieures à celle de l'air, ce qui provoque

<sup>5</sup> P.D.E.A.U, 1998.in S. Louafi, Impact de l'orientation sur le confort thermique intérieur dans l'habitation collective : Cas de la nouvelle ville Ali Mendjeli Constantine, Thèse de Magister, Université Mentouri, Constantine, 2005.

<sup>6</sup>[http:// www.météo à l'œil.com](http://www.météo à l'œil.com)

<sup>7</sup> G.M. Heisler, "*Trees modify metropolitan climate and noise*", Journal of arboriculture, Volume 3, N° 11, Novembre 1977.

l'échange de chaleur entre l'air et les feuilles, tandis que les jeunes arbres ont des températures de feuillage quelques degrés de plus que celle de l'air.<sup>8</sup>

En outre, un délai de 5 ans est nécessaire à la croissance d'un jeune arbre pour produire un effet d'ombre satisfaisant.<sup>9</sup>



**Fig. VIII-18** : La végétation poussant dans les stations de mesure  
Source : Auteur

Tous ces critères du choix mettront en évidence à un très grand pourcentage l'effet de la géométrie.

#### **VIII-3-4- Les stations de mesures**

Il faut rappeler que l'évaluation d'une place urbaine est déterminée par (cf. **chap. IV, section IV-9**) :

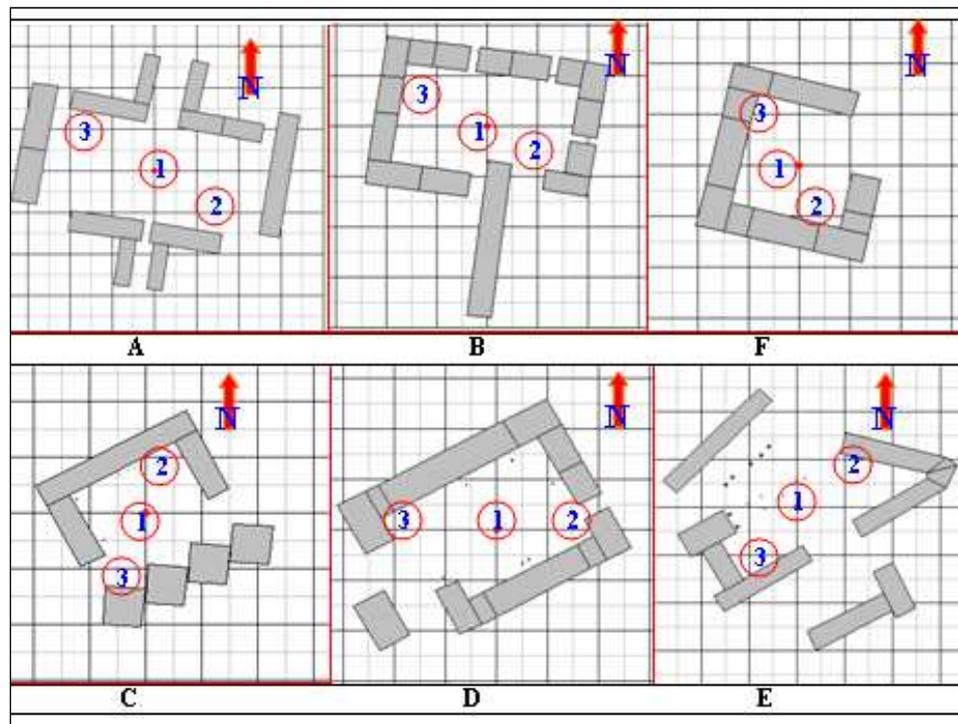
- Son ensoleillement déterminé par son orientation et son facteur d'ouverture au ciel (SVF).
- Son comportement aéraulique par la combinaison des vents locaux et les vents dominants.
- Sa température moyenne radiante.

De ce fait, le choix des six stations de mesures s'est effectué comme suit (cf. **Fig. VIII-19** et **Tab. VIII-1**):

<sup>8</sup> G.Scudo et al, "*concevoir des espaces extérieurs en environnement urbain une approche bioclimatique*," *Projet Ruros*, fifth framework programme 1998-2002, p16. [http:// alpha .cres.gr/ruros/](http://alpha.cres.gr/ruros/)

<sup>9</sup> R. Brown, T.J. Gillespie, "*estimating radiation received by a person under different species of shade trees*", *Journal of arboriculture* 16 (6), Juin 1990, pp.158-161

- Trois stations d'orientation **E-SE / O-NO** : stations **A** et **B** de forme rectangulaire et la station **F** de forme presque en "U" avec un SVF respectivement de 0.688, 0.585 et 0.594.
- Trois autres stations d'orientation **E-NE/ O-SO** : station **C** de forme carrée, station **D** de forme rectangulaire, station **E** de forme irrégulière qui tend vers le triangle (cf. **annexe A**) avec un SVF respectivement de 0.544, 0.613, 0.497.



**Fig. VIII-19** : Configurations au sol des stations de mesures et positions des points de mesures

*Source : Auteur*

Pour chaque station, les mesures sont effectuées en trois points distincts :

- Central dans le but d'effectuer une comparaison avec les autres stations.
- Deux autres points diagonaux pour déterminer les différences thermiques entre les zones à l'ombre et au soleil ainsi que les parties les plus confortables pour l'emplacement des bancs, des jeux d'enfants, des terrasses café.....



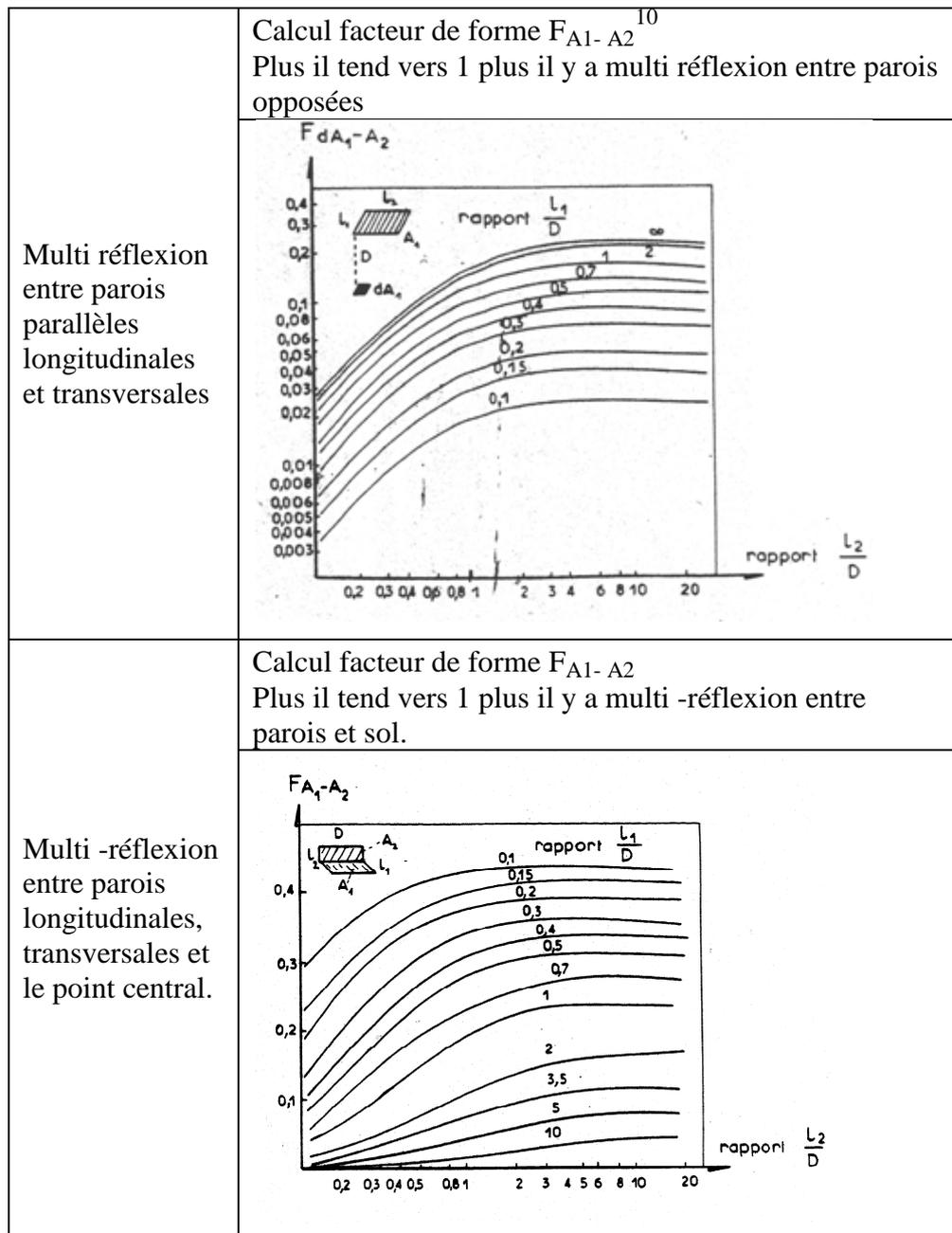
Il est utile de rappeler les hypothèses fournies comme moteur d'investigation:

- N'importe quelle forme géométrique de l'espace avec un degré d'ouverture au ciel (**SVF**) faible peut garantir, avec lui seul, un rafraîchissement à longueur de journée.
- N'importe quelle forme de l'espace avec une bonne orientation de ses ouvertures en direction des vents, peut garantir le confort thermique auquel on aspire même avec un degré d'ouverture au ciel conséquent.
- Les matériaux à haut albédo ainsi que les éléments surajoutés tels que la végétation en différents points et avec n'importe quelle forme, peuvent garantir un grand degré de confort quel que soit le degré d'ouverture au ciel.

#### **VIII-3- 5- Effet combiné des caractéristiques géométriques des stations et les phénomènes radiatifs**

Cette étude se basera sur les résultats tirés des différentes recherches citées dans la littérature pour évaluer:

- Les multi réflexions entre parois horizontales et verticales par le calcul de facteur de forme en utilisant des abaques appropriés. (cf. **Fig. VIII-20**)



**Fig.VIII-20** : Abaques de calcul des facteurs de forme entre différentes surfaces.  
Source : Daguenet. M (1987)

✓ **L'effet du vent :**

Les recommandations pour une bonne protection des vents sont récapitulées comme suit :

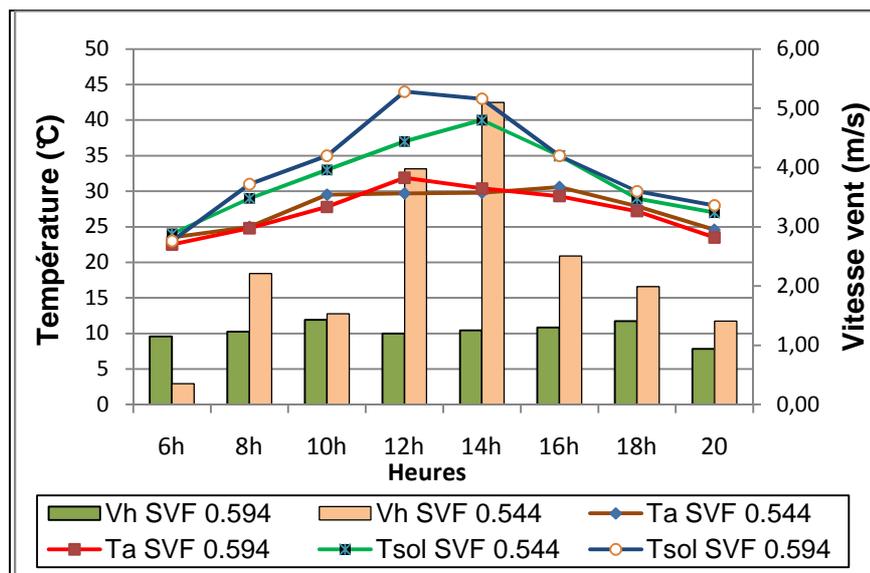
<sup>10</sup> Le facteur de forme d'un élément de surface  $dA_1$  vers un élément de surface  $dA_2$  est désigné par le symbole

$$dF_{A_1-A_2} = \frac{\text{Energie radiative quittant } A_1 \text{ et tombant sur } A_2}{\text{Energie radiative quittant } A_1 \text{ dans un espace hémisphérique}}$$

Protection des vents	◆ Pour une maille.....Surface / hauteur <sup>2</sup> $A/H^2 < 30$
	Il est important que :
	◆ $\frac{\text{Longueur totale des ouvertures au vent en direction de l'espace} \times 100}{\text{Périmètre de l'espace}} < 25\%$
	◆ L'angle d'incidence du vent sur l'axe d'orientation de l'espace doit être compris entre $\pm 0$ à $60^\circ\text{C}$ .

✓ **L'effet de l'orientation**

Pour tester si l'orientation a une signification pour deux espaces ayant presque le même SVF, une comparaison est effectuée entre la station F, SVF 0.594, d'orientation E-SE / O-NO et la station C, SVF 0.544, d'orientation E-NE / O-SO.



**Fig. VIII-21** : Comparaison du comportement thermique et aéralique en fonction de l'orientation pour deux stations de même SVF et forme géométrique au sol.

Source: Auteur

De la comparaison des courbes de la **figure .VIII-21**, il est évident que les températures surfaciques pour les deux stations de même SVF ainsi que les températures de l'air se confondent pour les deux périodes 6h et 18h où il y a absence du rayonnement solaire direct incident sur les deux points de mesures.

Comme il est représenté sur la figure précitée, l'orientation prend effet lorsque les deux stations sont vues par le soleil. Le comportement thermique (températures de l'air et surfaciques) est intimement lié au comportement aéralique, d'où la conclusion que

pour éviter toute aberration dans l'étude comparative, les points devraient représenter des endroits avec une même orientation par rapport au soleil et le vent ainsi que le même type de surface.<sup>11</sup>

De ce fait l'analyse et la discussion des résultats comprendront deux volets de champ d'investigation selon l'orientation **E-SE / O-NO** et l'orientation **E-NE / O-SO**.

### VIII-3- 5-1 : L'orientation Est – Sud-est / Ouest – Nord-ouest

Elle comprend les stations suivantes :

- Station A



**Fig. VIII-22** : Photo aérienne de la station A (SVF 0.688).

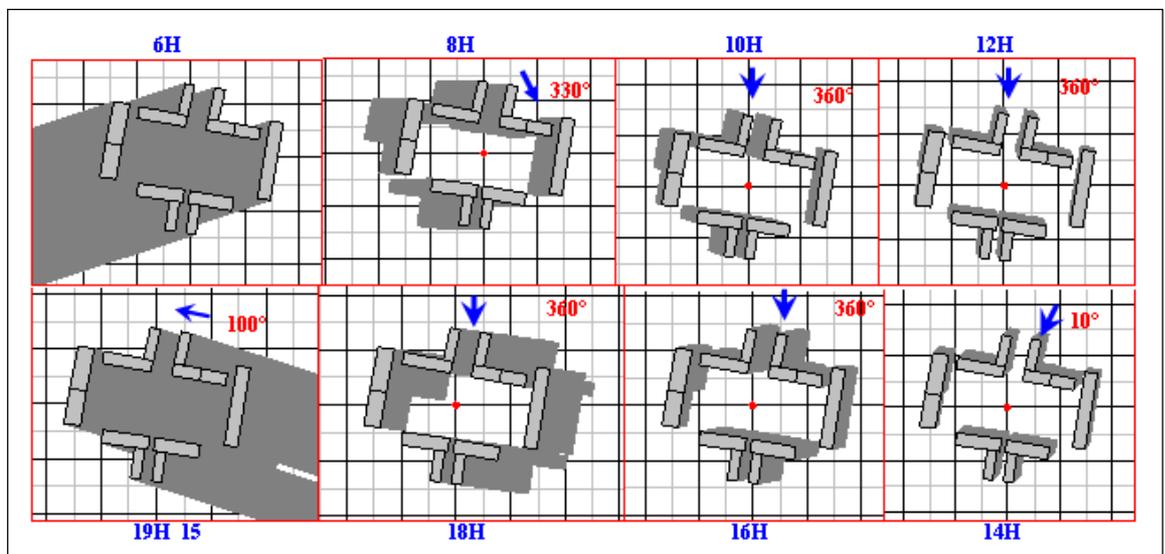
*Source : Google Earth (2007)*

---

<sup>11</sup> L. C. L De Souza “*Implementing a Geometry-Related Environmental Indicator in a 3D-GIS*”, the 5<sup>th</sup> international conference on urban climate, Lodz, Poland, Septembre 2003.

**Tab. VIII-2 :** Calculs de facteur de forme pour la station **A** (Source : Auteur).

Multi -réflexion entre parois : -Longitudinales -Transversales - sol et le point central.	Désignation	$L_1$	$L_2$	$F_{A1-A2}$	Multi-réflexion
		— D	— D	A2	
	Parois longitudinales	0.32	2.38	0.08	Insignifiante
	Parois transversales	0.15	0.41	0.01	insignifiante
point central	Parois longitudinales	0.20	0.15	0.27	Faible
	Parois transversales	0.75	0.17	< 0.1	insignifiante
	Donc le point central reçoit le rayonnement du ciel en fonction du SVF et les radiations du sol				



**Fig. VIII-23:** Evolution de l’ombre du lever au coucher du soleil et direction du vent dans la station **A** (SVF 0.688).

Source : Auteur

- **Station B**

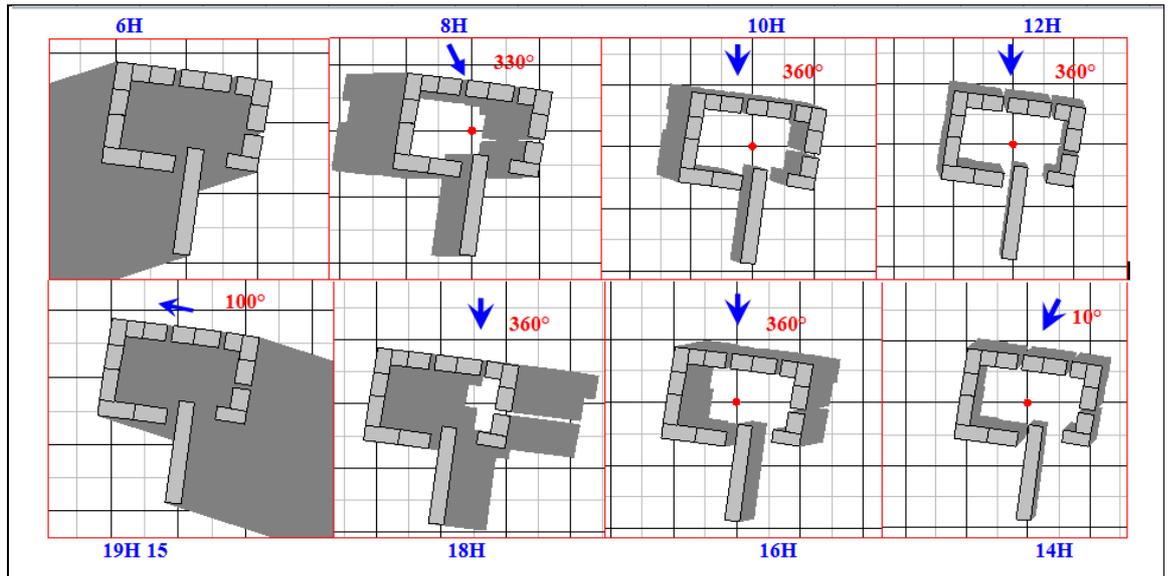


**Fig. VIII-24** : Photo aérienne de la station B (SVF 0.585).

*Source : Google Earth ( 2007)*

**Tab. VIII-3** : Calculs de facteur de forme pour la station **B**. (*Source Auteur*)

	Désignation	$L_1$	$L_2$	$F_{A1-A2}$	Multi-réflexion	
		— D	— D			
Multi -réflexion entre parois : -Longitudinales -Transversales - sol et le point central.	Parois longitudinales	0.34	1.7	0.05	insignifiante	
	Parois transversales	0.2	0.58	0.02	insignifiante	
	point central	Parois longitudinales	0.29	0.2	0.18	Faible
		Parois transversales	1.17	0.22	< 0.1	insignifiante
	Donc le point central reçoit le rayonnement du ciel en fonction du SVF et les radiations du sol					



**Fig. VIII-25** : Evolution de l'ombre du lever au coucher du soleil et direction du vent dans la station **B** (SVF 0.585).

Source : Auteur

- **Station F**

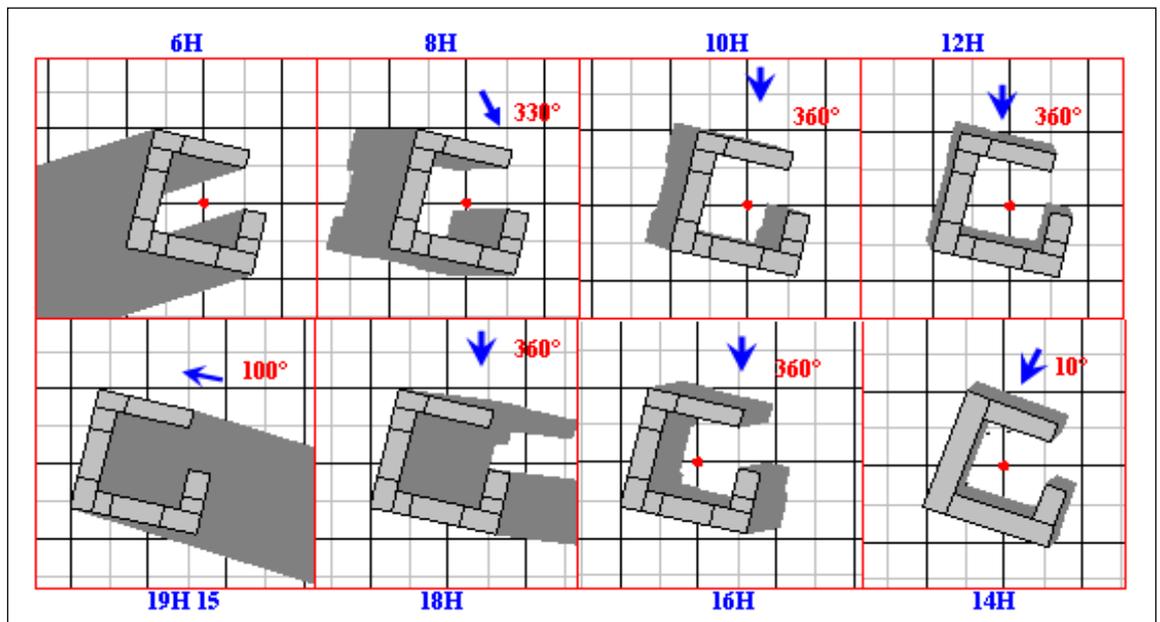


**Fig. VIII-26** : Photo aérienne de la station F (SVF 0.594).

Source : Google Earth ( 2007).

**Tab. VIII-4** : Calculs de facteur de forme pour la station **F** (Source : Auteur).

Multi -réflexion entre parois :	Désignation	$L_1$	$L_2$	$F_{A1-A2}$	Multi-réflexion	
		D	D			
-Longitudinales	Parois longitudinales	0.3	1	0.04	insignifiante	
-Transversales	Parois transversales	0.3	1	0.04	insignifiante	
- sol et le point central.	point central	Parois longitudinales	0.5	0.6	< 0.22	Faible
		Parois transversales	0.5	0.6	< 0.22	Faible
	Donc le point central reçoit principalement le rayonnement du ciel en fonction du SVF et les radiations du sol					



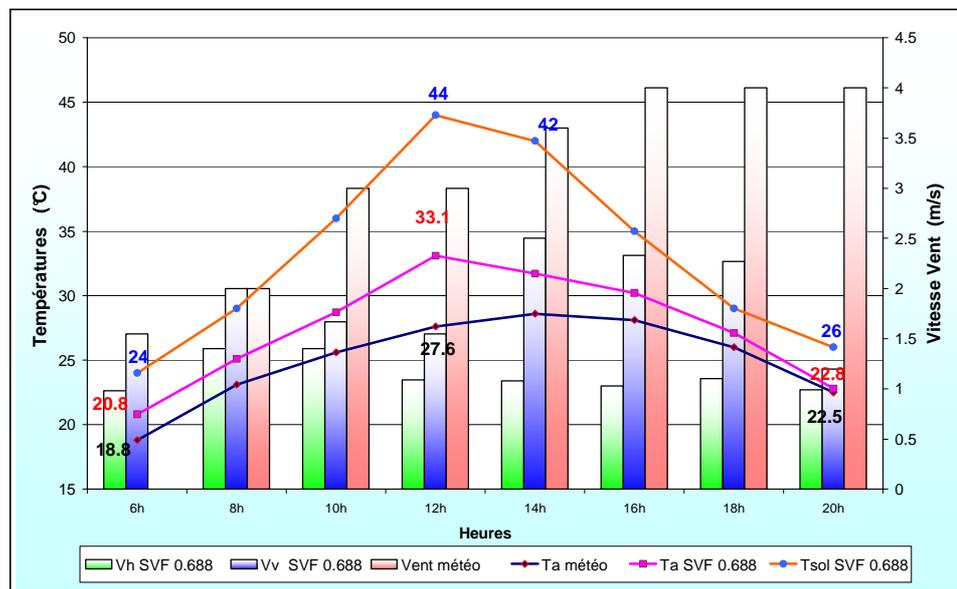
**Fig. VIII-27** : Evolution de l'ombre du lever au coucher du soleil et direction du vent pour la station **F** (SVF 0.594).

Source : Auteur

### VIII-3-5-1 -1- Calcul des écarts de température de l'air entre l'urbain et le rural

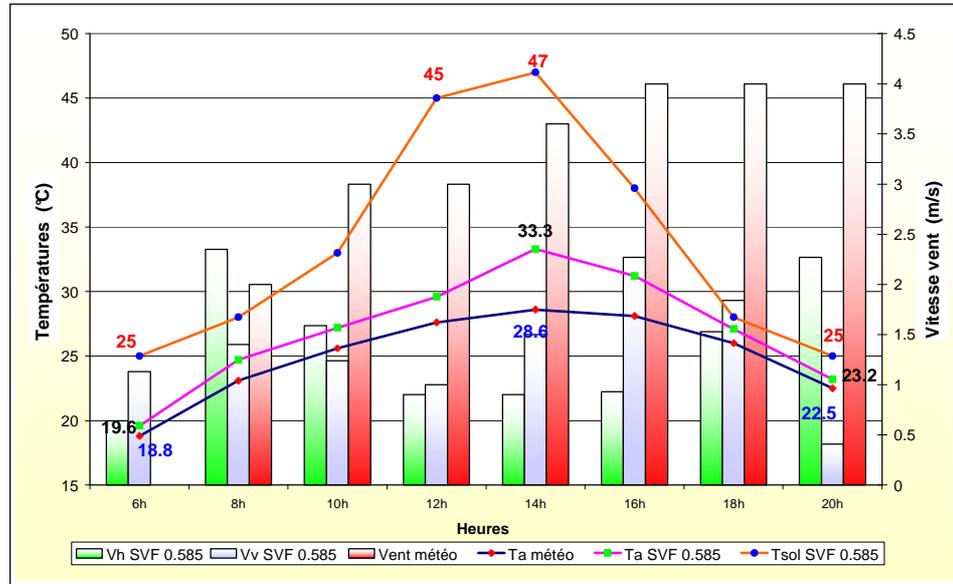
Les valeurs microclimatiques des stations de mesures d'orientation **E-SE / O-NO** ont été corrélées avec les données d'une station météorologique de référence à l'aéroport local, afin d'identifier et souligner les différences thermiques entre un secteur urbain et suburbain.

De l'étude des **figures VIII- 28, 29, 30**, il est tout à fait clair que les températures de l'air des stations urbaines sont bien plus élevées que les températures moyennes de l'air de la station de référence. Ceci confirme le phénomène de l'îlot de chaleur diurne et nocturne déterminé par les différents chercheurs notamment T. Oke en 1976.



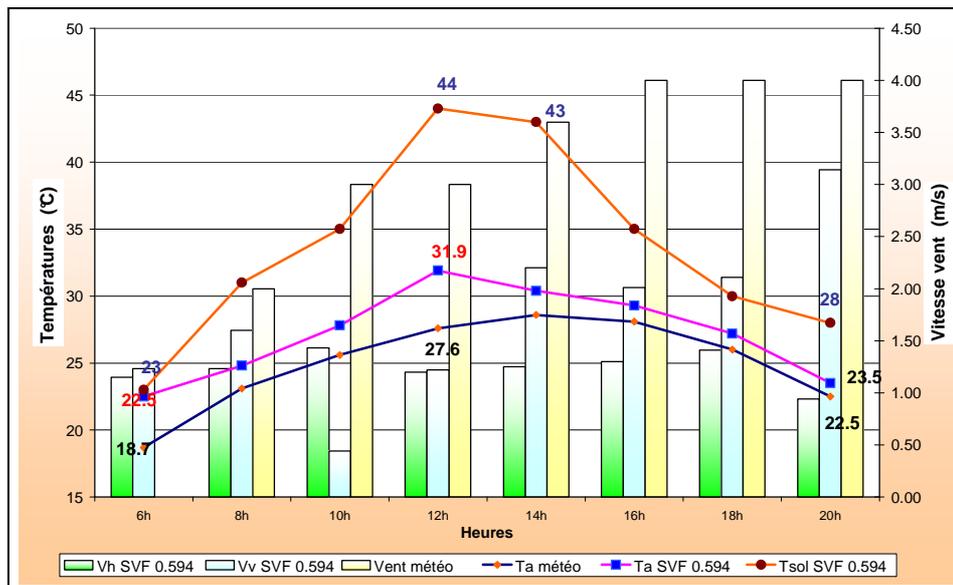
**Fig. VIII-28:** Comparaison des variables microclimatiques mesurées à la station **A** avec les données de la station météorologique d'Ain El Bey

Source : Auteur



**Fig. VIII-29** : Comparaison des variables microclimatiques mesurées à la station **B** avec les données météorologiques de la station d’Ain El Bey.

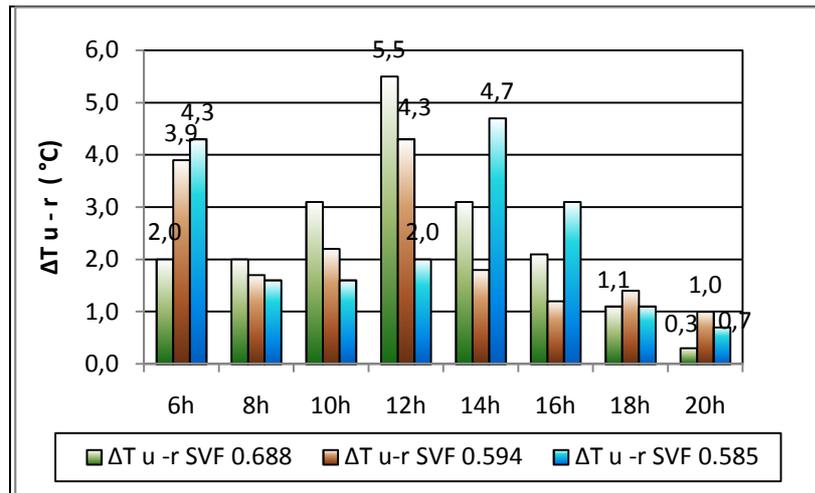
Source : Auteur



**Fig. VIII-30** : Comparaison des variables microclimatiques mesurées à la station **F** avec les données météorologiques de la station d’Ain El Bey.

Source : Auteur

Cette différence varie d’une station à une autre et d’une tranche horaire à une autre d’où l’on distingue (cf. Fig. VIII- 31):



**Fig. VIII- 31:** Valeurs des écarts de températures  $\Delta T_{u-r}$  entre les stations de mesures E-SE / O-NO et la station météorologique d'Ain El Bey.

Source : Auteur

• **6h** : c' est à dire avant qu'aucune station ne soit réchauffée par le soleil et que l'espace n'est soumis qu'à :

✓ des vents locaux provoqués par les différences des pressions entre les surfaces minérales, car les vents à l'échelle synoptique sont de 0 m/s. (cf.tab.F-3 annexe F), Considérés comme des légères brises, force 2 sur l'échelle de beaufort (cf. annexe D).

✓ l'émissivité des matériaux, car en l'absence des rayons solaires, elle est le facteur prédominant déterminant leur équilibre thermique.<sup>12</sup>

Une différence maximale d'une valeur de 4.3 °C est obtenue avec la station **B** (SVF 0.585) à revêtement minéral, asphalte (émissivité 0.95), et qui a subit un ensoleillement\* de 9h46'. Suivi de la station F (SVF 0.594) avec un écart de 3.9 °C, subissant un ensoleillement d'une durée de 11h14' dont le sol au point de mesure est de la terre nue (émissivité 0.91), quoiqu'elle soit déjà vue par le soleil (cf. Fig. VIII .27). Mais cela est sans effet significatif, car « *par la suite de l'obliquité des rayons solaires, le bilan radiatif reste négatif durant 0,5 à 1h après le lever du soleil et redevient négatif environ 1h avant son coucher.* »<sup>13</sup>

La station **A** (SVF 0.688) à revêtement naturel (terre nue émissivité 0.91) enregistre la différence minimale de 2°C quoiqu'elle ait subit la plus grande durée d'ensoleillement 11h 54' grâce à :

<sup>12</sup>A.Synneffa., M . Santamouris, I. Livada, "A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment", *Solar Energy* 80 ,2006, pp 968–981

\* La durée d'ensoleillement est donnée ici pour la journée du 8 /8 /2007

<sup>13</sup> G.Guyot, *Climatologie de l'environnement*, édition Dunod, Paris 1999

- ✓ la grande émissivité de ses surfaces minérales horizontales.
- ✓ La grande ouverture de l'espace vers la voûte céleste (Grand SVF).

Ceci confirme la contribution de la géométrie des espaces dont le SVF est faible dans le phénomène d'ICU nocturne. Ces valeurs correspondent à celles trouvées par I. Eliasson<sup>14</sup> à Göteborg (Suède) où une différence entre 1°C – 5°C a été enregistrée entre la ville et la campagne du 11 au 12 Octobre 1988 de 14h- 6h, et celle trouvée entre la périphérie et le centre de Lisbonne relativement excentrique par M.J. Alcofarado et al<sup>15</sup> durant une période de mesure s'étalant d'Août 1998 à Juillet 1999 où une différence nocturne de 4°C a été observée.

- **De 8h jusqu'à peu avant 18h** : période où les trois stations sont vues par le soleil. Elles sont soumises à la combinaison des deux phénomènes :
  - ✓ thermiques dus au réchauffement du sol et des parois (**cf. chapitre IV**).
  - ✓ aéraulique sous forme de brises locales (mouvements convectifs) dues :
    - aux différences de température entre les différentes surfaces minérales.
    - aux différences de pression entre zones à l'ombre et au soleil.
  - ✓ la direction et la vitesse des vents synoptiques et leurs interactions avec les obstacles selon leur rugosité et leurs différentes configurations, d'où la variation spatiale et temporelle de la différence de température entre l'espace urbain et la station météorologique. (**voir infra**)

Il est remarquable que l'intensité maximale de l'îlot de chaleur diurne soit proportionnelle aux températures surfaciques du sol et inversement proportionnelle à la vitesse de la composante horizontale du vent. Elle se produit lorsque :

- ✓ Les températures surfaciques sont à leur maximum et les vitesses du vent sont à leur minimum ce qui a été prouvé par G. Escourrou<sup>16</sup> (**cf. Tab.III-1 chap.III.p.73**).
- ✓ La vitesse des vents d'origine convective favorise une convection rapide avec les surfaces minérales chaudes dont la chaleur sera restituée à l'air d'où l'augmentation de la température de l'air au niveau de l'espace.

Les valeurs de l'intensité maximale 5.5°C, 4.7°C et 4.3°C (**cf. Tab. VIII- 5 et Fig. VIII- 31**) sont obtenues pour respectivement les stations A (SVF 0.688, T<sub>sol</sub> 44°C et V<sub>h</sub>

<sup>14</sup> I.Eliasson, "Urban geometry, surface temperature and air temperature", *Energy and building* 15-16 , 1990-91, pp. 141-145

<sup>15</sup> M.J. Alcofarado et al, " *Nouvelles observation sur les températures de l'air et de surface à Lisbonne* " , *Climat et environnement* , 2000.

<sup>16</sup> G.Escourrou, *Le climat et la ville*, Presses universitaires Nathan, Paris 1991.

1.1 m/s), **B** (SVF 0.585,  $T_{sol}$  47°C et  $V_h$  0.9 m/s) et **F** (0.594,  $T_{sol}$  44°C et  $V_h$  1.2 m/s). (cf. Fig. VIII-28, 29, 30)

Ces valeurs correspondent à celles mises en évidence par les différents chercheurs à travers le monde sur le phénomène d'îlot de chaleur d'été où, entre autres, une moyenne de 2.5°C a été prouvée par A.Rosenfield<sup>17</sup> et 5.6°C enregistrée par M. Santamouris et al.<sup>18</sup> Cependant la contribution des températures du sol se dissipe sous l'effet de l'augmentation des vitesses d'écoulement du vent par sa composante horizontale où l'intensité se minimise jusqu'à 1.1°C pour les stations **B** (SVF 0.585,  $V_h = 1.53$  m/s) à 18h.

Tous ceci nous mène à conclure que *"l'îlot de chaleur urbain à l'échelle microclimatique est le résultat de la morphologie des bâtiments soit le mode d'occupation au sol et leur géométrie en intervenant sur les écoulements d'air par la diminution de leurs vitesses et en accentuant leurs turbulences."*<sup>19</sup>

Donc une bonne orientation aux vents des ouvertures de l'espace et une bonne disposition des bâtiments permettront le rafraîchissement de l'espace sans augmenter le flux sensible. Ceci participera à la diminution de l'îlot de chaleur urbain diurne.

- **18h- 20h** où les trois stations sont obstruées au soleil et baignent d'ombre (cf. Fig. VIII.23, 25, 27) obéissant à la loi que *" juste avant ou peu après le coucher du soleil l'air au voisinage du sol se refroidit rapidement"*<sup>20</sup> jusqu'à presque s'égalisait à la température suburbaine d'autant plus que le SVF est grand. (cf. Fig. VIII. 28, 29, 30, 31 et Tab VIII-5). La station **A** (SVF 0.688) enregistre un écart minimal de 0.3°C, station **F** (SVF 0.594) un écart de 1°C et la station **B** (SVF 0.585 et  $V_h = 2.25$  m/s) 0.7°C.

### VIII-3-5-1 -2- Relation SVF et intensité de l'ICU

Pour mesurer le potentiel de la géométrie des espaces à travers leur SVF dans la manifestation de l'îlot de chaleur diurne, son intensité (l'écart  $\Delta T_{u-r}$ ) a été corrélée avec les valeurs du SVF en utilisant le coefficient de corrélation (r) pour déterminer le

<sup>17</sup> A.Rosenfield et al, "mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates", Energy and building 22, 1995, pp; 255-265.

<sup>18</sup> A.Synneffa et al, Op.cit.12

<sup>19</sup> R.Böhm, "Urban bias in temperature time serie", Climatic change 38113- 128, Autriche, 1998 in S.Y Putra, J.Yang, L.Wenging, "GIS analysis for the climate evaluation of 3D urban geometry, 2004, <http://www.Gisdevelopment.net/proceedings/Gisdeco/2004>

<sup>20</sup> J.R.Vaillant, Utilisation et promesses de l'énergie solaire, édition Eyrolles, Paris, 1979.

sens de la corrélation (positif ou négatif) et le coefficient de détermination ( $R^2$ ) pour déterminer le pourcentage de corrélation. Les résultats sont présentés sur le **tableau VIII-5** :

**Tab. VIII-5** : Calculs des écarts de température de l'air entre les stations d'orientation (E-SE / O-NO) et la station de référence. (Source : Auteur)

Heure / SVF	6h	8h	10h	12h	14h	16h	18h	20h	$\Delta T_{u-r}$ Moyenne	$\Delta T_{u-r}$ 8h-18h	$\Delta T_{u-r}$ Diurne
0.688	2	2	3.1	5.5	3.1	2.1	1.1	0.3	2.4	2.8	5.5
0.594	3.9	1.7	2.2	4.3	1.8	1.2	1.4	1	2.2	2.1	4.3
0.585	4.3	1.6	1.6	2	4.7	3.1	1.1	0.7	2.4	2.4	4.7
r	-0.99	0.99	0.95	0.81	-0.14	-0.11	-0.43	-0.87	0.43	0.86	0.91
$R^2$	0.99	0.98	0.88	0.30	0.02	0.02	0.36	0.75	0.18	0.73	0.82
Qualité Corrélation	Très forte	Très forte	Forte	faible	Très faible	Très faible	faible	Assez forte	Faible	Assez forte	Forte
Sens Corrélation	Négatif*	Négatif	Positif	positif	positif	positif	Négatif	Négatif	positif**	positif	Positif

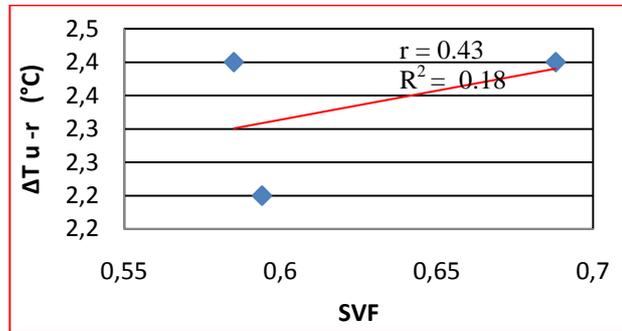
Une très forte corrélation positive avec un pourcentage  $R^2 = 0.82$  % a été trouvée entre la différence maximale ( $\Delta T_{u-r}$ ), c'est à dire plus le SVF augmente plus ( $\Delta T_{u-r}$ ) augmente, comme prouvé par Oka en 1987. Par contre cette très forte corrélation s'inverse et redevient négative avec un pourcentage de  $R^2 = 99$  % avant le lever du soleil et après son coucher ( $R^2 = 75$  %). Résultats correspondant à ceux trouvés par Eliasson en 1990 et 1996, De Sousa et al en 2003 et 2005, et Alcofarado et al en 2000 (cf. **Chap.IV. section 5-1**). Un pourcentage justifié quand on note que le

\* Négatif = plus le SVF augmente plus  $\Delta T_{u-r}$  diminue.

\*\* Positif = plus le SVF augmente plus  $\Delta T_{u-r}$  augmente.

développement de  $\Delta T_{u-r}$  la nuit est partiellement causé par le rayonnement de grandes longueurs d'ondes et les faibles ouvertures au ciel.

En utilisant les moyennes de  $\Delta T_{u-r}$  pour toute la période de mesure (6h- 20h), il y a une très faible corrélation positive ( $R^2 = 18\%$ ) présentée sur la **figure VIII-32**.



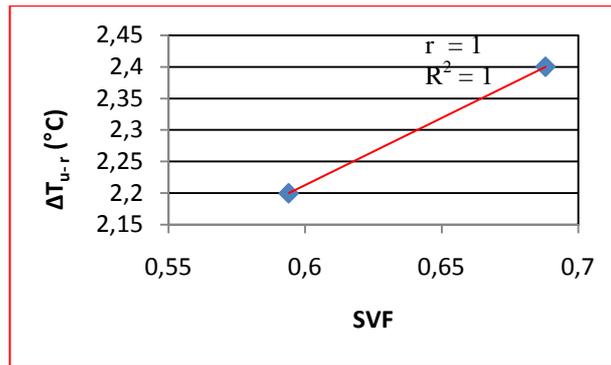
**Fig.VIII-32 :** Corrélation entre SVF et  $\Delta T_{u-r}$  moyen pour les stations d'orientation E-SE / O-NO. Période de mesure (6h- 20h),  
*Source : Auteur*

Ce résultat est dû aux différences du comportement temporel des matériaux de surface de natures différentes (notamment leur albédo) avant et après midi (**voir sections qui suivent**).

Pour confirmer cette hypothèse, une corrélation a été déterminée entre les deux stations **A** et **F** de même nature du sol (Sol naturel nu). Les résultats sont unanimes et sont présentés dans le tableau et la figure qui suivent :

**Tab. VIII- 6:** Calculs du coefficient de détermination entre SVF et  $\Delta T_{u-r}$  pour les stations d'orientation E-SE / O-NO de même nature du sol. (*Source : Auteur*)

Heure	6h	8h	10h	12h	14h	16h	18h	20
SVF 0.688	2.0	2.0	3.1	5.5	3.1	2.1	1.1	0.3
SVF 0.594	3.9	1.7	2.2	4.3	1.8	1.2	1.4	1
r	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1
R <sup>2</sup>	1	1	1	1	1	1	1	1
Qualité de la corrélation	parfaite							
Sens de la corrélation	Négatif	Négatif	Positif	positif	positif	positif	Négatif	Négatif



**Fig.VIII-33** : Corrélation entre SVF et  $\Delta T_{u-r}$  pour les stations d'orientation E-SE / O-NO de même nature du sol. (10h -16h)

Source : Auteur

Ce tableau et figure nous révèle l'effet protecteur d'un SVF moyen (0.594) contre un grand SVF (0.688) pendant la période de surchauffe (10h -16h) déterminée par l'analyse bioclimatique de la ville de Constantine.

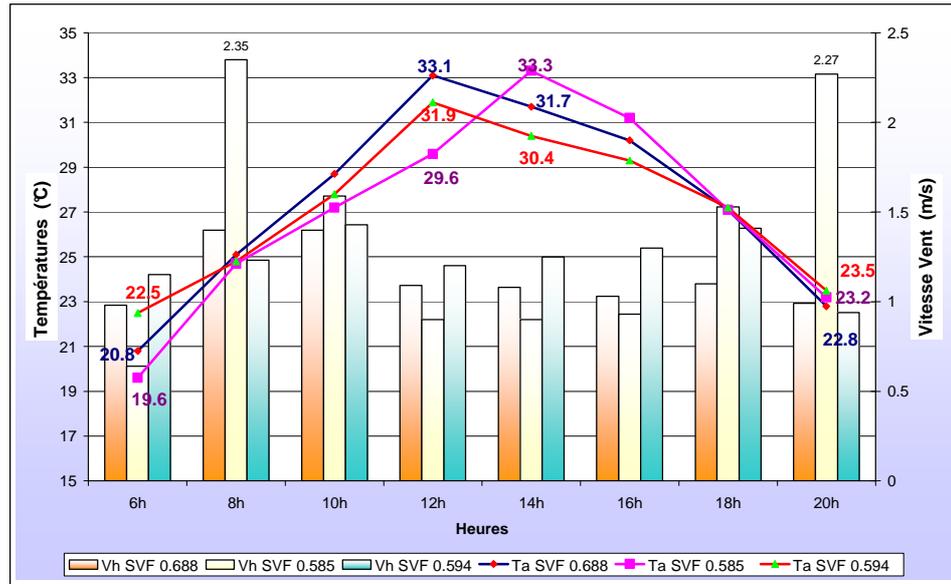
Ce tableau révèle aussi la manifestation de l'ICU nocturne presque imperceptible peu avant le coucher du soleil décrite par T.Oke ( **cf. chap. III**) où la corrélation devient négative ( $R^2 = 100\%$ ) vu la moyenne ouverture du ciel de la station **F** (SVF 0.594) et le confinement de la chaleur irradiée par ses différentes surfaces. Ce confinement est favorisé par les mouvements convectifs (la composante verticale du vent) qui enregistreraient une vitesse de 3.14 m/s contre une vitesse de l'écoulement de l'air (composante horizontale) très faible de 0.94m/s.

Donc pour des faibles vitesses de vent avec la même nature des surfaces au sol la différence  $\Delta T_{u-r}$  diurne ou nocturne est respectivement proportionnelle ou inversement proportionnelle au SVF pour l'orientation E-SE / O-NO.

### **VIII-3-5-1 -3- Comparaison des températures de l'air des trois géométries**

Par la comparaison des trois courbes rassemblées des variations des températures de l'air dans les trois stations de mesures, il est possible de constater une tendance de trois phases (**cf. Fig. VIII- 34**):

- **Avant le lever du soleil** soit à 6h, le comportement des températures de l'air est lié au plus grand SVF. La station **A** (SVF 0.688) enregistre la température la plus basse de 20.8°C. La station **B** (SVF 0.585) enregistre la température la plus élevée 23.1°C, soit une différence de 2.3°C avec la station **A** et 0.6°C avec la station **F** due à l'effet de la géométrie, comme déjà expliquer dans la section précédente.



**Fig.VIII-34** : Comparaison des variations des températures de l'air au niveau des stations A, B, F en fonction de la composante horizontale du vent

Source : Auteur

- **Au début et fin de journée soit 8h et peu avant 18h,**

Quand les espaces dégagés ne subissent pas les températures radiantes<sup>21</sup>, ces valeurs se confondent où une différence maximale de 0.4°C est enregistrée entre la station **A** (SVF 0.688) et la station **B** (SVF 0.585) à 8h et seulement 0.1°C à 18h entre la station **A** (SVF 0.688) et la station **F** (SVF 0.594).

- **Entre 8h et 18h** : comme représenté par la **figure VIII-34**, il y a tendance de deux phases : avant midi et après midi.

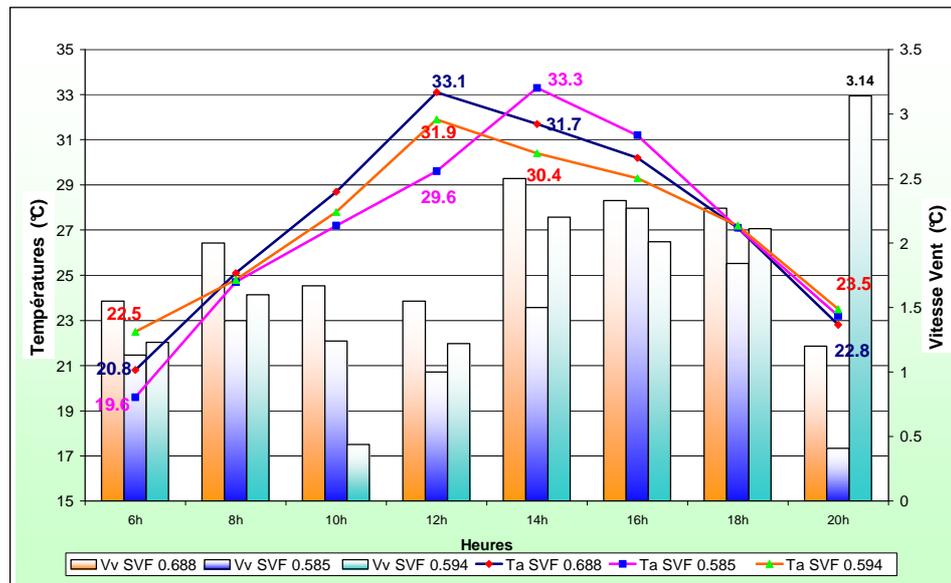
Pour les deux stations de même nature du sol (terre nue), avant midi la station **A** (SVF 0.688) représentant un plus grand accès solaire enregistre une température de l'air maximum de 33.1°C, suivie de la station **F** (SVF 0.594) avec une valeur de 31.9°C. L'après midi, ce comportement commence à s'inverser, avec un SVF plus élevé atteignant de plus basses températures peu de temps après le coucher du soleil. Ceci confirme le développement de l'ICU comme déjà expliqué plus haut.

La station **B** (SVF 0.585) couverte d'asphalte accuse un retard par rapport à **A** et **F** cela trouve son explication dans son SVF moindre et dans des pareils résultats trouvés par

<sup>21</sup> A.Benadji, *Adaptation climatique ou culturelle en zones arides : cas du Sud-est Algérien*, Thèse De Doctorat, Université d'Aix-Marseille1, 1999.

C.A Asaeda et al<sup>22</sup> en examinant divers matériaux de pavage et leurs effets sur la température de l'air. L'étude a prouvé que les surfaces d'asphalte, aussi bien que leurs températures de l'air environnantes, étaient beaucoup plus chaudes dans l'après-midi que les surfaces à plus haute réflectivité (béton). Les températures prises à midi, cependant, ont révélé des températures de l'air au-dessus de ces surfaces beaucoup plus élevées que celles au-dessus des surfaces d'asphalte. C'est dû à leur réflectivité plus élevée des rayons solaires.

- A 14h, lorsque la vitesse du vent en B diminue à 0.9 m/s et celle des mouvements verticaux convectifs s'élève à 1.5 m/s, la température de l'air atteint son maximum de 33.3°C. (cf. Fig. VIII-35).



**Fig.VIII-35** : Comparaison des températures de l'air au niveau des stations A, B et F en fonction de la composante verticale du vent.

Source : Auteur

Il reste à noter que les variations des températures de l'air entre ces différentes géométries urbaines s'étalent entre 0.1- 2.9°C. Des variations semblables ont été rapportées par H. Andrade<sup>23</sup> en été pendant la période diurne où une différence moyenne de 3.2°C a été enregistrée entre dix emplacements aux microclimats différents

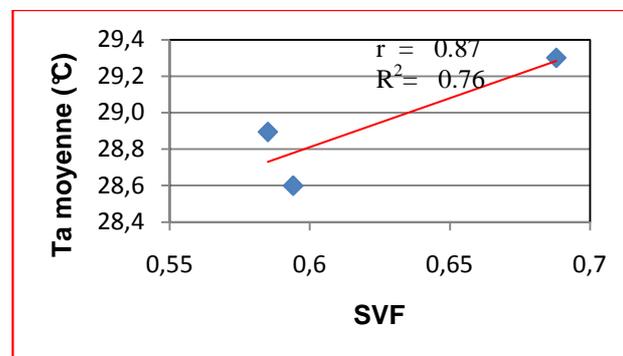
<sup>22</sup> T. Asaeda, V.T. Ca, A. Wake, *Heat Storage of Pavement and its Effect on the Lower Atmosphere*. *Atmospheric Environment* 30 (3), 1996, pp.413-427

<sup>23</sup> H. Andrade et al, "Microclimatic variations of thermal comfort in Lisbon city district", the 5<sup>th</sup> international conference on urban climate, Lodz, Poland, Septembre 2003.

pendant 24 jours en juin et juillet 2001 dans la nouvelle ville de Telheires à Lisbonne (cf. Chap. V. Section V-4-5) ; et que l'évolution des courbes correspond parfaitement à celle rapportée par De Souza et al (cf. Fig. IV- 8).

#### VIII-3-5-1-4- Relation SVF et température de l'air

Dans la pratique, bien que le rapport entre la température de l'air et le SVF n'est toujours pas facile à prouver (cf. Chapitre IV), car cette dernière est régnée par d'autres facteurs atmosphériques que la simple influence de la géométrie urbaine, il s'est avéré possible pour ce cas d'étude où une assez forte corrélation positive avec un pourcentage  $R^2 = 76\%$  a été trouvée (cf. Fig. VIII-36) entre les moyennes des températures de l'air diurnes des trois stations de 8h à 18h et le SVF. (Le SVF étant lié à l'ensoleillement). Ce résultat correspond à celui trouvé en été par H. Andrade<sup>24</sup> ( $R^2 = 72\%$ ) dans les placettes et les rues canyons de la nouvelle ville de Telheires à Lisbonne. Le pourcentage calculé pour toute la période de mesure (6h- 20h) s'affaiblit à 22 % vu l'influence d'autres paramètres qui entre en jeu que la seule géométrie en l'absence du rayonnement solaire.



**Fig.VIII-36** : Corrélation entre SVF et température de l'air des stations d'orientation E-SE / O-NO (8h- 18h)

Source : Auteur

La différence de température de l'air entre les zones à l'ombre et au soleil, (cf. Fig. VIII- 19 et Fig. VIII- 23, 25, 27), est significative à 12h dans la station F où elle atteint 5.3 °C entre P<sub>1</sub> et P<sub>2</sub>, contre 2.9°C dans la station B entre P<sub>2</sub> et P<sub>3</sub> et seulement 1.2°C entre P<sub>1</sub>et P<sub>2</sub> dans la station A.

<sup>24</sup> H. Andrade, idem 23

Ces valeurs correspondent parfaitement à celles trouvées par G.Scudo dans son étude sur les quatre places de Milan (cf. **Chap. VII. Section VII-2-1**).

Ceci met en évidence l'intérêt de l'ombrage provoqué par un SVF moindre combiné à un haut albédo de surface au sol dans la diminution des températures de l'air, et par conséquent dans le bilan thermique des personnes et des bâtiments.

#### **VIII-3-5-1-5- Températures du sol**

Comme déjà mentionné, les surfaces étudiées sont constituées d'asphalte (albédo 0.05, absorptivité 0.93 et émissivité 0.95) et sol naturel nu (albédo 0.25, absorptivité 0.75 et émissivité 0.91)

Il est tout à fait clair sur **la figure VIII-37** qu'il y a une différence de comportement temporel pour chaque surface mesurée.

Comme fourni par la littérature (cf. **chapitre IV**), les surfaces horizontales pour les géométries d'orientation NO/ SE avec un rapport H/W compris entre 0.1- 0.5 sont liées pendant l'été à la surchauffe entre 12h- 15h<sup>25</sup> (cf. **annexe C**).

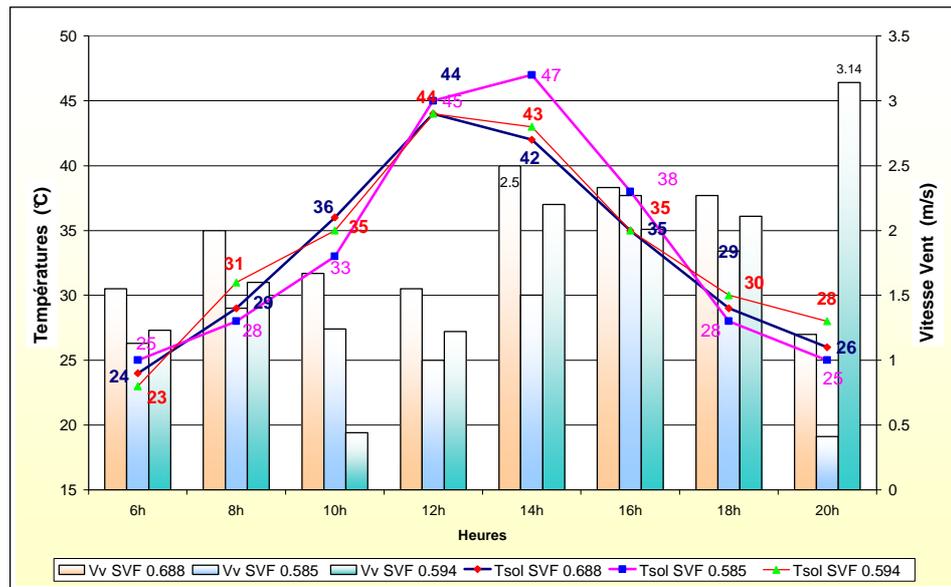
L'asphalte, vu son faible albédo, a atteint une température maximale de 47°C à 14h contre 44°C pour le sol naturel nu à 12h. (cf.**Fig.VIII-37**) soit une différence maximale de 3°C. Cependant cette situation s'inverse peu de temps avant le coucher du soleil (19h 36') car l'asphalte se trouve plus frais que la terre nue de 2°C.

Un pareil résultat a été trouvé par A. Chudnovsky a et al<sup>26</sup> par télédétection où l'asphalte qui était plus chaud que les surfaces en béton durant la journée, s'est trouvé plus froid de 2- 3°C que le béton (albédo 0.4 émissivité 0.90) la nuit.

---

<sup>25</sup> F.Bougiatioti, "Effect of urban geometry on surface temperatures of "skin" materials in Greek cities", PLEA, the 23<sup>rd</sup> conférence, Genève, Suisse, 6-8 Septembre 2006.

<sup>26</sup> A. Chudnovsky , E. Ben-Dor , H. Saaroni, "Diurnal thermal behavior of selected urban objects using remote sensing measurements", Energy and buildings 36, 2004, pp 1063-1074.



**Fig.VIII-37** : Comparaison des températures du sol au niveau des stations A, B et F en fonction de la composante verticale du vent.

Source : Auteur

D'après la littérature recueillie (cf. **chap. III**), l'asphalte et le sol naturel nu ont une émissivité respectivement de 0.95 et 0.91 presque identique (cf. **Chap.III. Tab. III .2**). Le calcul des gains nets\* en introduisant une autre dimension qu'est l'absorptivité comme démontré par Camous (cf. **Chap.III. section. III-3-3-1**), sont pour le sol naturel nu de l'ordre de 7 % contre 5% pour l'asphalte, différence qui fait que ce dernier se refroidit plus vite que le sol naturel nu.

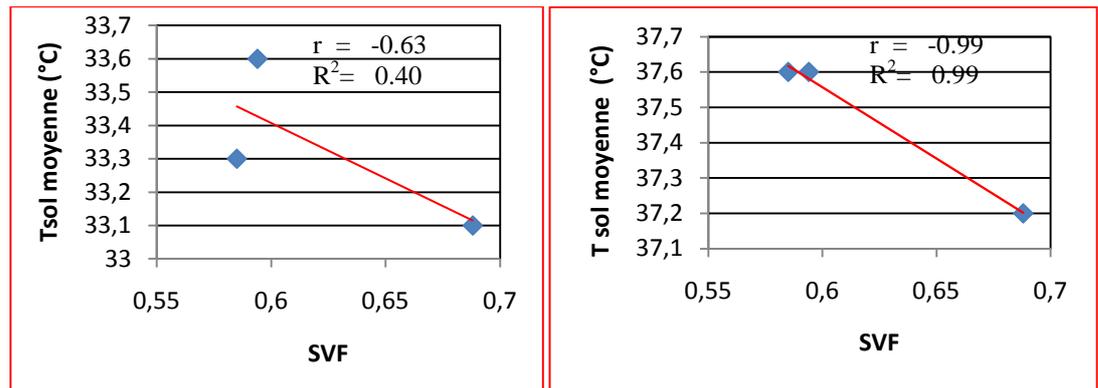
Durant cette période, il est clair que pour deux surfaces de même nature, (**Fig.VIII-37**) il y a tendance de deux phases : des températures de surface plus élevées ont été directement liées à des valeurs plus élevées de SVF avant 12h. Ensuite la tendance a commencé à s'inverser et les capacités de refroidissement des surfaces ont été réduites pour la géométrie de faible SVF où à 16h, une différence maximale de 3°C est atteinte entre **A** et **F** et le même écart entre **F** et **B**.

Les effets aérauliques (verticaux) de type turbulence thermique d'origine convective, résultant alors d'un réchauffement différentiel des surfaces, et inhérents aux différences de SVF comme mentionné par la **figure VIII-37**, semblent avoir une grande responsabilité dans le comportement des surfaces. Plus leurs vitesses sont grandes plus la surface est refroidie restituant ainsi la chaleur à l'air.

\* Gains net = Absorptivité - rayonnement émis = Absorptivité - (Absorptivité x émissivités)

### VIII-3-5-1-6- Relation SVF et température surfacique

Une corrélation négative faible de  $R^2 = 40\%$  a été trouvée entre la géométrie décrite par le SVF et les températures surfaciques pour la période de mesure 6h – 20h. Pour la période où les trois stations sont vues par le soleil (8h- 16h),  $R^2 = 99\%$  (cf. **Fig. VIII-38- B**), et reste toujours négative avec un  $R^2 = 1$  même pour les surfaces de même nature du sol.



**A :** 6h – 20h

**B :** 8h -16H

**Fig.VIII-38:** Corrélation entre SVF et température des surfaces du sol des stations d'orientation E-SE / O-NO pour différentes tranches horaires.

Source : Auteur

Résultats paraissant contradictoires mais trouvant leur justification dans :

✓ La nature du sol dans la station **B** (SVF 0.585) couverte d'asphalte à faible albédo emmagasinant plus de chaleur que les surfaces en terre naturelle. ( $T_s = 47^\circ\text{C}$  à 14h).

✓ La configuration au sol de la station **F** (SVF 0.594) presque en forme de « U » qui permet la pénétration des rayons solaires conséquence d'un H/W nul du côté Est (cf. **Fig. VIII-27**), alors qu'elle devait procurer un plus grand effet de protection avant 14h.<sup>27</sup> Ceci laisse son point central exposé pour une période plus longue que celui de la station **A** au SVF plus conséquent.

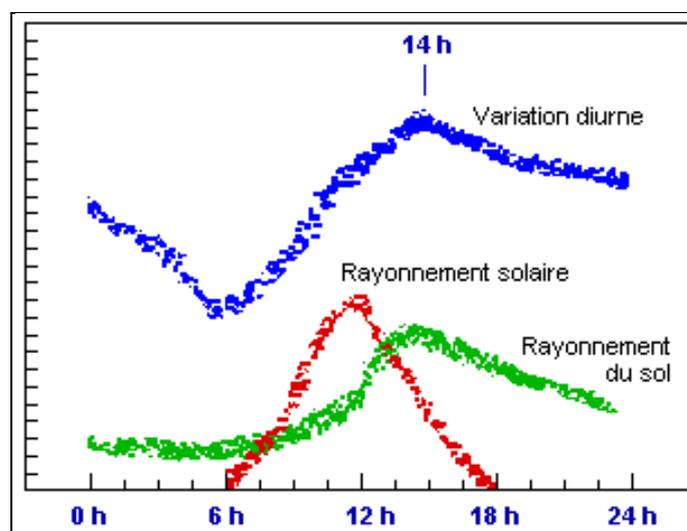
Ce résultat est confirmé par un pareil trouvé par H .Andrade<sup>28</sup> où les valeurs de la  $T_{mrt}$  (température liée aux conditions du sol dans les espaces ouverts) les plus élevées sont enregistrées dans les espaces présentant des ouvertures vers l'Est et le Sud. (cf.**Chap.V, section V-4-5**).

<sup>27</sup> L.C. L.De Souza, *Op.cit* 11

<sup>28</sup> H .Andrade, *Op.cit*23

**D' où la conclusion que la température surfacique est inversement proportionnelle à l'obstruction de l'horizon en direction de l'azimut. Cette dernière concourt à la performance du SVF quant à la protection des rayons solaires.**

✓ En outre après 14h, la tendance commence à s'inverser et les capacités de refroidissement des surfaces sont réduites pour les surfaces de plus petites valeurs de SVF conséquence d'un piégeage du rayonnement infrarouge assez important à partir de 13h (cf. **Fig. VIII- 39**), comme prouvé par L.de Souza<sup>29</sup> (15h - 7h du matin) au Brésil et I. Eliasson à Göteborg<sup>30</sup> entre 16h - 23h (cf. **Chap. IV, section V-1**).



**Fig.VIII- 39** : Comportement du rayonnement solaire et du sol pendant une journée d'été.

Source : [http:// www.astrosurf.org](http://www.astrosurf.org).

Il reste à noter que la différence de température du sol entre les zones à l'ombre et au soleil (cf. **Fig. VIII- 19** et **Fig. VIII- 23, 25, 27**) est considérable où elle atteint : 15°C entre P<sub>1</sub> (44°C) et P<sub>3</sub> (29°C) à 12h dans la station **F** soit un refroidissement de 34% , 14°C à 12h dans la station **B** entre P<sub>1</sub>(42°C) et P<sub>2</sub> (28°C) soit un refroidissement de 31% et 12°C entre P<sub>1</sub>(42°C) et P<sub>2</sub> (30°C) dans la station **A** à 14h soit un refroidissement de 28%. Valeurs comprises dans l'intervalle 14 - 20°C trouvé par Kitous et al (cf.**chap.IV. section IV-7**), et se rapprochant plus ou moins des 40% trouvés par A. Chatzidimitriou et al<sup>31</sup> (Cf. **Chap. VI, section VI-1**). Ceci met en

<sup>32</sup> L.C. L.De Souza , *Op.cit* 11

<sup>30</sup> I, Eliasson. *Op.cit* 14

<sup>31</sup> A.Chatzidimitriou, N. Chrissoumallidou et S.Yannas, "Ground surface materials and microclimates in urban open spaces", PLEA, the 23<sup>rd</sup> conference, Genève, Suisse, 6-8 Septembre 2006.

évidence l'intérêt de l'ombrage des surfaces horizontales et l'effet protecteur de la géométrie surtout à albédo élevé.

**VIII-3- 5-2 : Orientation Est - Nord-est / Ouest- Sud-ouest**

Elle comprend les stations suivantes :

- **Station D**

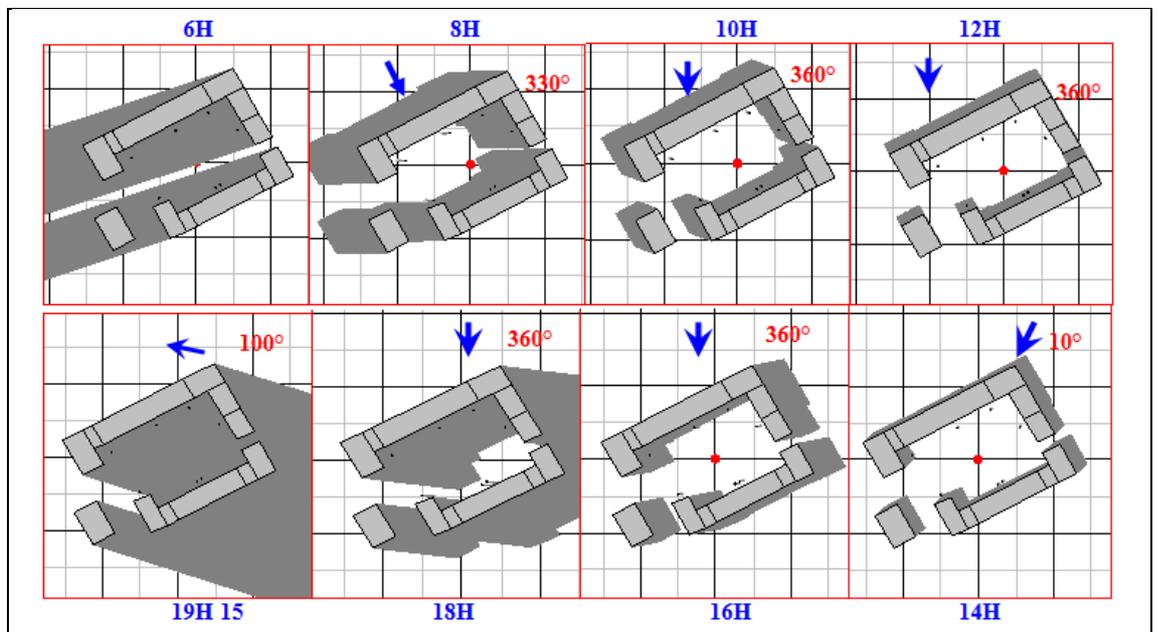


**Fig.VIII-40:** Photo aérienne de la station D

*Source : Google Earth (2007)*

**Tab. VIII-7** : Calculs de facteur de forme pour la station **D**. (Source : Auteur)

Multi - réflexion entre parois : -Longitudinales -Transversales - sol et le point central.	Désignation	$L_1$ — D	$L_2$ — D	$F_{A1-A2}$	Multi- réflexion
	Parois longitudinales	1.51	0.3	0.05	insignifiante
	Parois transversales	0.65	0.2	0.02	insignifiante
	point central	Parois longitudinales	0.31	0.2	0.12
	Parois transversales	0.5	0.3	0.15	
Donc le point central reçoit le rayonnement du ciel en fonction du SVF et les radiations du sol.					



**Fig.VIII-41**: Evolution de l'ombre du lever au coucher du soleil dans la station D (SVF 0.613)

Source : Auteur

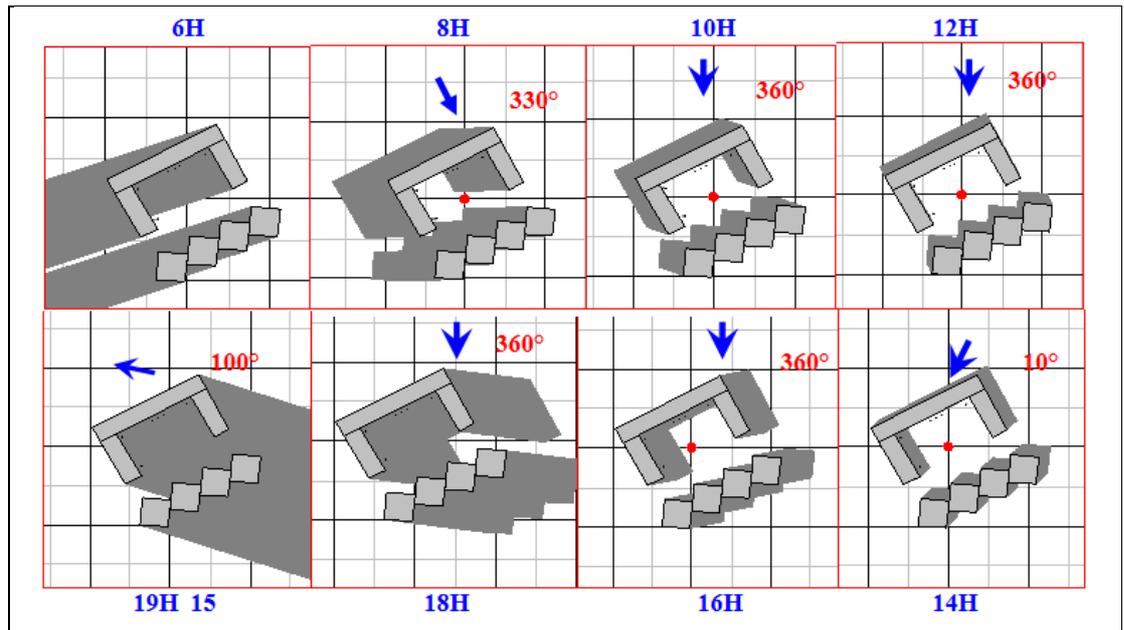
- **Station C**



**Fig.VIII-42** : Photo aérienne de la station C (SVF 0.544).  
Source : Google Earth (2007)

**Tab. VIII-8** : Calculs de facteur de forme pour la station C. (Source : Auteur)

	Désignation	$L_1$	$L_2$	$F_{A1-A2}$	Multi-réflexion	
		— D	— D			
Multi - réflexion entre parois : -Longitudinales -Transversales - sol et le point central.	Parois longitudinales	1	1	0.1	insignifiante	
	Parois transversales	1	1	0.1	insignifiante	
	point central	Parois longitudinales	0.2	0.3	0.3	Faible
		Parois transversales	0.6	0.3	0.17	Faible
	Donc le point central reçoit le rayonnement du ciel en fonction du SVF et les radiations du sol.					



**Fig.VIII-43 :** Evolution de l'ombre du lever au coucher du soleil dans la station C.  
*Source : Auteur*

- **Station E**

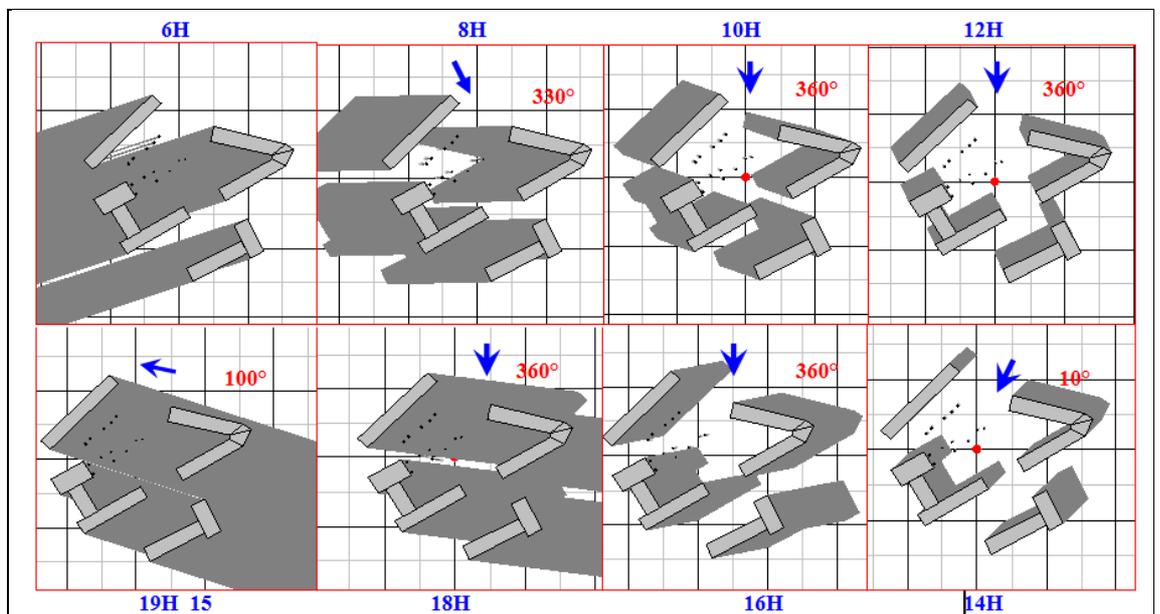


**Fig.VIII-44:** Photo aérienne de la station E  
 (SVF 0.497)

*Source : Google Earth (2007)*

**Tab. VIII-9** : Calculs de facteur de forme pour la station **E**. (Source : Auteur)

Multi - réflexion entre parois : -Longitudinales -Transversales - sol et le point central.	Désignation	$L_1$ — D	$L_2$ — D	$F_{A1-A2}$	Multi- réflexion
	Parois longitudinales	1.46	1	0.1	insignifiante
	Parois transversales	0.68	0.69	0.1	Faible
	point central	Parois longitudinales	1.83	0.63	0.1
Parois transversales		0.69	1	0.11	Faible
Donc le point central reçoit le rayonnement du ciel en fonction du SVF et les radiations du sol.					



**Fig.VIII-45** : Evolution de l'ombre du lever au coucher du soleil dans la station E (SVF 0.497).

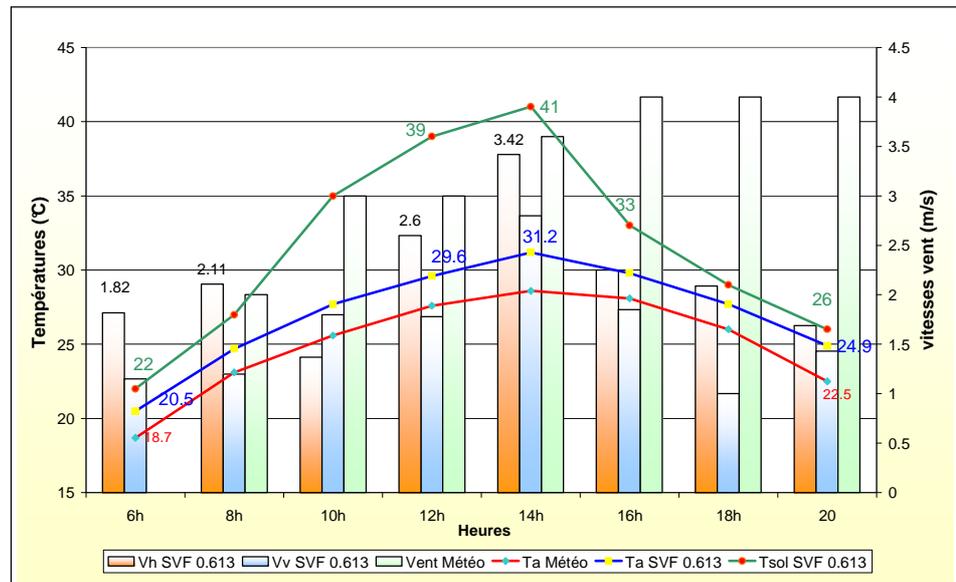
Source : Auteur

### VIII-3-5-2 -1 - Calcul des écarts de température de l'air entre l'urbain et le rural

Comme Pour l'orientation E-SE / O-NO, et Comme indiqué sur les figures VIII-, 46, 47,48, les températures de l'air de ces stations urbaines sont aussi plus élevées que les températures rurales.

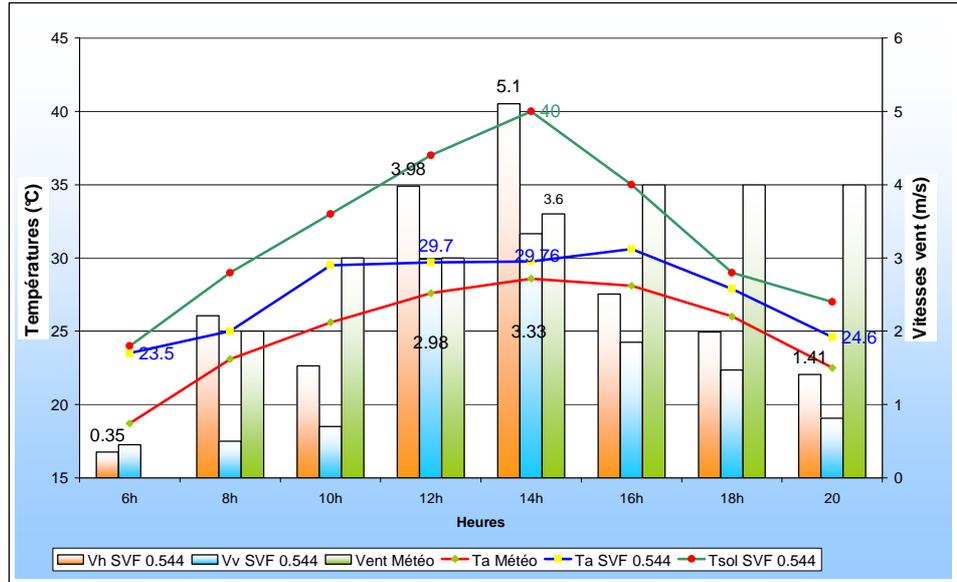
Cette différence varie d'une station à une autre et d'une tranche horaire à une autre d'où l'on distingue à:

• **6h** : c'est à dire avant qu'aucune station ne soit réchauffée par le soleil et que l'espace n'est soumis qu'aux vents locaux provoqués par les différences de pression entre les surfaces minérales, considérés comme des légères brises, force 2 sur l'échelle de beaufort ; et à l'émissivité des matériaux comme déjà mentionné pour l'orientation E-SE / O-NO. Une différence maximale d'une valeur de 4.8°C est obtenue avec la station C (SVF 0.544) (cf. Fig. VIII- 47 et Fig. VIII- 49).

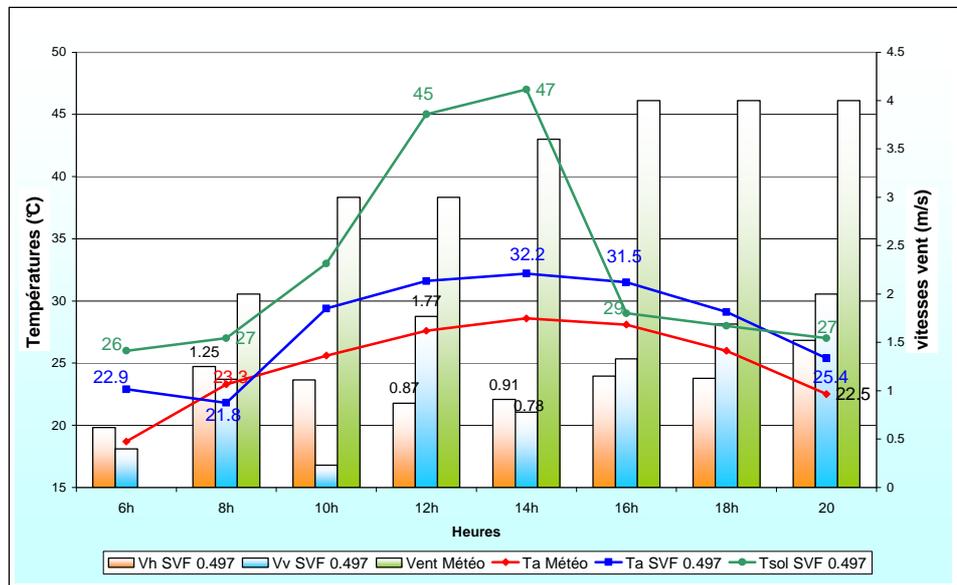


**Fig.VIII-46** : Comparaison des variables mesurées à la station D avec les données de la station météorologique d'Ain El Bey.

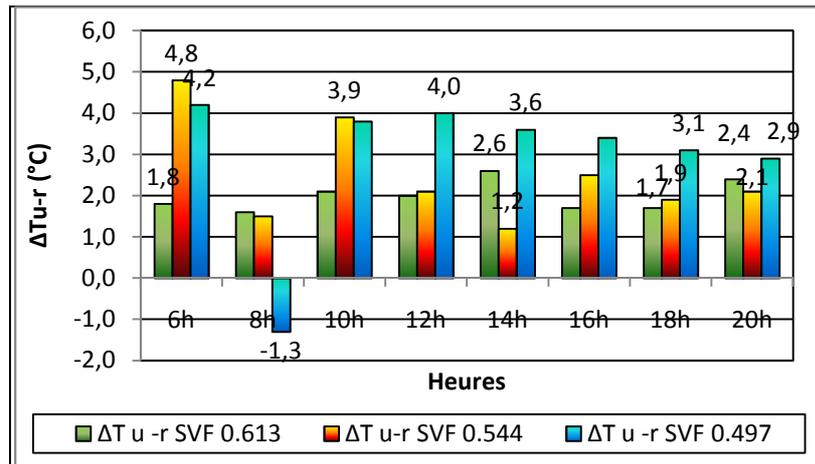
Source : Auteur



**Fig.VIII-47** : Comparaison des variables microclimatiques mesurées à la station C avec les données météorologiques de la station d’Ain El Bey.  
*Source : Auteur*



**Fig.VIII-48** : Comparaison des variables microclimatiques mesurées à la station E avec les données météorologiques de la station d’Ain El Bey.  
*Source : Auteur*



**Fig. VIII-49** : Valeurs des écarts de températures  $\Delta T_{u-r}$  entre les stations de mesures E-NE / O-SO et la station météorologique d' Ain el Bey.

Source : Auteur

Cette station subit un ensoleillement d'une durée de 10h 26' dont le sol au point de mesure est de la terre nue (émissivité 0.91), suivie de trop près de la station E (SVF 0.497) avec une durée d'ensoleillement de 7h14' et à revêtement minéral (asphalte émissivité 0.95) avec une valeur de 4.2°C. Ce grand écart est provoqué par la différence des vitesses de l'air<sup>32</sup> où la station E enregistre 0.62 m/s contre 0.35 pour la station C.

A la station E, profonde, ces vents locaux sont essentiellement provoqués par le réchauffement différentiel entre le sol (26°C) et les façades encore chaudes (28°C), contre 22°C pour celles des deux autres stations.

La station D (SVF 0.613) dont la nature du sol est la terre nue (émissivité 0.91), quoiqu'elle ait subi la plus grande durée d'ensoleillement de 10 h51', grâce à la grande émissivité de ses surfaces minérales horizontales, sa grande ouverture au rayonnement infrarouge vers la voûte céleste, elle enregistre la plus petite différence de 1.8°C avec une vitesse de vent de 1.82 m/s.

Ceci confirme la contribution de la géométrie des espaces aux faibles SVF combinée aux mouvements faibles de l'air à la génération du phénomène d'ICU nocturne.

- **De 8h – 18h** : période où les trois stations sont vues par le soleil, elles sont soumises aux mêmes phénomènes précités à la section **VIII-3-5-1 -1** pour cette période,

<sup>32</sup> G. Escourou, Op.cit 16

les valeurs de l'intensité maximale 2.6°C, 4°C et 3.9°C (**Tab. VIII-10 et Fig. VIII- 49**) sont obtenues pour :

✓ La station **D** (SVF 0.613,  $T_{\text{sol}}$  41°C et  $V_h$  3,42 m/s) à 14h, contrairement à ce qui a été dit pour les stations d'orientation E-SE / O-NO, la vitesse du vent par sa composante horizontale atteint une valeur presque égale à celle du vent synoptique (**cf. Fig.VIII-46**). En ce moment, la température de l'espace est sujette à d'autres phénomènes microclimatiques dépendant de l'effet combiné du vent à cause de l'effet de trou<sup>33</sup>, la combinaison des géométries urbaines qu'on expliquera plus loin, et le comportement thermique des surfaces.

Pour des vitesses de vent au dessus des toitures inférieures à 4 m/s (ici 3 m/s), les effets thermiques et mécaniques rendent l'écoulement chaotique (sans effet de refroidissement), ainsi des zones non ventilées où la chaleur s'accumule se constituent.<sup>34</sup>

Cette réalité a été palpée par les mesures des températures stratifiées de l'air où on a enregistré une température de l'air de 30,6°C à 1m, 31,2°C à 1,5 m/s et 29.4 °C avec une vitesse de vent horizontale (mécanique) de 3.42 m/s et verticale (convective) de 2.80 m/s. Ainsi la configuration au sol et le rapport H/W (**cf. Chap. IV. Section 9-2**) couplés à l'orientation de l'espace par rapport aux angles d'incidence du vent jouent aussi un rôle dans la génération de l'ICU diurne.

✓ A la station **E** (SVF 0.497,  $T_{\text{sol}}$  45°C et  $V_h$  0,83 m/s) à 12h, heure où le sol n'a pas atteint encore son réchauffement maximal (47°C). Mais comme rapporté par J.L.Izard (**cf. chap. IV**), l'espace étant de forme dièdre ( $H/W \approx 0.50$ ) est le siège de multi-réflexions d'une surface vers l'autre combinées à une vitesse de l'air faible. En outre, comme rapporté par F.Bougiatioti<sup>35</sup> pour cette orientation et ce ratio (**cf.annexe C**), les surfaces verticales et horizontales sont sujettes à la surchauffe où l'on a enregistré à une hauteur de 1.5 m : 33°C pour la façade d'orientation Est- Nord-est, 31°C pour l'orientation Ouest- Sud-ouest et 33°C pour l'orientation Sud-est. Etant à l'ombre, la façade Nord-ouest enregistre une température de 26°C (**cf. Fig. VIII- 45**).

Une autre note pour cet espace où à 8h, on a enregistré une température de l'air inférieure de 1.3°C (**cf. Fig. VIII-49**) par rapport à la station de référence car le bilan

<sup>33</sup> L.Doulos, M. Santamouris, I. Livada, "Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials", Solar Energy, Volume 77, 2004, pp. 231-249

<sup>34</sup> E.Bozonnet et al, "Simulation thermo-aéraulique d'un microclimat urbain à l'échelle d'une rue de type canyon", IBPSA, 2002

<sup>35</sup> F.Bougiatioti, Op.cit 25

thermique pour cette dernière redevient positif tandis que la station **E** est toujours à l'ombre.

✓ La station **C** (SVF 0.544,  $T_{\text{sol}}$  33°C et  $V_h$  1.53 m/s) enregistre la valeur la plus faible durant toute la période de mesure à 10h (cf. **Fig. VIII-47 et VIII-49**) où l'intensité maximale de l'îlot de chaleur diurne est proportionnelle aux températures surfaciques du sol et inversement proportionnelle à la vitesse de la composante horizontale du vent.<sup>36</sup> Cette station enregistre le plus faible écart  $\Delta T_{u-r} = 1.2^\circ\text{C}$  à 14h, résultat d'une vitesse de vent de 5.1 m/s dépassant même la vitesse du vent synoptique (3.6 m/s).

Ceci met en évidence l'intérêt d'une bonne ventilation des espaces pour diminuer de l'effet de l'ICU.

- **18h- 20h** où les trois stations sont obstruées au soleil et baignent d'ombre (cf. **Fig. VIII. 41, 43, 45**) obéissant à la loi précitée<sup>37</sup> jusqu'à presque s'égaliser à la température suburbaine d'autant plus que le SVF est grand. (cf. **Fig. VIII- 46, 47, 48**) et **Tab. VIII-10**, où l'on enregistre à 18h un écart de 1.7°C en **D** et 1.9°C en **C**.

La station **E** (SVF 0.497) est en de ça et enregistre une différence de 3.1°C car le refroidissement de cette dernière se produit plus difficilement, à cause de la présence de la surface verticale qui lui masque une partie du ciel (espace dièdre). A **20 h** (cf. **Fig. VIII-49**), l'îlot de chaleur urbain nocturne se manifeste déjà.

### **VIII-3-5-2 -2 : Relation SVF et intensité de l'ICU**

Pour mesurer le potentiel de la géométrie des espaces à travers leur SVF dans la manifestation de l'îlot de chaleur diurne, son intensité a été corrélée avec les valeurs du SVF en utilisant le coefficient de corrélation ( $r$ ) et le coefficient de détermination ( $R^2$ ), les résultats sont présentés sur le tableau suivant :

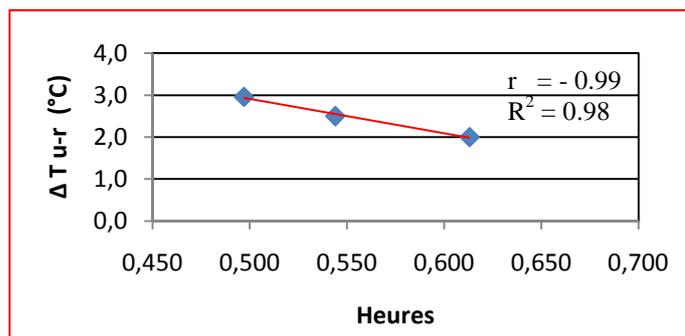
<sup>36</sup> G. Escourou, Op.cit 16

<sup>37</sup> J.R.Vaillant, Utilisation et promesses de l'énergie solaire, édition Eyrolles, Paris, 1979.

**Tab. VIII-10 :** Calculs du coefficient de détermination entre SVF et  $\Delta T_{u-r}$  pour les stations d'orientation E-NE / O-SO. (Source : Auteur)

Heure / SVF	6h	8h	10h	12h	14h	16h	18h	20h	$\Delta T_{u-r}$ Moyenne	$\Delta T_{u-r}$ 8h- 18h	$\Delta T_{u-r}$ max Diurne
0.613	1.8	1.6	2.1	2	2.6	1.7	1.7	2.4	2	2.0	2.6
0.544	4.8	1.5	3.9	2.1	1.2	2.5	1,9	2,1	2.5	2,2	3.9
0.497	4.2	-1.3	3.8	4	3.6	3.4	3.1	2.9	3	2.8	4
r	-0.76	0.82	-0.93	-0.59	-0.39	-0.90	-0.66	- 0.53	-0.994	-0.94	-0.94
R <sup>2</sup>	0.58	0.64	0.86	0.34	0.15	0.81	0.43	0.28	0.98	0.88	0.88
Qualité Corrélation	Moyenne	Moyenne	Forte	faible	Très faible	Forte	faible	Très faible	Très Forte	forte	Forte
Sens Corrélation	Négatif	Positif	Négatif	Négatif	Négatif	Négatif	Négatif	Négatif	Négatif	positif	Positif

Une forte corrélation négative avec un pourcentage  $R^2 = 98 \%$  a été trouvée entre l'intensité moyenne de l'ICU durant la période 6h- 20h. Cette corrélation, comme prouvé par Oka, demeure forte est négative en utilisant les maximales de  $\Delta T_{u-r}$ . Elle atteint 94%.

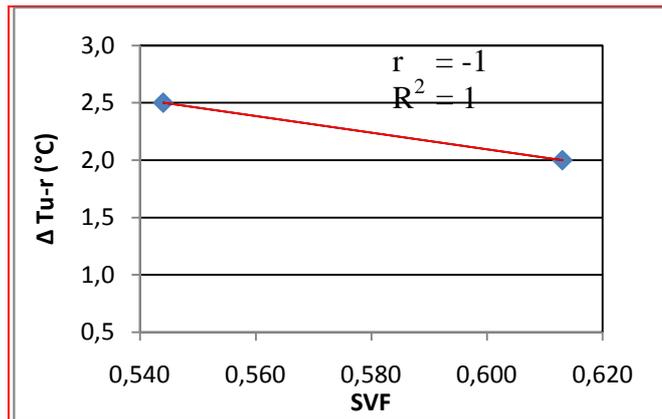


**Fig. VIII-50:** Corrélation entre SVF et  $\Delta T_{u-r}$  pour les stations d'orientation E-NE / O-SO. Période 6h- 20h. Source : Auteur

Ce résultat est dû aux différences du comportement temporel des matériaux de surface de natures différentes (notamment leur albédo) avant et après midi (voir sections

qui suivent), aux différences dans le rapport d'aspect H/W ainsi que le comportement éolien.

Pour confirmer cette hypothèse, une corrélation a été déterminée entre les deux stations **D** et **C** de même nature du sol (sol naturel nu), de même couleur de parois, et de même rapport d'aspect H/W = 0.3. Les résultats sont unanimes et sont présentés sur le tableau et la figure qui suivent :



**Fig.VIII-51** : Corrélation entre SVF et ΔT<sub>u-r</sub> pour les stations d'orientation E-NE / O-SO de même nature de surface au sol.

Source : Auteur

**Tab. VIII-11** : Calculs du coefficient de détermination entre SVF et ΔT<sub>u-r</sub> pour les stations d'orientation E-NE / O-SO de même nature du sol. (Source : Auteur)

Heure	6h	8h	10h	12h	14h	16h	18h	20h
SVF 0.613	1.8	1.6	2.1	2	2.6	1.7	1.7	2.4
SVF 0.544	4.8	1.5	3.9	2.1	1.2	2.5	1,9	2,1
r	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1
R <sup>2</sup>	1	1	1	1	1	1	1	1
Qualité de la corrélation	parfaite							
Sens de la corrélation	Négatif	Positif	Négatif	Négatif	positif	Négatif	Négatif	positif

Donc pour une orientation E-NE/ O-SO, et contrairement à l'orientation E-SE/ O-NO, la manifestation de l'ICU est liée aux faibles SVF.

Ceci trouve son explication dans la forme dièdre de l'espace **E** (SVF 0.497), le comportement aéralique dans les trois stations et la configuration au sol de la station **C** qu'on expliquera dans les sections qui suivent.

### VIII-3-5-2 -3 : Comparaison des températures de l'air des trois géométries

Par la comparaison des trois courbes rassemblées des variations des températures de l'air dans les trois stations de mesures, il est possible de constater une tendance de trois phases (cf. Fig. VIII-50) :

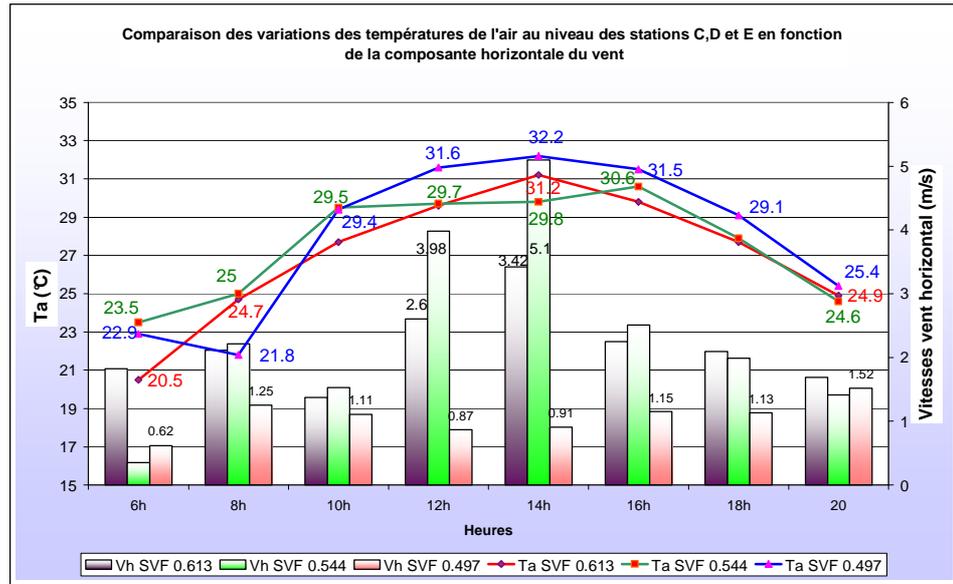
- **Avant le lever du soleil soit à 6h**, le comportement des températures de l'air est lié au plus grand SVF. La station **D** (SVF 0.613) enregistre la température la plus basse de 20.5°C, suivie de la station **E** (SVF 0.497) avec 22.9°C soit une différence de 2.4 °C avec la station **D** dû à l'effet de la géométrie et d'une autre part au comportement thermique lié aux propriétés thermiques des matériaux des différentes surfaces horizontales générant l'effet de l'ICU comme déjà expliquer plus haut.

La station **C** (SVF 0.544) enregistre une valeur de 23.5°C soit une différence de 3°C avec la station **D** et seulement 0.6°C avec la station **E** car elle enregistre les plus basses vitesses des brise locales ( $V_h = 0.35$  m/s), ce qui explique le confinement de l'air chaud.

- **Au début et fin de journée soit 8h et à 18h**, quand les espaces dégagés ne subissent pas les températures radiantes<sup>38</sup>, ces valeurs se confondent où une différence maximale de 0.3°C est enregistrée entre la station **D** (SVF 0.613) et la station **C** (SVF 0.544) à 8h et 0.2°C à 18h. **E**, espace dièdre encore à l'ombre à 8h, enregistre la plus basse température 21.8°C soit une différence de 3.2°C avec la station **C** et 2.9 °C avec la station **D**. A **18h**, il enregistre la température de l'air la plus élevée soit une différence de 1.2°C avec **C** et 1.4°C avec **D**, avec la vitesse de vent la plus faible des trois stations (1.3 m/s).

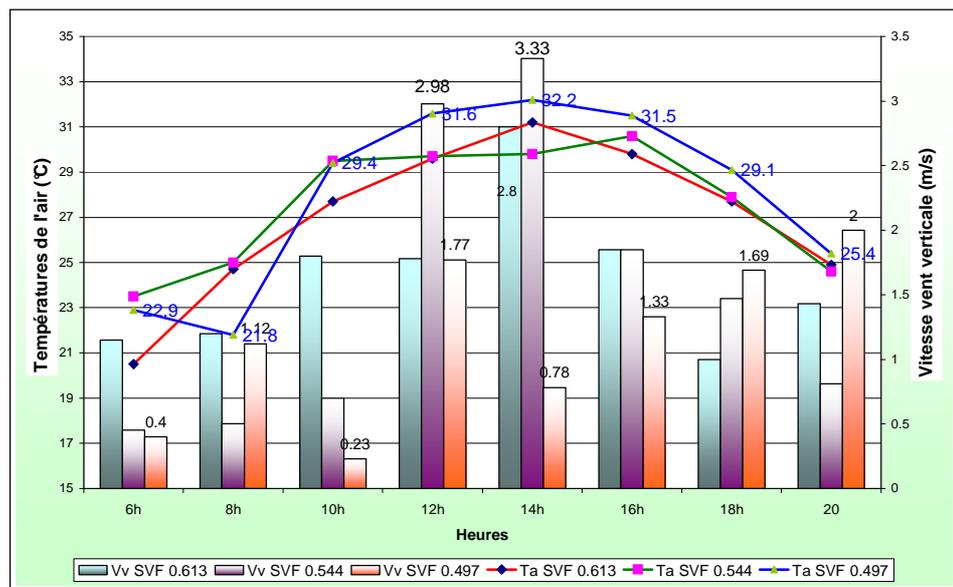
---

<sup>38</sup> A. Bennadji, Op.cit 21



**Fig.VIII-52 :** Comparaison des variations des températures de l'air au niveau des stations C, D et E en fonction de la composante horizontale du vent.

Source : Auteur



**Fig.VIII-53 :** Comparaison des variations des températures de l'air au niveau des stations C, D et E en fonction de la composante verticale du vent.

Source : Auteur

• **8h - 18h**, comme représenté par les figures **VIII-52**, **VIII-53**, il ya tendance de deux phases : avant 14h et après 14h.

Pour les deux stations de même nature du sol (sol naturel nu), à 14h, la station **D** (SVF 0.613) représentant un plus grand accès solaire, enregistre une température de l'air maximum de 31.2°C, suivie de la station **C** (SVF 0.544) avec une valeur de 30.8 °C.

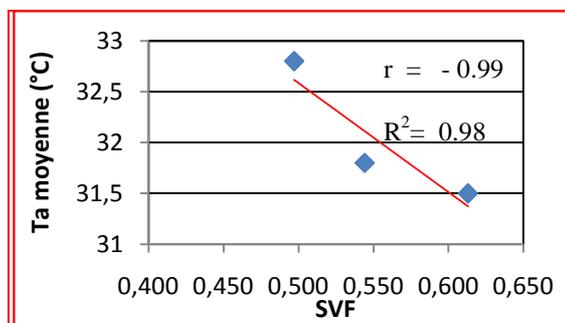
Après 14h, ce comportement commence à s'inverser avec un SVF plus élevé atteignant les plus basses températures peu de temps après le coucher du soleil. Ceci confirme le développement de l'ICU comme déjà expliqué plus haut. Durant cette période, l'écart maximal est atteint à 16h. IL est de seulement 0.8°C entre **D** et **C** à cause des grandes vitesses de vent qui ventilent la station **C** (cf. Fig. VIII- 52).

La station **E** (SVF 0.497), espace dièdre, siège de multi réflexion, et couverte d'asphalte accuse un retard en début de journée puisqu'elle n'est pas encore assez réchauffée comparativement aux deux autres stations, puis les températures de l'air ne cessent d'augmenter jusqu'à atteindre un maximum de 32.2°C à 14h (cf. Fig. VIII-52). Valeur cautionnée par les faibles vitesses du vent ne dépassant pas un maximum de 1.25 m/s, la nature minérale du sol avec un faible albédo de 0.05, et les grandes surfaces des façades de plus de 30 m de hauteur exposées aux rayons solaires. Après 14h, elle enregistre les températures de l'air les plus élevées (Cf. Fig. VIII-52). Un écart maximal de 1.9°C est atteint avec la station **D** (SVF 0.613).

- **Après 18h**, le réchauffement est lié aux faibles valeurs de SVF d'où le développement de l'ICU nocturne comme déjà expliqué plus haut.

#### VIII-3-5-2 -4 - Relation SVF et température de l'air

Comme pour l'orientation E- SE/ O-NO, le rapport entre les moyennes des températures de l'air et le SVF s'est avéré possible aussi. Une forte corrélation, mais cette fois ci négative, d'un pourcentage de  $R^2 = 98\%$  a été trouvée pour toute la période de mesure 6h- 20h (cf. Fig. VIII.52). Mais toujours contrairement à l'orientation précédente, ce rapport entre les moyennes des températures de l'air diurnes des trois stations vues par le soleil de 8h-16h et le SVF s'affaiblit à 92%.



**Fig. VIII-54 :** Corrélation entre SVF et température de l'air pour les stations d'orientation E-NE/ O-SO.

Source : Auteur

La station **E** (SVF 0.497) enregistre la moyenne la plus élevée 27.99°C, suivie de la station **C** qui s'ouvre vers l'Est avec une moyenne de 27.58°C et comme déjà expliqué pour les températures surfaciques dans la section **VIII-3-5-1-6**, en été une corrélation négative existe entre la température de l'air et l'obstruction de l'horizon en direction de l'azimut.<sup>39</sup> La station **D** enregistre une moyenne de 27.01°C.

La différence de température de l'air entre les zones à l'ombre et au soleil est faible comparativement à l'orientation précédente où les différences maximales atteignent 3.4°C entre P<sub>1</sub> et P<sub>3</sub> à 10h dans la station **E**, 1.8°C à 8h dans la station **C** entre P<sub>1</sub> et P<sub>3</sub> et 1,7°C entre P<sub>1</sub> et P<sub>3</sub> dans la station **D** à 8h.

Ces écarts maximums mettent en évidence l'effet de refroidissement important des espaces de faible SVF (des petits espaces) étudiés par L. Shashua-bar et al<sup>40</sup>, et G. Scudo<sup>41</sup> (cf. Chap. VII).

#### **VIII-3-5-2 -5 - Températures du sol**

Comme déjà mentionné, les surfaces étudiées sont constituées d'asphalte (albédo 0.05, absorptivité 0,93 et émissivité 0.95) et sol naturel nu (albédo 0.25, absorptivité 0.75 et émissivité 0.91).

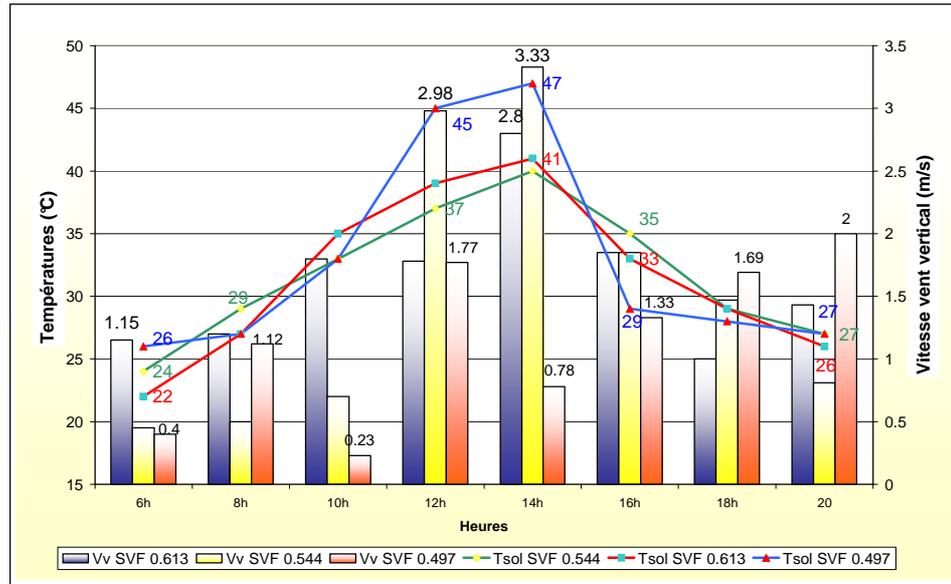
Il est tout à fait clair sur la **figure VIII-55** qu'il y a une différence de comportement temporel et spatial pour chaque surface mesurée.

---

<sup>39</sup> H.Andrade, Op.cit 23

<sup>40</sup> L.Shashua-Bar., 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

<sup>41</sup> G. Scudo, "The room's greens in the stone city", Ambiente costruito: Bioclimatica, 1995, <http://www.mybestlife.com>



**Fig.VIII-55:** Comparaison des variations des températures du sol au niveau des stations C, D et E en fonction de la composante verticale du vent.

Source : Auteur

Comme fourni par la littérature, les surfaces horizontales pour les géométries d'orientation Nord-est / Sud-ouest avec un rapport H/W compris entre 0.1- 0.5 sont liées pendant l'été à la surchauffe entre 13h- 16h<sup>42</sup> (cf. annexe C), où l'asphalte, vu son faible albédo, a atteint une température maximale de 47°C contre 41°C et 40°C pour le sol naturel nu respectivement dans les stations **D** et **C** (cf. Fig .VIII -55) soit une différence maximale de 7°C. Cependant cette situation s'inverse à 16h car l'asphalte se trouve plus frais que le sol naturel nu de 4°C. En ce moment, le point de mesure est déjà à l'ombre.

Durant cette période, il est clair que pour deux surfaces de même nature (cf. Fig.VIII-55), il y a tendance de deux phases : les températures de surface les plus élevées ont été directement liées aux valeurs plus élevées de SVF avant 14h, où une différence de 2°C est trouvée entre **D** et **C**. Ensuite la tendance a commencé à s'inverser et les capacités de refroidissement des surfaces ont été réduites pour la géométrie de faible SVF, d' où une différence de 2°C est trouvée entre **D** et **C** à 16h.

Comme mentionné par la **figure VIII-55**, les effets aérauliques (verticaux) de type turbulence thermique d'origine convective, résultant d'un réchauffement différentiel des surfaces inhérent aux différences de SVF, semblent avoir une grande responsabilité

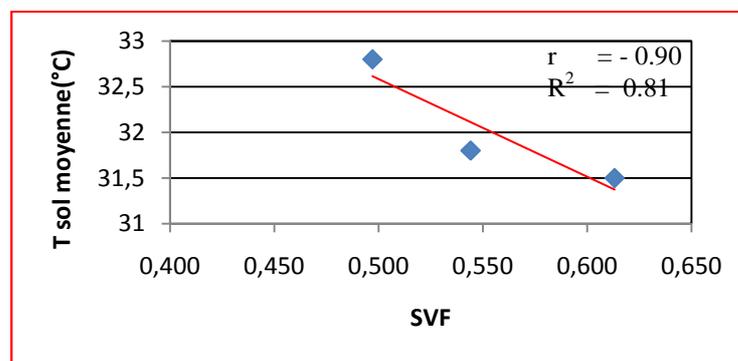
<sup>42</sup> F.Bougiatoti, Op.cit 25

dans le comportement des surfaces : plus leurs vitesses sont grandes, plus la surface est refroidie restituant ainsi sa chaleur à l'air.

L'exception à cette règle est enregistrée entre 12h –14h où l'écoulement chaotique du vent, comme déjà expliqué plus haut, empêche tout refroidissement des surfaces malgré les grandes vitesses de l'air (cf. Fig. VIII-52).

### VIII-3-5-2 -6 - Relation SVF et température surfacique

Une corrélation négative  $R^2 = 81\%$  a été trouvée entre la géométrie décrite par le SVF et les températures surfaciques, (cette corrélation est de 100% pour les surfaces de même nature du sol), elle reste toujours négative pour la période où les trois stations sont vues par le soleil (8h- 16h), avec un coefficient de détermination  $R^2 = 52\%$ .



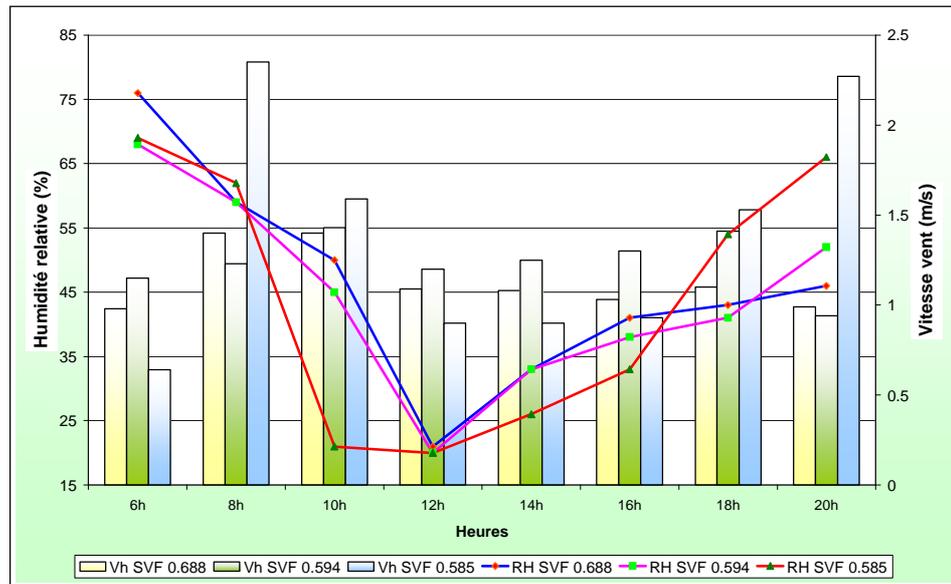
**Fig.VIII-56 :** Corrélation entre SVF et température surfacique pour les stations d'orientation E-NE/ O-SO ((6h- 20h),  
Source : Auteur

Il reste à noter que la différence de température du sol entre les zones à l'ombre et au soleil (cf. Fig. VIII- 19 et Fig. VIII- 41, 43, 45) est considérable. Elle atteint 11°C entre P<sub>1</sub>(27°C) et P<sub>3</sub> (38°C) à 10h dans la station D soit un refroidissement de 29%, 14°C à 12h dans la station E( asphalté) entre P<sub>1</sub>(45°C) et P<sub>3</sub>( 31°C) soit un refroidissement de 31%, 12°C entre P<sub>3</sub> (46°C) et P<sub>2</sub> (34°C) dans la station C à 12h soit un refroidissement de 26%. Valeurs comprises dans l'intervalle 14 - 20°C trouvé par Kitous et al (cf.chap.IV. section IV-7), et se rapprochant plus ou moins des 40% trouvés par A.Chatzidimitriou et al.<sup>43</sup> Ceci met en évidence l'intérêt de l'ombrage des surfaces minérales, notamment à faible albédo, et l'effet protecteur de la géométrie.

<sup>43</sup> A.Chatzidimitriou et al, Op.cit 31

### VIII-3- 6- Effet combiné des caractéristiques géométriques des stations de mesures et l'humidité de l'air

Comme pour la température, l'effet d'une zone urbaine sur l'humidité relative est perceptible, vu l'imperméabilisation des surfaces et le manque de végétation. L'humidité relative, fonction de la température et de la pression ambiante de l'air, est en moyenne inférieure en ville à l'humidité relative enregistrée en rase campagne (cf. **Fig. VIII-57**).



**Fig. VIII-57:** Comparaison de l'humidité relative de l'air dans les stations de mesures d'orientation E-SE / O-NO avec les données de la station météorologique de référence.

Source : Auteur

Cette différence atteint respectivement en moyenne 17%, 18% et 19% pour respectivement un SVF de 0.688, 0.544 et 0.594. Elle dépasse de loin la valeur moyenne de 10% avancé par Hage (1975) pour les mois d'été (cf. **chapitre III**), et atteint pour les différences extrêmes (minima) : 31% à midi pour la station A (SVF 0.688) et 21% pour les deux autres stations à SVF 0.585 et 0.594.

Ces différences restent dans la marge des écarts en valeur extrême (20 à 30%) avancé par Chandler en 1976 (cf. **chapitre III**).

On peut cependant, à partir de l'étude expérimentale, noter quelques traits caractéristiques du comportement de l'humidité en zone urbaine d'étude :

- Il est à noter que l'air de la zone urbaine sec le jour devient plus humide la nuit (cf. **VIII-57**), d'où l'on enregistre à 6h avant le lever du soleil une différence en valeurs

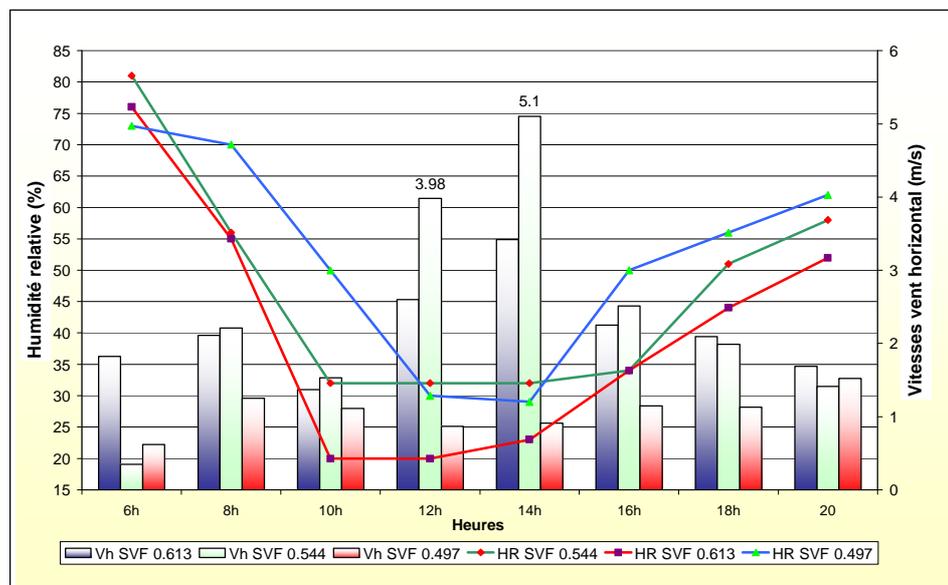
extrêmes (maximales sur la période de mesure) de 25% pour les stations **B** et **F** et 17% pour la station **A** dont la valeur reste en dehors de la marge des extrêmes sus citée. Cette valeur s'explique par la grande baisse de température de l'air par comparaison aux deux autres stations, et de sa surface au sol (sol naturel nu). Surface perméable qui permet une évapotranspiration.

La figure nous renseigne aussi que plus la vitesse de vent augmente, plus l'humidité relative diminue.

Pour l'orientation **E- SE/ O-NO**, une corrélation positive très forte a été trouvée entre les valeurs moyennes de l'humidité relative et le SVF ( $r = 0.98$  soit  $R^2 = 96\%$ ). Ce résultat trouve son explication dans la nature du sol des stations **A** (SVF 0.688) et **F** (0.594) en terre nue permettant une évapotranspiration, et aux faibles vitesses de vent.

Pour l'orientation **E-NE /O-SO**, les résultats prouvent que les stations avec présence de végétation (**E** et **C**), même minime, enregistrent les valeurs moyennes les plus élevées d'humidité relative soit respectivement 52.5% et 47%. A 12h, ces deux stations avaient également présenté des valeurs moyennes sensiblement plus élevées par comparaison aux autres stations (cf. Fig. VIII-58) où elles enregistrent 30% et 32% respectivement.

Ces valeurs corrélées au SVF ont donné pour résultat un  $r = - 96\%$  soit une très forte corrélation négative de  $R^2 = 92\%$ .



**Fig.VIII-58:** Comparaison des variations de l'humidité relative au niveau des stations C, D et E, d'orientation NE / SO, en fonction de la composante horizontale du vent.

Source : Auteur

Ce résultat coïncide avec celui prouvé par G.Scudo (**cf. Chap. VII**), où dans son étude sur les places urbaines a tiré la conclusion "*que pour bénéficier de l'effet de l'évapotranspiration, il faut prévoir des petites places presque fermées.*"<sup>44</sup> Ceci dit un SVF réduit.

### **VIII-3- 7- Effet combiné des caractéristiques géométriques des stations de mesures et les phénomènes aérauliques**

Dans notre étude de cas, la vitesse de vent a été mesurée aussi bien horizontalement 1.5 m que verticalement à 2 m (pour mettre en évidence les mouvements ascendants ou descendants de nature thermique ou mécanique, turbulence). D'une manière générale, on constate une vitesse de vent dans le secteur urbain beaucoup plus réduite par rapport aux vents synoptiques (**cf. Tab. VIII. 12**).

Les dimensions et proportions des six stations, d'après les recommandations concernant la protection des espaces piétons des effets nocifs du vent, semble être respectées (**cf. annexe G**), sauf à la station **F** (qu'on expliquera plus loin).

Les mesures in situ des vitesses du vent valident cette conclusion où l'écoulement est entretenu.

L'observation du **tableau VIII. 12** et graphiques de la **figure VIII-59** révèle que les vitesses des vents varient entre 2- 4 sur l'échelle de beaufort (**cf. annexe D**). La plus élevée des vitesses moyennes de vent est de 2,68 m/s, enregistrée dans la station **C**. cette même station enregistre la valeur maximale de 5,1 m/s à 14h, valeur à la limite du confort pour les usagers de l'espace urbain (**cf. chap. V**).

---

<sup>44</sup>G .Scudo, Op.cit 41

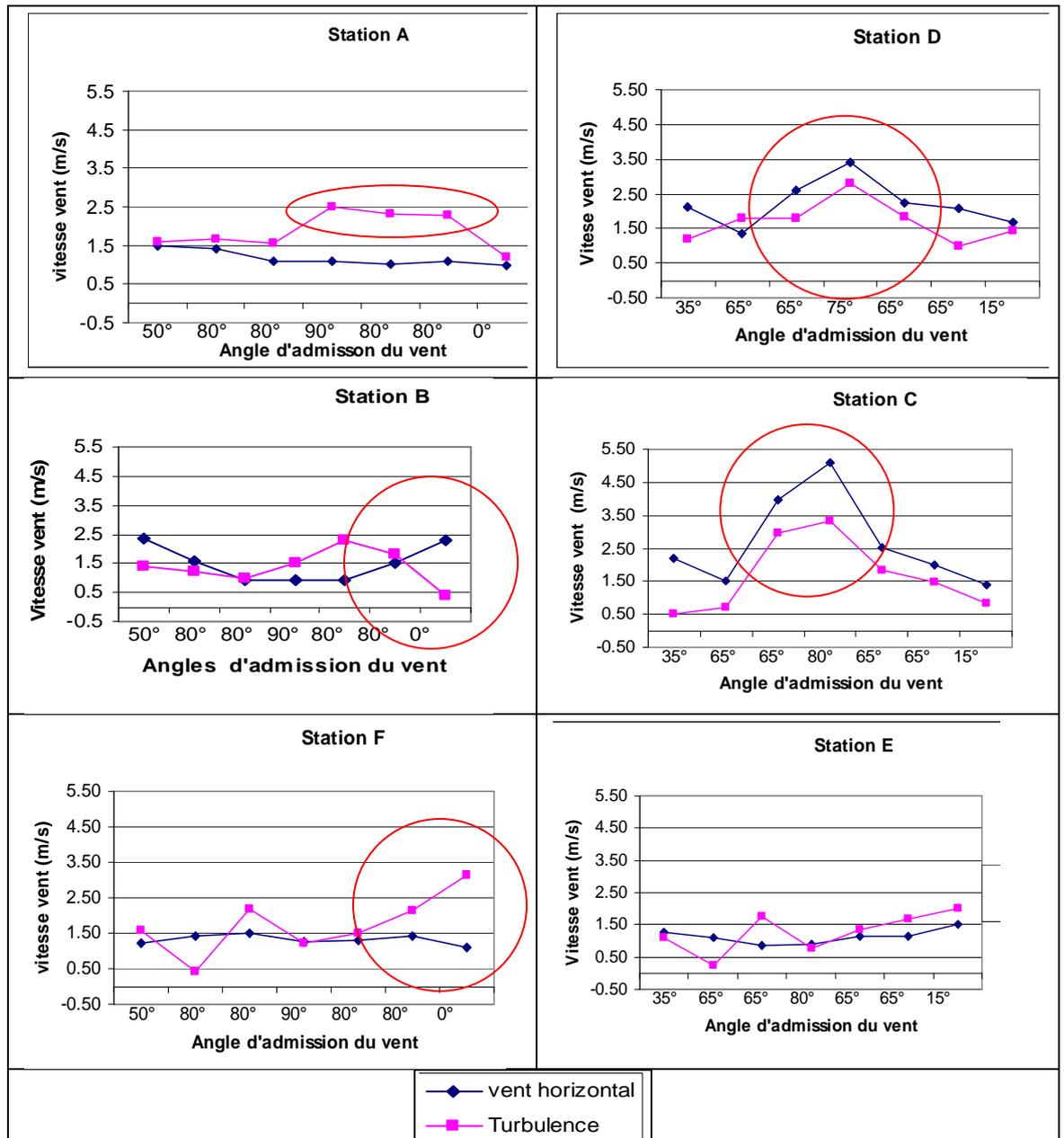
**Tab. VIII.12:** valeurs des vitesses de vent horizontal et turbulence en rapport avec l'angle d'incidence sur l'axe d'orientation de l'espace. (Source : Auteur)

Stations E-SE/ O-NO		8h	10h	12h	14h	16h	18h	20h	Moyenne
angle d'admission du vent		50°	80°	80°	90°	80°	80°	0°	
A	vitesse du vent m/s	1.4	1.4	1.09	1.08	1.03	1.1	0.99	1.15
	Turbulence m/s	1.2	1.67	1.55	2.50	2.33	2.27	1.20	1.93
B	vitesse du vent m/s	2.35	1.59	0.9	0.9	0.93	1.53	2.27	1.50
	Turbulence m/s	1.40	1.24	1.00	1.50	2.27	1.84	0.41	1.38
F	vitesse du vent m/s	1.23	1.43	1.20	1.25	1.30	1.41	1.11	1.25
	Turbulence m/s	1.60	0.44	1.20	2.2	2.09	1.16	3.14	1.81
Stations E-NE/ O-SO		8h	10h	12h	14h	16h	18h	20h	Moyenne
angle d'admission du vent		35°	65°	65°	80°	65°	65°	15°	
C	vitesse du vent m/s	2.21	1.53	3.98	5.10	2.51	1.99	1.41	2.68
	Turbulence m/s	0.50	0.70	2.98	3.33	1.85	1.47	0.81	1.66
D	vitesse du vent m/s	2.11	1.37	2.6	3.42	2.25	2.09	1.69	2.21
	Turbulence m/s	1.20	1.80	1.78	2.80	1.85	1.00	1.43	1.69
E	vitesse du vent m/s	1.25	1.11	0.87	0.91	1.15	1.13	1.52	1.13
	Turbulence m/s	1.12	0.23	1.77	0.78	1.33	1.69	2.00	1.2
Vent synoptique		8h	10h	12h	14h	16h	18h	20h	Moyenne
Direction du vent		330°	360°	360°	10°	360°	360°	100°	
Vitesse m/s		2	3	3	3,6	4	4	2	

Les valeurs des vitesses de vent les plus faibles sont enregistrées à 20h pour un angle d'admission de vent 0°, soit parallèle à l'axe d'orientation de l'espace ouvert. Plus il augmente (> 60°), plus les turbulences augmentent<sup>45</sup>, dépassant les 2 m/s pendant les heures de surchauffe. Les effets thermiques et mécaniques rendent l'écoulement chaotique<sup>46</sup>, d'où le confinement de la chaleur (**Voir supra**).

<sup>45</sup> M. santamouris, N.Klistikas, K. Niahou, "Ventilation of street canyons and its impact on passive cooling design", *Renewable in the city environment projects*, <http://www.lemma.ulg.be/tools/rice>

<sup>46</sup> E. Bozonnet et al, *Op.cit* 34



**Fig. VIII- 59** : Graphiques des vitesses d'écoulement du vent dans les six stations de mesures en fonction de son angle d'incidence sur l'axe d'orientation de l'espace ouvert.

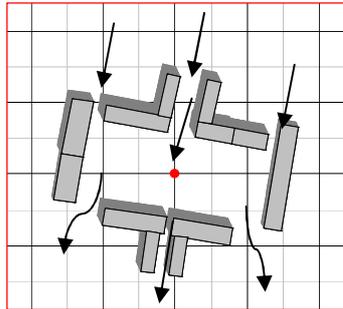
Source : Auteur

Les ouvertures aux coins provoquent un écoulement plus turbulent que les ouvertures situées au milieu, comme prouvé par simulation <sup>47</sup>(cf. **Chap. IV, section IV-9-2**). En effet, la station **A**, aux ouvertures aux coins, enregistre la valeur moyenne la plus élevée (1.93 m/s) suivie de la station **F** avec 1.81 m/s. Par contre la station **B**, aux ouvertures au milieu, enregistre seulement une valeur de 1.38 m/s (cf. **Fig. VIII-59**).

D'autres effets du vent sont relevés dans ces stations :

<sup>47</sup>N. U. Kofoed, M. Gaardsted, "Prise en compte du vent dans les espaces urbains", *Esbensen Consulting Engineers Ltd, Denmark*, [http:// alpha.Cres.gr/ruros/](http://alpha.Cres.gr/ruros/)

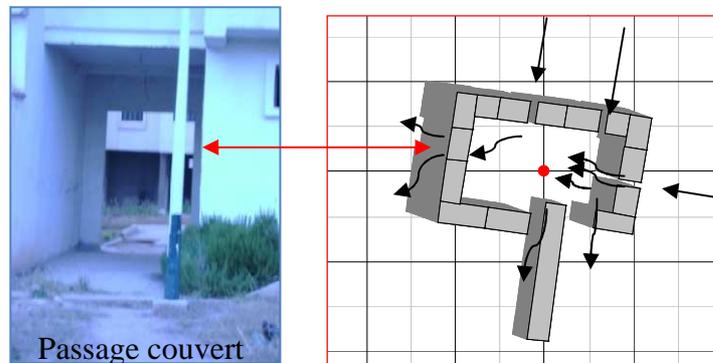
✓ La station **A** est affectée d'un effet de canalisation résorbé par ses bras ouverts. D'où la sérénité des vitesses de vent (cf. **Fig. VIII- 60**)



**Fig. VIII- 60** : Ecoulement du vent dans la station **A**

*Source : Auteur*

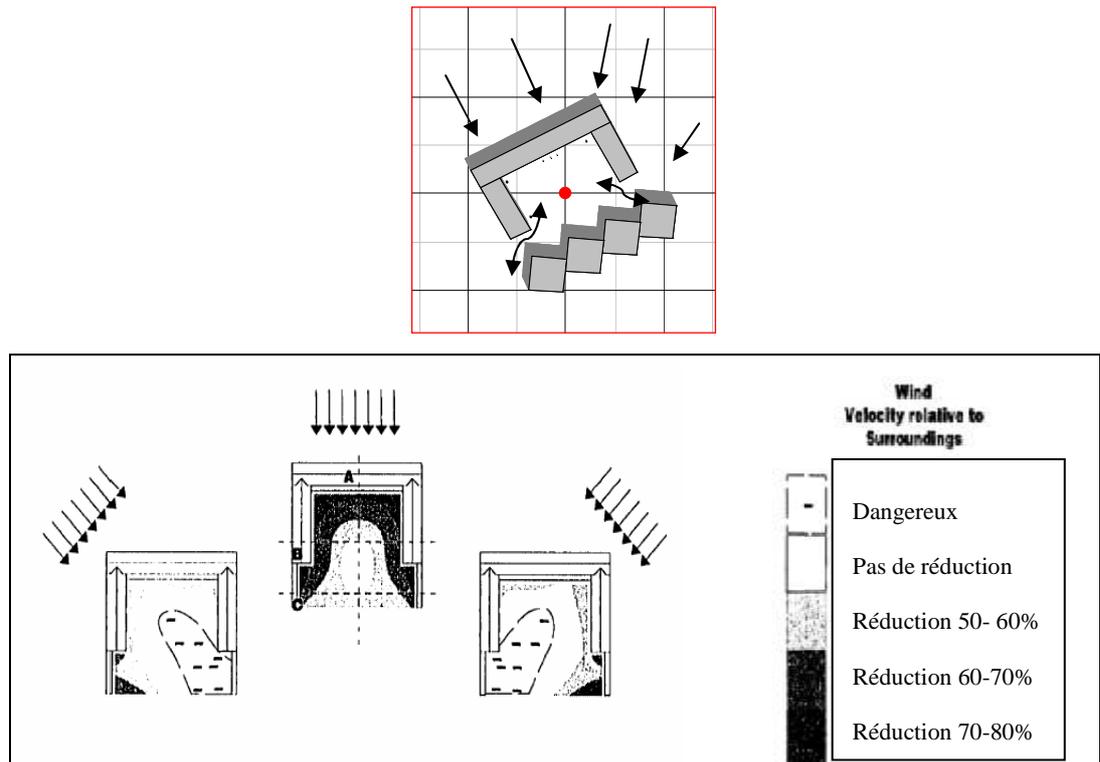
✓ La station **B** est affectée d'un effet de canalisation résorbé par ses bras ouverts et son passage couvert. Une combinaison d'effet de canalisation- Venturi et observée à 20h, bien que l'écoulement soit parallèle à l'axe d'orientation de la place ; l'étranglement accentue les vitesses à 2,5 m/s (cf. **Fig. VIII. 28**). Les turbulences sont résorbées par le passage couvert et les ouvertures au milieu, d'où on enregistre une turbulence de 0.41 m/s.



**Fig. VIII- 61** : Comportement du vent dans la station **B**

*Source Auteur*

✓ Les ouvertures aux coins de la station **C** favorisent l'écoulement le plus turbulent surtout durant les heures de surchauffe. La **figure VIII-62** illustre cet effet.



**Fig.VIII- 62 :** Comportement du vent à la rencontre d'une forme en U telle que C

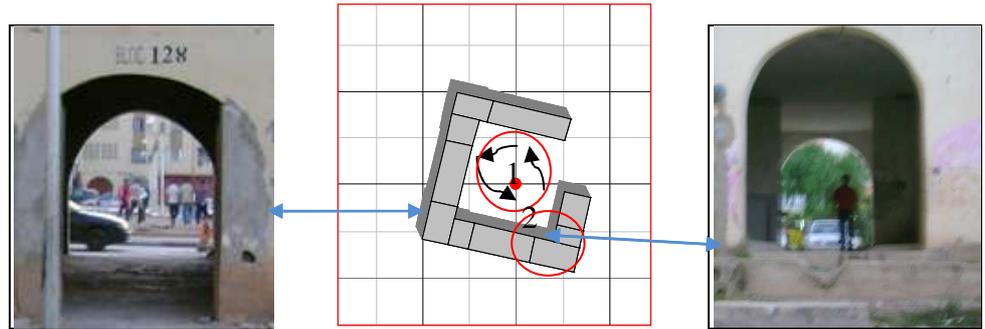
Source : Jensen. M, et Frank. N (1964)

Cette station atteint une vitesse de l'air de 5 m/s à 14h dépassant celle des vents synoptiques (3.6 m/s). Cette vitesse est la combinaison de plusieurs effets : Turbulence thermique, angle d'admission du vent  $80^\circ$  ( $> 60^\circ$ ) et l'effet de coin sus cité.

Cela explique la bonne ventilation de l'espace et les basses températures de l'air et de surface enregistrées pendant la période de surchauffe (cf. Fig. VIII- 47).

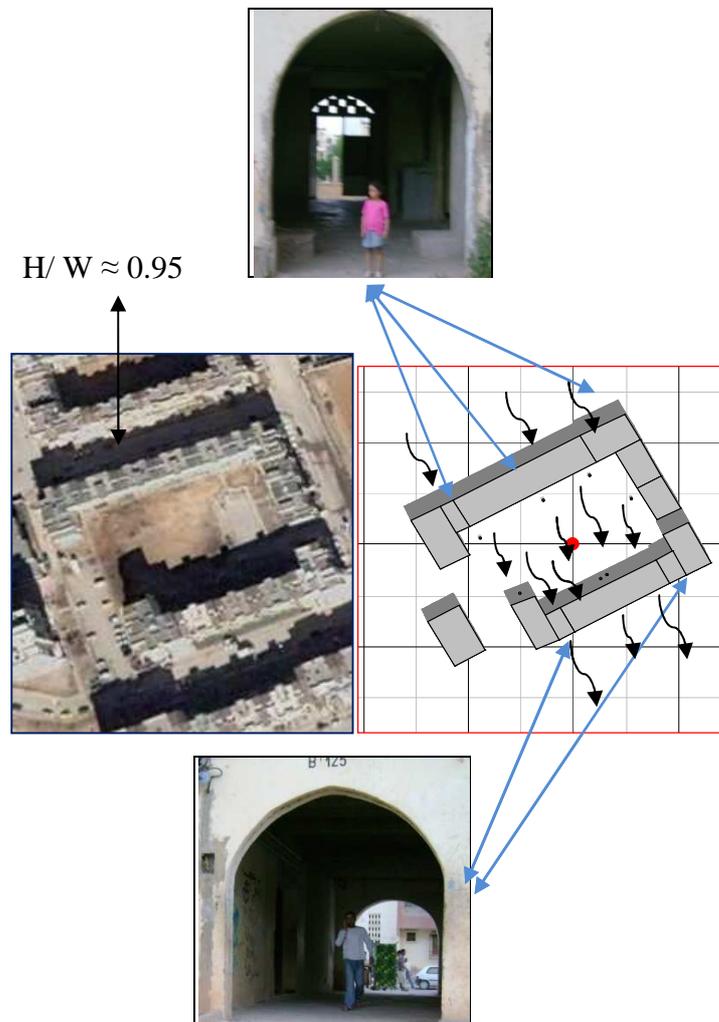
Cette station enregistre les vitesses et les turbulences les plus faibles à 20h quand le vent est presque parallèle ( $15^\circ$ ) à son axe d'orientation.

✓ La station F affectée d'une grande turbulence, lorsque le vent souffle à 20h parallèlement à l'axe d'orientation avec une ouverture de plus de 25% de son périmètre (effet barre), d'où l'on enregistre une vitesse de l'air de 2.25 m/s au point P<sub>2</sub> contre 1.1 m/s au centre mais avec une turbulence de 3.14 m/s en ce dernier. Cet effet est atténué par ses passages couverts aux coins. On observe, alors, une vitesse de 1.83 m/s.



**Fig. VIII- 63 :** Comportement du vent dans la station F.  
*Source : Auteur*

✓ La station **D** est affectée d'un effet de trou (passages couverts en direction des vents dominants) résultat d'un échauffement différentiel entre parois pendant les heures de surchauffe.

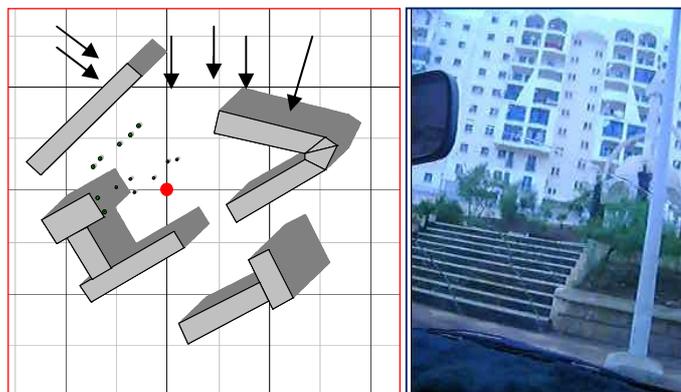


**Fig.VIII-64 :** Effet de trou qui frappe la station **D**.  
*Source : Auteur*

Ces trous (passages couverts) provoquent une accélération de l'air (cf. **Chap. IV, section IV-7**) et favorisent une ventilation transversale de l'espace en accord avec la disposition de cette cour urbaine entre deux rues moins ouvertes au ciel. Les surfaces de la station **D** étant plus chaudes, provoquent une circulation d'air locale passant du plus chaud au froid à longueur de journée. Ceci explique le comportement thermique et hygrothermique de cet espace (**Voir supra**).

Une pareille configuration a été simulée par E. Tsianaka<sup>48</sup> (cf. **Chap. IV. Section IV-8-4**) pour déterminer la manière dont la morphologie urbaine affecte les températures de l'air. Les résultats du terrain (**station D**) et de la simulation (**site Amerikinis à Athènes**) semblent se concorder où les températures de l'air des cours urbaines étaient plus basses que les rues.

✓ La station **E** enregistre les vitesses de vent les plus faibles, avec une moyenne de 1.13 m/s dues à l'effet de protection par son relief, puisqu'elle présente une différence de niveau de 4 m par rapport à son environnement, en combinaison à une hauteur élevé de plus de 30 m de ses abords qui jouent, ainsi, le rôle de déflecteur. Ceci a favorisé un confinement d'air chaud (cf. **Fig. VIII-65**) et diminué de l'effet protecteur de sa géométrie (SVF 0.497).



**Fig. VIII- 65** : La topographie de l'espace **E** l'obstrue de toute circulation d'air.

*Source : Auteur*

L'écoulement du vent en site urbain s'avère donc très difficile à prévoir, de par son interaction avec les obstacles selon la variabilité de leur rugosité, leur configuration, leur pourcentage d'ouverture aux vents, et enfin des températures surfaciques.

<sup>48</sup> E. Tsianaka, "The role of courtyards in relation to air temperature of urban dwellings in Athens", *PLEA, The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture*, Genève, Suisse, 6-8 Septembre 2006

## Conclusion

Pour tester l'influence de la géométrie des espaces publics ouverts tels que les places sur le microclimat urbain, une investigation a été conduite durant la saison chaude (mois d'Août) sur six configurations différentes dont trois d'entre elles sont orientées **E-SE/ O-NO** et trois autres sont orientées **E-NE/ O-SO** ayant pour indicateur de géométrie le degré de leur ouverture au ciel (**SVF**).

L'interprétation des résultats nous a permis de mettre en évidence plusieurs réalités sur le microclimat urbain :

- Sur un site urbain même moyennement dense qu'est la ville nouvelle d'Ali Mendjli, on a pu détecter l'existence du phénomène d'îlot de chaleur urbain (**ICU**) diurne et même nocturne dans ces espaces assez dégagés. Cependant la corrélation entre l'intensité de l'**ICU** diurne et le **SVF**, contrairement à l'**ICU** nocturne, ne semble pas claire résultat du comportement temporel et spatial différent des surfaces minérales sous les rayons solaires d'une configuration à une autre.

Pour des surfaces de même nature sous les rayons solaires, une forte corrélation existe entre l'intensité de l'**ICU** mais dont le sens positif ou négatif dépend du comportement aéraulique dans l'espace.

- La corrélation négative entre le **SVF** est la température surfacique prouvée par I. Eliasson<sup>49</sup> pour différents **SVF** des rues cagnons en période nocturne semble valide aussi pour ces espaces en période diurne ce qui semble contradictoire avec la quantité du rayonnement solaire importante que permet un grand **SVF**. Cependant l'observation : des mouvements d'air d'origine convective dus au réchauffement différentiel des zones à l'ombre est au soleil, des caractéristiques différentes des matériaux au sol, de l'ouverture de l'espace en direction de l'azimut, source additionnelle aux températures surfaciques horizontales et verticales de l'espace, et enfin de la différence de niveau de l'assiette de l'espace par rapport à ses alentours (topographie) diminuant d'une façon très perceptible les vitesses d'écoulement du vent, peuvent en être l'explication.
- Les températures de l'air semblent adopter le même comportement où des résultats contraires entre les deux orientations ont été trouvés.

---

<sup>49</sup> I. Eliasson, Op.cit 14

Cependant, les différences de températures de l'air ou de surface entre zones à l'ombre et au soleil sont en très forte corrélation négative, c'est à dire plus le **SVF** est faible plus le degré de refroidissement est grand.

- Le faible albédo de l'asphalte couvrant les surfaces horizontales joue un rôle important dans l'augmentation de la température de l'air.
- Le manque de végétation a fait que des faibles valeurs d'humidité relative ont été enregistrées durant les heures de surchauffe. La présence des jeunes arbres ne semble contribuer d'aucune manière à son amélioration. cependant une corrélation négative a été prouvée entre le **SVF** et l'humidité de l'air.

L'espace urbain extérieur par sa morphologie et sa configuration au sol en interaction avec les différentes caractéristiques des ses surfaces naturelles et artificielles, et son intervention sur le comportement aéraulique de nature dynamique ou thermique, est le siège de différentes ambiances thermiques pour ses usagers. La mise en évidence du rôle du seul paramètre « géométrie » ayant pour indice le **SVF** s'avère très compliquée dans des espaces préétablis où règnent les différents facteurs précités.

Pour tester l'influence de la forme et proportion de ces pièces maîtresses du tissu urbain, puisque le **SVF** n'est que la combinaison des deux, de l'améliorations des propriétés thermiques des surfaces au sol, et la réduction du SVF par des masques d'ensoleillement sur le confort thermique des usagers de ces espaces, ayant pour objectif de pouvoir tirer des recommandations concernant les espaces préexistants et les projets futurs, une simulation numérique s'avère indispensable et fera l'objet du prochain chapitre.



# **Simulation**

*"Les techniques de modélisation et de simulation numérique vont doter les concepteurs d'espaces urbains d'outils puissants. Déjà, ceux-ci permettent à la fois d'obtenir des figurations des projets et d'ajuster les caractéristiques de certains facteurs d'ambiance."*

*Jean-Pierre Péneau<sup>1</sup>*

## **Introduction**

Les espaces publics ouverts ne peuvent jouer le rôle qu'il leur est assigné sauf s'ils offrent un environnement physique et psychologique confortable. Le souci et l'intérêt des décideurs politiques, concepteurs et réalisateurs pour assurer leur pérennité ne cessent d'augmenter afin de promouvoir la vie sociale dans les villes. **(cf. Chap. II).**

La géométrie urbaine est un facteur parmi plusieurs qui participent à la détermination de l'ambiance thermique dans ces espaces. Plusieurs recherches à travers le monde l'ont prouvé par les expériences sur terrain qui ont été en général suivies d'une simulation afin d'apporter des améliorations au microclimat du site d'investigation.

Pour notre cas, le recours à la simulation était plus que nécessaire pour obtenir des paramètres nécessaires à notre étude à savoir :

- Le calcul du facteur de vue du ciel.
- Le tracé des ombres pour comprendre les variations de la température surfacique du sol et son corollaire la vitesse du vent.
- Le calcul de la température moyenne radiante  $T_{mrt}$  (MRT).
- Le calcul de l'indice thermo physiologique PET afin de palper l'influence de la géométrie sur le confort thermique des usagers des espaces étudiés.
- Proposition d'une variété de scénarios d'amélioration du confort thermique dans les espaces étudiés.

Le modèle RayMan 1.2, comme il a été déjà mentionné, est utilisé.

---

<sup>1</sup> J.P. Péneau, "Some Problems Relating to the Numerical Simulation of Urban Ambient Environment", *Planning and Design*, vol. 18, p 107-117, 1991.

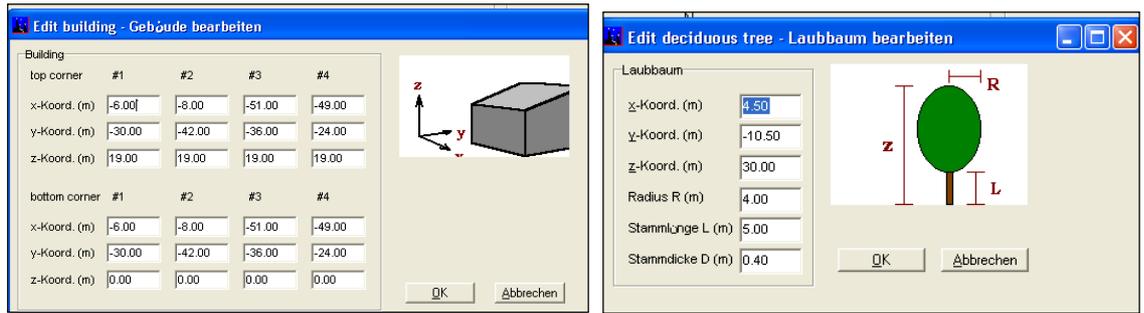
### **IX- 1- Présentation du modèle RayMan 1.2**

Développé sur la base des directives allemandes VDI- 3789, partie II (météorologie environnementale, interactions entre l'atmosphère et les surfaces ;calcul du rayonnement de courte et grande longueur d'onde), et Vdi-3787. (Météorologie environnementale, méthodes pour l'évaluation de la biométéorologie humaine selon le climat et la qualité de l'air pour la planification urbaine et l'aménagement du territoire. Partie I : climat), le modèle "RayMan" en 3D estime les flux du rayonnement incident en courte et grande longueur d'onde sur le corps humain. En prenant en considération comme entrées (inputs) les effets de la combinaison des nuages et des obstacles solides (bâtiments, arbres caducs et persistants) sur le rayonnement en courte longueur d'onde. Les obstacles sont dessinés dans différentes couleurs (gris pour les bâtiments, vert pour les arbres caducs et vert clair pour les arbres persistants) ce qui facilitera la lecture des cartes. (cf. **fig. IX-1**) après introduction des coordonnées de chaque coin du bâtiment et des informations sur la couronne et le tronc d'arbre. (cf.**Fig.IX-2**)



**Fig. IX - 1** : Fenêtre des inputs "obstacles"

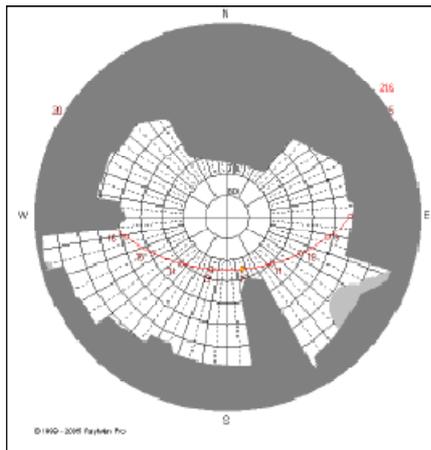
*Source Matzarakis.A et al (2007)*



**Fig. IX -2 :** Fenêtres d'introduction des coordonnées de chaque coin de bâtiment et des caractéristiques géométriques des arbres

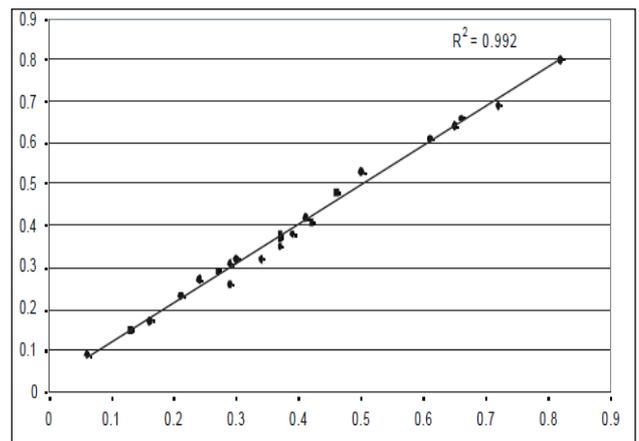
Source Matzarakis.A et al (2007)

L'évaluation du facteur de vue du ciel est alors possible (cf. Fig. IX-3) dont les recherches ont prouvé une forte corrélation du SVF calculé depuis les photos fish-eye et le modèle RayMan. (cf. Fig. IX-4)



**Fig.IX-3:** diagramme polaire d'une configuration urbaine

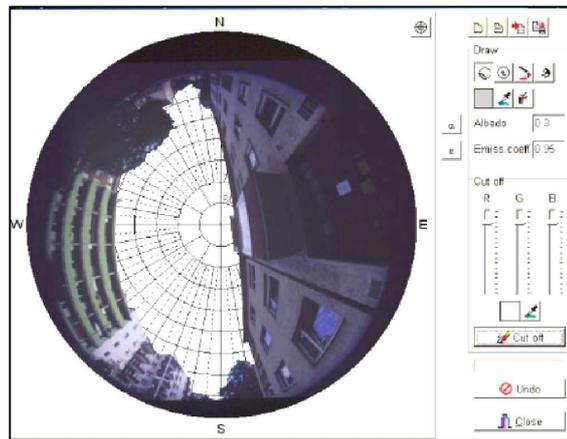
Source Matzarakis. A et al (2007)



**Fig.IX-4 :** La grande corrélation entre le SVF calculé et estimé par Ray Man

Source : Andrade. H (2005)

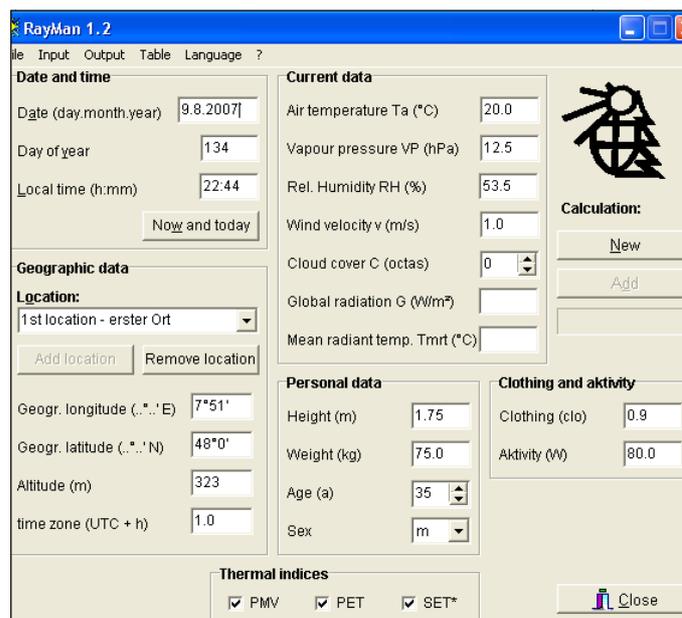
La superposition du diagramme polaire sur des photos fish-eye pour le calcul du SVF est aussi possible. (cf. Fig. IX-5)



**Fig.IX-5** : Calcul du SVF depuis une photo fish-eye  
Source Matzarakis.A et al (2007)

Le rendu final du modèle est le calcul de la température moyenne radiante  $T_{mrt}$ , ainsi que l'évaluation des conditions bioclimatiques urbaines par le calcul des indices du confort thermique PMV, PET basé sur la méthode MEMI, et l'indice SET\*(cf.Chap. V) Dans ce but le modèle exige (cf. Fig. IX-6) :

- La situation précise de l'emplacement par sa latitude, sa longitude, son altitude par rapport au niveau de mer
- les données météorologiques fondamentales (température de l'air, humidité relative et vitesse de vent et la nébulosité (au cas d'un ciel couvert),
- l'albédo de la couverture du sol,
- les données thermophysiques (activité et habillement).

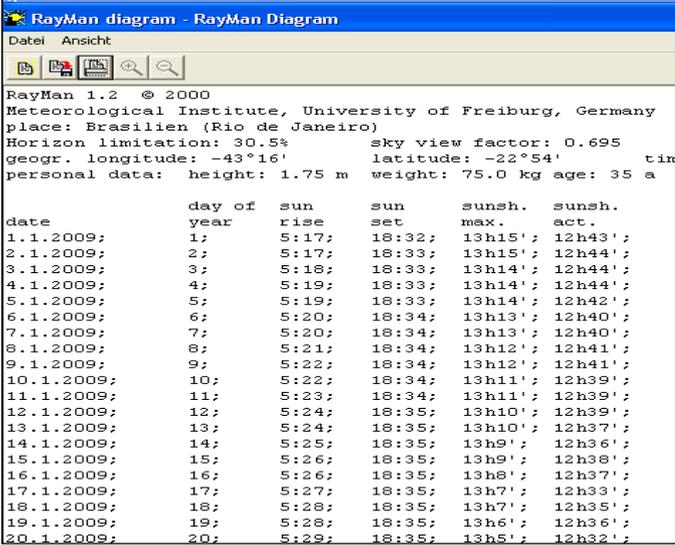


**Fig. IX. 6** : Fenêtre principale de Ray Man  
Source Matzarakis.A et al (2007)

RayMan effectue ses calculs pour un corps humain désigné par le point rouge 'Location' mentionné sur la carte. L'altitude désigne la distance relative verticale entre le point rouge et le niveau du sol. (cf. Fig. IX. 1)

Le logiciel Rayman présente d'autres avantages :

- Trace la course solaire (cf. Fig. IX. 4) pour n'importe quel jour de l'année.
- Trace les ombres des obstacles urbains simples ou complexes (cf. Fig. IX.1) pour chaque jour de l'année et pour chaque période spécifique de jour, afin de déterminer les secteurs où les ombres se produisent et où le flux solaire influe.
- calcule la durée d'ensoleillement journalier pour chaque environnement simple ou complexe. (cf. Fig. IX. 7)



RayMan 1.2 © 2000  
 Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany  
 place: Brasilien (Rio de Janeiro)  
 Horizon limitation: 30.5% sky view factor: 0.695  
 geogr. longitude: -43°16' latitude: -22°54' tim  
 personal data: height: 1.75 m weight: 75.0 kg age: 35 a

date	day of year	sun rise	sun set	sunsh. max.	sunsh. act.
1.1.2009;	1;	5:17;	18:32;	13h15';	12h43';
2.1.2009;	2;	5:17;	18:33;	13h15';	12h44';
3.1.2009;	3;	5:18;	18:33;	13h14';	12h44';
4.1.2009;	4;	5:19;	18:33;	13h14';	12h44';
5.1.2009;	5;	5:19;	18:33;	13h14';	12h42';
6.1.2009;	6;	5:20;	18:34;	13h13';	12h40';
7.1.2009;	7;	5:20;	18:34;	13h13';	12h40';
8.1.2009;	8;	5:21;	18:34;	13h12';	12h41';
9.1.2009;	9;	5:22;	18:34;	13h12';	12h41';
10.1.2009;	10;	5:22;	18:34;	13h11';	12h39';
11.1.2009;	11;	5:23;	18:34;	13h11';	12h39';
12.1.2009;	12;	5:24;	18:35;	13h10';	12h39';
13.1.2009;	13;	5:24;	18:35;	13h10';	12h37';
14.1.2009;	14;	5:25;	18:35;	13h9';	12h36';
15.1.2009;	15;	5:26;	18:35;	13h9';	12h38';
16.1.2009;	16;	5:26;	18:35;	13h8';	12h37';
17.1.2009;	17;	5:27;	18:35;	13h7';	12h33';
18.1.2009;	18;	5:28;	18:35;	13h7';	12h35';
19.1.2009;	19;	5:28;	18:35;	13h6';	12h36';
20.1.2009;	20;	5:29;	18:35;	13h5';	12h32';

Fig. IX.7 : Tableau de l'ensoleillement journalier de chaque espace.  
 Source RayMan 1.2

- Le temps de fonctionnement très rapide.

Cependant l'absence de modification des vitesses des vents selon les obstacles ainsi que la dispersion des nuages sont un inconvénient, mais qui peut être résolu facilement en simulant avec différentes valeurs de vitesses de vent et de nébulosité.<sup>2</sup>

En outre les calculs sont effectués seulement pour un point qu'on ne peut déplacer dans la scène et ne s'étalent par sur tout l'emplacement étudié.

Les informations sur le confort thermique ne sont pas fournies après le coucher du soleil.<sup>3</sup>

<sup>2</sup> A. Matzarakis, F. Rutz, " Application of RayMan for tourism and climate investigations", *Annalen der Meteorologie* 41, Vol. 2, 631-636. 2006

<sup>3</sup> Observation de l'auteur

Ce modèle convient à plusieurs applications dans le secteur urbain telles que la planification urbaine et la conception des espaces ouverts, ainsi que pour l'aménagement du territoire du point de vue touristique.

Les résultats du modèle RayMan sont en accord avec les résultats obtenus à partir de plusieurs études expérimentales.<sup>4</sup>

### **IX-2- Evaluation du confort humain dans les stations d'étude**

Après avoir analysé les différentes interactions des six géométries urbaines avec les paramètres climatiques, une estimation du confort humain issu de ces conditions microclimatiques s'avère nécessaire pour pouvoir déterminer laquelle des six géométries répond le mieux aux attentes des usagers de l'espace urbain et pouvoir ainsi tirer des recommandations quant à leur conception.

L'analyse et la discussion du confort thermique dans les stations d'études se sont basées sur l'estimation de la température moyenne radiante  $T_{mrt}$  et l'indice thermo physiologique de confort PET. Les tableaux et graphiques issus du traitement des outputs permettront une interprétation objective des résultats, et une comparaison en termes des conditions du confort thermique entre les différents espaces ouverts pour la journée d'été de mesure le 9 Août 2007.

#### **IX- 2-1- Impact de la géométrie sur les températures moyennes radiantés ( $T_{mrt}$ )**

Dans l'objectif de mettre le jour sur l'impact de la géométrie sur le confort thermique extérieur, une évaluation de la température moyenne radiante est effectuée.

La température moyenne radiante  $T_{mrt}$  représente le paramètre clé dans l'évaluation de la sensation thermique dans les espaces extérieurs spécialement pour les journées chaudes et ensoleillées<sup>5</sup>, car elle influe considérablement sur le bilan énergétique humain et sur l'indice thermophysique PET.

Le traitement des données microclimatiques (température de l'air, vitesse horizontale du vent et humidité relative) obtenues depuis la campagne de mesure à une hauteur de 1.1m par le programme RayMan 1.2 a donné comme résultats les tableaux qui suivent dont la lecture se fait comme suit:

---

<sup>4</sup> A. Mazarakis, F. Rutz , H. Mayer, " *Modelling radiation fluxes in simple and complex environments— application of the RayMan model*", *International journal Biometeorol* , 51:323–334, 2007

<sup>5</sup> Mazarakis.A et al, *Op.cit.* 2

**Sunch. act:** Durée d'ensoleillement journalier

**G act :** Rayonnement global reçu par le corps hypothétique.

**E** : Rayonnement en grande longueur d'onde reçu par le corps hypothétique.

**Ts** : Température du sol

**Ta** : Température de l'air.

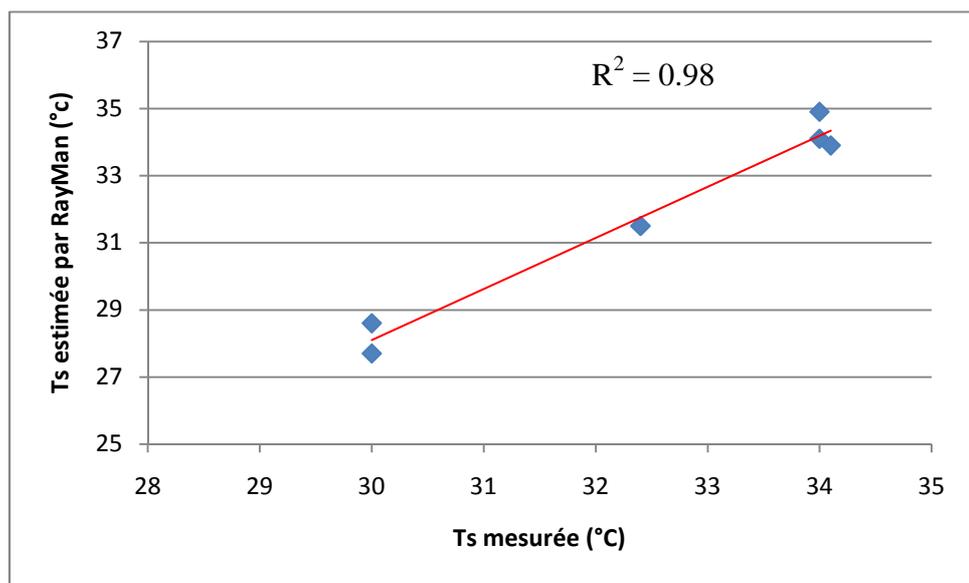
**RH** : Humidité relative.

**V** : Vitesse du vent.

**Tmrt** : Température moyenne radiante.

**PET** : Température physiologique équivalente.

Il est remarquable sur ces tableaux la grande concordance entre les valeurs des températures surfaciques mesurées et celles estimées par RayMan. La corrélation est de  $R^2 = 0.98$  (Fig. IX.8)



**Fig. IX.8** : Corrélation entre les valeurs mesurée et celles estimées par Rayman.

*Source : Auteur*

**Tab. IX-1 : Résultats pour la station A**

RayMan 1.2 © 2000  
 place: **Station A**  
 Horizon limitation: 45.0% sky view factor: 0.688 timezone: UTC +1.0 h  
 geogr. Longitude: 6°35' latitude: 36°16' sex: m clothing: 0.9 clo activity: 80.0 W  
 Personal data: height: 1.75 m weight: 75.0 kg age: 35 a

date	time	Sunsh	Gact	E	Ts		Ta	RH	v	Tmrt	PET	Perception thermique	Niveau du stress physiologique
					Mesurée	modelisée							
	h:mm	actu	W/m2	W/m2	°C	°C	°C	%	m/s	°C	°C		
09-08-2007	6:00		29	431	24	22.7	19.7	78.0	0.7	30.5	21.8	Confortable	Aucun stress thermique
	8:00		217	468	29	28.7	25.1	59.0	1.4	39.8	28.1	Légerement chaud	Léger stress de chaleur
	10:00		298	515	36	36.2	30.1	55.0	1.2	50.2	37.7	Très chaud	Fort stress de chaleur
	12:00		517	567	44	44.0	32.7	21.0	0.9	56.4	42.9	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur
	14:00		522	554	42	42.3	30.7	33.0	0.9	55.8	41.3	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur
	16:00		260	508	35	35.2	30.1	41.0	0.9	45.7	36.1	Très chaud	Fort stress de chaleur
	18:00		43	467	29	28.6	29.3	43.0	0.8	29.1	28.4	Légerement chaud	Léger stress de chaleur
	20:00		0	433	26	22.5	22.8	46.0	0.8	21.9	20.1	Confortable	Aucun stress thermique
	Moyenne		235.8	492.9	33.1	32.5	27.6	47.0	1.0	41.2	32.1	chaud	Stress de chaleur modéré

**Tab. IX-2 : Résultats pour la station B**

RayMan 1.2 © 2000

place: Station **B**

Horizon limitation: 45.0% sky view factor: 0.585

geogr. longitude: 6°35' latitude: 36°15' timezone: UTC +1.0 h

personal data: height: 1.75 m weight: 75.0 kg age: 35 a sex: m clothing: 0.9 clo activity: 80.0 W

RayMan 1.2 © 2000

date	time	Sunsh	Gact	E	Ts Mesurée	Ts modelisée	Ta	RH	v	Tmrt	PET	Perception thermique	Niveau du stress physiologique
	h:mm	actu	W/m2	W/m2	°C	°C	°C	%	m/s	°C	°C		
09-08-2007	6:00		29	437	25	23.8	19.3	69.0	0.6	35.1	24.7	Légerement chaud	Aucun stress thermique
	8:00		205	463	28	28.0	23.4	62.0	2.1	38	27.1	Légerement chaud	Léger stress de chaleur
	10:00		279	494	33	33.1	25.7	21.0	1.5	43.2	31.9	chaud	Stress de chaleur modéré
	12:00		411	553	42	42.1	28.8	20.0	0.9	56.5	39.0	Très chaud	Fort stress de chaleur
	14:00		507	588	47	47.1	31.5	26.0	0.9	62.4	44.5	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur
	16:00		248	529	36	36.2	30.6	33.0	0.7	46.1	36.5	Très chaud	Fort stress de chaleur
	18:00		39	457	28	26.9	27.6	54.0	1.4	29.1	26.4	Légerement chaud	Léger stress de chaleur
	20:00		0	435	25	22.8	22.9	66	2	22.5	19.2	Confortable	Aucun stress thermique
	Moyenne		214.8	494.5	33.4	32.5	26.2	40.7	1.2	42.9	31.2	chaud	Stress de chaleur modéré

RayMan 1.2 © 2000

place: Station **F**

Horizon limitation: 45.0% sky view factor: 0.594

geogr. longitude: 6°35' latitude: 36°16'

personal data:

weight: 75.0 kg

age: 35 a

sex: m

clothing: 0.9 clo

activity: 80.0 W

**Tab. IX-3** : Résultats pour la station **F**

date	time	Sunsh actu	Gact W/m2	E W/m2	Ts Mesurée °C	Ts modélisée °C	Ta °C	RH %	v m/s	Tmrt °C	PET °C	Perception thermique	Niveau du stress physiologique	
														h:mm
09-08-2007	6:00		113	443	23	24.7	21.4	68	1.0	31.6	22.6	Confortable	Aucun stress thermique	
	8:00		217	468	31	28.8	26.1	59	1.1	40.4	30.1	chaud	Stress de chaleur modéré	
	10:00		298	515	35	36.2	27.4	45	1.3	46.8	33.4	chaud	Stress de chaleur modéré	
	12:00		517	567	44	44.1	31.4	20	1.2	54.8	40.3	Très chaud	Fort stress de chaleur	
	14:00		522	554	43	43.2	30.1	33	1.2	55.1	39.6	Très chaud	Fort stress de chaleur	
	16:00		260	509	36	35.2	29.5	38	1.3	44.7	34.2	Très chaud	Fort stress de chaleur	
	18:00		43	467	30	28.6	27.5	41	1.3	27.5	25.6	Légerement chaud	Léger stress de chaleur	
	20:00		0	433	28	22.5	25.1	52	0.9	24.6	23.0	Confortable	Aucun stress thermique	
	Moyenne			246.3	494.4	33.8	32.9	27.9	44.5	1.1	40.7	31.1	chaud	Stress de chaleur modéré

**Tab. IX-4: Résultats pour la station D**

RayMan 1.2 © 2000

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

place: Station D

Horizon limitation: 38.7% sky view factor: 0.613

geogr. longitude: 6°35' latitude: 36°15'

personal data: height: 1.75 m weight: 75.0 kg age: 35 a

sex: m

clothing: 0.9 clo

activity: 80.0 W

date	time	Sunsh	Gact	E	Ts Mesurée	Ts modélisée	Ta	RH	v	Tmrt	PET	Perception thermique		Niveau du stress physiologique
												°C	°C	
09-08-2007	h:mm	actu	W / m2	W/m2	°C	°C	°C	%	m/s	°C	°C			
	6:00		27	408	23	20.1	19.9	76	1.8	23.6	17.2	Confortable	Aucun stress thermique	
	8:00		231	464	31	28.1	23.4	55	1.8	38.1	25.1	Légerement chaud	Léger stress de chaleur	
	10:00		295	506	35	34.9	28.2	20	1.3	45.3	33.0	chaud	Stress de chaleur modéré	
	12:00		504	554	44	39.0	29.9	20	1.2	50.9	35.2	Très chaud	Fort stress de chaleur	
	14:00		615	544	43	40.8	30.6	23	3.1	54.2	36.4	Très chaud	Fort stress de chaleur	
	16:00		204	494	36	32.9	29.6	34	2.2	40.7	31.6	Très chaud	Fort stress de chaleur	
	18:00		40	462	30	27.7	28.2	44	1.9	27.9	26.0	Légerement chaud	Léger stress de chaleur	
	20:00		0	442	28	24.1	24.2	52	1.6	23.8	21.0	Confortable	Aucun stress thermique	
	Moyenne			239.5	484.3	33.8	31.0	26.8	40.5	1.9	38.1	28.2	Légerement chaud	Léger stress de chaleur

**Tab. IX-5 : Résultats pour la station C**

RayMan 1.2 © 2000

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

place: Station C

Horizon limitation: 45.6% sky view factor: 0.544

geogr. longitude: 6°35' latitude: 36°15'

personal data: height: 1.75 m weight: 75.0 kg age: 35 a

sex: m

clothing: 0.9 clo

activity: 80.0 W

date	time	Sunsh	Gact	E	Ts Mesurée	Ts modélisée	Ta	RH	v	Tmrt	PET	Perception thermique	Niveau du stress physiologique
	h:mm	actu	W/ m2	W/m2	°C	°C	°C	%	m/s	°C	°C		
09-08-2007	6:00		26	409	24	24.3	22.7	81.0	0.3	27.1	24.3	Légerement chaud	Léger stress de chaleur
	8:00		243	468	29	28.7	23.8	56.0	2.0	38.8	25.4	Légerement chaud	Léger stress de chaleur
	10:00		118	498	33	33.2	30.1	32.0	1.4	43.7	34.1	chaud	Stress de chaleur modéré
	12:00		493	527	37	36.9	30.6	32.0	4.9	50.0	33.8	chaud	Stress de chaleur modéré
	14:00		561	541	40	40.2	30.7	32.0	2.4	54.0	37.5	Très chaud	Fort stress de chaleur
	16:00		96	481	35	30.7	29.8	34.0	2.3	43.1	33.9	chaud	Stress de chaleur modéré
	18:00		37	465	29	28.1	28.5	51.0	1.8	28.8	26.8	Légerement chaud	Léger stress de chaleur
	20:00		0	447	27	24.9	25.0	58.0	1.3	24.6	22.4	Confortable	Aucun stress thermique
	Moyenne		196.8	479.5	31.8	30.9	27.7	47.0	2.1	38.8	29.8	Légerement chaud	Léger stress de chaleur

**Tab. IX-6 : Résultats pour la station E**

RayMan 1.2 © 2000

place: Station E

Horizon limitation: 45.0%

geogr. longitude: 6°35'

personal data:

sky view factor: 0.497

latitude: 36°16'

height: 1.75 m

timezone: UTC +1.0 h

weight: 75.0 kg

age: 35 a

sex: m

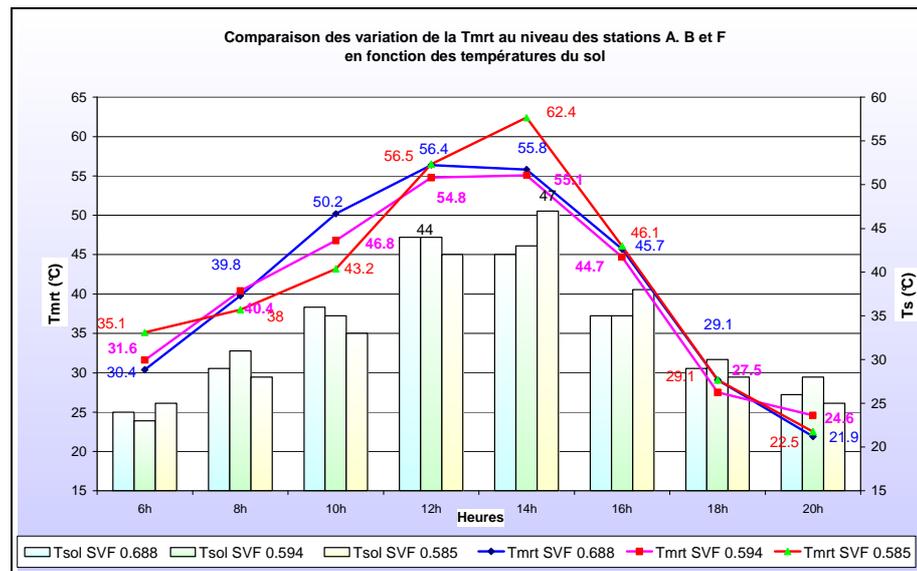
clo

activity: 80.0 W

date	time	Sunsh	Gact	E	Ts Mesurée	Ts modélisée	Ta	RH	v	Tmrt	PET	Perception thermique	Niveau du stress physiologique	
		actu												°C
09-08-2007	6:00		54	436	26	23.3	22.9	73.0	0.5	28.5	24.2	Légerement chaud	Léger stress de chaleur	
	8:00		111	453	27	26.2	23.4	70.0	1.1	39.2	27.3	Légerement chaud	Léger stress de chaleur	
	10:00		108	501	33	33.6	29.7	50.0	1.0	46.7	36.1	Très chaud	Fort stress de chaleur	
	12:00		485	575	45	45.1	32.2	30.0	1.8	59.5	42.2	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur	
	14:00		418	589	47	47.0	32.9	29.0	0.8	60.1	45.4	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur	
	16:00		97	498	29	33.4	31.5	50.0	1.1	43.4	36.0	Très chaud	Fort stress de chaleur	
	18:00		35	468	28	28.6	29.2	56.0	1.0	30.6	29.0	chaud	Stress de chaleur modéré	
	20:00		0	437	27	24.9	25.0	62.0	1.3	24.7	22.6	Confortable	Aucun stress thermique	
	Moyenne			163.5	494.6	32.7	32.8	28.4	52.5	1.1	41.6	32.9	chaud	Stress de chaleur modéré

### IX-2-1-1- Résultats obtenus pour les stations d'orientation E- SE /O- NO

Etant donné que le bilan radiatif est étroitement lié à l'état du sol. Il dépend en effet de son albédo, son émissivité, de sa conductivité thermique de son évapotranspiration et de la vitesse du vent<sup>6</sup>, l'examen des résultats de la **figure IX. 9** révèle une même logique de distribution des températures moyennes radiantes (**Tmrt**) que celles des températures surfaciques. Quant aux vitesses horizontales du vent, l'inverse est vrai. (**cf. Fig. IX.10**)

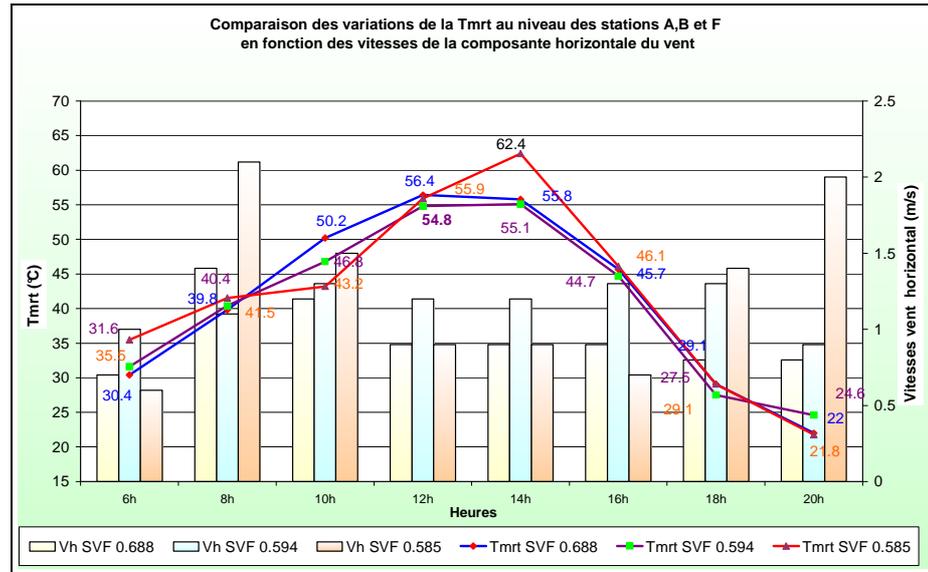


**Fig. IX - 9 :** Comparaison des variations de la Tmrt au niveau des stations A, B et F en fonction des températures du sol

Source : Auteur

Sachant que le bilan radiatif reste négatif une demi heure à 1 heure après le lever du soleil (5h 51') et 1h avant son coucher (19h 26'), et en l'absence du rayonnement direct, des variations très petites du microclimat sont prévues (**cf. chap. IV, section 9-1-1**). C'est pourquoi les trois courbes, notamment des stations de même nature du sol (terre nue), **A** (SVF 0.688) et **F** (SVF 0.594) se rapprochent au début de la journée soit entre 6h et 8h.

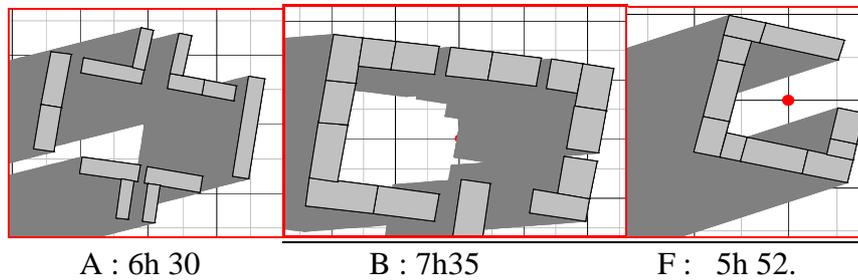
<sup>6</sup> Tareb, *Energie dans l'environnement urbain- Architecture basse énergie*, chapitre 4, <http://www.learn.londonmet.ac.uk>



**Fig. IX -10 :** Comparaison des variations de la Tmrt au niveau des stations A, B et F en fonction des vitesses de vent (Vh)

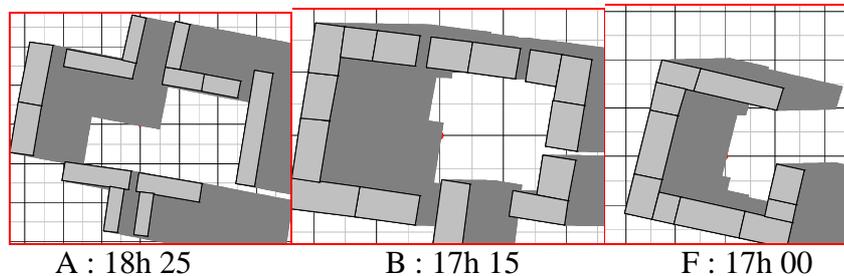
Source : Auteur

Les trois point de mesures (corps hypothétique) dans les stations **A**, **B** et **F** ne sont vus par le soleil que respectivement à 6h 30, 7h35 et 5h 52. (cf.**Fig.IX.11**), sont obstrués au rayonnement direct respectivement à partir de 18h 25, 17h 15 et 17h et complètement à l’ombre comme indiqué sur la **figure IX. 12**



**Fig. IX-11 :** Heures où le rayonnement direct frappe le corps hypothétique pour les stations A, B et F après le lever du soleil.

Source : Auteur



**Fig. IX-12 :** Heures où le corps hypothétique est complètement à l’ombre dans les stations A, B et F avant le coucher du soleil.

Source : Auteur

A **6h** les trois stations **A**, **B** et **F** affichent respectivement une valeur de  $30.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $T_s = 24^{\circ}\text{C}$  et  $V_h = 0.7\text{ m/s}$ ),  $35.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $T_s = 25$  et  $V_h = 0.6\text{m/s}$ ) et  $31.6^{\circ}\text{C}$  ( $T_s = 23^{\circ}\text{C}$  et  $V_h = 1\text{ m/s}$ ). (cf. Fig IX. 9, IX.10) suivant le degré d'ouverture au ciel. Donc en l'absence des rayons solaires, une très forte corrélation négative existe entre le SVF et la  $T_{mrt}$  comme prouvé par H .Andrade. (cf. chap.V, section V.4.5).

Entre **8h** et **18h**, en comparant les variations de la  $T_{mrt}$  rassemblées pour les trois points de mesure, il est possible de vérifier une tendance de deux phases peu avant **12h** et après **12h** causées principalement par les différentes situations d'ombrage.

Avant **12h**, les valeurs plus élevées du SVF représentent un plus grand accès solaire, donc des plus grandes températures surfaciques et les températures moyennes radiantes par conséquent les plus élevées.

A **10h**, la station **A** (SVF 0.688) enregistre la température moyenne radiante la plus élevée avec un maximum de  $50.2^{\circ}\text{C}$  ( $T_s = 36\text{ }^{\circ}\text{C}$  et  $V_h = 1.2\text{ m/s}$ ), suivie de la station **F** (SVF 0.594) avec une valeur de  $46.8^{\circ}\text{C}$  ( $T_s = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_h = 1.3\text{ m/s}$ ). La station **B** (SVF 0.585) accuse un retard par rapport aux deux autres stations avec  $43.2^{\circ}\text{C}$  ( $T_s = 33^{\circ}\text{C}$  et  $V_h = 1.5\text{ m/s}$ ) soit une différence de  $4.6^{\circ}\text{C}$  avec la station **F** et  $6.9^{\circ}\text{C}$  avec la station **A**. Cette différence est due à la faible pénétration des rayons solaires en **B** et leur retard dans l'échauffement de l'espace. (cf. Fig. IX. 9) due à un faible SVF par rapport à la station **A**, et la vitesse du vent de  $1.5\text{m/s}$  contre  $1.2\text{ m/s}$  en **A** (cf. Fig. IX. 10)

A **12h**, les trois courbes semblent se confondre puisque le rayonnement direct frappe le corps hypothétique dans toutes les situations, cependant il y a une différence dans les valeurs maximales (cf. Fig. IX. 9, IX. 10) liée aux différences des vitesses de vent.

A **14h** la station **B** enregistre un maximum de  $62.4\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $T_s = 47^{\circ}\text{C}$  et  $V_h = 0.9\text{ m/s}$ ) soit  $6.4\text{ }^{\circ}\text{C}$  de plus que la station **A** renversement de situation causé par le réchauffement de l'asphalte par rapport à la terre nue (cf. Fig. IX. 9) et aux faibles vitesses de vent (cf. Fig. IX.10)

Le degrés d'accroissement observé est de l'ordre de  $25.9^{\circ}\text{C}$  pour la station **A**,  $27.3\text{ }^{\circ}\text{C}$  pour la station **B** (asphalte) et  $23.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  pour la station **F**, ceci met en évidence l'influence des surfaces à faible albédo sur le bilan énergétique humain même pour un faible SVF.

Au delà de **14h**, la tendance a commencé à s'inverser et les capacités de refroidissement des surfaces ont été réduites pour les surfaces de plus faibles valeurs de SVF ce qui a engendré à **16h** la plus grande valeurs de la  $T_{mrt}$  au niveau de la station **B** (SVF 0.585)  $46.1^{\circ}\text{C}$  soit  $0.4^{\circ}\text{C}$  de plus que la station **A** (SVF 0.688) et  $2.1^{\circ}\text{C}$

que la station **F** (SVF 0.594). Cependant la station **F** échappe à cette règle puisqu' elle enregistre une vitesse de vent plus élevée que la station **A** soit 1.3m/s. (cf. **Fig. IX.10**) Cette différence s'amenuise suivant les températures du sol fonction de l'ombrage du corps hypothétique et les vitesses du vent jusqu'à presque s'égaliser aux températures de l'air (cf. **Tab.IX.1, 2, 3**), conclusion coïncidant avec les résultats des chercheurs : *"Pour des individus restants à l'ombre, la température moyenne radiante est souvent considérée comme étant proche de la température de l'air."*<sup>7</sup>

**A 20h** La station **A**, vu sa grande ouverture au ciel, enregistre une faible valeur ( $T_{mrt}=21.9\text{ °C}$ ) avec un écart de seulement  $0.6\text{ °C}$  avec la station **B** ( $T_{mrt} = 22.5\text{ °C}$ ) où les capacités de l'asphalte à se refroidir plus vite que la terre nue, additionnée à la grande vitesse du vent (2m/s) a fait que la  $T_{mrt}$  soit inférieure à celle de la station **F** ( $24.6\text{ °C}$ ) de  $2.1\text{ °C}$ .

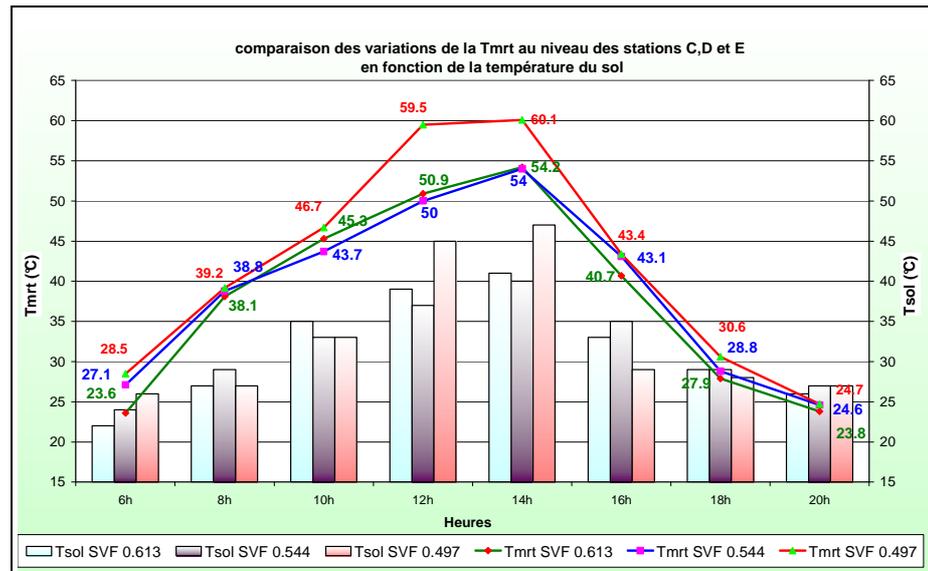
Le calcul de la corrélation entre la géométrie déterminée par le SVF et la  $T_{mrt}$  révèle une valeur positive  $R^2 = 0.96$ . Pour les géométries de même nature du sol (station **A** et station **F** au sol naturel nu)  $R^2 = 1$ . Donc la  $T_{mrt}$  est proportionnelle au SVF.

#### **IX-2-1-2-Résultats obtenus pour les station d'orientation E- NE/ O-SO**

Contrairement à l'orientation précédente, les plus grandes valeurs de la  $T_{mrt}$  sont liées aux plus faibles SVF soit la station **E** (SVF 0.497) en relation avec les faibles vitesses de vent causées par sa topographie, ses températures surfaciques élevées dues au réchauffement de l'asphalte par rapport à la terre nue, ainsi que sa forme dièdre (cf. **Fig. IX. 13 et IX. 14**). La valeur maximale de la  $T_{mrt}$  à son niveau atteint  $60.1\text{ °C}$  ( $T_s = 47\text{ °C}$  et  $V_h = 0.8\text{ m/s}$ ) à 14h avec un accroissement de 6h à 14h de  $31.6\text{ °C}$ . La valeur minimale de  $24.7\text{ °C}$  ( $T_s = 27\text{ °C}$  et  $V_h = 1.3\text{ m/s}$ ) est atteinte à 20h.

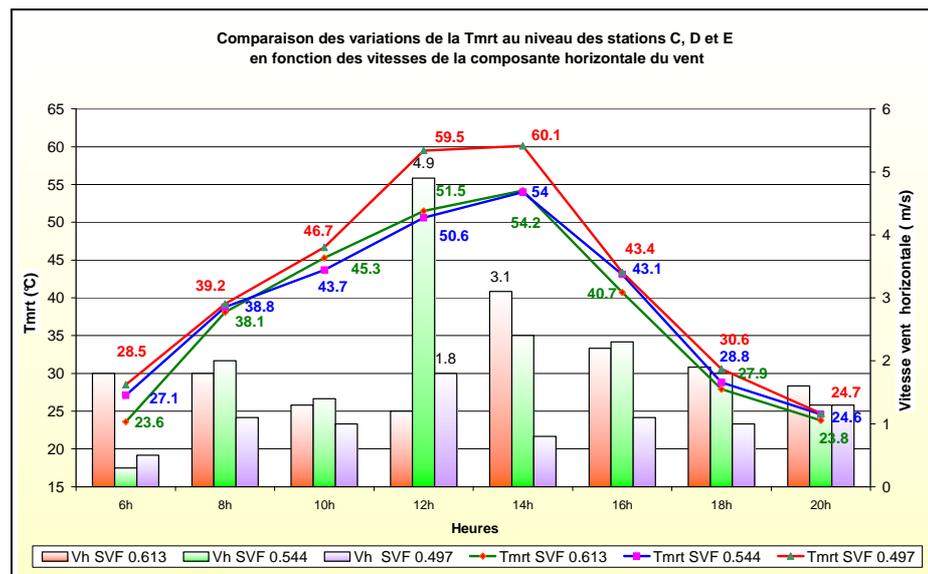
---

<sup>7</sup>J.Vinet, 2000, In **T.Belatreche**, Effets thermo radiatifs et caractérisation microclimatiques des cours intérieures dans les édifices publics, Thèse de magistère, université Mentouri, Constantine, 2006.



**Fig. IX-13 :** Comparaison des variations de la Tmrt au niveau des stations C, D et E en fonction de la température du sol.

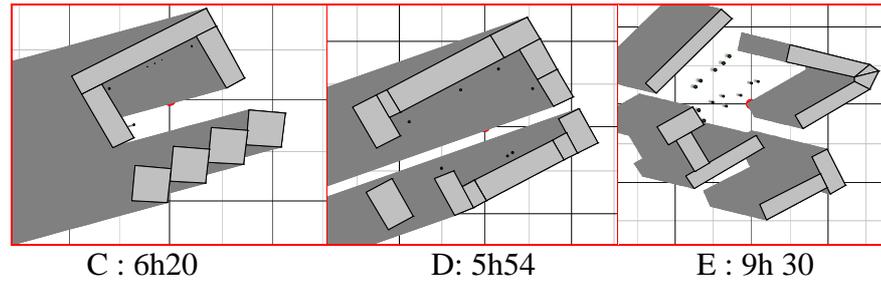
Source Auteur



**Fig. IX-14 :** Comparaison des variations de la Tmrt au niveau des stations C, D et E en fonction des vitesses de vent (Vh)

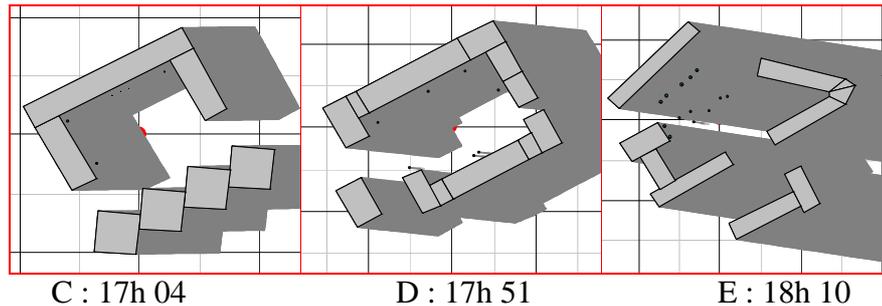
Source : Auteur

Les trois point de mesures (corps hypothétiques) dans les stations **C**, **D** et **E** ne sont vus par le soleil que respectivement à 6h 20, 5h54 (juste après le lever du soleil) et 9h 30. (cf. **Fig.IX.15**) et sont obstrués au rayonnement direct et complètement à l'ombre respectivement à partir de 17h 04, 17h51 et 18h10, comme indiqué sur la **figure IX.16**.



**Fig. IX-15 :** Heures où le rayonnement direct frappe le corps hypothétique pour les stations C, D et E après le lever du soleil.

Source : Auteur



**Fig. IX-16 :** Heures où le corps hypothétique est complètement à l'ombre dans les stations C, D et E avant le coucher du soleil.

Source :Auteur

A **6h** les trois stations **C**, **D** et **E** affichent respectivement une valeur de  $27.1\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $T_s = 22^{\circ}\text{C}$  et  $V_h = 1.8\text{ m/s}$ ),  $23.6\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $T_s = 24^{\circ}\text{C}$  et  $V_h$  de  $0.3\text{m/s}$ ) et  $28,5^{\circ}\text{C}$  ( $T_s = 26^{\circ}\text{C}$  et  $V_h = 0.5\text{ m/s}$ ). (cf. **Fig. IX .13 et 14**)

Entre **8h** et **18h**, en comparant les variations de la  $T_{mrt}$  rassemblées pour les trois points de mesures, il est possible de vérifier une tendance de deux phases pour les deux espaces dégagés **C** ( $SVF= 0.544$ ) et **D** ( $SVF=0.613$ ) peu avant 14h et après 14h causées principalement par les différentes situations d'ombrage et les vitesses de vent. (cf. **Fig. IX .13 et 14**).

Avant **14h**, les valeurs plus élevées du  $SVF$  représentent un plus grand accès solaire, donc des plus grandes températures surfaciques et les températures moyennes radiantes par conséquent les plus élevées.

A **14h** la station **D** ( $SVF 0.613$ ) enregistre la température moyenne radiante maximum de  $54.2^{\circ}\text{C}$  ( $T_s = 39\text{ }^{\circ}\text{C}$  et  $V_h= 3.1$ ), coïncidant avec la maximale de la station **C** ( $SVF= 0.544$ ) avec une valeur de  $54^{\circ}\text{C}$  ( $T_s= 40^{\circ}\text{C}$ ,  $V_h = 2.4\text{ m/s}$ ) soit une différence seulement de  $0.2^{\circ}\text{C}$  avec la station **D** et  $14.1^{\circ}\text{C}$  avec la station **E**. La différence maximum est enregistrée à 10h soit une valeur de  $1.6\text{ }^{\circ}\text{C}$  entre la station **D** et la station

C. L'accroissement de la  $T_{mrt}$  du lever du jour jusqu'à 14h est de l'ordre de  $30.6^{\circ}\text{C}$  pour la station D et  $29.6^{\circ}\text{C}$  pour la station C soit une différence seulement de  $1^{\circ}\text{C}$ .

De **14h** à **20h** la tendance a commencé à s'inverser et la capacité de refroidissement s'est trouvée réduite pour les surfaces de plus faibles valeurs de SVF ce qui a engendré à 16h la plus grande valeur de la  $T_{mrt}$  au niveau de la station **E** (SVF 0.494) de  $43.4^{\circ}\text{C}$  soit  $2.7^{\circ}\text{C}$  de plus que la station **D** (SVF 0.613) et seulement  $0.3^{\circ}\text{C}$  que la station C (SVF 0.544,  $T_s = 39^{\circ}\text{C}$  et  $V_h = 2.3\text{m/s}$ ).

Cette différence s'amenuise suivant l'ombrage, les températures du sol et les vitesses du vent jusqu'à presque s'égaliser aux températures de l'air (**cf. Tab.IX. 4, 5,6**).

La station **D**, vu sa plus grande ouverture au ciel enregistre à 20h la plus faible valeur ( $T_{mrt} = 23.8^{\circ}\text{C}$ ) avec un écart de seulement  $0.8^{\circ}\text{C}$  avec la station **C** ( $T_{mrt} = 24.6^{\circ}\text{C}$ ) et  $0.7^{\circ}\text{C}$  avec la station **E** ( $T_{mrt} = 24.6^{\circ}\text{C}$ ). Les valeurs de ces deux dernières se confondent vu les capacités de l'asphalte au niveau de la station **E** à se refroidir plus vite que la terre nue malgré son SVF réduit (0.497)

Le calcul de la corrélation entre la géométrie déterminée par le SVF et la  $T_{mrt}$  révèle des valeurs très significatives. Cette corrélation est négative avec une valeur  $R^2 = 0.67$ , pour toute la période 6h-20h.

Pour la période où le bilan radiatif est positive soit (8h- 18h) cette corrélation négative augmente jusqu'à  $R^2 = 0.70$  ( $R^2 = 1$  pour **D** et **C** de même nature du sol). Cette contradiction entre les deux orientations dépend principalement des conditions radiatives et à la vitesse du vent.<sup>8</sup>

### **IX-2-2- Impact de la géométrie sur les températures physiologiques équivalentes**

Pour évaluer l'impact des paramètres microclimatiques en combinaison avec la géométrie des espaces ouverts déterminée par leur **SVF** sur le confort thermique des usagers des espaces ouverts tels que les places, l'indice thermo physiologique **PET** a été utilisé.

Cet indice est préférable aux autres, puisque son unité est en degré Celsius. Basé sur le modèle MEMI, il calcule les conditions thermiques du corps humain sur une hauteur de 1.1m du sol pour un sujet de sexe masculin, âgé de 35 ans, d'une taille de

<sup>8</sup> H. Andrade et al, "Microclimatic variations of thermal comfort in Lisbon city district", the 5<sup>th</sup> international conference on urban climate, Lodz, Poland, Septembre 2003.

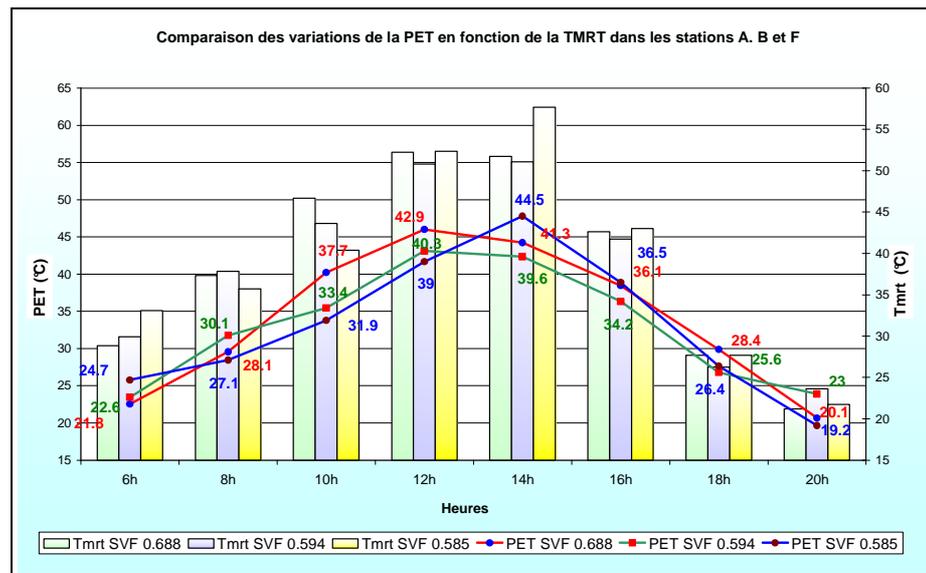
1.75m et un poids de 75 Kg, habillé d'une tenue d'été (0.9 clo) et en activité sédentaire (assis) soit un taux d'activité de 80 W en combinaison avec les paramètres microclimatiques (cf. Chap. V. section. 4)

Le traitement des outputs obtenus grâce au modèle RayMan 1.2 (cf. Tab. IX.1 à 6) a donné pour résultat ce qui suit :

### IX-2-2- 1- Résultats obtenus pour les stations d'orientation E- SE /O- NO

Il est remarquable sur les tableaux IX. 1, 2 et 3 que les variations de la PET sont plus grandes que les variations des températures de l'air, dépendant du contraste entre la Tmrt et les vitesses du vent.

La figure IX-17 illustre une grande corrélation positive entre la Tmrt (régie par les températures du sol et les vitesses du vent) et la PET pour chaque station de mesure, d'où  $R^2 = 98\%$ .



**Fig. IX-17:** Comparaison des variations de la PET en fonction de la Tmrt dans les stations A. B et F

Source Auteur

Au lever et après le coucher du soleil, les trois stations offrent des conditions thermiques confortables (cf. Tab. IX. 1, 2, 3) où aucun stress thermique n'est ressenti. La valeur maximale de 24.7°C est obtenue dans la station B au lever et 23°C dans la station F au coucher. La dégradation du confort thermique commence dès le début de la livraison de l'énergie du rayonnement solaire direct avec des différences quant au

moment de son commencement par rapport à chaque station de mesure (**voir sections précédentes**).

Peu après 8h et jusqu'à midi les conditions de confort commencent à être liées à un faible SVF, où la station **A** (SVF 0.688) affiche une valeur de PET maximale de 42.9°C correspondant à un état extrême de stress thermique.(cf. **Tab. IX-1**) contre 39°C pour la station **B** (SVF 0.585) soit une différence de 3.9 °C et 40.3°C pour la station **F** (SVF 0.594) avec une différence 2.6°C . La différence maximale est obtenue pour les deux stations **A** et **B** est de l'ordre de 5.8°C à 10h. La différence minimale est obtenue à 12h où les conditions de protection des rayons solaires ne sont satisfaites en aucun cas. Elle est de l'ordre de 1.3 °C entre **B** et **F** (échauffement de l'asphalte) et de 2.6 °C entre **A** et **F** de même nature du sol. (Terre nue).

A 14h, vu l'échauffement de l'asphalte, La station **B** enregistre la valeur maximale de 44.5°C correspondant à un état extrême de stress thermique, cependant la station **F** enregistre la valeur minimum de 39.6°C soit une différence de 4.9°C.

Après 14h, et puisque le jour la différence dans la PET dépend principalement des conditions du rayonnement et des vitesses de vent<sup>9</sup>, la station **F** (SVF 0.594) et avec de grandes vitesses de vent (cf. **Fig. IX-10**) continue à enregistrer les plus faibles valeurs de PET mais correspondant à un fort stress de chaleur jusqu'au coucher du soleil où les phénomènes s'inversent.

Pour toute la période de mesure (6h- 20h), les stations **A** et **F** enregistrent respectivement une PET moyenne de 32.1 °C et 31.1 °C correspondant à un stress de chaleur modéré. La station **B** enregistre la valeur moyenne de 31.2°C correspondant à un état de stress de chaleur modéré (cf. **Tab. IX-2**).

Le calcul révèle une corrélation positive ( $r = 0.98$ ) entre le SVF et la PET dont le coefficient de détermination  $R^2 = 0.96$ , ce qui met en évidence l'intérêt des géométries à faible SVF pour le confort thermique humain.

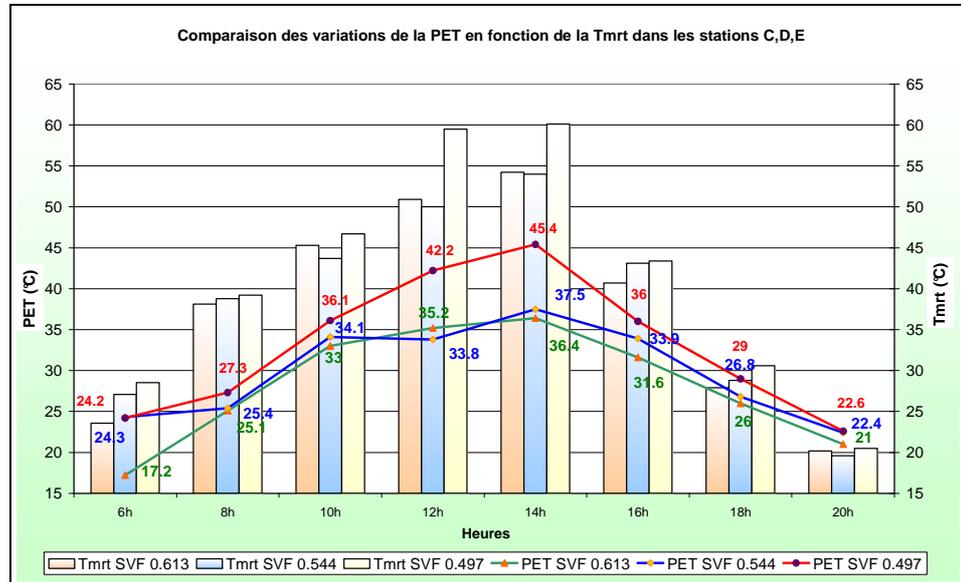
### **IX-2-2- 2- Résultats obtenus pour les stations d'orientation E- NE/ O-SO**

Comme pour l'orientation précédente, une grande corrélation positive où  $R^2 = 0.96$  est observée pour chaque station de mesures entre la  $T_{mrt}$  et la PET.

Cependant, contrairement à l'orientation précédente, les conditions de confort sont liées au plus grand SVF sur toute la période de mesure sauf à midi où la station **C** 33.8°C

<sup>9</sup> H.Andrade et al. Idem 8

correspondant à un état de fort stress de chaleur (**cf.tab.IX-5**) enregistre  $1.4^{\circ}\text{C}$  de moins que **D** ( $\text{PET} = 35.2^{\circ}\text{C}$ ). Cette diminution est causée par une régression dans la valeur de la  $T_{\text{mrt}}$  résultat de l'augmentation de la vitesse du vent. (**cf.Fig.IX.18** et **Fig.IX.14**).



**Fig. IX-18** : Comparaison des variations de la PET en fonction de la  $T_{\text{mrt}}$  dans les stations C, D et E

Source Auteur

A 14h la station **C** (SVF 0.544) enregistre une valeur de PET maximale de  $37.5^{\circ}\text{C}$  correspondant à un état de sensation "très chaud". (**cf. Tab.IX.5**) contre  $36.4^{\circ}\text{C}$  pour la station **D** (SVF 0.613) soit une différence de  $1.1^{\circ}\text{C}$ , et  $7.9^{\circ}\text{C}$  avec la station **E** (SVF 0.497). La valeur extrême est enregistrée à 14h dans la station **E** ( $45.4^{\circ}\text{C}$ ) correspondant à un état de stress thermique extrême avec une différence maximum de  $9^{\circ}\text{C}$  avec la station **D**.

Pour toute la période de mesure (6h- 20h), les stations **D** et **C** enregistrent respectivement une PET moyenne de  $28.2^{\circ}\text{C}$  correspondant à un léger stress de chaleur et  $29.8^{\circ}\text{C}$  correspondant à un stress de chaleur modéré. La station **E** enregistre la valeur moyenne de  $32.9^{\circ}\text{C}$  correspondant à un état de stress de chaleur modéré, soit une différence de  $4.7^{\circ}\text{C}$  avec la station **D**. D'où la conclusion que l'intérêt des géométries à faible SVF dans la préservation du confort thermique humain n'est reconnu qu'avec la combinaison d'une bonne ventilation de l'espace<sup>10</sup> et des surfaces à albédo plus élevé.

<sup>10</sup> H.Andrade et al. *Ibid* 8

Le calcul révèle une forte corrélation négative ( $r = -0.96$ ) entre le SVF et la PET dont le coefficient de détermination  $R^2 = 0.92$  ( Pour D et C de même nature au sol elle est aussi négative,  $r = -1$  et  $R^2 = 1$ ).

### **IX-2-3- Comparaison des conditions de confort dans les six stations de mesures**

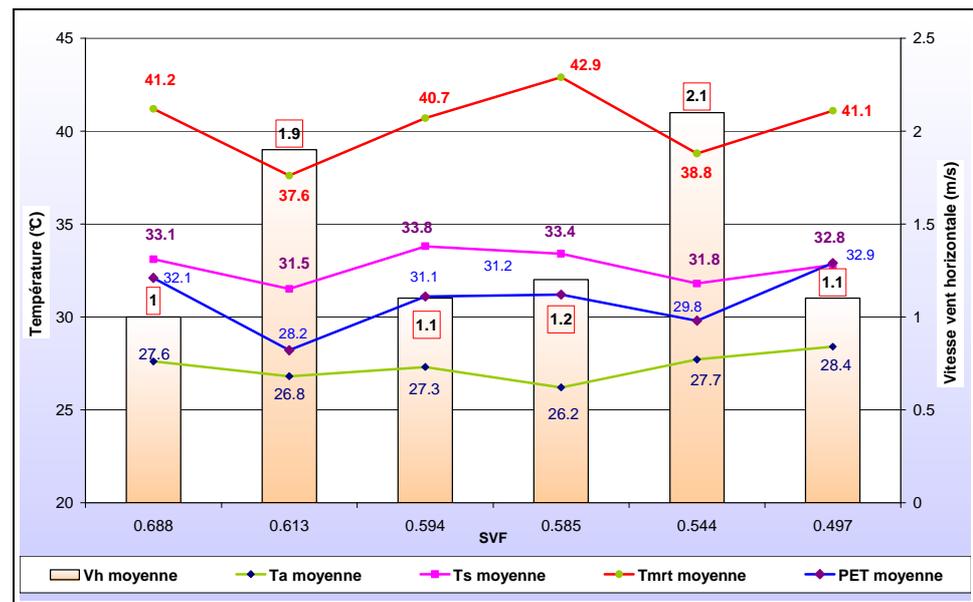
L'examen des valeurs moyennes de la PET estimées par RayMan 1.2 pour les six stations de mesures et sur la période 6h- 20h en fonction des moyennes des : vitesses de vent, températures de l'air, températures surfaciques et températures moyennes radiantes (cf. Fig. IX-19) prouve qu'elles ne suivent en aucun cas, la forme géométrique, ni la surface, ni la régression des valeurs du SVF. La corrélation des valeurs du SVF et la PET est négative et trop faible ( $R^2 = 0.04$ ).

Ces valeurs affirment l'intérêt de l'orientation **E-NE/ O-SO**. La station D (SVF 0.613) enregistre la plus faible valeur de la PET (28.2 °C) ce qui confirme encore une fois l'intérêt de cette configuration urbaine en combinaison avec ses espaces adjacents, suivie de la station C pour une valeur de 29.8°C, puis vient les stations d'orientation **E-SE /O- NO**, F (SVF 0.594) pour une valeur de 31.1°C, la station B (SVF 0.585) pour une valeur de 31.2°C, puis la station A (SVF 0.688) avec une valeur de 32.1 °C et enfin la station E (SVF 0.497) d'orientation **E-NE/ O-SO** pour une valeur de 32.9°C.

*Ceci infirme notre première hypothèse que : "N'importe quelle forme géométrique de l'espace avec un degré d'ouverture au ciel (SVF) faible peut garantir, à lui seul, un rafraîchissement à longueur de journée."*

Un examen plus attentif de la progression des valeurs de la PET indique une relation inversement proportionnelle aux vitesses des vents, sauf pour la station C qui enregistre la vitesse moyenne du vent la plus élevée (2.1m/s) mais aussi la température de l'air la plus élevée aussi (27.7°C), sauf par rapport à la station E.

*Ceci confirme encore une fois notre deuxième hypothèse : " N'importe quelle forme, avec une bonne orientation de ses ouvertures en direction du vent peut garantir le confort auquel on aspire même avec un degré d'ouverture au ciel conséquent."*



**Fig. IX-19** : variations des moyennes des variables microclimatiques et des indices de confort thermique en fonction du SVF.

Source : Auteur

Donc le SVF joue un rôle indispensable dans le confort thermique local et la PET est un bon outil pour la planification urbaine à condition que les endroits soient homogènes en végétation et en matériaux de façade et de couverture au sol, ouverts ou fermés dans la même direction de l'azimut, et exposés à la même direction du vent.

Pour répondre à notre troisième hypothèse : " *Les matériaux à haut albédo ainsi que les éléments surajoutés tels que la végétation en différents points et avec n'importe quelle forme peuvent garantir un grand degré de confort quel que soit le degré d'ouverture au ciel.*", une simulation de ces améliorations a été effectuée.

### **IX- 3- Les améliorations**

Puisque les conditions microclimatiques sont une composante essentielle pour la vie ou la mort d'un espace urbain (cf. **Chap. II**) plusieurs recherches dans le monde s'y focalisent afin de promouvoir la vie sociale, prolonger la durée de leur praticabilité, mesurer leur impact sur les conditions de confort intérieur et d'une façon générale améliorer le climat urbain.

Dans ce but, les améliorations qu'on pourra apporter aux conditions de confort dans les six stations de mesure sont celles retenues de l'étude théorique et permises par le modèle RayMan 1.2 :

- Action sur le **SVF** par l'augmentation du rapport H/W pour qu'il soit compris dans l'intervalle  $0.4 < H/W < 0.6$ <sup>11</sup> indiquée pour les rue canyon pour les latitudes moyennes (**cf.chap.IV,section IV-4-3**) pour augmenter le rapport  $R_1$ <sup>12</sup>
- Augmentation de l'albédo de la couverture au sol puisque les conditions de confort thermique dans les places sont liées aux températures du sol<sup>13</sup> (**Chap IV.section. IV-9-1-3**).
- Augmentation du ratio Bowen.
- Introduction de la végétation comme masque solaire de part la diminution du facteur d'ouverture au ciel.

### **IX-3-1- Amélioration de la géométrie par l'augmentation des rapport H/W ou H/L**

Les interventions sur la géométrie (possible, bien sûr, uniquement par simulation), étaient effectuées dans le but de répondre à une question cruciale : *"D'autres proportions géométriques (SVF) donneraient –ils meilleurs résultats de confort thermique pour ces espaces ?"*

Le changement du SVF se basera sur l'intervention sur le rapport d'aspect H/W pour qu'il soit compris dans la marge  $0.4 < H/W < 0.6$ . Ce rapport doit satisfaire la condition de préserver le droit au soleil durant la période hivernal afin que l'espace soit utilisé tout au long de l'année.

La station **A** d'orientation **E- SE /O- NO** présentant la plus large ouverture au ciel (SVF = 0.688) est retenue comme échantillon pour la simulation.

La hauteur moyenne H= 23 m permet de rester dans l'intervalle  $0.4 < H/W < 0.6$  où H/W = 0.41 (limite inférieure).

La valeur du SVF est passée de 0.688 (cas réel) à 0.612 (**cf.Fig.IX.20**) la durée d'ensoleillement a régressé de 11h53' à 10h30' sur un total de 13h34' pour un SVF = 1.

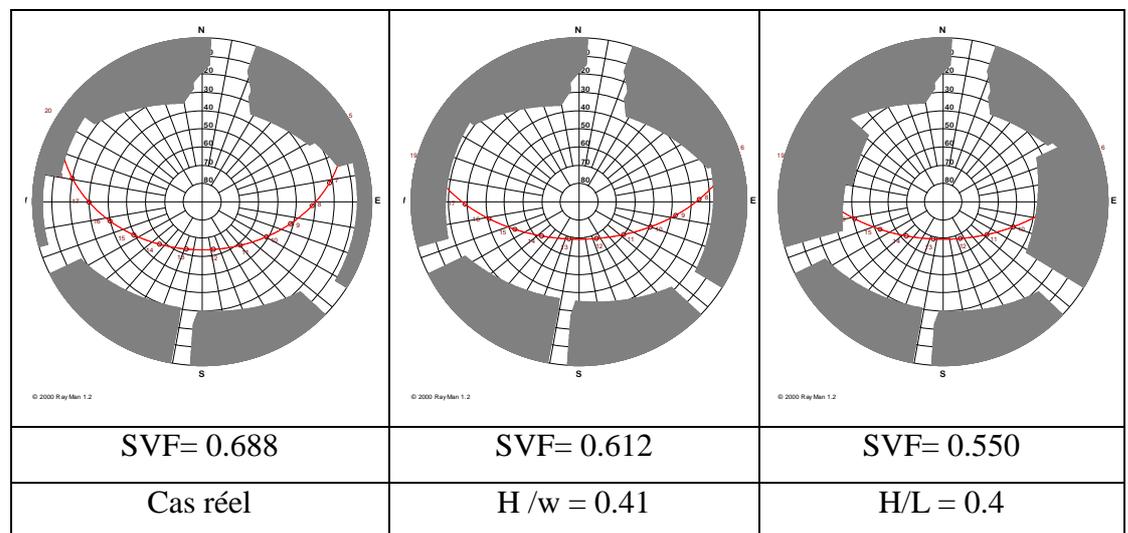
<sup>11</sup> T.R.Oke, "Street design and urban canopy layer climate", Journal of Energy and Buildings, 1988, 103-113

<sup>12</sup> M.A.Mohcen. "Solar radiation and courtyard house form II: Application of the model", Building and Environment, Vol 14, 1979, pp. 185- 201

<sup>13</sup> J.Noilhan, 1980, cité par T.Belatrache, Op.cit 7

L'observation du diagramme polaire SVF (0.612) laisse entrevoir qu'une augmentation des hauteurs des façades O-NO et E-SE diminuerait de la course solaire, d'où l'augmentation du rapport H/L (L est la longueur) pour qu'il soit compris dans la marge  $0.4 < H/L < 0.6$  afin d'obstruer l'espace aux rayons solaires provenant de l'est et l'ouest en se basant sur la recherche sus citée ( $0.4 < H/W < 0.6$ ).

H/L = 0.4 pour une hauteur de H= 55m. Le diagramme polaire résultant est illustré par la figure. **IX-20**. La valeur du SVF est passée de 0.688 à 0.550 la durée d'ensoleillement a régressée de 11h53' à 7h 23' sur un total de 13h34' pour un SVF = 1.



**Fig. IX-20 :** Diagrammes polaires pour les nouvelles valeurs du SVF.

Source : Auteur

Le calcul par le biais du modèle de la durée d'ensoleillement pour la période hivernale, spécialement celle précédant l'équinoxe vernal (21décembre), a donné le **tableau IX.7** pour les trois géométries.

La lecture de ce tableau, indique une diminution très considérable dans la durée d'ensoleillement du corps hypothétique central pour le rapport d'aspect H/W = 0.4 atteignant 2h 40mn pour la journée du 3 Décembre. Durée inadmissible pour une bonne fréquentation de l'espace durant la période hivernale et pour l'ensoleillement des bâtiments.

**Tab.IX.7** : Valeurs journalières de l'enseillement de la station **A** selon les variations du SVF. (Source : Auteur)

H/W	"	0.3	0.4	H= 55m H/L= 0.4
SVF	1	0.688	0.616	0.550
date	Durée d'enseillement max	Durée d'enseillement actuelle		
3.12.2009	9h39'	4h2'	1h41'	4h2'
4.12.2009	9h38'	3h57'	1h41'	3h57'
5.12.2009	9h37'	3h55'	1h42'	3h55'
6.12.2009	9h37'	3h52'	1h42'	3h52'
7.12.2009	9h36'	3h47'	1h42'	3h47'
8.12.2009	9h35'	3h41'	1h40'	3h41'
9.12.2009	9h35'	3h40'	1h41'	3h40'
10.12.2009	9h34'	3h39'	1h43'	3h39'
11.12.2009	9h33'	3h36'	1h44'	3h36'
12.12.2009	9h33'	3h15'	1h42'	3h15'
13.12.2009	9h33'	3h13'	1h40'	3h13'
14.12.2009	9h32'	3h9'	1h40'	3h9'
15.12.2009	9h32'	3h6'	1h39'	3h6'
16.12.2009	9h32'	3h3'	1h39'	3h3'
17.12.2009	9h31'	3h1'	1h39'	3h1'
18.12.2009	9h31'	2h59'	1h39'	2h59'
19.12.2009	9h31'	2h58'	1h40'	2h58'
20.12.2009	9h31'	2h58'	1h40'	2h58'
21.12.2009	9h31'	2h58'	1h40'	2h58'

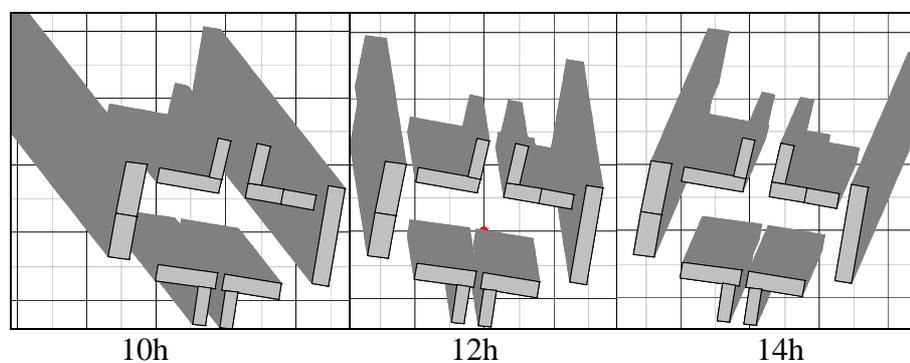
Cependant la diminution du rapport  $H/L = 0.4$  n'influe en aucun cas sur la durée d'enseillement pour cette période, ce qui nous ramène à établir entre les deux géométries un comparatif en appliquant les mêmes valeurs des données microclimatiques relevées durant la campagne de mesure.

L'augmentation du rapport  $H/L$  permet de gagner au moins 2h de confort en matinée, mais n'améliore guère le confort thermique pour les maximales de la PET que de  $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$  et les moyennes de  $1.48\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Pendant la période de surchauffe, le stress thermique persiste sauf à 16h où il s'améliore de  $1.3\text{ }^{\circ}\text{C}$  passant à un niveau plus bas de stress thermique (cf. **Tab.IX.8**)

**Tab.IX.8 :** Comparaison des niveaux du confort pour la situation réelle, SVF 0.688, et améliorée, SVF 0.550. (Source: Auteur)

date	time h:mm	SVF 0.550	Perception thermique	Niveau du stress physiologique	SVF 0.688	Perception thermique	Niveau du stress physiologique
		PET °C			PET °C		
9-8-2007	6:00	17.4	Confortable	Aucun stress thermique	21.8	Confortable	Aucun stress thermique
	8:00	25.8	Confortable	Aucun stress thermique	28.1	Légèrement chaud	Léger stress de chaleur
	10:00	36.2	Très chaud	Fort stress de chaleur	37.7	Très chaud	Fort stress de chaleur
	12:00	41.5	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur	42.9	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur
	14:00	40.0	Très chaud	40.0	41.3	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur
	16:00	33.3	chaud	Stress de chaleur modéré	36.1	Très chaud	Fort stress de chaleur
	18:00	28.4	Légèrement chaud	Léger stress de chaleur	28.4	Légèrement chaud	Léger stress de chaleur
	20:00	20.2	Confortable	Aucun stress thermique	20.1	Confortable	Aucun stress thermique
Moyenne		30.35	chaud	Stress de chaleur modéré	32.1	chaud	Stress de chaleur modéré

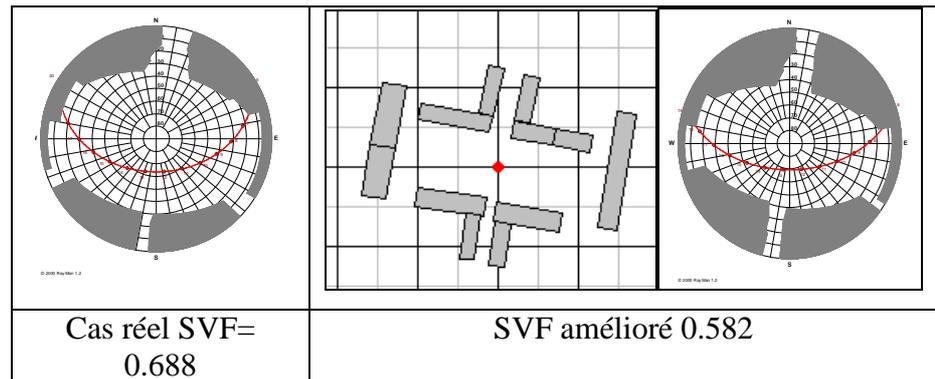
L'augmentation du rapport H/L à des valeurs plus hautes semble donner meilleure solution. Cependant la longueur des ombres portées sur les immeubles et les espaces extérieurs durant la période hivernale et pendant les heures les plus significatives l'anéantit. (Fig. IX-21)



**Fig. IX-21 :** Portées d'ombres en période hivernal (21 décembre) par l'augmentation de la profondeur de l'espace.

Source : Auteur

La diminution du SVF en intervenant sur la largeur  $H/W = 0.6$  (limite supérieure) passera la largeur de 58 m à  $\approx 30$ m. Valeur en accord avec celle proposée par plusieurs chercheurs (23- 30m) du point de vue composition urbaine (cf.**Chap.II.section.II-4-3**). La valeur du SVF est passée de 0.688 à 0.582 (cf. **Fig. IX-22**). Cependant les mêmes valeurs du niveau de confort thermique que pour la situation réelle (SVF 0.688) ont été obtenues (cf.**Tab.IX.8**) donc aucun changement.



**Fig. IX-22** : Diagramme polaire pour un  $H/W = 0.6$ .

Source : Auteur

Trouver donc le SVF adéquat pour le confort thermique à longueur d'année, demande une étude plus minutieuse sur les proportions de l'espace que par la simple action sur la hauteur ou la largeur.

### **IX-3-2- Amélioration de l'albédo du sol**

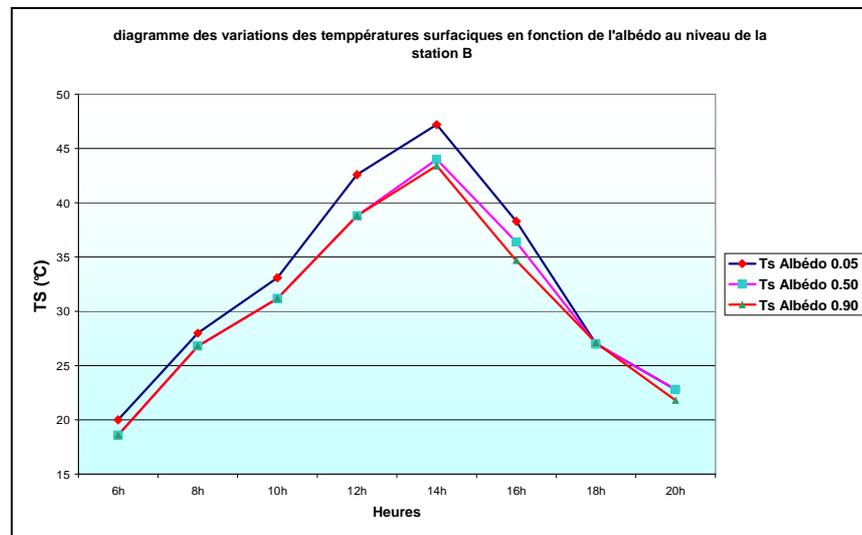
Etant donnée, comme déjà précité, que le confort thermique dans les places est lié aux températures du sol, une augmentation de la valeur de l'albédo a été effectuée sur la couverture en asphalté (albédo 0.05) dans la station **B** d'orientation E- SE /O- NO et SVF 0.585, et la station **E** d'orientation E-NE /O-SO et SVF 0.497.

Deux valeurs d'albédo ont été retenues 0.5 et 0.9 correspondant respectivement au Béton clair et le marbre blanc.<sup>14</sup>

Le traitement des données microclimatiques avec les nouvelles valeurs d'albédo à donné comme résultats les **tableaux i-1 et i-2 dans l'annexe i**, et les graphiques suivants :

<sup>14</sup> G. Scudo et al, "Evaluation des conditions du rayonnement dans les espaces urbains", concevoir des espaces extérieurs en environnement urbain une approche bioclimatique, Projet Ruros fifth framework programme 1998-2002, [http:// alpha.cres.gr/ruros](http://alpha.cres.gr/ruros)

- **Température surfacique :**



**Fig. IX-23 :** Diagramme des variations des températures surfaciques en fonction de l'albédo au niveau de la station **B**.

Source : Auteur

La lecture du tableau **i-1** et la figure **IX-23**, montre comme prouvé par différentes recherches (cf. **Chap. VI section .VI-1**), que les surfaces d'asphalte, étaient beaucoup plus chaudes en fin d'après-midi et pendant la nuit que les surfaces à plus grand albédo. Cet écart atteint les 6.4°C à 6h du matin comme valeur maximale et 3.6°C à 14h pendant la journée jusqu'à se confondre à 18h quand l'espace passe à l'ombre.

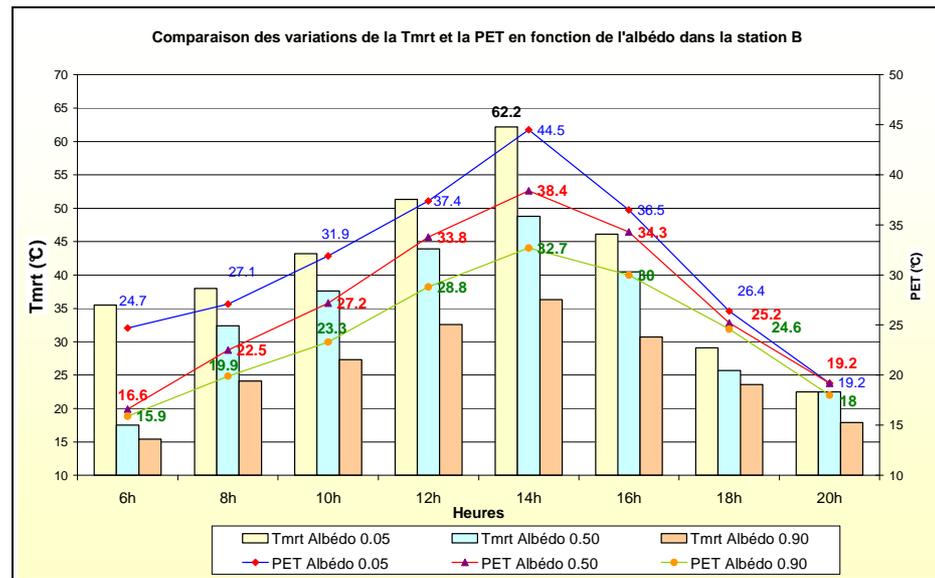
La différence entre les températures de surface du béton clair et le marbre blanc n'affiche qu'une différence maximale l'après midi d'une valeur de 0.7 à 16h.

- **Température moyenne radiante**

La réduction de la température de surface réduit l'intensité du rayonnement de grande longueur d'onde. Les températures moyennes radiantés seraient inférieures en raison du flux de chaleur convecteur réduit en provenance des surfaces plus fraîches.

En effet les **tableaux i-1 et i-2 ( annexe i)** révèlent cette réalité ou le rayonnement en grandes longueurs d'ondes **E** régresse de 26 W/m<sup>2</sup>.

Les températures moyennes radiantés (Tmrt) sont en très forte corrélation négative avec les valeurs d'albédo, plus l'albédo est grand, plus les températures moyennes radiantés diminuent. (cf. **Fig. IX-24**).



**Fig. IX-24** : Comparaison des variations de la Tmrt et la PET en fonction de l'albédo Au niveau de la station **B**.

Source : Auteur

A 14h en **B** (SVF 0.585) et pour un albédo de 0.90, cette dernière chute de 62.2 °C à 36.3°C soit un écart de 25.9°C.

Résultat contraire aux différentes recherches qui stipulent que la Tmrt est toujours supérieure dans les endroits à albédo élevé.<sup>15</sup> Peut être cela s'explique dans la différence de position entre assis et debout: " Parcontre la quantité du rayonnement réfléchi en (CLO) par l'environnement est d'environ 50% inférieur pour un sujet assis que pour un sujet debout."<sup>16</sup> pour qu'elle puisse provoquer un changement dans la Tmrt.

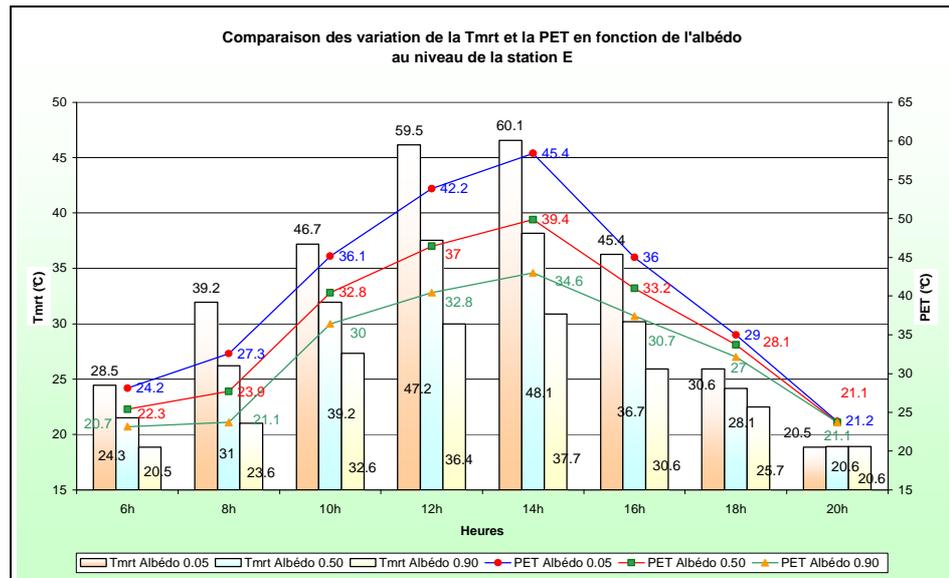
En **E** (SVF 0.497), elle enregistre pour la même valeur d'albédo et la même heure un écart de 22.4°C. (cf. **Fig. IX-25**). Valeur cautionnée par sa faible ouverture au ciel, puisque les vitesses de vent sont presque identiques (0.9 et 0.8 m/s pour respectivement **B** et **E**).

Le changement en valeurs moyennes est très significatif où on enregistre dans la station **B** pour un albédo de 0.05 une régression de 40.2°C à 33.6°C et 26.3 °C pour respectivement un albédo de 0.50 et 0.90.

Pour la station **E** les valeurs moyennes diminuent de 42.2°C à 31°C puis 28.4°C pour respectivement un albédo de 0.50 et 0.90. (cf. **Fig. IX-25**).

<sup>15</sup> H. Andrade et al, Op.cit 8

<sup>16</sup> B.Givoni. L'homme, l'architecture et le climat, édition Moniteur, 1978.



**Fig. IX-25** : Comparaison des variations de la Tmrt et la PET en fonction de l'albédo Au niveau de la station E.

Source : Auteur

• **La température physiologique équivalente**

Elle traduit parfaitement la régression de la Tmrt. (cf. Fig. IX-24 et 25)

Les écarts sont portés sur le **tableau IX.9**

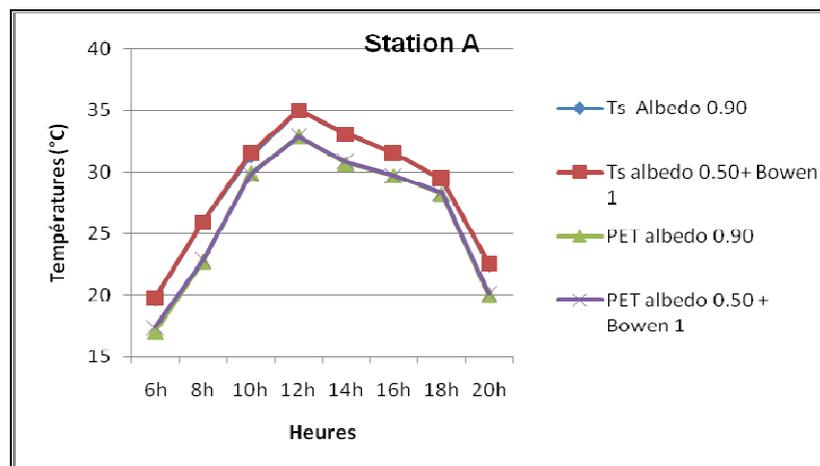
**Tab.IX.9** : tableau des écarts maximums et moyens entre situation actuelle albédo 0.05 et situations améliorées, albédo 0.50 et 0.90. (Source : Auteur)

Albédo	0.50		0.90	
	$\Delta$ PET max (°C)	$\Delta$ PET moy (°C)	$\Delta$ PET max (°C)	$\Delta$ PET moy (°C)
B	6.1	4	11.8	7
E	6	2.8	10.8	4

L'augmentation de l'albédo améliore la PET d'une manière très significative. Plus l'albédo augmente plus le niveau de refroidissement augmente. Ce refroidissement se traduit par l'amélioration de la perception thermique pour les maximales d'extrêmement chaud à très chaud et à chaud pour un albédo respectivement de 0.50 et 0.90. Et la perception thermique pour les moyennes de Chaud à légèrement chaud soit un stress de chaleur modéré. La matinée et environ deux heures avant le coucher du soleil, les deux espaces deviennent assez confortables. (cf. tableaux i-1 et i-2, annexe i) Donc l'augmentation de l'albédo à des valeurs de préférence supérieures à 0.50 est un moyen efficace pour garder les espaces ouverts frais.

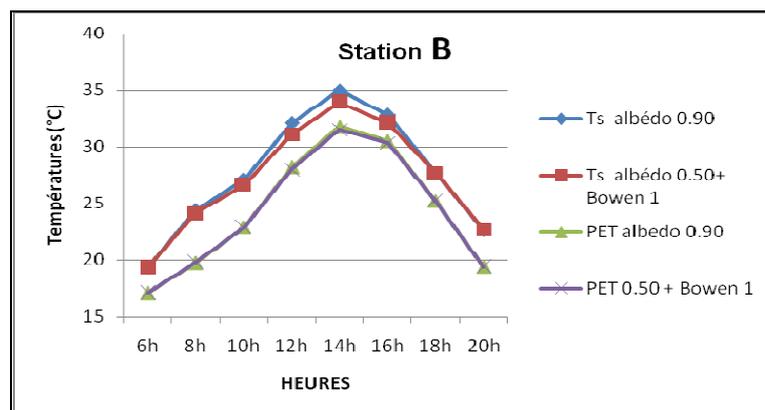
### IX-3-3- Amélioration du ratio Bowen

Le ratio Bowen est lié à l'évapotranspiration permise par la couverture au sol. (cf. **Chap. III. Section III.3.3-6**). L'utilisation d'une couverture au sol poreuse telle que la pierre poreuse à albédo 0.50 et un ratio Bowen égal à 1, donne comme prouvé par A. Chatzidimitriou et al <sup>17</sup> (cf. **Chap.VI, section VI-6**) les mêmes résultats et même meilleurs que pour un matériaux à albédo de 0.90.( cf. **Fig. IX-26 et 27** pour les deux stations **A** et **B** à titre d'exemple).



**Fig. IX-26** : Variations des températures surfaciques et la PET en fonction de l'albédo et du ratio Bowen dans la station **A**

Source : Auteur



**Fig. IX-27** : Variations des températures surfaciques et la PET en fonction de l'albédo et du ratio Bowen dans la station **B**

Source : Auteur

<sup>17</sup> A. Chatzidimitriou et al, "Grande surface materials and microclimates in urban open spaces", PLEA, the 23<sup>rd</sup> conference, Genève, Suisse, Septembre 2006.

Ceci rend leur utilisation meilleure que celle des matériaux à haute réflectivité de par l'augmentation du flux latent et la réduction de l'éblouissement que peuvent causer ces derniers.

#### **IX-3-4-Scénarios pour l'introduction de l'élément végétal (arbres)**

L'amélioration du microclimat par l'introduction des arbres est appréhendé dans les différentes recherches (**cf.chap.VI, section VI.3**) en tant que solution pour l'amélioration du microclimat en tant que réducteur du facteur de vue du ciel, moyen de diriger où de réduire l'écoulement du vent et enfin une solution pour augmenter le flux latent par rapport au flux sensible.

Dans cette recherche, ils seront introduits en tant que moyen de réduction du rayonnement global atteignant le corps hypothétique.

La station **A** présentant le plus grand SVF (0.688) est retenue pour la recherche de la meilleure façon de disposer les arbres.

Le type d'arbre choisi pour la simulation est d'espèce caduque permettant un ensoleillement recherché en période hivernal. Le platane, le plus résistant des arbres urbains<sup>18</sup>, qui pousse dans la région de Constantine<sup>19</sup>, ayant les caractéristiques à sa maturité : Hauteur maximale 30m, hauteur tronc 5m, diamètre de la couronne 8- 10 m. (**cf. annexe E**)

Pour optimiser cette solution plusieurs scénarios sont envisagés pour la simulation :

- 1- Disposition du platane en rangées centrales.
- 2- Disposition du platane en rangées centrales et tout autour à l'exception du coté Nord-est.
- 3- Disposition du platane en rangées centrales et autour de toute la place.
- 4- Disposition du platane en rangées centrales et autour sauf du coté Nord-Est et dans les rues menant vers l'espace.

Les valeurs des paramètres climatiques mesurées en situation nue ont été utilisées afin de pouvoir établir un comparatif avec les différents scénarios.

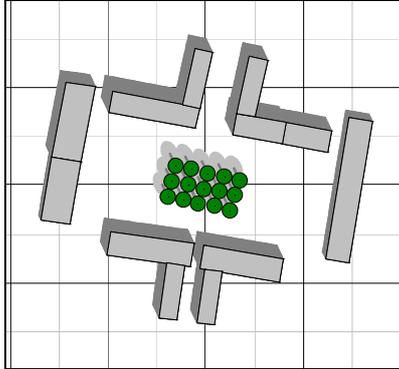
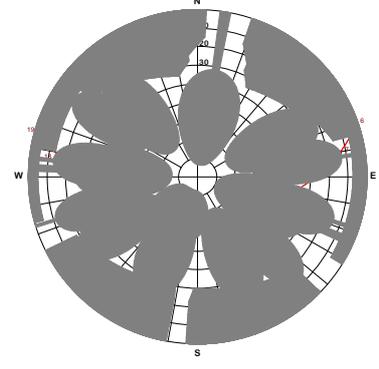
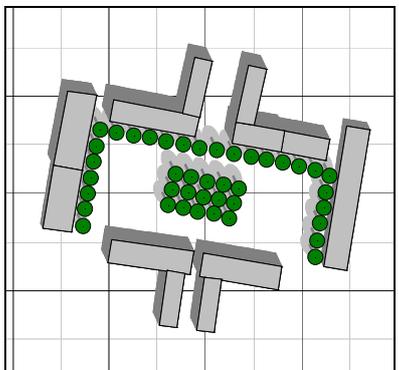
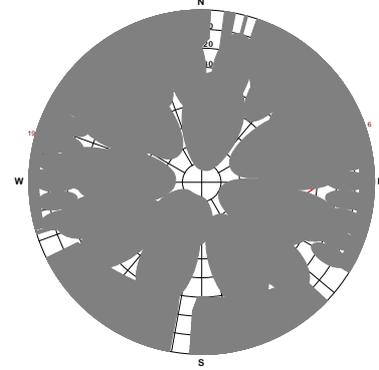
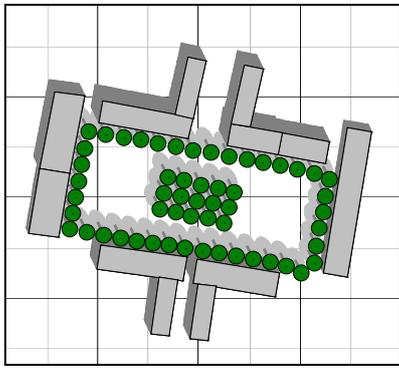
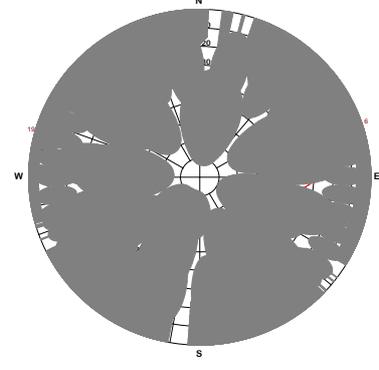
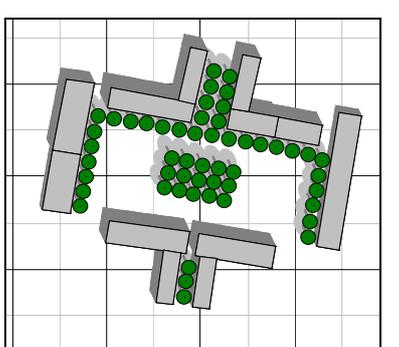
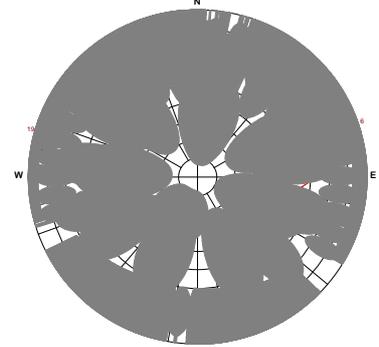
La simulation par le biais du modèle RayMan 1.2 a donné comme résultat les diagrammes et tableaux suivants (**cf. tableaux en détail annexe J**) :

---

<sup>18</sup> P. Muret, Y.M.Alain, M.L Sabrie, Espaces urbains; concevoir, réaliser, gérer, édition Du Moniteur, 1987.

<sup>19</sup> Algeria Atlas. "La biodiversite dans la région de Constantine", <http://www.Blogger.com>, Aout 2006.

**Tab.IX.10** : Diagrammes polaires des variations du SVF en fonction des scénarios proposés pour la station A (Source : Auteur)

Scénario	SVF	Ombre à 12H	Diagramme polaire
1	0.174		 <p>© 2000 Ray Man 1.2</p>
2	0.099		 <p>© 2000 Ray Man 1.2</p>
3	0.073		 <p>© 2000 Ray Man 1.2</p>
4	0.083		 <p>© 2000 Ray Man 1.2</p>

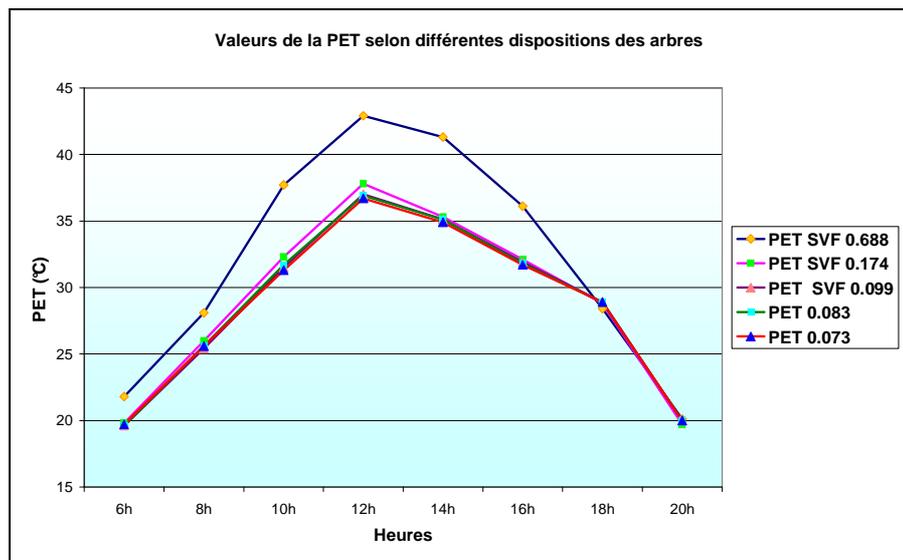
**Tab.IX.11** : Variations de la Ts, Tmrt et PET pour les 4 scénarios proposés.

(Source : Auteur)

SVF	Situation réelle			0.174		0.099		0.073		0.083		Ts obtenue pour les 4 scénarios
	Ts	Tmrt	PET	Tmrt	PET	Tmrt	PET	Tmrt	PET	Tmrt	PET	
h:mm	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
6	24	30.5	21.8	20.0	17.7	20.3	17.8	20.4	17.9	20.3	17.8	19.8
8	29	39.8	28.1	34.0	26.0	33.3	25.4	33.1	25.6	33.2	25.6	28.2
10	36	50.2	37.7	37.7	32.3	36.4	31.5	35.9	31.3	36.1	31.7	31.5
12	44	56.4	42.9	45.7	37.8	43.9	37.0	43.6	36.7	43.7	36.9	35.0
14	42	55.8	41.3	43.4	35.3	42.7	35.1	42.5	34.9	42.6	35.1	33.3
16	35	45.7	36.1	36.8	32.1	36.2	31.9	36.0	31.7	36.1	31.8	31.3
18	29	29.1	28.4	30.1	28.8	30.3	28.9	30.4	28.9	30.4	28.9	29.3
20	26	21.9	20.1	20.9	19.7	21.5	20.0	21.8	20.0	21.7	20.0	22.3

**Lecture du niveau de stress thermique**

PET	Perception thermique	Niveau du stress physiologique
18-23	Confortable	Aucun stress thermique
23-29	Légerement chaud	Léger stress de chaleur
29-35	chaud	Stress de chaleur modéré
35-41	Très chaud	Fort stress de chaleur
>41	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur



**Fig. IX-28** : Variations de la PET en situation réelle et selon les 4 scénarios proposés.

Source : Auteur

Il est clair sur le **tableau IX.11** et la **figure Fig. IX-28** que l'introduction des arbres dans la partie centrale, partie la plus sensible aux rayons solaires, fait chuter le SVF de 0.688 à 0.174 entraînant une réduction de la PET à 14h d'environ 6 °C. Ceci fait passer le niveau de stress thermique d'extrêmement chaud à très chaud.

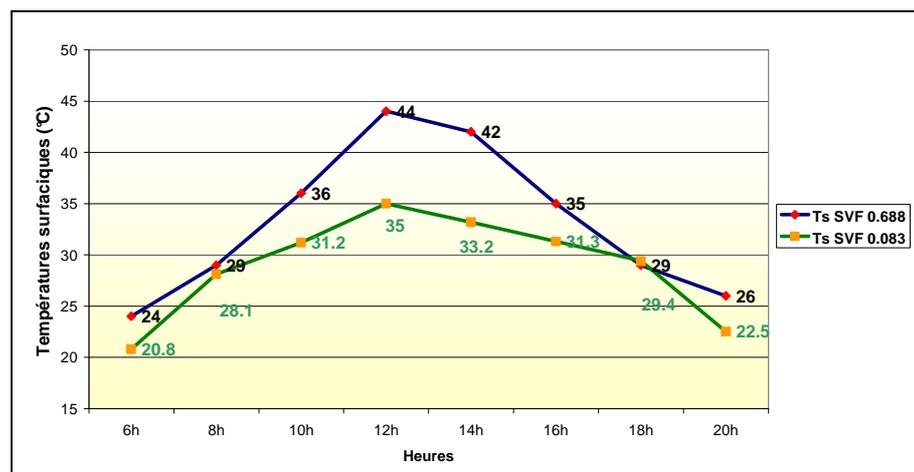
L'introduction des arbres sur la façade Nord-est diminue du SVF mais n'entraîne aucune amélioration des conditions de confort (**Scénario 3**) par rapport aux deux scénarios 1 et 2. La différence de la PET entre les scénarios 2 et 3 varie entre 0.8 à 1°C. La disposition des arbres dans les rues menant vers l'espace (**Scénario 4**) diminue du SVF, mais ne montre aucun intérêt dans l'amélioration du confort thermique du corps hypothétique. D'où le scénario retenu est le scénario 2, puisque la face Nord- Est bénéficie d'un ombrage presque permanent au courant de la journée. (**cf. annexe C**)

L'ombrage des trois autres façades ne sera que bénéfique pour les usagers de l'espace de par la réduction de la Tmrt ainsi qu'aux bâtiments adjacents. (**cf. Chap. VI section 3-1 et annexe C**). La température surfacique est la même pour les quatre scénarios.

- **Les températures surfaciques**

L'introduction des arbres, fait baisser les températures des surfaces, dont l'albédo est maintenu de la situation réelle soit 0.25, autour du corps hypothétique d'une valeur maximale de 9°C et 4.2 °C en valeurs moyennes. (**cf. Fig. IX-29**).

Diminution très significative pour le confort thermique humain. (**Voir section précédente**)

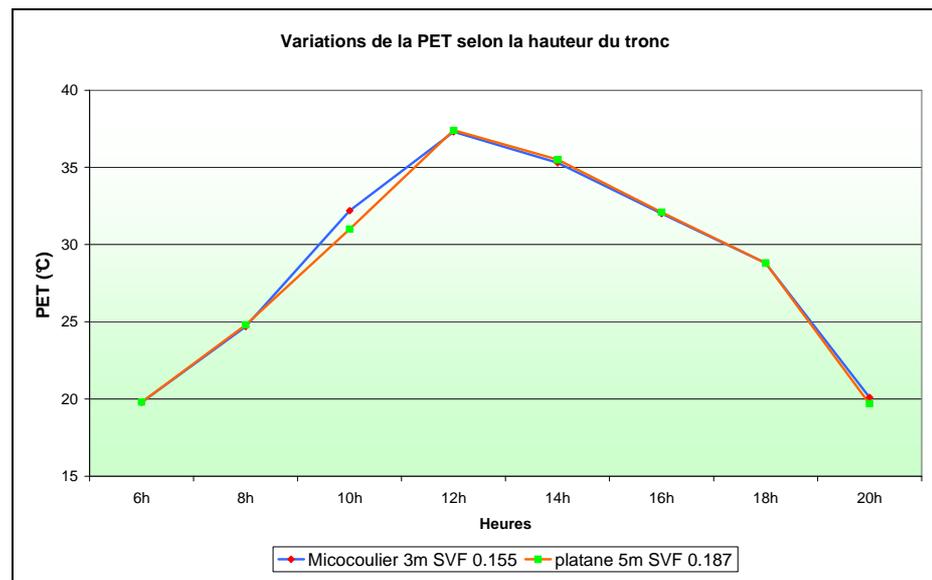


**Fig. IX-29** : Ecart de températures surfaciques du sol entre situation réelle et après introduction des arbres.

Source : Auteur

***La hauteur du tronc d'arbre a-t-elle une signification sur le confort thermique de notre usager de l'espace public pour une même largeur de couronne ?***

Un comparatif a été effectué entre les platanes hauteur du tronc 5m et le micocoulier hauteur du tronc 3m. La hauteur de l'arbre a été fixée à 13 m, le rayon de la couronne 5m. Les résultats sont représentés sur la figure **IX-30**. (cf. détails **Tab.J-5** et **J-6 annexe J**)



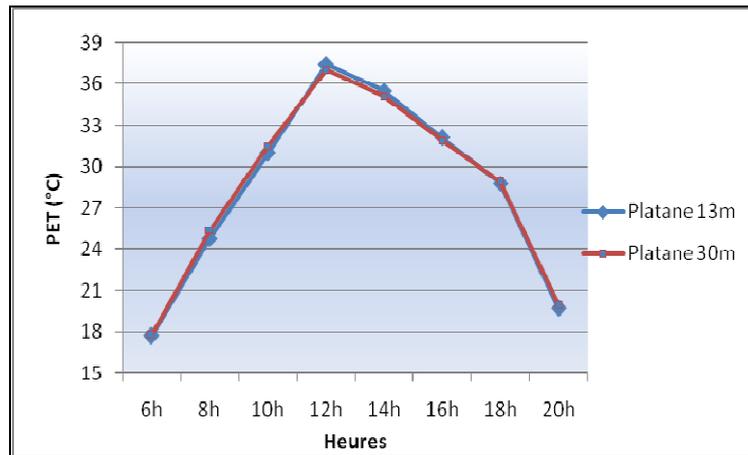
**Fig. IX-30** : Variations de la PET selon la hauteur du tronc.

Source : Auteur

Comme mentionné sur la figure **IX-30**; il est de toute évidence que la hauteur du tronc n'influe d'aucune manière sur la réduction de la PET. Une différence maximum de 1.2 est enregistrée à 10h.

***La hauteur de l'arbre a-t-elle une signification sur le confort thermique des usagers pour une même largeur de couronne?***

Il est de toute évidence, que pour une même largeur de couronne, la hauteur de l'arbre n'a pas de signification puisque seule une différence minime d'un maximum de 0.6°C est enregistrée à 8h du matin. (cf. **Fig. IX-31**).



**Fig.IX-31** : Valeurs de la PET pour un arbre de même couronne avec une différence d'hauteur de l'arbre.

Source : Auteur

Ces résultats sont en accord avec ceux de L.Shashua-Bar et al<sup>20</sup> : "L'effet de refroidissement de l'arbre s'est avéré dépendre principalement du niveau de couverture par la couronne et peu sur d'autres caractéristiques d'espèce." (cf. Chap. VII, section VII. 1-4)

Donc les caractéristiques des arbres retenues de la simulation afin de comparer les niveaux de confort thermique dans chaque station de mesure sont : le Platane, arbre qui dure des siècles<sup>21</sup>, d'une hauteur de 30 m, un rayon de couronne de 5m à la maturité, une hauteur de tronc de 5m, cette hauteur permettra une circulation d'air au niveau de l'espace (cf. Chap. VI, Fig.VI .28 -B)

#### **IX-3-5-Effet combiné de l'augmentation de l'albédo et l'introduction des arbres sur la perception du confort thermique :**

L'amélioration des conditions de confort thermique pour un usager des six stations de mesure se fera par la combinaison de l'amélioration de l'albédo de la surface au sol retenu qui est de 0.90 correspondant au Marbre blanc.\* (Voir supra) et l'introduction des Platanes où on a essayé de garder un rapport d'espace végétal espace nu de 60/40.<sup>22</sup> L'obstruction des ouvertures en direction de l'azimut a été effectué par son biais. Le traitement des inputs par RayMan 1.2 a donné comme résultats :

<sup>20</sup> L. Shashua-bar et al, "Climatic performance of urban trees under various building densities in the Mediterranean climate- An empirical and analytical study in Tel- Aviv", Sixth International conference on urban Climate, 2006, P. 248.

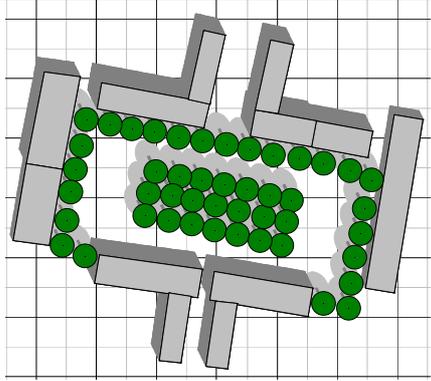
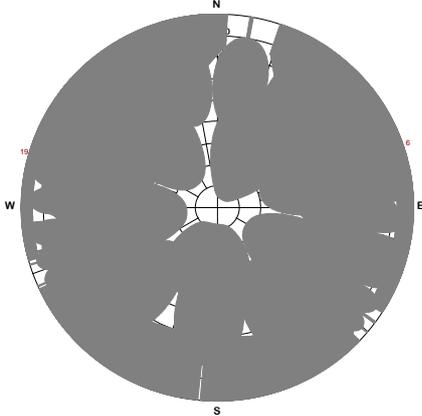
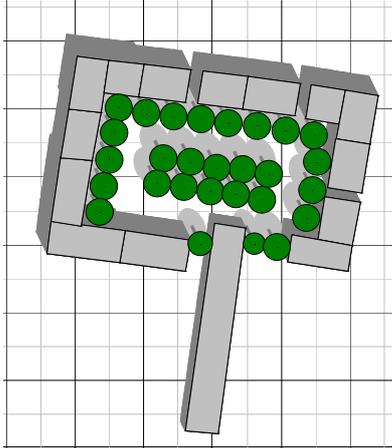
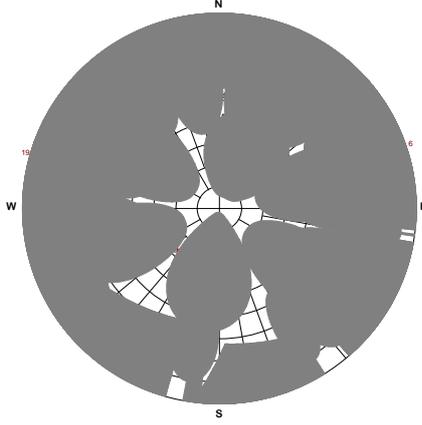
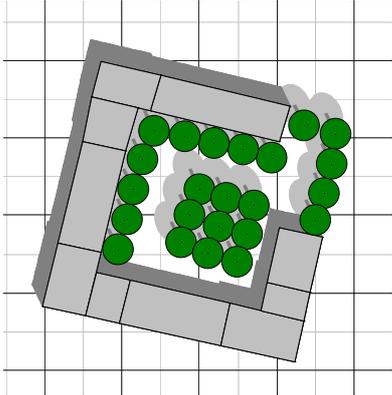
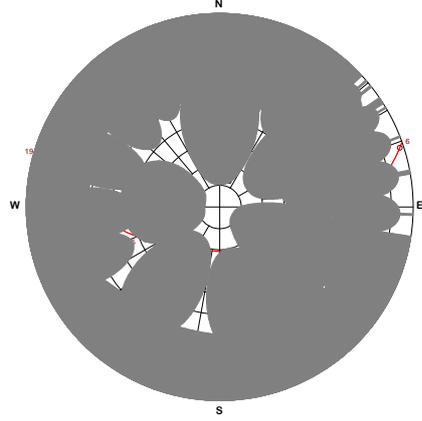
<sup>21</sup> P. Muret et al, Op.cit 18

\* Au même titre que l'emploi des matériaux poreux, puisqu'ils donnent les mêmes résultats.

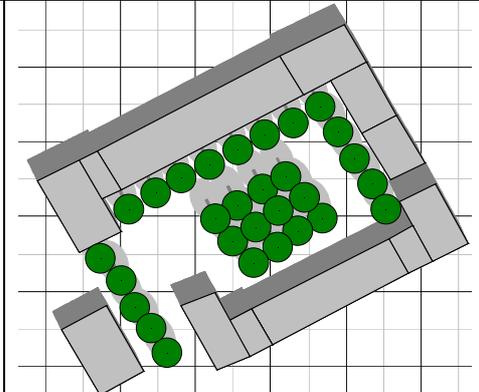
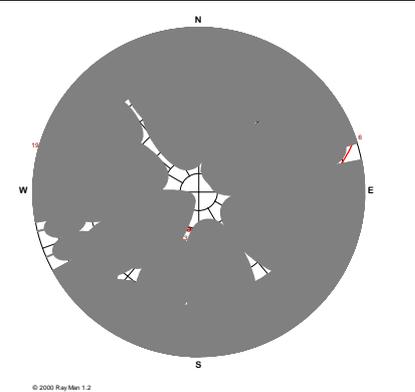
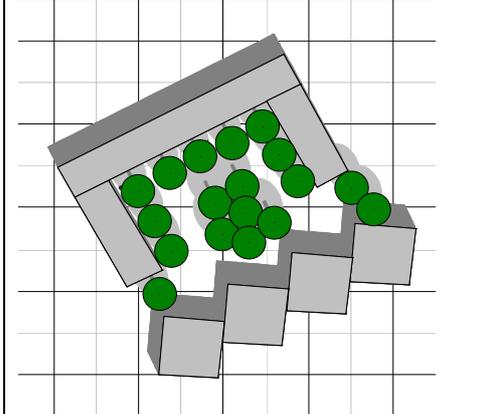
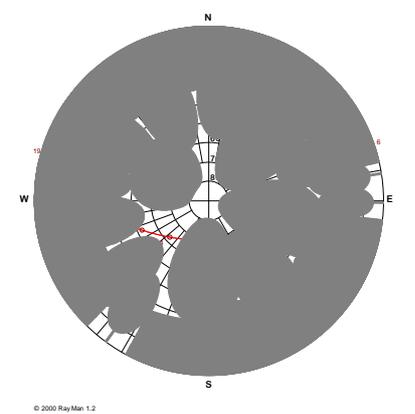
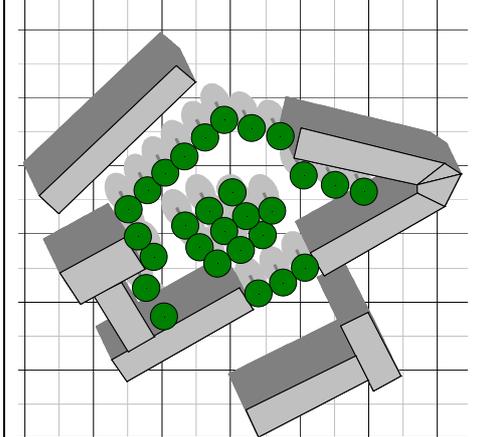
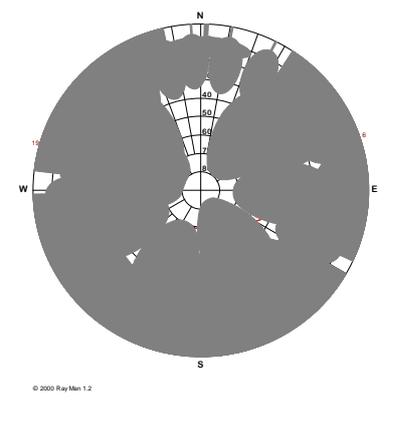
<sup>22</sup> Tareb, Energie dans l'environnement urbain- Architecture basse énergie, chapitre 4, <http://www.learn.londonmet.ac.uk>

- Une réduction du facteur d'ouverture au ciel. (cf. Tab. IX.12 et 13)

**Tab.IX.12** : Diagrammes polaires pour les nouvelles situations dans les stations d'orientation E- SE /O- NO (Source : Auteur)

	SVF Réel	SVF Amélioré	Cas amélioré	Diagramme polaire
<b>A</b>	0.688	0.057		
<b>B</b>	0.585	0.079		
<b>F</b>	0.594	0.074		

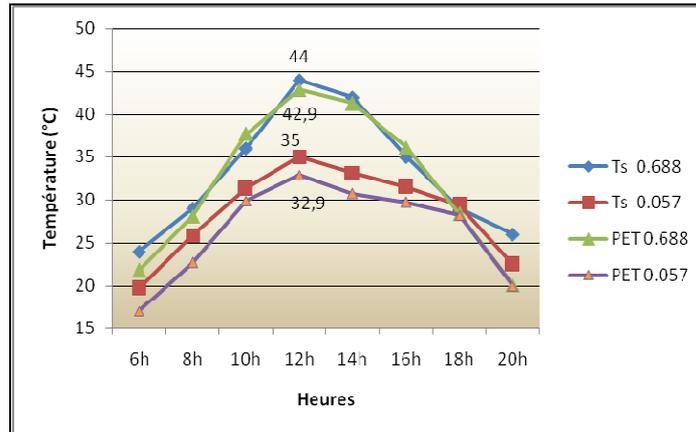
**Tab.IX.13** : Diagrammes polaires pour les nouvelles situations dans les stations d'orientation E- NE /O- SO (Source : Auteur)

SVF Réel		SVF Amélioré	Cas amélioré	Diagramme polaire
<b>D</b>	0.613	0.050		
	0.544	0.076		
	0.613	0.097		

Une importante diminution du rayonnement solaire est enregistrée (cf. tableaux K-1 à 6, annexe K)

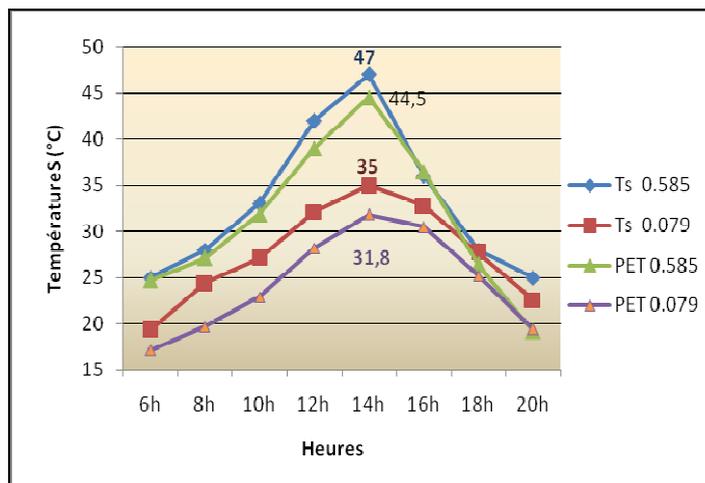
- Amélioration des conditions du confort thermique :

Comme représenté sur les tableaux **K-1 à K-6 (annexe K)** et figures **IX- 32 à IX-37**, il est clair qu'il existe une nette amélioration du confort thermique humain. sous l'effet combiné des arbres et de haut albédo. Les écarts des différentes températures entre situation réelle et améliorée sont portés sur le tableau **IX.14**



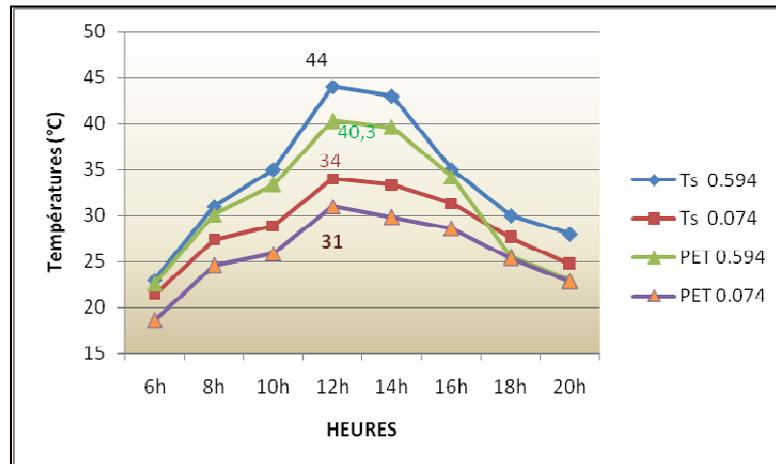
**Fig.IX-32** : Variations des températures du sol et de la PET en situation réelle et après introduction des arbres dans la station **A**.

Source : Auteur



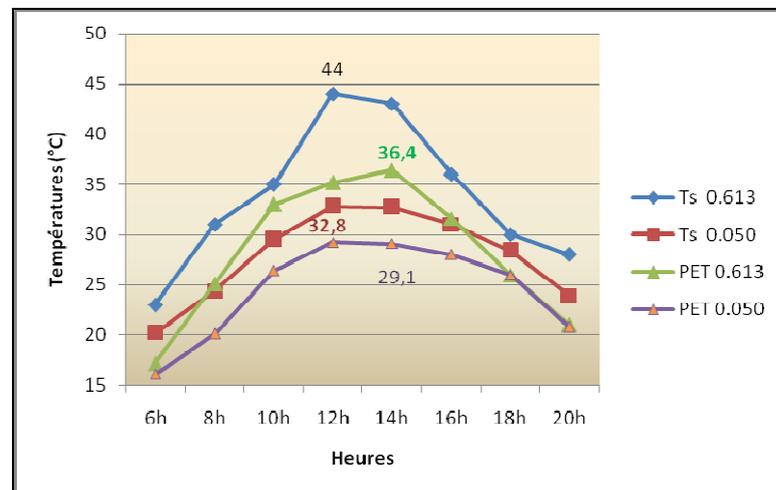
**Fig.IX-33** : Variations des températures du sol et de la PET en situation réelle et après introduction des arbres dans la station **B**.

Source : Auteur



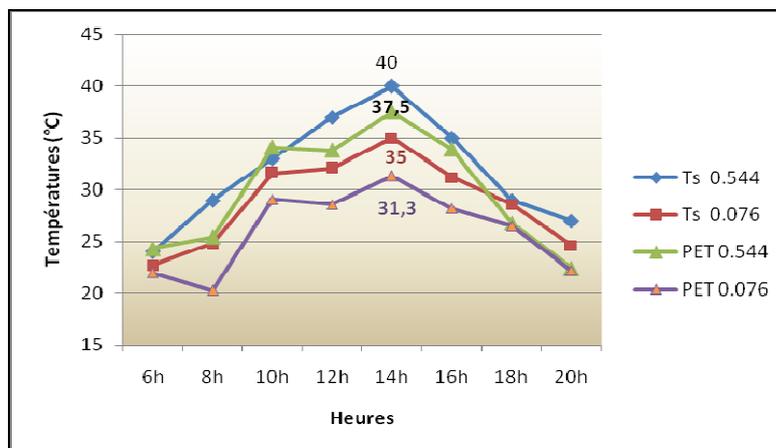
**Fig.IX-34:** Variations des températures du sol et de la PET en situation réelle et après introduction des arbres dans la station **F**.

Source : Auteur



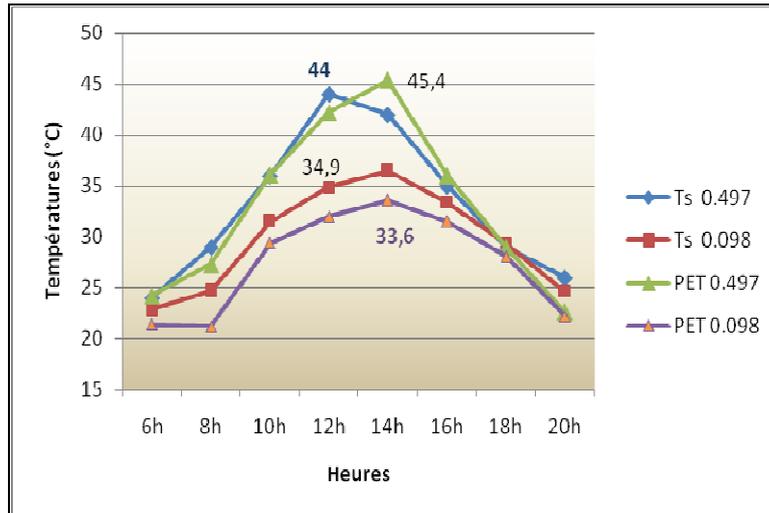
**Fig.IX-35 :** Variations des températures du sol et de la PET en situation réelle et après introduction des arbres dans la station **D**.

Source : Auteur



**Fig.IX-36 :** Variations des températures du sol et de la PET en situation réelle et après introduction des arbres dans la station **C**.

Source : Auteur



**Fig.IX-37** : Variations des températures du sol et de la PET en situation réelle et après introduction des arbres dans la station **E**.

Source : Auteur

**Tab- IX.14** : Ecart des différentes températures entre situation réelle et améliorée.

(Source : Auteur)

Station	$\Delta T_{S_{max}}$	$\Delta T_{S_{moy}}$	$\Delta T_{mrt_{max}}$	$\Delta T_{mrt_{moy}}$	$\Delta PET_{max}$	$\Delta PET_{moy}$	Intervalle PET 10h-16h, Heures de surchauffe
<b>A</b>	9	4.5	20.5	13.1	9.4	5.7	28.2 - 32.7
<b>B</b>	12	5.8	28.4	13.3	12.7	6.8	22.9 - 30.8
<b>F</b>	10	2.5	21.8	12.1	9.8	5	25.4 - 29.8
<b>D</b>	11.2	5.9	21.7	10.7	7.2	3.7	26.4 - 29.2
<b>C</b>	5	2.2	16.8	10.1	6.2	3.8	26.5 - 31.3
<b>E</b>	10.5	3	24.7	12.6	11.8	5.5	28.1 - 33.6

$\Delta T_{s_{max}}$  : Ecart de température de surface maximal entre cas réel et amélioré (°C)

$\Delta T_{s_{moy}}$  : Ecart de température de surface moyen entre cas réel et amélioré (°C)

$\Delta T_{mrt_{max}}$  : Ecart de  $T_{mrt}$  maximal entre cas réel et amélioré (°C)

$\Delta T_{mrt_{moy}}$  : Ecart de  $T_{mrt}$  moyen entre cas réel et amélioré (°C)

$\Delta PET_{max}$  : Ecart de PET maximal entre cas réel et amélioré (°C)

$\Delta PET_{moy}$  : Ecart de PET moyen entre cas réel et amélioré (°C)

La température de surface qui a baissée de 3.7°C dans la station **B**, pendant la période de surchauffe, par la seule amélioration de l'albédo (**voir supra**), baisse de 12°C sous l'effet de l'ombrage par les arbres soit un taux de refroidissement de 28.5%

Correspondant aux mêmes valeurs enregistrées par Chatzidimitriou et al<sup>23</sup> (cf. **Chap. VI Fig. VI-2**) .

Toutefois, les écarts de températures de surface enregistrés dans la station **A** (cf. **Fig. IX-29**) nous révèlent une autre réalité mis en évidence par Chatzidimitriou et al<sup>24</sup> est que sous l'effet de l'ombrage la différence de température entre les différentes surfaces, à différents valeurs d'albédo est minime (cf. **Chap. VI. section VI-1**)

En effet les écarts de température surfacique maximums et moyens enregistrés par l'introduction seule des arbres avec un albédo de 0.25 et un albédo de 0.90 n'ont pas changé. (cf. **Tab. IX.11**) .Ceci anéantit l'effet bénéfique de la haute réflectivité devant l'ombrage des arbres.

L'amélioration des conditions de confort thermique des usagers des espaces urbains ouverts est très visible de par la réduction des valeurs de la PET et le niveau du stress thermique. ( cf. **tableaux K-1 à 6 annexe K**)

La valeur extrême de la PET soit 42.9 °C enregistrée par la station **A** avant amélioration à 12h est passée à 32.9 °C soit une différence de 9.4 °C faisant passer la perception thermique d'un stress extrême de chaleur à un stress de chaleur modéré. En valeurs moyennes l'espace est passé de chaud à légèrement chaud.

La station **B** a gagné 4h de confort thermique en matinée et pendant des heures significatives de la journée (10h). La valeur maximale de la PET est réduite de 41.7 à 31.8°C. La perception thermique est passée d'un stress extrême de chaleur à un stress modéré Ceci met en évidence l'effet combiné d'un ombrage par les arbres à une géométrie de **SVF** moyen (0.585) surtout avant 14h.

Même constat pour les stations **F, C, D et E** dont la perception thermique se trouve variée entre aucun stress thermique (confortable) et stress modéré.

L'amélioration des conditions de confort surtout pendant les heures de surchauffe dans la station **F** met en évidence l'intérêt de la fermeture de l'espace en direction de l'azimut. (cf. **Tab. IX.14 et Tab .K-3, annexe K**)

Le degré de refroidissement dans les deux stations **B** et **E** met en évidence l'ambiance désagréable causée par l'asphalte en association à une grande ouverture au ciel.

La station **D**, de par le niveau de confort qu'elle offre notamment durant les heures de surchauffe (cf. **Tab. IX.14 et Fig. IX- 35**), révèle l'intérêt de l'effet combiné de l'ombrage par les arbres en association avec une bonne ventilation de l'espace.

<sup>23</sup> A. Chatzidimitriou et al, Op.cit 17

<sup>24</sup> A. Chatzidimitriou et al, Op.cit 17

Il est à noter que ces valeurs de réduction moyenne dans la  $T_{mrt}$  et la PET sont en parfait accord avec ceux enregistrées par Matzarakis et Streiling<sup>25</sup> ( cf. **Chap.VII, section VII.1-6**)

Donc la seule présence des arbres à larges couronnes dans les différentes stations, cause une augmentation du nombre d'heures de confort thermique d'été utiles pour la fréquentation des places urbaines. En association à une bonne ventilation transversale et amélioration de l'albédo ou le ratio Bowen surtout dans les zones à découvert, n'en fera que mieux. Ceci confirme notre troisième hypothèse.

### **Conclusion**

Ce chapitre avait pour objectif d'étudier la relation entre l'environnement thermique exprimé par la température physiologique équivalente la PET et la morphologie urbaine exprimée par le SVF. Six places urbaines ont fait l'objet de cette étude en période estivale.

Les résultats ont indiqué une très grande corrélation positive entre la PET et la température moyenne radiante ( $T_{mrt}$ ). Cette dernière est liée aux propriétés thermiques des surfaces au sol, d'où elle présente une corrélation positive avec les températures surfaciques, et aux vitesses des vents avec lesquelles elle affiche une corrélation négative.

La  $T_{mrt}$  a une grande corrélation avec le SVF, cependant son sens positif est lié à la période où les espaces sont vus par le soleil. Ce sens devient négatif en l'absence du rayonnement solaire ou selon son obstruction en direction de l'azimut ou sa topographie.

La PET en grande corrélation avec la  $T_{mrt}$ , indique que les conditions de confort thermique dans les espaces aux grandes ouvertures au ciel sont confortables quand le bilan radiatif est négatif. La dégradation du confort thermique commence dès le début de la livraison de l'énergie par les rayons solaires, d'où une très forte corrélation positive était trouvée entre le SVF et la PET. Cependant cette corrélation peut redevenir négative en présence d'une bonne ventilation de l'espace.

---

<sup>25</sup> S. Streiling, A. Matzarakis: "Influence of single and small clusters of trees on the bioclimate of city" *Journal of Arboriculture* 29 (6), November 2003, pp. 311- 316.

Donc le SVF est un bon indicateur des performances thermiques des espaces ouverts urbains.

A travers ce chapitre, on a essayé aussi de trouver la meilleure façon de concevoir un espace urbain ou d'apporter des corrections à des espaces préétablis.

L'action sur la géométrie urbaine fortuite, peut améliorer le confort thermique pour une période de l'année et le contrer pour une autre. Donc la géométrie meilleure manière de refroidir les espaces, nécessite une étude très détaillée par la combinaison des tailles et des proportions que par la simple action sur la hauteur ou la largeur.

L'emploi des matériaux de pavage à haute réflectivité améliore d'une manière très significative le niveau du confort thermique. Cependant, l'emploi des matériaux poreux permettant une évapotranspiration, même à plus faible albédo donne les mêmes résultats sinon meilleurs.

L'ombrage par les groupements d'arbres denses dans les emplacements adéquats constitue la meilleure stratégie de par la réduction du flux thermique entrant. Stratégie qui anéantit l'effet des matériaux frais au sol. Mais comme fournie par la littérature, l'emploi de ces derniers permet une bonne croissance des arbres, une bonne évapotranspiration et leur évite le stress thermique.

D'une façon générale, l'amélioration des propriétés thermiques des surfaces au sol en combinaison à l'implantation des arbres à larges couronnes employés comme obstacles aux rayons solaires, avec une bonne orientation aux vents dominants (qu'on n'a pu simuler) surtout pendant les heures de surchauffe constituent des bons outils pour palier aux grands désagréments causés au confort thermique principalement par des géométries urbaines à grandes ouvertures au ciel, et afin d'augmenter le temps d'utilisation de l'espace public urbain.



**ET**

**Recommandations**

Le contexte urbain offre un environnement riche et varié. Les paramètres microclimatiques varient instantanément en fonction de l'espace et du temps.

Ces variations sont de prime importance du point de vue des activités qui ont lieu sur le site et jusqu'à un certain point, déterminent l'usage que l'on en fait.

En effet, la variation de la morphologie des espaces publics urbains peut engendrer des modifications significatives sur les paramètres microclimatiques, notamment sur les températures de l'air et de surface, l'humidité relative et la vitesse du vent. Ces modifications peuvent avoir une influence sur la santé et le confort thermique des piétons.

Par ailleurs, les recherches affirment qu'une mauvaise adaptation climatique des environnements urbains a souvent pour conséquence l'utilisation d'une climatisation active et ainsi une augmentation de la consommation énergétique.

La présente recherche a traité et analysé le rapport entre la géométrie urbaine décrite par le degré d'ouverture au ciel (SVF), le microclimat et le confort thermique estival dans les espaces publics extérieurs par des mesures in situ et une simulation numérique. Son but principal est de comprendre la diversité environnementale en milieux urbains et son implication en termes de conditions de confort thermique pour un usager de l'espace public, ainsi que d'identifier les paramètres importants qui doivent être pris en prime abord par les architectes et les urbanistes afin de mieux concevoir les espaces publics extérieurs.

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

Nous rappelons que cette recherche a nécessité trois parties : une partie théorique issue d'une analyse bibliographique entamée par un bref historique sur l'adaptation des villes aux différentes conditions climatiques à travers l'histoire. Ensuite, on a défini le concept place pour situer cette pièce parmi tant d'autres espaces urbains ouverts et dont on a défini les différents critères auxquels elle doit répondre. Le microclimat s'est avéré une composante non négligeable dans sa définition.

Pour définir les caractéristiques du microclimat urbain, on a procédé à une analyse approfondie des composants du bilan thermique d'un espace urbain. Afin de déterminer les causes de la défaillance de son équilibre dont l'îlot de chaleur urbain est la

conséquence la plus apparente et la géométrie urbaine paraît la cause principale de sa génération.

Les effets aérodynamiques, et hygrothermiques ont été également traités dont l'objectif était de comprendre les modifications qu'ils subissent par le milieu urbain.

Avant d'entamer la relation entre la géométrie des places et le confort thermique extérieur à travers des travaux de recherches déjà effectués, on a jugé indispensable de présenter les données de base ayant trait à la notion de confort thermique extérieur ceci nous a incité à éclaircir le comportement du métabolisme humain vis-à-vis des paramètres climatiques et microclimatiques et de définir quelques indices de confort thermique dans les espaces extérieurs.

Procéder à une recherche pratique sur terrain a exigé une analyse climatique sur la ville de Constantine ceci nous a permis la classification de son climat, ainsi que l'aboutissement à des orientations et des recommandations qui peuvent éventuellement dicter des principes de base de la conception urbaine bioclimatique. Cette approche s'est basée sur des méthodes d'analyse climatiques et bioclimatiques universelles.

Une deuxième partie qui concerne une investigation sur un tissu urbain existant. Les données sur l'environnement thermique, hygrothermique et aéraulique de six enclos urbains assez conséquents, situés dans la ville nouvelle d'Ali Mendjli de la région de Constantine à climat contrasté ont été mesurées. Des appareils portatifs de mesure des ambiances physiques durant une journée typique d'été ont été utilisés. Ces enclos ont un intervalle de SVF entre 0.497 et 0.688, des façades de couleurs claires et manquent de végétation.

L'analyse s'est faite selon deux orientations différentes ayant pour objectif l'homogénéisation de l'angle d'incidence des vents. Deux espaces de chaque orientation présentant la même nature de couverture au sol afin d'homogénéiser le plus possible les espaces et faire ressortir la seule influence de la géométrie urbaine. Un espace de nature au sol différent a été pris selon chaque orientation pour mettre en évidence l'effet combiné des propriétés thermiques des matériaux et la géométrie urbaine.

La relation entre la géométrie urbaine et le microclimat a été analysée à travers une étude corrélationnelle. Cette étude permet de démontrer la nature de la relation entre le SVF et les facteurs microclimatiques en milieu urbain.

Les résultats montrent des corrélations entre le SVF et les paramètres microclimatiques plus ou moins significatives. Toutefois, ils montrent deux types de corrélations : positives et négatives.

L'analyse des données de la microclimatologie urbaine a révélé le phénomène de l'îlot de chaleur urbain (ICU) diurne et nocturne. Une très forte corrélation négative existe entre le SVF et l'ICU nocturne. Lorsque les espaces sont vus par le soleil, pour des espaces de couverture au sol de même nature une forte corrélation existe mais dans le sens est tantôt positif et tantôt négatif dépendant essentiellement des vitesses des vents régnant dans l'espace. Pour des espaces de couvertures au sol différentes cette corrélation ne semble pas claire.

Une forte corrélation existe entre la température de l'air dans une place urbaine et le SVF. Parmi les deux orientations sujettes à l'investigation ; les stations orientés E-NE/ O-SO offrent plus de fraîcheur avec une corrélation négative très forte que celles orientées E-SE/ O- NO qui présentent une forte corrélation positive.

Une corrélation très forte mais négative existe également entre le facteur d'ouverture au ciel (SVF) et la température de surface.

Ces corrélations de sens contradictoires trouvent leur explication dans la différence des vitesses de vent, du degré d'obstruction de l'espace en direction de l'azimut, du comportement spatial et temporel des surfaces au sol et enfin de la topographie de l'espace qui peut être désavantageuse pour une ventilation efficace.

Cependant le degré de refroidissement de l'air ou des surfaces entre zones à l'ombres et au soleil se trouve en très forte corrélation négative (plus le SVF est faible plus le degré de refroidissement est grand) quelque soit l'orientation et l'angle d'incidence du vent.

Malgré cela, on n'a pu conclure qu'un tissu urbain compact est le plus avantageux en période chaude puisque la station E au plus faible SVF (0.497) offrant normalement plus d'ombre et de fraîcheur, présente les températures moyennes de l'air et les PET les plus élevées. Ceci a infirmé notre première hypothèse.

La présence des jeunes arbres ne semble contribuer d'aucune manière à l'amélioration du degré hygrothermique des espaces. Cependant une corrélation négative a été prouvée entre le **SVF** et l'humidité de l'air.

L'étude des phénomènes aérauliques en ces milieux ouverts s'est révélée complexe par l'ensemble des phénomènes mis en jeu par la géométrie : rayonnement en courte et grande longueur d'onde, convection naturelle entre zone à l'ombre et au soleil, la configuration au sol, orientation des ouvertures en direction des vents dominants et leur degré d'ouverture par rapport au périmètre de l'espace, l'angle d'incidence de ces dernier sur l'axe d'orientation de l'espace , et enfin la juxtaposition d'espace à faible SVF et à grand SVF en combinaison avec l'effet de trou. Ce dernier a

favorisé une advection et une convection forcée et donc une ventilation transversale des espaces ouverts.

La simulation numérique constitue la troisième partie de la recherche. Elle s'est basée sur un programme tridimensionnel RayMan 1.2 qui a permis de vérifier et de valider d'abord les résultats obtenus par la campagne de mesures, puis d'évaluer le confort thermique au niveau des enclos urbains en question par l'indice de confort physiologique PET basé sur la température moyenne radiante.

Une très forte corrélation positive presque de 100% existe entre le SVF et la PET pour l'orientation E-SE/ O- NO. Cette forte corrélation redevient négative pour l'orientation E-NE/ O-SO.

En comparant les valeurs de l'indice de confort PET dans les différents enclos on a déduit que ceux permettant une bonne ventilation, car les vents y soufflent plus fort sont plus confortables indépendamment de la valeur du SVF. La station **D** à grand SVF 0.613 enregistre la plus faible PET moyenne pour la période de mesure de par les mouvements d'air qui y règne. Ce résultat confirme notre deuxième hypothèse.

En procédant à la modification des propriétés thermiques des matériaux de couverture au sol en augmentant leur albédo ou leur évapotranspiration, avantage offert par le programme de simulation exploité, le confort thermique s'est nettement amélioré générant des gains sur la période de fréquentation des espaces extérieurs. Cependant la réduction du SVF par la végétation affiche un contrôle du degré de confort thermique très avantageux quelque soit l'orientation et le degré d'ouverture au ciel. Ceci confirme notre troisième hypothèse. Une bonne ventilation de l'espace ne ferait qu'augmenter cette sensation. Les valeurs de la PET dans la station **D** en témoignent.

L'action sur le SVF en agissant sur la largeur et la hauteur des configurations urbaines affiche des contradictions entre période estivale et hivernale. L'action sur la géométrie demande donc des recherches plus poussées par des combinaisons de tailles et proportions.

Donc comme paramètre morphologique, le SVF défini directement par l'échelle locale de la géométrie urbaine, a une valeur particulière pour la conception urbaine avec sa double signification pour la performance thermique locale dans les aspects de l'ICU et du confort thermique. Sa grande corrélation avec les différents facteurs microclimatiques, dont le sens positif ou négatif pourrait être contrôlé selon les effets désirés pour différents climats, par des pratiques en matière de conception urbaine telles

que l'ouverture ou la fermeture au vent, l'exposition ou l'obstruction en direction de l'azimut, la nature des matériaux au sol et enfin la topographie.

En conclusion, les objectifs précédemment tracés ont été atteints et les hypothèses mises en place ont été largement vérifiées. D'autres axes de recherche s'ouvrent et beaucoup d'interrogations peuvent trouver leur réponse du moment que la planification urbaine peut se servir des outils de simulation pour tester la façon dont la forme urbaine influencera le microclimat urbain et le confort humain. D'autres paramètres liés à la micro climatologie urbaine peuvent être aussi testés et évalués. Ces outils devraient donc 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 durant la campagne de mesure :**

Les objectifs de la recherche ont été atteints. Cependant, quelques limites liées à la méthodologie doivent être exposées :

- Le manque d'appareillage fixe ou mobile déterminant pour les mesures microclimatiques nous a limité à deux orientations et six enclos. Il aurait été plus pertinent d'explorer un nombre plus grand de configurations et d'autres orientations par rapport aux vents et au soleil.
- Le manque d'éclairage public et l'insécurité nous ont obligés à limiter les mesures juste au coucher du soleil.
- La période des relevés ne tient pas en considération la saison d'hiver. Il serait plus pertinent dans un climat contrasté comme celui de Constantine, d'intégrer les relevés d'hiver afin de permettre une comparaison plus exhaustive entre les différentes géométries en termes de confort thermiques.

Il est également important de souligner quelques difficultés rencontrées au cours des mesures microclimatiques. Ces problèmes concernent particulièrement les conditions du ciel où les mesures microclimatiques ont été effectuées par un ciel pas tout à fait dégagé sur toute la période de mesure, quoiqu'il soit délicat à Constantine d'obtenir des conditions de ciel totalement clair et stable en été.

**Recommandations :**

Les différents résultats rassemblés de la présente recherche, nous incitent à fournir des recommandations afin de bénéficier du contrôle de l'ambiance thermique que peut fournir la géométrie des espaces urbains ayant pour indicateur le degré d'ouverture au ciel (SVF), Ceci encouragera une conception des places urbaines en parfait accord avec leur contexte climatique.

Pour optimiser la contribution des surfaces nues à l'amélioration du microclimat :

- Employer les matériaux de couleur claire de haut-albédo (avec au moins la réflectivité de 50%).

- L'utilisation des matériaux poreux permettant une évapotranspiration diminuée aussi d'une manière égale les températures surfaciques. Puisque l'albédo diminue par vieillissement et engendre le phénomène d'éblouissement, ils seraient préférables aux premiers.

- Limiter les effets des surfaces au sol pavées et foncées à faible albédo peut être réalisé en fournissant l'ombre par l'utilisation de la végétation. Le rapport Végétation/ espace bâti de 60/40 et plus est recommandé<sup>1</sup> ; plus il est important meilleur est le refroidissement.

Pour optimiser la contribution des arbres à l'amélioration du microclimat dans les espaces extérieurs urbains ainsi qu'aux abords des bâtiments et par conséquent le confort thermique extérieur et intérieur, et pour éviter la mort prématurée des plantes quelques détails principaux doivent être respectés:

- La disponibilité de l'eau dans l'espace afin qu'ils ne souffrent à aucun moment d'un déséquilibre entre l'absorption et la transpiration. L'évaporation provenant de la végétation et des sols humides est très forte. Cependant si l'irrigation est interrompue, cet effet finira par disparaître.<sup>2</sup>

- Choisir les espèces d'essences locales d'arbres, arbustes et pelouses car elles ont généralement une résistance plus forte aux parasites et qui s'adaptent le mieux aux conditions climatiques et peuvent résister à des situations de manque d'eau.

- Choisir l'emplacement correct des arbres pour masquer la surface concernée en prenant en considération les angles solaires, les dimensions de la couronne, la hauteur

<sup>1</sup> Tareb, *Energie dans l'environnement urbain- Architecture basse énergie*, chapitre 4, <http://www.learn.londonmet.ac.uk>.

<sup>2</sup> T.R.Oke, "Boundary Layer Climates", *Methuen*, New York, 1987.

de la structure à ombrager et l'essence et type de plante tout en pensant à canaliser les vents. Les bancs seront placés en fonction.

- La végétation ne doit pas porter ombre sur les espaces extérieurs durant la saison froide, c'est donc une végétation à feuillage caduc permettant le captage solaire. Les arbres à feuilles persistantes pourront être utilisés dans les espaces qui sont à l'ombre à longueur d'année<sup>3</sup>, ou comme écran aux vents d'hiver. Dans ce cas là, le maximum de protection est obtenu lorsque la longueur de l'écran est de 11 à 12 fois sa hauteur.<sup>4</sup>

- Leur distance par rapport aux constructions doit être comprise entre 2.5 à 6m avec un espacement tenant compte de la dimension finale de la canopée de chaque type d'essence.<sup>5</sup> Cette distance permet à la canopée de se développer et de s'éloigner des surfaces minérales verticales tout en optimisant l'ombre portée.

La taille des racines sera prise en compte par rapport aux murs extérieurs, pavages.....

- Pratique de l'élagage comme moyen de contrôler la densité et les nouvelles branches.

Sachant que l'humidité de l'air est un paramètre important pour le confort thermique des usagers des espaces publics extérieurs, il s'avère nécessaire de :

- Choisir un dallage imperméable, planter des arbres et prévoir des bassins d'eau, des cascades et des rigoles puisque l'eau en mouvement a un effet plus bénéfique, de bien les disposer en direction des vents dominants pour augmenter la valeur moyenne de l'humidité et par conséquent le confort thermique.

La ventilation de l'espace s'avère un paramètre essentiel dans le contrôle de l'effet de la géométrie, de l'évapotranspiration, de la Tmrt et la PET. Il est donc impératif de :

- Bien orienter les espaces publics en direction des brises d'été.
- Favoriser les mouvements d'air locaux par la juxtaposition d'espace à grand SVF et un autre à faible SVF avec des ouvertures l'un sur l'autre.

Pour un confort psychologique, il serait préférable que les places soient

- de dimensions restreintes, favorisant ainsi les sentiments de sécurité et d'enclosure ;

---

<sup>3</sup> A.Yezioro, I.G.Capeluto, E. Shaviv, "Design guidelines for appropriate insolation of urban squares", *Renwable Energy*, Volume 31, Juin 2006, pp 1011-1023.

<sup>4</sup> D. Watson, R.Camous, *L'habitat bioclimatique, de la conception thermique à la construction*, édition L'étincelle, Montréal, 1986.

<sup>5</sup> D. Watson, R.Camous, *idem* 4

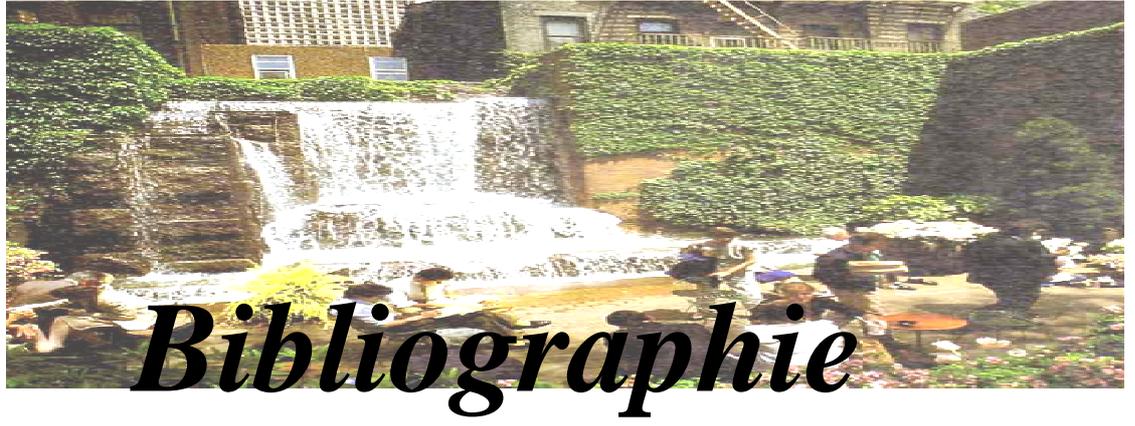
- qu'elles aient des différences de niveau, tout en pensant à sa ventilation, pour inviter à la découverte et combattre le sentiment d'ennui.
- Créer de l'animation en leur sein en prévoyant par exemple des espaces de consommation tels que les café – terrasses placés du côté nord pour bénéficier d'un ombrage permanent en saison chaude, des espaces de jeux pour adultes et enfants.

### **Axes de recherches futures**

L'ensemble du travail réalisé dans le cadre de cette recherche ouvre de nombreuses perspectives de recherche :

- L'étude des meilleures combinaisons des tailles et proportions des espaces ouverts afin d'obtenir des morphologies urbaines, ayant pour indicateur le SVF, répondant le mieux aux conditions d'ensoleillement et de ventilation des espaces ouverts dans un climat contrasté que celui de Constantine.
- L'étude des effets microclimatiques générés par la juxtaposition de différentes morphologies urbaines tels que les mouvements d'air locaux.
- L'étude du rapport entre la consommation énergétique des bâtiments et la géométrie des espaces ouverts et leur réciprocity pourrait également compléter cette étude.
- L'étude de la ventilation dans la ville répondant aux deux saisons dans les villes au climat contrasté pourrait être la solution au déséquilibre climatique urbain.
- Microclimats urbains et opportunités d'adaptation des utilisateurs sont interdépendants. Cette interdépendance mériterait d'être explorée.

L'intégration de ces nouveaux paramètres permettrait une meilleure intelligibilité de la relation entre la morphologie urbaine, microclimats et le confort thermique extérieur. L'étude de cette relation fournirait des éléments objectifs et subjectifs essentiels à la conception des espaces publics extérieurs en vue de contribuer au développement durable de nos villes.



**Ouvrages :**

1. **Arnheim. R**, Dynamique de la forme architecturale, édition Pierre Mardaga, 1986.
2. **Bardet.G**, L'urbanisme, Collection que sais-je, PUF, Paris, 1975.
3. **Bernard. M.J et Listowski. H**, Les places dans la ville. Les pratiques de l'espace, édition Dunod ,1984.
4. **Benevolo, L**, Histoire de la ville, édition Parenthèse, Marseille,1994.
5. **Buckhardt. J.L**, Voyage en Arabie, édition Longman ,Londres ,1968.
6. **Chatelet. A, P. Fernandez, Lavigne. P**, Architecture climatique une contribution au developpement durable.Tome 2 : Concepts et dispositifs, EDISUD, Aix-en-Provence, 1998.
7. **Conrado. M**, La maison écologique, édition de Vecchi, Paris, 2004.
8. **Daguenet. M**, Les séchoirs solaires : théories et pratiques, UNESCO, 1987
9. **De Sablet. M**, Des espaces urbains agréables à vivre, édition du Moniteur, Paris, 1988.
10. **Escourrou. G**, Le climat et la ville, édition Nathan, 1991.
11. **Fathy. H**, construire avec le peuple , édition Sindbad, Paris, 1979.
12. **Gauzin –Müller**, Architecture écologique, édition le Moniteur, Paris, 2001.
13. **Gibberd. F**, composition urbaine, édition Dunod, Paris, 1972.
14. **Givoni.B**, Climate Considerations in Building and Urban Design, édition John Wiley et sons INC,New York, 1998.
15. **Givoni. B**, l'homme, l'architecture et le climat, éd. Moniteur, 1978.
16. **Guyot. G**, Climatologie de l'environnement, édition Dunod, Paris, 1999.
17. **Gymbal. J**, Histoire de l'architecture de l'antiquité à nos jours, édition Könmann, Cologne, 1996.
18. **Hilberseimer. L**, Ensoleillement et densités théoriques de population, édition J.Hoffman, Stuttgart, 1936.
19. **Izard. J.L**, Archi-bio, édition Parenthèse, 1979.
20. **Krier. R**, L'espace de la ville, théorie et pratique, édition archive d'architecture moderne, Bruxelles.1980.

21. **Koenisberger. O.H, Ingersoll. T.G, Mayhew. A, Szokolay. S.V**, Manual of tropical Housing and building.Part:1,Climate design, édition Longman group, New York, 1973.
22. **Liebard. A, De Herde. A**, Guide de l'architecture bioclimatique, éd. Système solaire, Observer, Paris, 1996.
23. **Liebard. A, De Herde. A**, Traité d'architecture bioclimatique, édition observ'ER, Paris, 2005.
24. **Lynch. K**, Voir et planifier ou l'aménagement qualitatif de l'espace, édition Bordas, 1982.
25. **Maouïa. S**, Éléments d'introduction à l'urbanisme,"Histoire, méthodologie, réglementation, édition Casbah, Alger, 2000.
26. **Günter. Müller. D**, Architecture écologique, édition le Moniteur, Paris, 2001.
27. **Munford. L**, Le déclin des villes , édition France empire, 1970.
28. **Muret. P, Alain. Y.M, Sabrie. M.L**, Espaces urbains; concevoir, réaliser, gérer, édition Du Moniteur, 1987.
29. **Oke. T.R**. Boundary Layer Climates, Methuen, New York, 1987.
30. **Olgay. A et Olgay. V**, Solar control and shading devices, Princeton university press, Princeton, NJ, 1957.
31. **Olgay. A et Olgay. V**, Design with climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism, Princeton university press, Princeton, NJ, 1962.
32. **Perrault. C**, (1684), Les dix livres de Vitruve :Livre sixième chapitre premier, édition Pierre Mardaga, Liège, 1996.
33. **Reckenagel**, Manuel pratique du génie climatique, 2<sup>e</sup> édition
34. **Sablet. M**, Des espaces urbains agréables à vivre, édition du Moniteur, Bruxelles, 1980.
35. **Sacre. C**, Climatologie urbaine et climatologie de site, Ecole d'Architecture de Nantes, 1983.
36. **Sitte. C**, L'art de bâtir les villes, édition L'équerre, Paris, 1980.
37. **Toussaint. J.Y et Zimmermann. M**, Programmer et fabriquer l'espace public, User observer, PPUR, Lausanne, 2001.
38. **Vaillant. J.R**, Utilisation et promesse de l'énergie solaire, édition Eyrolles, 1978.
39. **Watson. D et Camous. R**, L'habitat bioclimatique, de la conception thermique à la construction, édition L'étincelle, Montréal, 1986.
40. **Whrigt. F.L**, Architecture traditionnelle, ETAU, 1978.

**Rapports d'étude et articles publiés**

1. **Aggrwal. R**, “*Energy design strategies for city-center: an evaluation*”, PLEA, Genève, Suisse, 6-8 Septembre 2006.
2. **Aida. M, Goth. K**, “*Urban albedo as a function of the urban structure*”, Boundary layer meteorology 23, 1982, 405-415.
3. **Akbari. H, Pomerantz. M, Taha. H**, “*Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas* », Solar Energy, vol.70, n°3, 2001, pp. 295-310.
4. **Alcofarado, M.J. Andrade. H, Lopes. A, Prior. V, Veira. H**, " *Nouvelles observation sur les températures de l'air et de surface à Lisbonne*", Climat et environnement , 2000.
5. **Andrade, H**. " *Microclimatic variations of thermal comfort in Lisbon city district*", the 5<sup>th</sup> international conference on urban climate, Lodz, Poland, September 2003.
6. **Arnfield. A.J**, “*Street design and urban canopy layer and climate*” Energy and Buildings, 1990, 117-123.
7. **Arnfield. A.J**, “*Review two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island*”, International journal of climatology, 23, 2003, pp.1–26.
8. **Asaeda. T, Ca. V.T, et A. Wake**, *Heat Storage of Pavement and its Effect on the Lower Atmosphere*. Atmospheric Environment 30 (3), 1996, pp.413-427.
9. **Blocken.B et Cameliet. J**, “*Pedestrian wind Environment around Buidings : Literature review and pratical examples*”, Journal of thermal ENV.& BLDG?SCI, vol. 28, N° 2, Octobre 2004.
10. **Bouchair. A et Dupagne. A**, “*Building traditions of MMzab facing the challenges of re- Shaping of its built form and society*”, Building and Environment ,2003, pp. 1345- 1364
11. **Bougiatioti. F**, “*Effect of urban geometry on surface temperatures of "skin" materials in Greek cities*”, PLEA, the 23<sup>rd</sup> conference, Genève, Suisse, 6-8 Septembre 2006.

12. **Bourbia. F et Awbi. H.B**, “*Building cluster and shading in urban canyon for hot dry climate. Part 1: Air and surface temperature “measurements”*”, Renewable Energy 29, 2004, 249–262.
13. **Bourbia, F et Awbi. H.B** “*Building cluster and shading in urban canyon for hot dry climate. Part 2: Shading simulations*”, Renewable Energy 29 , 2004, 291–301.
14. **Bozonnet.E, Wurtz.E, Belarbi, R. et Allard. F**, “*Simulation thermo-aéraulique du microclimat urbain à l’échelle d’une rue canyon*” IBPSA, 2002.
15. **Brown. R, Gillespie T.J**, “*Estimating radiation received by a person under different specie of shade trees*”, Journal of arboriculture 16 (6), Juin 1990, pp.158-161.
16. **Chaon, A**, “*Avec deux degrés supplémentaires, la planète chauffe*”, Agence France presse, mercredi 4 avril 2007.
17. **Chatzidimitriou. A, Chrissoumallidou. N. et Yannas, S**. “*Grounde surface materials and microclimates in urban open spaces*”, PLEA, the 23<sup>rd</sup> conférence, Genève, Suisse, 6-8 Septembre 2006.
18. **Chudnovsky.A**, “*Diurnal thermal behaviour of selected urban objects using remote sensing Measurements*”, Energy and buildings 36, 2004, pp 1063-1074.
19. **De Souza. L .C.L, Rodrigues. D. S, Rodrigues da Silva. N, Mendes. J.F.G** “*Implementing a Geometry-Related Environmental Indicator in 3D-GIS*”, The 5th international conference on urban climate, Lodz, Poland, September 2003.
20. **De Souza. L .C.L, Rodrigues. D. S, Leme. F.T et Pedrotti**, “*Incorporating sun paths for solar analysis in the 3Dskyview extension.*”, CUPUM, The 9<sup>th</sup> international conference, London 2005
21. **Dimoudi. A, Nikoloupoulou, M**. “*Vegetation in the urban environment, microclimate analysis and benefits*”, Energy and buildings, 2003.
22. **Doulos. L, Santamouris. M, Livada. I**, “*Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials*”, Solar Energy, Volume 77, 2004, pp. 231-249.
23. **Doumenc.L**, “*L’espace public dans la ville méditerranéenne*”, acte de colloque, Montpellier Mars 1996, édition 1997, P. 11.
24. **Eleftheria.A, Jones. P**, “*Ponds, Green Roofs, Pergolas and High Albedo Materials; Which Cooling\_Technique for Urban Spaces?*”, PLEA, the 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Genève, Suisse, 6-8 Septembre, 2006.

25. **Echave. C, Cuchí. A**, “*Habitability Method Analysis in Urban Spaces*”, PLEA, the 21<sup>st</sup> Conference on Passive and Low Energy Architecture, Eindhoven, Hollande, 2004.
26. **Eliasson. I**, “*Urban geometry, surface temperature and air temperature*”, Energy and building 15-16 , 1990-91, pp. 141-145
27. **Eliasson.I**, “*Urban nocturnal temperatures, street geometry and land use*”, Atmospheric environment, Volume 30, N° 3, pp.379-392.1996.
28. **Fardaheb. F**, *Classification des techniques de rafraîchissement naturel dans l’architecture vernaculaire des pays du Moyen orient*, communication présentée au troisième séminaire sur l’énergie solaire. Tlemcen, Algérie, 7-8 Mars 1989.
29. **Giridharan. R, S. Y. Lau, S.Ganesan, B. Givoni**, “*Impact of on-site variables on the influence of vegetation in lowering outdoor temperature in High-rise high-density environments*, PLEA , The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Genève, Suisse, 6-8 September 2006
30. **Gulyas. A, Unger. J, Matzarakis. A**, “*Assesment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: Modelling and measurements*”, Building and environment 41, 2006, 1713- 1722.
31. **Haider.T**, “*Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat*”, Energy and Buildings 25 , 1997 ,pp 99-103.
32. **Heisler. G.M**, “*Trees modify Metropolitan climate and Noise*”, journal of arboriculture, volume 3 N° 11, Novembre 1977.
33. **Hoffman. M.E**, “*Geometry and orientation aspects in passive cooling of canyon streets whit trees*, Energy and Buildings 35 , 2003 , 61–68.
34. **Höppe. P**, “*Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort*”. Energy and Buildings”, Volume 34, Juillet 2002, pp.661-665
35. **Johansson. E**, “*Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco*”, Energy and Building, 5 July 2005.
36. **Johnson. G.T, Watson. I.D**, “*The determination of sky view factors in urban canyons*”, Journal of climatology 23, 1985, 329- 335.
37. **Keller.T**, *The possibilities of using plants to alleviate the effects of motor vehicles*, TRRL Symposium Report 513 DOE/DT, 1979.
38. **Khandaker. S.A**, “*Comfort in urban spaces: defining the boundaries of outdoor thermal comfort for the tropical urban environments*”, Energy and Building 35, 2003, pp.103-110.

39. **Kitous. S.**, "*Pour un urbanisme climatique des villes : Cas de la vallée du Mzab*", acte de colloque, Gardaia, Algérie, Décembre 2006.
40. **Knez. I.**, "*Memory for climate and spaces*", the 5<sup>th</sup> international conference on urban climate, Lodz, Poland, Septembre 2003.
41. **Korosec-Serfaty. P.**, "*La sociabilité publique et ses territoires -Places et espaces publics urbains*" Arch. et Comport. I Arch. Behav., Vol. 4, no 2, pp. 11 1-1 32, 1 988.
42. **Kotzenn. B.**, "*investigation of shade under six different tree species of the Negev*", Journal of Arid Environments 55, 2003, pp 231–274.
43. **Kristl. Z.** et **Krainer. A.**, "*Site layout as a function of shading in Karst region*", International Conference Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment, Santorini, Grèce, Mai 2005.
44. **Lawson. T.V, Penwarden A.D.** (1975), "*The Effects of Wind on People in the Vicinity of Buildings*". in B. Blocken, J. Carmeliet, Pedestrian Wind Environment around Buildings, Laboratory of Building Physics Leuven, Belgium, 5 September 2003.
45. **Li. W, Wang.F et Bell. S.**, "*Windbreak effects on outdoor open spaces sheltering*", Eighth International IBPSA Conference, Eindhoven, Netherlands, August 11-14, 2003.
46. **Matzarakis. A, Rutz. F, Mayer. H.**, "*Modelling the thermal bioclimate in urban areas whit the RayMan Model*", The 23<sup>rd</sup>Conference on Passive and Low Energy Architecture, Genève, Suisse, 6-8 September 2006.
47. **Matzarakis .A, Rutz. F, Mayer. H** , "*Modelling radiation fluxes in simple and complex environments—application of the RayMan model*", International journal Biometeorol , 51:323–334, 2007
48. **Mazari. A** "*80% des Algériens habiteront dans les villes*", Le Quotidien d'Oran, 17 janvier 2006.
49. **Mohcen. M.A.**, "*Solar radiation and courtyard house form II: Application of the model*", Building and Environment, Vol 14, 1979, pp. 185- 201.
50. **Monteiro. L. M, Alucci. M.P.**, "*Calibration of outdoor thermal comfort models*", PLEA, the 23<sup>rd</sup> conference, Genève , Suisse, Septembre, 2006.
51. **Moin. U.M, Tsutsumi. J.I.**, "*Rapid estimation of sky view factor and its application to human environment*", Journal of the human-Environment System, vol 7, N° 2: 83- 87, 2004.

52. **Nikolopoulou. M, Baaker. N, Steemers. K**, “*Thermal comfort in outdoor urban space: the human parameter*”, Solar Energy, 2001.
53. **Nikolopoulou.M, Steemers.K**, “*Thermal comfort and psychological adaptation as guide for designing urban spaces*”, Energy and Buildings 35, 2003, pp.95- 101.
54. **Oke.T.R.**, “*Overview of interactions between settlements and their environments*” WMO experts meeting on Urban and Building climatology, WPC-37, WMO, Genève. 1982.
55. **Oke. T.R.**, “*Street design and urban canopy layer climate*”, Journal of Energy and Buildings, 1988, 103-113.
56. **Oke. T.R., Nunez. M**, “*the energy balance of an urban canyon*”, Journal of Applied Meteorology 16, 1977, pp. 11-19
57. **Pearlmutter.D, Berlinera.P, E. Shaviv**, “*Physical modeling of pedestrian energy exchange within the urban canopy*”, Building and Environment 41, 2006, pp. 783–795.
58. **Picot. X**, “*Thermal comfort in urban spaces: impact of vegetation growth Case study: Piazza della Scienza, Milan, Italy*”, Energy and Buildings 36, 2004, 329 – 334
59. **Pomerantz. M, B. Pon. B, Akbari. H, and Chang. S.-C**, “*The Effect of Pavements’\_Temperatures on Air temperatures in Large Cities*”, Heat Island Group Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA 94720, April 2000.
60. **Robitu. M, Inard. Ch, Musy. M, Groleau. D**, “*Energy balance study of water ponds and its influence on building energy consumption*”, Eighth International IBPSA Conference Eindhoven, Netherlands, August 11-14, 2003.
61. **Robitu. M, Musy M. Inard. Ch, Groleau. D**, “*Modeling the influence of vegetation and water pond\_on urban microclimate*”, Solar Energy 80 ,2006, pp 435–447.
62. **Rosenfield. A.**, “*mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates*”, Energy and building 22, 1995, pp; 255-265.
63. **Sánchez de la Flor. F, Dominguez. S.A**, “*Modelling microclimate in urban environments and assessing its influence on the performance of surrounding buildings*”, Energy and Buildings 36, 2004, pp 403–413.
64. **Scudo. G.**, “*Green structures and urban planning*”, Built Environment Sciences and Technology Milan, Oct 2002.

65. **Shashua-Bar.L, Hoffman. E,** *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.
66. **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 Buildings 31, 2000, pp 221–235.
67. **Shashua-Bar. L, Hoffman. M.E,** “*Geometry and orientation aspects in passive cooling of canyon streets with trees*”, Energy and Buildings 35 , 2003, 61–68.
68. **Shashua-Bar. L, Potchter. O, Bitan. A, Boltansky. D, Yaakov. Y,** “*Climatic performance of urban trees under various building densities in the Mediterranean climate- an empirical and analytical study in Tel-Aviv*”, Sixth International conference on urban climate, 2006, p 248.
69. **Shaviv. E, Yezioro. A, Capeluto. I.G,** “*Climatic and energy aspects of urban design in hot humid region of Israel*”, Technion Research and Development Foundation, Haifa, Israel, 1996–1998
70. **Shilling. D,** “ *conception des formes urbaines et contrôle énergétique* ”, Actes de colloque, Nantes 25 Avril 1986.
71. **Siret. D et Harzallah. A,** “*Architecture et contrôle de l’ensoleillement*”, IBPSA France à La Réunion, 2 et 3 Novembre 2006.
72. **Steiner. A,** “*Rapport session climatique sur le gouvernement local*”, Conférence des Nations Unies sur le Climat, Bali, Indonésie, 11 décembre 2007.
73. **Streiling. S, Matzarakis. A,** “*Influence of single and small clusters of trees on the bioclimate of city*,” Journal of Arboriculture 29 (6), November 2003, pp. 311-316.
74. **Svensson. M.K,** “*Sky view factor analysis- Implication for urban air temperature difference*”, Meteorol.Appl, 11, 2004, 201- 211.
75. **Synnefa. A, Santamouris. M, Livada. I,** “*A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment*”, Solar Energy 80, 2006, pp. 968–981.
76. **Taha. H,** “*Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat*”, Energy and Buildings 25, 1997, pp.99-10.
77. **Taha. H, Douglas. S, J.Hancy,** “*Mesoscale meteorological air quality impacts of increased urban albedo, and vegetation* ” , Energy and buildings 25, 1997, pp.169-177.

78. **Tahbaz. M**, “*Architecture of shadows*”, acte de colloque, Gardaia, Algérie, Décembre 2006
79. **Tsianaka. E**, “*The Role of Courtyards in Relation to Air Temperature of Urban Dwellings in Athens*”, The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Genève, Suisse, 6-8 Septembre 2006.
80. **Toussaint. J.Y, Zimmermann. M**, “*programmer et fabriquer l’espace public*”, User observer, PPUR, Lausanne, 2001.
81. **Thorsson. S, Knez. I**, “*Influence of culture and environmental attitude on thermal emotional and perceptual evaluations of outdoor places*”, Sixth international conference on urban climate, proceeding 204, Suède, 2006.
82. **Thorsson. S, Lindqvist. M, Lindqvist. S**, “*Thermal bioclimatic conditions and patterns of behaviour in an urban park in Göteborg, Sweden*”, International Journal of Biometeorology, Berlin, 2006.
83. **Yezioro, I, Capeluto. G, Shaviv. E**, “*Design guidelines for appropriate insolation of urban squares*”, Renwable Energy, Volume 31, Juin 2006, pp 1011-1023.

#### Mémoires et Thèses:

1. **Abdou. S**, Investigation sur l’intégration climatique de l’habitat traditionnel en région aride et semi aride d’Algérie, Thèse de doctorat, Université Mentouri, Constantine 2003-2004.
2. **Belatreche. T**, Effets thermo radiatifs et caractérisation microclimatiques des cours intérieures dans les édifices publics, Thèse de magistère, université Mentouri, Constantine, 2006.
3. **Benadji. A**, Adaptation climatique ou culturelle en zones arides : cas du Sud-est Algérien, Thèse de Doctorat, Université de d’Aix-Marseille1, 1999.
4. **Bergström. F**, How people’s concepts of urban places. Relate to their evaluations of the places’ aesthetics and microclimate, Thèse de magistère en sciences cognitives, université Linköping, Suède, 2004.
5. **Boumaouche. N**, Prise en compte de l’humidité dans le projet de rehabilitation des maisons vernaculaires : cas de la médina de Constantine, Thèse de Magistère , Université de Mentouri, Constantine, 2006.

6. **Brown. R.D**, Application of Human Thermal Comfort to Landscape Architecture: A New Approach. MLA thesis, University of Guelph, 1982.
7. **Clement. J. N** Sociale, restorative and safe places, thèse de magister, université de Florida, 2004.
8. **Glockner. S**, Contribution à la modélisation de la pollution atmosphérique dans les villes, Thèse de doctorat, Université Bordeaux1, 2000.
9. **Colombert. M**, L'intégration des enjeux du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville, Thèse de doctorat, 2005.
10. **Harisson. A.M**, Designing With Climate, Using Parking Lots to Mitigate Urban Climate, Master of Landscape Architecture Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, 2004.
11. **Louafi. S**, Impact de l'orientation sur le confort thermique intérieur dans l'habitation collective : Cas de la nouvelle ville Ali Mendjeli Constantine, Thèse de Magister, Université Mentouri, Constantine, 2005.
12. **Lehtihet M.C.H**, Modification des microclimats urbains par la couverture végétale, thèse de magister, Université de Jijel faculté des sciences de l'ingénieur, 2006.
13. **Maazouz. S**, l'intégration des facteurs physiques de l'environnement dans le processus de conception architecturale, Thèse de doctorat, Université Mentouri, Constantine, 2000.
14. **Masmoudi. S**, Relation entre géométrie urbaine ,végétation et confort thermique extérieur, Thèse de Magistère, Université Mohamed Kheidar, Biskra, 2003.
15. **Moussa. S**, Le degré de pertinence de la dimension bioclimatique et géo-écologique dans la maîtrise de la planification spatiale et urbaine, Thèse de Magister, Université de Mentouri, Constantine, 2000.
16. **Ringebach. N**, Bilan radiatif et flux de chaleur en climatologie urbaine : mesures, modélisation et validation sur Strasbourg, thèse de doctorat, université Louis Pasteur, Strasbourg, 2004.
17. **Stein. V**, La ville reconquise : Du patrimoine aux espaces publics, Genève, Thèse unige, 2003.
18. **Sylvie, L**, Simulation numérique de l'atmosphère urbaine avec le modèle Submeso, Thèse de Doctorat, Ecole Centrale de Nantes, Université de Nantes, 2006.

19. **Tabani. H**, Impact de la végétation sur le microclimat et le confort thermique des espaces urbains publics : Cas du cours de la révolution d'Annaba, Thèse de Magister, Université Mentouri, Constantine, 2006.
20. **Tadjari. A.F**, La place publique comme pièce maîtresse de la cohérence de la continuité urbaine, thèse de magister, Université de Sétif, Mars 1999.
21. **Tristan, M**, Impact des modifications de l'albédo et des matériaux urbains sur la température et la qualité de l'air à Madrid, Projet de Master SSIE – ENAC – EPFL)
22. **Ung, A**, cartographie de la pollution atmosphérique en milieu urbain à l'aide de données multisources, thèse de doctorat, université Paris 7- Denis Diderot, novembre 2000.

### Sites Web:

1. **Abdulac. S. et Pinon. P**, “ *Maisons en pays islamiques chauds*”, Architecture d'aujourd'hui (A.A), n° 167, 1984, [http:// www.ifporient.org](http://www.ifporient.org).
2. **ADEME** Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie <http://www.ademe.fr/bretagne>.
3. **Adnsp** n° 45, 2003, [http:// www. Adnsp.fr](http://www.Adnsp.fr)
4. **Algeria Atlas**. "*La biodiversite dans la région de Constantine*", [http :// www. Blogger.com](http://www.Blogger.com), Aout 2006.
5. **ASHRAE Handbook, 1997**, Fundamentals, Chapter 15. [http:// www. Cibse.org](http://www.Cibse.org).
6. Conception thermique de l'habitat, Guide pour la région Paca, SOL.A.I.R, 1988, [http:// www. Regionpaca.fr](http://www.Regionpaca.fr)
7. **Bédarida. F**, "*Espaces collectifs*", [http :// www.international .icomos.org](http://www.international.icomos.org)
8. **Calzada, J. R, Roset. J, Ochoa et Serra**, “*Vegetation influences on the human thermal comfort in outdoor spaces*”, <http://dfa.upc.es/personals/jroset/lyonvege>.
9. **Energy Research Group**, University College Dublin, School of Architecture, <http://erg.ucd.ie>.
10. **Fabio. B.F**, "*The urban heat isles and the micro-climatic variations*”, Bio-architectura , [http:// www. My best life.com](http://www.Mybestlife.com)

11. **Fathy.H**, *Natural energy and vernacular architecture*, 1986 principes and examples with reference to Hot Arid climates, UN Press, 1986, Livre en ligne, [http:// www. Pushpullbar.com](http://www.Pushpullbar.com)
12. **Gehl. J**, “*Public spaces for changing public life*”, [http // www.openspace.eca.ac.uk/conference/proceedings](http://www.openspace.eca.ac.uk/conference/proceedings).
13. **Gehl. J**, *Life between buildings*, 5<sup>o</sup> édition Copenhagen: Danish Architectural, (1996) Press, [http:// www.arkfo.dk](http://www.arkfo.dk)
14. **Guyot. M.A**, “*L'Arbre urbain : un composant du confort pour l'Architecture et l'Espace Public*”, [http:// www. marseille.archi.fr](http://www.marseille.archi.fr).
15. **Guyot. A**, *Le vent, l'architecture et l'aménagement urbain*, Extrait d'intervention de cours en ligne, [http:// www. marseille.archi.fr](http://www.marseille.archi.fr).
16. **Hajat**, “*London's Urban Heat Island: a Summary for Decision Makers*”, Mayor of London, Octobre 2006, [http://: www.london.gov.uk](http://www.london.gov.uk).
17. **Hutchon. N.B**, “*Température ambiante et bien être*”, Environnement canada, Mars 1972. adnsp n° 45,2003W : auamq.qc.ca, <http://www.ouq.qc.ca/Congres/Etats.html>
18. international Association for Urban climate, Newsletter, issue n° 13, October 2006 , [http:// www.indiana.edn](http://www.indiana.edn)
19. international Association for Urban climate [http:// www.urban-climat.org](http://www.urban-climat.org)
20. **Koen. A, Steemers. M.C, Sinou. M**, “*Morphologie urbaine*”, [http:// www.alpha.cres.gr/ruros](http://www.alpha.cres.gr/ruros)
21. **Putra S.Y, Yang J, L.Wenging, J**, “*GIS analysis for the climate evaluation of 3D urban geometry*, 2004, [http:// proceedings/Gisdeco/2004](http://proceedings/Gisdeco/2004)
22. **Scudo. G**, “*The room's greens in the stone city*”, Ambiente costruito: Bioclimatica, 1995, [http:// www. mybestlife.com](http://www.mybestlife.com)
23. **Kofoed.U, M. Gaardsted**, *Prise en compte du vent dans les espaces urbains*, résultat du projet RUROS – Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces – coordonné par le CRES, Département des bâtiments, 2004, <http://alpha.cres.gr/ruros>
24. **Kuchelmeister.vG, Braatz. S.**, “*Nouveau regard sur la foresterie urbaine*”, Unasyuva n° 173. [http:// www.Fao.org](http://www.Fao.org)

25. **Mathai, A, Rabadi. N et Grosland. N**, Digital Human Modeling and Virtual Reality for FCS, Technical Report No.VSR-04.02, chapter 12.2004.
26. **Matzarakis. A, Rutz. F. et Mayer. H**, “*Estimation and calculation of the mean radiant temperature within urban structures*”, 2006, <http://www.meteo-uni.freiberg.de>
27. **Meerow. W, Black. R.J**, Energy information Handboock ,Chapter 9, Energy information Document 1028, Series de Florida energy extension service, Université de Floride, Aout 1991, <http://www.p2pays.org>
28. **Meziane. A**, “*Le choix pour un avenir des aménagements d’espaces verts en Algérie*”, 30 avril 2007, <http://www.paysagiste.blogspot.fr>.
29. Mission interministérielle pour la qualité des constructions publiques, “*Comprendre et reconnaître l’espace public avant d’agir*”, arche sud, [www.archi.fr/MIQCP](http://www.archi.fr/MIQCP), Novembre 2001.
30. **Musy, M**, “*Du Microclimat au bâtiment .Concevoir en milieu urbain : prise en compte des interactions bâti environnement urbain*”, <http://www.grenoble.archi.fr>
31. **Santamouris. M, Klistikas. N, Niahou. K**, “*Ventilation of street canyons and its impact on passive cooling design*”, Renewable in the city Environment project, <http://www.lema.ulg.ac.be/tools/rice>
32. **Scudo. G**, “*concevoir des espaces extérieurs en environnement urbain une approche bioclimatique*”, Projet Ruros fifth framework programme 1998-2002, <http://alpha.cres.gr/ruros>
33. **Svensson. M.K**, Sky view factor analysis – implications for urban *Physical Geography, Department of Earth Sciences, Göteborg University, Sweden*
34. **Séminaire Robert Auzelle**, <http://www.arturb.fr>
35. **Tareb**, Energie dans l’environnement urbain- Architecture basse énergie, chapitre 4, <http://www.learn.londonmet.ac.uk>.
36. **Tahbaz. M**, “*The Estimation of the Wind Speed in Urban Areas*”, 2007, <http://www.Cibse.org>.
37. **Unger. J**, “*Intra-urban relationship between surface geometry and urban heat island: review and new approach*”, climate Research, Vol. 27, 2004, 253–264. <http://www.int-res.com>
38. <http://azuradec.typepad.com>
39. <http://www.CERMA.archi.fr>
40. <http://www.Ifporient.org>

41. [http:// veniceblog.typepad.com](http://veniceblog.typepad.com)
42. « Conception thermique de l'habitat », Guide pour la région PACA - SOL.A.I.R., 1988. <http://www.regionpaca.fr>
43. [http:// www.eetd.lbl.gov/Heatisland/](http://www.eetd.lbl.gov/Heatisland/)
44. [http://: www.data.jma.go.jp](http://www.data.jma.go.jp)
45. [http:// www Archimede.bibl.ulaval.ca.](http://www.Archimede.bibl.ulaval.ca)
46. [http:// www.atmosphère.mpg](http://www.atmosphère.mpg)
47. [http:// www. Square 1. Com](http://www.Square1.Com)
48. [http:// www.météo à l'œil.com](http://www.météoàl'œil.com)
49. <http://www.civil.usherbrook.ca>
50. [http:// Crdp.ac-amiens.fr](http://Crdp.ac-amiens.fr)
51. [http:// www .arturb.fr](http://www.arturb.fr)
52. [http:// www.cartage.org](http://www.cartage.org)
53. [http://: www.pps.or](http://www.pps.or)
54. [http:// www.magiclub.com](http://www.magiclub.com)
55. [http:// noville française skyrock.com](http://novillefrançaise.skyrock.com)
56. [http:// www. worldclimate. com](http://www.worldclimate.com)

### **Revue et encyclopédies :**

1. **Abdulac. S. et Pinon, P.**, « *Maisons en pays islamiques chauds* », Architecture d'aujourd'hui (A.A), n° 167, 1984.
2. **Auzelle. R.**, " *L'implantation des bâtiments à usage d'habitation*", la vie urbaine, n° 57, 1950, p.197
3. **Bonavitacola. M.**, « *Vers un indice de la qualité des sites du point de vue de la pollution lumineuse* », revue "Pulsar", éditée par la Société d'Astronomie Populaire (Toulouse) années 2000 et 2001.
4. **David. J.C.** " *Espace public au Moyen-Orient et dans le monde arabe: Entre urbanisme et pratiques citadines*", Géocarrefour, Volume 77 - n° 3 / 2002.
5. **Encarta** (2005)
6. **Hough. M.**, *Cities and Natural Process*, Routledge, 1995
7. **Jensen. M and Frank. N.**, " *Scale model test in turbulent wind*", Technical Copenhagen, Danish, 1964

8. **Kergomard. C**, "*A chaque ville son microclimat*", Revue Sciences et avenir, n° 730, Paris, décembre 2007.
9. **Lavedan, P**, "*Les villes françaises*", revue Métiers Graphiques, Paris, 1960.
10. **Larousse 3 dictionnaires encyclopédiques** tome III. édition librairie Larousse canada 1970
11. **Meerow. A.W. et R.J Black**, "*Paysage pour conserver l'énergie : un guide du microclimat*", Energy Information Document 1028, 1991.
12. **Plemenka. S.** "*L'aspect bioclimatique de l'habitat vernaculaire*", Arch.& Behaviour., Vol.10, n°1, p.27, 2004.
13. **Pressman. N**, "*Facteurs climatiques dans l'aménagement urbain*", Arch. & Comport. Vol. 10, no 1, p. 9 – 119.
14. **Ravereau. A.** "*Construire au Mzab*", T.A n°329, Fév - Mars 1980.
15. **Sciences et vie**, Avril 1992
16. **Westerberg. U**, "*Climatic Planning - Physics or Symbolism*", Arch. & Comport. / Vol. 10, no 1, 2004, pp. 49 – 71.



ANNEXE A

Cadre physique des places: Recherche typologique

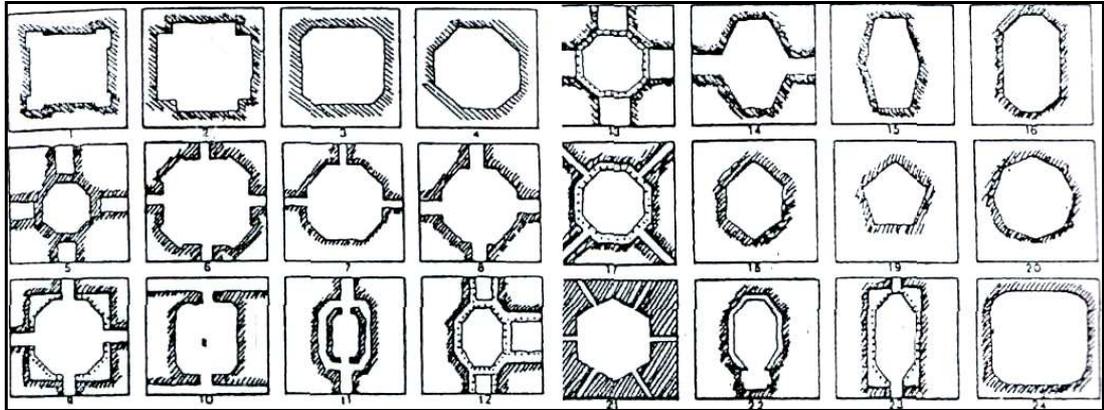


Fig. A.1 : Places rectangulaires et dérivées du rectangle.

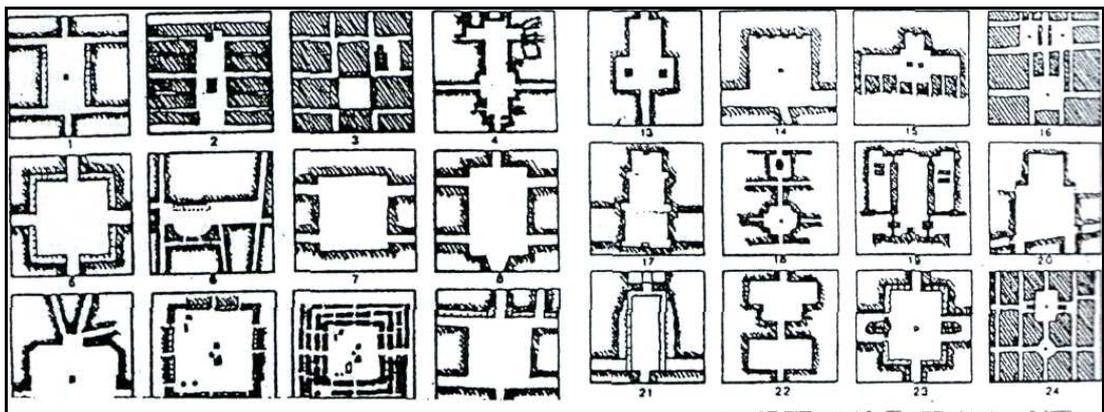


Fig. A.2 : Places orthogonales

Source : Krier, R (1980)

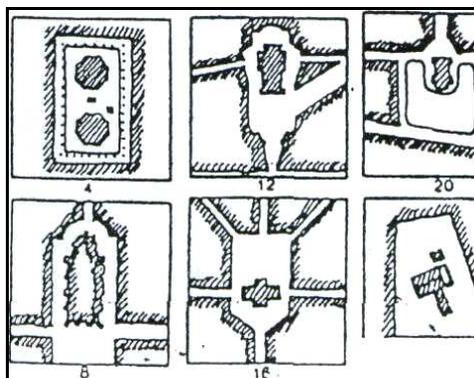


Fig. A. 3 : Places orthogonales avec constructions intérieures

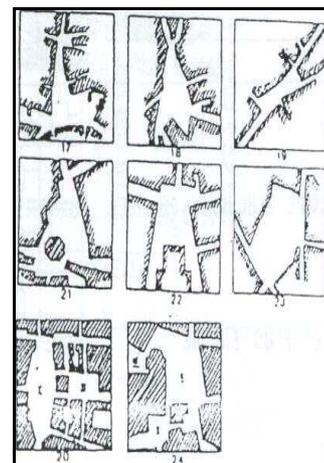
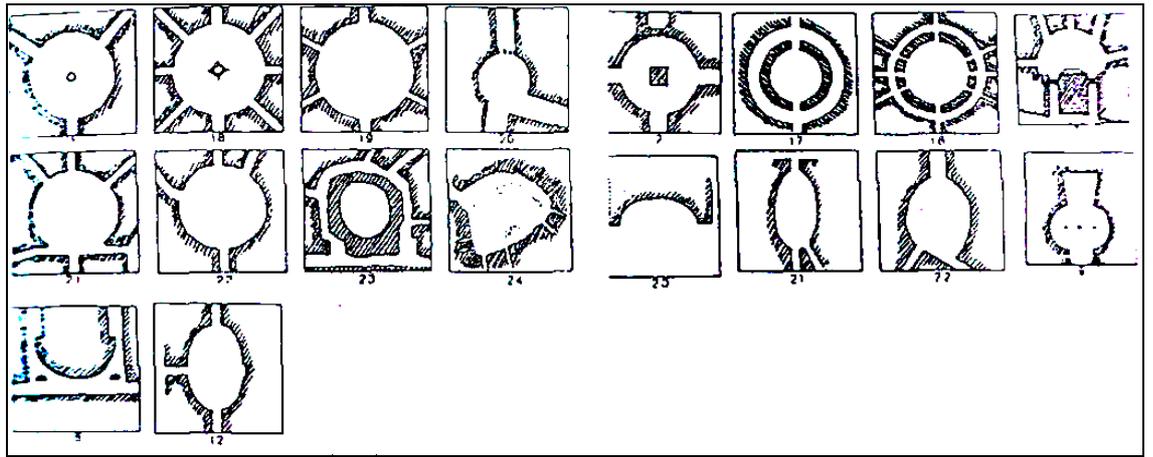
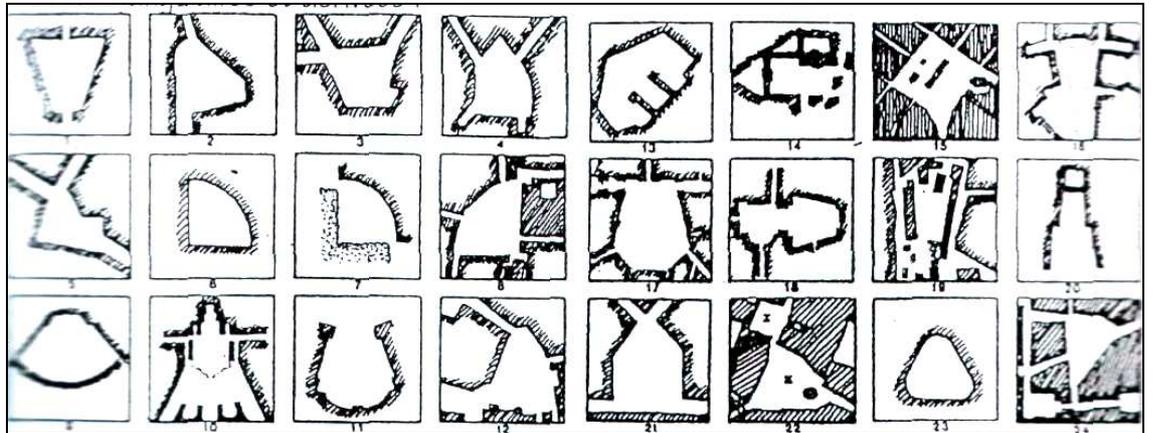


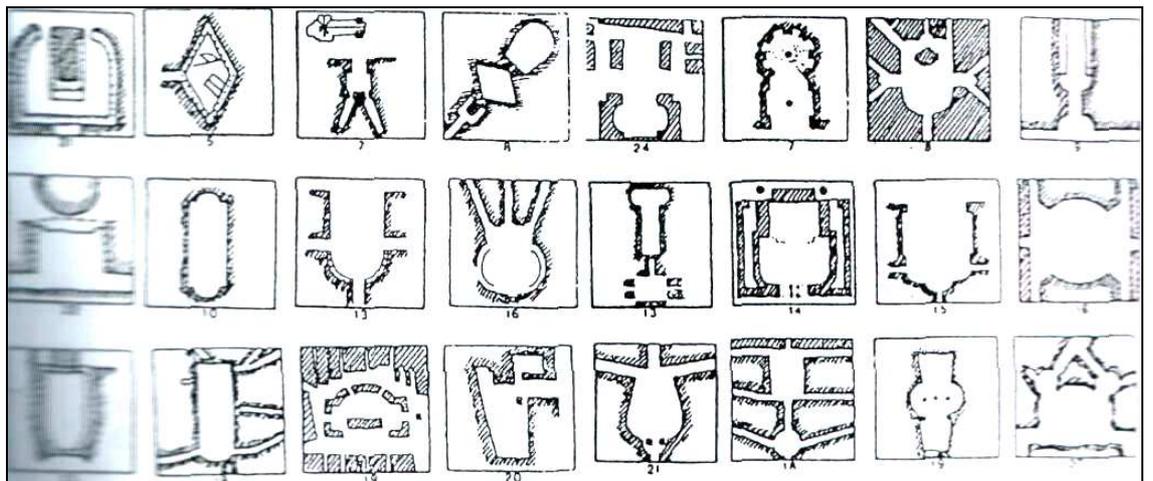
Fig. A.4 : Figures spatiales brisées divisées, composées et superposées



**Fig. A.5:** Places Rondes



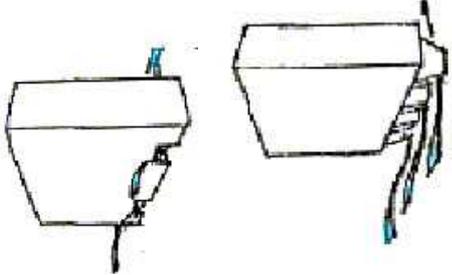
**Fig. A.6 :** Places triangulaires et dérivées

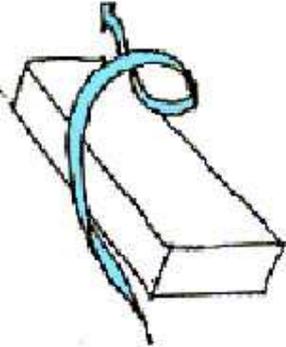


**Fig. A.6 :** Systèmes géométriques complexes  
*Source : Krier. R (1980)*

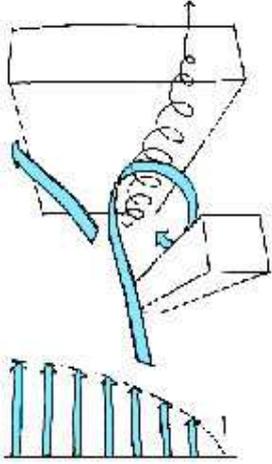
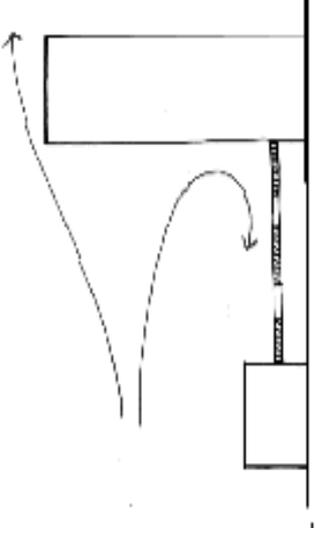
**ANNEXES B1**

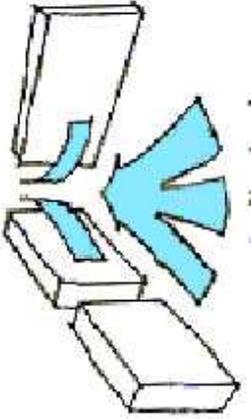
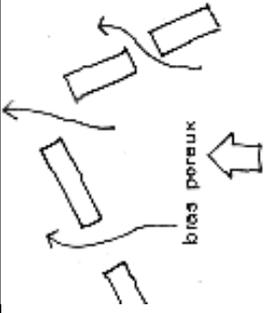
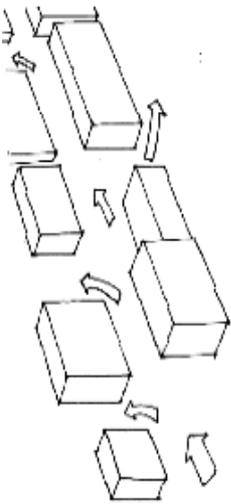
## 1- Les formes isolées

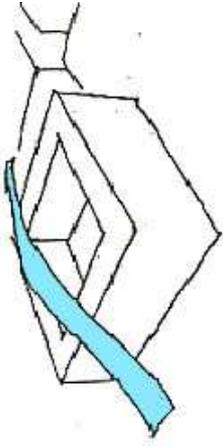
Effet	Définition	Evaluation de l'effet	Conseils pratiques
<p><b>Effet de trou</b></p> 	<p>Phénomène d'accélération localisé du vent sur une zone de communication au niveau du sol entre 2 façades l'une en surpression, l'autre en dépression.</p>	<p>les valeurs de la survitesses évoluent entre 1,2 et 1,5 pour une hauteur construite variant de 20 à 50m.</p>	 <p>-éviter les implantations d'immeubles dans l'axe du vent, - favoriser le passage des flux au dessus du niveau piéton</p>

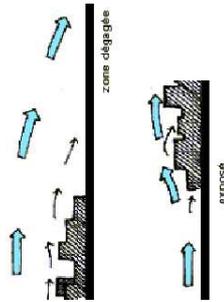
<p><b>Effet de barre</b></p> 	<p>Phénomène de tourbillon plongeant et subissant une rotation en rejoignant le sol sous un vent incident à 45° sur une construction de forme parallélépipédique. où <math>h &lt; 25m</math> et <math>L &gt; 8H</math> ou les espacements entre les constructions <math>\leq H</math></p>	<p>aggravation de la survitesse de l'ordre de 1,4 sur une distance d'environ <b>2 fois la hauteur construite</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- éviter la zone de retombées des flux en aval</li> <li>- modifier la forme générale du bâtiment par des volumes adjacents,</li> <li>- créer des écrans horizontaux de type pergolas</li> </ul>
--	---	--	--

## 2-Les formes associées

Effet	Définition	Quantification	Conseils pratiques
<p><b>Effet Wise</b></p> 	<p>L'association de bâtiments de tailles différentes et implantés parallèlement entretient un tourbillon à composante verticale issu de l'effet de tourbillon aval ou de sillage du bâtiment amont combiné avec le tourbillon amont du bâtiment situé en aval.</p>	<p>lorsque l'association se situe entre 10 et 30m le coefficient prend la valeur 1,5. Pour une association entre 15 et 90m la valeur est de 1,8.</p>	 <p>recouvrir la zone concernée par des éléments de pergola</p>

<p><b>Effet venturi</b></p> 	<p>Disposition relative de 2 bâtiments formant un collecteur de flux, le rétrécissement du passage a pour effet d'augmenter la vitesse pour un débit identique</p>	<p>l'espacement critique de <b>2 à 3 fois la hauteur des constructions (hauteur moyenne de 45m)</b> formant le venturi entraîne une valeur d'environ 1,6</p>	 <p>diminuer ou augmenter la valeur de l'espacement, introduire des éléments brise-vent. densifier la rugosité de sol à l'approche du collecteur</p>
<p><b>Effet de canalisation</b></p> 	<p>Ceci correspond à une configuration classique d'une rue délimitée par des constructions en continu de chaque cotés. Cette disposition entretient et prolonge tout phénomène situé au début de la rue.</p>	<p>le phénomène est entretenu pour un espacement de <b>2 fois la hauteur moyenne de la rue.</b></p>	 <p>augmenter la porosité par des espacements entre immeubles introduire des pertes de charge par brise vent; mobilier urbain, végétation.</p>

<p><b>Effet combiné venturi et canalisation</b></p>	<p>Dû à l'association d'une place ouverte et d'une rue, la première fait office de collecteur et accélère les flux, la deuxième développe le phénomène.</p>	<p>coefficient proche de ceux enregistrés pour l'effet venturi seul</p>	<p>idem que pour l'effet venturi et l'effet de canalisation</p>
<p><b>Effet de maille ou de cour</b></p> 	<p>Configuration appartenant à un tissu urbain homogène et créant une rugosité de sol, tendance générale à l'amélioration des conditions locales du vent</p>	<p>lorsque la maille a une ouverture de <b>3 fois la hauteur moyenne de 10m</b>, elle est exposée quelque soit l'incidence du vent .pour les autres cas l'effet de protection l'emporte.</p>	<p>refermer la maille augmenter la valeur du rapport entre hauteur et surface.</p>
		<p>pour un espace</p>	

<p><b>Effet agora</b></p> 	<p>Espace ouvert très dégagé soumis à l'exposition directe du vent</p>	<p>dégagé de plus de 100m les effets de l'environnement proche ne se font plus sentir. les lieux de type place sont dépendant des accès rues et autres éléments de convergence du vent</p>	<p>-Proposer des cheminements alternatifs -Créer des mails de plantations</p>
---	--	--	---

## ANNEXE B2

### Estimation de la vitesse du vent en site urbain

#### A- Procédé numérique

##### Exemple 1:

La vitesse du vent observée dans la station météorologique<sup>1</sup> à 10 mètres de hauteur au-dessus du sol est 15 m/s. Combien vaut la vitesse du vent dans un secteur suburbain (catégorie de terrain 2) à la même hauteur ?

$$V_{met_{10}} = 15 \text{ m/s}$$

Du **tableau III.3 (p. 91)**:  $\alpha_{met} = 0.14$      $\alpha = 0.22$      $met_G = 270$      $Z_G = 370$

En appliquant la **formule 1 (voir infra)**,  $V_{z_{10}}$  est estimée comme suit :

$$V_{z_{10}} = 15 \times \left[ \frac{\left(\frac{10}{370}\right)^{0.22}}{\left(\frac{10}{2700}\right)^{0.14}} \right] = 10.75 \text{ m/s}$$

##### Exemple 2 :

Combien vaut la vitesse du vent moyenne à la hauteur de 2 mètres dans le secteur suburbain de l'exemple 1 ?

$Z = 2\text{m}$ ,  $V_Z$  est estimée par la **formule 2 (voir infra)**, comme suit :

$$\bar{V}_z = 10.75 \times \left(\frac{2}{10}\right)^{0.22} = 7.54 \text{ m/s}$$

La vitesse du vent à la hauteur de 2 mètres au-dessus du sol dans le secteur suburbain est estimé 7,54 m/s quand la vitesse du vent moyenne à la norme 10 mètres de hauteur dans la station météorologique est 15 m/s.

---

<sup>1</sup> Valeurs typiques pour les stations météorologiques situées sur un terrain plat et ouvert, (la catégorie 3 dans le tableau III. 3 p. 91) sont  $met$   $\alpha = 0.14$  et  $G_{met} = 270$  m. (ASHRAE Handbook Fundamentals, 1997, Chapitre 15)

## **B- Procédés d'utilisation de la méthode graphique**

Le graphique dans le fond du côté gauche de la **figure B.1** est tracé en employant **formule (1)** qui montre le rapport entre les vitesses du vent moyennes observées dans la station météorologique à la hauteur standard 10 mètres et les vitesses du vent moyennes dans quatre types de terrains à la même hauteur. (cf. **Tab. III.3, p 91**)

$$V_{met_{10}} / V_{Z_{10}} = [met_{10} / met_G]^{\alpha_{met}} / [Z / Z_{10}]^{\alpha} \dots\dots\dots (1)$$

Où:

**V<sub>met<sub>10</sub></sub>** : la vitesse moyenne du vent mesurée à une hauteur de 10 m dans une station météorologique (m/s).

**met<sub>10</sub>** : la hauteur d'observation standard de 10 m dans la station météorologique (m)

**α<sub>met</sub>** : l'exposant de la rugosité à la station météorologique

**α** : l'exposant de la rugosité du terrain d'étude

**met<sub>G</sub>** : hauteur de gradient au dessus de la couche limite de la station météorologique

**Z<sub>G</sub>** : hauteur de gradient au dessus de la couche limite du terrain d'étude

Le graphique dans le côté droit supérieur de la **figure B.1** est tracé en employant la **formule (2)** qui montre le rapport entre la hauteur au-dessus du sol et le pourcentage de vitesse du vent dans différents terrains. Ce graphique est préparé pour des hauteurs moins de 10 mètres et montre le coefficient α pour différents types de terrain.

$$V_Z / V_{Z_{10}} = [Z / Z_{10}]^{\alpha} \dots\dots\dots(2)$$

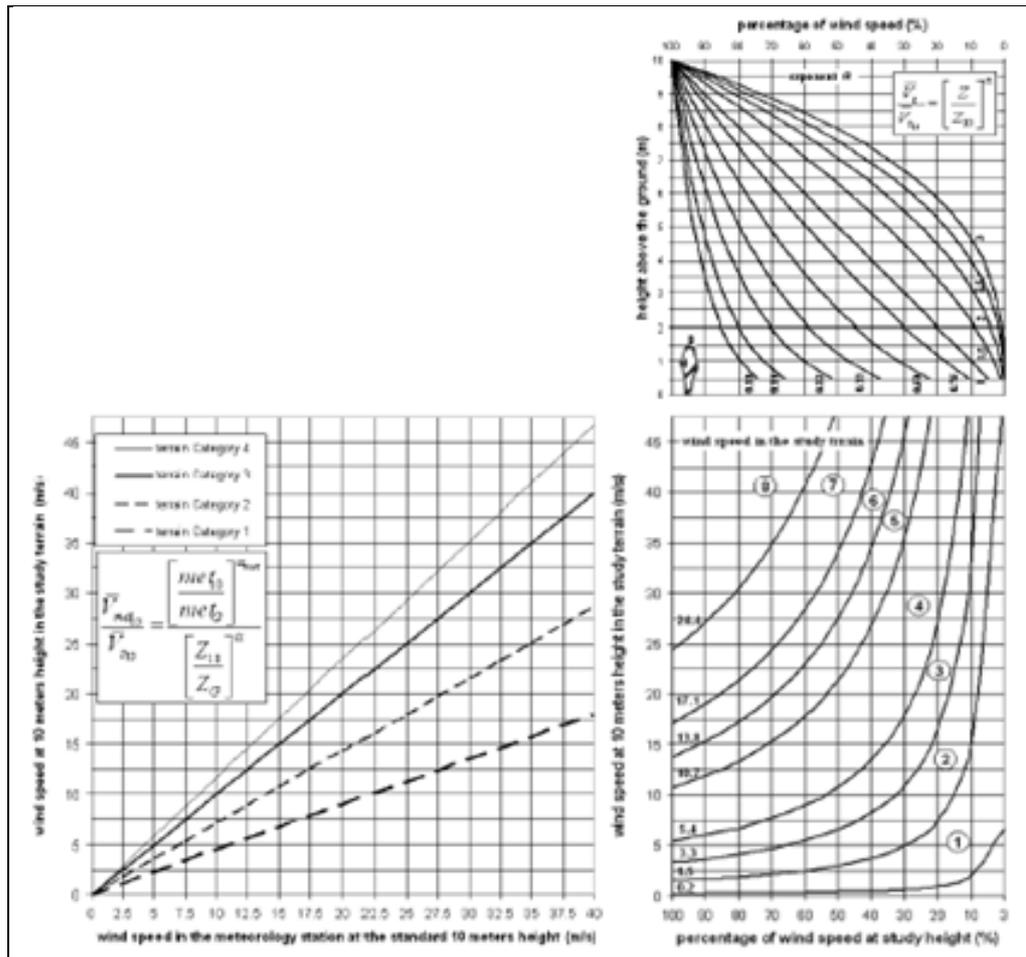
Où :

**V<sub>Z<sub>10</sub></sub>** : vitesse du vent moyenne à la hauteur de 10 mètres dans le terrain d'étude (m/s).

**Z** : la hauteur par rapport au sol dans le même terrain (m).

**Z<sub>10</sub>** : la hauteur de 10 mètres dans le même terrain (m).

Le graphique dans le côté droit inférieur de la **figure B.1** est tracé en employant aussi la **formule (2)**. Il montre le rapport entre la vitesse du vent à la hauteur de 10 mètres et le pourcentage de la vitesse du vent pour des hauteurs inférieures. IL montre la vitesse du vent à la hauteur d'étude.



**Fig.B.1** : Graphes d'estimation de la vitesse du vent selon la catégorie du terrain et la hauteur d'étude.

Source Tahbaz.M (2007)

Pour expliquer la manière d'employer le graphique gauche voir de nouveau l'exemple 1 et 2. Dans l'exemple 1 pour estimer la valeur de la vitesse du vent dans un terrain différent de la station météorologique à la même hauteur de 10 mètres, le graphique sur le côté gauche de la **figure B.1** est employé. Il suffit de tracer une ligne verticale à partir de la ligne horizontale égale à 15 m/s, c'est l'axe de la vitesse du vent mesurée à la station météorologique à la hauteur de 10 mètres (**cf.figure B.2**).

La ligne horizontale qui croise la ligne du terrain catégorie 2 montre la valeur de la vitesse du vent dans le secteur suburbain à la hauteur de 10 mètres.

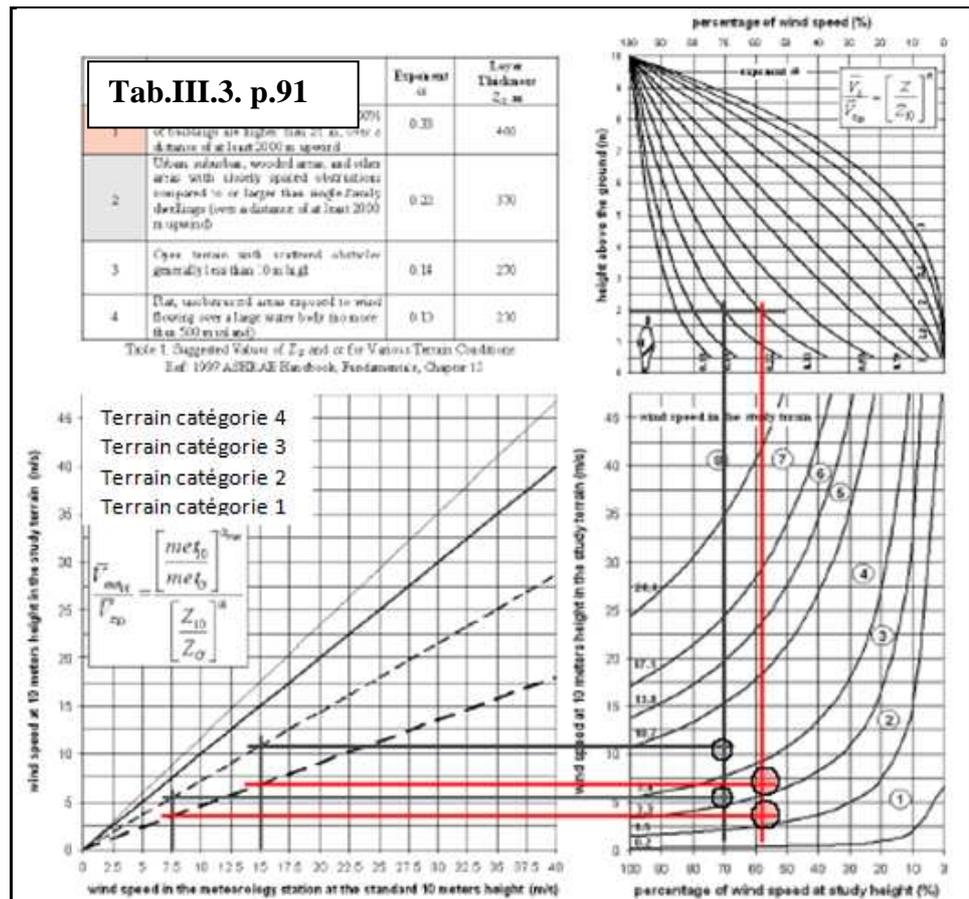
Dans l'exemple 2, pour estimer la vitesse du vent à 2 mètres de hauteur dans le secteur suburbain, les graphiques sur le côté droit de la **figure B.1** sont employés.

Sur le graphique situé dans la partie supérieure de la **figure B.2**, le trait horizontal est tracé à 2 mètres de hauteur de l'axe vertical, pour croiser la courbe de  $\pm 0.22$ . De cette

intersection on trace une ligne verticale vers le bas jusqu'à l'intersection avec la ligne horizontale du graphique en dessous.

L'intersection de cette ligne avec les lignes incurvées de ce graphique, montre la valeur de la vitesse du vent à la hauteur de 2 mètres dans des secteurs suburbains.

La **figure B.2** montre que la vitesse du vent dans le secteur suburbain à 2 mètres de hauteur est estimée 6-7 m/s. si la vitesse du vent est rapportée 7.5 m/s, la vitesse du vent à la zone suburbaine est approximativement 3.5 m/s.



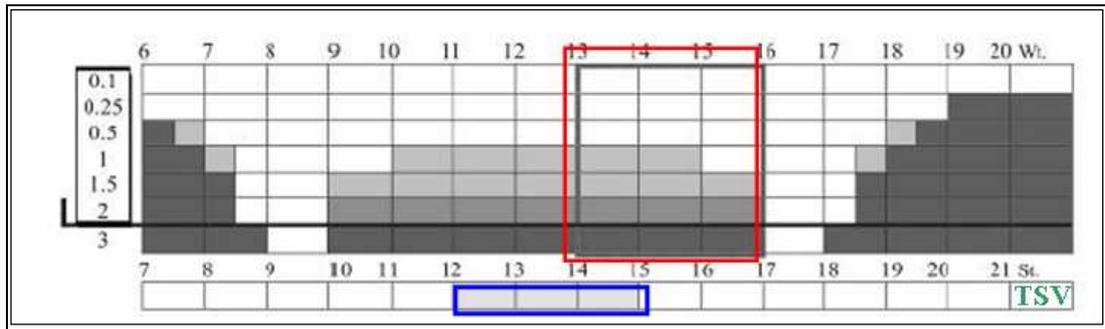
**Fig.B.2:** Graphes d'estimation de la vitesse du vent pour un piéton selon la catégorie du terrain.

Source Tahbaz.M (2007)

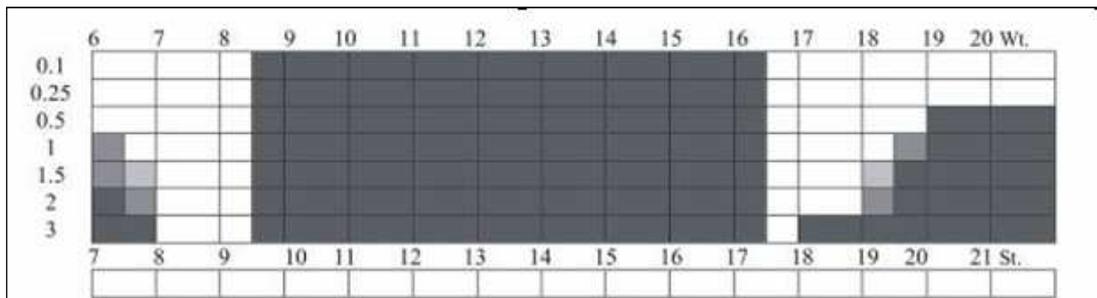
De cette façon, sans être impliqué dans des procédés de calcul, la vitesse du vent à la hauteur du terrain d'étude sera estimée pour chaque donnée de vent rapportée par la station météorologique à la hauteur de 10 m.



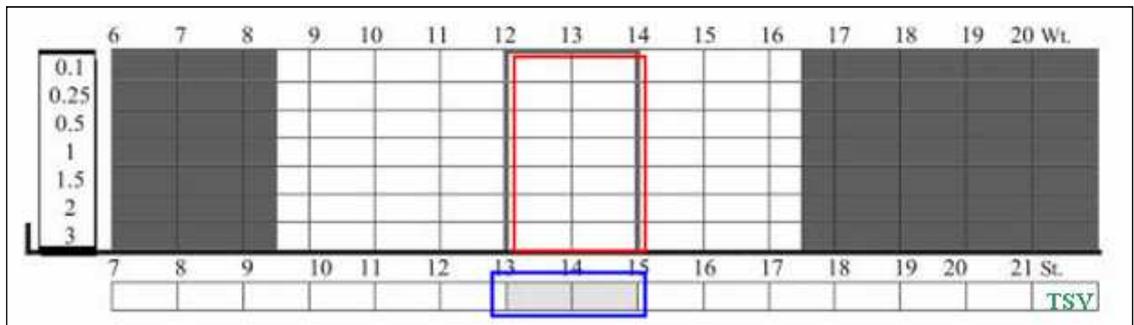
## 2- Orientation Est -Ouest



**Fig. C-4 :** Ensoleillement des surfaces au sol de la rue avec différents ratios d'H/W

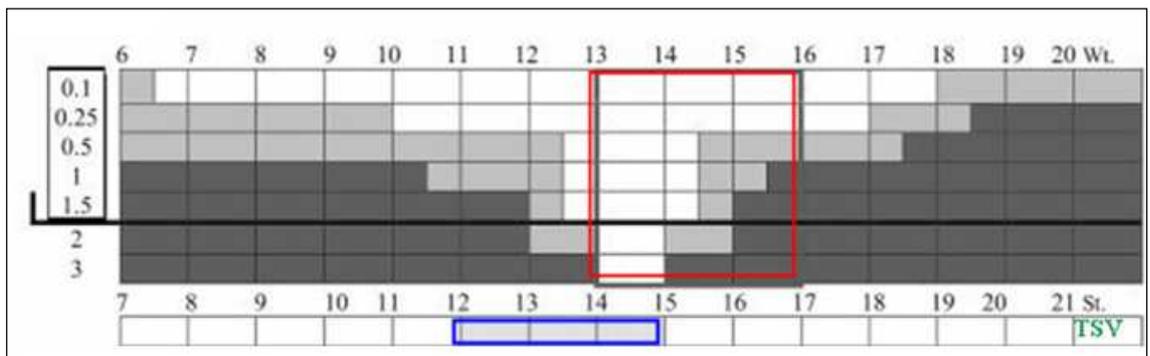


**Fig. C-5 :** Ensoleillement des façades Nord avec différents ratios d'H/W



**Fig. C-6 :** Ensoleillement des façades Sud avec différents ratios d'H/W

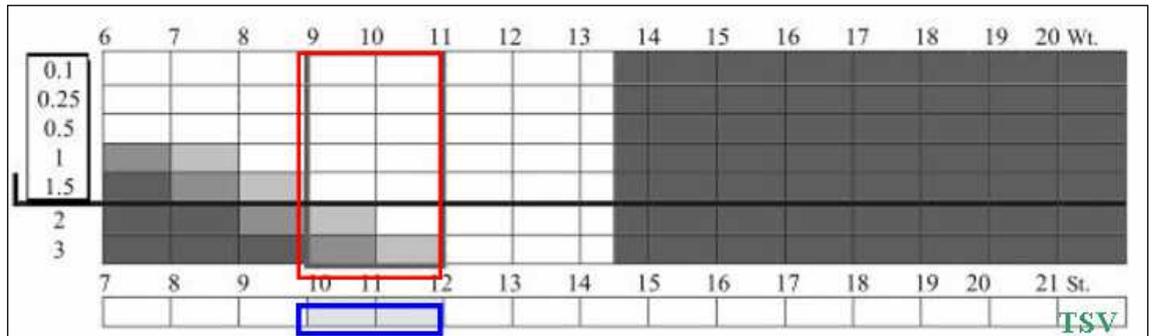
## 3- Orientation Nord-est / Sud-ouest



**Fig. C-7 :** Ensoleillement des surfaces au sol de la rue avec différents ratios d'H/W

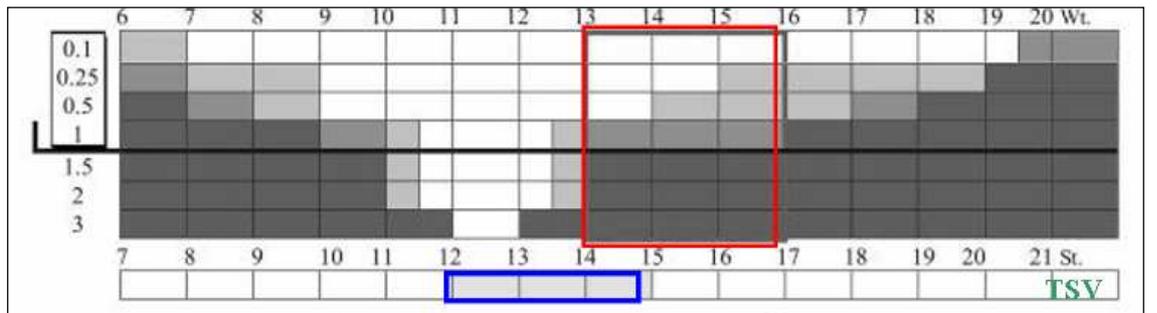


**Fig. C-8 :** Ensoleillement des façades Nord-Ouest avec différents ratios d'H/W

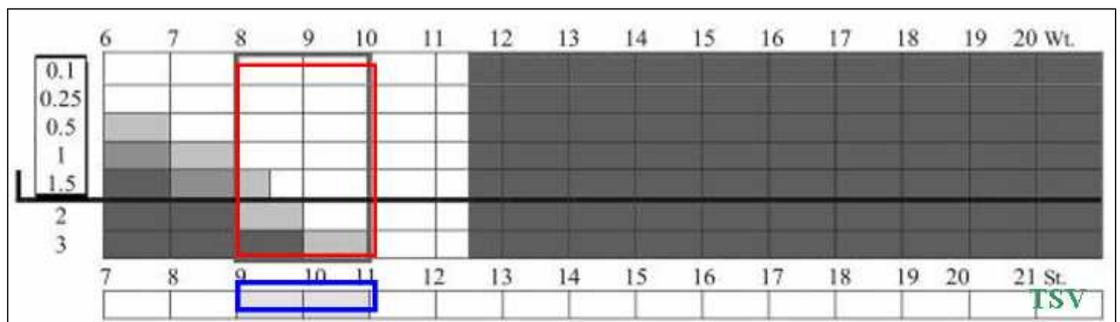


**Fig. C-9 :** Ensoleillement des façades Sud-Est avec différents ratios d'H/W

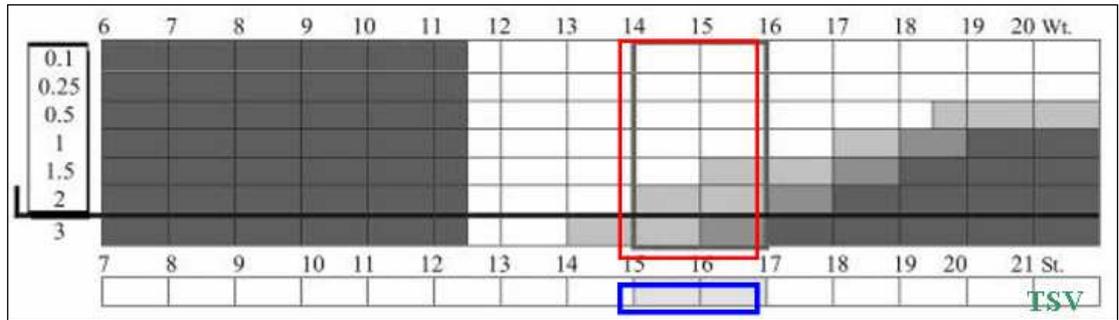
**4- Orientation Nord-Ouest / Sud-est**



**Fig. C-10 :** Ensoleillement des surfaces au sol de la rue avec différents ratios d'H/W

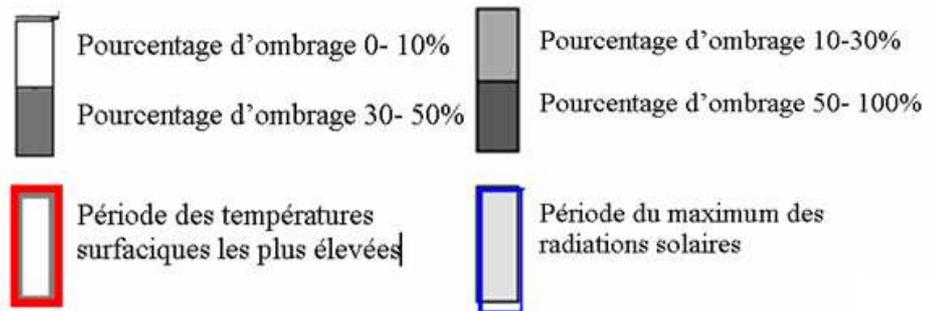


**Fig. C-11 :** Ensoleillement des façades Nord-Est avec différents ratios d'H/W



**Fig. C-12 :** Ensoleillement des façades Sud-ouest avec différents ratios d’H/W

**Légende**



**Annexe D****Tab.D-1** : Résistances thermique  $R_{\gamma i}$  d'éléments vestimentaires  
(Source : Recknagel ,1986)

Eléments vestimentaires		$R_{\gamma i}$	
		$m^2.K.w^{-1}$	Clo
Sous-vêtements	Slips	0.002	0.01
	Chaussettes legeres	0.005	0.03
	Chaussettes chaudes	0.006	0.04
	Ensemble sous-vêtements femme	0.008	0.05
	Jupon	0.020	0.13
	Combinaison	0.025	0.19
	Caleçon	0.008	0.05
	Maillot de corps	0.009	0.06
Chemisettes	T-shirt	0.014	0.09
	Légère manches courtes	0.031	0.20
	Légère manches longues	0.043	0.28
	Chaud manches courtes	0.039	0.25
<u>Chandail</u>	Léger manches courtes	0.026	0.17
	Chaud manches longues	0.057	0.37
Pantalon	Léger	0.040	0.26
	Moyen	0.050	0.32
	Chaud	0.068	0.44
Robe	Légère	0.026	0.17
	Chaud	0.098	0.63
Jupe chaude		0.034	0.22
Veste chaude		0.076	0.49
Chaussures légères		0.006	0.04

**Tab.D-2 : Résistances thermique d'ensembles vestimentaires caractéristiques**  
(Source Recknagel, 1986)

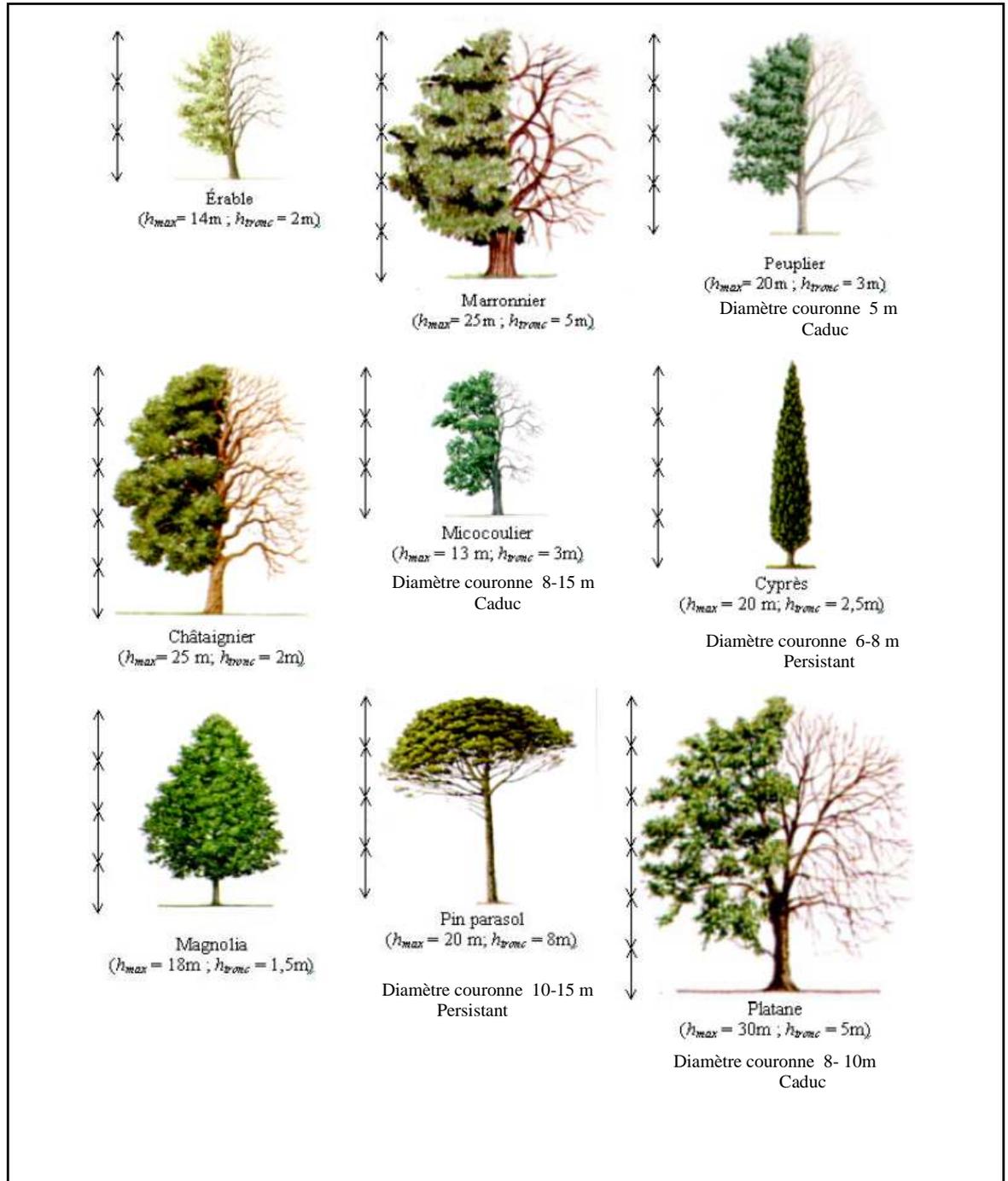
Ensembles vestimentaires		$R_{\gamma_i}$	
		$m^2.K.w^{-1}$	Clo
<b>Ensemble tropical typique</b>	Slips, shorts, maillot de corps à manches courtes, chaussettes légères et sandales	0.045	0.3
<b>Vêtement d'été léger</b>	Slips, pantalon d'été, maillot de corps à manches courtes, chaussettes légères et chaussures.	0.08	0.5
<b>Vêtement de travail léger</b>	Sous-vêtement léger, chemise de coton à manches longues, pantalon de travail, chaussettes de laine et chaussures.	0.11	0.7
<b>Vêtement d'hiver</b>	Sous-vêtement, chemise de coton à manches longues, pantalon, chandail à manches longues, chaussettes chaudes et chaussures.	0.16	1.0
<b>Vêtement européen typique</b>	Sous-vêtement de coton à jambes et manches longues, chemise, pantalon, gilet, veste, chaussettes de laine	0.23	1.5
<b>Nu</b>		0	0
<b>Shorts</b>		0.015	0.1

**Tab.D-3** : Extension de l'échelle de beaufort montrant les effets du vent sur les piétons  
D'après Lawson, T.V. et Penwarden ,1975.

(Source: Blocken. B, Carmeliet. J, 2003)

<b>Force de beaufort</b>	<b>Description</b>	<b>Vitesse de vent à 1,75m de hauteur (m/s)</b>	<b>Effets du vent</b>
0	Calme	0,0 – 0,1	Calme
1	Air léger	0,2 – 1,0	pas de vent sensible
2	Brise légère	1,1 – 2,3	Le vent est ressenti sur le visage
3	Douce brise	2,4– 3,8	Les cheveux et les habits sont agités, journal difficile à lire
4	Brise modérée	3,8– 5,5	Les cheveux sont décoiffés La poussière et les papiers sont soulevés du sol
5	Brise Fraîche	5,6 – 7,5	La force du vent est ressentie sur le corps, Risque de perte d'équilibre
6	Forte brise	7,6 –9,7	Il est difficile de marcher droit, Les parapluies sont difficiles à utiliser, Le vent siffle dans les oreilles
7	Proche de rafale	9,8 – 12,0	Il est difficile de marcher contre le vent
8	Rafale	12,1– 14,5	La marche est entravée par les grandes rafales
9	Forte rafale	14,6 – 17,1	Forte tempête, Risque de perte d'équilibre, Marche dangereuse

## ANNEXE E



**Fig- E :** Dimensions de quelques arbres de la région méditerranéenne

(Source : Vinet, 2000 améliorée par l'auteur)

**ANNEXE F**

**Tableau F-1 :** Données climatiques de la ville de Constantine –Période 1995-2005. (Source : ONM Ain El Bey Constantine)

Les mois		Jan	Fev	M	Av	Ma	Ju	Jui	Au	S	O	N	D
Les variables climatiques													
T moyenne mensuelle	°C	7.3	7.9	11.1	13.5	18.9	23.9	26.9	26.7	21.9	18.1	12.0	8.5
T moyenne maximale	°C	12.1	13.2	16.8	19.4	25.6	31.2	34.5	34.2	28.6	24.3	16.9	13.1
T moyenne minimale	°C	2.6	2.7	5.1	7.1	11.5	15.9	18.5	19.0	16.0	11.5	7.2	4.3
Amplitude	°C	9.1	10.5	11.7	12.3	14.1	15.9	16	15.2	12.6	12.8	9.1	8.8
HR moyenne mensuelle	%	79,64	77,27	71,73	70,55	65,00	54,91	48,36	51,09	65,09	68,09	75,00	79,36
HR moyenne maximale	%	93,82	94,45	92,09	92,45	88,73	80,91	74,09	76,18	88,73	89,73	92,45	94,09
HR moyenne minimale	%	57,45	52,00	44,27	43,64	37,45	29,36	25,00	26,55	36,36	40,55	51,45	58,18
Insolation totale	h	160	182	231	244	286	314	337	295	243	224	163	152
Vitesse Vent	m/s	2,7	2,8	2,5	2,8	2,5	2,4	2,4	2,4	2,1	2,1	2,7	2,9
Précipitations	mm	88.7	51.6	42.7	53.6	38.0	23.6	5.1	11.9	41.4	29.9	69.9	78.9

**Tab.F-2 :** Le zoning climatique de l'Algérie. (Source : ONM. Période 1974- 1984)

Paramètres géographiques			Saison climatique							
			Hiver : <b>H</b>				Été : <b>E</b>			
Zones	Influence	Altitude (m)	Unité climatique	Temp moy °C	HR moy %	Irradiation Solaire Wh/m²	Unité climatique	Temp Moy °C	HR moy %	Irradiation Solaire Wh/m²
1	Littoral	<500	<b>H1</b>	10..5	77.1	2312	<b>E1</b>	24.2	68.7	3602
2	Tellien montagneux	>500	<b>H2a</b>	-	-	2312	<b>E1</b>	24.2	68.7	-
		1000-1500	<b>H2b</b>	4.9	75.4	2548	<b>E2</b>	24.9	54.4	4966
3	Hts plateaux et Atlas	>1500	<b>H3</b>	4.6	73.5	2548	<b>E2</b>	24.9	54.4	4444
4	Le Sahara	500-1000	<b>H4a</b>	9.8	45.8	2634	<b>E3</b>	32.5	-	5878
		200-500	<b>H4b</b>	12.1	48.0	2072.	<b>E4</b>	33.4	24.1	6440
		>500	<b>H4c</b>	12.6	27.3	2374	<b>E5</b>	36.5	12.5	6342

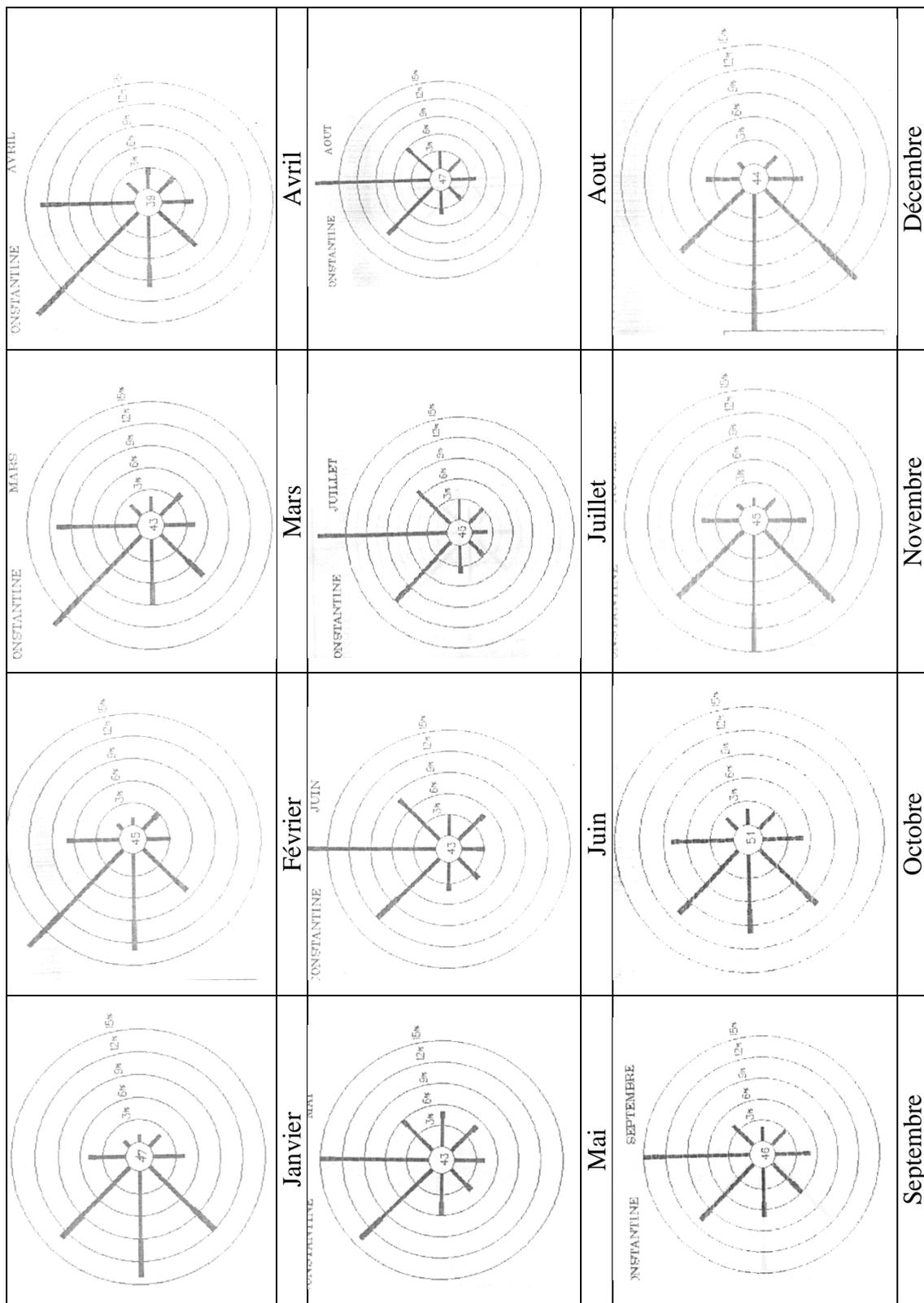
**Localisation de Constantine par rapport aux différentes zones climatiques** elle est située dans la zone climatique **H2a** d’hiver et la zone d’été **E2** dont les caractéristiques sont les suivantes :

- La zone **H2a** est caractérisée par des hivers froids et écart de température diurne important.
- La zone **E2** a des étés chauds avec des écarts de température diurnes importants.
- La zone de confort pour les humidités relatives est comprise entre 21-69%.
- Les températures de l’air de confort sont comprises entre 21 et 26°C

**Vitesses et fréquences des vents sur la ville de Constantine**

**Tab.F-3** : Fréquence vent en % sur la ville de Constantine Période 1995-2005. (Source : *ONM Ain El Bey Constantine*)

Direction Vitesses des vents	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
	1-- > 5 m/s	8.8	2.9	1.9	2.7	3.1	5.4	6.1
6-- > 10 m/s	2.3	0.4	0.3	0.4	0.8	2.9	3.1	4.0
11--> 15 m/s	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.1	0.2
--- >16 m/s	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Totaux	11.1	3.3	2.2	3.2	3.9	8.4	9.4	14.2
Calme	44.3							



**Fig. F-1** : Directions des vents dominants à Constantine période 1995-2005. (Source : ONM Ain El Bey Constantine)

**Tab.F-4** : H istorique des températures moyennes à Constantine (Source : [http:// www. worldclimate.com](http://www.worldclimate.com))

Températures (°C)	Jan	F	M	Av	Ma	Ju	Jul	Au	S	O	N	D	An
<b>A</b> -Températures moyennes 1882-1980 (533 mois)	6.4	7.6	9.9	12.6	16.3	21.3	24.9	25.0	21.7	16.5	11.5	7.5	14.7
<b>B</b> -Températures moyennes 1968-1990 (187 mois)	6.8	7.4	9.1	12.1	16.5	21.6	24.9	25.0	21.2	16.0	11.4	7.3	15.0
<b>C</b> -Températures moyennes 1990-2000	7.2	8.05	10.25	12.35	18.05	22.8	25.7	26.5	22.7	17.7	12.2	8.45	15.99
<b>D</b> -Températures moyennes 1995-2005	7.3	7.9	11.1	13.5	18.9	23.9	26.9	26.7	21.9	18.1	12.0	8.5	16.4

**Tab.F-5** : H istorique du taux de pluviométrie à Constantine. (Source: [http:// www. worldclimate.com](http://www.worldclimate.com))

Précipitations (mm)	J	F	M	Av	Ma	Ju	Jul	Au	S	O	N	D	an
<b>A</b> -Précipitations 1837-1990 (1673 mois)	84.2	62.5	65.8	53.4	44.4	24.2	8.0	11.0	28.3	43.5	51.8	84.2	560.9
<b>B</b> -Précipitations 1990- 2000	65	53	48	51	42	29	9	11	35	41	53	81	518
<b>C</b> -Précipitations 1995- 2005	88.7	51.6	42.7	53.6	38.0	23.6	5.1	11.9	41.4	29.9	69.9	78.9	535.2

## ANNEXE G

<b>Station A</b>	SVF 0.688	Forme au sol	Rectangulaire
Surface (A)	7752 m <sup>2</sup>	Type de revêtement au sol	Terre (albédo 0.25)
Hauteur moyenne (H)	18.16 m	H/W = 0.32	Ecoulement de type rugosité isolée
Périmètre (P)	386 m	A/ H <sup>2</sup> =23.50 < 30	à l'abri des vents
Longueur totale des ouvertures en direction de l'espace 45			
$\frac{45}{\text{Périmètre de l'espace } 386} = - = 11.65 \% < 25 \% \text{ (protégé)}$			

<b>Station B</b>	SVF 0.585	Forme au sol	Rectangulaire
Surface (A)	4437 m <sup>2</sup>	Type de revêtement au sol	Asphalte (albédo 0.05)
Hauteur moyenne (H)	18.83	H/W = 0.34	Ecoulement transversal de type rugosité isolée
Périmètre (P)	276 m	A/ H <sup>2</sup> =12.51 < 30	à l'abri des vents
Longueur totale des ouvertures en direction de l'espace 38.97			
$\frac{38.97}{\text{Périmètre de l'espace } 276} = - = 14.11 \% < 25 \% \text{ (protégé)}$			

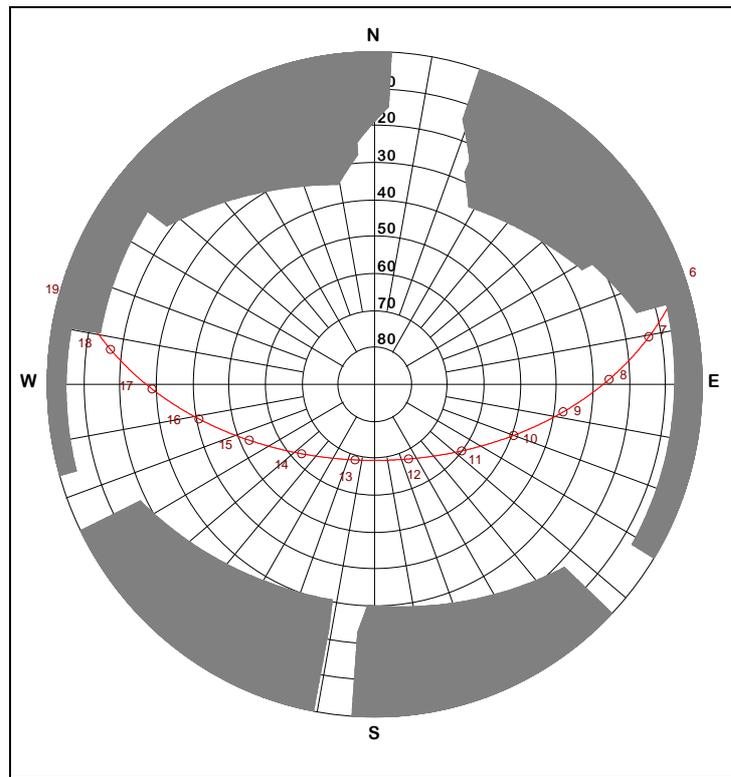
<b>Station F</b>	SVF 0.594	Forme au sol	Carré ouvert (U)
Surface (A)	3025 m <sup>2</sup>	Type de revêtement au sol	Terre (albédo 0.25)
Hauteur moyenne (H)	18.16 m	H/W = 0.33	Ecoulement transversal de type rugosité isolée
Périmètre (P)	220 m	A/ H <sup>2</sup> = 9.17 < 30	à l'abri des vents
Longueur totale des ouvertures en direction de l'espace 70.62			
$\frac{70.62}{\text{Périmètre de l'espace } 220} = - = 32.1 \% < 25 \% \text{ (Affecté)}$			

<b>Station C</b>	SVF 0.544	Forme au sol	Carré ouvert
Surface (A)	3025 m <sup>2</sup>	Type de revêtement au sol	Terre (albédo 0.25)
Hauteur moyenne (H)	17.75 m	H/W = 0.32	Ecoulement transversal de type rugosité isolée
Périmètre (P)	220 m	A/ H <sup>2</sup> =9.60 < 30	à l'abri des vents
Longueur totale des ouvertures en direction de l'espace 36			
$\frac{36}{220} = 11.65 \% < 25 \% \text{ (protégé)}$			
<p style="text-align: center;">Périmètre de l'espace 220</p>			

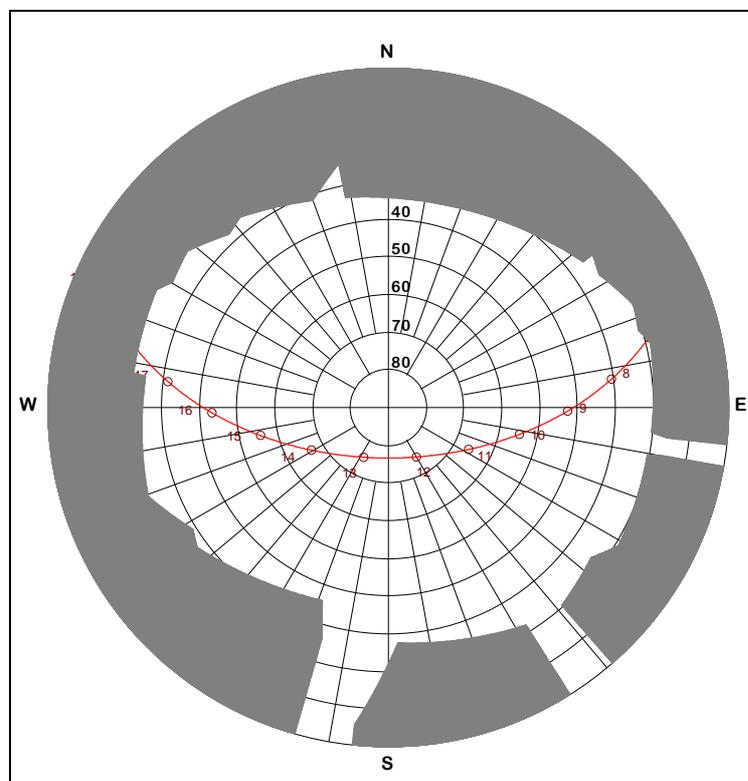
<b>Station D</b>	SVF 0.613	Forme au sol	Rectangulaire
Surface (A)	5104 m <sup>2</sup>	Type de revêtement au sol	Terre (albédo 0.25)
Hauteur moyenne (H)	16.58 m	H/W = 0.28	Ecoulement transversal de type rugosité isolée
Périmètre (P)	292 m	A/ H <sup>2</sup> =18.56 < 30	à l'abri des vents
Longueur totale des ouvertures en direction de l'espace 43			
$\frac{43}{292} = 14,72 \% < 25 \% \text{ (protégé)}$			
<p style="text-align: center;">Périmètre de l'espace 292</p>			

<b>Station E</b>	SVF 0.497	Forme au sol	Tend vers le triangle
Surface (A)	7752 m <sup>2</sup>	Type de revêtement au sol	Sol asphalt albédo 0.05
Hauteur moyenne (H)	30 .5 m	H/W ≈ 0.5	<b>écoulement transversal à interférence de sillage</b>
Périmètre (P)	272m	A/ H <sup>2</sup> = 7.51 < 30	à l'abri des vents
Longueur totale des ouvertures en direction de l'espace 80			
$\frac{80}{272} = 24 \% < 25 \% \text{ (protégé)}$			
<p style="text-align: center;">Périmètre de l'espace 272</p>			

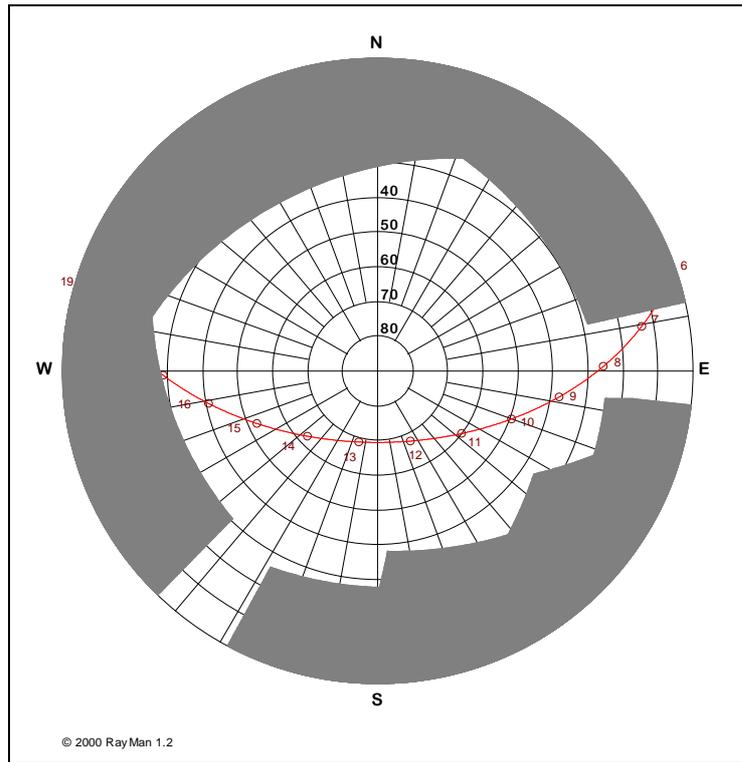
## ANNEXE H



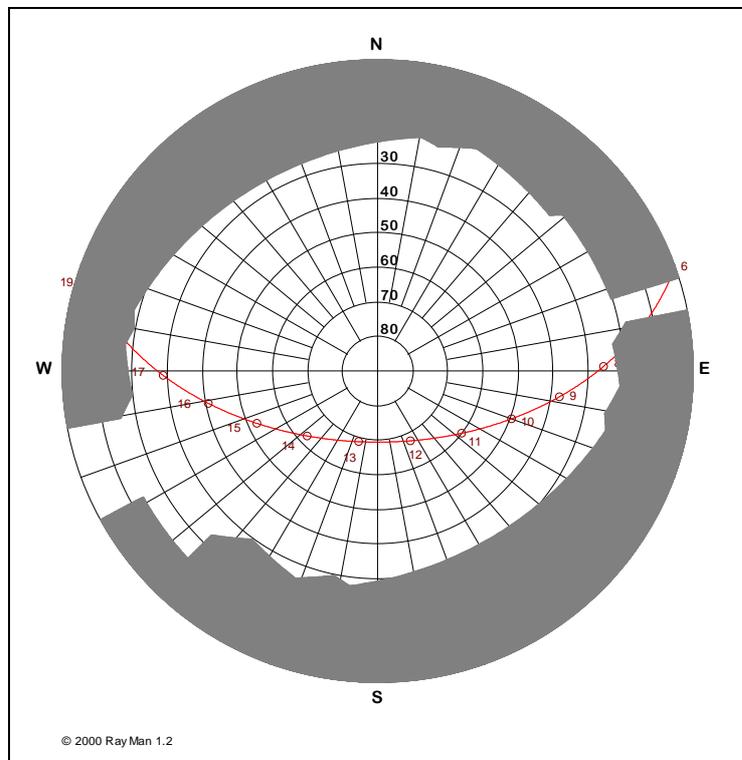
**Fig. H- 1** : Diagramme polaire de la station A (SVF 0.688)



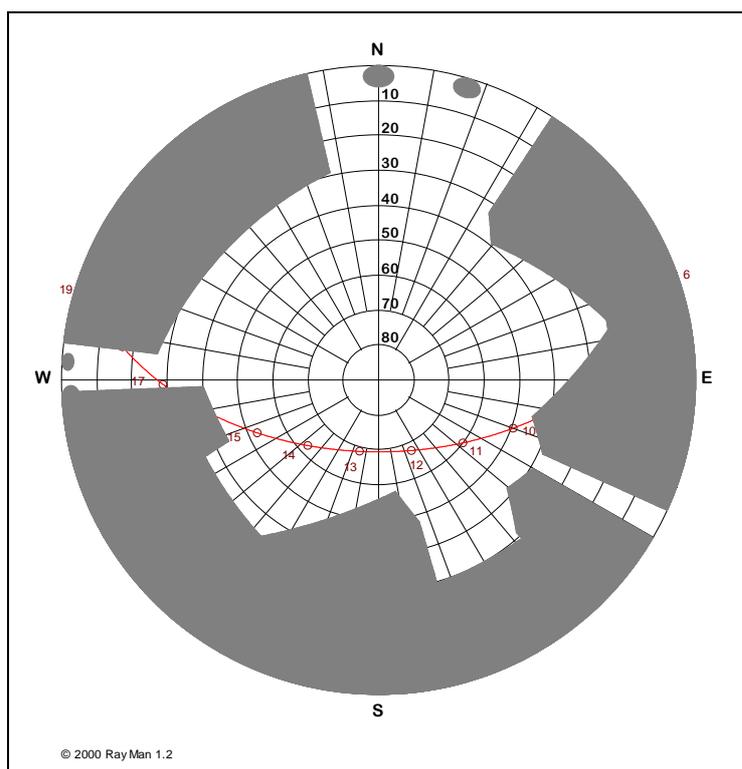
**Fig. H- 2** : Diagramme polaire de la station B (SVF 0.584)



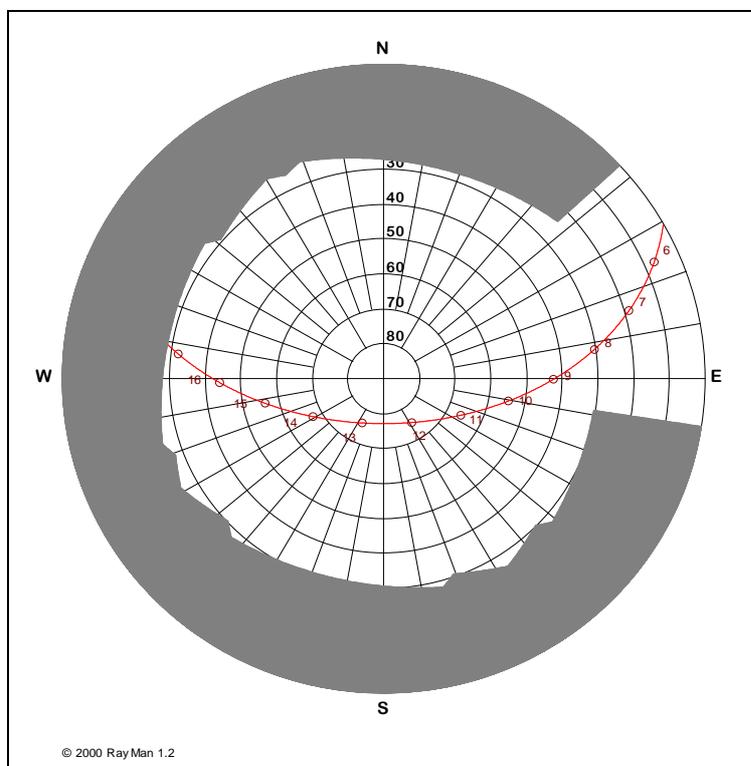
**Fig. H- 3 :** Diagramme polaire de la station C (SVF 0.544)



**Fig. H- 4 :** Diagramme polaire de la station D (SVF 0.613)



**Fig. H- 5 :** Diagramme polaire de la station **E** (SVF 0.497)



**Fig. H- 6 :** Diagramme polaire de la station **F** (SVF 0.594)

**ANNEXE I**

**Tab- i-1** : Nouvelles valeurs de la Ts, la Tmrt et la PET après élévation de la valeur de l'albédo dans la station B.

Albédo	Situation actuelle							Situation améliorée													
	0.05							0.50							0.90						
	time	E	Ts	Tmrt	PET	E	Ts	Tmrt	PET	E	Ts	Tmrt	PET	E	Ts	Tmrt	PET				
date	h:mm	W/m2	°C	°C	°C	W/m2	°C	°C	°C	W/m2	°C	°C	°C	W/m2	°C	°C	°C				
9.8.2007	6:00	437	25	35.5	24.7	409	18.6	17.5	16.6	409	21.6	17.9	15.9	409	21.6	17.9	15.9				
	8:00	463	28	38	27.1	456	26.8	32.4	22.5	456	26.8	24.1	19.9	456	26.8	24.1	19.9				
	10:00	494	33	43.2	31.9	482	31.2	37.6	27.2	482	31.2	27.3	23.3	482	31.2	27.3	23.3				
	12:00	553	42	51.3	37.4	531	38.8	43.9	33.8	531	38.8	32.6	28.8	531	38.8	32.6	28.8				
	14:00	588	47	62.2	44.5	566	44.0	48.8	38.4	563	43.4	36.3	32.7	563	43.4	36.3	32.7				
	16:00	529	38	46.1	36.5	517	35.4	40.5	34.3	505	34.7	30.7	30.0	505	34.7	30.7	30.0				
	18:00	457	28	29.1	26.4	458	27.0	25.7	25.2	458	27.1	23.6	24.6	458	27.1	23.6	24.6				
	20:00	435	25	22.5	19.2	435	22.8	22.5	19.2	427	21.8	17.9	18.0	427	21.8	17.9	18.0				
Moyenne		491.1	33.4	40.2	31.2	481.8	30.7	33.6	27.2	479.0	30.7	26.3	24.2	479.0	30.7	26.3	24.2				

**Tab- i-2 : Nouvelles valeurs de la Tmrt et la PET après élévation de la valeur de l'albédo dans la station E.**

Date	Albédo	Situation actuelle			Situation améliorée						
		0.05			0.50			0.90			
		Tmrt	PET	°C	Tmrt	PET	°C	Tmrt	PET	°C	
9.8.2007	time										
	h:mm										
	6:00	28.5	24.2	24.3	22.3	20.5	20.7				
	8:00	39.2	27.3	31	23.9	23.6	21.1				
	10:00	46.7	36.1	38.2	32.8	32.6	30				
	12:00	59.5	42.2	47.2	37	36.4	32.8				
	14:00	60.1	45.4	48.1	39.4	37.7	34.6				
	16:00	45.5	36	36.7	33.2	30.6	30.7				
	18:00	30.6	29	28.1	28.1	25.7	27				
	20:00	20.5	21.9	20.6	21.1	20.6	21.1				
Moyenne	42.2	32.5	31	29.7	28.4	28.5					

**Lecture du niveau du stress thermique**

PET	Perception thermique	Niveau du stress physiologique
18-23	Confortable	Aucun stress thermique
23-29	Légerement chaud	Léger stress de chaleur
29-35	chaud	Stress de chaleur modéré
35-41	Très chaud	Fort stress de chaleur
>41	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur

## ANNEXE J

**Tab.J-1:** Scénario 1. Platane au centre. (Source: Auteur)

RayMan 1.2 © 2000

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

place: Station A

Horizon limitation: 82.6% sky view factor: 0.174

geogr. longitude: 6°35' latitude: 36°16' timezone: UTC +1.0 h

personal data: height: 1.75 m weight: 75.0 kg age: 35 a sex: m clothing: 0.9 clo

activity: 80.0 W

date	time	sunsh.	sunsh.	Gact	E	Ts	Ta	RH	v	Tmrt	PET
	h:mm	max.	act.	W/m2	W/m2	°C	°C	%	m/s	°C	°C
9.8.2007	6:00	13h34'	0h50'	22	417	19.8	19.7	78.0	0.7	20.0	17.7
	8:00	13h34'	0h50'	155	466	28.2	25.1	59.0	1.4	34.0	26.0
	10:00	13h34'	0h50'	71	487	31.5	30.1	55.0	1.2	37.7	32.3
	12:00	13h34'	0h50'	118	512	35.4	32.7	21.0	0.9	45.7	37.8
	14:00	13h34'	0h50'	121	498	33.3	30.7	33.0	0.9	43.4	35.3
	16:00	13h34'	0h50'	67	486	31.3	30.1	41.0	0.9	36.8	32.1
	18:00	13h34'	0h50'	21	473	29.3	29.3	43.0	0.8	30.1	28.8
	20:00	13h34'	0h50'	0	431	22.3	22.8	46.0	0.8	20.9	19.7

**Tab.J-2:** Scénario 2 (Source: Auteur)

RayMan 1.2 © 2000

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

place: Station A

Horizon limitation: 90.1% sky view factor: 0.099

geogr. longitude: 6°35' latitude: 36°16' timezone: UTC +1.0 h

personal data: height: 1.75 m weight: 75.0 kg age: 35 a sex: m clothing: 0.9 clo

activity: 80.0W

date	time	sunsh.	sunsh.	Gact	E	Ts	Ta	RH	v	Tmrt	PET
	h:mm	max.	act.	W/m2	W/m2	°C	°C	%	m/s	°C	°C
9.8.2007	6:00	13h34'	0h17'	12	416	19.7	19.7	78.0	0.7	20.3	17.8
	8:00	13h34'	0h17'	145	466	28.1	25.1	59.0	1.4	33.3	25.4
	10:00	13h34'	0h17'	57	486	31.2	30.1	55.0	1.2	36.4	31.5
	12:00	13h34'	0h17'	106	510	35.0	32.7	21.0	0.9	43.9	37.0
	14:00	13h34'	0h17'	111	498	33.2	30.7	33.0	0.9	42.7	35.1
	16:00	13h34'	0h17'	58	486	31.3	30.1	41.0	0.9	36.2	31.9
	18:00	13h34'	0h17'	18	474	29.4	29.3	43.0	0.8	30.3	28.9
	20:00	13h34'	0h17'	0	432	22.5	22.8	46.0	0.8	21.5	20.0

**Tab.J-3: Scénario 3** (Source: Auteur)

RayMan 1.2 © 2000

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

place: Station A

Horizon limitation: 92.7% sky view factor: 0.073

geogr. longitude: 6°35' latitude: 36°16' timezone: UTC +1.0 h

personal data: height: 1.75 m weight: 75.0 kg age: 35 a sex: m clothing: 0.9 clo

activity: 80.0 W

date	time	sunsh.	sunsh.	Gact	E	Ts	Ta	RH	v	Tmrt	PET
	h:mm	max.	act.	W/m2	W/m2	°C	°C	%	m/s	°C	°C
9.8.2007	6:00	13h34'	0h17'	11	417	19.7	19.7	78.0	0.7	20.4	17.9
	8:00	13h34'	0h17'	142	466	28.1	25.1	59.0	1.4	33.1	25.6
	10:00	13h34'	0h17'	52	486	31.2	30.1	55.0	1.2	35.9	31.3
	12:00	13h34'	0h17'	101	510	35.0	32.7	21.0	0.9	43.6	36.7
	14:00	13h34'	0h17'	107	498	33.2	30.7	33.0	0.9	42.5	34.9
	16:00	13h34'	0h17'	55	486	31.3	30.1	41.0	0.9	36.0	31.7
	18:00	13h34'	0h17'	17	475	29.4	29.3	43.0	0.8	30.4	28.9
	20:00	13h34'	0h17'	0	433	22.5	22.8	46.0	0.8	21.8	20.0

**Tab.J-4: Scénario 4** (Source: Auteur)

RayMan 1.2 © 2000

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

place: Site A Mars

Horizon limitation: 91.7% sky view factor: 0.083

geogr. longitude: 6°35' latitude: 36°16' timezone: UTC +1.0 h

personal data: height: 1.75 m weight: 75.0 kg age: 35 a sex: m clothing: 0.9 clo

activity: 80 W

date	time	sunsh.	sunsh.	Gact	E	Ts	Ta	RH	v	Tmrt	PET
	h:mm	max.	act.	W/m2	W/m2	°C	°C	%	m/s	°C	°C
9.8.2007	6:00	13h34'	0h17'	11	417	19.7	19.7	78.0	0.7	20.3	17.8
	8:00	13h34'	0h17'	144	466	28.1	25.1	59.0	1.4	33.2	25.6
	10:00	13h34'	0h17'	54	486	31.2	30.1	55.0	1.2	36.1	31.7
	12:00	13h34'	0h17'	103	510	35.0	32.7	21.0	0.9	43.7	36.9
	14:00	13h34'	0h17'	108	498	33.2	30.7	33.0	0.9	42.6	35.1
	16:00	13h34'	0h17'	56	486	31.3	30.1	41.0	0.9	36.1	31.8
	18:00	13h34'	0h17'	17	475	29.4	29.3	43.0	0.8	30.4	28.9
	20:00	13h34'	0h17'	0	433	22.5	22.8	46.0	0.8	21.7	20.0

**Tab-J-5** : Scénario 5. tronc d'arbre Micocoulier 3m .Hauteur 13m.

RayMan 1.2 © 2000

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

place: Station A

Horizon limitation: 84.5% sky view factor: 0.155

geogr. longitude: 6°35' latitude: 36°16' timezone: UTC +1.0 h

personal data: height: 1.75 m weight: 75.0 kg age: 35 a sex: m clothing: 0.9 clo

activity: 80.0

date	time	sunsh max.	sunsh. act.	Dact	E	Ts	Ta	RH	v	Tmrt	PET
	h:mm			W/m2	W/m2	°C	°C	%	m/s	°C	°C
9.8.2007	6:00	13h34'	1h6'	14	416	19.6	19.7	78.0	0.7	20.1	17.7
	8:00		1h6'	54	453	26.0	25.1	59.0	1.4	30.8	24.7
	10:00		1h6'	68	487	31.4	30.1	55.0	1.2	37.4	32.2
	12:00		1h6'	115	510	35.1	32.7	21.0	0.9	44.6	37.3
	14:00		1h6'	119	498	33.3	30.7	33.0	0.9	43.2	35.3
	16:00		1h6'	65	486	31.3	30.1	41.0	0.9	36.7	32.0
	18:00		1h6'	20	474	29.3	29.3	43.0	0.8	30.2	28.8
	20:00		1h6'	0	432	22.4	22.8	46.0	0.8	21.2	20.1

**Tab-J-6** : Scénario 5. tronc d'arbre Platane 5m .Hauteur 13m

RayMan 1.2 © 2000

Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

place: Station A

Horizon limitation: 81.3% sky view factor: 0.187

geogr. longitude: 6°35' latitude: 36°16' timezone: UTC +1.0 h

personal data: height: 1.75 m weight: 75.0 kg age: 35 a sex: m clothing: 0.9

clo activity: 80.0 W

date	time	sunsh. max.	Sunsh act.	Gact	E	Ts	Ta	RH	v	Tmrt	PET
	h:mm			W/m2	W/m2	°C	°C	%	m/s	°C	°C
9.8.2007	6:00	13h34'	1h23'	15	416	19.6	19.7	78.0	0.7	20.1	17.7
	8:00			58	453	26.0	25.1	59.0	1.4	31.1	24.8
	10:00			74	485	31.1	30.1	55.0	1.2	36.7	31.0
	12:00			120	511	35.2	32.7	21.0	0.9	44.9	37.4
	14:00			123	498	33.3	30.7	33.0	0.9	43.5	35.5
	16:00			69	486	31.4	30.1	41.0	0.9	36.9	32.1
	18:00			22	473	29.3	29.3	43.0	0.8	30.1	28.8
	20:00			0	431	22.3	22.8	46.0	0.8	20.8	19.7

**ANNEXE K**

**Ta b. K-1 :** Résultats de l'effet combiné de l'augmentation de l'albédo et l'introduction des arbres dans la station A  
(Source : Auteur)

time	Données microclimatiques				Situation réelle SVF 0.688						Situation améliorée SVF 0.057					
	Ta	RH	v		Gact	E	Ts	Tmrt	PET	Gact	E	Ts	Tmrt	PET		
h:mm	°C	%	m/s		W/m2	W/m2	°C	°C	°C	W/m2	W/m2	°C	°C	°C		
6:00	19.7	78.0	0.7		40	431	24	30.5	21.8	11	417	19.7	19.2	17.0		
8:00	25.1	59.0	1.4		217	468	29	39.8	28.1	43	453	25.9	25.6	22.7		
10:00	30.1	55.0	0.9		298	515	36	49	37.7	50	486	31.3	31.0	29.9		
12:00	32.7	21.0	0.9		517	567	44	56.4	42.9	100	510	35.0	34.6	32.9		
14:00	30.7	33.0	0.9		522	554	42	55.8	41.3	106	498	33.1	32.8	30.7		
16:00	30.1	41.0	0.9		260	508	35	45.7	36.1	65	488	31.5	31.1	29.7		
18:00	29.3	43.0	0.8		43	467	29	29.1	28.4	17	475	29.4	28.8	28.2		
20:00	22.8	46.0	0.8		0	433	26	21.9	20.1	0	433	22.5	21.8	20.0		
<b>Moyenne</b>					235.8	492.9	33.1	41.2	32.1	49	470	28.6	28.1	26.4		

PET	Perception thermique	Niveau du stress physiologique
18-23	Confortable	Aucun stress thermique
23-29	Légèrement chaud	Léger stress de chaleur
29-35	chaud	Stress de chaleur modéré
35-41	Très chaud	Fort stress de chaleur
>41	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur

**Ta b. K-2** : Résultats de l'effet combiné de l'augmentation de l'albédo et l'introduction des arbres dans la station **B**.  
(Source : Auteur)

time	Données microclimatiques			Situation réelle SVF 0.585							Situation améliorée SVF 0.079						
	Ta °C	RH %	v m/s	Gact W/m2	E W/m2	Ts °C	Tmrt °C	PET °C	Gact W/m2	E W/m2	Ts °C	Tmrt °C	PET °C				
h:mm																	
6:00	19.3	69	0.6	29	437	25	35.1	24.7	11	414	19.3	18.7	17.1				
8:00	23.4	62	2.1	205	463	28	38	27.1	44	444	24.4	24.0	19.7				
10:00	25.7	21	1.5	279	494	33	43.2	31.9	53	460	27.1	26.5	22.9				
12:00	28.8	20	0.9	411	553	42	56.5	39.0	102	491	32.1	31.1	28.2				
14:00	31.5	26	0.9	507	588	47	62.4	44.5	108	509	35.0	34.0	31.8				
16:00	30.6	33	0.7	248	529	38	46.1	36.5	67	495	32.8	31.8	30.5				
18:00	27.6	54	1.4	39	458	28	29.1	26.4	17	464	27.7	27.0	25.2				
20:00	22.9	66	2	0	435	25	22.5	19.2	0	433	22.6	21.8	19.4				
	<b>Moyenne</b>			212.3	491.3	33.4	40.2	31.2	50.3	463.8	27.6	26.9	24.4				

**Ta b. K-3 :** Résultats de l'effet combiné de l'augmentation de l'albédo et l'introduction des arbres dans la station F  
(Source : Auteur)

time	Données microclimatiques			Situation réelle SVF 0.594						Situation améliorée SVF 0.079					
	Ta	RH	v	Gact	E	Ts	Tmrt	PET	Gact	E	Ts	Tmrt	PET		
h:mm	°C	%	m/s	W/m2	W/m2	°C	°C	°C	W/m2	W/m2	°C	°C	°C		
6:00	21.4	68	1	113	443	23	31.6	22.6	11	427	21.4	20.8	18.6		
8:00	26.1	59	1.1	217	468	31	40.4	30.1	44	462	27.4	26.8	24.6		
10:00	27.4	45	1.3	298	515	35	46.8	33.4	52	471	28.9	28.5	25.9		
12:00	31.4	20	1.2	517	567	44	54.8	40.3	108	499	34	33.3	31		
14:00	30.1	33	1.2	522	554	43	55.1	39.6	104	490	33.3	32.5	29.8		
16:00	29.5	38	1.3	260	509	35	44.7	34.2	67	486	31.3	30.6	28.6		
18:00	27.5	41	1.3	43	467	30	27.5	25.6	17	464	27.6	27.0	25.4		
20:00	25.1	52	0.9	0	433	28	24.6	23.0	0	446	24.7	24.0	22.8		
<b>Moyenne</b>				246.3	491.9	33.6	40.7	31.1	89.0	468.1	31.1	28.6	25.8		

**Ta b. K-4** : Résultats de l'effet combiné de l'augmentation de l'albédo et l'introduction des arbres dans la station **D**.  
(Source : Auteur)

time	Données microclimatiques			Situation réelle SVF 0.613							Situation améliorée SVF 0.050							
	Ta	RH	v	Gact	E	Ts	Tmrt	PET	Gact	E	Ts	Tmrt	PET	Gact	E	Ts	Tmrt	PET
h:mm	°C	%	m/s	W/m2	W/m2	°C	°C	°C	W/m2	W/m2	°C	°C	°C	W/m2	W/m2	°C	°C	°C
6:00	19.9	76	1.8	27	408	23	23.6	17.2	18	419	20.2	19.6	16.1					
8:00	23.4	55	1.8	231	464	31	38.1	25.1	41	444	24.4	24.1	20.1					
10:00	28.2	20	1.3	295	506	35	45.3	33	48	475	29.5	29.1	26.4					
12:00	29.9	20	1.2	504	554	44	50.9	35.2	97	496	32.8	32.1	29.2					
14:00	30.6	23	3.1	615	544	43	54.2	36.4	103	495	32.7	32.5	29.1					
16:00	29.6	34	2.2	204	494	36	40.7	31.6	64	485	31.0	30.7	28.0					
18:00	28.2	44	1.9	40	462	30	27.9	26	16	468	28.4	27.8	26.0					
20:00	24.2	52	1.6	0	442	28	23.8	21	0	441	23.9	23.4	20.8					
<b>Moyenne</b>				239.5	484.3	33.8	38.1	28.2	48.4	465.4	27.9	27.4	24.5					

**Ta b. K- 5** : Résultats de l'effet combiné de l'augmentation de l'albédo et l'introduction des arbres dans la station C  
(Source : Auteur)

time	Données microclimatiques			Situation réelle SVF 0.544						Situation améliorée SVF 0.076					
	Ta °C	RH %	v m/s	Gact W/m2	E W/m2	Ts °C	Tmrt °C	PET °C	Gact W/m2	E W/m2	Ts °C	Tmrt °C	PET °C		
6:00	22.7	81	0.3	26	409	24	27.1	24.3	9	434	22.7	22.1	22.0		
8:00	23.8	56	2	243	468	29	38.8	25.4	44	446	24.8	24.4	20.3		
10:00	30.1	32	1.4	118	498	33	43.7	34.1	53	488	31.6	31.1	29.1		
12:00	30.6	32	4.9	493	527	37	50	33.8	102	491	32.1	32.2	28.6		
14:00	30.7	32	2.4	561	541	40	54	37.5	108	496	35	37.2	31.3		
16:00	29.8	34	2.3	96	481	35	43.1	33.9	67	486	31.2	30.7	28.2		
18:00	28.5	51	1.8	37	465	29	28.8	26.8	17	470	28.6	28.0	26.5		
20:00	25	58	1.3	0	447	27	24.6	22.4	0	446	24.6	23.9	22.2		
<b>Moyenne</b>				196.8	479.5	31.8	38.8	29.8	91	476.5	29.6	28.7	26.0		

**Tab. K- 6** : Résultats de l'effet combiné de l'augmentation de l'albédo et l'introduction des arbres dans la station E  
(Source : Auteur)

time	Données microclimatiques			Situation réelle SVF 0.497						Situation améliorée SVF 0.098					
	Ta °C	RH %	v m/s	Gact W/m2	E W/m2	Ts °C	Tmrt °C	PET °C	Gact W/m2	E W/m2	Ts °C	Tmrt °C	PET °C		
h:mm															
6:00	22.9	73	0.5	54	436	26	28.5	24.2	12	435	22.9	22.2	21.4		
8:00	23.4	70	1.1	111	453	27	39.2	27.3	47	446	24.7	24.1	21.2		
10:00	29.7	50	1	108	501	33	46.7	36.1	57	487	31.5	30.9	29.4		
12:00	32.2	30	1.8	485	575	45	59.5	42.2	105	509	34.9	34.2	32.0		
14:00	32.9	29	0.8	418	589	47	60.1	45.4	111	520	36.5	35.4	33.6		
16:00	31.5	50	1.1	97	498	29	43.4	36	69	500	33.4	32.6	31.5		
18:00	29.2	56	1	35	468	28	30.6	29	18	474	29.3	28.5	28.1		
20:00	25	62	1.3	0	437	27	24.7	22.6	0	445	24.6	23.8	22.2		
<b>Moyenne</b>				163.5	494.6	32.7	41.6	32.9	52.4	477.0	29.7	29.0	27.4		



## Résumé

Une ville qui se veut durable, doit promouvoir les relations sociales entre individus en leur offrant un environnement physique confortable, c'est ce qui explique la recrudescence de l'intérêt porté à la qualité des espaces publics ouverts.

Le confort dans ces espaces est tributaire de la combinaison de plusieurs facteurs socio-psychologique et physiologique. Un microclimat thermiquement confortable s'avère une composante essentielle dans l'évaluation positive d'un lieu ainsi que pour sa praticabilité. En plus les recherches ont prouvé que toute tentative de rationalisation de la consommation énergétique inhérente au confort thermique intérieur devrait commencer par l'amélioration du microclimat aux abords des bâtiments.

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer les conditions microclimatiques des places urbaines pour permettre aux concepteurs de mesurer les conséquences de leurs dessins sur le climat local du site d'implantation et d'une autre part leur fournir une base de données pour opter à des choix stratégiques pour une conception urbaine en parfaite synergie avec son contexte climatique.

L'identification des caractéristiques morphologiques des places urbaines distinctes et l'analyse de leurs comportements climatiques a été réalisé par une campagne de mesure des facteurs climatiques ainsi que les températures de surface dans les enclos assez conséquents de la ville nouvelle de Ali Mendjli à climat contrasté.

L'analyse et la discussion des données ont révélé la contribution de la forme tridimensionnelle déterminée par son degré d'ouverture au ciel ( Sky view factor) en association au régime d'écoulement du vent au refroidissement ou au confinement de la chaleur dans ces espaces ouverts estimés par l'indice de confort thermique PET.

Une simulation de différentes configurations au sol en combinaison avec leur proportion à l'aide du logiciel RayMan 1.2 a permis de définir une plage de géométries adaptées à notre climat. L'élément végétal ne fera qu'augmenter les conditions de confort dans ces espaces ouverts.

**Mots clés :** microclimat urbain, place publique, facteur d'ouverture au ciel (SVF), vent, albédo, PET, végétation.

### Summary

A sustainable urban design must promote the social loving life partnership between people by affirm them a comfortable environment. That's the reason why the open urban areas are much needed.

Comfort in these areas is provided by the combination of many social psychology and physiology- related factors.

A microclimate thermally comfortable makes an area more valuable and sought-for. An outdoor moderate climate impacts positively an indoor comfort so as to reduce energy consumption.

This study aims primarily to evaluate the microclimate conditions of the current squares. A data base about urbanism should be provided to urban designers for future plans in order to make it in harmony with the climate.

To know more about the interaction between urban geometry and climate elements, we had to measure the field of the spacious courtyards in the new town Ali Mendjli, Constantine, in the East of Algeria, a region with a contrasting Weather. Analysis and discussion about measurement fields showed us that the sky view factor (SVF) along with the wind flow cause area cooling or heat confinement, evaluated according to PET index.

The urban geometry configurations have been simulated using RayMan1.2 program, in order to find out which ones should adapt best to human outdoor comfort. In addition, trees plant and augmentation ground material's albedo improve the thermal comfort in a great way.

**Key Words:** Microclimate, urban squares, sky view factor, wind, albedo, PET, Vegetation.

## ملخص

كل مدينة تطمح إلى الاستدامة، يجب أن ينصب اهتمامها على ترقية العلاقات الاجتماعية بين الأشخاص، وذلك بتهيئة فضاءات عمومية مفتوحة نوعية فالرفاهية التي تمنحها هذه الأخيرة مرهونة بعدة عوامل اجتماعية، سيكولوجية و فيزيولوجية. فالتقييم الإيجابي لأي مكان إلى جانب فعاليته، تقاس بمدى الرفاهية الحرارية المحلية. إلى أن كل محاولة من أجل عقلنة استعمال الطاقة لتعديل المناخ المحلي، تبدأ أولاً بخلق كما أن كل الدراسات تشير فضاءات خارجية معتدلة.

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو الخروج بتوصيات يستغلها المصممون المعماريون لإنشاء فضاءات تتماشى و الظروف المناخية للبلاد.

لمعرفة تفاعل العوامل المناخية مع أشكال الساحات العمومية، تمت دراسة ميدانية بالمدينة الجديدة على منجلي (قسنطينة) ذات المناخ البارد شتاء و الحار صيفا.

إن دراسة و تحليل النتائج اقضى إلى أن الشكل الثلاثي الأبعاد الممثل بدرجة الانفتاح على السماء بمعية حركة الرياح داخل هذه المجالات العمرانية تساهم في إزالة الحرارة داخل هذه المجالات أو على العكس احتباسها، مستدلين على ذلك بمؤشر الرفاهية الحراري PET.

إن استعمال التحاكي بواسطة البرنامج RayMan 1.2 ساعد في إمكانية إحداث تغيرات على هذه الساحات لتحسين شروط الرفاهية داخلها، وتعد النباتات عاملا جد فعال في تحقيق ذلك.

**الكلمات مفتاح:** المناخ المحلي، الساحات العمومية، درجة الانفتاح على أسماء (SVF)، الانعكاسية، PET، النباتات.

*Dans la ville, une place*

***Dans la ville, une place***  
*Autour de la place des façades ouvertes*

***Autour de la place des façades ouvertes***  
*Aux regards clos.*

***Aux regards clos.***  
*En son centre, un arbre, une fontaine*

***En son centre, un arbre, une fontaine***

*L'arbre est un soupir.*

***L'arbre est un soupir.***

*La fontaine un désir*

***La fontaine un désir***

*Chaque façade un mot*

***Chaque façade un mot***  
*Lourd de vérité pétrifiée*

***Lourd de vérité pétrifiée***