

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mentouri de Constantine

Faculté des Sciences de la terre, de géographie et de l'Aménagement du territoire.

Département d'Architecture et d'Urbanisme.

N° d'Ordre.....

Série.....

**Mémoire**  
**Pour l'obtention du diplôme de magister.**  
**Option : Architecture bioclimatique.**

THEME :

**« LE RÔLE DE LA VÉGÉTATION ET L'EAU DANS  
LA CREATION D'UN MICROCLIMAT  
URBAIN »**  
**« Cas de la place de Ain El Fouara à Sétif »**

**Présenté par : Mr BALLOUT AMOR.**

**Sous la direction de : Dr Bouchahm Yasmina, Maître de conférence à l'Université de  
Constantine.**

**Le jury :**

Président	: Dr Tayeb Sahnoun	Professeur	Université de Constantine
Examineur	: Dr Bourbia Fatiha	Maitre de conférences	Université de Constantine
Examineur	: Dr Abdou Saliha	Maitre de conférences	Université de Constantine
Rapporteur	: Dr Bouchahm Yasmina	Maitre de conférences	Université de Constantine

**2010**

# Sommaire

Table des matières .....	I
Liste des figures .....	IIIIV
Liste des Tableaux .....	XV
<b>Introduction générale</b>	
1-Introduction : .....	1
2-Problématique : .....	2
3-Hypothèses de recherche : .....	4
4-Objectifs : .....	5
5-Méthodologie : .....	5
<b>Chapitre I : La place publique.</b>	
I-1-Introduction : .....	9
I-2- Définition : La Place Publique : .....	9
I-3- Origine du concept place : .....	10
I-4-Types de places selon leur rôle : .....	12
I-4-1-Les places royales : .....	12
I-4-2-La Place d'arme : .....	13
I-4-3-La Place du marché : .....	13
I-4-4-Le Parvis : .....	14
I-4-5-La Place majeure : .....	14
I-5-Types de places selon leur fonction : .....	14
I-5-1- Les places de circulation : .....	14
I-5-2-Les places d'agrément : .....	14
I-5-3-Les places monumentales : .....	14
I-6- Evolution des places à travers l'histoire : .....	14
I-6-1- La place dans la Grèce antique : « l'Agora » : .....	14
I-6-2-La Place dans la cité romaine : « le forum » : .....	16
I-6-3- La place médiévale et les cités du moyen âge : .....	17
I-6-4- La place de l'époque de la renaissance : .....	18
I-6-5-La place contemporaine : .....	20
I-7- Rôles et enjeux multiples des espaces publics : .....	22
I-8-Différentes caractéristique des places : .....	24
I-8-1-Différents formes de place : .....	24
I-8-2-Dimensions des places : .....	26
I-8-3-Le site de la place : .....	27
I-8-4-La végétation et la place : .....	27
I-9-La qualité de vie urbaine : .....	27
I-9-1-Définition : .....	27
I-9-2- Les approches de l'évaluation de la qualité de vie urbaine : .....	28
I-9-3-Influence du Climat sur La qualité urbaine : .....	33
I-10-Microclimat urbain et identité de place : .....	34
I-11-La Perception du microclimat urbain et les conditions thermiques : .....	34
I-12- La notion d'ambiances : .....	36
I-12-1-Définition : .....	36
I-12-2-Ambiances : .....	37
I-13-Conclusion : .....	38

## Chapitre II : Le microclimat.

II-1- Introduction :	41
II-2-Urbanisme et Echelle Climatique :	42
II-2-1-Introduction :	42
II-2-2-Notion de microclimat :	43
II-2-2-1-Définition :	43
II-2-2-2-Types de microclimat :	43
II-2-2-3-Les différents éléments qui influencent le microclimat :	44
II-2-2-3-1-L'influence de l'eau sur le microclimat :	44
II-2-2-3-2-L'influence du relief sur le microclimat :	46
II-2-2-3-3-L'influence de la végétation sur le microclimat :	48
II-2-2-3-4-L'influence des constructions sur le microclimat :	50
II-3-Dimension Climatique à L'échelle Urbaine :	51
II-4-Aspects Microclimatiques Urbains :	53
II-4-1-Introduction :	53
II-4-2-Principales caractéristiques des villes :	54
II-4-2-1-La pollution de l'air :	54
II-4-2-2-Les formes construites :	54
II-4-2-3-Les types de matériaux et de surfaces utilisés :	55
II-4-2-4-La production de chaleur par les bâtiments et par le trafic :	55
II-4-2-5-La moindre circulation de l'air et les taux d'humidité réduits :	55
II-4-2-6-La rareté de la végétation :	55
II-4-3-Les effets du vent en milieu urbain :	56
II-4-4- Changements principaux dus à l'urbanisation :	58
II-4-5-Les principaux éléments qui affectent le climat urbain :	59
II-5-L'îlot de chaleur urbain :	60
II-5-1-Introduction :	60
II-5-2-Bilan énergétique en ville :	60
II-5-2-1-Qs - Effets du stockage dans le bâtiment :	60
II-5-2-2-Qa- Effets de l'énergie anthropique :	61
II-5-2-3-Ql- Chaleur latente et végétation urbaine :	61
II-5-2-4-Qbat- La chaleur sensible :	62
II-5-3-Stratégies de Rafraîchissement pour la diminution de l'îlot de chaleur :	62
II-5-3-1-Le rôle des matériaux :	62
II-5-3-2-Le rôle des rues et des trottoirs :	63
II-5-3-3-Le rôle des arbres et de la végétation :	63
II-5-3-4-Le rôle de l'eau et des puits de fraîcheur :	63
II-6-Conclusion :	64

## Chapitre III : Le confort dans les espaces extérieurs.

III-1-Introduction :	66
III-2-Notion de confort ou de bien être :	67
III-3-Paramètres environnementaux du confort thermique :	69
III-4-Les indices de confort ou de stress thermique en espace extérieur :	69
III-4-1- L'indice PT - Température Perçue :	71
III-4-2- L'indice PET - Température Physiologique Équivalente :	72
III-4-3-L'indice de température standard effective en espaces extérieurs (OUT_SET*) :	74
III-4-4- Approche adaptative :	74
III-4-5- Indice de contrainte thermique :	74
III-4-6- Le PMV et ses dérivés :	75

III-4-7- L'indice PMV* : .....	76
III-4-8- Les effets du vent : .....	77
III-5-Conclusion : .....	78

## **Chapitre IV : La végétation et son effet sur le microclimat.**

IV-1-Introduction : .....	81
IV-2-Généralités : .....	82
IV-2-1-Dimensions symboliques : .....	82
IV-2-2-Dimensions esthétiques : .....	83
IV-2-3-Qualités associées à la végétation : .....	84
IV-2-4-Dimensions structurelles et composition urbaine : .....	85
IV-2-5-L'utilisation des arbres dans le projet : .....	88
IV-3-Types de végétal urbain : .....	90
IV-3-1-Le végétal grimpant : .....	90
IV-3-2-La pelouse et les végétaux couvrants : .....	90
IV-3-3-L'arbre urbain : .....	90
IV-4-Fonction et dimension de l'arbre urbain : .....	93
IV-4-1-Fonctions sociales et économiques : .....	93
IV-4-2-Fonctions physiques : .....	93
IV-4-3-Fonctions de représentation : .....	93
IV-4-4-Effet sur le confort : .....	94
IV-4-5- Effets microclimatiques de la végétation urbaine : .....	94
IV-4-6-Effet modérateur du végétal sur l'îlot de chaleur urbain : .....	95
IV-4-6-1-Température de l'air : .....	95
IV-4-6-1-1-Les parcs : .....	96
IV-4-6-1-2-Les rues, les squares : .....	96
IV-4-6-2-Températures de surface des végétaux : .....	99
IV-5-Effet sur les espaces urbains : .....	102
IV-5-1-L'évapotranspiration : .....	102
IV-5-1-1-Cas de l'arbre urbain : .....	105
IV-5-1-1-1-arbre d'alignement : .....	106
IV-5-1-1-2-arbre en parc ou jardin : .....	106
IV-5-2-Pouvoir réfrigérant de l'arbre urbain : .....	106
IV-5-2-1-Les Treillis : .....	107
IV-5-2-2-Les végétaux couvrants : .....	107
IV-5-2-3-Les pelouses : .....	108
IV-5-3-1-L'indice Foliaire : .....	110
IV-5-4-Effet d'ombrage du végétal urbain : .....	112
IV-5-4-1-L'ombre : .....	112
IV-5-4-2-Détermination de l'ombrage des végétaux : .....	113
IV-5-5-Effet aéraulique du végétal urbain : .....	113
IV-5-5-1-Effet du vent sur le végétal : .....	113
IV-5-5-1-1-Vent et effet de refroidissement : .....	113
IV-5-5-1-2-Effets mécaniques : .....	114
IV-5-5-1-3-Vent et développement des arbres : .....	114
IV-5-5-2-Effet du végétal sur le vent : .....	114
IV-5-5-2-1-Effets globaux : .....	114
IV-5-5-2-2-Effet de changement de rugosité : .....	114
IV-5-5-2-3-Effet de brise vent : .....	114
IV-6-Recherche effectuées sur le rôle de la végétation sur le microclimat : .....	116

IV-6-1-Les avantages thermiques des arbres dans la ville de Singapour : .....	116
IV-6-1-1-Introduction : .....	116
IV-6-1-2-Résultats et discussion : .....	116
IV-6-1-2-1-Mesures à échelle Macro : .....	116
IV-6-1-2-2 mesures à échelle méso : .....	117
IV-6-1-2-3- Mesure à échelle Micros : .....	120
IV-6-1-3-Conclusion de la recherche : .....	121
IV-6-2-Simulation de L'influence de la végétation sur le microclimat et confort thermique dans la ville de São Paulo : .....	123
IV-6-2-1-Introduction : .....	123
IV-6-2-2-Résultats et discussion : .....	125
IV-6-2-2-1-Résultats des mesures : .....	125
IV-6-2-2-2-1-Températures de l'air : .....	126
IV-6-2-2-2-4-Températures Surfaccique : .....	127
IV-6-2-2-2-5-Température moyenne radiante (MRT) : .....	127
IV-7-Conclusion : .....	129

## **Chapitre V : L'eau et son effet sur le microclimat.**

V-1-Introduction : .....	132
V-2-Eau, symbolisme et religions : .....	132
V-2-1-Le culte de l'eau à travers les âges : .....	132
V-2-2-Le thermalisme romain : religion et hygiène : .....	133
V-2-3-L'eau des fontaines est sacrée : .....	133
V-2-4-L'eau et les premiers textes bibliques, le jardin d'Eden : .....	133
V-2-5-L'eau dans le Coran : .....	134
V-2-5-1-La purification : .....	135
V-2-5-2-Les lieux d'ablution : .....	135
V-2-5-3-L'eau dans les jardins du Paradis : .....	135
V-3-Caractéristique de l'eau : .....	136
V-3-1-Définition : .....	136
V-3-2-Le Cycle de l'eau : .....	137
V-3-2-1-L'évaporation : .....	138
V-3-2-2-Le principe de saturation et la pression de la vapeur d'eau : .....	139
V-3-3-1-Propriétés physiques : .....	140
V-3-3-1-1-La densité : .....	140
V-3-3-1-2-Propriétés thermiques : .....	140
V-3-3-1-3-La conductivité : .....	140
V-3-3-1-4-L'absorption de la lumière : .....	140
V-3-3-1-5-La viscosité : .....	140
V-3-3-2-Propriétés chimiques : .....	140
V-3-3-2-1-Le pH : .....	140
V-3-3-2-2-L'alcalinité : .....	140
V-4-L'eau comme solution microclimatique : .....	140
V-4-1-Impact d'une grande étendue d'eau : .....	141
V-4-2-Impact des sources ponctuelles d'eau : .....	143
V-5-L'architecture vernaculaire et l'eau : .....	143
V-6-L'eau et les techniques ancestrales de rafraichissement : .....	144
V-6-1-Les fontaines et bassins : .....	144
V-6-2-Le malqaf : .....	145
V-6-3-Les tours à vent : .....	146

V-6-4-Système combiné :.....	146
V-7-L'utilisation des techniques de rafraichissement de nos jours :.....	147
V-7-1-Les fontaines et jets d'eau :.....	148
V-7-2-Le ruissellement :.....	149
V-7-3-Les minis jets d'eau :.....	150
V-7-4- Les cascades :.....	150
V-8-Transferts de chaleur et diffusion entre l'eau et l'air :.....	152
V-8-1-Modélisation d'un bassin :.....	154
V-8-2-L'équation basique pour l'échange thermique air / eau :.....	155
V-9-Recherche effectuées sur le rôle microclimatique de l'eau :.....	156
V-9-1-Aménagements d'eau pour la création d'un microclimat urbaine confortable (1998) : ...	156
V-9-1-1-Description :.....	156
V-9-1-2-Résultats obtenus :.....	157
V-9-2-Modélisation de l'influence de la végétation et d'un bassin d'eau sur le microclimat urbain(2005) :.....	158
V-9-2-1-1-Cas d'étude :.....	159
V-9-2-1-2-Points de mesure :.....	160
V-9-2-2-1-Effets des divers aménagements sur les températures de surface :.....	160
V-9-2-2-2-Effets des divers aménagements sur la température de l'air :.....	161
V-9-2-2-3-Effets des divers aménagements sur l'humidité relative :.....	162
V-9-2-2-4-Effets des divers aménagements sur le confort thermique :.....	163
V-9-2-2-4-1-Pour la température de l'air :.....	164
V-9-2-2-4-2-Pour la vitesse du vent :.....	164
V-9-2-2-4-3-Pour le PMV :.....	165
V-10-Conclusion :.....	168

## **Chapitre VI : L'investigation.**

VI-1-Introduction :.....	170
VI-2-Présentation de la ville de Sétif :.....	171
VI-3-Les différents paramètres climatiques :.....	172
VI-3-1-La température :.....	172
VI-3-2-L'humidité relative :.....	172
VI-3-3-La vitesse des vents :.....	173
VI-3-4-Les précipitation :.....	173
VI-3-5-L'insolation :.....	174
VI-3-6-L'irradiation globale :.....	174
VI-3-7-Calcul de l'indice d'aridité de MARTONE :.....	175
VI-3-8-Diagramme ombrothermique de GAUSSEN :.....	175
VI-3-9-Quotient pluviométrique d'EMBERGER.....	176
VI-3-10-Conclusion :.....	177
VI-4-Motivation du choix du site :.....	178
VI-5-Présentation de la place de Ain El Fouara :.....	179
VI-5-1-La forme :.....	179
VI-5-3-Les avantages de la place :.....	182
VI-6- Interprétation et analyse des mesures In-situ.....	183
VI-6-1-Introduction :.....	183
VI-6-2-La campagne de mesure :.....	184
VI-6-2-1-Les appareils de mesures :.....	184
VI-6-2-1-1-Thermo-hygromètre :.....	184
VI-6-2-1-2-Appareil multi mesure Thermotech :.....	185

VI-6-2-1-3-Thermo-anémomètre avec sonde Testo 425 : .....	185
VI-6-2-2-Choix des points de mesure : .....	186
VI-6-2-3-Station météorologique de référence : .....	187
VI-6-2-4-Interprétations des données enregistrées : .....	187
VI-6-2-4-1-Interprétations pour chaque station : .....	187
VI-6-2-4-1-1-Station S1 : .....	187
VI-6-2-4-1-2-Station S2 : .....	189
VI-6-2-4-1-3-Station S3 : .....	190
VI-6-2-4-1-4-Station S4 : .....	191
VI-6-2-4-1-5-Station météo d'Essfiha : .....	192
VI-6-2-4-2-Comparaison des différents paramètres climatiques mesurés des 04 stations sur terrain : .....	193
VI-6-2-4-2-1-La température : .....	193
VI-6-2-4-2-2-L'humidité : .....	196
VI-6-2-4-2-3-Vitesse des vents : .....	198
VI-6-2-4-3-Comparaison des différents paramètres climatiques mesurés et ceux de la station météo : .....	199
VI-6-2-4-3-1-La température : .....	199
VI-6-2-4-3-2- L'humidité : .....	202
VI-6-2-4-3-3-Vitesse des vents : .....	203
VI-6-2-5-Conclusion de la campagne de mesure : .....	204
VI-7-Le questionnaire : .....	206
VI-7-1-Introduction : .....	206
VI-7-2-L'échantillon : .....	206
VI-7-3-Le model du questionnaire : .....	207
VI-7-3-1-Observations : .....	207
VI-7-3-2-Questions d'ordre général : .....	207
VI-7-3-3-Questions relatives au confort : .....	208
VI-7-4-Discussion : .....	218
VI-7-5-Conclusion du questionnaire : .....	220
VI-8-Conclusion : .....	221

## **Chapitre VII : La simulation.**

VII-1-Introduction : .....	224
VII-2-Présentation du logiciel ENVI-met : .....	225
VII-3-Présentation des cinq scenarios : .....	225
VII-3-1-Scenario N° 1 : .....	225
VII-3-2-Scenario N° 2 : .....	226
VII-3-3-Scenario N° 3 : .....	227
VII-3-4-Scenario N° 4 : .....	227
VII-3-5-Scenario N° 5 : .....	228
VII-4-Présentation du logiciel PsychComfort.xls : .....	229
VII-5-Interprétation des résultats obtenus : .....	231
VII-5-1-Comparaison entre les valeurs mesurées In-situ et les valeurs simulées : .....	231
VII-5-1-1-La Température : .....	231
VII-5-1-2-L'humidité : .....	232
VII-5-1-3-Le vent : .....	234
VII-5-1-4-Déduction générale : .....	236
VII-5-2-Interprétation des valeurs simulées pour chaque scenario : .....	236
VII-5-2-1-Température : .....	236

VII-5-2-1-1-Scenario 1 :	236
VII-5-2-1-2-Scenario 2 :	238
VII-5-2-1-3-Scenario 3 :	239
VII-5-2-1-4-Scenario 4 :	240
VII-5-2-1-5-Scenario 5 :	241
VII-5-2-2-Humidité :	243
VII-5-2-2-1-Scenario 1 :	243
VII-5-2-2-2-Scenario 2 :	244
VII-5-2-2-3-Scenario 3 :	245
VII-5-2-2-4-Scenario 4 :	246
VII-5-2-2-5-Scenario 5 :	248
VII-5-2-3-Vitesse des vents :	249
VII-5-2-3-1-Scenario 1 :	249
VII-5-2-3-2-Scenario 2 :	250
VII-5-2-3-3-Scenario 3 :	251
VII-5-2-3-4-Scenario 4 :	252
VII-5-2-3-5-Scenario 5 :	254
VII-5-2-4-Le PMV et le PPD :	255
VII-5-2-4-1-Scenario 1 :	255
VII-5-2-4-2-Scenario 2 :	257
VII-5-2-4-3-Scenario 3 :	260
VII-5-2-4-4-Scenario 4 :	263
VII-5-2-4-5-Scenario 5 :	265
VII-5-2-5-Discussion :	269
VII-5-2-Effets des divers aménagements sur les paramètres relatifs au confort dans la place ...	270
VII-5-2-1-Effets des divers aménagements sur la température de l'air :	270
VII-5-2-1-1-Pour la station S1 :	270
VII-5-2-1-2-Pour la station S2 :	271
VII-5-2-1-3-Pour la station S3 :	273
VII-5-2-1-4-Pour la station S4 :	274
VII-5-2-2-Effets des divers aménagements sur l'humidité relative de l'air :	275
VII-5-2-2-1-Pour la station S1 :	275
VII-5-2-2-2-Pour la station S2 :	277
VII-5-2-2-3-Pour la station S3 :	278
VII-5-2-2-4-Pour la station S4 :	279
VII-5-2-3-Effets des divers aménagements sur le PMV et le PPD :	281
VII-5-2-3-1-Pour la station S1 :	281
VII-5-2-3-2-Pour la station S2 :	284
VII-5-2-3-3-Pour la station S3 :	286
VII-5-2-3-4-Pour la station S4 :	289
VII-5-2-4-Discussion des écarts :	292
VII-6-Conclusion :	294
Conclusion générale et recommandations :	297
Annexes :	310
Bibliographie :	334
Résumé :	340

# Liste des figures

## Chapitre I : La place publique.

FIG.I.1 : La définition de la place selon Canter..	10
FIG.I.2 : La place Royale : la place des Vosges.....	13
FIG.I.3 : Les places d'arme de la Roche-Sur-Yon.....	13
FIG.I.4 : La place grecque (l'agora).....	15
FIG.I.5 : La place grecque : L'agora. ....	16
FIG.I.6 : Le forum Romain.....	17
FIG.I.7 : Les forums impériaux à Rome.....	17
FIG.I.8 : La place de l'église Notre Dame de Paris.....	18
FIG.I.9 : La place st Marc à Venise, Italie .....	19
FIG.I.10 : La place du Capitole à Rome, Italie.....	19
FIG.I.11 : square Napoleon III à Toulouse.....	20
FIG.I.12 : l'esplanade du champ de Mars à Paris. ....	20
FIG.I.13 : la place des Trois Pouvoirs à Brasilia, Brésil. ....	21
FIG.I.14 : A. Mail, la Grand-Place, Cergy ; B. Place du marché ; C. Fontaine Yagam, la défense ; D. Sculpture à Chanteloup, l. Aillaud et Rieti. ....	22
FIG.I.15 : La place du Rockefeller Center à New York, Etats-Unis.....	22
FIG.I.16 : Les différents enjeux d'un espace public.....	24
FIG.I.17 : Types d'espaces et combinaisons.....	26
FIG.I.18 : La relation entre les activités extérieures et la qualité de l'environnement physique. ....	30
FIG.I.19 : Les critères détaillés de la qualité de l'environnement physique. ....	31
FIG.I.20 : Éléments constitutifs des ambiances. ....	37

## Chapitre II : Le microclimat.

FIG.II.1 : Température des eaux de surface au large de la cote Est des Etats unies : le Gulf Stream	45
FIG.II.2 : L'influence de l'inertie thermique des grandes masses d'eau.....	46
FIG.II.3 : Variation des températures suivant la situation dans le relief. ....	47
FIG.II.4 : Influence du relief. ....	47
FIG.II.5 : Ombrage par une treille.....	48
FIG.II.6 : La végétation se distingue des autres protections par son aspect saisonnier.....	49
FIG.II.7 : Détermination de l'effet de masquage du soleil par projection cylindrique et stéréographique.....	50
FIG.II.8 : Les apports solaires d'un bâtiment peuvent changer selon la composition de ses parois. .	51
FIG.II.9 : Processus urbain de pollution de l'air. ....	54
FIG.II.10 : Quelques Albédos de certaines surfaces de recouvrements dans une ville.....	55
FIG.II.11 : Les effets du vent en milieu urbain. ....	57
FIG.II.12 : Les paramètres influençant la température urbaine.....	58

## Chapitre III : Le confort dans les espaces extérieurs.

FIG.III.1 : Conditions de confort pour un piéton au soleil d'après Penwarden .....	70
FIG.III.2 : Conditions de confort pour un piéton à l'ombre d'après Penwarden .....	70
FIG.III.3 : Correspondance entre le PMV et le PPD.....	76

## Chapitre IV : La végétation et son effet sur le microclimat.

FIG.IV.1 : Vision symbolique de l'arbre.....	82
FIG.IV.2 : Un arbre à différentes saisons.....	84
FIG.IV.3 : Dimensions de neufs arbres communs.....	86
FIG.IV.4 : Modification de l'espace grâce à l'espacement entre les arbres. ....	87
FIG.IV.5 : Modification de l'espace grâce à la forme des arbres. ....	87
FIG.IV.6 : Les végétaux couvrants.....	90
FIG.IV.7 : Les arbres d'alignement.....	91
FIG.IV.8.1. Bilan de photosynthèse de jeunes plans d'épicéas rouge. ....	91
2. Transpiration de jeunes plantes d'épicéas rouge.....	91
FIG.IV.9 : L'arbre un système fonctionnel. ....	92
FIG.IV.10 : confort lumineux et effet tampon du végétal.....	94
FIG.IV.11 : Effet de refroidissement par évapotranspiration en fonction du taux de surfaces évapotranspirantes dans la ville.....	95
FIG.IV.12 : Modification des transferts de chaleur autour d'un arbre.....	98
FIG.IV.13 : Zones végétales isothermes : isothermes 27, 28 et 29°C.....	100
FIG.IV.14 : Section schématique d'une portion de feuille.....	103
FIG.IV.15 : Evaporation et évapotranspiration potentielle et réelle.....	105
FIG.IV.16 : Place de l'eau du sol dans le cycle de l'eau.....	105
FIG.IV.17 : Comparaison des profils verticaux de la température d'air entre une rue avec arbres d'alignement et deux rues sans arbres.....	107
FIG.IV.18 : L'effet de la pelouse sur la température.....	108
FIG.IV.20 : Transmission solaire.....	110
FIG.IV.21 : Modification des échanges radiatifs.....	112
FIG.IV.22 : Effet de brise vent : distance de protection.....	115
FIG.IV.23 : Protection des espaces extérieurs par la végétation.....	116
FIG.IV.24 : Les mesures effectuées dans le CBP.....	117
FIG.IV.25 : Comparaison des températures moyennes de l'air (°C) obtenu à différents endroits ... sur une période de 20 jours.....	117
FIG.IV.26 : Les trois rues à Tuas en zone industrielle :(a) Tuas Ave 2 (b) Tuas Ave 8 (c) Tuas South Street 3.....	118
FIG.IV.27 : Comparaison des températures moyennes de l'air mesurées dans les trois rues plus en 26 jours.....	119
FIG.IV.28 : Comparaison des températures moyennes obtenues aux trois rues sur un jour clair....	119
FIG.IV.29 : Mesures sur façade ouest et sur le toit (Gauche: façade à l'ombre ;droite :jardin sur le toit).....	120
FIG.IV.30 : Une comparaison des variations de température de surface avec et sans arbres d'ombrage sur la façade ouest, sur une période de 50 jours.. ....	120
FIG.IV.31 : Comparaison du rayonnement solaire et la température de surface mesurée avec et sans arbres d'ombrage sur la façade ouest, par temps clair.. ....	121
FIG.IV.32 : a) la vie de rue dans la zone claire (photos du square, à gauche, et de la rue canyon, à droite). b) L'équipement de mesure utilisés dans le canyon urbain. ....	123
FIG.IV.33 : Localisation des trois points de mesure dans la zone de Luz. Point 1 = parc, point 2 et Canyon point = 3 = carré.....	124
FIG.IV.34 : Photos hémisphérique de la vue du ciel prise avec un Nikon 4500 équipé d'un objectif fish eye à 180 ° pour un parc (1), Canyon (2) et de la place d'ouverture (3).....	124
FIG.IV.35 : a) température de l'air pour le parc, la place, et le canyon.....	125
b) humidité relative et absolue pour le parc, la place publique et le canyon.....	125
FIG.IV.36 : Comparaison entre la température mesurée et simulée de l'air pour la rue canyon.....	126

FIG.IV.37 : a) la température de l'air simulé pour le canyon de la rue sans arbres, avec des arbres ayant un couvert de haute densité et avec des arbres ayant un couvert de faible densité.	126
b) température de surface simulée de la rue sans arbre, une rue à feuillage des arbres de haute densité et une rue avec une canopée à faible densité d'arbres. ....	126
FIG.IV.38 : MRT simulée dans la rue sans arbre, avec couvert à haute densité et la rue avec couvert de faible densité. ....	128
FIG.IV.39 : PET simulées pour la rue sans arbres, rue avec haute densité du couvert et rue avec haute faible du couvert. ....	129

## Chapitre V : L'eau et son effet sur le microclimat.

FIG.V.1 : Géométrie de la molécule d'eau. ....	136
FIG.V.2 : Les trois phases de l'eau. ....	137
FIG.V.3 : Le cycle de l'eau. ....	138
FIG.V.4 : Processus d'évaporation. ....	139
FIG.V.5 : Echanges thermiques entre la terre et la mer pendant les jours et la nuit. ....	142
FIG.V.6 : Patio d'une villa de la Casbah d'Alger avec une fontaine au milieu. ....	144
FIG.V.7 : Fontaine du palais de la Bahia (Maroc) ....	145
FIG.V.8 : Coupe schématique dan un malqaf. ....	146
FIG.V.9 : Coupe schématique du dôme et des tours à vent d'une citerne de Yedz, (Iran). ....	146
FIG.V.10 : Coupe schématique d'une tour à vent iranienne permettant le refroidissement de l'air à la fois par ventilation et par évaporation. ....	147
FIG.V.11 : Coupe schématique du système de refroidissement de la "Rotunda", EXPO'92, Séville, Espagne. ....	148
FIG.V.12 : Bassin avec jets à Séville ....	149
FIG.V.13 : Effet de ruissellement. ....	150
FIG.V.14 : Utilisation des minis jets d'eau au parc André Citroën Paris7. ....	150
FIG.V.15 : Cascade artificielle ....	151
FIG.V.16 : Humidification utilisés à Séville (Pavillon de la CE). ....	151
FIG.V.17 : Humidité relative et Température à différents niveaux du sol (0,5-1 et 1,5 m) ....	152
FIG.V.18 : Transferts thermiques d'un bassin. ....	153
FIG.V.19 : Représentation des échanges thermiques pour un bassin d'eau. ....	155
FIG.V.20 : Système d'eau utilisé. ....	157
FIG.V.21 : Système d'eau et points de mesure. ....	157
FIG.V.22 : Température et humidité de l'air sous le vent. ....	158
FIG.V.23 : Square Fleuriot à Nantes. ....	159
FIG.V.24 : Modélisation avec SOLENE du square Fleuriot à Nantes : a) avec bassin d'eau sans arbres, b) avec arbres sans bassin d'eau, c) avec bassin d'eau et arbres (situation actuelle). ....	160
FIG.V.25 : Position des points d'analyse (P1 à P6). ....	160
FIG.V.26 : Valeurs des températures de surface à 12 h. a) situation avec bassin d'eau (cas A), ....	161
b) situation avec arbres (cas B) ....	161
FIG.V.27 : Valeurs des températures de l'air dans le square Fleuriot à 1,5m du sol a) avec bassin, b) avec arbres, c) avec bassin d'eau et arbres. ....	162
FIG.V.28 : Valeurs de l'humidité relative de l'air à 1,5m du sol a) avec bassin, ....	162
b) avec arbres, c) avec bassin et arbres. ....	162
FIG.V.29 : Valeurs de l'humidité relative de l'air dans un plan vertical du square situation avec bassin d'eau, b) situation avec bassin d'eau et arbres. ....	163
FIG.V.30 : Profils de la température de l'air à une hauteur égale à 1,5 m pour les points P2 à P5 de la zone piétonnière. ....	164

FIG.V.31 : Profils de la vitesse de l'air à une hauteur égale à 1,5 m pour les points P2 à P5 de la zone piétonnière.....	165
FIG.V.32 : Valeurs de l'indice PMV à 1,5 m au-dessus du sol (en noir : zones qui ont une valeur de PMV comprise entre 0 et 1). a) situation avec bassin d'eau (cas A), b) situation avec arbres (cas B).....	166
FIG.V.33 : Valeurs de l'indice PMV à 1,5 m au-dessus du sol pour les points P2 à P5.....	167

## Chapitre VI : L'investigation.

FIG.VI.1 : Situation géographique de la ville de Sétif.....	171
FIG.VI.2 : Données descriptives des températures moyennes mensuelles en °C à Sétif.....	172
FIG.VI.3 : Données descriptives de l'humidité relative en (%) de ville de Sétif.Période 1995-2005.....	173
FIG.VI.4 : Moyenne mensuelle des vitesses de vent en (m/s) à Sétif entre 1995-2005.....	173
FIG.VI.5 : Précipitation annuelle entre 1995-2005 à Sétif.....	174
FIG.VI.6 : Moyenne mensuelle de l'insolation en heure à Sétif entre 1995-2005. ....	174
FIG.VI.7: Cartographie de l'irradiation globale simulée par ciel moyen pour les quatre saisons. ...	175
FIG.VI.8 : Diagramme ombrothermique de la ville de Sétif.....	176
FIG.VI.9 : Climagramme d'EMBERGER de la région de Sétif.....	177
FIG.VI.10 : Méthode de détermination des zones de confort de Steeve Szokolay pour la ville de Sétif.....	180
FIG.VI.11 : Diagramme psychrométrique de B.Givoni .....	181
FIG.VI.12 : Matrice des isothermes par mois et par heures de la wilaya de Sétif. ....	183
FIG.VI.13 : Superposition de la zone de surchauffe sur le diagramme polaire de la ville de Sétif. ....	183
FIG.VI.14 : Situation du site d'investigation : La place de Ain El Fouara. ....	184
FIG.VI.15 : Site d'investigation : La place de Ain El Fouara .....	185
FIG.VI.16 : profil Ouest de la place Ain El Fouara. ....	185
FIG.VI.17 : profil Est de la place Ain El Fouara.....	186
FIG.VI.18 : profil Sud de la place Ain El Fouara. ....	186
FIG.VI.19 : profil Nord de la place Ain El Fouara.....	186
FIG.VI.20 : Appareil multi mesure Thermotech. ....	189
FIG.VI.21 : thermo anémomètre avec sonde Testo 425.....	190
FIG.VI.22 : les 4 stations et leur répartition dans la place. ....	191
FIG.VI.23 : Localisation de la station météo par rapport au site d'investigation.....	191
FIG.VI.24 : Les trois paramètres enregistrés pour la station S1.....	193
FIG.VI.25 : Les trois paramètres enregistrés pour la station S2.....	194
FIG.VI.26 : Les trois paramètres enregistrés pour la station S3.....	195
FIG.VI.27 : Les trois paramètres enregistrés pour la station S4.....	196
FIG.VI.28 : Schématisation des couloirs d'air existant dans la place. ....	197
FIG.VI.29 : Résumé des trois paramètres pour Station météo d'Essfiha. ....	197
FIG.VI.30 : Comparaison des températures mesurées des 04 stations.....	198
FIG.VI.31 : Comparaison des humidités mesurées des 04 stations. ....	201
FIG.VI.32 : Comparaison des vitesses des vents mesurées des 04 stations.....	204
FIG.VI.33 : Comparaison de la température de la place et de celle ce la station météo .....	206
FIG.VI.34 : Comparaison de l'humidité de la place et de celle ce la station météo. ....	208
FIG.VI.35 : Comparaison de la vitesse du vent de la place et de celle ce la station météo. ....	208
FIG.VI.36 : Différentes catégories de groupe d'âge. ....	214
FIG.VI.37 : Statut des personnes questionnées. ....	215
FIG.VI.38 : Niveau éducationnel des personnes questionnées. ....	215
FIG.VI.39 : Sensation thermique ressentie par les sujets dans la place de Ain el Fouara.....	217
FIG.VI.40 : Différentes échelles de sensation de vent dans la place de Ain el Fouara.....	218

FIG.VI.41 : Sensation d'humidité ressentie par sujets dans la place de Ain el Fouara.....	218
FIG.VI.42 : Sensation de confort ressentie par sujets dans la place de Ain el Fouara.....	219
FIG.VI.43 : Réponses des sujets vis-à-vis du confort lumineux dans la place de Ain el Fouara.....	219
FIG.VI.44 : Réponses des sujets vis-à-vis du confort sonore dans la place de Ain el Fouara.....	220
FIG.VI.45 : Fréquences d'utilisation de la place Ain El Fouara par les sujets.....	221
FIG.VI.46 : Réponses des sujets concernant le rajout de végétation dans la place de Ain el Fouara.....	222
FIG.VI.47 : Les réponses concernant l'apport de bien-être à la vue de l'écoulement de l'eau.....	222
FIG.VI.48 : Réponses des sujets concernant le rajout d'objets d'eau dans la place de Ain el Fouara.....	223

## Chapitre VII : La simulation.

FIG.VII.1 : Fichier d'entrée de la zone étudiée (.IN) pour le premier scenario.....	231
FIG.VII.2 : Fichier d'entrée de la zone étudiée (.IN) pour le deuxième scenario.....	232
FIG.VII.3 : Fichier d'entrée de la zone étudiée (.IN) pour le troisième scenario.....	233
FIG.VII.4 : Fichier d'entrée de la zone étudiée (.IN) pour le quatrième scenario.....	233
FIG.VII.5 : Fichier d'entrée de la zone étudiée (.IN) pour le quatrième scenario.....	234
FIG.VII.6 : aperçu sur l'interface du logiciel PsychComfort.xls.....	235
FIG.VII.7 : Comparaison entre les températures mesurées et celles simulées.....	237
FIG.VII.8 : Comparaison entre les humidités relatives mesurées et celles simulées.....	239
FIG.VII.9 : Comparaison entre les vitesses des vents mesurées et celles simulées.....	240
FIG.VII.10 : Températures enregistrées aux abords des quatre stations lors du 1er scenario.....	242
FIG.VII.11 : Températures enregistrées aux abords des quatre stations lors du 2eme scenario.....	244
FIG.VII.12 : Températures enregistrées aux abords des quatre stations lors du 3eme scenario.....	245
FIG.VII.13 : Températures enregistrées aux abords des quatre stations lors du 4eme scenario.....	246
FIG.VII.14 : Températures enregistrées aux abords des quatre stations lors du 5eme scenario.....	247
FIG.VII.15 : Humidités relatives enregistrées aux abords des quatre stations lors du 1er scenario.....	248
FIG.VII.16 : Humidités relatives enregistrées aux abords des quatre stations lors du 1er scenario.....	250
FIG.VII.17 : Humidités relatives enregistrées aux abords des quatre stations lors du 3eme scenario.....	251
FIG.VII.18 : Humidités relatives enregistrées aux abords des quatre stations lors du 4eme scenario.....	252
FIG.VII.19 : Humidités relatives enregistrées aux abords des quatre stations lors du 5eme scenario.....	253
FIG.VII.20 : Vitesses des vents enregistrés aux abords des quatre stations lors du 1er scenario.....	254
FIG.VII.21 : Vitesses des vents enregistrés aux abords des quatre stations lors du 2eme scenario.....	256
FIG.VII.22 : Vitesses des vents enregistrés aux abords des quatre stations lors du 3eme scenario.....	257
FIG.VII.23 : Vitesses des vents enregistrés aux abords des quatre stations lors du 4eme scenario.....	258
FIG.VII.24 : Vitesses des vents enregistrés aux abords des quatre stations lors du 5eme scenario.....	259
FIG.VII.25 : Valeurs de PMV enregistrées aux abords des quatre stations lors du 1er scenario.....	261
FIG.VII.26 : Valeurs de PPD enregistrées aux abords des quatre stations lors du 1er scenario.....	262
FIG.VII.27 : Valeurs de PMV enregistrées aux abords des quatre stations lors du 2eme scenario.....	264
FIG.VII.28 : Valeurs de PPD enregistrées aux abords des quatre stations lors du 2eme scenario.....	265
FIG.VII.29 : Valeurs de PMV enregistrées aux abords des quatre stations lors du 3eme scenario.....	267
FIG.VII.30 : Valeurs de PPD enregistrées aux abords des quatre stations lors du 3eme scenario.....	268
FIG.VII.31 : Valeurs de PMV enregistrées aux abords des quatre stations lors du 4eme scenario.....	269
FIG.VII.32 : Valeurs de PPD enregistrées aux abords des quatre stations lors du 4eme scenario.....	270
FIG.VII.33 : Valeurs de PMV enregistrées aux abords des quatre stations lors du 5eme scenario.....	272
FIG.VII.34 : Valeurs de PPD enregistrées aux abords des quatre stations lors du 5eme scenario.....	273
FIG.VII.35 : Comparaison entre les valeurs de température enregistrées dans le 1er et 5eme scenario aux abords de la station S1.....	276
FIG.VII.36 : Comparaison entre les valeurs de température enregistrées dans le 1er et 5eme scenario aux abords de la station S2.....	277
FIG.VII.37 : Comparaison entre les valeurs de température enregistrées dans le 1er et 5eme	

scenario aux abords de la station S3.....	278
FIG.VII.38 : Comparaison entre les valeurs de température enregistrées dans le 1er et 5eme scenario aux abords de la station S4.....	280
FIG.VII.39 : Comparaison entre les valeurs d’humidité enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S1. ....	281
FIG.VII.40 : Comparaison entre les valeurs d’humidité enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S2. ....	283
FIG.VII.41 : Comparaison entre les valeurs d’humidité enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S3.. ....	284
FIG.VII.42 : Comparaison entre les valeurs d’humidité enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S4. ....	285
FIG.VII.43 : Comparaison entre les valeurs de PMV enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S1. ....	287
FIG.VII.44 : Comparaison entre les valeurs de PPD enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S1.....	288
FIG.VII.45 : Comparaison entre les valeurs de PMV enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S2. ....	290
FIG.VII.46 : Comparaison entre les valeurs de PPD enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S2. ....	291
FIG.VII.47 : Comparaison entre les valeurs de PMV enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S3. ....	292
FIG.VII.48 : Comparaison entre les valeurs de PPD enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S3.....	294
FIG.VII.49 : Comparaison entre les valeurs de PMV enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S4. ....	295
FIG.VII.50 : Comparaison entre les valeurs de PPD enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S4.....	296

## Annexes

FIG.A.1 : Le Peuplier, arbre et feuilles. ....	313
FIG.A.2 : Le micocoulier, arbre et feuilles.....	313
FIG.A.3 : Le trône du Japon, arbre et feuilles. ....	314
FIG.A.3 : Arbres presentes dans la place de Ain El Fouara. ....	315
FIG.A.4 : Fichier de configuration (.CF) utilisé lors de la simulation. ....	316
FIG.A.5 :Exemple de fichier d'entrée de la zone étudiée (.IN) ....	317
FIG.A.6 : Fichier de sortie (.1DR) de l’un des récepteurs atmosphériques. ....	319
FIG.A.7 : diagramme psychométrique, pour un point au niveau de la mer. ....	320
FIG.A.8 : aperçu sur l’interface du logiciel Vaisala Humidity Calculator 2.1.....	321
FIG.A.9 : Comparaison entre les températures mesurées In-situ et les valeurs simulées pour la station S1. ....	322
FIG.A.10 : Comparaison entre les températures mesurées In-situ et les valeurs simulées pour la station S2. ....	322
FIG.A.11 : Comparaison entre les températures mesurées In-situ et les valeurs simulées pour la station S3. ....	323
FIG.A.12 : Comparaison entre les températures mesurées In-situ et les valeurs simulées pour la station S4. ....	323
FIG.A.14 : Comparaison entre les humidités relatives mesurées In-situ et les valeurs simulées pour la station S1. ....	324
FIG.A.15 : Comparaison entre les humidités relatives mesurées In-situ et les valeurs simulées pour	

la station S2. ....	324
FIG.A.16 : Comparaison entre les humidités relatives mesurées In-situ et les valeurs simulées pour la station S3. ....	325
FIG.A.17 : Comparaison entre les humidités relatives mesurées In-situ et les valeurs simulées pour la station S4. ....	325
FIG.A.18 : Comparaison entre les vitesses des vents relatives mesurées In-situ et les valeurs simulées pour la station S1. ....	326
FIG.A.19 : Comparaison entre les vitesses des vents relatives mesurées In-situ et les valeurs simulées pour la station S2. ....	326
FIG.A.20 : Comparaison entre les vitesses des vents relatives mesurées In-situ et les valeurs simulées pour la station S3. ....	327
FIG.A.21 : Comparaison entre les vitesses des vents relatives mesurées In-situ et les valeurs simulées pour la station S4. ....	327
FIG.A.22 : Comparaison entre les températures mesurées In-situ et les valeurs simulées pour la station S4. ....	328
FIG.A.23 : Comparaison entre les humidités relatives mesurées In-situ et les valeurs simulées ... pour la station S1 ....	328
FIG.A.24 : Parc André Citroën. Paris, France. ....	329
FIG.A.25 : Parc Diderot. Courbevoie, France. ....	329
FIG.A.26 : Place Sainte Cécile. Albi, France. ....	330
FIG.A.27 : Rond-point de l'Europe. La Garenne-Colombes, France. ....	330
FIG.A.28 : The Mall -Cribbs Causeway. Bristol, Royaume-Uni ....	331
FIG.A.29 : Place de Verdun. Tarbes, France. ....	331
FIG.A.30 : Parc de Bercy. Paris, France ....	332
FIG.A.31 : Place Rapp. Colmar, France. ....	332
FIG.A.32 : Place de la Liberté. Lons-le-Saulnier, France. ....	333
FIG.A.33 : Rueil 2000. Rueil-Malmaison, France. ....	333
FIG.A.34 : Avenue Marx Dormoy. Montluçon, France. ....	334
FIG.A.35 : Place de l'Eau. Le Blanc-Mesnil, France. ....	334
FIG.A.36 : Crown Fountain. Millenium Park. Chicago, États-Unis. ....	335
FIG.A.37 : Place du Nombre d'Or. Montpellier, France. ....	335

## *Liste des tableaux.*

### **Chapitre II : Le microclimat.**

Tableau .II.1 : Facteurs environnementaux définissant les différentes échelles du climat. ....	42
Tableau .II.2 : différentes étendues de l'échelle climatique.....	43
Tableau.II.3 : Effets de la ville sur les variables climatologiques, cas d'une ville de 1 million d'habitants, en latitude moyenne.....	59

### **Chapitre III : Le confort dans les espaces extérieurs.**

Tableau.III.1 : Température perçue et stress thermique .....	72
Tableau.III.2 : Exemples de valeurs de l'indice PET pour différents scénarios .....	73
Tableau.III.3 : Domaine de l'indice de confort thermique PET pour différentes catégories de la perception thermique des êtres humains. Production de chaleur interne : 80 W, résistance de transfert thermique de vêtements : 0,9 clo.....	73
Tableau.III.4 : Echelle de Beaufort .....	77
Tableau.III.5 : Fréquence de nuisance liée à l'activité .....	78

### **Chapitre IV : La végétation et son effet sur le microclimat.**

Tableau .IV.1 : Relations urbanisme-végétation. ....	89
Tableau .IV.2 : Valeur maximale de la différence de température (ville-parc), ainsi que la distance d'influence dans diverses villes et selon diverses sources, (Source : Upmanis et al.).....	99
Tableau .IV.3: Température de surface obtenue par thermographie de divers éléments de la. ville de Stuttgart en juin 1976. ....	102
Tableau .IV.4 : Hauteurs d'eau annuelles échangées par évaporation.....	104
Tableau .IV.5 : Écart entre température de surface des feuilles et température d'air .....	107
à différentes heures de la journée .....	107
Tableau .IV.6 : Espèces et transmission du rayonnement solaire. ....	112
Tableau .IV.7 : Sommaire des résultats obtenus à partir des mesures déposées et les simulations. ....	122

### **Chapitre VI : L'investigation.**

Tableau.VI.1 : Les trois paramètres enregistrés pour la station S1. ....	188
Tableau.VI.2 : Les trois paramètres enregistrés pour la station S2. ....	189
Tableau.VI.3 : Les trois paramètres enregistrés pour la station S3. ....	190
Tableau.VI.4 : Les trois paramètres enregistrés pour la station S4. ....	191
Tableau.VI.5 : Résumé des trois paramètres pour la station météo d'Essfiha. ....	192
Tableau.VI.6 : Résumé des températures mesurées des 04 stations.....	193
Tableau.VI.7 : Comparaison des humidités mesurées des 04 stations. ....	196
Tableau.VI.8 : Comparaison des vitesses des vents mesurées des 04 stations.....	198
Tableau.VI.9 : Comparaison de la température de la place et de celle de la station météo.....	200
Tableau .VI.10 : Comparaison de l'humidité de la place et de celle de la station météo. ....	202
Tableau .VI.11 : Comparaison de la vitesse du vent de la place et de celle de la station météo. ....	203

## Chapitre VII : La simulation.

Tableau VII-1 : Comparaison entre les températures mesurées et celles simulées.....	232
Tableau VII.2 : Comparaison entre les humidités relatives mesurées et celles simulées.....	234
Tableau VII.3 : Comparaison entre les vitesses des vents relatives mesurées et celles simulées. ....	235
Tableau VII.4 : Températures enregistrées aux abords des quatre stations lors du 1er scenario. ....	237
Tableau.VII.5 : Températures enregistrées aux abords des quatre stations lors du 2eme scenario..	239
Tableau.VII.6 : Températures enregistrées aux abords des quatre stations lors du 3emer scenario	240
Tableau.VII.7 : Températures enregistrées aux abords des quatre stations lors du 4eme scenario..	241
Tableau.VII.8 : Températures enregistrées aux abords des quatre stations lors du 5eme scenario..	242
Tableau.VII.9: Humidités relatives enregistrées aux abords des quatre stations lors du 1er scenario.....	244
Tableau.VII.10 : Humidités relatives enregistrées aux abords des quatre stations lors du 2eme scenario.....	245
Tableau.VII.11 : Humidités relatives enregistrées aux abords des quatre stations lors du 1er scenario.....	246
Tableau.VII.12 : Humidités relatives enregistrées aux abords des quatre stations lors du 1er scenario.....	247
Tableau.VII.13 : Humidités relatives enregistrées aux abords des quatre stations lors du 1er scenario.....	248
Tableau.VII.14 : Vitesses du vents enregistrées aux abords des quatre stations lors du 1er scenario.....	250
Tableau.VII.15 : Vitesses du vents enregistrées aux abords des quatre stations lors du 2eme scenario.....	251
Tableau.VII.16 : Vitesses du vents enregistrées aux abords des quatre stations lors du 3eme scenario.....	252
Tableau.VII.17 : Vitesses du vents enregistrées aux abords des quatre stations lors du 4eme scenario.....	253
Tableau.VII.18 : Vitesses du vents enregistrées aux abords des quatre stations lors du 5eme scenario.....	254
Tableau.VII.19 : Valeurs de PMV enregistrées aux abords des quatre stations lors du 1er scenario.....	256
Tableau.VII.20 : Valeurs de PPD enregistrées aux abords des quatre stations lors du 1er scenario.....	257
Tableau.VII.21 : Valeurs de PMV enregistrées aux abords des quatre stations lors du 2eme scenario.....	259
Tableau.VII.22 : Valeurs de PPD enregistrées aux abords des quatre stations lors du 2eme scenario.....	260
Tableau.VII.23 : Valeurs de PMV enregistrées aux abords des quatre stations lors du 3eme scenario.....	262
Tableau.VII.24: Valeurs de PPD enregistrées aux abords des quatre stations lors du 3eme scenario.....	263
Tableau.VII.25 : Valeurs de PMV enregistrées aux abords des quatre stations lors du 4eme scenario.....	264
Tableau.VII.26 : Valeurs de PPD enregistrées aux abords des quatre stations lors du 4eme scenario.....	265
Tableau.VII.27 : Valeurs de PMV enregistrées aux abords des quatre stations lors du 5eme scenario.....	267
Tableau.VII.28 : Valeurs de PPD enregistrées aux abords des quatre stations lors du 5eme scenario.....	268

Tableau.VII.29 : Comparaison entre les valeurs de température enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S1. ....	271
Tableau.VII.30 : Comparaison entre les valeurs de température enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S2. ....	272
Tableau.VII.31: Comparaison entre les valeurs de température enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S3. ....	274
Tableau.VII.32 : Comparaison entre les valeurs de température enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S4. ....	275
Tableau.VII.33 : Comparaison entre les valeurs d’humidité enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S1. ....	276
Tableau.VII.34 : Comparaison entre les valeurs d’humidité enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S2. ....	278
Tableau.VII.35 : Comparaison entre les valeurs d’humidité enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S3. ....	279
Tableau.VII.36 : Comparaison entre les valeurs d’humidité enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S4. ....	280
Tableau.VII.37 : Comparaison entre les valeurs de PMV enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S1. ....	282
Tableau.VII.38 : Comparaison entre les valeurs de PPD enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S1. ....	283
Tableau.VII.39 : Comparaison entre les valeurs de PMV enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S2. ....	285
Tableau.VII. 40 : Comparaison entre les valeurs de PPD enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S2. ....	286
Tableau.VII. 41 : Comparaison entre les valeurs de PMV enregistrées dans le 1 <sup>er</sup> et 5eme Scenario aux abords de la station S3. ....	288
Tableau.VII.42 : Comparaison entre les valeurs de PPD enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S3. ....	289
Tableau.VII. 43 : Comparaison entre les valeurs de PMV enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S4. ....	290
Tableau.VII.44 : Comparaison entre les valeurs de PPD enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S4. ....	292

## **Annexes**

Tableau.A.1 : Données descriptives des températures moyennes mensuelles en °C à Sétif entre 1996-2005 .....	306
Tableau.A.2 : Données descriptives de l’humidité relative (%) de ville de Sétif.....	306
Tableau.A.3 : Moyenne mensuelle des vitesses de vent à Sétif entre 1995-2005.....	306
Tableau.A.4 : Précipitation annuelle entre 1995-2005 à Sétif.....	307
Tableau.A.5 : Moyenne mensuelle de l’insolation à Sétif entre 1995-2005 .....	307

# Nomenclatures

<i>a</i>	: Albédo (-)	
<i>C</i>	: Quantité d'eau produite par la combustion et le métabolisme.	
<i>CLA</i>	: Couche Limite Atmosphérique	
<i>CLO</i>	: Courte longueur d'onde	
<i>CLU</i>	: Couche Limite Urbaine	
<i>CLS</i>	: Couche Limite de Surface	
<i>c<sub>p</sub></i>	: Chaleur massique à pression constante	(J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
<i>CU</i>	: Canopée Urbaine	
<i>cond</i>	: Conduction	
<i>conv</i>	: Convection	
<i>Dr</i>	: Eau évacuée par ruissellement.	(mm)
<i>Df</i>	: Eau stockée dans le sol et les plans d'eau.	
<i>evap</i>	: Évaporation	
<i>E</i>	: Débit d'eau évaporée	(kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )
<i>EP</i>	: Évaporation potentielle	(kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )
<i>EP*</i>	: Évaporation potentielle théorique	(kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )
<i>ET</i>	: Évapotranspiration	(kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )
<i>ETP<sub>c</sub></i>	: Évapotranspiration potentielle climatique	(kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )
<i>ETR</i>	: Évapotranspiration réelle	(kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )
<i>ETR<sub>m</sub></i>	: Évapotranspiration réelle maximale	(kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )
<i>F<sub>eff</sub></i>	: Facteur de surface effective de rayonnement	
<i>GLO</i>	: Grande longueur d'onde	
<i>h</i>	: Hauteur	m)
<i>H</i>	: Hauteur du soleil	(°)
<i>Im</i>	: indice d'aridité.	
<i>h<sub>c</sub></i>	: Coefficient d'échange convectif	(W m <sup>-2</sup> °C <sup>-1</sup> )
<i>h<sub>e</sub></i>	: Coefficient d'évaporation	(W m <sup>-2</sup> Pa <sup>-1</sup> )
<i>HR</i>	: Humidité relative	(%)
<i>I</i>	: Rayonnement solaire direct reçu normalement à la direction des rayons	(Wm <sup>-2</sup> )
<i>ICT</i>	: Indice de contrainte thermique (ITS)	
<i>J</i>	: Radiosité	(W m <sup>-2</sup> )

$J_{f,evap}$	: Flux d'évaporation	(kg kg <sup>-1</sup> m s <sup>-1</sup> )
$J_{f,trans}$	: Flux de transpiration	(kg kg <sup>-1</sup> m s <sup>-1</sup> )
$L$	: Épaisseur de la couche d'eau	(m)
$LAD$	: Densité foliaire totale	(m <sup>2</sup> m <sup>-3</sup> )
$LAI$	: Indice foliaire	(m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> )
$LE$	: Densité de flux de chaleur latente	(Wm <sup>-2</sup> )
$M$	: Métabolisme, (met)	(Wm <sup>-2</sup> )
$max$	: Maximum	
$min$	: Minimum	
$MRT$	: Température moyenne radiante	(°C)
$P$	: Précipitations	(mm)
$p_a$	: Pression de l'air	(Pa)
$PET$	: Température physiologique équivalent	(°C)
$PMV$	: Vote moyen prévisible	
$PPD$	: Pourcentage prévisible d'insatisfait	(%)
$p_{vsat}, p_v$	: Pression saturante de vapeur d'eau et pression de vapeur dans l'air	(Pa)
$Q2$	: Quotient pluviométrique d'EMBERGER	
$q$	: Humidité spécifique	(kg kg <sup>-1</sup> )
$q_a$	: Humidité spécifique de l'air	(kg kg <sup>-1</sup> )
$q_{sat}$	: Humidité spécifique saturante	(kg kg <sup>-1</sup> )
$R_d$	: Rayonnement solaire direct	(Wm <sup>-2</sup> )
$R_D$	: Rayonnement solaire diffus	(Wm <sup>-2</sup> )
$R_g$	: Rayonnement global	(W m <sup>-2</sup> )
$R_n$	: Rayonnement net	(Wm <sup>-2</sup> )
$R_{GLO}$	: Rayonnement de grande longueur d'onde	(W m <sup>-2</sup> )
$S$	: Surface	(m <sup>2</sup> )
$SVF$	: Sky view factor	
$T$	: Température	(°C)
$t$	: Temps	(s)
$T_a$	: Température de l'air ambiant	(°C)
$TE$	: Température effective (ET)	(°C)
$TE^*$	: Nouvelle température effective (ET*)	(°C)
$TES^*$	: Nouvelle température effective standardisée (SET*)	
$T_f$	: Température de la feuille	(°C)

$T_{mrt}$	: Température radiante moyenne	(°C)
$T_s$	: Température de surface	(°C)
UV	: Ultra Violet	
$u, v, w$	: Composantes de la vitesse du vent	(m.s-1)
V	: Volume molaire	(m <sup>3</sup> .mol-1)
$V_{vent}$	: Vitesse du vent	(m.s-1)
$x, y, z$	: Coordonnées spatiales	(m)
$\varphi_{conv}$	: Densité de flux convectif	(W.m-2)
$\varphi_{cond}$	: Densité de flux conductif	(W.m-2)
$\varphi_{evap}$	: Densité de flux évaporatif (LE)	(W.m-2)
$\varphi_{GLO}$	: Densité de flux par rayonnement GLO	(W.m-2)
$\varphi_{res}$	: Densité de flux lors de la respiration	(W.m-2)
$\varphi_{CLO}$	: Densité de flux par rayonnement CLO	(W.m-2)
$\varphi_{trans}$	: Densité de flux de rayonnement transmis	(W.m-2)
$\rho$	: Masse volumique de l'air	(kg m-3)
$\varepsilon_{ext}$	: Émissivité de la surface extérieure	
$\phi$	: Densité de flux de chaleur	(W m-2)
$\lambda$	: Conductivité thermique	(W m-1°C -1)
$\theta$	: Angle	(°)

# **Introduction générale**

## **1-Introduction :**

L'intervention de l'homme sur le sol a des conséquences immédiates sur le climat et la qualité de l'air, et par conséquent sur le confort des populations, surtout dans les villes à forte densité urbaine.

Dans des situations extrêmes, par exemple dans un milieu très bâti ces changements surviennent jusqu'à des centaines de mètres au-dessus du sol et donnent lieu à des variations climatiques distinctes.

L'influence du climat sur la santé et sur la plupart des activités humaines est plus qu'évidente, tandis qu'il est lui-même affecté par les activités humaines d'abord au niveau local, mais aussi à une échelle de plus en plus étendue.

Des variables et des effets très divers interagissent, créant des climats spécifiques à une ville ou à un quartier, voire à des zones plus petites encore. Ces phénomènes agissent à différentes échelles, il peut s'agir de modifications des conditions climatiques dues à la présence d'une ville ou bien de variations provoquées par un seul bâtiment, un arbre, une route, etc.<sup>1</sup>

Les décideurs et les politiques qui ont pour tâche la gestion des villes devraient se pencher un peu sur les questions pertinentes de ces changements climatiques, de la qualité de l'air, du trafic routier, de la consommation d'énergie etc., car les villes continuent d'attirer de plus en plus d'habitants, qui pensent y trouver davantage de possibilités pour une vie plus confortable. Cette expansion des grands centres urbains peut entraîner des changements importants dans les conditions atmosphériques en surface, ce qui implique aussi des changements des conditions de confort dans ces villes en générale et dans les espaces extérieurs plus particulièrement.

Pour remédier à ces changements une nouvelle notion de gestion de l'espace extérieur a vue le jour et qui est : «Le projet de confort dans les espaces ouverts » est un raffinement du projet urbain, ayant pour but d'améliorer les conditions sociales dans le contexte urbain contemporain en se concentrant sur les propriétés physiques de micro-échelle de ces espaces ouverts.

Les villes sont ce que nous en faisons, un paysage urbain avec une combinaison de structures, des canaux de communication, des espaces bâtis, des espace ouvert, végétation, etc. et illustre un développement urbain typique avec une relation de plus en plus détachée entre habitants et environnement urbain.

Traditionnellement les espaces extérieurs sont aussi importants que les espaces intérieurs, car ils sont utilisés intensivement pendant toute l'année, ces espaces en plein air sont utilisés par les hommes et les femmes, par les enfants pour jouer, par les adultes.

---

<sup>1</sup> **Abbate, G.:** Heat Island study in the area of Rome, Revue: ESA SP, 1997.

Mais l'urbanisme actuel a tendance à ignorer ces faits et l'importance de ces espaces tend à disparaître progressivement entraînant la perte du sens d'appartenir à la communauté.

Alors qu'il devrait essentiellement viser à améliorer la qualité de ces espaces pour améliorer l'environnement qui est le support de vie de ces habitants.

L'urbanisme actuel inhibe tout rapport significatif des résidents urbains avec les milieux urbains extérieurs, rendant ainsi le cadre de vie et la manière de vivre des habitants introvertis et résumant le rôle de ces espaces extérieurs à de simple espace de transition et de circulation.

De ce fait un nouveau défi est lancé aux urbanistes, architectes et décideurs politiques afin d'assurer un niveau acceptable dans la qualité des espaces extérieurs (urbains) et de rendre à ces derniers le rôle qu'ils occupaient autre fois.

Ils devraient donc fournir l'espace pour le logement, pour le commerce, l'industrie, et le transport, etc. tout en pensant aux ambiances qui vont être créées qu'elles soient intérieurs ou extérieurs et qui vont être favorable ou non au confort et qui doivent être bien réfléchies et bien pensées et non le fruit du hasard.

## **2-Problématique :**

Il y a un fort intérêt public dans la qualité des espaces urbains ouverts et il est reconnu qu'ils peuvent contribuer à la qualité de vie dans les villes, et à baisser l'isolement et l'exclusion sociale.

Cela est en relation avec les aspects physiques de l'espace urbain (c.-à-d. microclimat, confort thermique, confort visuel et acoustique, morphologie urbaine, etc.), mais aussi avec l'environnement social.

Le confort thermique est essentiellement l'un des facteurs les plus importants qui favorise la notion de confort dans les espaces extérieurs et les principaux paramètres qu'il prend en considération sont généralement :

- le rayonnement (bilan radiatif)
- la convection (bilan convectif)
- l'humidité (bilan évaporatif)

Et ces paramètres climatiques changent en fonction de la structure, de la typologie et de la morphologie urbaine ainsi que de ces composantes (matériaux, végétation, eau, etc.)

Les principaux problèmes dont souffre la ville se résument en :

- Frottement du vent accru en raison des immeubles en hauteur.
- Obstacles imposants (immeubles, etc.) ce qui influe sur la ventilation des espaces de leur éclairage ainsi que l'effet radiatif et thermique.
- Faible capacité thermique.

- Conductivité thermique élevée (asphalte, briques, etc.)
- Faible albédo (pourcentage de réflexion des rayons incidents).
- Réflexion multiple sur les murs des immeubles qui emprisonnent les rayons solaires.
- Accroissement des polluants filtrant le rayonnement solaire incident.
- Augmentation de la chaleur provenant de sources anthropiques (activités humaines).
- Accroissement des polluants agissant comme noyaux de condensation.
- Augmentation du taux d'humidité due aux systèmes d'échappement des véhicules ou aux rejets industriels et aussi dépend de l'interaction entre température de l'air et de la température des surfaces qui composent l'espace urbain.
- Faible taux d'évapotranspiration attribuable à la rareté des espaces verts.
- Diminution de l'humidité en surfacé due à l'optimisation des réseaux d'assainissement diminuant ainsi l'humidification de l'air.

Tout ces paramètres - et certainement d'autres - devront être pris en considération sur l'échelle microclimatique que ce soit pour la conception de nouveaux espaces urbaines ou dans « la révision » d'espaces déjà existant afin d'atteindre le niveau de confort souhaitable dans les espaces extérieurs en particulier et le climat urbains en général.

Et chacun d'eux modifie le microclimat à un certain degré en partant de l'implantation et la hauteur des bâtiments, la densité du tissu, les protections solaires des espaces extérieurs (les protections solaires fixes, les protections solaires variables et mobiles), la couleur des parois extérieures, L'évaporation de l'eau : rafraîchissement par humidification, la végétation.<sup>2</sup>

Ces deux derniers éléments (l'eau et la végétation) jouent un très grand rôle dans la création d'un microclimat plus favorable aux abords des bâtiments et dans les espaces extérieurs et ils arrivent à eux seul à résoudre beaucoup de problèmes rencontrés en milieu urbain.

\*La végétation a divers effets sur l'environnement urbain, au delà du rôle esthétique et de la sensation plaisante de proximité avec la nature que les arbres et la végétation fournissent, elle peut stabiliser le sol, permettre l'ombrage de grande surface des paroi horizontal et vertical, fournir un habitat à la faune, faire obstacle au bruit et améliorer la qualité de l'air. En outre, le processus de photosynthèse réduit légèrement l'effet de serre. Les feuilles peuvent être un filtre efficace pour des polluants de l'air.

Mais aussi, la proximité des arbres et de la végétation modifie considérablement l'utilisation de l'énergie dans les bâtiments, directement et indirectement : ombrage et protection contre le vent mais aussi effet de refroidissement du à l'évapotranspiration.

---

<sup>2</sup> **Nikolopoulou, M.** : Concevoir des espaces extérieurs en environnement urbain : une approche bioclimatique. Center for Renewable Energy, 2004.

\*Une masse d'eau présente un comportement thermique différent de la plupart des autres surfaces qu'on rencontre sur terre. La présence d'une grande masse d'eau provoque une baisse de température de l'air sous le vent que l'on peut chiffrer selon la vitesse du vent et la longueur de la masse de l'eau. Les étangs et les fontaines peuvent être des dispositifs de climatisation efficaces dans des espaces ouverts en raison de leur capacité à maintenir des températures de l'eau inférieure à la température de l'air, et à leur faible réflectivité. Pendant que l'eau s'évapore, sa température diminue et cette évaporation est proportionnelle à la surface de contact air/eau.<sup>3</sup>

Seulement ces deux éléments -qui furent jadis les deux techniques les plus importantes de rafraîchissement naturelles dans l'architecture vernaculaire de nos ancêtres-, restent totalement négligées et ne sont utilisées que pour combler les vides dans les plans de masses et non pas de façon réfléchie, et encore totalement absent lors de la réalisation de tel ou tel projet.

Afin de démontrer le rôle important de la présence de l'eau et de la végétation dans la création d'un microclimat favorable un cas d'étude sera pris en compte et qui est : la place de l'indépendance (Place de Ain El Fouara), espace urbain se situant dans la ville de Sétif, se caractérise par la présence d'une fontaine d'eau, et entouré d'une importante masse végétale.

Cette place rassemble chaque jours des milliers de personnes et cela quelle que soit la saison, ce lieu fut porteur d'histoire, de patrimoine architectural et de vie social mais il n'est pas logique de penser que seul cet aspect attire les gens vers ce lieu et nombreux sont les lieux porteurs d'histoire et de symbole mais qui sont délaissés par la population.

Ceci nous laisse croire qu'il existe bien d'autres raisons qui donnent à ce lieu l'importance qu'il a.

Offre-t-il donc un certain confort aux usagers et si oui où réside-il ?

Est-ce la présence de la fontaine et de la végétation, ont-ils un impact et un effet sur le confort extérieur et donc sur la densité de fréquentation ?

### **3-Hypothèses de recherche :**

On s'appuyant sur la citation suivante : « Saviez-vous que, en ville il faut 53 arbres par habitants pour purifier l'air pollué »<sup>4</sup>

Et en sachant que la plupart des recherches effectuées démontre la véracité du fait que les deux éléments (végétation et eau) adoucissent le microclimat, mais à grande échelle et seulement si la présence de ces deux éléments est importante.

D'autre affirme que même à petite échelle l'efficacité de ces deux éléments reste prouvée.

---

<sup>3</sup> **Matheos Santamouris, J. Adnot:** Cooling the cities. Edition Presses de l'École des Mines de Paris, 2004.

<sup>4</sup> Manuelle de la foresterie urbaine, 1987.

Ce qui nous permet de formuler les hypothèses suivantes :

- 1-le microclimat dans cette place est directement lié au climat général de la ville.
- 2-Même si le nombre d'arbre est limité, le volume de la masse foliaire suffit à confirmer la performance de l'arbre, en plus d'autres critères tel : l'espèce, la densité et l'implantation de l'arbre.
- 3-les dimensions et la forme de la fontaine sont très importantes dans l'évaluation de son efficacité.
- 4-La présence conjuguée des deux éléments (végétation et eau) augmente leurs effets sur le microclimat.

#### **4-Objectifs :**

Le traitement des espaces extérieurs en milieu urbain permet d'atténuer la rudesse des contraintes climatiques autour des bâtiments et dans les espaces publics pour, d'une part, rendre confortables le plus longtemps possible ces lieux de vie occupés une partie de la journée en région méditerranéenne et, d'autre part, améliorer le confort des locaux.

Et pour arriver à ce confort, l'utilisation de certains aménagements urbains est essentielle. Parmi ses aménagements les plus efficaces et les plus répandus on note l'utilisation de la végétation et des étendues d'eau, surtout quand ils sont associés l'un à l'autre.

Dans la même logique nous cherchons dans le travail qui va suivre à atteindre les objectifs suivants :

- \*- En premier lieu, acquérir une méthodologie de travail concernant la recherche en générale, et celle dans le domaine du confort humain plus spécialement.
- \*-Acquérir des notions approfondies sur le confort en milieu extérieur qui vont non seulement nous aider dans ce travail mais aussi dans de futures recherches.
- \*-Evaluer et quantifier l'impact de la végétation et de la fontaine sur le confort thermique dans notre cas d'étude.
- \*-Dans le but d'améliorer encore plus le confort dans le cas d'étude et de revaloriser cette espace urbain, et cela grâce à une sorte de projection dans le futur, et dont la simulation est l'outil utilisé.
- \*-Démontrer que la régulation thermique du microclimat urbain, dans les régions à climat chaud et sec est possible par un choix judicieux de la taille, de la disposition et de la quantité de la végétation et des étendues d'eau.

#### **5-Méthodologie :**

La recherche s'organise en deux parties qui se complètent. La première partie introduit le domaine de recherche auquel nous nous intéressons, c'est une synthèse des connaissances issues d'une analyse bibliographique, se composant de cinq chapitres traitant chacun d'un thème bien précis. Ces thèmes s'articulent principalement autour de la place publique comme espace urbain, le

microclimat urbain, le confort dans les espaces extérieurs, le rôle de la végétation et de l'eau sur le confort thermique en milieu urbain.

La deuxième partie elle aussi se divise en deux parties majeures, la première concerne l'application d'une investigation sur terrain comportant une campagne de mesures et un questionnaire tous deux relatifs aux facteurs influant sur le confort thermique en milieu urbain. La deuxième consiste en une simulation, basée sur un outil informatique, permettant une quantification précise des impacts microclimatiques liés aux paramètres de la végétation et de l'eau sur le confort thermique extérieur, mais aussi de simuler plusieurs scénarios, avec différentes caractéristiques de la place.

On essayera en fin de conclure notre travail et de tenter de suggérer quelques recommandations en se référant aux résultats obtenus ultérieurement.

«Le monde est dangereux à vivre ! Non pas tant à cause  
de ceux qui font le mal, mais à cause de ceux qui  
regardent et laissent faire »

(Albert Einstein)

« Nous n'héritons pas la Terre de nos ancêtres. Nous  
l'empruntons à nos enfants. »

(Antoine de Saint-Exupéry)

# Chapitre I

La place publique.

## **I-1-Introduction :**

L'histoire de l'humanité est étroitement confondue avec celle des villes, les villes étant l'oeuvre des hommes illustrant le mieux la diversité des cultures, des civilisations et les étapes de leurs « parcours ». L'histoire des villes est celle du fonctionnement des sociétés inscrit dans l'espace et l'histoire de la mise en forme de cet espace. Dans le fonctionnement comme dans la forme de la ville, les places ont toujours jouées 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 ses habitants.

Dès ses origines, l'histoire des places est double, fonctionnelle et formelle. Née de la nécessité de se rassembler devant le siège du pouvoir, devant le temple, ou dans les lieux du commerce, la place devient un support des fonctions essentielles de la cité : l'échange, la rencontre au sens le plus large du mot.<sup>5</sup>

Il n'est pas indifférent que nous abordions un lieu seul ou accompagné, en groupe ou « à deux », que nous soyons préoccupés et affairés, que nous y venions dans un but précis ou simplement par errance, en flâneur ou en visiteur. S'y ajoutent bien sûr les impressions résultant de la variation des conditions météorologiques et climatiques. Ces constatations paraîtront banales ; elles s'avèrent néanmoins importantes car elle rappelle les facteurs qui déterminent fortement nos relations avec un lieu.

Qu'es qui fait qu'une place soit belle ou laide, agréable ou déplaisante, nous l'aimons ou nous l'évitons. Ces sentiments, qu'ils soient très largement communs ou strictement individuels résultent de notre lecture d'un lieu, de son paysage. En plus des aspects affectifs et sentimentaux, nous avons tout simplement besoin de nous orienter, de nous retrouver afin de « pratiquer » ce lieu, d'y vivre.

Ce chapitre vient élucider l'importance des places dans les villes, et certaines notions et concepts sur cet élément structurant de la ville.

Ces éléments devraient toucher l'aspect formel, symbolique, fonctionnel, social et environnemental de la place, cela nous aidera à comprendre et à expliquer d'autres notions qui sont en relation avec l'architecture bioclimatique.

## **I-2- Définition : La Place Publique :**

Nom féminin du latin " platea " XIIe siècle, lieu public dans un espace découvert généralement entouré de constructions. Les places publiques sont révélatrices du mode de vie

---

<sup>5</sup> **Laurence Baudoux-Rousseau** : La place publique urbaine. Edition Artois Presses Université, 2007.

urbain dans l'histoire. Elles se construisent soit par apports successifs, soit dans une composition unique.<sup>6</sup>

Une place est un espace public non bâti, desservi par des voies.

Elle est généralement limitée par des bâtiments, dotée d'un traitement du sol minéral, équipée de mobilier urbain ou d'édicules (statue, fontaine, obélisque, etc.)

Elle peut être affectée aux piétons et/ou aux véhicules.<sup>7</sup>

La place est sûrement le premier type d'espace urbain inventé par l'homme.

Elle résulte du regroupement de maisons autour d'un espace libre. Cette configuration permettait un maximum de contrôle public dans l'espace intérieur, et constituait aussi un bon dispositif de défense à l'extérieur, parce qu'elle minimisait la surface de front à protéger. Cette forme de regroupement autour d'une cour, souvent chargée d'un contenu symbolique, fut choisie comme type de construction pour de nombreux lieux de cultes (agora, forum, cloître, cour de mosquée).<sup>8</sup>

Une place, est un inter mixture de trois concepts interdépendants, à savoir : les attributs physiques, les activités et la conception (connaissances et émotions).<sup>9</sup>

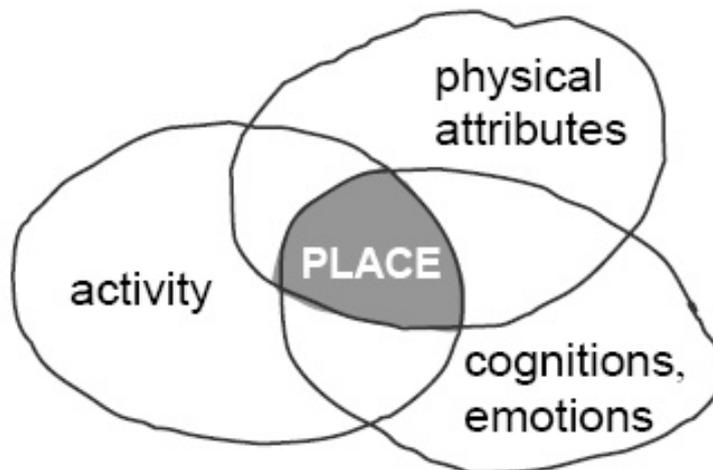


FIG .I.1 La définition de la place selon Canter. (Source : Canter, 1977).

### I-3- Origine du concept place :

\*-« La place », mot dérivant du latin populaire (Platea), lui même dérivant du latin classique (Platea), désigne ainsi une large rue ou une place publique, empreinte au grec

<sup>6</sup> <http://www.ciel-espacepublic.com/pages/places.html>

<sup>7</sup> Wikipédia encyclopédie collaborative en ligne.

<sup>8</sup> Robert Krier : L'espace de la ville. Edition Archives d'Architecture Moderne, 1975.

<sup>9</sup> David Canter : The Psychology of Place. Edition Palgrave Macmillan, 1977.

(plateia) féminin de (platus), correspondant au mot français «large».

\*-Synonyme d'emplacement dans sa relation avec l'architecture et l'urbain, le mot « Place » se définit comme suit : « lieu public, découvert qui est bordé de maisons et de monuments. La place du marché. La place Vendôme à Paris ». <sup>10</sup>

\*-UNWIN Raymond définit la place comme «une désignation moderne équivalent à agora chez les grecs et à forum chez les romains». Pour lui, « Le mot « Square » outre qu'il limite la forme à un rectangle, exprime quelque chose de tout à fait différent. Le mot français « Place » est plus général et l'on n'a pas en anglais le mot exactement équivalent à celui-la, il a encore l'avantage d'être milieux que « Piazza » en italien et « Platz » en allemand ». <sup>11</sup>

\*-Bien que les cités musulmanes n'éprouvent qu'exceptionnellement le besoin de créer de vastes espaces ouverts, mettant un monument en valeur. « Dans certaines cultures, la place urbaine n'a pratiquement pas d'existence (Islam), Dans d'autres, elle est exclusivement liée à des pratiques religieuses (Mexique précolombien) ». <sup>12</sup>

\*-Le mot « place » trouve son équivalent dans le dictionnaire arabe :

1- SAEH (الساحة) féminin de SAEHA définie comme endroit non bâti, découvert, se trouvant entre les maisons du quartier. Nom dérivant du verbe « SAEH » (الساح) c'est à dire s'étendre, s'élargir.

2- La « RAHBA » (الرحبة) dérivée du verbe « RAHABA » « ITASAA » (اتسع)

La «RAHBA» désigne un terrain étendu devant le campement de tentes, là où les visiteurs étrangers sont accueillis « TARAHOUB » (الترحب).

3- Le « MRAH » (المراح) désigne le campement des caravanes, abritant les chameaux. Ce mot dérive du verbe « RAHA » (الراحة) marquer une pose, se détendre, se reposer.

R. KRIER voit en la place « le premier type d'espace urbain inventé par l'homme. Elle résulte du groupement de maisons autour d'un espace libre. Cette configuration permettait un maximum de contrôle public dans l'espace interne et constitue ainsi un bon dispositif de défense à l'extérieur, parce qu'elle minimisait la surface de front à protéger. Cette de regroupement autour d'une cour souvent chargée d'un contenu symbolique, fut choisie comme type de construction pour de nombreux lieux de cultes, agora, forum, cloître, cour de mosquée. L'invention de la maison à patio fait référence à

---

<sup>10</sup> Larousse Dictionnaire encyclopédique, 1970.

<sup>11</sup> Unwin R. : L'étude pratique des plans des villes. Edition L'Equerre, 1981.

<sup>12</sup> Sitte C. : L'art de bâtir les villes, Edition Seuil, 1950.

cette disposition spatiale (l'atrium) : dans ce cas, les pièces ont été disposées autour d'une cour comme des maisons isolées autour d'une place ». <sup>13</sup>

\*-Une place est à la fois un espace «convergent» et un espace «divergent».

Elle est un espace « convergent », car elle représente un pôle attractif pour les habitants de la ville ou du quartier. Elle est un espace « divergent » du moment qu'elle a le pouvoir organisateur de structurer l'environnement urbain. <sup>14</sup>

\*-En tant que structure, la place se définit comme étant l'élément ponctuel, fondamental dans le tissu urbain. Elle est l'espace qui organise et structure l'espace, le contexte urbain environnant immédiat et lointain (tracé de voies, affectation des parcelles et des îlots, répartition des locaux de commerces, choix des itinéraires du transport public, régulation du flux de circulation mécanique et piétonne). De par son cadre physique, son activité, son caractère symbolique et son image de repère, elle marque une forte présence et joue un rôle important dans le tissu urbain. Pour Pausanias, «Une ville n'est pas digne de ce nom qui n'a ni édifices publics ni places ». <sup>15</sup>

#### **I-4-Types de places selon leur rôle :**

La place se définit par le rôle qu'elle peut jouer dans le tissu urbain, elle se démarque des autres places et acquiert une propre identité. Nous citerons comme exemples :

##### **I-4-1-Les places royales :**

Se distinguant par l'ordonnement de leurs façades identiques, les places royales sont des espaces clos qui comportent au centre une statue équestre jouant un rôle structurant de l'environnement urbain et qui sont conçues pour commémorer les cérémonies royales.

La place Royale est de création française telle que la place des Vosges (Figure.I.2), qui remonte à Henri IV (1606), de l'architecte Me-tézeau dispose de la statue équestre du roi.

---

<sup>13</sup> **Robert Krier** : L'espace de la ville. Edition Archives d'Architecture Moderne, 1975.

<sup>14</sup> **Institut Français d'Architecture** : Place et monuments. Édition Mardaga, 1984.

<sup>15</sup> **Pausanias** : Description de la Grèce. Éditeur : Les Belles Lettres, 1821.



FIG .I.2 : La place Royale : la place des Vosges. (Source : <http://nidutopia.wordpress.com/>)

#### **I-4-2-La Place d'arme :**

Dérivant d'un élargissement, d'une fortification, ces places occupent en général une position centrale et sont reliées directement au périmètre à défendre. Elles sont de vastes esplanades destinées aux entraînements et aux rassemblements militaires.

Les places d'armes se développent depuis Vauban jusqu'à Napoléon 1er comme par exemple à la Roche-Sur-Yon (Figure.I.3.)



FIG .I.3 : Les places d'arme de la Roche-Sur-Yon. (Source : <http://www.vivrealaroche.fr/>)

#### **I-4-3-La Place du marché :**

Expansion d'un ou de deux cotés d'une voie principale, c'est le lieu où se tient

habituellement le marché qui déborde largement sur un périmètre urbain plus ou moins grand de par son aménagement spécialisé (Marché au poisson, de bétail, d'habillement, de dattes, de légumes...).

#### **I-4-4-Le Parvis :**

C'est un espace aménagé devant un équipement dominant et qui est en rapport avec un édifice majeur, en relation avec le reste de la ville. En général les parvis sont des espaces conçus devant l'entrée d'une église, d'un théâtre, d'un hôtel de ville ou d'un palais de justice.

#### **I-4-5-La Place majeure :**

Place régulière et fermée, elle est constituée généralement par quatre bâtiments dont un au moins est public, et qui sont disposés en cornière et bordés par des arcades.

#### **I-5-Types de places selon leur fonction :**

L. Cloquet fait remarquer qu'il existe trois types de places publiques selon leurs fonctions :

##### **I-5-1- Les places de circulation :**

Situées aux croisements de voies (rond point) et destinées spécialement au trafic routier. Telle est la place ou rond-point de la rue de Flandre à Gand ; et la place Lafayette à Paris.

##### **I-5-2-Les places d'agrément :**

Dans les agglomérations plus ou moins denses, elles procurent des vides favorables au dégagement de la vue, à la circulation de l'air, à la promenade, aux réunions publiques. Elles prennent souvent le caractère de places monumentales.

##### **I-5-3-Les places monumentales :**

Ce sont des places encadrées par des bâtiments à façades monumentales dont le centre est soit vide, soit occupé par un monument.

Les unes constituent des places bâties, quand le centre est occupé par un monument ; les autres, des places encadrées, sont libres au milieu. La place Stanislas à Nancy, élevée sous Louis XV d'une seule venue, avec ses riches grillages aux angles forgés par Lamour, est une place encadrée, d'une élégance rare.<sup>16</sup>

#### **I-6- Evolution des places à travers l'histoire :**

##### **I-6-1- La place dans la Grèce antique : « l'Agora » :**

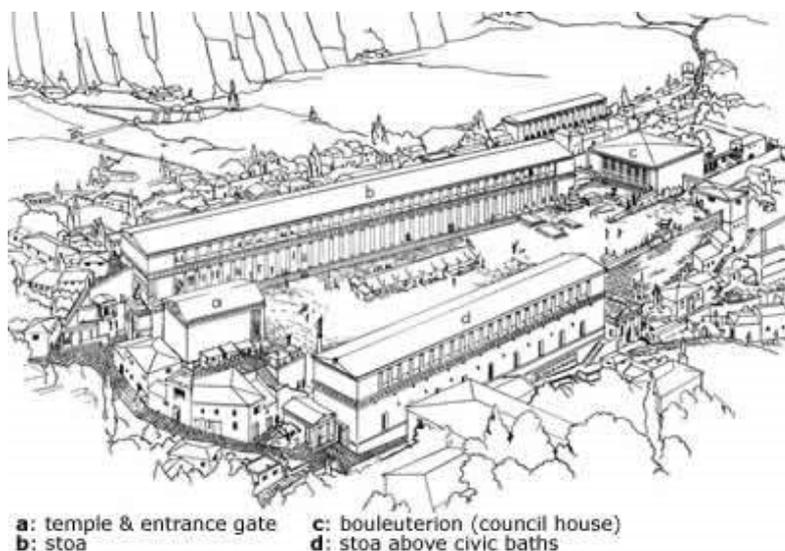
Au XIII<sup>e</sup> siècle av. J.-C. en Grèce, l'**agora** est une simple esplanade de forme irrégulière

---

<sup>16</sup> Cloquet L. : Places public. Places et monuments. Édition Mardaga, 1988.

entourée de bâtiments publics réservée au débat démocratique ou aux manifestations religieuses; elle se transforme pour devenir, au début du Ve siècle av. J.-C., sous l'impulsion d'Hippodamos de Milet, un espace cadastré carré dans une cité composée sur un plan orthogonal et entourée de portiques supportant des galeries. La forme de la place peut-être plus subtile comme à Assos (Figure.I.4).

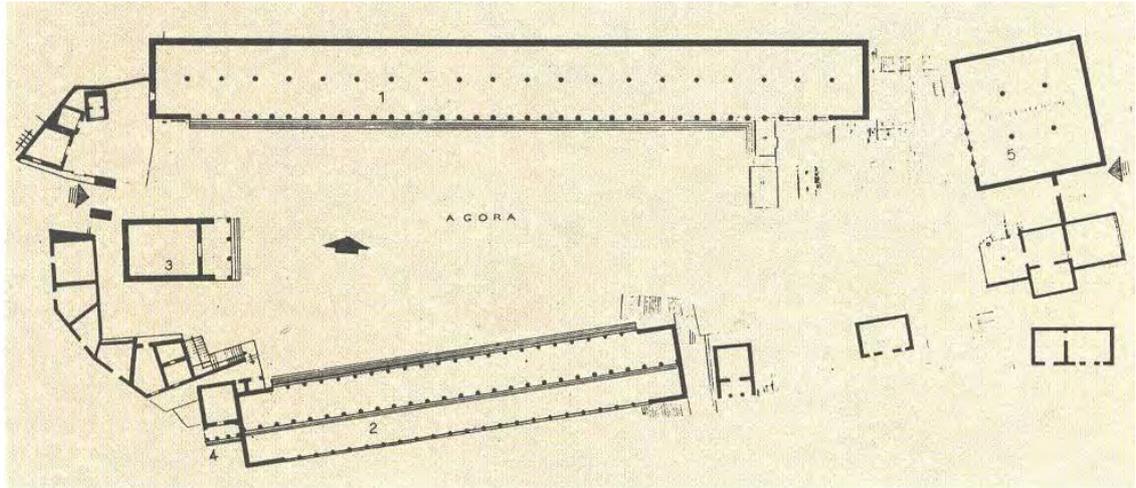
Les grecs réservaient un certain nombre d'îlots pour la grande place publique « Agora », centre de la ville grecque. Cet espace central était encadré par des bâtiments publics à caractères divers tels ; le temple, le conseil du sénat, le théâtre, le gymnase, l'odéon et la palestre, qui drainent des foules de tous les horizons. Juste à côté se dresse une deuxième agora (place du marché) où les citoyens grecs satisfaisaient leurs besoins en vivres et nouvelles informations.<sup>17</sup>



**FIG .I.4 : La place grecque (l'agora). (Source : Roland Martin, 1959)**

Des colonnades et des péristyles entourent ces places grecques, formant ainsi une promenade et un espace couvert pour les rendez-vous d'affaires.

<sup>17</sup> **Roland Martin** : L'agora. Edition de Boccard, 1959.



**FIG .I.5 La place grecque : L'agora. (Source : Roland Martin, 1959)**

C'est dans l'agora que les citoyens libres élaient démocratiquement leurs représentants au sénat, C'est en plein air (dans l'agora) que siégeait le conseil de la ville pour prendre les décisions politiques braves (déclaration de guerre ou de paix) et c'est là qu'ils recevaient les parlementaires étrangers venus négocier leurs affaires. C'était dans l'agora, devant les temples que se célébraient les sacrifices et c'était devant les théâtres à ciel ouvert que se tenaient toutes scènes.

#### **I-6-2-La Place dans la cité romaine : « le forum » :**

Le forum est la dénomination romaine qui subit l'influence grecque au VIIe siècle av J.-C.; la basilique y apparaît vers le IIIe siècle av. J.-C., elle servira enfin de modèle à l'église romane (Forum Trajan). Le forum était le plus souvent situé a un des angles formés par le cardo et le décumanus ; il représente le type introverti de place se fermant au quartier environnant (Figure .I.6).



**FIG .I.6 : Le forum Romain. (Source : <http://www.maquettes-historiques.net>)**

Le forum est pour les Romains la place publique où les citoyens se réunissaient pour marchander, traiter d'affaires politiques ou économiques. Le premier forum est celui de Rome, le Forum Romanum, datant de l'époque de la fondation de la ville.

Ces forums étaient conçus comme des complexes architecturaux, avec toujours un temple (ou plusieurs), des galeries d'art, beaucoup de magasins, une école (parfois) et parfois une bibliothèque.

À l'origine le mot « forum » signifiait « l'endroit en dehors » car le lieu où fut construit celui de Rome n'était qu'un vaste marécage.<sup>18</sup>

Descendant directement de l'agora et jouant les mêmes rôles quelle, le Forum romain était une vaste place de représentation qui exclura peu à peu toutes tenues de marché, pour jouer pleinement son rôle de symbole du pouvoir impérial. Dans les cités romaines, le Forum était pour les romains une sorte de séjour collectif orné de monuments disposés sur les côtés.

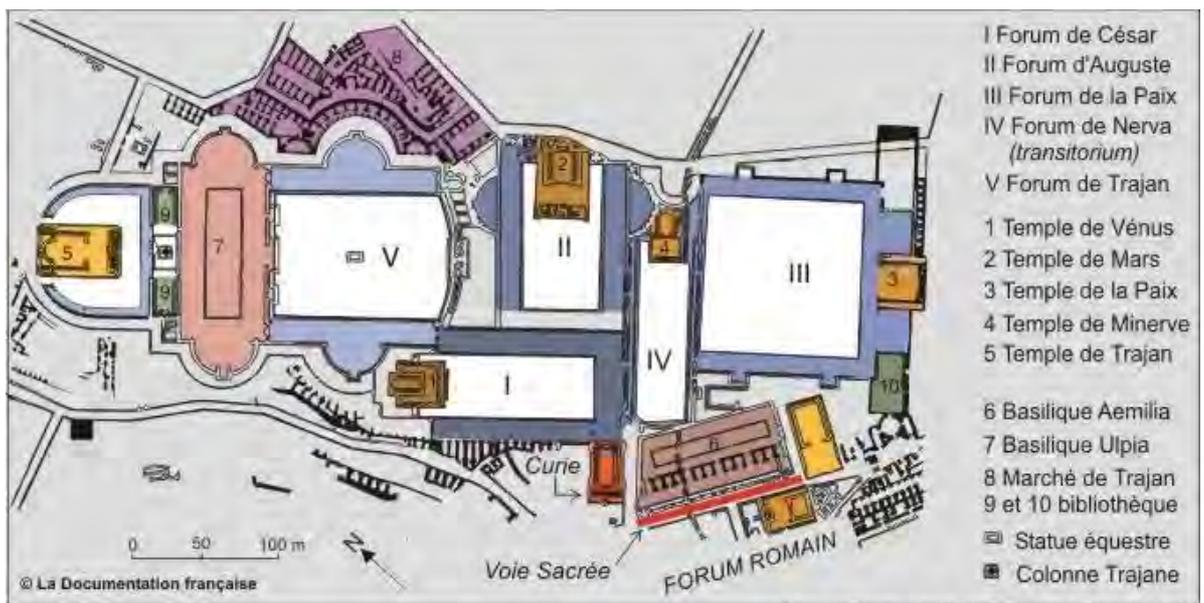


FIG .I.7 : Les forums impériaux à Rome. (Source : <http://www.ladocumentationfrancaise.fr>)

### I-6-3- La place médiévale et les cités du moyen âge :

Dans la ville médiévale du XIIe siècle d'Europe Centrale ou du Nord, les places procèdent de l'élargissement de la voie qui les traverse et mêlent les habitations en étage avec les bâtiments publics.

Le parvis de l'église au Moyen-âge est un espace prolongeant l'entrée de celle-ci; cette époque voit

<sup>18</sup> André Pelletier : L'urbanisme romain sous l'Empire. Edition Picard, 1982

également la création dans les bastides de places ordonnancées qui disposent d'une galerie couverte et d'une halle sur un des cotés.<sup>19</sup>



**FIG .I.8 : La place de l'église Notre Dame de Paris. (Source: [www. paris-walking-tours.com](http://www.paris-walking-tours.com))**

#### **I-6-4- La place de l'époque de la renaissance :**

Les formes urbaines renaissantes se caractérisaient par deux facteurs essentiels Le désir d'embellir le paysage urbain, de produire une qualité architecturale et urbaine et le besoin de servir les manifestations pompeuses des parades militaires.

Un changement radical dans l'approche conceptuelle de la place fût opéré durant cette période. La place n'était plus une conception organique, un espace formé par l'implantation progressive du bâti, mais elle devient un projet Pensé dans tous ses détails.

De temps à autre les masses populaires conscientes que ces places symbolisaient le pouvoir des nobles, s'y rendaient en grand nombre pour exprimer leur mécontentement sous forme de grèves ou de soulèvement armé.

---

<sup>19</sup> **Simone Roux** : Le monde des villes au Moyen Âge. Edition Hachette, Paris, 1994.



**FIG .I.9 : La place st Marc à Venise, Italie. (Source : [www.e-venise.com/](http://www.e-venise.com/))**

Les places de la Renaissance sont destinées à mettre en valeur les bâtiments publics et à constituer un décor. La place baroque comme celle du Capitole à Rome permettra grâce au génie de Michel-Ange, de redonner de l'unité à l'ensemble des bâtiments publics qui l'entourent. (Figure .I.10)<sup>20</sup>



**FIG .I.10 : La place du Capitole à Rome, Italie. (Source [www.rome-passion.com/](http://www.rome-passion.com/))**

Sous Napoléon III, apparaissent les squares, dessinés par Alphand, d'inspiration anglaise, réservés à la détente des citoyens. Bon nombre de places sont ainsi transformées en jardins publics. D'autres utilisent la partie centrale en rond-point paysagé (Figure .I.11) comme à Toulouse.

---

<sup>20</sup> **Jean-Louis Harouel** : Histoire de l'urbanisme. Presses Universitaires de France, 1981.



**FIG .I.11: square Napoleon III à Toulouse. (Source : [www.earth.google.com](http://www.earth.google.com))**

En 1867, l'esplanade du champ de Mars (Figure .I.12) accueille l'Exposition Universelle.



**FIG .I.12 : l'esplanade du champ de Mars à Paris. (Source : [www.paris-walking-tours.com](http://www.paris-walking-tours.com))**

### **I-6-5-La place contemporaine :**

Puis, l'urbanisme moderne voit se créer deux types de places, l'une symbolique réservée aux fonctions politiques et culturelles comme la place des Trois Pouvoirs à Brasilia (Figure .I.13), où les bâtiments sont des objets isolés sur une esplanade ; l'autre, plus utilitaire, réservée aux commerces entourée par des aires de stationnement, c'est le cas dans les villes nouvelles.



**FIG .I.13 : la place des Trois Pouvoirs à Brasilia, Brésil. (Source : [www.linternaute.com](http://www.linternaute.com))**

Les places conçues dans les villes nouvelles (Brasilia- Chandigarh) n'ont de commun avec la place que le nom. En effet, ces grands espaces publics sont mal définis car leur délimitation n'est pas bien déterminée. Les bâtiments les bordant ne sont en rapport lisible ni avec la place, ni entre eux, car chaque édifice est traité individuellement en concurrence avec les autres.

Difficilement identifiables, ces places dites modernes, n'affichent pas la même animation que les places anciennes. Espaces de rencontres, de repos et de promenades sous utilisés, ces places n'intègrent plus les fonctions fondamentales (marché, jeux, manifestations,...) et ne constituent qu'un espace de transit pour atteindre les équipements à grande attractivité bordant la place tels que centres commerciaux, immeubles administratifs, hôtels..., mais dont l'animation se trouve à l'intérieur de ces dits centres qui n'est malheureusement pas extensible à la place elle même.

Contrairement aux places anciennes qui, autrefois, étaient des espaces homogènes réservés particulièrement aux piétons, ces places modernes marquent une nette séparation entre ceux qui roulent en voitures et ceux qui se déplacent à pied. Ces places sont un genre de parking sans fin.

Depuis 1970, de nombreuses actions conjuguées de collectivités locales avec l'aide de l'Etat ont permis d'améliorer la fréquentation des places par les piétons (cf. L'amélioration des places publiques, RM Antoni, 1980), en reportant le stationnement des véhicules en parc souterrain ou en périphérie.

De nombreuses œuvres d'art sont aussi apportées, notamment sur les places des villes nouvelles (Figure. I.14 et Figure.I.15).<sup>21</sup>



**FIG .I.14 : A. Mail, la Grand-Place, Cergy ; B. Place du marché ; C. Fontaine Yagam, la défense ; D. Sculpture à Chanteloup, I. Aillaud et Rieti. (Source : Alain Liébard , André De Herde 2006)**



**FIG .I.15 : La place du Rockefeller Center à New York, Etats-Unis. (Source : [www.rockefellercenter.com/](http://www.rockefellercenter.com/))**

### **I-7- Rôles et enjeux multiples des espaces publics :**

Les rôles de chaque espace public sont attribués lors de la planification d'un quartier ou d'une infrastructure urbaine. La conformité aux rôles, n'est cependant pas facile à cause des changements objectifs de l'environnement et de la société. Il s'agit en fait de considérer les rôles

<sup>21</sup> **France Vanlaethem** : La place publique dans la ville contemporaine. Edition Méridien, 1995.

comme les enjeux que chaque espace public doit dépasser. Selon Bassand, on distingue quatre enjeux spécifiques aux espaces publics :

- L'enjeu de mobilité qui implique accessibilité à tout l'urbain à tous les citoyens,
- L'enjeu des usages civils, festifs et culturels, commerciaux plus ou moins réguliers,
- L'enjeu de sociabilité qui signifie que tous les citoyens peuvent selon des modalités diverses rencontrer tous les autres citoyens,
- L'enjeu d'identité.

La mobilité est l'élément indispensable d'un espace public. Elle joue souvent un rôle important dans la planification et la construction d'une infrastructure urbaine. Pourtant, pour attirer les citoyens à se rendre dans un quartier et participer à ses activités, ce sont les caractéristiques commerciales, culturelles et sociables qui constituent la différence et l'identité d'un espace public. Chaque espace public présente ses propres enjeux. Ceci nous rappelle l'importance de considérer l'espace public comme un ensemble de relations à la fois environnementales et sociales. La figure. I.16 illustre ce sujet.<sup>22</sup>

---

<sup>22</sup> **Michel Bassand** : Vivre Et Créer L'espace Public. Edition Ppur, 2001.

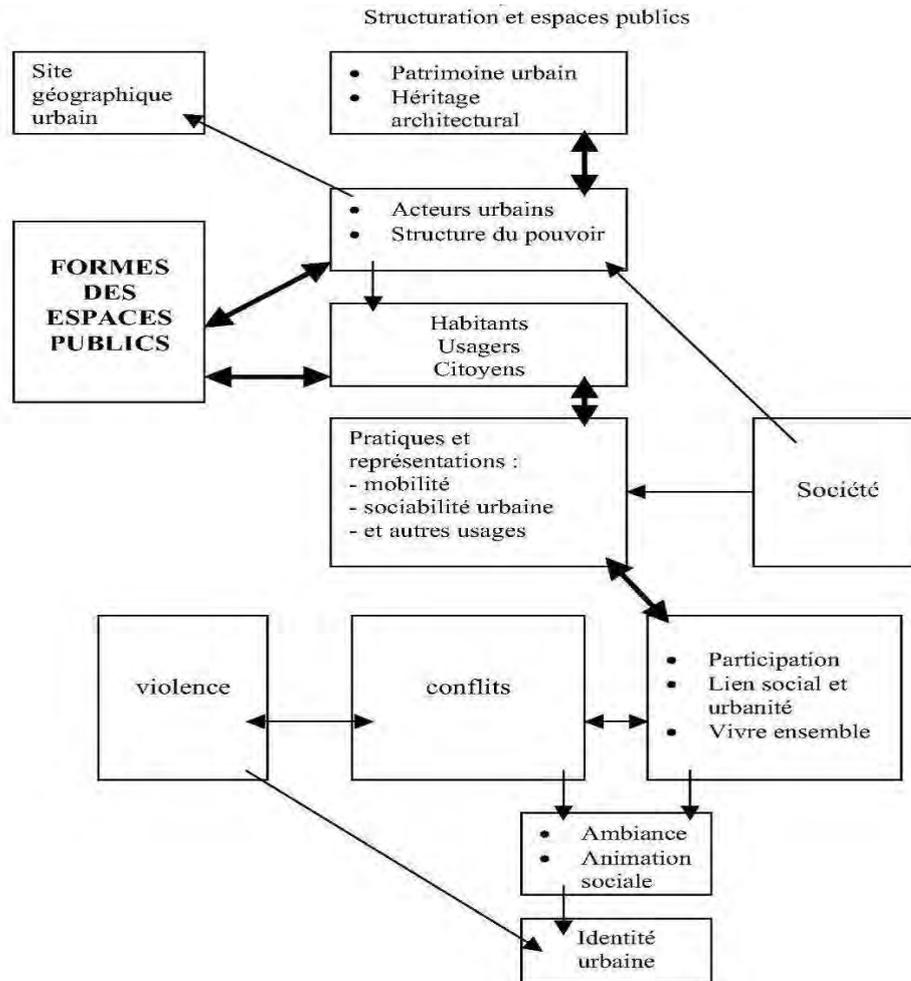


FIG .I.16 : Les différents enjeux d'un espace public. (Source : Bassand,2001)

## I-8-Différentes caractéristique des places :

### I-8-1-Différents formes de place :

Pour Sitte C., ces places médiévales formées « IN NATURA » et contrairement à ce que l'on pense, s'identifient toutes dans la réalité à des figures géométriques connues (carré, rectangle et cercle).<sup>23</sup>

Ainsi, afin de mieux comprendre les variations formelles des places, Robert Krier, propose un travail typologique sur les places reposant sur trois formes premières (carré, rectangle, cercle) qui sont traités par brisure, répétition, combinaison, superposition et altération.<sup>24</sup>

La classification morphologique des espaces urbains s'établit succinctement comme suit :

\*-Les trois formes de base : le carré, le cercle et le triangle, peuvent subir des transformations à savoir : brisures, segmentations, répétitions, interpénétrations, superpositions et mélanges.

<sup>23</sup> Sitte C. : L'art de bâtir les villes. Edition Le seuil, 1996.

<sup>24</sup> R. Krier : l'espace de la ville théorie et pratique, Edition Archives d'architecture moderne, 1980.

\*-A la suite de ces transformations, tout type d'espace peut produire des figures soit régulières, soit irrégulières.

\*-En même temps, la pluralité des profils de maisons influence l'espace à chaque niveau de transformation. En principe, tous les profils sont utilisables pour ces types d'espaces. Le dessin suivant (Figure.I.17) essaye à travers des représentations aussi réalistes que possible, de mettre en lumière les effets que donnent certains de ces espaces, pour que cette typologie soit plus accessible et plus manipulable pour l'urbaniste.

\*-D'autre part, tous les types d'espaces qui ont été décrits jusqu'ici peuvent être «fermés» ou «ouverts» ; c'est-à-dire que les limites de ces espaces peuvent être complètement construites ou bien interrompues.

\*-Finalement, les trois types d'espaces et leurs dérivés peuvent donner une infinité de formes mixtes. Pour toutes les formes d'espaces, la différence d'échelle joue un rôle aussi important que celui de l'architecture sur l'espace urbain.

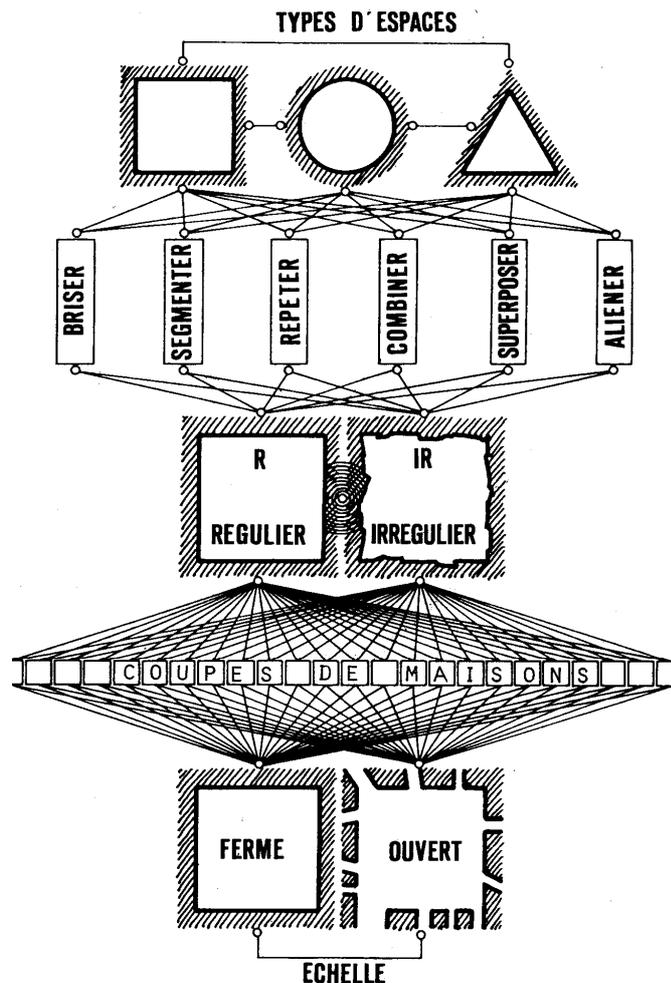


FIG .I.17 : Types d'espaces et combinaisons (Source : Krier R., 1980)

L'opinion générale fait apparaître que seules les places irrégulières sont belles. De même une place trop irrégulière dégage un effet désagréable.

L'irrégularité offre l'avantage d'avoir le maximum de vues arrêtées sur les édifices importants de la place. Le découpage régulier du sol, issu des systèmes rectangulaires et triangulaires, fait naître des combinaisons de places à effets médiocres.

Pour Sitte C., les places carrées sont de mauvaise apparence, les places rectangulaires dont la longueur est de quatre fois supérieur 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 donnant l'impression que les bâtiments qui l'entourent semblent se heurter brutalement.<sup>25</sup>

### **I-8-2-Dimensions des places :**

\*-Une autre caractéristique déterminante de la place est celle de ses dimensions. En effet, ses rôles symbolique et fonctionnel, dépendent largement de sa taille. Quatremère de Quincy fait remarquer que la grandeur physique d'une place est la principale cause de l'effet architectural produit par celle-ci. Il y associe les impressions produites par cet art aux sentiments de l'admiration. Pour Quatremère de Quincy ; l'homme admire par instinct la grandeur qu'il associe à l'idée de puissance et de force.<sup>26</sup>

\*-Mais là aussi, il faut être très prudent car, une place trop petite ou trop grande peut provoquer l'effet aussi déplaisant qu'il soit.

Sitte C. montre que les places trop grandes sont à l'origine de certaines maladies, on a constaté récemment l'existence de maladie, nerveuse d'un genre particulier : L'agoraphobie. Un grand nombre de personnes passent pour en être affectées ; elles éprouvent une certaine crainte, un malaise à chaque fois qu'elles doivent traverser une grande place vide.

La taille d'une place peut être définie par son « Echelle » 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 (la longueur largeur de l'espace place) et la hauteur du bâti moyen de la place. Et d'autre part les dimensions relatives à l'homme : c'est le rapport dimensionnel entre la moyenne (longueur, largeur de l'espace place), et la hauteur d'un homme de taille normale.<sup>27</sup>

Parmi les plus vastes places du monde, nous évoquons la place Rouge à Moscou,

---

<sup>25</sup> **Sitte C.** : L'art de bâtir les villes. Edition Le seuil, 1996.

<sup>26</sup> **Quatremère de Quincy** : Recueil de notices historiques. Edition LeCalerc 1834.

<sup>27</sup> **Sitte C.** : L'art de bâtir les villes. Edition Le seuil, 1996.

conçue et destinée à contenir de grandes manifestations populaires et parades militaires. Elle reçoit un traitement monumental des façades périphériques, excluant le travail minutieux sur les détails architectoniques.

### **I-8-3-Le site de la place :**

Une autre donnée importante dans la détermination de l'aménagement des places est celle offerte par l'environnement naturel ou artificiel. La place peut être aménagée au bord de l'eau ; exemple un fleuve. Elle peut être sur un terrain plat, à faible ou forte déclivité. L'exemple le plus frappant est celui de la Scala Di Spagna à Rome. Son relief est fortement accidenté, environ 40% de pente, il détermine une splendide place avec ses 140 marches successives. L'exception offerte par celle-ci est le jeu magnifique de vues interminables en perspective qui s'offre à notre regard, au fur et à mesure que l'on grimpe pour atteindre le sommet de la place.

### **I-8-4-La végétation et la place :**

L'autre facteur déterminant dans les aménagements d'une place est le choix judicieux de l'implantation des arbres et leurs rapports avec les façades des bâtiments qui l'entourent. Ayant un apport hygiénique et esthétique, leur implantation est très recommandée, à la seule condition qu'ils soient placés dans le bon endroit pour ne pas cacher les vues offertes par les façades des édifices importants de la place, dessinées et programmées pour être visibles et admirés. En réalité, les places des villes anciennes n'étaient pas conçues pour être plantées d'arbres. En effet « que signifie donc une place dégagée comme espace perceptif, si elle est encombrée de feuillage ». Le traitement de la place par de la végétation peut se présenter sous des formes multiples. Cette végétation peut être au même niveau que la place, plus basse, ou même plus haute que le sol de celle-ci. Mais ce qui importe le plus c'est qu'elle doit dégager toutes vues sur les façades bordant la place, en particuliers celles de l'édifice important de la place.<sup>28</sup>

## **I-9-La qualité de vie urbaine :**

### **I-9-1-Définition :**

Après avoir consulté plusieurs documents sur la question, nous nous sommes convenus qu'il y avait deux façons principales d'aborder la question de la qualité de vie.

\*-La première implique un point de vue objectif vis-à-vis de la qualité de vie. Une définition représentative de cette tendance est la suivante : « la qualité de vie urbaine est considérée comme le produit de l'interaction de plusieurs facteurs (sociaux, de santé, économiques, environnementaux)

---

<sup>28</sup> **Sitte C. :** L'art de bâtir les villes. Edition Le seuil, 1996.

qui, collectivement et par des moyens souvent inconnus, entrent en interaction pour finalement avoir une incidence sur le développement humain et social, au niveau des particuliers comme à celui de la société ».

\*-La deuxième façon implique un regard subjectif de la qualité de vie urbaine. La plupart des définitions subjectives de la qualité de vie sont non gouvernementales. Plusieurs définitions sont représentatives de ce point de vue : pensons notamment à celle de l'Organisation mondiale de la Santé: «La qualité de vie urbaine est définie comme la perception qu'un individu a de sa place dans un milieu, dans le contexte de la culture et du système de valeurs dans lequel il vit, en relation avec ses objectifs, ses attentes, ses normes et ses inquiétudes. C'est un concept très large qui peut être influencé de manière complexe par la santé physique du sujet, son état psychologique et son niveau d'indépendance, ses relations sociales et sa relation aux éléments essentiels de son environnement».<sup>29</sup>

Pour faire comprendre la perspective subjective de la définition de la qualité de vie, Flanagan a identifié certains facteurs permettant de mesurer la qualité de vie :

- Le bien-être physique et matériel.
- Les relations avec les autres.
- Les activités civiques, communautaires et sociales.
- Les loisirs (m. le fait de socialiser avec les autres, n. les activités récréatives passives ou d'observation, ou les activités récréatives ou de participation).<sup>30</sup>

### **I-9-2- Les approches de l'évaluation de la qualité de vie urbaine :**

Comme nous l'avons mentionné précédemment, le concept de « qualité de vie urbaine » peut être approché tant du point de vue subjectif qu'objectif, selon que l'on considère les aspects internes (la satisfaction ressentie par les individus) ou externes (objet matériel qui cause ou qui est en relation avec la satisfaction).<sup>31</sup>

\*-Selon André B. : « les indicateurs objectifs de bien-être (revenu par habitant, taux de sous-emploi, etc.) étaient insuffisants pour prévoir la qualité de vie puisqu'ils ne tiennent pas compte de ce que ressent la population... Les critères de la qualité de vie dépendent de la subjectivité de chaque groupe social qui établit sa propre hiérarchie de critères, selon ses préférences, ses traditions et son mode de vie».<sup>32</sup>

---

<sup>29</sup> **Schraub S, Conroy T.** : Qualité de vie et cancérologie. Edition John Libbey Eurotext, 2002

<sup>30</sup> **Flanagan J.C.**: Measurement of quality of life. Edition Archives of Physiotherapy and Medical Rehabilitation, 1982.

<sup>31</sup> **Pacione, M.**: The Use of Objective and Subjective Measures of Life Quality in Human Geography. Edition Progress in Human Geography, 1982.

<sup>32</sup> **André B.** : Qualité de la vie. Revue : L'Action Nationale, 2001.

\*-Beaucoup de recherches concilient à la fois des approches objectives et subjectives pour jouir d'une compréhension plus complète du phénomène de la qualité de vie. Dans ces cas, la méthodologie est souvent quantitative, elle « repose sur l'élaboration de données chiffrées, portant sur une population bien définie. Cette population n'est pas enquêtée en totalité, mais seulement sur un sous-ensemble (échantillon) »<sup>33</sup>

\*-Comme c'est le cas pour les recherches de Rogerson (1997) et Borsdorf (1999), la majorité des approches subjectives proposent de mesurer la « satisfaction » des habitants par des questionnaires d'enquêtes. Il a été démontré dans les études de Jan Gehl (1987), que les sondages ne sont pas toujours des instruments fiables pour mesurer la satisfaction des résidents.<sup>34</sup>

Nous constatons qu'il y a un certain consensus parmi les chercheurs s'intéressant à la question de la qualité de vie. Ce consensus semble cependant reposer sur des présupposés souvent fragiles, à l'effet que les habitants sont capables de définir « objectivement » leur niveau de satisfaction, et qu'ils vont vouloir communiquer ce niveau de satisfaction aux chercheurs.

Beaucoup de recherches sociales en général et de recherches sur la qualité de vie urbaine en particulier, ont choisi d'exclure les méthodes d'enquête à questions fermées : pensons par exemple aux recherches de Korosec-Serfaty sur les places publiques. Celles-ci, essentiellement réalisées en Alsace (Est de la France) et en Suède, avaient pour but de comprendre la réalité des espaces publics et d'identifier les problèmes à résoudre dans les espaces publics dans l'avenir. «Ces recherches ont porté sur l'observation et l'analyse (des espaces publics) de leurs rythmes quotidiens et saisonniers, de leurs usages ordinaires et exceptionnels, de leur symbolique et de leur rôle au sein de la cité... »<sup>35</sup>

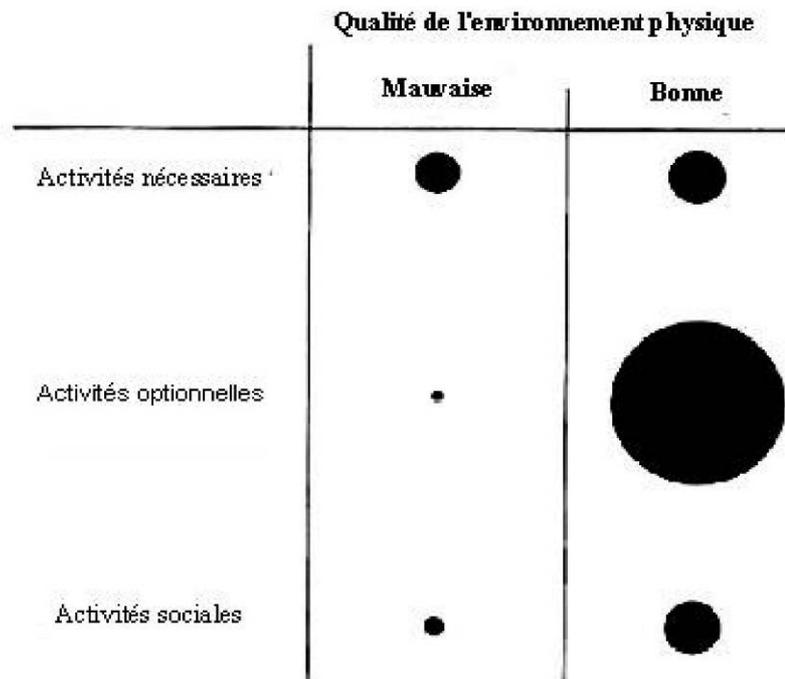
\*-Contrairement aux méthodes d'évaluation axées sur les perceptions « subjectives » des résidents, il existe des approches qui s'appuient sur des mesures « objectives » développées par Jan Gehl (1979, 1987) et William H. Whyte (1980, 1988). Selon eux, il y a deux groupes d'activités dans les espaces publics : les activités « nécessaires » (aller au travail, attendre le bus, etc.) et les activités « facultatives » (les activités sociales et récréatives des habitants). Les activités nécessaires ne reflètent pas beaucoup la qualité des espaces publics parce qu'elles sont indispensables à chaque personne. Par contre, les activités facultatives sont fortement influencées par la qualité des espaces publics : les gens choisissent eux-mêmes de fréquenter des lieux correspondants à leurs goûts et à leurs préférences.

---

<sup>33</sup> **Desrosières Alain** : Réflexions sur la portée sociologique des diverses phases du travail statistique. Edition INSEE, 1982.

<sup>34</sup> **Gehl, J.**: Life Between Buildings, Edition Van Nostrand Reinhold, 1987.

<sup>35</sup> **Korosec-Serfaty** :La Sociabilité publique et ses territoires, Revue :Architecture et comportement, 1988.



**FIG .I.18 : La relation entre les activités extérieures et la qualité de l'environnement physique.**  
 (Source : Gehl, 1987)

Pour évaluer la qualité d'un espace public, il est souvent nécessaire d'observer le comportement des personnes qui y participent à des activités facultatives. Il y a plusieurs raisons qui expliquent l'attraction d'une personne pour un espace public. Jan Gehl (1987) présente les critères d'un bon espace public dans un tableau détaillé qui comprend à douze facteurs principaux :

<b>SECURITY</b>	<b>1. Protection against Traffic &amp; Accidents</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- traffic accidents</li> <li>- fear of traffic</li> <li>- other accidents</li> </ul>	<b>2. Protection against crime &amp; violence (feeling of safety)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- lived in / used</li> <li>- streetlife</li> <li>- streetwatchers</li> <li>- overlapping functions - in space &amp; time</li> </ul>	<b>3. Protection against unpleasant sense experiences</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- wind / draft</li> <li>- rain / snow</li> <li>- cold / heat</li> <li>- pollution</li> <li>- dust, glare, noise</li> </ul>
<b>COMFORT</b>	<b>4. Possibilities for WALKING</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- room for walking</li> <li>- uncluttering layout of streets</li> <li>- interesting facades</li> <li>- no obstacles</li> <li>- good surfaces</li> </ul>	<b>5. Possibilities for STANDING / STAYING</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- attractive edges</li> <li>- »Edgeeffect«</li> <li>- defined spots for staying</li> <li>- supports for staying</li> </ul>	<b>6. Possibilities for SITTING</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- zones for sitting</li> <li>- maximizing advantages primary and secondary sitting possibilities</li> <li>- benches for resting</li> </ul>
	<b>7. Possibilities to SEE</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- seeing-distances</li> <li>- unhindered views</li> <li>- interesting views</li> <li>- lighting (when dark)</li> </ul>	<b>8. Possibilities for HEARING / TALKING</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- low noise level</li> <li>- bench arrangements</li> <li>- »talkscapes«</li> </ul>	<b>9. Possibilities for PLAY / UNFOLDING / ACTIVITIES</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- invitation to physical activities, play, unfolding &amp; entertainment - day &amp; night and summer &amp; winter</li> </ul>
<b>ENJOYMENT</b>	<b>10. Scale</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- dimensioning of buildings &amp; spaces in observance of the important human dimensions related to senses, movements, size &amp; behaviour</li> </ul>	<b>11. Possibilities for enjoying positive aspects of climate</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- sun / shade</li> <li>- warmth / coolness</li> <li>- breeze / ventilation</li> </ul>	<b>12. Aesthetic quality / positive sense-experiences</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- good design &amp; good detailing</li> <li>- views / vistas</li> <li>- trees, plants, water</li> </ul>

FIG .I.19 : Les critères détaillés de la qualité de l'environnement physique. (Source : Gehl, 1987)

Ce tableau est divisé en trois parties. La première partie, très importante, concerne les éléments de sécurité des passagers. Ce sont « les facteurs qui seuls ou ensemble peuvent ruiner n'importe quel environnement urbain »<sup>36</sup>

Les deux autres parties comportent des facteurs attirants pour les passagers. Ces facteurs créent l'identité et la différence entre les espaces publics différents.

Les facteurs favorisant un bon espace public selon le tableau de Jan Gehl et le rapport entre la qualité d'une ville et les activités dans une ville se résument comme suit :

- La protection contre la circulation et les accidents (accidents de la circulation, peur de la circulation et des accidents) : une bonne solution serait de déplacer la circulation dangereuse et rapide en dehors des quartiers résidentiels et centraux et de régler alors le problème posé par le passage d'un flux de circulation lente au flux rapide des voies périphériques, ou alors d'intégrer

<sup>36</sup> Gehl, J.: Life Between Buildings, Edition Van Nostrand Reinhold, 1987.

progressivement la circulation au flux afin que les voitures rentrent au ralenti dans ces zones en respectant les piétons.

- Protection contre la violence et la criminalité : les mesures mises en place doivent concerner les changements dans la société et l'aménagement des villes (habité/utilisé, animation de la rue, structure et identité sociales, activités simultanées place et heure, éclairage (la nuit)).
- Protection contre l'influence défavorable du climat (vent, pluie, froid, courant d'air) : le fait d'aménager des structures en fonction des situations climatiques pourraient augmenter le nombre d'heures passées dehors.
- Protection contre des expériences sensorielles désagréables (bruit, fumées, odeurs désagréables et agréables, poussières/saleté).
- Possibilités de faire de la marche à pied : il est possible de marcher à pied sans être bousculé et gêné, sans avoir à monter, à descendre des escaliers, sans avoir à marcher trop loin ou être obligé de faire des détours exagérés. La circulation piétonnière « à roue » est aussi facilitée (landaus, poussettes, chaises roulantes, chariots, etc.).
- Possibilités de rester debout.
- Possibilités de s'asseoir : il s'agit d'une exigence spécialement importante puisque plusieurs activités particulières et récréatives sont liées au fait de s'asseoir (profiter de la vie, bavarder, lire, écrire, regarder, se dorer au soleil, etc.). Les possibilités de s'asseoir sont réparties en trois catégories :
  - \* Possibilités primaires (bancs, chaises, etc.) à des endroits stratégiques (existence d'un bon rapport entre les attraits : soleil, abri du vent, appuis, activités à observer, etc.).
  - \* Possibilités secondaires (escaliers, balustrades, estrade, jardinières, lieux favorisant la position assise) lorsque la température est clémente.
  - \* Les bancs pour se reposer dans les zones piétonnières (pour les personnes âgées).
- Possibilités de bien voir aux alentours : champ visuel, orientation/vue, lignes de vision sans obstacles, éclairage (la nuit)
- Possibilités d'entendre et de parler : niveau sonore, distance, emplacement des bancs
- Possibilités de jeu et de récréation : jeu, danse, musique, théâtre, discours, mélange de différents groupes d'âges et de personnes
- Possibilités d'autres activités (lieu et espace, permission/acceptation, « générateurs », « metteurs en route », été/hiver, jour/nuit) : Les possibilités sont à tous les groupes sociaux et non pas à un groupe restreint.
- Possibilités de trouver la paix et le calme : autant il est important d'avoir la possibilité de voir, entendre et participer aux activités sociales, autant il est important de pouvoir aussi trouver des

endroits où règnent la paix, le calme et l'isolement. Ces deux exigences sont deux faces d'une même chose.

- Besoins physiologiques : manger/boire, se reposer, hygiène (W.-C. publics), courir, sauter, jouer.
- Services à petites échelles (gestes amicaux) : panneaux de signalisation, cabines téléphoniques, boîtes à lettres, panneaux d'affichage, plans de ville, location de poussettes et de chariots, corbeilles à papiers
- Aménager en vue de profiter des facteurs positifs du climat : soleil, chaleur/froid, brises/ventilation
- Aménager pour profiter des expériences sensorielles positives : qualités esthétiques du cadre, vues, nature- plantes- arbres- fleurs- et animaux.<sup>37</sup>

### **I-9-3-Influence du climat sur la qualité urbaine :**

Pour certaines villes, le climat de l'environnement joue un rôle très important dans la vie en milieu urbain. Et devient ainsi l'un des constituants important de la qualité urbaine de la vie. La qualité urbaine dans n'importe quelle région du monde, est très influencée par le climat et cela sur deux niveaux.

\*-Tout d'abord, le niveau régional ou macro-climatique, comme exemple citons les hivers longs et froids qui entraîne certains problèmes tels que la gêne du transport, la diminution de la vie urbaine, plus de consommation d'énergie, chômage saisonnier etc.

\*-D'autre part, le microclimat urbain, les constructions urbaines peuvent également créer différents types de micro environnements. Le mal à l'aise créé par le vent et le soleil à cause d'environnements créés par certaines conceptions et planifications non réussies et cela aussi a des effets néfastes sur la qualité urbaine.

Les attributs physiques de l'espace et le climat ont une influence sur les gens, de façon directe à travers des processus physiques et indirectement à travers l'impression sur l'environnement physique comme la neige, le sifflement du vent, etc.

Le climat est vu, entendu et senti. Il est senti principalement comme chaleur ou froid, c.-à-d. le confort thermique. (Le confort peut aussi faire référence au vent, à la lumière et au bruit) et il influence -plus ou moins consciemment- l'activité physique. Le microclimat caractéristique est une propriété d'un espace urbain qui a un impact considérable sur la gamme d'activités possibles et l'usage réel de cet espace. Confort, utilisation (activité) et signification (connaissance, émotion) représentent trois perspectives de la relation *gens- environnement* connu aussi sous le nom de comportement.

---

<sup>37</sup> Gehl, J.: Life Between Buildings, Edition Van Nostrand Reinhold, 1987.

Le climat dénote des conditions moyennes et typiques à long terme alors que le temps (météo) décrit une situation particulière ou un petit intervalle de temps. La position géographique - latitude, altitude, paysage environnant etc.- détermine le climat local d'une ville ou région. Les bâtiments, la végétation, la topographie et la chaleur anthropogénique, etc. influencent le climat à l'échelle de humaine et des bâtiments et créent le climat des espaces avec un microclimat urbain caractéristique qui diffère -plus ou moins- du climat local. Le climat local est donc mesuré pour représenter une moyenne pour une grande région, et le temps qui est senti directement est appelé microclimat. Le climat et le temps (météo) font référence aux paramètres tels que température, radiation, vent, et précipitation.

### **I-10-Microclimat urbain et identité de place :**

Le microclimat que les gens éprouvent instantanément dans les rues et les places diffère - plus ou moins- du climat local. Quand c'est ensoleillé ou venteux la différence est plus grande et quand l'échelle des alentours est grande, (bâtiments hauts ou grandes régions ouvertes) la différence est encore amplifiée.

Les particularités climatiques soulignent d'autres impressions et évoquent d'autres sensations. Les vents forts dans une place ouverte, par exemple, pourraient amplifier une sensation spatiale de désolation ou la sensation sociale d'être exposé. Le souhait d'un refuge du vent dans un endroit venteux peut être aussi utilisé pour se réfugier d'autres choses, par exemple le regard des autres gens. Il ne faut pas oublier la forte demande pour le confort thermique.

Les variations dans le microclimat peuvent être plutôt grandes pendant les jours ensoleillés et venteux, mais durant une journée grise et nuageuse ces variations peuvent être plutôt insignifiantes.

Les espaces urbains deviennent le climat urbain des espaces dans l'esprit. Les gens développent- plus ou moins- consciemment une compréhension de comment le climat et les environnements physiques sont liés, c.-à-d. le caractère venteux pourrait être associé avec les vues larges et la liberté. Nous croyons que les places induisent certaines humeurs et que le microclimat peut être un générateur important dans ce processus.<sup>38</sup>

### **I-11-La Perception du microclimat urbain et les conditions thermiques :**

Les conditions thermiques sont importantes pour la survie et le confort. Beaucoup d'études d'observation ont montré que les gens trouvent facilement les espaces abrités dans les jours venteux

---

<sup>38</sup> **Luc Adolphe** : Ambiances architecturales et urbaines. Edition Parenthèses , 1998.

et choisissent consciemment entre être au soleil ou à l'ombre selon la température de l'air.<sup>39</sup>

Parmi ces études celle qui a été effectuée par Ulla Westerberg, dans laquelle quatre espaces urbains dans la ville de Göteborg sont étudiés, chaque espace représente un type particulier d'espaces urbain (front de mer, petit square, grand square et parc). Le but de cette recherche était d'enquêter sur l'influence des facteurs microclimatiques sur comment les espaces publics urbains sont appréciés et utilisés et comment la vie urbaine est influencée par le climat local.

Dans cette étude on essaye de montrer le comportement des gens envers un grand square dans le centre de Göteborg en fonction de la variation des deux paramètres climatiques : Vent et température.

Le vent mesuré en m/s la température en degré Celsius. L'évaluation des interviews est en fonction d'une échelle sémantique composée de cinq niveaux pendant la période d'octobre 2003, 30 à 40 interviews par jour et douze observations. Les interviewés expriment leurs jugements en fonction des échelles qui varient du plus froid au plus chaud et du plus calme au plus venté ainsi que du plus plaisant au moins plaisant et du très beau au très laid. Dans sa recherche Ulla a noté qu'étant donné que l'investigation s'est déroulée pendant le mois d'octobre, étant bas dans cette période de l'année, le soleil n'a pas d'effets thermiques aussi importants que pendant l'été, son effet alors sur les activités de confort est beaucoup plus psychologique et visuel.

L'étude a démontré que le nombre des gens assises diminue dès que la vitesse du vent commence à augmenter malgré l'augmentation des températures (Site exposé au vent) le nombre des gens en marche n'est pas beaucoup influencé.

La perception de l'espace comme beau et plaisant dépend aussi du climat perçu en terme de vent calme où venté, chaud où froid. La perception du vent était aussi très étroitement liée à la vitesse du vent mesuré.

D'après les conversations téléphoniques Ulla a constaté que les gens considèrent qu'un espace grand et ouvert délimité par des constructions hautes provoque l'augmentation des vitesses du vent.<sup>40</sup>

On déduit que le climat est un élément très important dans l'architecture, il offre les moyens de contrôle des ambiances thermiques afin d'améliorer la perception des espaces urbains ainsi que d'offrir le maximum de confort aux usagers.

## **I-12- La notion d'ambiances :**

### **I-12-1-Définition :**

---

<sup>39</sup> **John Zacharias** : Micro climate and downtown open space activity, Environment and Behavior, 2001.

<sup>40</sup> **Ulla Westerberg** : Climate and behaviour in a Nordic city ,Plea, 2004.

Clairement identifiée depuis le milieu des années 1970 avec la création, dans les écoles d'architecture, de la « maîtrise des ambiances » comme discipline ancrée dans les sciences et techniques (avec l'acoustique, l'éclairage et la thermique), ce domaine de recherche a vu son émergence institutionnelle au début les années 1990.

Il s'appuie sur de nombreux antécédents scientifiques qui rendent possible aujourd'hui une approche interdisciplinaire et permettent de dépasser les utiles, mais restrictives, notions de nuisance ou de confort.

Qualifiant les situations d'interaction sensible dont on fait l'expérience à un moment donné dans un lieu donné, la notion d'ambiances architecturales et urbaines peut être esquissée en quelques traits :

- Elle implique un rapport sensible au monde, synesthésique autant que cénesthésique, c'est-à-dire impliquant les modalités sensorielles, séparément ou simultanément, et la sensibilité générale de la personne, impression générale d'aise ou de malaise résultant d'un ensemble de sensations internes.
- L'étudier nécessite une approche pluridisciplinaire portant une attention aux dimensions construites, sensibles et sociales de l'espace habité.
- Elle ne se réfère pas à une échelle spatiale particulière. Utilisée pour l'habitat, l'espace public, les espaces de travail ou de commerce, les espaces de la mobilité, les espaces de représentation, elle désigne une situation d'interaction sensible. En cela il s'agit d'une notion trans-scalaire qui s'applique à des espaces « ordinaires » comme à des espaces plus scénographiés.
- Utilisée pour l'étude des espaces autant que pour leur conception, il s'agit, par l'attention aux configurations sensibles, d'une posture situant l'expérience de l'utilisateur au cœur du projet.<sup>41</sup>

Les ambiances architecturales et urbaines sont un champ de recherche ouvert et infini qui s'enrichit des nombreux travaux de modélisation et de caractérisation physique du sensible, des recherches en esthétique, en sciences cognitives (en particulier l'approche écologique de la perception), ou encore des apports de la sociologie et de l'anthropologie des espaces habités.<sup>42</sup>

De nombreux architectes, paysagistes et urbanistes s'appuient sur cette notion et utilisent de nouveaux outils pour leurs projets, permettant d'allier maîtrise environnementale, expérience sensible et attention aux usages.

### **I-12-2-Ambiances :**

---

<sup>41</sup> **Luc Adolphe** : Ambiances architecturales et urbaines. Edition Parenthèses , 1998.

<sup>42</sup> **Lars Müller** : Une approche différente de l'urbanisme. Edition Lars Müller Publishers, 2005.

En tant que perception sensible de l'environnement urbain et architectural, l'ambiance est une expérience partagée par tout le monde mais le plus souvent difficilement communicable et explicable. Les définitions les plus courantes du terme « ambiance » sont les suivantes :

- « Éléments et dispositifs physiques qui font une ambiance »
- « Atmosphère matérielle et morale qui environne un lieu, une personne ».

Ces définitions nous renvoient d'emblée à la dualité objectif/subjectif et ouvrent la discussion sur la complémentarité des notions d' « ambiances » et d' « ambiance ». Il est en effet possible d'isoler la dimension physique des phénomènes d'ambiance de leur perception sensible et esthétique ou d'associer à l'ambiance générale d'un lieu les différents phénomènes physiques et sensibles qui se rattachent aux ambiances lumineuses, sonores, thermiques, olfactives, etc.

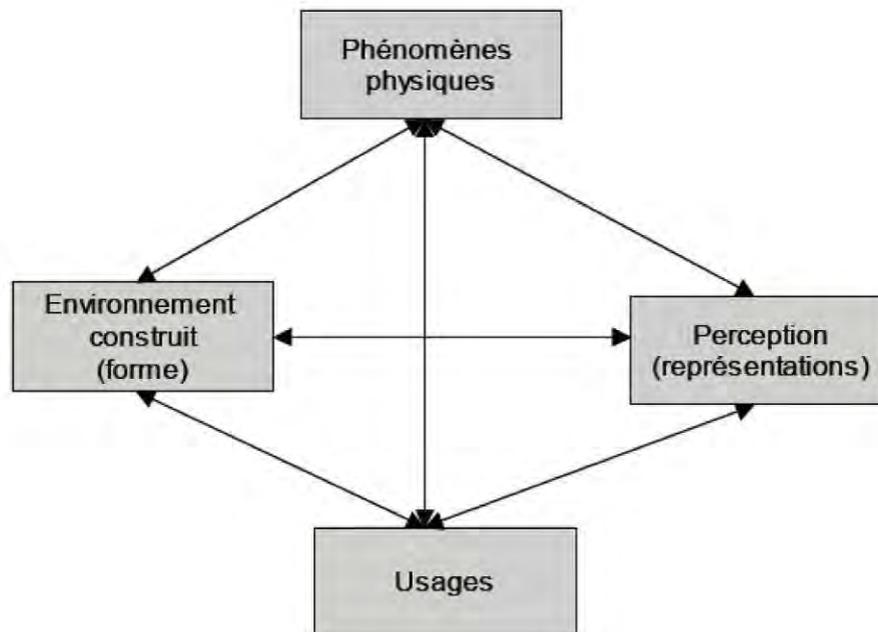


FIG .I.20 : Éléments constitutifs des ambiances.(Source : Gérard Hégron, Henry Torgue, 2007).

La notion d'ambiance nous permet d'échapper précisément à une trop stricte opposition sujet/objet, c'est-à-dire d'éviter la séparation entre la perception du milieu par un usager et l'objet perçu. Elle articule la connaissance des phénomènes physiques en présence, leurs interactions avec la forme construite, les usages des espaces architecturaux et urbains, la perception de l'utilisateur et ses différentes représentations (Figure. I.20). Elle permet également de traverser les échelles spatiales et temporelles.

Paradoxalement, les recherches engagées depuis quelques décennies se sont focalisées sur deux champs complémentaires : l'un se concentrant davantage sur la maîtrise des flux ambiants (lumière, son, chaleur, aéraulique, odeur, ...) s'appuyant sur les sciences pour l'ingénieur et la

connaissance des formes urbaines et architecturales, l'autre explorant l'analyse de l'expérience sensible *in situ* et mobilisant les savoirs sur les usages et les représentations.<sup>43</sup>

Les travaux sur les ambiances articulent les trois composantes qui caractérisent le plus souvent la spécificité de la recherche architecturale : les objets, les sujets, le projet.

- Les objets : il s'agit ici des phénomènes physiques d'ambiances, naturels et anthropiques, qui sont en interaction avec l'environnement construit (bâtiments, infrastructures, ...) et naturel (parcs, végétation, plans d'eau, ...);

- Les sujets : il s'agit des habitants qui pratiquent ou fréquentent les environnements architecturaux et urbains et qui perçoivent et ressentent leur environnement physique (objet) en fonction de leur sensibilité physiologique, psychologique et culturelle (représentations cognitives) et de l'usage de ces lieux ;

- Le projet : l'enjeu est de concevoir un projet urbain ou architectural qui respecte *in fine* les intentions d'ambiance du concepteur (architecte, urbaniste). Il s'agit d'anticiper les propriétés d'ambiance d'un environnement construit qui n'existe encore pas.<sup>44</sup>

Les travaux sur les ambiances constituent par conséquent une recherche intrinsèquement interdisciplinaire qui marie l'architecture et l'urbain avec les sciences pour l'ingénieur et les sciences humaines et sociales.

### **I-13-Conclusion :**

Depuis la grande expansion urbaine du Moyen Age, le paysage des villes à travers le monde est marqué par la présence de grandes places publiques, vastes espaces dégagés au sein d'un tissu urbain assez dense. Devenues aujourd'hui les symboles d'une histoire au prestige revendiqué, elles retrouvent leur rôle de cœur battant de la cité, rappelant l'époque où elles accueillait les cérémonies civiques ou religieuses et s'affichaient comme l'espace privilégié de l'activité économique et commerciale.

Dans la redéfinition des espaces urbains, la place publique occupe en effet un rôle majeur et polymorphe, reconnu par les pouvoirs publics aussi bien que par les urbanistes. Au croisement des inquiétudes patrimoniales et des projets de rénovation urbaine et de réaménagements, la place publique se présente plus que jamais comme le cœur de nos villes.

---

<sup>43</sup> **Gérard Hégron** : Ambiances architecturales et urbaines « De l'environnement urbain à la ville sensible », 2007.

<sup>44</sup> **Idem** 43.

De ce fait la qualité des espaces publics urbains présente un intérêt majeur et il est reconnu que ces espaces peuvent contribuer à une bonne qualité de vie en milieu urbain tout comme, à l'opposé, accroître l'isolement et l'exclusion sociale. Ceci dépend de l'environnement physique et du tissu social ; en effet les hypothèses sous-jacentes sont que ces conditions affectent le comportement des usagers dans les espaces extérieurs.

Les espaces urbains- la place spécialement-, comme les bâtiments, génèrent des ambiances thermiques à partir des conditions climatiques "génériques". Ces ambiances peuvent donc être plus ou moins favorables au confort thermique des usagers de la ville. On devrait donc ce donner les moyens de contrôler ces ambiances en fonction des usages programmés, et de ne pas abandonner cela au pur hasard.

La ville méditerranéenne a toujours su, par tradition, fournir des espaces adaptés climatiquement aux usages : espaces étroits ou mails arborés pour l'ombre d'été, espaces dégagés vers le Sud pour conserver l'ensoleillement d'hiver. Il est intéressant de constater que certaines extensions urbaines, ont su intégrer ces facteurs. Aujourd'hui, où le projet urbain redevient d'actualité, ces questions se posent à nouveau et les réponses doivent être traitées à partir des connaissances acquises en matière de "microclimatique urbaine", d'où l'utilité de ce chapitre.

# **Chapitre II**

Le microclimat

## II-1- Introduction :

Le contrôle de l'environnement et la création de conditions favorables pour son confort et ses activités sont une préoccupation éternelle de l'homme. La conception de la maison reflète à travers les âges, les différentes solutions adaptées par l'homme pour lutter contre les difficultés climatiques. Il est de fait établi que l'architecture vernaculaire a toujours composé avec les éléments du climat. Beaucoup d'études concernant l'intégration climatique de l'architecture vernaculaire l'ont maintes fois démontré.<sup>45</sup>

Par ailleurs, cette ingéniosité populaire qui a longtemps produit des solutions climatiquement performantes avec des moyens limités, tout en respectant le contexte socioculturel et économique n'a malheureusement pas pu résister sous l'influence de valeurs rapportées essentiellement par la modernité, les courants hygiénistes et l'industrialisation.

Ceci a conduit à une transformation importante dans la notion de bien être, et a fini par affecter la relation de l'homme à son habitat. Ce changement important était soutenu par la crise de l'énergie de 1973 où un intérêt particulier pour une conception à bas profil énergétique s'est manifesté. Cependant, seul l'espace intérieur a bénéficié de ce progrès.

Ceci a conduit à une réduction de la conception du confort au seul aspect intérieur et une dissociation entre espace intérieur et espace extérieur.

Afin de mieux saisir les causes et les conséquences de cette dissociation, nous entamons cette étude par un chapitre qui traite le microclimat urbain. Ainsi, nous présentons en premier lieu le phénomène « microclimat », ses types et les éléments qui le définissent.

Nous présentons aussi quelques définitions sur les différentes échelles climatiques. Il est important de faire une distinction entre ces différentes échelles car les phénomènes qui s'y produisent ne sont pas forcément les mêmes ou n'ont pas les mêmes répercussions. Ainsi, il est possible de différencier quatre types d'échelle des climats : l'échelle globale, l'échelle régionale, l'échelle locale et l'échelle microclimatique. Dans cette étude, nous nous attardons sur ce dernier point en nous focalisant tout précisément sur le microclimat urbain. Nous allons présenter les différents types de transferts de chaleur qui s'y déroulent, ainsi que les spécificités du microclimat urbain. Cette

---

<sup>45</sup> **Izard, J.L.** : Architecture D'été « construire pour le confort d'été ». Edition EDISUD, 1993.

approche physique de la ville doit permettre de poser les bases essentielles à la mise au point des simulations envisagées.

## II-2-Urbanisme et Echelle Climatique :

### II-2-1-Introduction :

Le besoin d'abri varie en fonction de la sévérité du climat, et l'échelle climatique est un concept utile pour le déterminer. Cette échelle s'échelonne de l'absence totale du besoin d'abri, du seul point de vue climatique, aux régions exigeant un maximum d'abri. Plus les contraintes climatiques seront sévères, plus la forme sera limitée et fixée, et moins il y aura de variations possibles, à partir de ce qu'on pourrait appeler « le fonctionnalisme climatique pur ».<sup>46</sup>

Outre la sévérité climatique, l'échelle climatique est due à l'influence de L'environnement naturel, et de l'action de l'homme. Selon l'étendue de la zone d'étude, les échelles du climat varient. Les facteurs du climat sont plus nombreux à mesurer que l'espace concerné est réduit. Ainsi, on peut distinguer : le climat global, à 741 ; le climat régional, le climat local et le microclimat. (Tableau II.1 et Tableau II.2)

Échelle du climat	Facteurs affectant le climat
Climat global	* Latitude. * Altitude. * Relation à la mer.
Climat régional	* Latitude / altitude. * Situation continentale. * Relation aux autres eaux.
Climat local	* Altitude relative. * Relation aux eaux. * Végétation.
Microclimat	* Topographie. * Conditions des sols. * Type de végétation.

**Tableau .II.1 : Facteurs environnementaux définissant les différentes échelles du climat.**

(Source : Schreck et al, 1989.)

<sup>46</sup> **Amos Rapoport** : Pour une anthropologie de la maison. Edition Dunod, 1972.

L'action de l'urbaniste s'inscrit à l'échelle du climat local, car celle-ci couvre une étendue correspondant à une ville ou établissement humain.

système	Caractères dimensionnels		
	Horizontal (km)	Vertical (km)	Temporel
Global	2000	3 à 10	1 à 6 mois
Régional	500 à 1000	1 à 10	1 à 6 mois
Local	1 à 10	0,01 à 0,1	1 à 24 h
Microclimat	0 1	0,01	24 h

Tableau .II.2 : différentes étendues de l'échelle climatique. (Source : Markus et Morris, 1980).

## II-2-2-Notion de microclimat :

### II-2-2-1-Définition :

Le microclimat désigne généralement des conditions climatiques limitées à une région géographique très restreinte, significativement distinctes du climat général de la zone où se situe cette région.

Un microclimat est le climat distinctif d'un secteur à petite échelle, comme un jardin, un parc, une vallée ou une partie d'une ville.

Les variables météorologiques dans un microclimat, comme la température, la pluviométrie, le vent ou l'humidité, peuvent subtilement différer des conditions prévalant sur le secteur dans l'ensemble.

En effet, c'est ce mélange de plusieurs microclimats locaux légèrement différents qui composent en réalité le microclimat pour une ville, ou une région.<sup>47</sup>

### II-2-2-2-Types de microclimat :

- le climat d'une étendue limitée résultant de la modification du climat général sous l'effet de différences locales d'altitude et/ou d'exposition (exemple: pente ou ombres portées), d'albédo ou de végétation, de présence/absence d'eau ou de vent, etc. ;
- une série de variations climatiques à l'intérieur d'une très petite région ;
- une modification du climat liée à la proximité d'une source de chaleur (terril en combustion, source hydrothermale, magma, etc.
- une modification liée à un milieu particulier (lisière forestière, lac, grotte, moraine glaciaire, tourbière, névé, etc.)

<sup>47</sup> Wikipédia encyclopédie collaborative en ligne.

- le climat régnant au voisinage d'un organisme vivant. Ce microclimat peut être très différent du climat général lorsque, par exemple, il s'agit du climat d'un terrier, d'une termitière ou une grotte, beaucoup plus stable que le climat local.
- Sous un arbre, ou sous la canopée, le climat est très différent de ce qu'il est en l'absence d'arbre, en raison notamment de l'évapotranspiration et de l'ombre portée au sol, par ailleurs enrichi en champignons qui en conservant plus d'eau dans le sol le maintien plus frais.

Une tourbière, une oasis peuvent présenter un microclimat particulier du à la présence de l'eau et de l'évaporation.<sup>48</sup>

### **II-2-2-3-Les différents éléments qui influencent le microclimat :**

#### **II-2-2-3-1-L'influence de l'eau sur le microclimat :**

Que ce soit à petite ou à grande échelle, les masses d'eau influencent considérablement le climat.

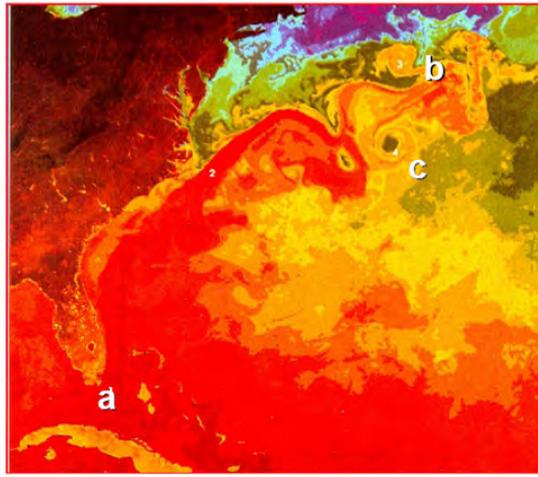
A l'échelle du microclimat, les étendues d'eau tempèrent les fluctuations de température bassins, étangs, etc. jouent le rôle de tampons thermiques. Il fait donc moins chaud en été, moins frais en hiver.

Dans un climat très chaud et sec, des techniques de micronisation (pulvérisation de gouttelettes d'eau de l'ordre du micromètre en suspension dans l'air) ont été mises à l'essai pour rafraîchir localement les températures, par exemple lors de l'Exposition universelle de 1992 à Séville. Des fontaines et des jets d'eau ont également été répartis sur tout le site. L'énergie nécessaire à la vaporisation de l'eau est retirée aux masses d'air, qui ainsi se refroidissent. L'application d'un tel dispositif a permis de réduire localement la température de l'air de quelques degrés.

A grande échelle, les mers et océans conditionnent le climat du littoral. Le climat de la façade européenne atlantique est influencé par le Gulf Stream (Figure. II.1), courant chaud provenant du golfe du Mexique. Les températures moyennes sont de plusieurs degrés supérieurs à celles observées à des latitudes équivalentes sur le continent Nord Américains.<sup>49</sup>

<sup>48</sup> **Wikipédia** encyclopédie collaborative en ligne.

<sup>49</sup> **Alain Liébard , André De Herde** : Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques. Edition : Le Moniteur, 2006.



**FIG.II.1 : Température des eaux de surface au large de la cote Est des Etats unies : le Gulf Stream**  
 (Source : Alain Liébard , André De Herde 2006)

Par contre, il existe certains courants d'eau froide qui longent les côtes du Pérou ou de l'Afrique du Nord-Ouest.

De manière générale, la très grande capacité thermique de l'eau rend celle-ci peu sensible aux variations de température de l'atmosphère. Sur la frange côtière, la présence conjointe de l'eau et du continent détermine des schémas climatiques particuliers : les brises de mer et les brises de terre.

Pendant la journée, un échauffement plus rapide sur terre que sur mer aboutit à la création de basses pressions thermiques dans l'arrière-pays et de pressions relativement hautes en mer. La brise fraîche qui souffle de la mer vers la terre tend à supprimer le déséquilibre ainsi créé. Durant la nuit, la déperdition par rayonnement est plus forte sur terre que sur mer et les courants aériens sont inversés.<sup>50</sup>

<sup>50</sup> Alain Liébard , André De Herde : Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques. Edition : Le Moniteur, 2006.

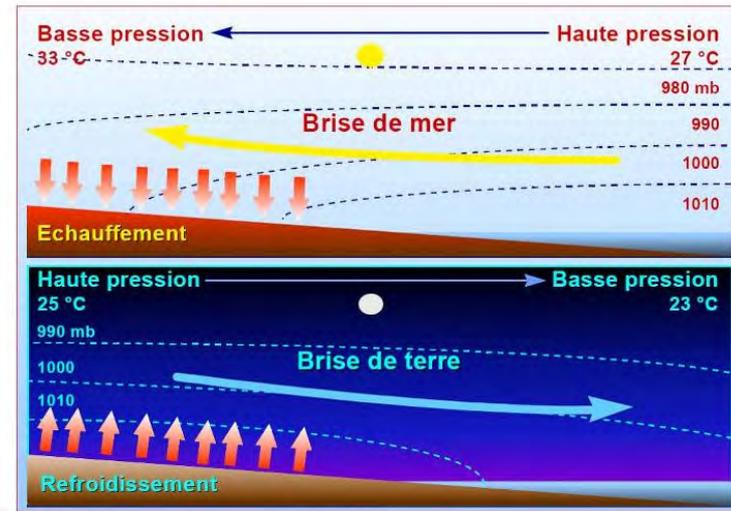


FIG.II.2 : L'influence de l'inertie thermique des grandes masses d'eau.  
(Source : Alain Liébard , André De Herde 2006)

### II-2-2-3-2-L'influence du relief sur le microclimat :

Le relief influence la répartition des températures, les possibilités d'ensoleillement ainsi que les phénomènes de nébulosité et de régime des vents. Le relief joue sur les températures tant par les variations qu'il induit de jour grâce à l'irradiation des pentes (selon leur orientation et inclinaison) que par son influence sur le régime des vents. Les faces exposées au vent sont plus froides que les faces masquées et si le relief protège certains sites, il en surexpose d'autres.

La figure II.3 propose d'examiner l'évolution typique des températures extérieures sur 24 heures dans un relief montagneux. On constate que les vallées sont en général plus chaudes le jour que les sommets. Par contre, de nuit, le soleil n'entrant plus en ligne de compte, l'air se refroidit et s'accumule au fond des vallées et des petites dépressions. Il se crée ainsi une différence de température au profit des pentes directement en contact avec ce qu'on appelle la ceinture chaude. Dans les longues vallées, le phénomène tend à créer un mouvement d'air longitudinal d'autant plus puissant que la vallée est longue et que le gradient de température est élevé.

L'altitude influence aussi la température. La pression diminuant avec l'altitude, l'air se détend et se refroidit. Cette diminution de température est de l'ordre de 0,7 °C par accroissement de 100 m.

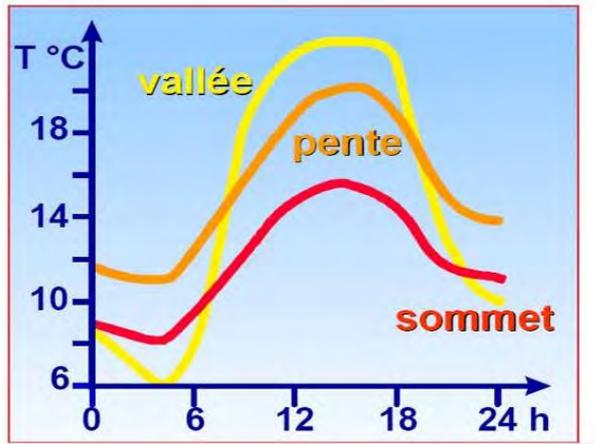


FIG.II.3 : Variation des températures suivant la situation dans le relief.  
(Source : Alain Liébard , André De Herde 2006)

La figure .II.4 rappelle les problèmes d'exposition (adret et ubac) d'ombrage mutuel et de ceinture chaude. La topographie peut constituer un ombrage important à l'ensoleillement en hiver, où les vallées orientées est-ouest risquent d'être en permanence à l'ombre. En Europe du Nord, on préférera situer les édifices suffisamment hauts à flanc de colline pour bénéficier du soleil même en hiver.

Les variations d'ensoleillement induisent une variation de température entre le haut et le bas des vallées. Cette situation provoque des fluctuations de pression et un mouvement des masses d'air. Les brises remontent les vallées pendant la journée lorsque les sommets bénéficient d'un ensoleillement et d'un réchauffement supérieur à celui de la plaine.<sup>51</sup>

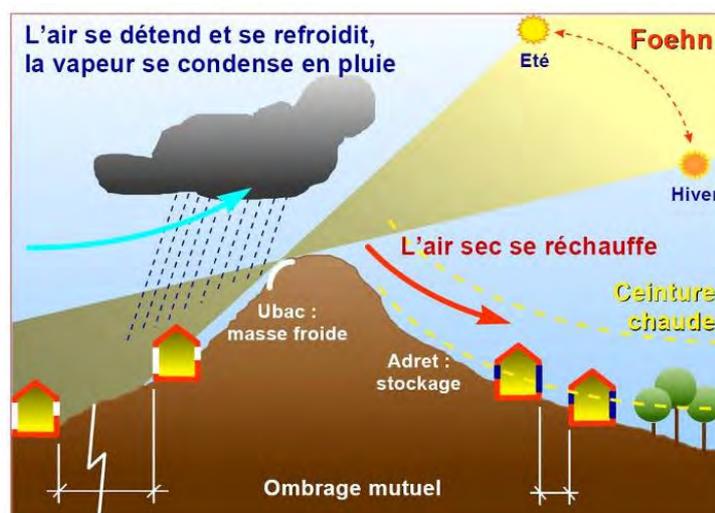


FIG.II.4 : Influence du relief. (Source : Alain Liébard , André De Herde 2006)

<sup>51</sup> Alain Liébard , André De Herde : Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques. Edition : Le Moniteur, 2006.

### **II-2-2-3-3-L'influence de la végétation sur le microclimat :**

La végétation offre un ombrage saisonnier des édifices, fait écran contre les vents, rafraîchit l'air par évapotranspiration et filtre les poussières en suspension (Figure.II.5).

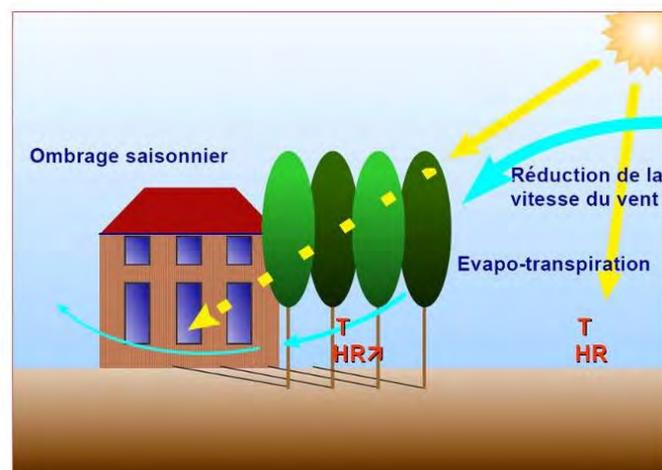
La végétation se distingue des autres éléments par son aspect éventuellement saisonnier (plantations à feuilles caduques) et par le fait que son efficacité dépend de la croissance de la plante.



**FIG.II.5 : Ombrage par une treille. (Source : Alain Liébard , André De Herde 2006)**

Par ailleurs, elle n'offre qu'une protection partielle : elle filtre la radiation plutôt qu'elle ne l'arrête (Figure. II.6).

Lorsqu'on prévoit un ombrage au moyen de plantations, il faut qu'elles soient à feuilles caduques afin de profiter des apports d'énergie solaire en période hivernale et de protéger progressivement les parois transparentes à partir du printemps. Les plantations utilisées pourront être à tiges grimpantes ou retombantes, et on recherchera des feuillages denses pour une protection maximale en été, mais avec peu de branchage pour réduire l'ombrage au minimum en hiver. Cependant, des études ont montré que même en hiver, la plupart des arbres conservent un coefficient d'ombrage de près de 50 % de leur valeur d'été.



**FIG.II.6 : La végétation se distingue des autres protections par son aspect saisonnier.**

(Source : Alain Liébard , André De Herde 2006)

Les arbres sont également capables de filtrer ou de fixer les poussières, et d'absorber ou de produire de la vapeur d'eau. Un hectare de forêt peut produire près de 5 000 tonnes d'eau par an. Par photosynthèse, les arbres régénèrent l'air en produisant de l'oxygène. Dans les régions fortement boisées, les arbres interceptent jusqu'à 60% de la radiation solaire, empêchant ainsi l'augmentation des températures du sol. Ce phénomène sera permanent ou saisonnier selon qu'il s'agira d'espèces à feuillage caduc ou persistant. Par contre, les arbres diminuent la radiation nocturne vers la voûte céleste : le feuillage constitue un "ciel" pour le sol au pied de l'arbre et sa température radiante est supérieure à celle de la voûte céleste. La chute de température est donc limitée la nuit.

D'ailleurs, on constate que les écarts de température au sol sont peu importants dans les régions boisées.

On remarque également une différence de température moyenne de 3.5 °C entre un centre-ville et des quartiers longeant une bande de végétation d'une profondeur variant de 50 à 100 mètres. Une convection horizontale des masses froides (végétation) vers les masses plus chaudes (constructions voisines) permet ce rafraîchissement. De ce fait, l'humidité relative augmente de 5 %.

Enfin, la végétation offre une protection contre les vents forts. Haies, alignements d'arbres, essences grimpantes augmentent la rugosité à l'écoulement de l'air la vitesse du vent est réduite et les déperditions par convection des bâtiments diminuent.<sup>52</sup>

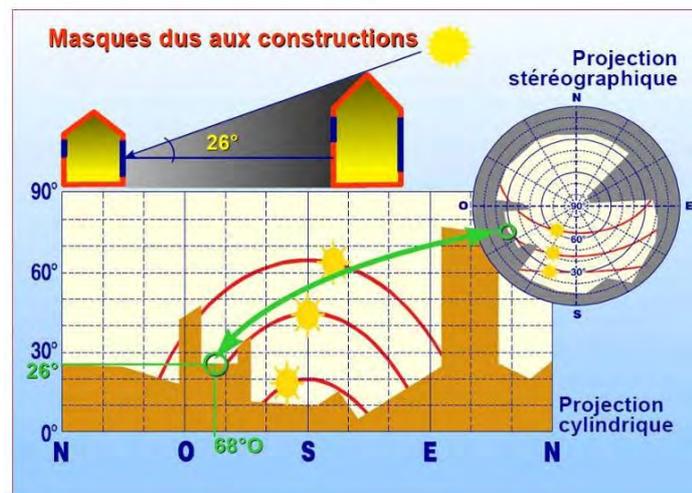
#### **II-2-2-3-4-L'influence des constructions sur le microclimat :**

<sup>52</sup> Alain Liébard , André De Herde : Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques. Edition : Le Moniteur, 2006.

Les constructions masquent le rayonnement solaire, protègent du vent, stockent la chaleur et élèvent la température extérieure. Elles peuvent également créer des courants d'air ou réfléchir les rayons du soleil.

Les constructions constituent des écrans fixes pour leur voisinage. Leur rôle peut être positif si l'on recherche une protection contre le soleil c'est le cas des villes méditerranéennes traditionnelles, où l'étroitesse des ruelles et la hauteur des bâtiments réduisent considérablement le rayonnement direct et fournissent un ombrage bienvenu.

Ce rôle peut être négatif si les bâtiments voisins masquent le soleil alors qu'on souhaite bénéficier d'apports solaires. Dans le cas d'une conception solaire passive, il importe de mesurer l'impact de cet effet de masquage. On relève, sur un diagramme cylindrique ou stéréographique (Figure.II.7) les courbes de la course solaire annuelle et la silhouette des bâtiments voisins. En se plaçant au droit des fenêtres de chaque face du bâtiment, on relève l'angle en deçà duquel le rayonnement direct disparaît derrière les bâtiments opposés. On repère ainsi facilement les périodes où ensoleillement est disponible et on peut calculer les facteurs de réduction des gains solaires.



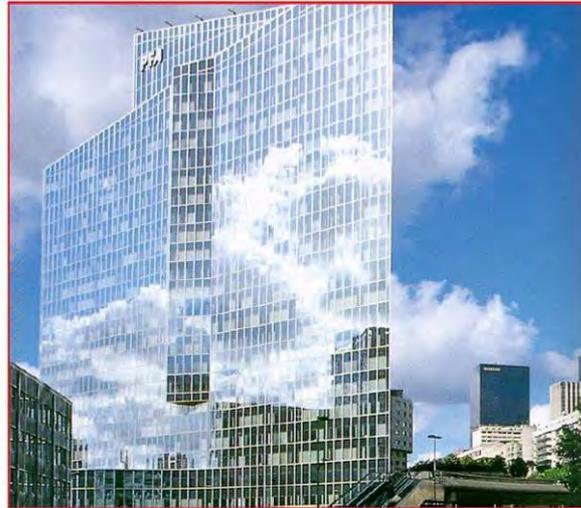
**FIG.II.7 : Détermination de l'effet de masquage du soleil par projection cylindrique et stéréographique.**

(Source : Alain Liébard , André De Herde 2006)

La nature des surfaces construites influence également le microclimat en stockant la chaleur. En milieu urbain, la température moyenne est supérieure de quelques degrés à la température moyenne en rase campagne. La construction des sols empêche également l'eau de percoler vers le sous-sol. Enfin, les constructions peuvent générer des situations paradoxales. Elles réduisent la vitesse moyenne des vents tout en forçant ceux-ci à les contourner, ce qui multiplie les turbulences. Les tours sont d'ailleurs connues pour générer de violentes bourrasques à leur base.

L'emploi de matériaux réfléchissants (vitrages) peut également influencer l'exposition effective d'un bâtiment (figure.II.8). Un édifice orienté au nord et doté de larges vitrages clairs pour

tirer parti de la lumière naturelle peut se retrouver dans une situation sud si on construit en face un bâtiment équipé de vitrages réfléchissants, précisément pour se protéger de l'ensoleillement. De toute évidence, les conditions de confort, dans le premier bâtiment, sont profondément modifiées par la construction du second.



**FIG.II.8 : Les apports solaires d'un bâtiment peuvent changer selon la composition de ses parois.**  
(Source : Alain Liébard , André De Herde 2006)

### **II-3-Dimension Climatique à L'échelle Urbaine :**

Associer le climat à l'habitat n'est pas une chose nouvelle. Les architectes, depuis les temps les plus lointains semblent avoir pris en considération les effets du climat dans leur conception. Ainsi, les Grecs accordaient une grande importance aux effets de l'urbanisation et de la construction sur l'habitat. « *Aristote donna des conseils sur l'opportunité d'orienter le plan de la ville vers l'est et de le protéger au nord. Xenophon conseilla l'utilité des portiques pour procurer de l'ombre en été, tout en laissant pénétrer le soleil hivernal d'angle plus réduit* ». <sup>53</sup>

Les romains, bien qu'ils ne se souciaient pas beaucoup du climat, les travaux de Vitruve illustrent un intérêt particulier pour les effets du climat sur l'habitat. Ceci est constaté à travers les principes de choix du site, l'orientation de la ville, l'exposition aux vents dominants.

En effet, le climat est un aspect important. L'interaction entre l'environnement bâti et les facteurs énergétiques du climat a toujours suscité l'intérêt des concepteurs. La théorie de la causalité du climat, affirmant que la préoccupation première de l'homme primitif étant de s'abriter, et que

---

<sup>53</sup> **S. Mazouz** : L'intégration de variables environnementales dans le processus de conception architecturale, 2000.

par conséquent les impératifs du climat, déterminent la forme, à été largement acceptée par l'architecture. Selon cette théorie, l'homme ne peut pas dominer la nature, mais doit s'adapter à elle.<sup>54</sup>

Dans ce cas, l'organisation de l'habitat en considérant les effets du climat n'affirme en aucun cas un déterminisme climatique. A ce propos, il est nécessaire de mentionner les qualités microclimatiques de l'architecture vernaculaire. Celle-ci est le produit d'une vaste gamme de déterminants physiques, socioculturels, techniques et économiques. Elle est basée sur une connaissance intuitive du milieu et du climat, utilise un minimum de ressources pour un confort maximum.

Si le climat a suscité tant d'intérêt dans l'urbanisme et l'architecture des premiers âges de l'humanité, il n'en est pas de même pour les périodes qui suivent. En effet, la conception contemporaine de l'habitat est caractérisée par une série de déterminismes qui en ont conditionné aussi bien le processus que le produit fini. Ainsi, si les maîtres du mouvement moderne ont manifesté un intérêt aux effets du climat, cet intérêt était soit trop réduit, soit prenant en compte peu de paramètres pour une insertion correcte du climat dans la conception de l'habitat.<sup>55</sup>

A travers le temps, la conception de l'habitat a évolué relativement avec l'évolution de la notion de bien être. Celle-ci ne se qualifie plus à travers les qualités d'ambiance spatiale, le confort thermique, les aspects socioculturels, mais souvent à travers l'aspect extérieur de la construction, quelques facilités fonctionnelles, aussi bien dans les espaces intérieurs qu'extérieurs. Cependant, si la crise de l'énergie de 1973 a incité les concepteurs à chercher de nouvelles méthodes pour réintégrer le climat dans la conception de l'habitat, elle a conduit à une réduction de la conception du confort au seul aspect intérieur. L'enveloppe du bâtiment s'est alors, révélée au centre d'intérêt pour une conception à bas profil énergétique (Los, 1981).

L'espace extérieur, lorsqu'il était considéré, c'était dans le but d'améliorer l'ambiance thermique intérieure. Ceci a conduit à des qualifications réductrices telles que «Architecture bioclimatique», «Architecture solaire», «Conception consciente de l'énergie».

Le souci d'efficacité énergétique s'est trouvé transformé en un style architectural. L'approche bioclimatique, qui est sensée s'intégrer dans le processus de conception urbaine et architecturale était traitée avec une vision déterministe. *«La parcellisation de la «contrainte*

---

<sup>54</sup> **Amos Rapoport**: Pour une anthropologie de la maison. Edition Dunod, 1972.

<sup>55</sup> **S. Mazouz** : L'intégration de variables environnementales dans le processus de conception architecturale, 2000.

*énergétique» a souvent conduit à des réponses ponctuelles s'inscrivant fatalement en terme de «plus value», et dont la pertinence se trouve limitée à la question thermique.*

Par fois même, ces réponses peuvent être amenées à perturber d'autres fonctions inhérentes à l'acte de construire.<sup>56</sup>

## **II-4-Aspects Microclimatiques Urbains :**

### **II-4-1-Introduction :**

Depuis le milieu du 19ème siècle, et surtout au 20ème siècle, les villes se sont énormément développées. Le fait qu'il y ait beaucoup de grands immeubles sur une zone relativement petite modifie plusieurs aspects de la météorologie, par exemple la température de l'air, la direction et la vitesse du vent. Et de nombreux facteurs naturels contrôlent le climat urbain, comme la latitude, le relief, la façon dont le sol est utilisé ou la présence de points d'eau.

Les activités humaines (en particulier les industries et les transports) ont aussi un impact sur le climat dans les villes. Elles sont concentrées dans les zones urbaines et produisent de grandes quantités de polluants multiples. La pollution de l'air est néfaste pour l'environnement, l'économie et la santé humaine : le smog ou les pluies acides en sont des exemples frappants. Ils y a beaucoup d'endroits dans le monde touchés par la pollution, dont par exemple ce qu'on appelle "le triangle noir", qui se trouve en Pologne, Allemagne et République tchèque.<sup>57</sup>

Pendant presque 100 ans, on a cru que les zones urbaines affectent le climat local, principalement en termes de température. L'effet urbain est due à des raisons diverses comme les changements dans les propriétés thermiques, l'humidité et le caractère aérodynamique de l'environnement construit. Ces changements créent une couche urbaine distincte de frontière, ou dôme de chaleur. Ce dôme de chaleur s'étend verticalement au-dessus de la ville . Les températures dans le dôme de chaleur peuvent être de 10 °F (6 °C) plus élevé que dans les régions avoisinantes.

La ville est un facteur de l'environnement qui modifie profondément le climat local en créant un phénomène nouveau appelé climat urbain. On parle de climat urbain par rapport au climat rural.

### **II-4-2-Principales caractéristiques des villes :**

La principale caractéristique bioclimatique des milieux urbains est la différence entre leur température moyenne et celle des espaces ouverts ou moins construits environnants. On a remarqué

---

<sup>56</sup> Parant C. ; Mazaud J. R. : Architecture et énergie. Revue : Le Progrès technique, 1991

<sup>57</sup> <http://www.espere.net/>

en général que cet effet de "heat Island" (îlot de chaleur) était plus important dans les villes américaines que dans celles européennes, ce qui serait dû à des bâtiments plus hauts et à des profils de rue plus étroits.

Les principaux facteurs qui sont en cause sont :

#### II-4-2-1-La pollution de l'air :

Elle réduit les capacités de transmission de l'atmosphère urbaine. Une partie du rayonnement solaire dirigé vers la ville est retenue par la couche de pollution qui la recouvre l'autre partie du rayonnement direct qui y pénètre devient diffus. En conséquence, les taux d'ensoleillement en ville peuvent être gravement inférieurs à ceux de la campagne.

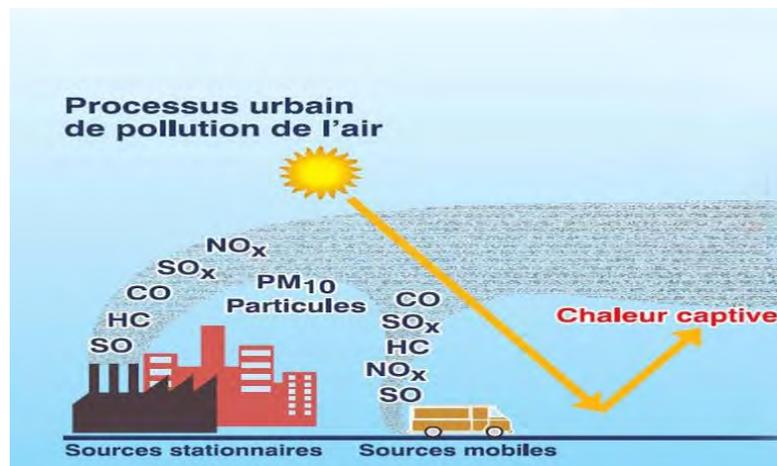


FIG.II.9 : Processus urbain de pollution de l'air. (Source : Alain Liébard , André De Herde 2006)

#### II-4-2-2-Les formes construites :

En ville, la proportion de surface exposée par m<sup>2</sup> de terrain est plus grande : la capacité d'absorber les radiations solaires est donc supérieure, surtout en hiver. Cependant, cette même densité bâtie réduit les possibilités d'ensoleillement d'un site (le "ciel visible"). Cette part plus grande d'ombrage, qui peut être très importante en hiver, est aussi dommageable en été pour le refroidissement de l'air : celui-ci est obtenu par le renvoi des radiations à longues ondes vers l'atmosphère, il est donc rendu plus difficile par des coupes de rues étroites, et par la couche de pollution qui bloque la dissipation de chaleur.

#### II-4-2-3-Les types de matériaux et de surfaces utilisés :

La capacité d'absorption thermique des matériaux de construction est importante car elle régule la fluctuation des températures, en absorbant la chaleur durant la journée et en la réémettant

la nuit : les variations jour/nuit en zone rurale sont plus importantes. La capacité de réflexion des surfaces est donc aussi un facteur important : elle détermine l'augmentation de température de la surface, et donc celle des couches d'air adjacentes. Les couleurs sombres de l'asphalte, du béton et de la brique créent ainsi des surchauffes localisées.

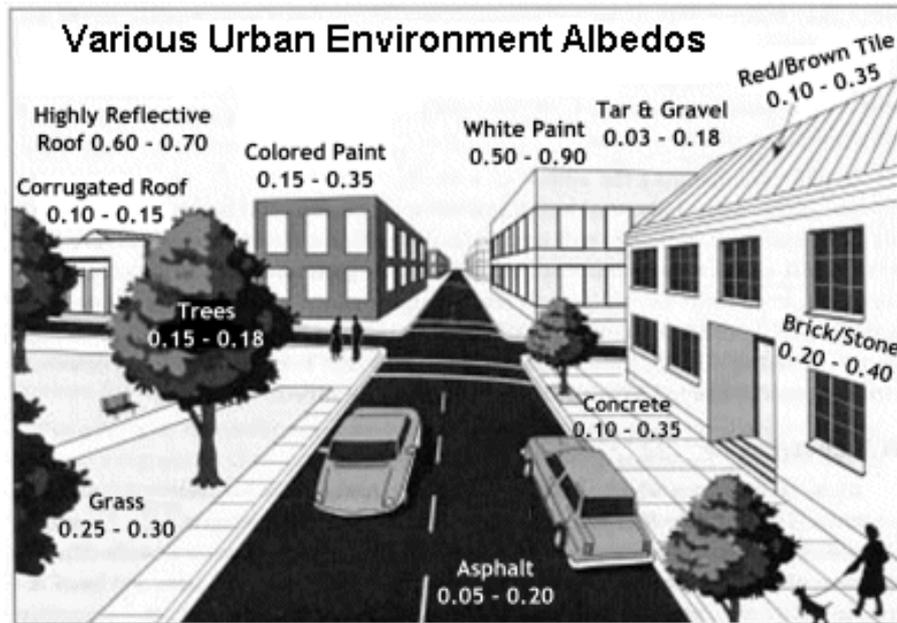


FIG.II.10 : Quelques Albédos de certaines surfaces de recouvrements dans une ville.

(<http://www.uwsp.edu/>)

#### II-4-2-4-La production de chaleur par les bâtiments et par le trafic :

La consommation d'énergie en milieu urbain, pour l'éclairage, le transport, ou le chauffage des bâtiments, ainsi que leur mauvaise isolation thermique, et même le métabolisme de l'activité humaine, produisent une chaleur qui peut être équivalente en hiver à celle apportée par le rayonnement solaire.

#### II-4-2-5-La moindre circulation de l'air et les taux d'humidité réduits :

La vitesse du vent est généralement moindre en milieu urbain dense qu'en rase campagne, ce qui défavorise l'évaporation et le refroidissement de l'air.

#### II-4-2-6-La rareté de la végétation :

En ville ne lui permet pas d'y maintenir un taux d'humidité agréable. Par conséquent, la température, l'humidité, la vitesse du vent, les taux de radiation solaire mesurés aux alentours de la ville (souvent au droit des aéroports) peuvent être très éloignés de la réalité rencontrée par le concepteur en milieu urbain. Des changements climatiques drastiques peuvent aussi y être observés en très peu d'années. Enfin, un même tissu urbain n'est pas du tout homogène : les variations

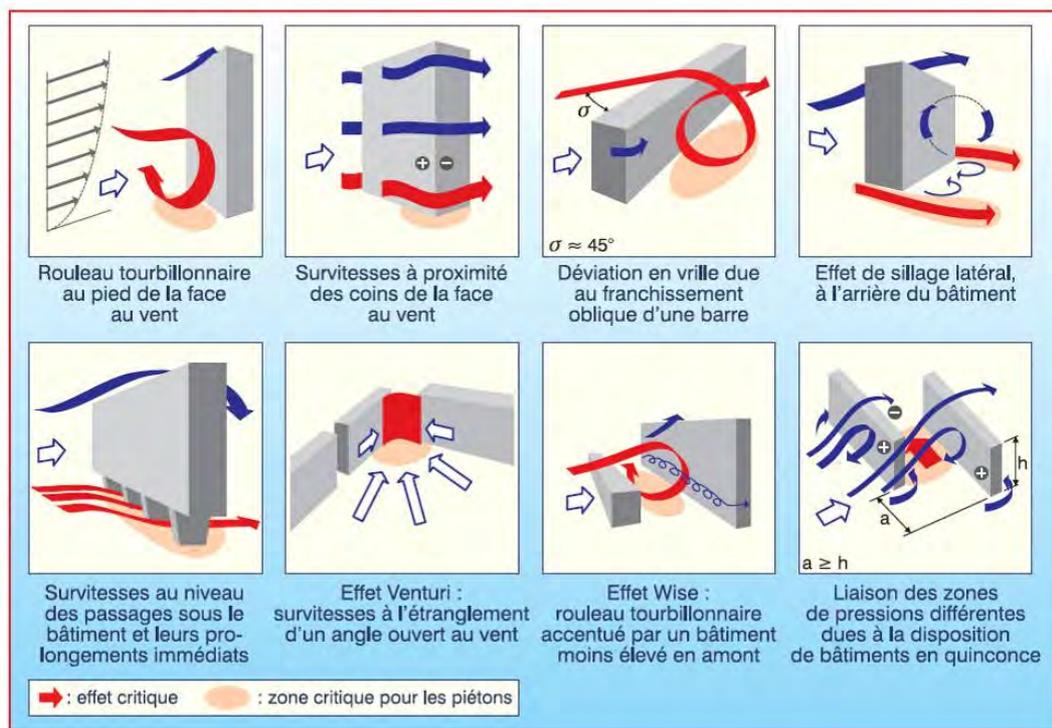
peuvent être importantes d'une rue à l'autre selon leur coupe, leur matériaux, leur orientation.

### II-4-3-Les effets du vent en milieu urbain :

Différents éléments influencent l'écoulement du vent au niveau microclimatique : la localisation, la rugosité du terrain, la hauteur d'évaluation, la topographie et l'aménagement du site (bâtiments, arbres...). Les villes constituent des surfaces de forte rugosité, ce qui réduit globalement la vitesse du vent et augmente sa turbulence.

Pour le confort des piétons, les vitesses de vent devraient être inférieures ou égales à 5 m/s dans les espaces publics. Les tissus denses de hauteur homogène relativement faible, tels que les centres des villes traditionnelles, assurent globalement un excellent confort au vent. Les quelques accidents aérodynamiques à craindre se situent à la périphérie et dans les zones très dégagées. Cependant, les villes contemporaines présentent des constructions très élevées qui entraînent des rafales de vent inacceptables pour le confort des piétons. Il est indispensable d'étudier l'impact du vent au niveau du sol pour les bâtiments dont la hauteur est supérieure ou égale à 40 m mais il est prudent d'étudier cet aspect dès qu'un bâtiment de 15 à 40 m de haut présente une hauteur au moins égale au double de la hauteur moyenne de son environnement bâti.

Les principaux mécanismes critiques du vent sont représentés sur la figure .II.11. En milieu urbain, ces effets apparaissent à la base des bâtiments dont la hauteur est nettement plus élevée que le plan masse moyen et au pied des ensembles de tours. Les dispositifs de correction (brise- vents...) sont toujours moins efficaces qu'une conception appropriée du bâtiment.<sup>58</sup>



<sup>58</sup> Alain Liébard, André De Herde : Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques. Edition : Le Moniteur, 2006.

**FIG.II.11 : Les effets du vent en milieu urbain. (Source : Alain Liébard , André De Herde 2006)**

Voici quelques règles de bonne pratique qui permettent d'atténuer ces risques :

- réduire la hauteur du bâtiment, ce qui est toujours la meilleure solution.
- créer des décrochements progressifs à partir du cinquième étage.
- augmenter la porosité du bâtiment.
- ceinturer le bâtiment élevé par des constructions plus basses.
- densifier l'environnement.
- prévoir des éléments poreux (végétation) près des coins ou des passages sous le bâtiment.
- augmenter la rugosité des façades par des balcons (>1.5 m de large).

Les rues de nos urbanisations sont polluées au niveau du sol par les véhicules à moteur et à hauteur des toits par les cheminées. Pour assurer le confort respiratoire dans les rues, il est important de profiter de la capacité du vent à disperser les polluants, ce qui nécessite une vitesse de vent d'au moins 2 m/s au niveau des toits. Il faut également dimensionner des hauteurs de cheminées suffisamment hautes pour que le vent ne redirige pas la pollution générée en toiture vers le sol.

Au niveau de la planification urbaine, les industries polluantes seront placées sous le vent de la ville par rapport aux vents dominants.

Pour assurer le confort thermique des piétons et limiter les consommations d'énergie des bâtiments, il est nécessaire de protéger les espaces publics des vents froids et dominants, tout en favorisant la pénétration des brises estivales.

Ainsi, quatre règles doivent être respectées pour concevoir une morphologie urbaine qui bénéficie des aspects positifs du vent et se protège de ses effets négatifs :

- éviter les survitesses et les turbulences gênantes pour les piétons
- assurer la ventilation des espaces publics pour dissiper la pollution protéger les espaces publics des vents froids et dominants ;
- favoriser la ventilation naturelle des bâtiments grâce aux brises d'été.

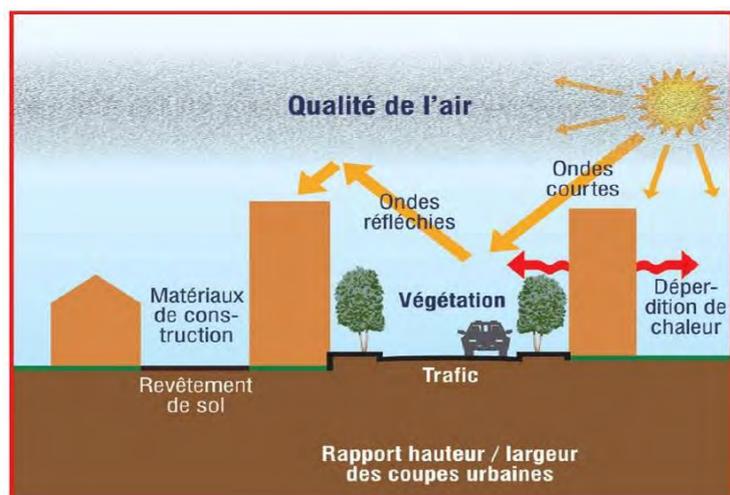


FIG.II.12 : Les paramètres influençant la température urbaine. (Source : Alain Liébard, André De Herde 2006)

#### II-4-4- Changements principaux dus à l'urbanisation :

Les changements les plus importants dus à l'urbanisation concernent le bilan énergétique à travers l'équilibre thermique et hydrologique, les mouvements locaux de l'air et la composition de l'atmosphère. (Tableau.II.3)<sup>59</sup>

Variable	Change	magnitude/comments
Turbulence intensity	greater	10-50%
Wind speed	Decreased	5-30% at 10 m in strong flow
	Increased	In weak flow with heat island
Wind direction	Altered	1-10 degrees
UV radiation	Much less	25-90%
Solar radiation	Less	1-25%
Infrared input	Greater	5-40%
Visibility	Reduced	
Evaporation	Less	About 50%
Convective heat flux	Greater	About 50%
Heat storage	Greater	About 200%
Air temperature	Warmer	1-3 degrees C per 100 years; 1-3 degrees C annual mean up to 12 degrees C hourly mean
Humidity	Drier	Summer daytime
	More moist	Summer night, all day winter
Cloud	More haze	In and downwind of city
	More cloud	Especially in lee of city
Fog	More or less	Depends on aerosol and surroundings
Precipitation		
Snow	Less	Some turns to rain
Total	More?	To the lee of rather than in city
Thunderstorms	More	
Tornadoes	less	

Tableau .II.3 : Effets de la ville sur les variables climatologiques, cas d'une ville de 1 million d'habitants, en latitude moyenne. (Source : Oke, 1988.)

<sup>59</sup> Oke, T.R.: Boundary layer climates. Edition Methuen, 1988.

## **II-4-5-Les principaux éléments qui affectent le climat urbain :**

Il existent beaucoup de facteurs qui affectent le climat urbain mais les plus importants sont :

- La situation régionale de la ville.
- La taille et la densité de l'agglomération.
- La largeur des rues et leur orientation par rapport au soleil et aux vents dominants.
- La hauteur des constructions déterminant la rugosité.
- La répartition des espaces verts dans le périmètre urbain.
- La nature et l'albédo de la surface extérieure de la zone urbaine.
- Les Aspects liés à la conception architecturale.<sup>60</sup>

Ainsi, l'action de la ville en tant qu'agglomération de constructions et abritant des activités spécifiques conduit à un changement assez important affectant les éléments du climat (bilan radiatif, température, vent, humidité, précipitations).

La principale conséquence des apports énergétiques en milieu urbain est la formation de « l'îlot de chaleur urbain ».

## **II-5-L'îlot de chaleur urbain :**

### **II-5-1-Introduction :**

Des observations et des simulations ont été menées dans la région suburbaine et dans le centre de Tokyo afin d'y étudier l'intensité de l'îlot de chaleur et de vérifier un modèle numérique. D'après Thanh , 1998, dans la région suburbaine, une diminution de 3 °C par rapport à une zone résidentielle est constatée dans une zone qui correspond à deux petits parcs dans lesquels on trouve de grands arbres. Dans la région du centre d'affaires de Tokyo, où les bâtiments sont nombreux (les plus élevés atteignent 40 m) et où les arbres sont rares, la température moyenne est de 2 °C supérieure. Cependant, le maximum de température d'air dans cette zone est inférieur à 34 °C, ce qui est inférieur à la valeur correspondante pour la zone suburbaine. Cela peut être expliqué par l'ombre des bâtiments élevés.<sup>61</sup>

### **II-5-2-Bilan énergétique en ville :**

Les processus physiques ayant une action sur la génération de l'îlot de chaleur sont les suivants :

- Accumulation de chaleur dans les constructions.
- Altération du bilan d'eau (réduction de l'évapotranspiration due à la végétation et augmentation par rejets des activités industrielles).

---

<sup>60</sup> **Givoni B. :** L'homme, l'architecture et le climat. Éditions du Moniteur ,1978.

<sup>61</sup> **Thanh, V.:** Heat storage of pavements and its effect he lower atmosphere, Atmospheric Environment, 1996.

- Altération du bilan radiatif, plus production de gaz à effet de serre.
- Altération du cycle diurne des flux de chaleur sensible, par rayonnement et par conduction, notamment lors du refroidissement nocturne.
- Production de chaleur sensible anthropogénique (chauffage des bâtiments, voitures, industries).
- Réduction de la vitesse du vent (présence des bâtiments).
- Topographie locale et écoulements aérauliques locaux.<sup>62</sup>

Et voici l'équation qu'a proposée Escourrou en (1991)<sup>63</sup>, pour la consommation de l'énergie en ville :

<b>Qnet</b>	<b>+ Qa</b>	<b>=Qbat</b>	<b>+ QI</b>	<b>+ Qs</b>
Rayonnement	chaleur anthropique	chaleur sensible	chaleur latente	chaleur

stockée dans le bâtiment, où :

#### **II-5-2-1-Qs - Effets du stockage dans le bâtiment :**

La chaleur stockée dans les bâtiments est due à l'absorption des radiations (chaleur) durant la journée, favorisée par les réflexions du rayonnement entre les bâtiments (influence du profil urbain et de la hauteur des bâtiments), et qui sont faiblement et lentement restituées la nuit. Elle dépend de la densité et de la géométrie urbaine, ainsi que de l'albédo urbain.

Le phénomène de stockage peut être contrôlé par l'urbaniste à deux niveaux :

- La conception tridimensionnelle du tissu urbain : Choix de densité, de géométrie et de profils urbains, qui sont traités à l'échelle de la composition urbaine.
- Le contrôle de la nature des surfaces urbaines : augmenter l'albédo urbain (capacité de réflexion du rayonnement).

#### **II-5-2-2-Qa- Effets de l'énergie anthropique :**

L'énergie anthropique est principalement le résultat des éléments suivants :

- Le chauffage et l'éclairage.
- La circulation urbaine.
- L'industrie.

Elle peut être réduite en promouvant l'utilisation des énergies naturelles.

#### **II-5-2-3-QI- Chaleur latente et végétation urbaine :**

La chaleur latente est l'énergie consommée pour l'évaporation de l'eau et l'évapotranspiration des plantes et sert à faire baisser la chaleur sensible. Elle est très faible en ville du fait que la surface est fortement imperméabilisée, ce qui favorise le drainage rapide des eaux pluviales, réduisant ainsi le potentiel d'eau évaporable.

<sup>62</sup> **Oke, T.R.:** Boundary layer climates. Edition Methuen, 1988.

<sup>63</sup> **Escourrou G. :** Le climat et la ville. Edition Nathan, 1991.

Escourrou (1991)<sup>64</sup>, estime qu'une imperméabilité d'une surface de 25%, 38% et 59% conduit à une réduction de l'évaporation de 19%, 50% et 75%. Cette réduction de la chaleur latente dépend essentiellement de l'importance des masses végétales. L'efficacité de la végétation par rapport au climat dépend aussi de sa localisation dans la ville, et c'est dans les zones résidentielles que son efficacité est la plus appréciable. En plus de son action importante sur la température ambiante grâce au phénomène de la photosynthèse (transformation du rayonnement solaire absorbé en énergie chimique) et de l'évapotranspiration, la végétation urbaine affecte également qualitativement et quantitativement la vitesse du vent en milieu urbain, l'humidité relative de l'air et les conditions d'ombrage. Toutefois, le rafraîchissement de l'air par la végétation urbaine est moins dû à l'effet de l'ombre qu'à celui de la consommation de l'énergie solaire par la photosynthèse des plantes. En effet, l'absence de la végétation en surface et masses suffisantes, dans une ville de 300 km<sup>2</sup>, provoque un surplus calorifique de 6 .10<sup>12</sup>. kcal. Ce surplus va échauffer l'air et la masse bâtie. Elle affecte également d'autres aspects du climat urbain, relatifs au rafraîchissement de l'air, à l'absorption du bruit, à la production d'oxygène et à l'atténuation de la pollution atmosphérique. (Bernatzky, 1982). Les espaces verts contribuent aussi à la vie sociale d'une ville ou d'un quartier ; espace de récréation tout en ayant un effet psychologique à travers sa fonction décorative.

#### **II-5-2-4-Qbat- La chaleur sensible :**

Qui est la quantité de chaleur qui est échangée, sans transition de phase physique, entre deux corps formant un système isolé. Elle est qualifiée de « sensible » parce que cet échange de chaleur sans changement de phase change la température du corps, effet qui peut être ressenti ou mesuré par un observateur. En cela, la chaleur sensible s'oppose à la « chaleur latente », qui, elle, est absorbée lors d'un changement de phase, sans changement de température.

#### **II-5-3-Stratégies de Rafraîchissement pour la diminution de l'îlot de chaleur :**

Les températures urbaines plus élevées ont un effet direct sur la santé des citoyens, leur confort mais aussi sur la consommation d'énergie dans les bâtiments, particulièrement pendant la période d'été. D'ailleurs, la production de CO<sub>2</sub> et de divers polluants augmente également pendant cette période. Afin de limiter l'impact de l'îlot de chaleur sur la demande énergétique et le confort d'été, diverses mesures pouvant être prises au niveau de la ville peuvent être

---

<sup>64</sup> Escourrou G. : Le climat et la ville. Edition Nathan, 1991.

présent. Elles conduisent à l'utilisation de matériaux plus appropriés, à une plus grande plantation de végétaux et à l'utilisation de « puits de fraîcheur ».

#### **II-5-3-1-Le rôle des matériaux :**

L'utilisation des matériaux appropriés pour réduire l'effet d'îlot de chaleur et améliorer l'environnement urbain est étudié depuis quelques années. Un certain nombre d'études ont permis de déterminer l'impact de matériaux de construction aux propriétés optiques et thermiques variées sur la température urbaine et sur la consommation d'énergie liée à la climatisation. Elles ont prouvé que des gains importants sont possibles quand des surfaces réfléchissantes sont employées en combinaison avec la plantation de nouveaux arbres. Les villes, et les quartiers ont aujourd'hui une réflectivité solaire relativement réduite (l'albédo) pour deux raisons : des bâtiments et des surfaces urbaines plus foncés absorbant de plus en plus le rayonnement solaire, et des canyons, sièges de réflexions multiples en leur sein, se comportant donc comme des corps noirs. L'albédo typique des villes européennes et américaines est aujourd'hui de 0.15 à 0.30, alors que des chiffres beaucoup plus élevés ont été mesurés dans quelques villes nord-africaines allant de 0.45 à 0.60 (couleur blanche plus réfléchissante). L'absence de recherche sur les caractéristiques des matériaux à fort albédo existants, sur le maintien de cette propriété à long terme ainsi que le manque de développement de matériaux de construction alternatifs à albédo élevé reflète le manque de conscience de ces problèmes de climatisation urbaine.

#### **II-5-3-2-Le rôle des rues et des trottoirs :**

Les surfaces pavées ou revêtues comme les routes, les cours de récréation et les parkings peuvent être rendues plus claires en améliorant le revêtement ou en changeant le pavement. Beaucoup de villes renouvellent les surfaces de leurs espaces extérieurs périodiquement pour prolonger la vie d'une rue ou d'une aire de stationnement. Si le granulat utilisé est légèrement coloré, l'ajout d'une couche mince de ce matériau est une bonne manière d'augmenter l'albédo d'une surface pavée. Le bitume, un agrégat de particules fines mélangées à de l'asphalte, est souvent utilisé sur les surfaces pavées. Le coulis bitumineux typique est bon marché et à faible albédo à cause des matériaux foncés. Des coulis bitumineux moins foncés sont fabriqués en Europe et ont déjà été employés sur des cours de tennis, des places, et des bords de route. Si une surface pavée est structurellement endommagée et doit être remplacée, ou si une nouvelle surface est construite, utiliser l'asphalte ou le béton se traduit par des coûts semblables. Le remplacement de l'asphalte par du béton permet aussi une légère augmentation de l'albédo.

#### **II-5-3-3-Le rôle des arbres et de la végétation :**

La végétation a divers effets sur l'environnement urbain. Au delà du rôle esthétique et de la sensation plaisante de proximité avec la nature que les arbres et la végétation fournissent, elle peut augmenter la valeur immobilière, stabiliser le sol, fournir un habitat à la faune, faire obstacle au bruit et améliorer la qualité de l'air. Par exemple, une ceinture d'arbres, de 30 mètres de large et de 15 mètres de haut peut réduire le bruit d'une route de 6 à 10 décibels (échelle logarithmique). En outre, le processus de photosynthèse réduit légèrement l'effet de serre. Les feuilles peuvent être un filtre efficace pour des polluants de l'air tels que le NO, le NO<sub>2</sub>, le NH<sub>3</sub>, le SO<sub>2</sub> et l'O<sub>3</sub>. Surtout, la proximité des arbres et de la végétation modifie considérablement l'utilisation de l'énergie dans les bâtiments, directement et indirectement : ombrage et protection contre le vent mais aussi effet de refroidissement dû à l'évapotranspiration.

L'utilisation d'énergie pour la climatisation peut être réduite de 40 à 50 % en ombrageant fenêtres et murs).

**II-5-3-4-Le rôle de l'eau et des puits de fraîcheur :** Une masse d'eau présente un comportement thermique différent de la plupart des autres surfaces qu'on rencontre sur terre. La présence d'une grande masse d'eau provoque une baisse de température de l'air sous le vent que l'on peut chiffrer selon la vitesse du vent et la longueur de la masse de l'eau. Les étangs et les fontaines peuvent être des dispositifs de climatisation efficaces dans des espaces ouverts en raison de leur capacité à maintenir des températures de l'eau, inférieures à la température de l'air, et à leur faible réflectivité. Pendant que l'eau s'évapore, sa température diminue.

L'évaporation est proportionnelle à la surface de contact air/eau, et donc il vaut mieux utiliser des fontaines et des pulvérisateurs.

## **II-6-Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons constaté que l'interaction entre le climat et la ville est une préoccupation importante et éternelle de l'homme. Nous avons insisté, également, sur les modifications multiples apportées à la notion de bien être, à travers les différentes visions qui ont permis d'approcher l'intégration du contrôle climatique dans la conception urbaine et architecturale à travers l'histoire, selon différentes échelles spatiales, allant de la ville jusqu'à l'espace intérieur. Ceci nous a conduits au deuxième point important à traiter dans ce chapitre. Il s'agit de l'analyse des spécificités du microclimat urbain. Ainsi, nous avons évoqués les modifications du climat à travers les différents niveaux scalaires. Ceci a permis de situer l'espace extérieur urbain à une échelle microclimatique, et de saisir les éléments qui interviennent dans la caractérisation de l'ambiance climatique à ce niveau spatial. L'analyse

des spécificités du microclimat urbain a révélé des phénomènes comme celui de l'îlot de chaleur urbain qui peut entraîner des nuisances aussi bien au niveau des taux de pollution et des risques de santé publique induits qu'au niveau des consommations énergétiques. Ce phénomène peut être un avantage en hiver car il permet de diminuer les factures de chauffage.

Cependant, dans les climats chauds, qui constituent le cadre de cette recherche, une augmentation de la température entraîne une augmentation de la demande énergétique en conditionnement d'air.

L'interaction entre espace urbain et facteurs climatiques, envisagée sous forme d'échelle, nous amène à réfléchir sur la question de la contribution effective de l'espace extérieur au confort microclimatique. Ceci constitue l'objet du chapitre suivant, consacré à l'étude du confort microclimatique dans l'espace extérieur urbain, par rapport au contexte des climats chauds et secs. Ainsi, nous examinons, en premier lieu, le contexte climatique qui constitue le cadre de cette étude, par référence le climat chaud et sec, à travers l'étude des caractéristiques de ce type de climat.

# **Chapitre III**

Le confort dans les espaces extérieurs

### III-1-Introduction :

L'examen de la notion de confort thermique a pour objectif de situer le confort dans les espaces intérieurs et extérieurs urbains dans les milieux chauds et secs, en particulier, celui de la saison chaude par rapport à la conception globale du confort.

Toutefois, il faut souligner que le confort est une notion globale : Chaleur et froid, lumière, bruit, paysage, eau, verdure, prestige et autres, sont autant d'éléments définissant plusieurs paramètres climatiques, esthétiques, psychologiques du confort. Le confort est également une sensation subjective. Le confort en lui-même n'existe pas. Ce n'est que par l'inconfort qu'on peut l'apprécier. Cette appréciation est différente selon la société et pour une même société suivant les individus. En effet, certaines sociétés favorisent un aspect au détriment d'un autre.<sup>65</sup>

De ce fait, il n'existe pas de combinaison parfaite de conditions de confort du moment que celles-ci ne sont pas forcément reliées au contexte, qu'il y a interaction entre les sensations et différence d'appréciation d'un individu à un individu et d'une société à une autre. Toutefois, les définitions relevées dans la littérature de la notion de confort s'accordent toutes sur l'importance du confort thermique. Celui-ci constitue le sujet du présent chapitre.

Il est donc utile de procéder à la définition et la caractérisation du confort thermique d'un individu en extérieur et notamment pour des climats chauds ainsi que les indices applicables dans les simulations des espaces urbains.

La sensation de confort thermique est, ensuite, approchée à travers la connaissance des différents échanges thermiques entre l'individu et son environnement. Ainsi, nous présentons les différents paramètres du confort thermique, relatifs à l'individu et à l'environnement, quelques rappels sur des éléments de physiologie humaine (température interne, mécanismes de thermorégulation et comportement du corps en régime transitoire). Les échanges thermiques entre l'homme et son environnement peuvent, ainsi, être définis. Nous terminons ce chapitre par la définition et la caractérisation du confort thermique d'un individu en espace extérieur et notamment pour des climats chauds et secs. Des indices permettant d'approcher et de quantifier la part objective et quantifiable du confort thermique en extérieur, et applicables dans les simulations des espaces urbains sont proposés.

De ce qui précède, nous constatons que le climat affecte les espaces urbains à une échelle microclimatique. A cette échelle, les aspects microclimatiques à prendre en considération sont nombreux. Toutefois, le rayonnement solaire s'avère un aspect microclimatique important dans la qualification de la température ambiante dans l'espace

---

<sup>65</sup> **Amos Rapoport** : Pour une anthropologie de la maison. Edition Dunod, 1972.

extérieur urbain, surtout pour un climat sévère, comme le climat chaud et sec qui constitue le cadre de cette étude.

Notre souci étant bien évidemment de dégager les informations importantes pour que nous puissions par la suite, quantifier certains de ces indices et apporter une analyse sur le comportement de l'espace étudié et sur leur impact au niveau du confort de l'utilisateur.

### **III-2-Notion de confort ou de bien être :**

Le confort thermique pour un être humain a été défini par Fanger (1970) en tant que « l'état de l'esprit qui exprime la satisfaction avec l'environnement thermique ». Une autre définition du confort donnée par Givoni (1976) évalue le confort thermique comme l'absence de l'irritation et de l'inconfort dus à la chaleur ou au froid, et comme un état impliquant l'agrément. La sensation de confort thermique est liée à l'effort que l'organisme doit fournir pour maintenir sa température interne constante.<sup>66</sup>

Une ambiance confortable est une ambiance pour laquelle l'organisme humain peut maintenir constante sa température corporelle (homéothermie) sans mettre en jeu d'une manière perceptible ses mécanismes instinctifs thermorégulateurs de lutte contre le chaud et le froid. Cet état est appelé neutralité thermique. Les raisons d'inconfort sont expliquées par Hensen (1990) comme : corps étant trop chaud ou froid dans l'ensemble, et chauffage ou refroidissement non désiré d'une partie particulière du corps (inconfort local).

Les conditions de confort sont obtenues à partir d'un processus cognitif qui implique plusieurs phénomènes qui relèvent de différentes disciplines. Dans la littérature, il y a trois approches de base du confort thermique qui sont les approches physique, thermo-physiologique et psychosociologique.

\*-Dans l'approche physique, le corps est considéré comme un système thermique, dans lequel les échanges thermiques entre le corps et l'environnement se produisent par la peau et par les vêtements.

Ce modèle est basé sur l'analyse du bilan thermique du corps humain et prend en compte les transferts de chaleur et de masse ainsi que la façon dont la thermorégulation intervient dans la modulation de ces échanges.<sup>67</sup>

---

<sup>66</sup> **Hoffmann, J. B.:** Ambiances climatisées et confort thermique. In: Proc. of COSTIC, 1994.

<sup>67</sup> **Tanabe S.I et al.:** Evaluation of thermal comfort using combined multi-node thermoregulation. Revue: Energy and Buildings, 2003.

\*-Le modèle physiologique étudie les réponses subjectives à l'environnement thermique ainsi que les actions involontaires, qui se produisent quand le corps est en dehors de l'état de neutralité, comme la transpiration et le frisson.

\*-L'approche psychosociologique traite de l'évaluation du climat par l'être humain, grâce à l'interprétation en terme de confort qui est la composante subjective.

La température de la peau joue un rôle important dans les deux premières approches du confort. Elle peut être obtenue par des modèles de régression ou par des modèles de bilan. Les modèles de régression, cependant, ont l'inconvénient d'être confinés à certaines zones climatiques tandis que les modèles de bilan d'énergie sont applicables dans toute situation.<sup>68</sup>

Généralement, les conditions thermiques sont évaluées par les réponses des personnes sur des échelles verbales. A l'aide de ces échelles, l'évaluation sensorielle du niveau de confort ou d'inconfort est rapportée. La sensation du confort thermique est une notion subjective, personnalisée, dans la mesure où les individus sont différents. Des travaux récents sur le confort adaptatif mettent en avant ces variations individuelles qui peuvent être d'ordre physiologique, psychologique, social, culturel ou comportemental.<sup>69</sup>

Le bilan thermique de l'homme peut être modifié par divers processus de thermorégulation physiologiques et comportementaux afin de fournir un équilibre entre le corps et l'environnement. Les êtres humains doivent maintenir la température du corps constante à 37°C.

La régulation physiologique est involontaire et comporte l'ajustement de la résistance thermique externe par la commande de la perte de chaleur par respiration ; de la sécrétion et l'évaporation de l'eau par la transpiration et de la perte de chaleur par évaporation respiratoire ; de la résistance thermique interne par vasodilatation et de la production de chaleur par frissonnement. La régulation comportementale est volontaire et comporte des actions comme le mouvement actif et l'ajustement des vêtements.

La régulation physiologique est involontaire et comporte l'ajustement de :

- La production de chaleur par frissonnement ;
- La résistance thermique interne par vasodilatation ;
- La résistance thermique externe par la commande de la perte de chaleur par respiration ;
- La sécrétion et l'évaporation de l'eau par la transpiration ;
- La perte de chaleur par évaporation respiratoire.

---

<sup>68</sup> **Höppe P.:** Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort. Revue: Energy and Buildings, 2002.

<sup>69</sup> **Dear, R. J. et al:** Developing an adaptive model of thermal comfort and preference-, 1997.

La régulation comportementale est volontaire et comporte des actions comme le mouvement actif et l'ajustement des vêtements.

Pour l'analyse du confort thermique, nous avons utilisé l'approche physique qui implique les échanges thermiques entre l'individu et son environnement.

### **III-3-Paramètres environnementaux du confort thermique :**

Le corps humain est un système thermique complexe qui doit maintenir sa température interne stable, autour de 37°C, en dépit des variations de la température extérieure. Il s'agit donc d'un équilibre entre la production de chaleur (thermogenèse) et la perte de chaleur (thermolyse). Le centre de la thermorégulation se trouve dans l'hypothalamus. Par ailleurs, le bilan thermique est influencé par des paramètres relatifs à :

Dans la description des éléments concernant le confort thermique, la prise en compte de l'environnement relatif à l'individu nécessite la connaissance précise de quatre paramètres microclimatiques importants :

- Température de l'air.
- Température radiante moyenne.
- Humidité de l'air.
- Vitesse de l'air.

En extérieur, en plus de tous les paramètres précédemment cités, il faut prendre en compte :

- Les apports solaires (directs, indirects et diffus)
- La température de la voûte céleste
- Les phénomènes naturels : la pluie, la grêle, la neige, etc.

Alors que dans les espaces intérieurs la notion de confort thermique est intrinsèquement liée à la valeur de la température de l'air, en extérieur il est indispensable d'insister sur l'importance des rayonnements solaires réellement reçus par l'individu. Des vitesses de courant d'air qui auraient pu paraître insupportables dans un bâtiment peuvent devenir, en situation chaude, non seulement tolérables mais parfois indispensables de manière à favoriser l'évacuation de la chaleur par transpiration. Un point qui doit également être souligné est la plus grande diversité des surfaces de l'environnement construit (matériaux, couleurs, végétation) qui induit une non-homogénéité des transferts de chaleur et la plus grande complexité des géométries à envisager en espaces extérieurs.

### **III-4-Les indices de confort ou de stress thermique en espace extérieur :**

L'évaluation du confort thermique en extérieur est importante dans la planification et la conception des espaces extérieurs. Les indices de confort en extérieur intègrent les facteurs qui

définissent l'environnement thermique humain et prévoient la réponse (contrainte) des êtres humains pour tout environnement.

L'écriture du bilan des échanges énergétiques à l'interface individu-atmosphère montre que les apports d'énergie thermique sont principalement dus au rayonnement solaire direct, diffus et réfléchi, et que les pertes se font surtout par convection (effet du vent). La température du milieu ambiant joue également un rôle essentiel et l'influence de l'humidité paraît beaucoup moins importante.<sup>70</sup>

En présence de rayonnement solaire, seul le vent peut ramener la charge thermique solaire à des proportions acceptables. Les travaux de Penwarden (1974) montrent qu'un sujet passant d'une zone ensoleillée en air calme (vent de 0.5 m/s) à une zone à l'ombre où souffle un vent de 5 m/s doit ressentir une diminution de la charge thermique équivalente à une baisse de la température de l'air de 13 °C, (Figure .III.1 et Figure .III.2)<sup>71</sup>

En l'absence de rayonnement solaire direct, le paramètre climatique jouant le rôle le plus important est la température de l'air, l'humidité et le rayonnement infrarouge jouant un rôle secondaire.<sup>72</sup>

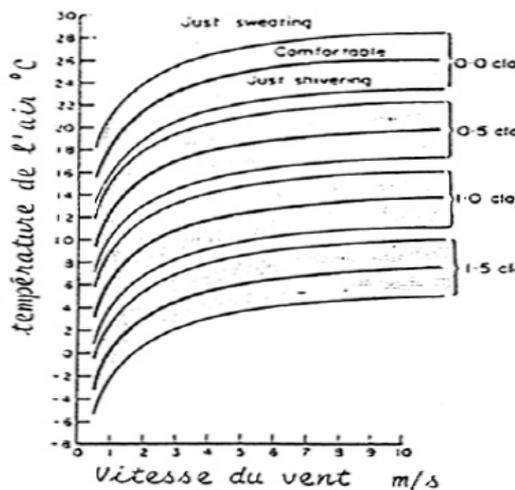


FIG.III.1 : Conditions de confort pour un piéton au soleil d'après Penwarden.

(Source : Sacré, 1983)

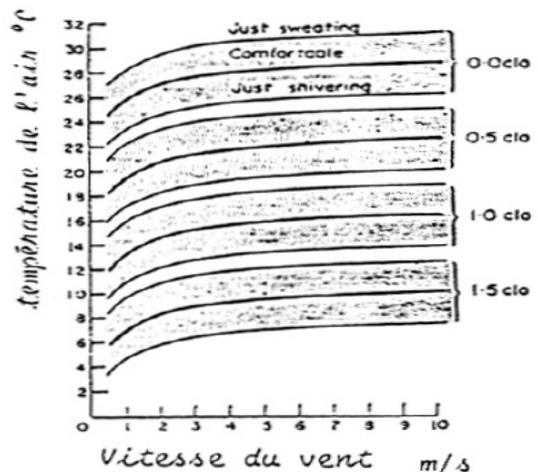


FIG.III.2 : Conditions de confort pour un piéton à l'ombre d'après Penwarden.

(Source : Sacré 1983)

Certains auteurs intègrent tous les rayonnements, à savoir les grandes longueurs d'onde et les apports solaires, dans la température radiante moyenne qui devient alors le principal élément influençant le bilan énergétique sur les individus. Pour des individus restant à l'ombre, la

<sup>70</sup> **Sacré, C. et Gandemer, J. :** Caractérisation microclimatique des espaces extérieurs, du point de vue du vent et de la température. Revue : Les Annales de la Recherche Urbaine, 1994.

<sup>71</sup> **Sacré C. :** Le confort dans les espaces extérieurs : analyse microclimatique. CSTB, 1983.

<sup>72</sup> **Penicaud, H. :** Microclimats urbains étudiés sous l'angle du confort à l'extérieur des bâtiments, 1978.

température radiante moyenne est souvent considérée comme étant égale à la température ambiante de l'air. L'indice PMV qui est basé sur l'équation de confort de Fanger est étendu par Jendritzky pour des situations en extérieur.<sup>73</sup>

Les auteurs de cette recherche insistent sur le fait que la température de l'air n'est pas le bon paramètre météorologique pour la détermination du confort en espace extérieur. Ils constatent que l'évolution diurne de l'indice de la température physiologique équivalente (PET), qui peut être corrélé au PMV, est similaire à celle de la température moyenne, ce qui indique que  $T_{mrt}$  est le paramètre qui influence le plus PET, l'importance de la température de l'air étant considérablement plus faible.<sup>74</sup>

### III-4-1- L'indice PT - Température Perçue :

La température perçue,  $PT$  en °C, est la température de l'air dans un environnement de référence dans lequel la perception de la chaleur et/ou du froid serait la même que dans les conditions réelles.

Pour l'application des modèles physiologiques dans un environnement extérieur, un problème important est la complexité des conditions de rayonnement par rapport à une situation d'intérieur. Les flux radiants changent considérablement dans l'espace et dans le temps et traduisent les caractéristiques météorologiques aussi bien que des différences dans les propriétés radiatives des surfaces environnantes.

Le rayonnement, particulièrement le rayonnement solaire direct, peut être une source importante d'énergie. L'influence du rayonnement solaire direct varie avec la superficie du corps exposé au soleil.<sup>75</sup>

En utilisant le modèle proposé par Jendritzky et Sievers (1989), VDI (1998) ont obtenu des températures radiantes moyennes jusqu'à 30 K plus importantes que la température de l'air.

L'évaluation de la  $PT$  est faite selon ASHRAE (1993) à partir du  $PMV$  (voir Tableau.III.1). La perception thermique correspond au sept degrés de l'échelle ASHRAE (VDI, 1998).<sup>76</sup>

Température perçue (°C)	Perception thermique	Stress physiologique
< -39	très froid	extrêmement froid
-39 à -26	froid	froid

<sup>73</sup> **Mayer, H. and Matzarakis, A:** The urban heat island seen from the angle of human-biometeorology. In: Proceedings of International symposium on monitoring and management of urban heat island, 1997.

<sup>74</sup> **Höppe, P. :** Le bilan énergétique de l'homme, 1984.

<sup>75</sup> **Jendritzky, G. ,Nuebler W.:** A model analyzing the urban thermal environment in physiologically significant terms, 1981.

<sup>76</sup> **VDI (Verein Deutscher Ingenieure) :** Environmental Meteorology. Methods for the human biometeorological evaluation of climate and air quality for urban and regional planning at regional level,1988.

-26 à -13	froid	froid modéré
-13 à 0	légèrement froid	froid faible
0 à +20	confortable	confort possible
+20 à +26	chaud	légèrement chaud
+26 à +32	chaud	chaud modéré
+32 à +38	chaud	chaud
> +38	très chaud	extrêmement froid

**Tableau.III.1 : Température perçue et stress thermique (Source : VDI, 1998)**

La température perçue augmente plus rapidement que la température de l'air et pour des conditions chaudes d'été se trouve dans la plupart des cas au-dessus de la température de l'air, pour les cas extrêmes autour de 15 K.

### **III-4-2- L'indice PET - Température Physiologique Équivalente :**

L'indice *PET* pour un lieu donné (intérieur ou extérieur) est défini comme la température de l'air à laquelle, dans un local typique intérieur, sans vent et rayonnement solaire, le bilan d'énergie du corps humain est équilibré avec les mêmes températures interne et de peau que celles obtenues dans les conditions à évaluer.<sup>77</sup>

L'indice *PET* est basé sur le modèle de bilan d'énergie *MEMI* (Munich Energy balance Model for Individuals).

Pour résoudre l'équation de bilan, la température moyenne de surface des vêtements (*T<sub>vet</sub>*) la température moyenne de la peau (*T<sub>p</sub>*) et la température interne (*T<sub>cr</sub>*) ont été déterminées grâce à deux équations qui ont permis de décrire le flux de chaleur de l'intérieur du corps vers la surface de la peau et de la peau vers la couche de vêtements.

Les hypothèses suivantes ont été faites pour le climat intérieur de référence :

- la température radiante moyenne est égale à la température de l'air, ( $T_{mrt} = T_a$ ),
- la vitesse de l'air est fixée à 0,1 m/s
- la pression de vapeur d'eau est fixée au 12 hPa (approximativement équivalente à une humidité relative de 50% à  $T_a = 20^\circ\text{C}$ ).

Dans le cas d'une journée d'été, chaude et ensoleillée, la valeur du PET peut valoir 43°C. Cela signifie qu'un individu dans une pièce avec une température d'air de 43°C atteint le même état thermique que dans les mêmes conditions en extérieur. S'il avait à se déplacer à l'ombre le PET diminuerait de 14°C pour atteindre une valeur de 29°C (voir Tableau.III.2).

<sup>77</sup> **Höppe, P.:** The Physiological Equivalent Temperature PET. **In:** Proc. of Proceedings of the 15th International Congress of Biometeorology & International Conference on Urban Climatology, 1999.

	<i>Tair</i> (°C)	<i>Tmrt</i> (°C)	U (m/s)	P (hPa)	<i>PET</i> (°C)
Pièce typique	21	21	0,1	12	21
Hiver, au soleil	-5	40	0,5	2	10
Hiver, à l'ombre	-5	-5	5,0	2	-13
Été, au soleil	30	60	1,0	21	43
Été, à l'ombre	30	30	1,0	21	29

**Tableau.III.2 : Exemples de valeurs de l'indice PET pour différents scénarios (Matzarakis and Mayer, 1996)**

Fanger (1972) a rapporté les domaines de *PMV* pour la perception thermique des êtres humains correspondants aux domaines de l'indice *PET* (voir Tableau.III.3).<sup>78</sup>

<i>PMV</i>	<i>PET</i> (°C)	Perception thermique	Degré de la contrainte physiologique
		très froid	froid extrême
-3,5	4	froid	très froid
-2,5	8	froid	froid modéré
-1,5	13	légèrement frais	léger froid
-0,5	18	confortable	pas de contrainte
0,5	23	légèrement chaud	un peu chaud
1,5	29	chaud	chaud modéré
2,5	35	chaud forte	chaleur
3,5	41	très chaud	chaleur extrême

**Tableau.III.3 : Domaine de l'indice de confort thermique PET pour différentes catégories de la perception thermique des êtres humains. Production de chaleur interne : 80 W, résistance de transfert thermique de vêtements : 0,9 clo (\*35) (Matzarakis et al., 1999).**

Les résultats de *PET* peuvent être présentés sous forme graphique avec une distribution temporelle ou sous forme de cartes bioclimatiques

### III-4-3-L'indice de température standard effective en espaces extérieurs (OUT\_SET\*) :

<sup>78</sup> **Matzarakis, A. and Mayer, H.:** Investigations of Urban Climate's thermal Component in Freiburg, Germany. In : Proceedings of the Second Urban Environment Symposium and 13th Conference on Biometeorology and Aerobiology, 1998.

L'indice *OUT\_SET\** de Dear et Pickup<sup>79</sup>, basé sur l'indice de température standard effective (*SET\**) de Gagge *et al.*<sup>80</sup>, intègre le modèle *OUT\_MRT* de calcul de la température radiante moyenne. Il peut donner des représentations physiologiquement valides du stress et du confort thermique en extérieur à travers des combinaisons infinies de la température de l'air, la température radiante moyenne, l'humidité, la vitesse de l'air, l'isolation thermique de vêtements et le taux métabolique. Le modèle *OUT\_MRT* calcule la température de surface d'une zone hypothétique autour d'un sujet debout qui échangerait le même rayonnement infrarouge avec le sujet que le rayonnement dans toutes les longueurs d'ondes dans l'environnement solaire et infrarouge réel. L'objectif de l'indice *SET\** est de définir la température d'un environnement de référence isotherme ( $T_a = T_{mrt}$ ,  $HR = 50\%$ ,  $u = 0,15 \text{ m s}^{-1}$ ) telle qu'une personne dans cet environnement ayant une isolation de vêtement standard (0,6 clo et 1,2 met) ait la même température moyenne de peau ( $T_p$ ) et la même moiteur ( $\omega$ ) que dans l'environnement réel complexe. Les environnements réels et de référence sont équivalents en termes de contrainte physiologique et d'inconfort thermique car  $T_p$  et  $\omega$  sont fortement corrélées avec l'inconfort subjectif dans des environnements froids et chauds respectivement.

#### **III-4-4- Approche adaptative :**

L'approche adaptative part du principe que l'homme est un système autorégulé. En cas d'inconfort il réagit de façon à rétablir le confort, il met en place des réactions comportementales adaptées selon les moyens dont il dispose.

Le niveau de condition thermique en extérieur est l'effet combiné des facteurs environnementaux thermiques fortement variables, par exemple la température, le rayonnement solaire, le vent et l'humidité relative. En extérieur les gens s'attendent à des variations et ont plus de comportements adaptatifs qu'à l'intérieur. Ceci implique que toute tentative de combiner les effets de ces facteurs environnementaux pour prévoir les conditions de confort thermique en employant des modèles d'équilibre peut ne pas être appropriée à l'environnement thermique extérieur. Nikolopoulou et Steemers<sup>81</sup>, suggèrent qu'une approche adaptative puisse produire des résultats plus proches de conditions environnementales thermiques réelles et serait appropriée.

#### **III-4-5- Indice de contrainte thermique :**

L'indice de contrainte thermique, modèle biophysique, décrit les mécanismes d'échange de chaleur entre le corps et l'environnement, à partir desquels la contrainte thermique totale s'exerce

<sup>79</sup> Dear, R., Pickup, J. : An outdoor thermal environment index (*OUT\_SET\**) -Applications. In: Proc. of ICB, 1999.

<sup>80</sup> Gagge, A. P., Stolwijk, J. A. J., Nishi, Y. : An Effective Temperature Scale Based on a Simple Model of Human Physiological Regulatory Response. ASHRAE Trans., 1971.

<sup>81</sup> Nikolopoulou, M., Steemers, K.: Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. Energy and Buildings, 2003.

sur le corps (métabolisme + ambiance) peut être calculée.

Cet indice est basé sur l'hypothèse que, dans le domaine de l'équilibre thermique, la sueur est sécrétée selon un taux suffisant pour obtenir un refroidissement par évaporation, nécessaire pour compenser la production de chaleur métabolique et l'échange de chaleur avec l'environnement. La relation entre la sécrétion de la sueur et l'évaporation requise dépend de l'efficacité de refroidissement de la sueur. Lorsque cette efficacité diminue, le corps doit sécréter de la sueur selon un taux plus élevé.

La première version de l'indice de contrainte thermique avait été prévue uniquement pour l'usage à l'intérieur et un seul type de vêtement, à savoir un vêtement léger d'été. Plus tard, il a été développé pour un usage à l'extérieur par l'introduction du rayonnement solaire et l'utilisation de différents types de vêtements.<sup>82</sup>

### III-4-6- Le PMV et ses dérivés :

Cet indice est certainement le plus connu et le plus utilisé en thermique du bâtiment. En effet, la norme ISO 7730-93 adoptée en 1984 et révisée en 1993, s'intitulant « Ambiances thermiques modérées – Détermination des indices PMV et PPD et spécification des conditions de confort thermique », s'appuie sur les travaux de Fanger.<sup>83</sup>

La première exigence est l'existence d'un équilibre thermique : bilan thermique nul (états stationnaires : sensation de séjour). L'équation relie les paramètres classiques que sont la température de l'air, la température radiante moyenne, l'hygrométrie, la vitesse de l'air, le métabolisme et la résistance thermique des vêtements. De plus, deux paramètres physiologiques s'ajoutent, la température moyenne de la peau et l'évacuation de la chaleur par sudation. Au total, 1396 sujets ont été testés sur 8 niveaux d'activité, 9 valeurs de vitesse d'air, 7 valeurs relatives aux vêtements, de nombreuses valeurs de température ambiante, 1 valeur d'humidité 50 %.

Le vote de confort moyen (PMV : Predicted Mean Vote) varie sur une échelle de 7 degrés allant de - 3 (très froid) à + 3 (très chaud). La formule se base sur l'hypothèse fondamentale que le vote de sensation thermique est proportionnel à la charge thermique appliquée à l'individu, c'est à dire à l'effort que les mécanismes régulateurs doivent fournir.

Le pourcentage prévisible d'insatisfaits (PPD : Predicted Percentage of Dissatisfied) est une formule dérivée d'analyses statistiques. Les personnes sont considérées comme insatisfaites si elles votent  $\pm 2$  ou  $\pm 3$  sur l'échelle de 7 points de l'ASHRAE (Figure III.9).

$$PPD = 100 - e^{-\left(0.03353PMV^4 + 0.2179PMV^2\right)} \quad \text{Equation. III.4}$$

<sup>82</sup> Fanger, P. O.: Thermal comfort. Copenhagen. Danish Technical Press, 1970.

<sup>83</sup> Idem 82.



FIG.III.3 : Correspondance entre le PMV et le PPD.

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

#### III-4-7- L'indice $PMV^*$ :

Mettant en évidence la sensibilité insuffisante du PMV de Fanger (1970) à l'hygrométrie en zone chaude, introduisent un nouvel indice,  $PMV^*$ .

Dans l'indice  $PMV$  de Fanger, la température moyenne de la peau et le taux de sudation sont déterminés comme des « valeurs de confort » étant uniquement dépendantes de l'activité et non des conditions climatiques. Dans ces conditions, les effets de l'évaporation et de l'humidité sont minimaux.

Dans l'indice  $PMV^*$ , remplace, dans l'équation du  $PMV$ , la température opérative (fonction de la température de l'air et la température radiante moyenne) par la température effective,  $ET^*$ , ce qui donne au  $PMV^*$  une sensibilité bien plus importante à l'humidité dans la zone chaude, tout en lui laissant la même valeur dans la zone de neutralité et au-dessous. Cet indice est basé sur le modèle à deux noeuds proposé par Gagge *et al.* (1971). Il s'agit d'un modèle nodal à deux éléments : les zones profondes du corps et de la peau, qui permet de représenter les échanges thermiques globaux du corps et des ses réactions de thermorégulations même en régime variable.<sup>84</sup>

#### III-4-8- Les effets du vent :

Dans la littérature, il existe de nombreux critères d'inconfort dus au vent et les résultats obtenus avec chacun d'eux semblent être assez différents.<sup>85</sup>

Les premiers effets du vent (cheveux au vent, vêtements flottants) apparaissent pour des rafales de vent supérieures à 1.5 m/s. Pour des vitesses supérieures, les effets du vent augmentent

<sup>84</sup> Gagge, A. P., Stolwijk, J. A. J., Nishi, Y. : An Effective Temperature Scale Based on a Simple Model of Human Physiological Regulatory Response. ASHRAE Trans., 1971.

<sup>85</sup> Bottema, M. : A method for optimization of wind discomfort criteria. Building and Environment, 2000.

considérablement sur la marche, causant danger pour des vitesses dépassant 15 m/s pour les personnes âgées et 20 m/s pour les individus « standards ». L'échelle de Beaufort (Tableau.III.4) donne en fonction de la vitesse du vent, à une hauteur de 2m, quelques informations sur les effets et sensations induites.

Vitesse du vent (m/s)		Caractéristiques du vent
Force	H = 2 m	
2	1.5 à 3	Les visages ressentent la sensation du vent. Les feuilles bruissent.
3	3 à 4.5	Les feuilles et les petits rameaux sont en mouvement permanent. Le vent déploie pleinement les drapeaux.
4	4.5 à 7	La poussière et les papiers se soulèvent. Les branches s'agitent. Les cheveux sont décoiffés
5	7 à 9	Les arbres avec des feuilles oscillent. La marche est légèrement perturbée.
6	9 à 11	Les grosses branches se mettent en mouvement. Le vent siffle dans les fils téléphoniques. Les parapluies sont utilisés avec peine. La marche devient très instable.
7	11 à 14	Les arbres sont totalement en mouvement. On éprouve de grosses difficultés à marcher contre le vent.
8	14 à 17	Les branches d'arbres se cassent. D'une façon générale, progression pédestre très difficile et dangereuse.
9	17 à 20	Risque d'être violemment projeté à terre sous l'effet des bourrasques.

**Tableau.III.4 : Echelle de Beaufort (Source : Gandemer et al. 1981)**

En pratique, il existe un critère important qui est celui de fréquence d'apparition F de cette nuisance. La gêne due au vent est inévitable dans les espaces extérieurs, elle sera tolérée ou acceptée par l'utilisateur si sa fréquence d'apparition reste modérée. En outre, la notion d'acceptabilité d'un niveau de nuisance donné sera dépendante de la fonction de l'activité de l'espace extérieur considéré (Tableau III.5). La fréquence F peut s'exprimer en pourcentage du temps (durée pendant laquelle le niveau V dépasse le seuil de nuisance Vs) ou directement en nombre d'heures (durée moyenne de nuisance annuelle qui peut être pondérée par la saison ou le cycle jour / nuit). La fréquence F dépend du climat, du site d'implantation, du positionnement du point dans le site.

Activités	Limite supérieure de la gêne pour un confort convenable (en pourcentage du temps annuel)
Station immobile prolongée (terrasse de café, théâtre en plein air, piscine, etc.)	5 %
Station immobile de courte durée (jardin public, aire de jeux, rue commerçante, galerie, etc.)	10 %

Marche normale (promenade pédestre, passage piétonnier, entrée d'immeuble, etc.)	15 %
Marche rapide (parc auto, trottoir des avenues, belvédère, etc.)	25 %

**Tableau.III.5 : Fréquence de nuisance liée à l'activité (Gandemer et al. 1976).**

### **III-5-Conclusion :**

Ce chapitre a traité la notion de confort d'une manière globale, ont été définis les conditions de confort climatique d'une manière générale. Aussi, ont été discutés les paramètres définissant le confort climatique dans l'espace extérieur. Il a été affirmé la nécessité de prendre en compte les différents facteurs climatiques, en interaction qui contribuent au confort dans les espaces extérieurs.

Les facteurs thermiques sont prépondérants. A travers les rappels sur la notion de confort thermique, nous pouvons constater la difficulté liée à la qualification et à la quantification de ce concept, même en ne considérant que des paramètres physiques objectifs (transferts de chaleur entre l'individu et son environnement). Les paramètres usuels (température de l'air, humidité, vitesse de vent, température radiante moyenne, activité, vêtements) interviennent dans les nombreux échanges thermiques entre l'individu et son environnement. L'analyse de ces échanges a permis d'aborder le confort thermique en espace extérieur. Une présentation des indices de confort ou de stress thermique en extérieur nous a renseignées sur les spécificités de chacun. Ces indices correspondent, en général, à des résultats d'expériences à l'intérieur des bâtiments et sont modifiés pour être applicables en espace extérieur, notamment par l'intégration des échanges radiatifs dans la température radiante moyenne. L'intégration des apports solaires et de l'ensemble des apports radiatifs dans la température radiante moyenne généralise les indices PMV, PET et SET en conditions extérieures. L'expression du bilan en fonction de la quantité de sueur est intéressante car les problèmes de confort que nous aurons à traiter dans les simulations seront liés à l'inconfort chaud.

Ce chapitre nous à permis de recueillir des paramètres qu'on pourra utiliser pour l'évaluation du confort en espace extérieur par rapport à certain facteur tel que la température, l'humidité et la vitesse du vent.

A partir de ces valeurs, nous pourrons juger et tester ultérieurement les commodités climatiques de l'espace qu'on s'est proposé d'étudier.

# **Chapitre IV**

La végétation et son effet sur le microclimat

#### IV-1-Introduction :

La végétation sous toutes ses formes (arbres, arbustes et espèces herbacées, arbres isolés bosquets ou en boisés) constitue un élément des écosystèmes urbains et naturels. Nous réalisons combien sont sous-estimés et méconnus les effets de la présence de la végétation en ville.

La réalisation d'aménagement paysagers dans les nombreux milieux urbains à travers le monde, traduit plus qu'un engouement pour le jardinage et l'horticulture : elle démontre une préoccupation des autorités et du citoyen d'améliorer l'environnement quotidien et de s'entourer d'éléments naturels. La présence de la végétation en milieu urbain nous assure un contact avec les variables naturelles de l'écosystème, et en particulier, avec un élément vivant autre qu'humain. Nous apportons d'ailleurs beaucoup de soins et d'attentions aux plantes qui, de plus en plus, font partie de notre milieu de vie intérieur. Pourquoi n'en serait-il pas de même pour notre environnement extérieur ? L'individu ayant besoin de vivre en contact avec un environnement moins aliénant, et plus sain, l'importance de la végétation en milieu urbain est donc d'autant plus grande que les villes et les banlieues abritent des concentrations élevées de gens.<sup>86</sup>

Les zones urbaines "vertes", qu'elles soient publiques comme les parcs ou privées comme les plantations autour de bâtiments, peuvent avoir un effet marqué sur beaucoup d'aspects de la qualité de l'environnement urbain et la richesse de vie dans une ville. Les conditions de l'environnement dans les espaces publics urbains peuvent avoir un impact considérable sur les conditions de confort éprouvées par les personnes qui les utilisent, et par conséquent sur leur utilisation par le public.

Le type et le détail des plantes autour d'un bâtiment ou dans un espace public peuvent affecter son exposition au soleil et au vent, ses conditions de confort et l'usage d'énergie pour chauffer en hiver et principalement pour refroidir en été.

En plus de son effet sur le climat urbain globale et le microclimat dans les espaces publics et autour des bâtiments, la végétation urbaine affecte la pollution de l'air, le niveau sonore des sources du bruit, favorise l'activité sociale, possède une apparence esthétique....etc.

Nous allons dans ce chapitre nous intéresser à quelques aspects concernant la végétation en générale et celle en milieu urbain en particulier, donc à l'échelle du microclimat. Ainsi, nous allons analyser, de manière précise, comment les végétaux ont la possibilité de modifier leur environnement thermique par leurs actions sur les rayonnements de courte et de grande longueur d'onde, par leur influence sur les écoulements aérauliques et par le phénomène d'évapotranspiration.

---

<sup>86</sup> Cabanel, J., Stefulesco, C: L'urbanisme végétal. I.D.F diffusion, 1993.

## IV-2-Généralités :

### IV-2-1-Dimensions symboliques :

L'Arbre renferme à lui seul des thèmes symboliques parmi les plus riches et les plus répandus. On peut distinguer chez lui plusieurs interprétations symboliques qui gravitent à peu près toutes autour de l'idée du Cosmos vivant, autour de notre planète en perpétuelle régénérescence. En effet, sa nature cyclique (p. ex. mort et régénération des organes, des individus, d'un peuplement ou d'une forêt entière ; changements dans le feuillage au fil des saisons) en fait un symbole par excellence de la vie en pleine évolution. De plus, sa verticalité aérienne et souterraine ne symbolise-t-elle pas l'ascension vers le ciel et la descente aux enfers ?

Symbole de vie en perpétuelle évolution, l'arbre met en communication les 3 niveaux du cosmos : le souterrain par ses racines, la terre par son tronc, les hauteurs par ses branches supérieures et le ciel par sa cime. Les reptiles rampent entre ses racines, les oiseaux volent dans ses branches. Tous les éléments sont réunis : l'eau avec sa sève, la terre s'intègre à son corps par ses racines, l'air nourrit ses feuilles et le feu jaillit de son frottement. L'arbre est donc le symbole des rapports entre le ciel et la terre. Il a un caractère central. Il évoque aussi tout le symbolisme de la verticalité. Il est le chemin ascensionnel par lequel transitent ceux qui passent du visible à l'invisible. Dieux, esprits, âmes, souverains et médiateurs empruntent ce chemin entre ciel et terre. L'arbre symbolise tantôt les forces de la Vie comme l'arbre de vie, tantôt l'homme, tantôt une famille : arbre généalogique.

Certains arbres ont une symbolique propre : l'olivier (*Olea europea*) représente la paix, la sérénité le chêne (*Quercus* sp.) représente la robustesse, la longévité.



FIG.IV.1 : Vision symbolique de l'arbre. (Source : <http://planete.qc.ca>)

### IV-2-2-Dimensions esthétiques :

La beauté des arbres tient d'abord à leur diversité source de biodiversité et de poésie urbaine.

Diversité des formes qui sont autant d'atouts de composition pour l'architecte paysagiste : port conique, pyramidal, port boule ou sphérique, port colonnaire, port fastigié ou érigé, port étalé, port pleureur, irrégulier, ou typique car inclassable.

Diversité des hauteurs, avec les arbres de première grandeur comme l'érable, le sycomore, le marronnier, le chêne, le frêne, le platane, le cèdre ou le sapin, ces grands arbres que l'on ne plante plus assez qualifient un espace public, place ou perspective, pour des dizaines voir des centaines d'années. Mais il faut aussi jouer avec toute la palette des arbres de taille moyenne, idéaux pour créer des rues plantées, tilleuls, érables, merisier, paulownias ou des ambiances poétiques comme les saules, les merisiers et tant d'autres. Enfin viennent les arbres de troisième grandeur comme les houx, les fruitiers, les arbres pleureurs ou tortueux, les muriers, magnolias, toute une gamme qui apporte leurs touches intimes et fleuries et font la transition avec les haies taillées ou libres.

A cette diversité des formes et hauteurs se combine la diversité des feuillages, caducs ou persistants (si importants dans la composition d'un nouveau quartier), les couleurs variées (du rouge des érables, au bleu des cèdres en passant par toutes les gammes des verts, des jaunes).<sup>87</sup>

Des formes des feuilles, finement dentelées ou puissantes et massives, l'ambiance d'une petite place sera totalement différente suivant le choix de l'espèce. Et ce n'est pas fini, en hiver l'écorce de l'arbre jouera aussi son rôle, blanche comme celle des bouleaux, lumineuse et lisse comme le hêtre, rugueuse comme celle du chêne, autant de variations infinies. Puis viennent les fleurs et les fruits, avec leur cortège d'odeurs, de couleurs et de saveurs autant d'atouts et de conséquences que le concepteur devra intégrer dans son travail poétique.

Ainsi imaginés, dessinés, puis plantés petits d'abord, les arbres vont grandir en beauté pour le plus grand plaisir des citoyens. Viendra un jour où ils déclineront gravement, alors de nouveau, les élus devront avoir le courage de les retirer pour en planter des plus jeunes et résister à la tentation de mettre à leur place un vulgaire enrobé ou béton.

Les qualités esthétiques des végétaux dépassent leur simple fonction d'enjoliveur ou de cache-misère car la dynamique induite par ce jeu est teintée de références aussi bien à la nature qu'au temps par leur évolution formelle et chromatique à travers les saisons.

---

<sup>87</sup> **Larue, D.** : L'arbre dans la ville. Paris. Edition Sang de la terre et Foncier Conseil, 1996.



**FIG.IV.2 : Un arbre à différentes saisons. (Source : <http://www.w3sh.com/>)**

#### **IV-2-3-Qualités associées à la végétation :**

Les modalités d'intervention de la végétation sur le milieu urbain sont nombreuses et font appel à une analyse multi sensorielle. Les dimensions esthétiques et les qualités visuelles ont déjà été abordées dans le paragraphe précédent.

L'impact acoustique est parfois mentionné à travers une atténuation de certaines fréquences du spectre sonore, mais reste sujet de controverse<sup>88</sup>. Le jeu du vent à travers les feuillages via le son est un élément intéressant à retenir : en été un bruissement de feuilles nous avertit qu'un courant d'air peut nous rafraîchir et est donc ressenti comme agréable, alors qu'en hiver le sifflement du vent dans les branches nous alerte de conditions météorologiques défavorables.

La dimension sensorielle aborde également le domaine des odeurs par la qualité olfactive des différentes essences, dont certaines ont le pouvoir d'évoquer un souvenir lié à une période de l'année ou à une région.

En termes de protection face à des nuisances, les intérêts de la végétation sont nombreux : réduction de la pollution atmosphérique et amélioration de la qualité de l'air par fixation de certaines poussières, diminution de l'effet de ruissellement par interception des pluies, protection contre l'érosion due aux vents et à l'eau, affaiblissement de la présence de rosée et de gelée, suppression des éblouissements par effet de filtre ou d'écran, etc.

---

<sup>88</sup> **Robinette, G.:** Plants, people, and environmental quality. Washington, D. C, Department of the interior, 1972.

#### **IV-2-4-Dimensions structurelles et composition urbaine :**

La qualité architecturale et paysagère de la ville peut être reliée à la disposition de ses arbres.

Parmi les différentes fonctions structurantes des arbres, on peut retenir que ceux-ci apportent le volume et la verticalité complémentaire à l'horizontalité des voies. En effet, les végétaux, même sans feuilles peuvent constituer des volumes comparables aux structures architecturales.<sup>89</sup>

Dans le paysage urbain, une grande variété d'arbre existe. Une classification basée sur leur forme n'est pas évidente mais nous présentons ici celle proposée par Larue qui distingue neuf types de forme (Figure.IV.3)<sup>90</sup>:

Les dimensions des arbres sont des paramètres important à contrôler aussi bien en tant qu'impact sur l'occupation d'espace que sur l'ombre générée par ceux-ci. Il est nécessaire de prendre en considération ce point lorsque l'on souhaite intégrer des arbres en espace urbain.

Nous avons représenté à l'échelle (une flèche vaut 5 mètres) neufs arbres parmi les plus communs en indiquant les hauteurs maximales du tronc et l'arbre en entier à taille adulte (Figure.IV.3). Les dessins indiquent de plus l'image de l'arbre en été et en hiver.<sup>91</sup>

A partir de ces indications dimensionnelles, le profil des arbres peut être plus ou moins précisément tracé dans les logiciels de simulation ayant une interface graphique.

---

<sup>89</sup> **Cabanel, J., Stefulesco, C:** L'urbanisme végétal. I.D.F diffusion, 1993.

<sup>90</sup> **Larue, D. :** L'arbre dans la ville. Paris. Edition Sang de la terre et Foncier Conseil, 1996.

<sup>91</sup> **Coombes A. J. :** Les arbres. Paris : Bordas, 320 p. Collection L'oeil Nature. Traduction Isabelle Delvallée,1993.

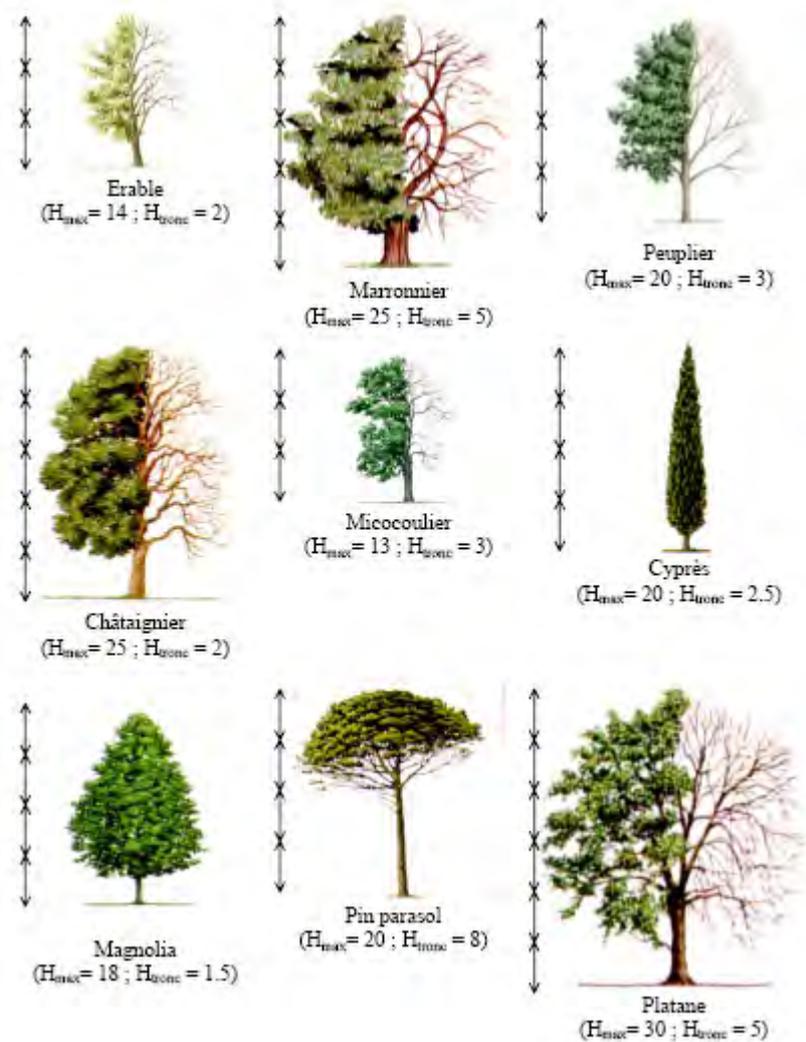


FIG.IV.3 : Dimensions de neuf arbres communs. (Source : Larue, 1996).

Le groupement et la composition des arbres entre eux ont parfois pour fonction de créer des effets spatiaux (Figure .IV.4 et Figure .IV.5). Ils sont fédérateurs et donnent une unité ou un caractère particulier à l'ensemble d'un quartier. Ainsi, à l'échelle urbaine, il peut y avoir continuité entre le végétal et le bâti dans la composition d'ensemble. Ils sont des outils d'aménagement précieux car ils sont susceptibles d'entraîner la création d'espaces, la réduction d'échelle entre espaces plats et volumes imposants, une division de l'espace en sous-espaces, des séparations et des repérages.<sup>92</sup>

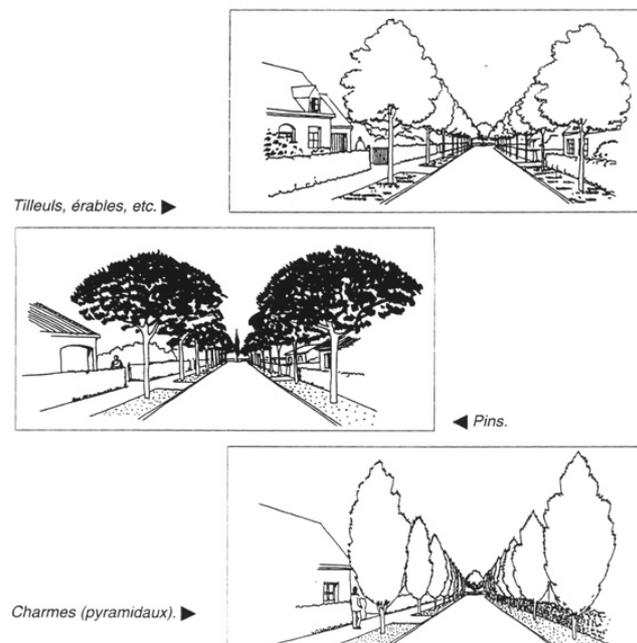
La protection des espaces privés, du moins à un niveau visuel, est assurée parfois par des buissons, des haies ou tout autre système de barrières végétales. A l'opposé, la disposition d'écrans végétaux peut révéler des vues et des panoramas. Ainsi, la végétation sert de guide visuel et induit des phénomènes de masquage, de filtrage, de perspective, de perception modifiée. Elle met en

<sup>92</sup> De Sablet, M. : Des espaces urbains agréables à vivre – Places, rues, squares et jardins. Paris : Moniteur.1988.

valeur les symboles ou des éléments du décor, elle sert d'articulation, d'indicateur et elle peut moduler l'échelle de perception.<sup>93</sup>



**FIG.IV.4 : Modification de l'espace grâce à l'espacement entre les arbres.**  
(Source : Larue 1996).



**FIG.IV.5 : Modification de l'espace grâce à la forme des arbres.**  
(Source : Larue 1996).

<sup>93</sup> **Robinette, G.:** Plants, people, and environmental quality. Washington, D. C, Department of the interior, 1972.

Le vocabulaire décrivant certaines propriétés des arbres urbains se rapporte parfois à celui de l'architecture et de l'urbanisme. Afin d'illustrer cette assertion, nous allons nous appuyer sur les citations suivantes :

*« Les végétaux, même défoliés, constituent des volumes comparables aux structures architecturales ... Les frondaisons constituent des voûtes qui définissent des espaces intérieurs aux caractéristiques parfois très architecturales ... Les limites et trames végétales participent à la structure de l'espace urbain. Elles peuvent introduire une continuité, souligner un ordonnancement bâti, relier des volumes disparates ou structurer des espaces désorganisés. Elles confrontent et précisent les trames urbaines... L'environnement végétal qui accompagne presque toujours l'architecture assure la transition avec son environnement. Lorsque le bâtiment et son décor immédiat ont un caractère précieux, la végétation constitue un écrin ... Un arbre ou un ensemble végétal, remarquables par leur taille, leur architecture, leur floraison contribuent à l'orientation et au repérage ... La végétation grimpante ou suspendue transforme sensiblement l'apparence des constructions surtout si les conditions nécessaires à leur croissance ont été intégrées au parti architectural. »<sup>94</sup>.*

#### **IV-2-5-L'utilisation des arbres dans le projet :**

Pour l'urbaniste, l'architecte ou le paysagiste, le choix du type de végétal et la disposition de celui-ci se justifie par les qualités précédemment décrites. Parmi les configurations et les agencements les plus caractéristiques nous pouvons citer les plantations d'arbres, le long des avenues et des boulevards, suivant un modèle de grille et surtout suivant une structure en alignement. Chaque élément de l'espace urbain peut donner lieu à un aménagement végétal plus ou moins sophistiqué. Une fois de plus, nous nous appuyons sur l'ouvrage de référence dans ce domaine en synthétisant les principaux éléments (Tableau. IV.1).<sup>95</sup>

Dispositifs urbains	Type ou caractéristique	Végétation
Places	Anciennes (dans ensembles médiévaux)	Peu ou pas plantées Arbres monumentaux
	Classiques	Dépourvues de végétation à l'origine puis plantées
	A ordonnancement végétal	Plantation en trame régulière
	Places-jardins Squares	Ambiance de nature, lieux de dépaysement et de tranquillité

<sup>94</sup> Cabanel, J., Stefulesco, C: L'urbanisme végétal. I.D.F diffusion, 1993.

<sup>95</sup> Idem 91.

Rues	Voies de circulation d'une largeur inférieure à 20 m	Plantation latérale (espace privé). Végétation d'emprunt. Traitement des clôtures, haies
Ruelles, cours, sentes	Réseaux d'accès aux quartiers de faible densité	Végétation plus ou moins décidée, pergolas, plantes décoratives
Boulevards	Voies de circulation qui entourent partiellement la ville, le quartier	Lignes d'arbres
Déviations	Voies de contournement	Mise en valeur du paysage, des points de vue, des ronds-points
Allées	Espaces de cheminement linéaire	Lignes d'arbres
Cours	Espaces de forme rectangulaire, orientés vers un point de vue remarquable	Ordonnancement végétal et architecturé planté sur sa longueur de lignes d'arbres
Quais, rives,	Espaces à proximité de l'eau (rivière, fleuve, lac, océan)	Plantation d'alignement Arbres isolés ou bosquet
Jardins	Classiques	Plantation régulière, symétrique
	Pittoresques	Rappel de la nature et de la campagne
Espaces verts	Formes d'occupations du sol qui s'accompagnent de présence végétale	Surfaces plantées, espaces libres, ambiances végétales isolées de la circulation et de la ville, terre-pleins engazonnés, aires de jeux

**Tableau .IV.1 : Relations urbanisme-végétation. (Source : Stefulesco, 1993).**

La nature du tissu urbain est importante. En effet, en milieu fortement urbanisé, l'arbre des rues représente l'essentiel du patrimoine végétal et prend un caractère symbolique important, alors que dans les zones pavillonnaires, où il existe une végétation privée, l'attachement aux arbres « publics » est moindre, même si globalement la population porte un intérêt plus soutenu à la présence végétale. Le projet végétal est élaboré par les urbanistes et les paysagers, en fonction de la relation de la ville ou du quartier avec son site, de ses composantes écologiques et culturelles.

#### **IV-3-Types de végétal urbain :**

Nous estimons évident qu'aborder la question du végétal urbain ,c'est faire appel à des connaissances provenant de diverses, disciplines : climatologie, hydrologie, pédologie agronomie et physiologie végétale C'est dire la variété des préoccupations et les difficultés pour adapter ces connaissances aux besoins spécifiques du champs de l'urbanisme par le biais du microclimat OÙ le végétal est appelé à jouer un rôle important le végétal urbain peut se présenter essentiellement sous (03) formes qui, correspondent aussi à (03) échelles spatiales.

\*-L'arbre urbain.

\*-Le végétal pimpant.

\*-La pelouse et les végétaux couvrants.

#### **IV-3-1-Le végétal grimpant :**

IL est plus fréquemment associé à l'architecture, et proportionné à l'échelle du bâtiment Il peut être aussi utilisé dans les espaces urbains et constituer par exemple : un ombrage (treillis sur rue) sont effet microclimatique s'exerce sur un espace plus réduit en général à l'échelle du piéton.

#### **IV-3-2-La pelouse et les végétaux couvrants :**

Ont le plus souvent, une fonction décorative, en remplaçant un revêtement minéral Leurs effets microclimatiques se limitent au contrôle des conditions de surface (il en va de même de végétaux grimpants couvrent des surfaces entières de façades des bâtiments)



**FIG.IV.6 : Les végétaux couvrants. (Source : M. A. Guyot, 1998)**

#### **IV-3-3-L'arbre urbain :**

L'arbre urbain peut à son tour être subdivisé en deux (02) catégories

\*- L'arbre en parc ou jardin.

\*- L'arbre d'alignement.

Dans les (02) cas, l'arbre est un élément vivant, source quantifiable de confort en région méditerranéenne, le choix des essences doit être fait avec soin une bonne connaissance de son usage enrichit la panoplie d'outils d'aide à la décision pour le contrôle des ambiances micro climatiques

dans les projets : l'arbre urbain peut atteindre de grandes tailles (plus de 25 m de haut) -arboriculture urbaine-.Il participe beaucoup au paysage urbain.



FIG.IV.7 : Les arbres d'alignement. (Source : <http://www.abtreeworkers.be/>)

#### IV-3-3-1- Conditions de développement de l'arbre urbain :

Les paramètres qui ont une influence sur le développement des arbres, notamment sur leur activité de photosynthèse, sont outre le cycle de l'eau, l'intensité de la lumière et la température de l'air.

Parmi les études consacrées à ce sujet une étude d'Alexander et al.<sup>96</sup>, sur de jeunes plantes d'épicéa rouges en conditions thermiques et radiatives artificielles.

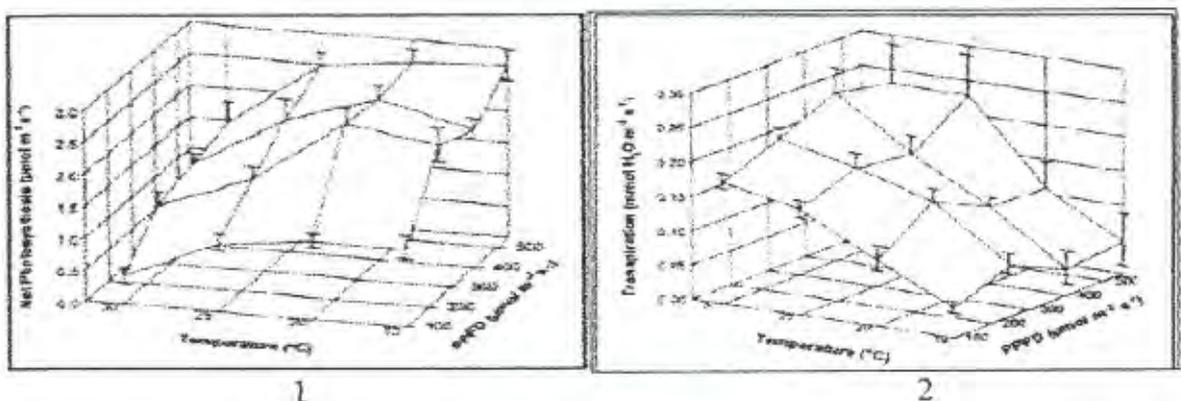


FIG.IV.8.1. Bilan de photosynthèse de jeunes plans d'épicéas rouge.

#### 2. Transpiration de jeunes plantes d'épicéas rouge.

(Source : Alexander et al., 1995)

<sup>96</sup> Alexander, J.D., J.R. Donnelly and J.B. Shane. : Photosynthetic and transpirational responses of red spruce understory trees to light and temperature, 1995.

Ces graphes montrent que les températures élevées en augmentant la transpiration réduisent la photosynthèse à toutes les intensités lumineuses.

On peut pressentir que dans une ville les espaces à la fois chauds et peu ensoleillés, s'ils existent, sont les moins propices au développement de l'arbre urbain.

Mais à toutes les températures la lumière reste un paramètre important pour la croissance de l'arbre.

Le développement de l'arbre urbain dépend aussi des conditions qu'il trouve dans la ville ; nature des sols, présence de l'eau et arrosage, morphologie des espaces urbains qui l'entourent.

Kjelgren et Clark ont étudié les conditions de croissance du (Copalme d'Amérique) en fonction de l'espace urbain qui l'accueille « Canyon», place ou parc, l'ensoleillement est le même c'est à dire le max pour le parc et la place, mais il est réduit à 4 heures par Jour, dans le canyon.

Le revêtement minéral de la place y déclenche un échauffement de surface plus important provoquant une évaporation plus forte de 50% par rapport aux autres sites.<sup>97</sup>

L'état sanitaire de l'arbre influe sur la croissance ; il est en partie dépendent des stress auxquels l'arbre urbain est soumis.

#### IV-3-3-2-Fonctionnement de l'arbre urbain :

L'arbre est un ensemble fonctionnel complexe dans toutes les composantes : racines, tronc, branches et feuilles assurent à leur niveau, et dans la durée la satisfaction des besoins élémentaire.

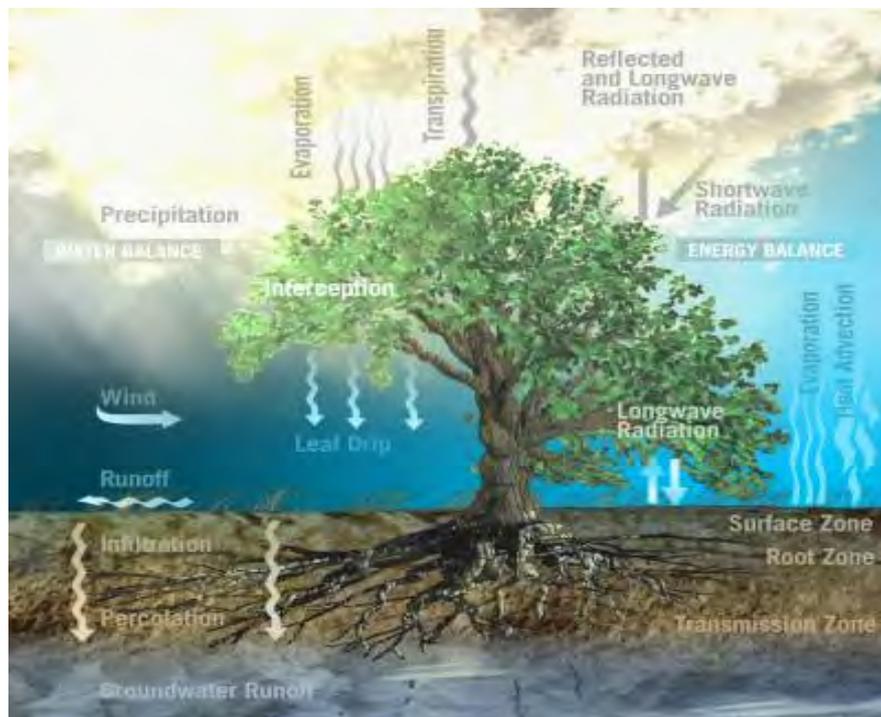


FIG.IV.9 :L'arbre un système fonctionnel. (Source : <http://i.treehugger.com/>)

<sup>97</sup> Kjelgren,R., Montague,T.: Urban tree transpiration over turf and asphalt surfaces. Atmospheric Environment,1998.

#### **IV-4-Fonction et dimension de l'arbre urbain :**

##### **IV-4-1-Fonctions sociales et économiques :**

Actions sur le psychisme relaxation et santé sont dues à l'influence des couleurs surtout pour le vert et le bleu reconnus pour leur vertus apaisantes ce qui est prouvé par l'expérience citée par Cole : « de même parmi les patients d'un hôpital 1994 on découvre que les patients qui pouvaient voir des arbres, de leur lit retrouvaient beaucoup plus vite la santé que ceux situés dans l'autre aile ne bénéficiant pas d'une vue aussi privilégiée, les premiers avaient meilleur moral. Une fièvre moins importante et restaient moins longtemps à l'hôpital.

Aspects éducatif : pour les enfants qui à travers l'escalade, le cache-cache, construction d'abris surélevés et donc protégé de l'ennemi expriment des instincts qui trouvent leur origine dans la nuit des temps.

##### **IV-4-2-Fonctions physiques :**

Modification du climat urbain :

- L'amélioration de la qualité physico-chimique de l'air des villes.
- La contribuent à la réduction des bruits.
- La filtration des poussières.

On peut citer quelques exemples :

- Un hectare de hêtraie âgée de 80 ans transpire 3000 m<sup>3</sup> d'eau pendant une saison de végétation.
- Une bande verte de 300 m de large entraîne une augmentation de 50% de l'humidité atmosphérique.
- Ventilation de la ville : les masses d'air refroidies situées au niveau des parcs sont plus lourdes, elle entraîne un courant descendant combiné au courant ascendant d'air chauffé du bâtes, ce qui aide à la formation d'un véritable courant d'air pouvant atteindre 42Km/h
- Diminution du taux de gaz carbonique (la quantité de gaz carbonique mobilisée par la photosynthèse est environ 15 fois supérieur à celle rejetée par la respiration : les végétaux agissent sur le cycle de vie, de la vie biologique et de l'écosystème urbain en général.

##### **IV-4-3-Fonctions de représentation :**

L'arbre, élément qui participe le plus à l'introduction de la vraie dimension du paysage en ville.

En général le végétal est un matériau esthétique par excellence, il apporte toujours une réponse positive.

Par son rôle symbolique et social, il représente un objet culturel et suscite une approche esthétique.

Avec ses aptitudes à croître et à se régénérer, est un être vivant et dynamique, peut se faire beau sans une grande peine de façonnage.

Le végétal devient un matériau indispensable pour les aménageurs, parce qu'il apporte toujours une réponse positive.

#### **IV-4-4-Effet sur le confort :**

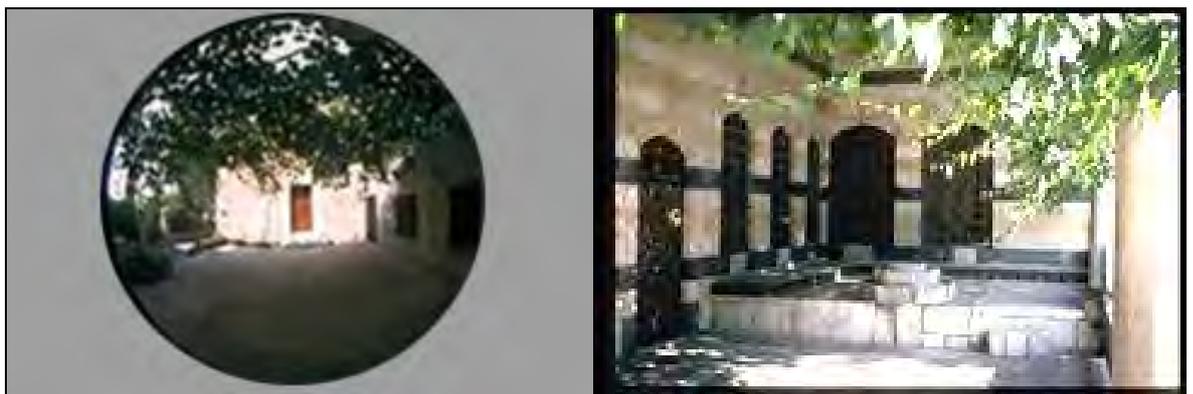
Le végétal a un rôle primordial sur le refroidissement et la qualité de l'air ; mais on ne peut pas nier son impact sur le confort sensorielle.

\*-L'impact acoustique : est parfois mentionné à travers une atténuation de certaines fréquences du spectre sonore Un élément est cependant intéressant à retenir c'est le jeu du vent à travers les feuillages via le son, en été un bruissement de feuilles nous averti q'un courant d'air peut nous rafraîchir et donc ressenti comme agréable, alors qu'en hiver le sifflement de vent dans les branches nous alerte de conditions météorologiques défavorables.

\*-L'impact sur l'ouïe : la dimension sensorielle aborde également le domaine des odeurs par la qualité olfactive des différentes essences, dont certains ont le pouvoir d'évoquer un souvenir lié à une période de l'année ou à une région.

En outre la protection face aux nuisances, réduction de la pollution atmosphérique et amélioration de la qualité de l'air par fixation de certaines poussière diminution de l'effet de ruissellement par interception des pluies, protection contre l'érosion due aux vents et à l'eau, suppression des éblouissements par effet de filtre ou d'écran.

\*-Le confort lumineux exige des espaces méditerranéens, une transition entre l'ombre et la pleine lumière afin d'éviter des phénomènes d'éblouissement.



**FIG.IV.10 : confort lumineux et effet tampon du végétal. (Source : M. A. Guyot, 1998)**

#### **IV-4-5- Effets microclimatiques de la végétation urbaine :**

La présence de végétation en milieu urbain est un facteur très important ; car les effets induits sont nombreux et concerne aussi les problématiques d'urbanisme et de climatologie que de

confort et d'ambiance.

L'impact de la végétation peut être direct mais il peut aussi apparaître de manière indirecte et à une échelle plus importante spécifique du champ d'urbanisme, par le biais du micro climat urbain, où le végétal joue un rôle très important, cela par la connaissance du fonctionnement microclimatique du végétal urbain sous toutes ses formes et leurs effets qui se subdivisent essentiellement en trois grands effets

\*-Effet de refroidissement de l'air par échange gazeux.

\*-Effet d'ombrage des espaces urbains.

\*-Effet aéraulique des végétaux urbains.

Qu'on va essayer de traiter avec plus de détails en cour de ce chapitre.

#### **IV-4-6-Effet modérateur du végétal sur l'îlot de chaleur urbain :**

##### **IV-4-6-1-Température de l'air :**

L'effet de refroidissement du végétal a été simulé pour le cas de Montréal par Oke<sup>98</sup>. Le refroidissement dû à l'évapotranspiration croît (Jusqu'à  $-6^{\circ}\text{C}$ ) avec le taux de surfaces évapotranspirantes vertes de l'ensemble de la ville, mais la loi n'étant pas linéaire, ce sont les premières 20 à 30% de ces surfaces qui sont les plus efficaces ( $-3^{\circ}\text{C}$ ).

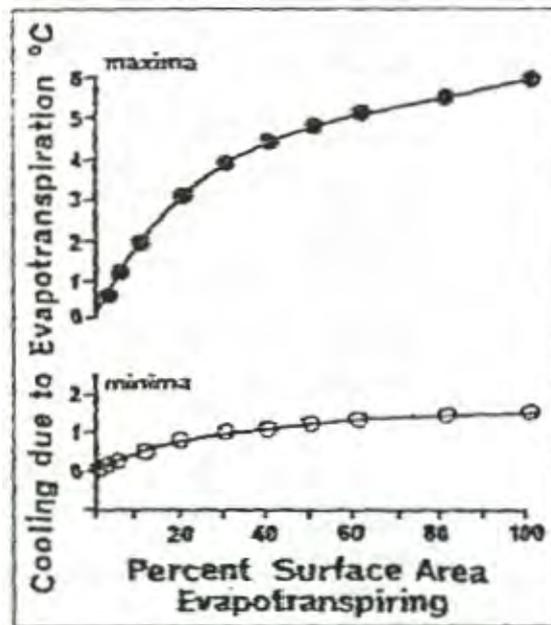


FIG.IV.11 : Effet de refroidissement par évapotranspiration en fonction du taux de surfaces évapotranspirantes dans la ville. (Source : Oke, T.R., 1997)

<sup>98</sup> Oke, T.R. et Voogt, J.A.: Complete urban surface temperatures. Journal of Applied Meteorology, 1997.

#### **IV-4-6-1-1-Les parcs :**

Des températures de l'air ont été mesurées la nuit dans certains parcs urbains et comparées à celles relevées dans les zones construites environnantes par de nombreux chercheurs.

L'extension ainsi que l'amplitude de la différence de température dépend de la taille du parc et de la distance au parc. Des données concernant différentes villes montrent que les écarts de température entre un parc et ses environs vont de 1 °C à 6.8 °C. Le plus grand écart est obtenu pour de grands parcs. Cependant pour des parcs de taille équivalente les écarts peuvent varier de 1.5 °C à 4 °C. Il semble que l'extension de l'effet spatial du refroidissement augmente avec la taille des parcs. L'effet potentiel du parc est largement déterminé par le climat : plus le climat est chaud et sec, plus l'effet est important. Les études de jour sont moins nombreuses et révèlent des résultats contradictoires. Une étude a été menée dans la ville de Göteborg de juin à septembre 1997.<sup>99</sup>

La différence de température entre les environs et le parc atteint un maximum de 4.7 °C, la valeur moyenne de l'écart est d'environ 3 °C. Des campagnes de mesure se sont déroulées à l'intérieur et aux abords du Parc National d'Athènes pendant 10 jours au mois d'août 1998<sup>100</sup>. Dans ce parc, qui est le plus important du centre ville, la température de l'air varie en fonction de l'ombrage et de la couverture végétale. Les écarts entre les températures les plus basses et les plus hautes peuvent atteindre 1.5 °C. La différence maximale de température entre le parc et les zones environnantes atteint durant la journée environ 3 °C. Dès la sortie du parc, une augmentation immédiate de 1 °C apparaît. La température autour du parc est principalement influencée par des paramètres comme la densité des bâtiments, le taux de chaleur anthropogénique dégagé par les voitures et l'ombrage dans les rues plutôt que par la présence du parc.

#### **IV-4-6-1-2-Les rues, les squares :**

De nombreuses campagnes de mesure ont tenté d'analyser les effets microclimatiques dus aux formes urbaines et à la présence de végétation. Parmi les études françaises, nous pouvons citer les travaux menés à l'Ecole d'architecture de Marseille<sup>101</sup> sur l'analyse de deux villes méditerranéennes, Aix-en-Provence et Nîmes. Les mesures montrent que les jardins, parcs et espaces arborés sont les seuls espaces qui restent plus frais que la station météo (-0.6°C en moyenne et près de -1°C pour les espaces humidifiés). Les espaces urbains végétalisés, sont plus chauds d'environ 0.3°C et les espaces minéraux de 0.8°C. Il a été constaté qu'à l'ombre, une pelouse et une allée minérale ont presque la même température à 1 °C d'écart. Ainsi, la pelouse reste un peu plus

---

<sup>99</sup> **Upmanis, H. et al:** The influence of green areas on nocturnal temperatures in a high latitude city (Göteborg, Sweden). International Journal of Climatology, 1998.

<sup>100</sup> **Klitsikas N., Georgakis C. and Santamouris M.:** The National Park of Athens. Green-code: Reglementary frame for renewable energy use in urban site through vegetation planning and strategic surfacing, 2000.

<sup>101</sup> **Groupe ABC :** Morphologie, végétal et microclimats urbains. Plan urbain, Ministère de l'Équipement, 1997.

fraîche notamment grâce à son humidité due à l'arrosage et à son humidité matinale alors qu'au soleil, une allée s'échauffe beaucoup plus que la pelouse (11°C de plus).

En été, la différence moyenne entre les températures de l'air mesurées entre les zones à l'ombre et au soleil est de 2 °C avec un maximum de 4 °C pour les quatre squares urbains de Milan<sup>102</sup>. Les zones de pelouse ensoleillée atteignent des températures de 14 °C plus élevées que celle de l'air, tandis que pour les zones pavées et les murs la différence peut atteindre 25 °C, dans un petit square de Barcelone<sup>103</sup>. Des mesures indiquent que les températures de surface des murs orientés est et ouest en béton protégés du rayonnement solaire direct par des arbres, sont plus faibles en moyenne de plus de 13 °C<sup>104</sup>. Les températures de surface de l'asphalte peuvent être de 20 à 25 °C supérieures à celles d'une pelouse l'après-midi<sup>105</sup>. L'écart de température de l'air, à 1.2 m de la surface du sol (les trottoirs sont recouverts d'asphalte), entre les rues sans arbre et avec arbres est de 0.7 °C en moyenne avec des maxima atteignant 2 °C (effet d'ombrage). Aucune différence n'est relevée la nuit. Le jour, lorsque le canyon est complètement obstrué par les arbres une diminution de la température de surface peut atteindre au maximum 15 °C par rapport au canyon sans arbres, avec une moyenne de 5°C pour les trottoirs. Les différences entre les valeurs de l'humidité relatives ne sont pas évidentes. Des corrélations fortes apparaissent entre les températures d'air et de surface de trottoirs. L'atténuation de la température d'air en présence d'arbre peut s'expliquer par la diminution de la température de surface qui induit une température d'air inférieure<sup>106</sup>.

Cette analyse synthétique des différents travaux permet de fixer les ordres de grandeur quant aux impacts envisagés au niveau des températures de surface et d'air. A l'issue de ces premières caractéristiques de la végétation, nous pouvons résumer la majorité des éléments que nous avons avancés dans le schéma présenté à la figure.IV.12. Sur cette figure, les flèches rayées de couleur claire représentent les rayonnements de courte longueur d'onde et celles de couleur foncée les rayonnements de grande longueur d'onde.

---

<sup>102</sup> **Scudo, G. et al.:** Microclimatic effect of vegetation in urban squares. Case studies in Milan. In : Proceedings of Rebuild, Florence, 1998.

<sup>103</sup> **De La Torre, J. M. and Serra, R.:** Microclimatic analysis of some urban scenarios. In: proceedings of PLEA 1998.

<sup>104</sup> **Parker, J. H.:** The impact of vegetation on air conditioning consumption. In : proceedings of workshop on saving energy and reducing atmospheric pollution by controlling ,1989

<sup>105</sup> **Kjelgren, R. Montague, T.:** Urban tree transpiration over turf and asphalt surfaces. Atmospheric Environment, 1998.

<sup>106</sup> **Gao, W. Sugiyama, H. and Ojima, T.:** Field study of effect of street and its trees on thermal environment of sidewalks. Journal of Architecture and Planning Environment Engineering, 1995.

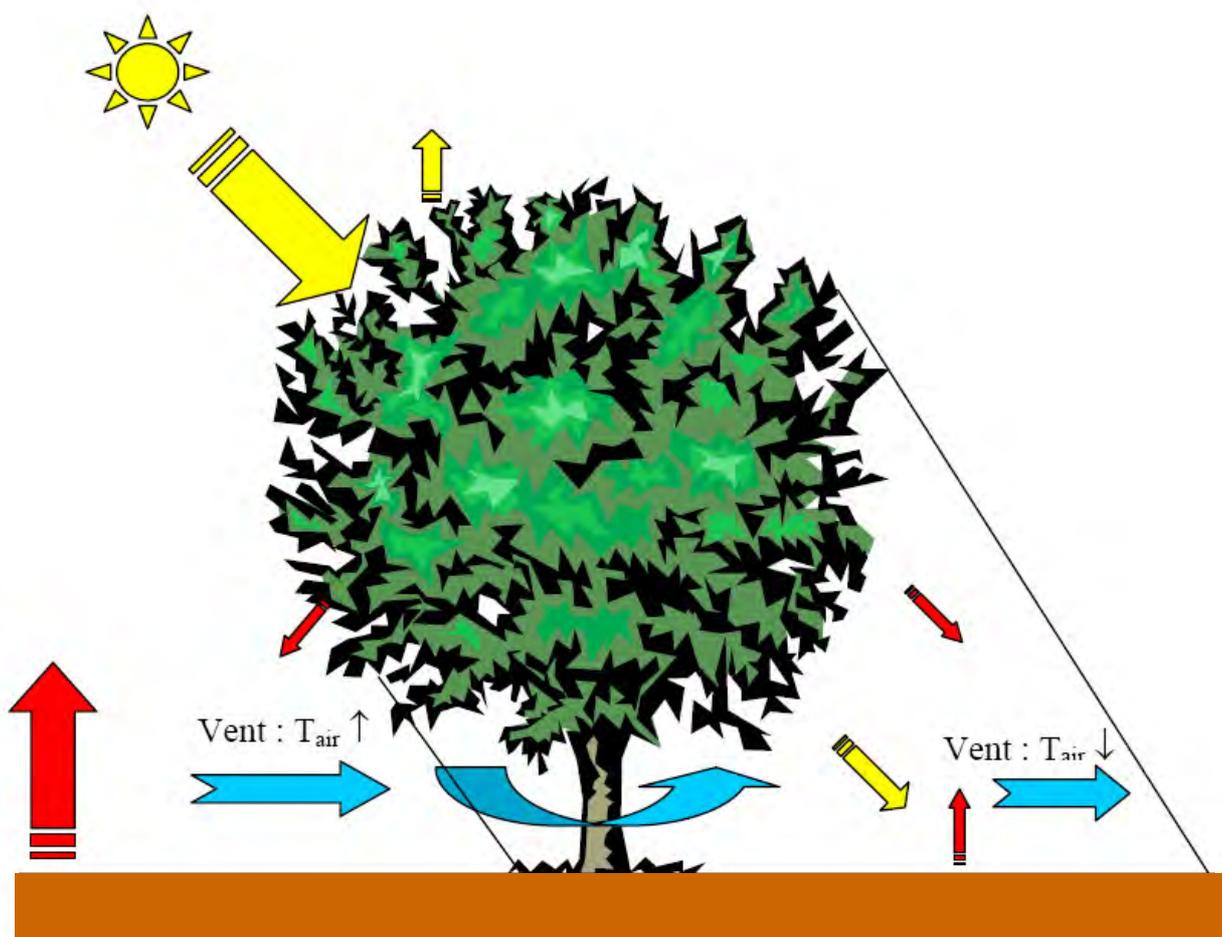


FIG.IV.12 : Modification des transferts de chaleur autour d'un arbre. (Source : Vinet J., 2000)

### Exemple :

Le Grosser tiergarten (grand jardin zoologique à Berlin) fut l'un des exemples étudiés par M.Horbert et A .Kirchgeorg<sup>107</sup>.

Le profil thermique transversal de Berlin par une belle journée du mois d'août accuse une chute de (-4C°) lorsqu'il traverse le jardin et retrouve à +1C°près le profil en rase campagne cet effet se maintient la nuit avec des écarts moindres (-1,5 à 2 c°).

L'effet thermique d'un parc peut être exprimé par la différence de température entre le parc et la ville qui l'entoure (DTup). Upmanis et al<sup>108</sup> ont dressé le tableau résultant de diverses études dans le monde.

<sup>107</sup> M.Horbert et A .Kirchgeorg.: Energy-sensitive land-use planning. Tunneling and Underground Space Technology, 1987.

<sup>108</sup> Upmanis, H. et al.: Daytime Summer temperature differences between a green area and Its build-up surroundings in a high latitude city. In : Proceedings of the second urban environment symposium, 1998.

Ville	Lat (N°)	Climat	Dim (ha)	DT(u-p) max (c°)	Extension (m)	Références
Washington	40	Humide subtropical		3-5		Lewis et al. (1971)
Mexico City	20	Steppe	525	6	2000	Jauregui (1975-80)
Munchen	48	Humide	130	3.5		Brundl et al(1986)
		continental	2.5	2		
Montréal	45	Humide continental	38	2	400	Oke(1989)
Kumamoto City	33	Humide continental	2.25	4	20	Saito et al.(1994)
Kuala Lumpur	3	Tropical	153	4.1		Ahmad(1992)
		Humide	46	3.1		
			19	1.9		
Göteborg	57	Maritime Côtier Ouest	156	6	1500	Lindqvist(1992)
Tucson	32	Aride	171	6.8		Spronken-Smith

**Tableau .IV.2 : Valeur maximale de la différence de température (ville-parc), ainsi que la distance d'influence dans diverses villes et selon diverses sources, (Source : Upmanis et al.)**

L'effet de refroidissement des parcs urbains est d'autant plus grand que ceux-ci sont importants cela est vraie aussi pour la longueur de la zone d'influence.

L'effet est également sensible au climat, les climats chaud et sec, étant plus favorable à la différence de température

#### **IV-4-6-2-Températures de surface des végétaux :**

Des mesures thermiques par imagerie infrarouge<sup>109</sup> indiquent que la température de surface du feuillage est pratiquement équivalente à celle de l'air sous abri, même pour des conditions de rayonnement solaires très différentes. En effet, on peut relever que les différences de température, des feuilles des faces supérieures et inférieures d'une pergola, pour un apport solaire de 465 W/m<sup>2</sup>, sont les mêmes à 1 °C près, l'écart n'étant que de 2°C pour un rayonnement de l'ordre de 930 W/m<sup>2</sup>. Dans les illustrations suivantes, nous confirmons ce résultat (Figure.IV.13). Les températures de surface observées dans l'infrarouge, indiquent les zones de la couronne végétale de l'arbre qui sont

<sup>109</sup> **Hoyano, A:** Climatological uses of plants for solar control and the effects on the thermal environment of a building. Tokio Institute of Technology, Japan. Energy and Buildings, 1988.

à 27, 28 et 29 °C dans le cas où celui ci est dans un air à 28 °C et soumis à un ensoleillement important correspondant à celui d'une journée claire d'été<sup>110</sup>.

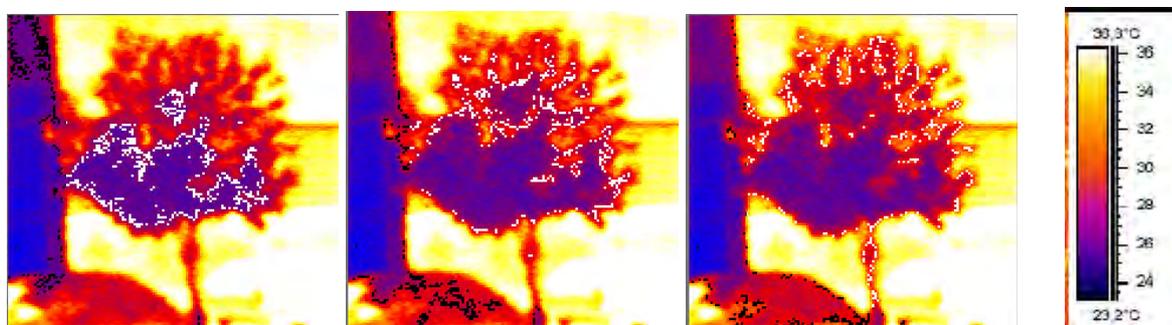


FIG.IV.13 : Zones végétales isothermes : isothermes 27, 28 et 29°C (Source : Alvarez et al., 2000)

Avec le même type de mesure (thermographie infrarouge), l'équipe d'ABC à Marseille est arrivée à la conclusion que la masse foliaire des arbres, en jardin comme en alignement, a tendance à conserver une température voisine de la température d'air sous abri et souvent même une valeur inférieure<sup>111</sup>. Autrement dit, sous un arbre, tout se passe comme si le rayonnement solaire était totalement annulé. Cet effet est très intéressant sur les voies urbaines avec arbres d'alignement. Celles-ci deviennent des espaces non seulement à l'ombre, mais aussi des zones dans lesquelles aucun effet de surface chaude ne vient augmenter la température environnante. En effet, cela entraîne non seulement une réduction de la température du sol, mais également une diminution de la radiation réfléchie vers les zones occupées. Une masse végétale se comporte donc comme un « plafond réfrigérant »<sup>112</sup>.

Les zones de pelouse ont également tendance à équilibrer, comme la couronne des arbres leur température avec celle de l'air<sup>113</sup>.

Certains travaux apportent une correction à ce constat sur l'équivalence des températures d'air et de surface des végétaux<sup>114</sup>. En effet, les arbres en ville croissent généralement dans des zones pavées, le long des rues et sur des parkings. Les surfaces pavées comme l'asphalte sont des environnements chauds car l'absence de refroidissement par évaporation entraîne une augmentation de la température de surface. Ces températures élevées induisent des échanges radiatifs de grande longueur d'onde plus importants que dans le cas d'une surface végétale. La manière dont l'arbre

<sup>110</sup> Alvarez S. et al.: Greencode : Reglementary frame for renewable energy use in urban site through vegetation plannings and strategic surfacing. Edition Altener, 2000.

<sup>111</sup> Groupe ABC : Morphologie, végétal et microclimats urbains. Plan urbain, Ministère de l'Équipement, 1997.

<sup>112</sup> Destobbeleire, G. et Izard, J-L. : Rôle de la végétation sans le microclimat urbain. In : Proceedings of EPIC, 1998.

<sup>113</sup> De La Torre, J. M. Serra, R.: Microclimatic analysis of some urban scenarios. In : proceedings of PLEA 1998.

<sup>114</sup> Kjølgren, R. and Montague, T.: Urban tree transpiration over turf and asphalt surfaces. Atmospheric Environment, 1998.

répond à une augmentation de l'énergie dépend des espèces, de l'humidité et de l'exposition de la couronne. Les arbres à larges feuilles caduques qui interceptent l'énergie due au rayonnement de grande longueur d'onde ne dissipent pas immédiatement leur chaleur par refroidissement convectif. L'énergie retenue par les feuilles résulte d'une combinaison entre une plus forte transpiration et une clôture partielle des stomates qui entraîne une augmentation de la température des feuilles, celles-ci ne pouvant plus évacuer ces apports. L'écart maximal, en condition extrême, entre les températures des feuilles et de l'air varient de 9°C pour un arbre au-dessus d'une surface en asphalte à 4°C lorsqu'il est au-dessus d'une pelouse. En effet, les espèces à stomates sensibles ou celles placées en zones arides avec une humidité faible, retiennent l'énergie, augmentent la température des feuilles et la valeur du déficit de pression de vapeur entre les feuilles et l'air ce qui peut accélérer le processus de fermeture et donc d'échauffement. Un regroupement des arbres ou une augmentation de la densité de la couronne peut permettre une dissipation du rayonnement intercepté sur plus de feuilles et ainsi réduire les gains d'énergie.

Il est à signaler qu'un calcul en régime permanent des températures de surface peut être envisagé. En effet, la capacité de chaleur par unité de volume varie de 1 MJ.m<sup>-3</sup>.K<sup>-1</sup> pour le bois du pin rouge à 2 à 3 MJ.m<sup>-3</sup>.K<sup>-1</sup> pour les feuilles et les fruits. Ainsi, les constantes de temps sont de l'ordre de quelques secondes pour les petites feuilles, de quelques minutes pour les feuilles larges et de quelques heures pour le tronc<sup>115</sup>. Enfin, nous ajoutons que la température des troncs suit la température de l'air avec une différence positive moyenne de 0.5 °C, l'écart maximal étant de 2°C en début d'après midi<sup>116</sup>.

### **Exemple :**

Les images prises dans le domaine du rayonnement de grande longueur d'onde (infrarouge) au dessus des villes ont la possibilité de mesurer les températures de surfaces des objets qui la composent ; rues, places, parcs urbains, forêt, plans d'eau, l'exemple de l'étude faite à Stuttgart par Robel, Hoffmann et Rickert en 1976.

Les images de deux passages au dessus de la ville par un beau jour anticyclonique de juin (Soir et matin) ont été récupérées et doublées par des mesures de température d'air au sol.

On peut voir dans le tableau que les végétaux limitent les échauffements qu'ils soient sous forme de parc urbain ou de forêt plus compact, en début de soirée ; le centre ville est chaud et entièrement inclus dans la même classe de température de surface tandis que en milieu de nuit des différences significatives apparaissent entre les rues et les îlots.

---

<sup>115</sup> **Monteith J.L. and Unsworth M.H.:** Principles of environmental physics. ,1991.

<sup>116</sup> **Escourrou, G. :** Climat et environnement, Les facteurs locaux du climat. Edition Masson, 1981.

Les îlots bénéficient de conditions de refroidissement par rayonnement terrestre plus favorables que les rues. L'effet de « Canyon »

1)-Température d'air mesurée à 2m :

Type d'espace	Passage 21-22h	Passage 3-4h
Centre ville	22.4	15.4
//	18.5	13.7
Aéroport	18.3	12
Université	18.5	13.5

2)-Températures moyennes de surface (thermographie) Classes de 1.5C°

Type d'espace	Passage 21-22h	Passage 3-4h
Centre ville et rues	17 à 18.5+	14 à 15.5
// // îlot	17 à 18.5+	12.5 à 14
Parc urbain	14 à 15.5	11 à 12.5
Quartier périphérique	15.5 à 17	12.5 à 14
Forêt	14 à 15.5	11 à 12.5
Pelouse humide	11 à 12.5	8 à 9.5
Aéroport (piste)	15.5 à 17	12.5 à 14
Aéroport (pelouse)	9.5 à 11	8 à 9.5
Champs périphérie	11 à 12.5	8 à 9.5
Plans d'eau	15.5 à 17	15.5 à 17

**Tableau .IV.3: Température de surface obtenue par thermographie de divers éléments de la ville de Stuttgart en juin 1976.**

Les espaces qui restent les plus froids sont les pelouses ou les champs cultivés lieux dans lequel l'évaporation peut produire des effets de refroidissement.

#### **IV-5-Effet sur les espaces urbains :**

##### **IV-5-1-L'évapotranspiration :**

L'évapotranspiration (*ET*) est le phénomène combiné de perte en eau par évaporation directe et par transpiration<sup>117</sup>. L'évaporation est le processus par lequel l'eau liquide des surfaces d'eau, des trottoirs, du sol et de la végétation humide est convertie en vapeur d'eau (vaporisation) et enlevée à la surface. Quant à la transpiration, elle comprend la vaporisation de l'eau liquide contenue dans les tissus végétaux et l'extraction de vapeur vers l'atmosphère. Ressource indispensable à la croissance des plantes, l'eau est un élément constitutif majeur de la matière végétale ainsi qu'une source d'hydrogène et d'oxygène pour la plante. L'eau, ainsi que quelques aliments, est prise par les racines et transportée par la plante ; la vaporisation se produit dans la feuille, à savoir dans les

<sup>117</sup> **Guyot, G. :** Climatologie de l'environnement : Cours et exercices corrigé. 2ème ed. Paris: Dunod, 1999.

espaces intercellulaires, et l'échange de vapeur avec l'atmosphère est commandé par l'ouverture du stomate (Figure.IV.14)<sup>118</sup>.

Presque toute l'eau prise est perdue par la transpiration et seulement une fraction dérisoire est employée au sein de la plante. Les deux processus, d'évaporation et de transpiration se produisent simultanément et il n'est pas facile de distinguer l'un de l'autre, de sorte qu'ils sont réunis sous le terme général d'évapotranspiration.

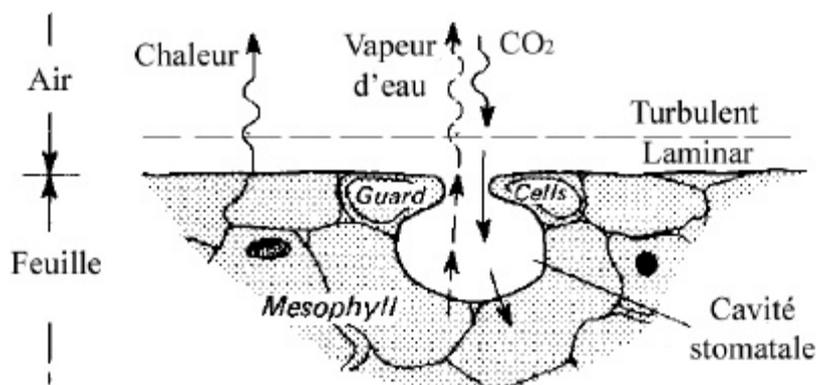


FIG.IV.14 : Section schématique d'une portion de feuille. (Source : Oke, 1988)

L'évapotranspiration correspond pour les plantes et pour leur environnement, -en particulier le sol- à une perte de vapeur d'eau vers l'atmosphère qu'il faut compenser par des apports d'eau.

Suite à des travaux entrepris sur l'estimation des besoins en eau des cultures, on peut distinguer différentes notions dans l'évapotranspiration<sup>119</sup>:

**L'évaporation potentielle (EP) :** Evaporation potentielle =correspond à la quantité d'eau nécessaire à la plante pour éviter, l'échauffement excessif des feuilles, compte tenu des conditions radiatives et hygrométriques en supposant illimitée la quantité d'eau disponible dans le sol. Est obtenue lorsque toutes les surfaces évaporantes d'un couvert végétal sont recouvertes d'eau et donc saturées d'eau (possibilités maximales d'évaporation dans des conditions climatiques données).

**L'évaporation potentielle théorique (EP\*) :** représente la valeur maximale de *EP*, lorsque la végétation n'oppose aucune résistance au transfert de vapeur d'eau. Elle peut être déterminée à partir de formules climatiques comme la formule de Penman.

**L'évapotranspiration réelle (ETR) :** est égale à la quantité d'eau qui est réellement évapotranspirée et dépend des conditions climatiques (en particulier du bilan radiatif et du vent), de la disponibilité de l'eau à la surface (résistance stomatale en particulier) et des caractéristiques de la partie aérienne des couverts végétaux (étendue, hauteur, disposition des surfaces évaporantes dans

<sup>118</sup> Oke, T.R.: Boundary layer climates. Edition Methuen, 1988.

<sup>119</sup> Guyot, G. : Climatologie de l'environnement : Cours et exercices corrigé. 2ème ed. Paris: Dunod, 1999.

l'espace). Donc, elle correspond au cas général dans les conditions naturelles et par conséquent c'est celle qui nous intéresse.

**L'évapotranspiration réelle maximale (ETR<sub>m</sub>)** : est la valeur de l'ETR lorsque la résistance stomatale du couvert est minimale.

**L'évapotranspiration potentielle climatique (ETP<sub>c</sub>)** : correspond à la valeur de l'ETP obtenue à partir des données météorologiques sur des intervalles de temps allant de la journée au mois.

La dépense en eau doit donc être mise en perspective avec des rendements de croissance fixés. Les paramètres ayant une influence sur les débits d'eau perdus doivent être connus.

Pour donner un chiffre global Hanson rappelle qu'à l'échelle d'un continent comme celui des Etats-Unis. L'évapotranspiration. C'est à dire L'évaporation directe à partir des surfaces humides à laquelle s'ajoute la transpiration des végétaux représente de 40 à 100% des précipitations annuelles en allant du nord -Ouest au sud-ouest du pays en moyenne cela représente 67°% soit plus de deux fois les débits cumulés des cours d'eau Vers les deux océans 29% les chiffres annuels de la planète sont :

Lame d'eau tombée sur terre ferme	720m	100%
Évapotranspiration	410m	57%
Écoulement superficiels et sous terrains	310m	43%
Évaporation directe océans	1250m	
Lame d'eau tombée sur océans	1120m	

Tableau .IV.4 : Hauteurs d'eau annuelles échangées par évaporation.

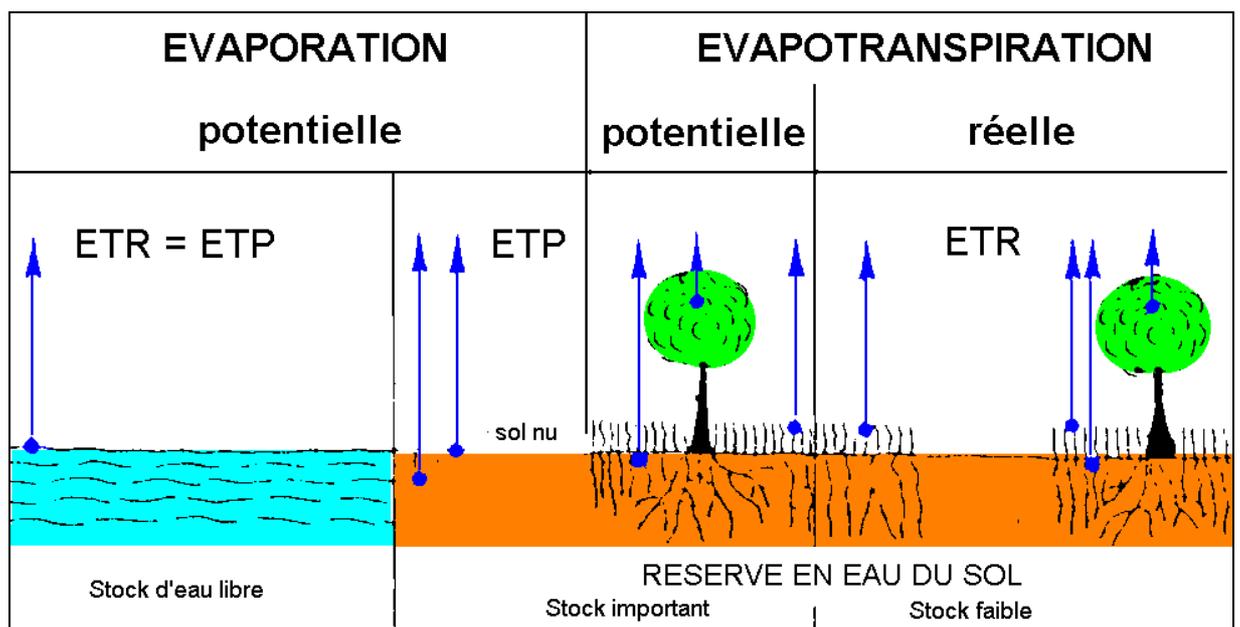


FIG.IV.15 : évaporation et évapotranspiration potentielle et réelle. (Source : <http://www.u-picardie.fr>).

Oke propose une formulation du bilan hydrique sous la forme suivante :

$$P + C = E + D_r + D_f$$

Où : P=Précipitations

C=Quantité d'eau produite par la combustion et le métabolisme.

E=Evaporation.

$D_r$ =eau évacuée par ruissellement.

$D_f$ = eau stockée dans le sol et les plans d'eau.

Selon Hanson<sup>\*</sup> 1 les paramètres influant les débits d'évapotranspiration des plantes sont :

- \*- le rayonnement solaire net.
- \*- l'aire des étendues d'eau.
- \*- la vitesse du vent.
- \*- la densité et le type du couvert végétal.
- \*- la disponibilité de l'eau dans le sol la profondeur des racines.
- \*- l'albédo de la surface du sol
- \*- et pour les climats tempérés, la saison.

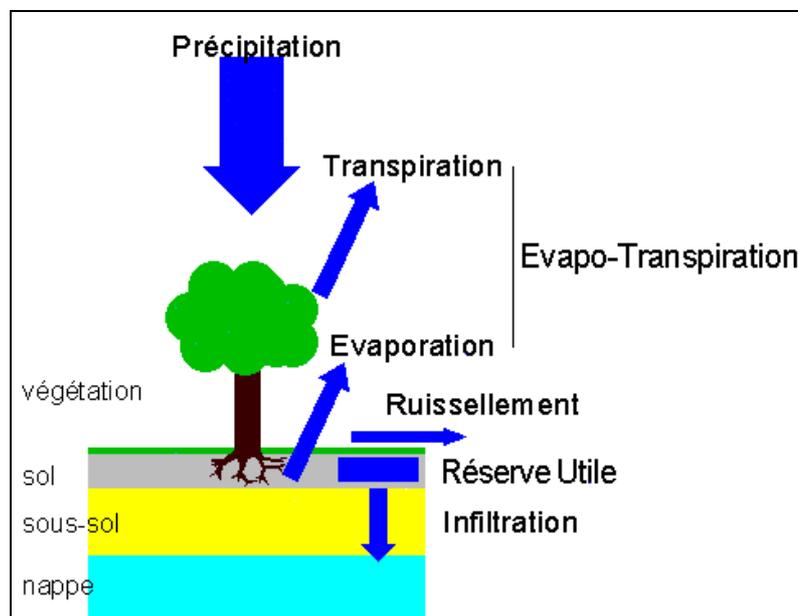


FIG.IV.16 : place de l'eau du sol dans le cycle de l'eau. (Source : <http://www.u-picardie.fr>).

#### IV-5-1-1-Cas de l'arbre urbain :

La situation de l'arbre urbain est particulière si on le compare aux arbres pris dans une masse forestière les principales différences sont :

\*- Le rayonnement solaire net est souvent plus grand, selon les expositions (Effet de dièdre et à cause des albédos des surfaces environnantes).

\*- La température de l'air est en général plus élevée de L'îlot de chaleur urbain et les effets de dièdre.

\*- L'eau est en général moins disponible dans le sous-sol compte tenu des revêtements étanches et les arrosages qui peuvent être soit insuffisants soit inexistantes.

Il faut distinguer deux types d'arbre urbain :

#### **IV-5-1-1-1-arbre d'alignement :**

Lorsqu'il est jeune, l'arbre d'alignement est en situation isolé et donc soumis à des conditions défavorables : flux radiatifs solaires et thermiques accrus (effets de dièdre), air plus chaud par convection naturelle si la surface est minérale et absorbante, ce qui est souvent le cas de la ville.

Tous ces facteurs augmentent le stress thermique sur l'arbre et diminuent l'évapotranspiration par fermeture des stomates ce qui augmentent donc encore plus la température de son feuillage.

Lorsque l'arbre d'alignement est adulte et qu'il forme avec ses voisins une voûte végétal continue (canopée) les effets du stress thermique diminuent et l'évapotranspiration peut se produire normalement.

#### **IV-5-1-1-2-arbre en parc ou jardin :**

Cet arbre se trouve dans une situation favorable, les arbres sont souvent implantés sur des pelouses à distance de façades il est probable aussi que le bilan hydrique du jardin, s'il est arrosé autorise des débits d'évapotranspiration qui maintiennent les températures du feuillage au dessous de la température d'air pendant la journée ; la température du feuillage est un indicateur de l'évapotranspiration : lorsque la différence entre température de feuillage et température d'air est faible.

#### **IV-5-2-Pouvoir réfrigérant de l'arbre urbain :**

Plusieurs indications ont été données par la littérature sur le sujet.

\*-Un square de 100\* 100m planté d'arbres d'alignement peut perdre 50.000 litres /jour.

\*-La transpiration d'une plante de grande dimension produit un effet de refroidissement équivalent à celui de cinq petits systèmes réfrigérants fonctionnant pendant 20 heures

\*-Le pouvoir réfrigérant de la transpiration des plantes est basé sur le fait que l'évaporation d'un Kg d'eau (soit 1 litre) nécessite une puissance de 680 w et consomme en une heure une énergie égale à 2450Kj. S'il n'y pas de vent cette énergie est prélevée dans l'environnement immédiat des feuilles, ce qui a pour effet d'abaisser la température du feuillage et de l'air qui l'environne.

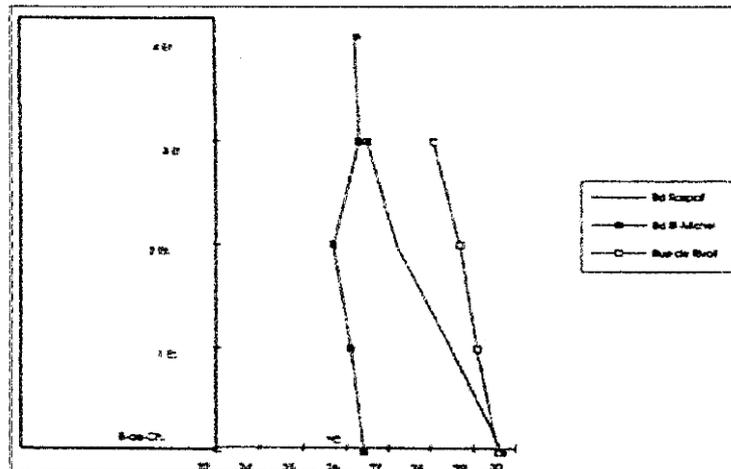


FIG.IV.17 : Comparaison des profils verticaux de la température d'air entre une rue avec arbres d'alignement et deux rues sans arbres. (Source : Escourrou, 1991).

#### IV-5-2-1-Les Treillis :

Les treillis sont associés aux végétaux grimpants, elles sont employées de préférence comme prolongement privatif de l'habitation ou encore mises en œuvre sur les espaces urbains dans des parcs, dans la rue ou sur une place.

Plusieurs études qui ont été faites confirment qu'il n'y a pas d'effet de treille sur la température d'air, ni sur la température radiante car l'ombre n'y est pas total ; mais il y a néanmoins un effet feuillage comme le montre le tableau suivant :

TS -Ta	7h	10h	11h	13h	15h	15h30	17h	19h
Treillis ombre	-0.1	-1.9	-2	-3.2	-2.5	0.1	-106	-206
Treillis soleil		3.1	1.6					
Treille brumisée						8.4		
Arbres fond parc	0.6	-2.4	-2.9	-6.2	-5.5	-3.9	-3.1	-5.6

Tableau .IV.5 : Écart entre température de surface des feuilles et température d'air à différentes heures de la journée

L'effet microclimatique d'un végétal grimpant accroché à une structure horizontale se traduit donc principalement par la réduction du champ radiatif solaire due à l'ombrage d'après les mesures faites par J.M. Ochoa et al. 1

#### IV-5-2-2-Les végétaux couvrants :

Les façades de bâtiments peuvent être entièrement recouvertes par les végétaux grimpants, outre les effets esthétiques, cette forme de végétal offre des effets microclimatiques l'effet d'un végétal est celui d'un réducteur de l'échauffement de surface de parois soumis à l'ensoleillement.

Cela concerne le bâtiment par la réduction des flux de chaleur absorbés par l'enveloppe et aussi bien le microclimat de la rue par réduction des températures de surfaces des parois qui la limitent.

#### IV-5-2-3-Les pelouses :

Les pelouses présentent un intérêt certain, par la diminution des températures de surface du sol en favorisant l'évapotranspiration des arbres urbains.

L'effet thermique de la pelouse est lisible surtout lorsque celle-ci est exposé au rayonnement solaire, elle s'échauffe moins comparée à une surface minérale, l'effet d'inertie est inexistant sur la pelouse.

Le schéma montre les effets suivants :

- à l'ombre stabilisé, la pelouse et l'allée minérale ont presque la même température à 1C° près, la pelouse reste un peu plus fraîche à cause de son humidité due à l'arrosage et à la rosée matinale.
- au soleil stabilisé l'allée s'échauffe beaucoup plus que la pelouse, 11C° de plus.

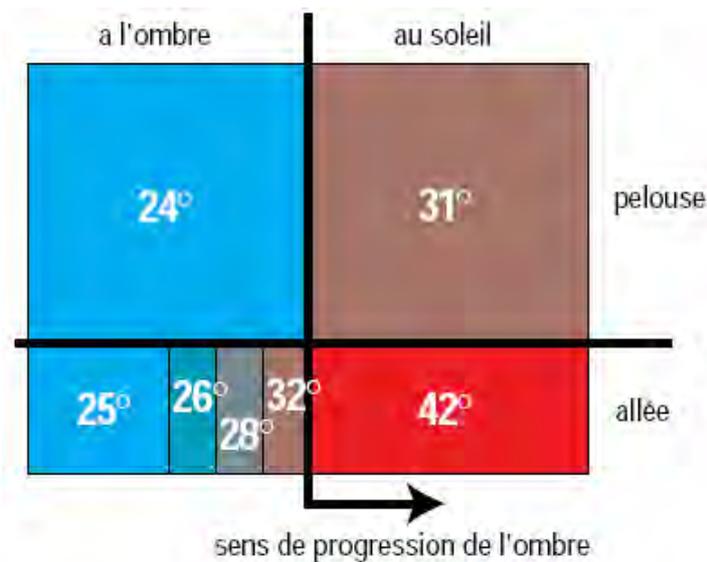


FIG.IV.18 : L'effet de la pelouse sur la température. (Source : Alain Liébard, André De Herde, 2006)

#### IV-5-3-Modification des échanges radiatifs :

Parmi les actions considérables du végétal sur le microclimat, son pouvoir d'absorption ou de réflexion de la radiation solaire, le rayonnement incident réfléchi par la partie supérieure du couvert végétal est en partie capté par les irrégularités de la surface comme l'indique schématiquement la figure ci-dessous :

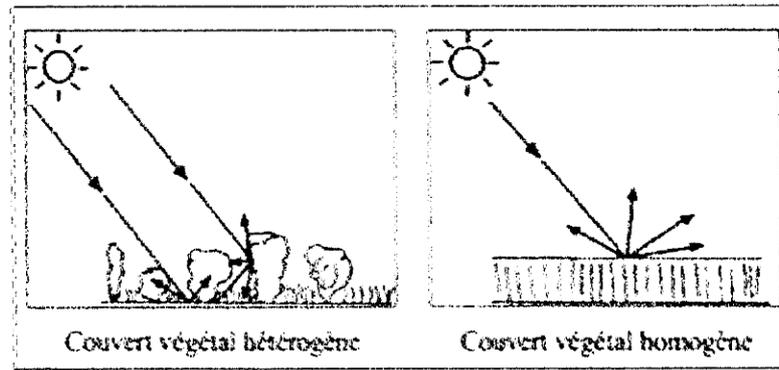


FIG.IV.19 : Schématisation de l'effet de piégeage de la lumière d'un couvert végétal. (Source : Guyot. G., 1997).

Le spectre du rayonnement électromagnétique est décomposé en deux parties dont l'une correspond à la bande solaire (courtes longueurs d'onde) et l'autre aux échanges thermiques (grands logeurs d'onde).

L'utilisation des arbres est une des techniques très efficaces pour contrôler la température du sol et des surfaces voisines par l'observation plus ou moins intégrale de la radiation solaire incidente.

Les feuilles absorbent la plupart des radiations solaires qui les atteignent, une petite partie de cette énergie est transformée en énergie chimique lors de la photosynthèse ce qui devrait induire une réduction d'un bilan thermique de l'espace urbain, or le rendement de cette transformation est faible (1 à 2% Givoni 1991) et on peut donc considérer que l'effet thermique est négligeable.

La densité d'un feuillage détermine plus ou moins la perméabilité à la lumière et aux rayonnements de grandes longueurs d'onde. Cette densité varie de façon sensible suivant l'espèce considérée, son développement (âge) et la saison.

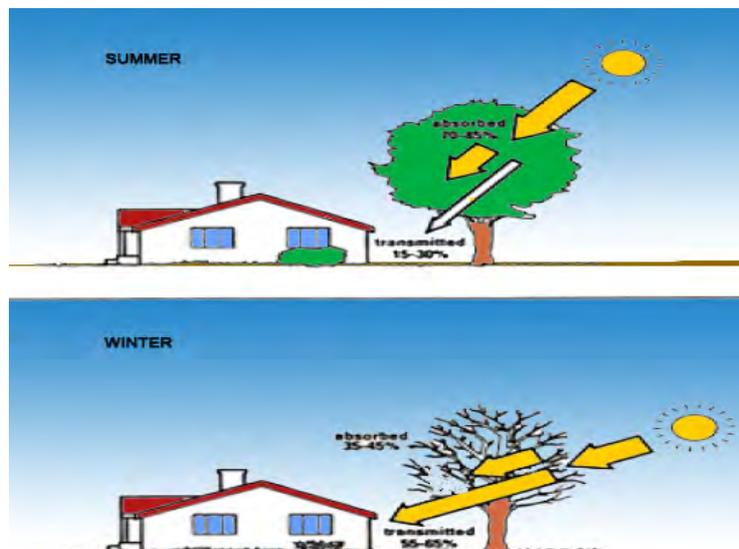


FIG.IV.20 : Transmission solaire (Source : Akbari et Al., 1992)

Les arbres urbains peuvent constituer trois types d'écrans :

- \*-Un écran opaque (conifères).
- \*-Un écran sera transparent (arbres à feuilles caduques).
- \*-Un écran transparent (certains arbres fruitiers ou certaines espèces de pins).

Aussi bien les dimensions de la couronne végétale sont des paramètres très importants qui vont définir la tache d'ombre au sol et sur les façades des bâtiments proches, il est à noter que les apports solaires transmis ne sont pas forcément nul, il est donc nécessaire d'associer à la tache d'ombre la part d'énergie qui atteint les surfaces.

#### **IV-5-3-1-L'indice Foliaire :**

Lorsque on parle de masse végétale, il est utile de donner la définition de l'indice foliaire qui est le rapport entre la surface de toute les feuilles du couvert végétal et la surface du sol sous-jacente, dont une seule des deux faces de la feuille doit être considéré l'ors que celle-ci est plane pour une aiguille de conifère on prend la moitié de la surface totale.

L'indice foliaire varie de 0 (sols nus) et 10, les valeurs usuelles vont de 4 à 8 pour une culture annuelle à son maximum de végétation ou une forêt de feuillus en été.

La pénétration du rayonnement solaire dans un couvert végétal décroît de façon exponentielle avec le chemin parcouru environ 95% du rayonnement intercepté est absorbé par le feuillage, qui en réfléchit de l'ordre de 5% dans le visible ; ainsi les effets de réverbération ou d'éblouissement dus à l'ombre et au soleil peuvent être largement atténués par une lumière diffuse fournie par la présence d'une couverture végétale.

Avec le type de mesure (thermographie infrarouge) l'équipe d'ABC à Marseille est arrivée à la conclusion que la masse foliaire des arbres en jardins, comme en alignement a tendance à conserver une température voisine de la température de l'air sous abri et souvent même une valeur inférieure.<sup>120</sup>

On peut dire donc que sous une masse foliaire tous ce passe comme si le rayonnement solaire était totalement annulé, il est à noter que cet effet est très intéressant sur les voies urbaines avec les arbres d'alignement. Celles-ci deviennent des espaces non seulement à l'ombre, mais aussi des zones dans lesquelles aucun effet de surface chaude ne vient augmenter la température environnante, ce qui entraîne non seulement une réduction de la température du sol mais également une diminution de la radiation réfléchi vers les zones occupées.

« Donc une masse végétale se comporte comme un plafond réfrigérant »<sup>121</sup>

---

<sup>120</sup> **Groupe ABC** : Morphologie, végétal et microclimats urbains. Plan urbain, Ministère de l'Équipement, 1997.

<sup>121</sup> **Destobbeleire, G. et Izard, J-L.** : Rôle de la végétation sans le microclimat urbain. In : Proceedings of EPIC'98, 1998.

Il faut cependant se méfier, car les arbres en villes croissent généralement dans des zones pavées, le long des rues et sur des parkings.

Les surfaces pavées comme l'Asphalte sont des environnements chauds car l'absence de refroidissement par évaporation entraîne une augmentation de la température de la surface végétale.

La manière dont l'arbre répond à une augmentation de l'énergie dépend des espèces, de l'humidité et de l'exposition de la couronne.

Les arbres à large feuille caduque qui interceptent l'énergie due au rayonnement de grande longueur d'onde ne dissipent pas immédiatement leur chaleur par refroidissement convectif.

L'énergie retenue par les feuilles résulte d'une combinaison entre une plus forte transpiration et une clôture partielle des stomates qui entraînent une augmentation de la température des feuilles. Celles-ci ne pouvant plus évacuer ces apports, ainsi les espèces à stomates sensibles ou en zones arides avec humidité faible, retiennent l'énergie, augmentent la température des feuilles et la valeur du déficit de pression de vapeur entre les feuilles et l'air, ce qui peut accélérer le processus de fermeture et donc d'échauffement.

Le regroupement d'arbres ou l'augmentation de la densité de la couronne devrait probablement permettre une dissipation du rayonnement intercepté sur plus de feuilles et ainsi réduire les gains d'énergie.

Ce qui indique que l'arbre modifie le bilan thermique et notamment les échanges radiatifs avec son environnement.

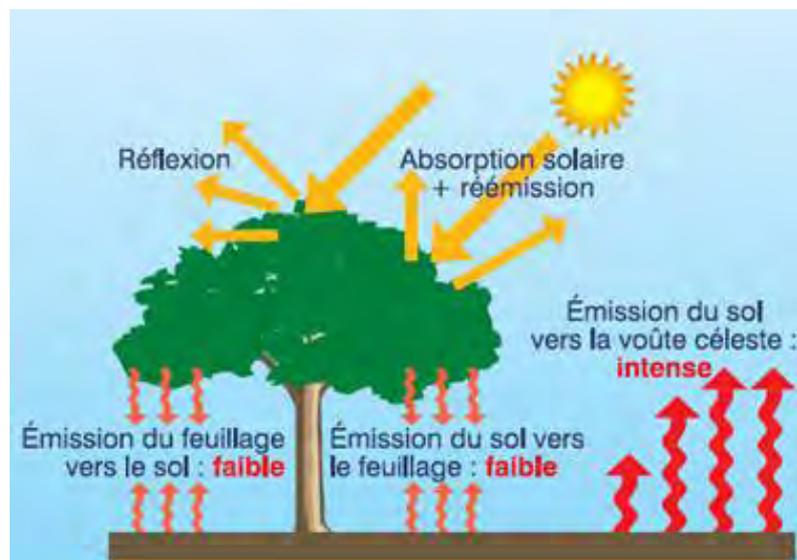


FIG.IV.21 : Modification des échanges radiatifs. (Source : Izard et al., 1979).

#### IV-5-4-Effet d'ombrage du végétal urbain :

##### IV-5-4-1-L'ombre :

Est en général l'effet principal, recherché lorsque l'on plante des arbres ou lorsque l'on fait pousser des plantes grimpantes sur treille ou pergola.

L'ombre des arbres et des végétaux n'a pas un effet très marqué sur la température de l'air, par contre cette ombre réduit considérablement les flux solaires et en limitant les échauffements des surfaces qui normalement devrait être ensoleillées, réduit aussi les flux radiatifs thermiques.

« ...L'ombre du platane est unanimement reconnue comme la plus agréable, elle participe sans doute aux raisons de son succès ; fraîche sans être froide, elle reste lumineuse à condition que la taille n'ait pas contenue à l'excès son volume folié. Elle est préférée à celle du micocoulier car ce dernier à une ombre plus tamisée alors que la platane à une ombre unie ». <sup>122</sup>

L'instrument de mesure le plus adéquat pour faire apparaître l'influence de l'ombre du végétal serait donc : *le thermomètre à globe*.

Des études ont été faites à l'école d'architecture de Valence dans le but de trouver les espaces les plus confortables dans la ville de Valence (une des études a été faite sur les principales interactions entre les espaces verts et les paramètres environnementaux urbains) Des prises de mesures du rayonnement solaire ont été effectuées au dessous de l'arbre, donc il était possible de calculer un pourcentage d'absorption pour chaque espèce par rapport aux valeurs totales mesurées dans la ville.

Espèces	Pourcentage rayonnement du global transmis (%)	Rayonnements mesurés au dessous des arbres (W/m <sup>2</sup> )
Acer Negundo	15,2	88,6
Catipa Bignoinoides	1,5	85,8
Geltis Australie	0,6	91
Ficus Mcrophila	0,3	93,8
Pinus Alepensis	1,2	85,8
Robinia Pseudoacacia	7,7	93,2

Tableau .IV.6 : Espèces et transmission du rayonnement solaire.

En mesurant la température de l'air et l'humidité relative dans les allées et dans les zones vertes, un écart de température de 2.5C° a été trouvé entre les surfaces au sol à l'ombre couvert de végétal et les rues entourées de bâtiments. Cet écart est dû au rafraîchissement apporté par évapotranspiration du végétal (Voir tableau .IV.6).

<sup>122</sup> Cabanel, J., Stefulesco, C: L'urbanisme végétal. Edition I.D.F diffusion, 1993.

#### **IV-5-4-2-Détermination de l'ombrage des végétaux :**

L'ombre effective des arbres sur le sol ou sur les façades environnantes dépend de deux (02) phénomènes :

- a- L'ombre portée par la forme de la canopée entière supposée opaque.
- b- La transmission solaire de la canopée elle même.

Le premier phénomène permet de déterminer les surfaces du sol ou des façades de bâtiments soumises à l'ombre d'un arbre pendant une journée particulière de l'année.

Le second phénomène permet d'évaluer le taux d'ombrage obtenu dans les zones sous influence de l'ombre de la canopée.

Pour voir l'effet de l'ombre apporté par le végétal ; c.-à-d. l'ombre portée par la forme de la canopée, il faut faire une projection d'une forme géométrique sur un ou plusieurs plans, puisque toute canopée peut être assimilée à un volume de forme ; sphérique, cylindrique, conique, elliptique, cubique... etc., selon leur forme naturelle ou la manière de tailler leur feuillage.

Pour les plantes grimpantes il est supposé de faire des surfaces planes (pergolas et treilles).

Il s'agit de résoudre la projection du volume sur un ou plusieurs plans selon les angles d'incidences des rayons solaires, dont plusieurs méthodes peuvent être employées.

\*-La saisie des formes sphériques, conique et cylindrique pour déterminer l'ombre sur de parois verticales.

\*-Géométriser les canopées de diverses essences répandues en région méditerranéenne, dans le but d'établir leur ombrage sur des parois.

\*-Les logiciels de type modeleurs, peuvent être utilisés l'ors qu'ils comportent une fonction héliodon, exemple : ARCHI-CAD, on peut alors soit tracer l'ombre portée vue en plan, en axonométrie ou en perspective.

#### **IV-5-5-Effet aéraulique du végétal urbain :**

Le végétal et le vent interagissent pour définir des ambiances urbaines, en particulier dans le domaine de l'aéraulique, cette interaction doit être analysée selon deux points de vue :

- Les effets du vent sur le végétal urbain.
- Les effets du végétal sur le vent milieu urbain.

#### **IV-5-5-1-Effet du vent sur le végétal :**

##### **IV-5-5-1-1-Vent et effet de refroidissement :**

Il avait été déjà cité que le vent, en accélérant les échanges thermiques avec l'air environnant, avait pour effet de réduire les effets de refroidissement dus à l'évapotranspiration ; cet effet de refroidissement au lieu de se limiter au volume d'air adjacent à l'arbre se dissipe dans l'air qui circule et devient totalement insensible.

##### **IV-5-5-1-2-Effets mécaniques :**

Les fortes vitesses de vent peuvent provoquer des cassures des branches et des troncs.

La présence d'un vent dominant est à l'origine aussi de ce qui est appelé « anémomorphisme » du végétal.

Lorsque l'arbre se développe dans un site canalisant le vent, son feuillage prend une forme et constitue en général un indicateur de l'écoulement dominant de l'air, cela vaut pour les sites naturels, comme pour les sites urbains.

##### **IV-5-5-1-3-Vent et développement des arbres :**

Au delà d'une certaine vitesse d'air (estimé par certains à 2m/s) les stomates de feuille se ferment et la photosynthèse s'interrompt ou se ralentit fortement, cela peut se confirmer par une observation du fait que les arbres en zones abritée du vent sont en général plus développés que dans les zones où ils se trouvent exposés à un vent dominant.

#### **IV-5-5-2-Effet du végétal sur le vent :**

##### **IV-5-5-2-1-Effets globaux :**

Par la porosité géométrique qui est définie comme rapport :  
Surfaces des trous / surfaces total.

Le feuillage d'un arbre se laisse traverser par le flux d'air ce qui a pour effet en général d'en réduire la vitesse.

Beaucoup de défenseurs de la cause du végétal urbain placent cet effet de réduction des vitesses d'air au crédit des arbres urbains.

##### **IV-5-5-2-2-Effet de changement de rugosité :**

Les arbres apportent une rugosité au sol qui influe sur les écoulements d'air et notamment sur les vitesses d'air.

Dans une forêt les vitesses d'air sont donc globalement diminuées par rapport à un terrain découvert.

Les clairières provoquent donc une variation brutale de la rugosité qui se traduit par des changements micro climatiques et en particulier par une variation de la vitesse d'air.

#### IV-5-5-2-3-Effet de brise vent :

La disposition des végétaux en haies permet de protéger des espaces au sol sur une distance qui peut s'exprimer en multiples de la hauteur. Cet effet est recherché à l'origine pour la protection des clôtures en zones de vent.

D. Soltner a proposé différentes solutions en donnant la distance de protection.

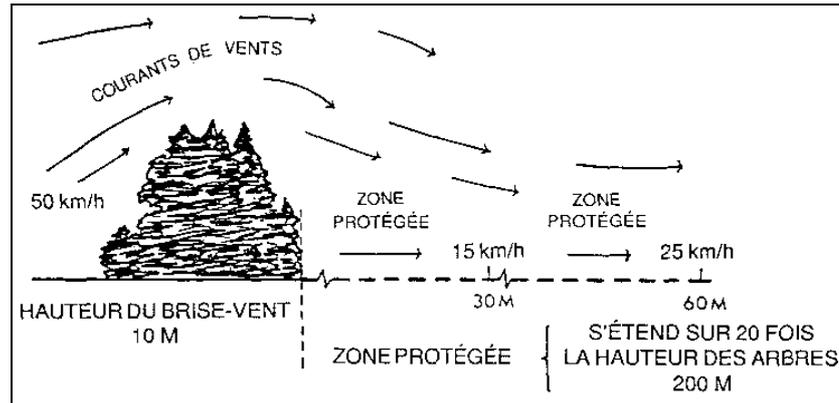


FIG.IV.22 : Effet de brise vent : distance de protection. (Source : John D.Wilson)

La longueur protégée peut aller jusqu'à 35 fois la hauteur, et est en moyenne de l'ordre de 15 fois la hauteur de la haie végétale. « La bande boisée perméable et large est le brise vent le plus efficace, l'air s'y engouffre presque totalement sans provoquer de turbulence et s'élimine progressivement par le haut des arbres... » Cette solution pourrait être mise en œuvre dans des espaces dégagés en ville pour offrir une zone de calme par rapport à un vent dominant.

Des aménagements peuvent alors proposer des systèmes végétaux de protection face aux nuisances aérauliques.

Lorsque l'arbre est aggloméré en forêt, l'écoulement de l'air est modifié par effet de rugosité, et l'on peut dire alors que dans cette mesure il a une influence sur le vent.

Les arbres de la ville auront une influence d'autant plus grande -sur les écoulements d'air- que l'espace urbain qu'ils occupent sera plus large.

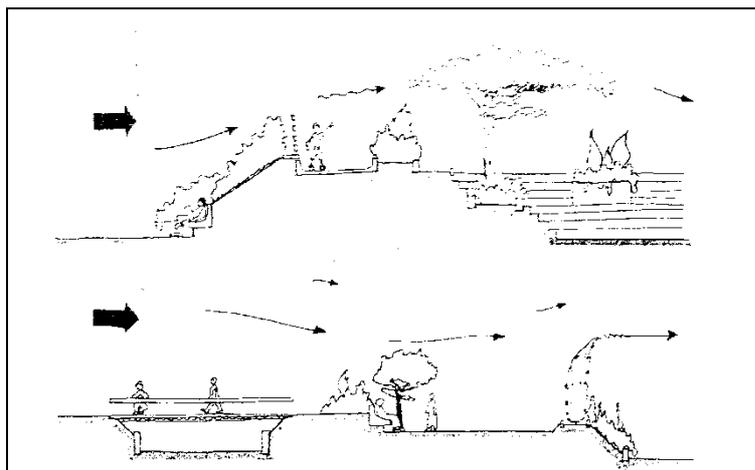


FIG.IV.23 : Protection des espaces extérieurs par la végétation. (Source : John D.Wilson)

#### **IV-6-Recherche effectuées sur le rôle de la végétation sur le microclimat :**

##### **IV-6-1-Les avantages thermiques des arbres dans la ville de Singapour :**

Un projet commun de recherche a été mené par Wong Nyuk Hien, Université nationale de Singapour et de Jurong Town Corporation (JTC), afin d'étudier la possibilité d'introduire de la végétation dans les bâtiments industriels et à déterminer l'impact sur les conditions environnementales ainsi que la performance énergétique des bâtiments industriels. Cet article, présente quelques résultats préliminaires obtenus à partir des mesures effectuées. Les économies possibles en termes d'énergie de refroidissement seront discutées selon les données quantitatives.

##### **IV-6-1-1-Introduction :**

Il est bien connu que la plantation de la végétation est l'une des principales stratégies habituellement employée pour atténuer les problèmes prélevés ci-dessus négative depuis la végétation joue un rôle important dans la régulation du climat urbain . Afin d'explorer le potentiel de l'introduction de la végétation dans les zones industrielles et de déterminer son impact sur les conditions de l'environnement, un projet de recherche commun a été réalisée par NUS et JTC.

##### **IV-6-1-2-Résultats et discussion :**

##### **IV-6-1-2-1-Mesures à échelle Macro :**

Deux parcs d'activités avec le paysage relativement étendus ont été choisis. Ces parcs sont Changi Business Park (CBP) et l'International Business Park (IBP). Dans l'ensemble il y avait 17 points de mesures mis en place au sein de l'IBP, le CBP et environs (Figure.IV.24).

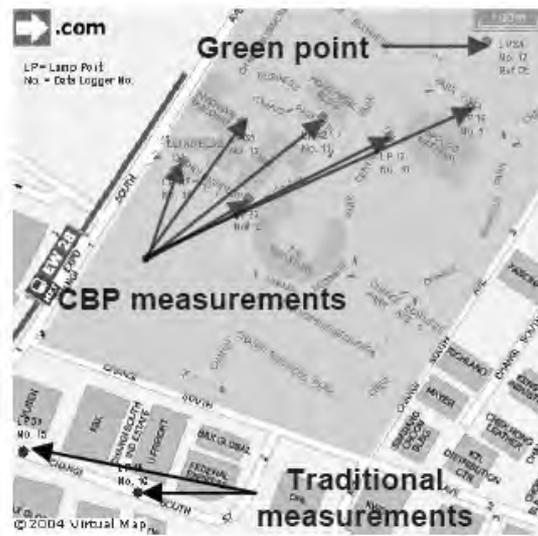


FIG.IV.24 : Les mesures effectuées dans le CBP (Source : Wong Nyuk Hien, 2006).

Les températures moyennes mesurées à différents endroits sur une période de 20 jours ont été comparées (Figure.IV.24). On peut constater que la température moyenne obtenue pour le terrain vacant de verdure est significativement plus faible de 1,5 à 1,8 °C, que les autres emplacements. Il y'a également environ 0,2 à 0,3 °C de différence entre les parcs d'affaires (PAI et le CBP) et la zone industrielle traditionnelle. La règle locale de base est que près de 5% d'énergie de refroidissement peut être sauvegardé avec diminution de 1 °C de température de l'air ambiant.

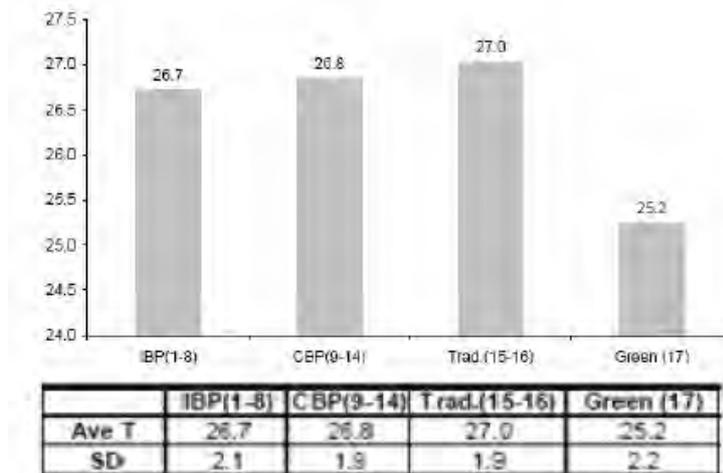


FIG.IV.25 : Comparaison des températures moyennes de l'air (°C) obtenu à différents endroits sur une période de 20 jours. (Source : Wong Nyuk Hien, 2006).

#### IV-6-1-2-2 mesures à échelle méso :

Les mesures effectuées à ce niveau ont porté sur l'impact des arbres d'alignement le long des rues et dans une grande zone de gazon. L'impact des arbres d'alignement dans la zone industrielle a été exploré par des mesures effectuées en trois rues de Tuas (Figure.IV.26). Tuas Avenue 2 et Tuas

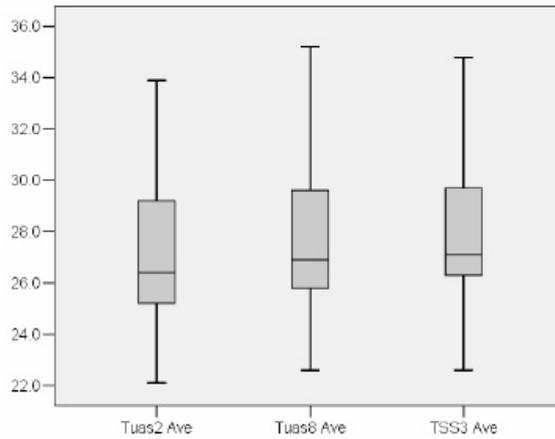
Avenue 8 sont deux rues parallèles. Tuas Avenue 2 a des arbres plantés d'une manière très dense le long de cette dernière. Les arbres plantés le long de Tuas Avenue 8 ne sont pas aussi denses que ceux le long de Tuas Avenue 2. En outre, Tuas Avenue 2 et de Tuas Avenue 8 sont toutes les deux des rues avec un fort trafic pendant la journée. Par rapport à Tuas Avenue 2 et 8, Tuas South Street 3 est une rue étroite avec des arbres très jeunes et le trafic y est minimal.



**FIG.IV.26 : Les trois rues à Tuas en zone industrielle :(a) Tuas Ave 2 (b) Tuas Ave 8 (c) Tuas South Street 3.**

**(Source : Wong Nyuk Hien, 2006).**

Il est intéressant de voir que la moyenne des valeurs obtenues dans les 3 rue, sur une longue période suivent exactement la séquence de la densité des arbres plantés par route. Tuas Ave. 2 à la plus faible température moyenne qui a été inférieurs à ceux de Tuas Ave. 8 et TSS 3 par 0,5 °C et 0,6 °C respectivement car il a beaucoup d'arbres matures avec de grandes couronnes. Il est à noter que la différence entre Tuas Ave. 8 et de TSS 3 n'est pas significative. La raison possible est que le trafic dans Tuas Ave. 8, diminue l'impact de ses arbres de la route.



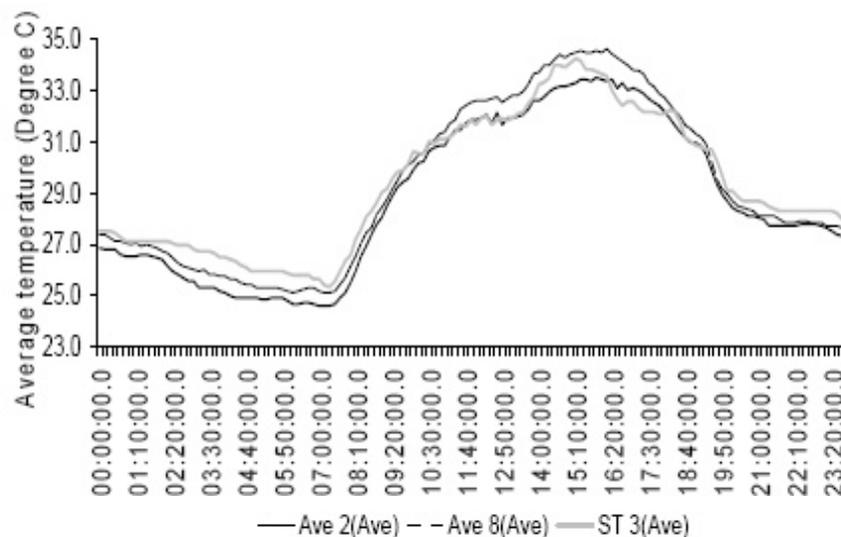
	Tuas 2 Ave	Tuas 8 Ave	TSS 3 Ave
<b>Mean</b>	<b>27.3</b>	<b>27.8</b>	<b>27.9</b>
<b>Median</b>	<b>26.4</b>	<b>26.9</b>	<b>27.1</b>
<b>SD</b>	<b>2.6</b>	<b>2.7</b>	<b>2.4</b>

**FIG.IV.27 : Comparaison des températures moyennes de l'air mesurées dans les trois rues plus en 26 jours.**

(Source : Wong Nyuk Hien, 2006).

Afin d'explorer les conditions extrêmes, les mesures d'une journée à temps clair ont été choisies. La comparaison des températures moyennes mesurées dans la région de Tuas est montré dans la figure .IV.28. Une séquence claire a été encore observée entre les rues Tuas trois à la fois de nuit. Tuas Avenue 2, vu, a plus basse température moyenne comme pré, suivi par ceux de Tuas Avenue 8 et de Tuas South Street 3.

Pendant la journée, et surtout de 10:00h à 17:30h, les températures les plus élevées ont été observées dans Tuas Avenue 2 et 8. Comme mentionné précédemment, il est probablement dû au trafic intense qui a lieu pendant cette période.



**FIG.IV.28 : Comparaison des températures moyennes obtenues aux trois rues sur un jour clair.**

(Source : Wong Nyuk Hien, 2006).

#### IV-6-1-2-3- Mesure à échelle Micros :

Afin d'explorer les impacts de l'introduction de végétaux dans les bâtiments individuels, quelques mesures ont été réalisées sur les façades Est et Ouest avec des arbres d'ombrage ainsi que des toitures en métal avec système jardin sur le toit (Figure.IV.29). Une comparaison à long terme des variations des température surfaciques avec et sans arbres d'ombrage est montré dans la figure .IV.30. L'effet remarquable d'ombrage des arbres peut se traduire par un écart de variation de température. On peut observer que la réduction se produit principalement à l'Institut Max-Whisker qui doit être détectées pendant la journée lorsque le rayonnement solaire incident est fort. Les arbres peuvent effectivement intercepter le rayonnement solaire et de générer des températures de surface plus faible derrière eux sur la façade. La température moyenne de surface obtenue derrière les arbres est de  $28,7^{\circ}\text{C}$  tandis que celle obtenue à partir de la façade exposée est de  $30,1^{\circ}\text{C}$ .



FIG.IV.29 : Mesures sur façade ouest et sur le toit (Gauche : façade à l'ombre ; droite : jardin sur le toit).

(Source : Wong Nyuk Hien, 2006).

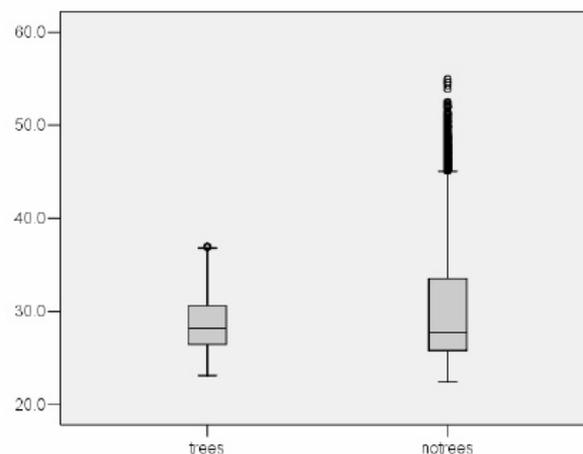
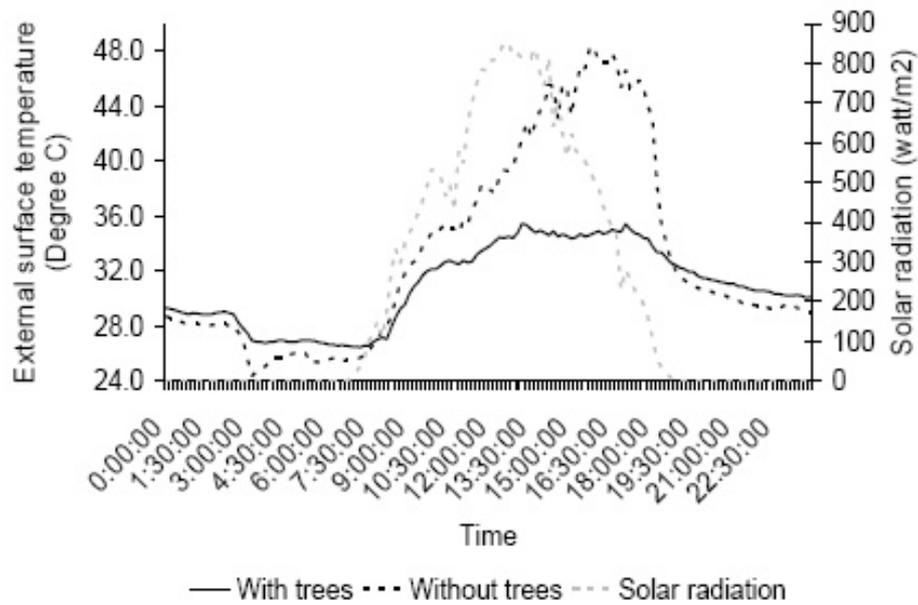


FIG.IV.30 : Une comparaison des variations de température de surface avec et sans arbres d'ombrage sur la façade ouest, sur une période de 50 jours. (Source : Wong Nyuk Hien, 2006).

Afin d'avoir une vision de la performance des arbres sur la réduction des températures de surface pour une orientation plein Ouest, deux jours ont été sélectionnés. La figure.IV.31 montre

une comparaison faite lors d'une journée relativement claire. L'effet d'ombrage par les arbres sur l'orientation Ouest peut facilement être observé pendant la journée. En raison de l'effet de l'orientation, il existe un décalage entre le pic de la radiation solaire et le pic de température de surface extérieure mesurée sur les façades Ouest. La différence de température maximale peut aller jusqu'à 13,6 °C à environ 15:30h.



**FIG.IV.31 : Comparaison du rayonnement solaire et la température de surface mesurée avec et sans arbres d'ombrage sur la façade ouest, par temps clair. (Source : Wong Nyuk Hien, 2006).**

Une deuxième partie de cette recherche fut consacrée à l'effet rafraichissant des toitures végétalisées et aussi une modélisation avec le logiciel TAS afin de répondre à la question de savoir combien la végétation (arbre et pelouse) peut contribuer dans la consommation d'énergie refroidissante dans ces bâtiments industriels.

#### **IV-6-1-3-Conclusion de la recherche :**

Tant les mesures sur le terrain et les simulations effectuées dans les zones industrielles locales indiquent que les plantes peuvent profiter aux bâtiments industriels dans le climat tropical. Les résultats sont résumés dans le tableau. IV.7. Sur la base des résultats, certaines directives générales ont été générées :

- On croit que la verdure remarquable concentré a refroidissement impacts sur les environs. Dans la conception de l'évolution du paysage industriel, il est suggéré que les groupes de verdure concentré doit être conçu pour remplacer verdure clairsemée pour atteindre la vitesse de refroidissement de l'impact.
- Engazonnement, même elle est grande en termes de taille, n'a pas d'impact significatif de

refroidissement sur les environs et l'effet a tendance à être localisé. Pour avoir un impact remarquable de refroidissement, il devrait être construit à proximité des bâtiments afin de réduire le rayonnement possible réfléchi par les surfaces environnantes dur.

- L'impact de refroidissement des arbres est très bien gouverné par leur indice de surface foliaire (LAI). C'est pourquoi les arbres avec un feuillage dense aident à refroidir efficacement l'environnement. Il est suggéré que les arbres denses doivent être transplantés dans la zone industrielle au lieu de cultiver de jeunes arbres sur le site. Afin de réaliser que les meilleures performances, les hauteurs des arbres ainsi que la distance des bâtiments doit être envisagé. Comparé avec la verdure sur le toit extensif, la plantation d'arbres est plus applicable actuellement pour les bâtiments à faible hauteur industriels.

Le tableau suivant résume tout les résultats obtenus lors de cette recherche.

Echelle Marco:			
	Végétation dense	Paysage actuel	Rue avec arbres
Impact Refroidissant	de 1,4 à 1,8 °C en moins que la zone industrielle traditionnelle	0,2 °C plus basse que la zone industrielle traditionnelle	0,6 ° C inférieure à celle de la rue avec des arbres très jeunes
Echelle Méso:			
	Température ambiante		économies d'énergie
Arbres jeunes	25.2 à 34.9°C	27.9°C (ave.)	0%
arbres et le trafic intense	24.4 à 36.1°C	27.8°C (ave.)	1%
Arbres denses	23.2 à 34.0°C	27.3°C (ave.)	11%
Arbres très denses	23.2 à 32.5°C	26.7°C (ave.)	38%
Echelle Micro:			
	Réduction de température de surface (°C)		économies d'énergie
Mur Est ombragé par des arbres (couleur claire)	Max: 7.9 Ave: 2.5		10%
Mur Ouest ombragé par des arbres (couleur claire)	Max: 13.6 Ave: 1.4		15%
Toit végétalisés	Max: 35.1 Ave: 1.7		18-26%

**Tableau .IV.7 : Sommaire des résultats obtenus à partir des mesures déposées et les simulations.**

(Source : Wong Nyuk Hien, 2006).

#### **IV-6-2-Simulation de L'influence de la végétation sur le microclimat et confort thermique dans la ville de São Paulo :**

Les microclimats d'un parc, une place et une rue canyon ont été mesurés sur un jour d'été dans le centre-ville de São Paulo, Brésil. Le suivi sur le terrain a montré que le parc était jusqu'à 2°C plus froide que la place et le canyon. L'effet de l'ajout d'arbres d'ombrage à la rue canyon a été simulé pour le même jour en utilisant le modèle numérique ENVI-met.

Les simulations ont montré que l'incorporation des arbres de rue dans le canyon urbain avait un effet de refroidissement limité sur la température de l'air (jusqu'à 1,1 °C), mais a conduit à un refroidissement significatif des surfaces de la rue (jusqu'à 12 °C) ainsi qu'une forte réduction de la température moyenne radiante à hauteur humaine (jusqu'à 24 °C). Bien que les arbres réduisent la vitesse du vent jusqu'à 45% de la des valeurs maximales, le confort thermique a été considérablement améliorée grâce à la température équivalente physiologique (PET), qui a été réduite jusqu'à 12 °C.

##### **IV-6-2-1-Introduction :**

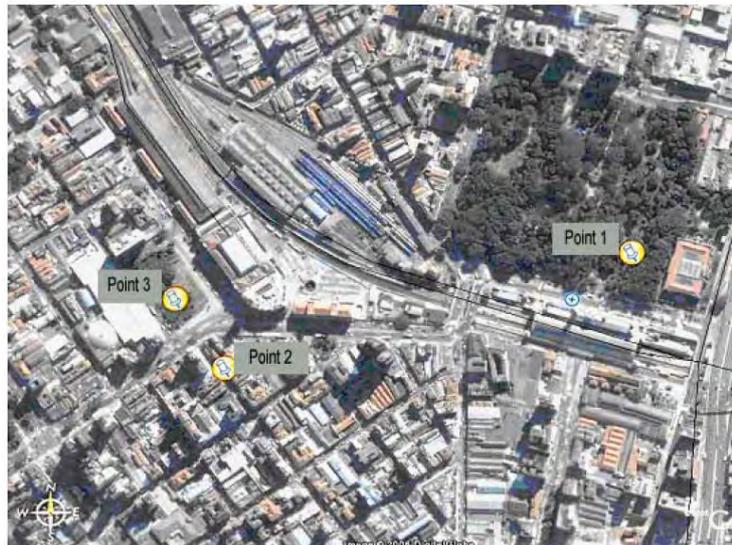
Cette étude climatique a été effectuée le 19 Décembre 2006 par Jörg Spangenberg (Université du Bauhaus, Weimar), dans la zone de Luz (Figure.IV.32). Cette journée peut être considérée comme une journée d'été typique chaude.

Le principal objectif de ces mesures était de créer une base de données initiale pour la température de l'air, l'humidité relative, le rayonnement solaire, la température de surface, la direction du vent et vitesse du vent pour la période estivale.



**FIG.IV.32 : a) la vie de rue dans la zone claire (photos du square, à gauche, et de la rue canyon, à droite).  
b) L'équipement de mesure utilisés dans le canyon urbain. (Source : Jörg Spangenberg, 2006)**

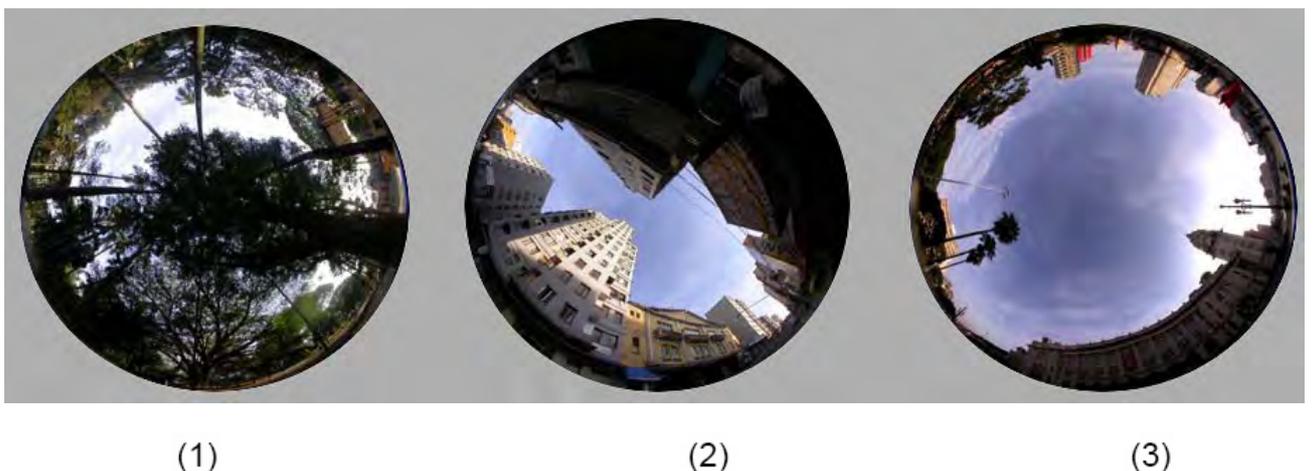
Trois principaux types d'espaces urbains ont été définis pour les mesures : un parc, un air place ouverte et d'un canyon urbain. Ces trois zones ont été choisies compte tenu des caractéristiques principales du site et ses environs (Figure.IV.33).



**FIG.IV.33 : Localisation des trois points de mesure dans la zone de Luz.**

**Point 1 = parc, point 2 et Canyon point = 3 = carré. (Source : Jörg Spangenberg, 2006)**

L'intérêt particulier était de comparer l'effet de la végétation dans le parc avec les deux autres situations. Et ou le facteur de vue sur le ciel (Sky View Factor), des trois sites varie considérablement (Figure.IV.34).



(1)

(2)

(3)

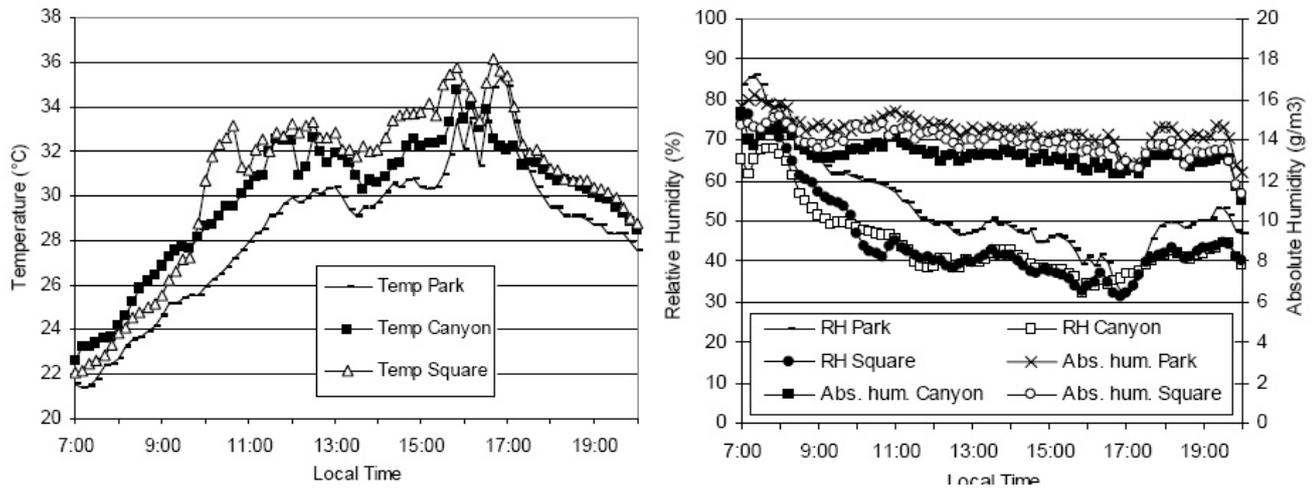
**FIG.IV.34 : Photos hémisphérique de la vue du ciel prise avec un Nikon 4500 équipé d'un objectif fish eye à 180 ° pour un parc (1), Canyon (2) et de la place d'ouverture (3). (Source : Jörg Spangenberg, 2006)**

#### IV-6-2-2-Résultats et discussion :

##### IV-6-2-2-1-Résultats des mesures :

Les résultats présentés ont donné des informations importantes sur les différences microclimatiques entre les trois sites urbains (Figure. IV.35.a). Les profils de température de l'air ambiant montrent que l'effet de refroidissement du parc est de 2 °C en moyenne par rapport à l'espace ouvert avec des pointes allant jusqu'à 6 °C. Par rapport au canyon, la température du parc est d'environ 2,5 °C plus fraîche vers midi. L'humidité relative était d'environ 10% plus élevée dans le parc que dans les deux autres sites (Figure. IV.35.b).

L'humidité absolue (g / m<sup>3</sup>) est d'environ 1g / m<sup>3</sup> plus élevée dans le parc. Une basse température et une humidité plus élevée dans le parc sont dues à l'ombrage et l'évapotranspiration.



**FIG.IV.35 : a) température de l'air pour le parc, la place, et le canyon.  
b) humidité relative et absolue pour le parc, la place publique et le canyon.**

(Source : Jörg Spangenberg, 2006)

#### IV-6-2-2-2-Les résultats de simulation :

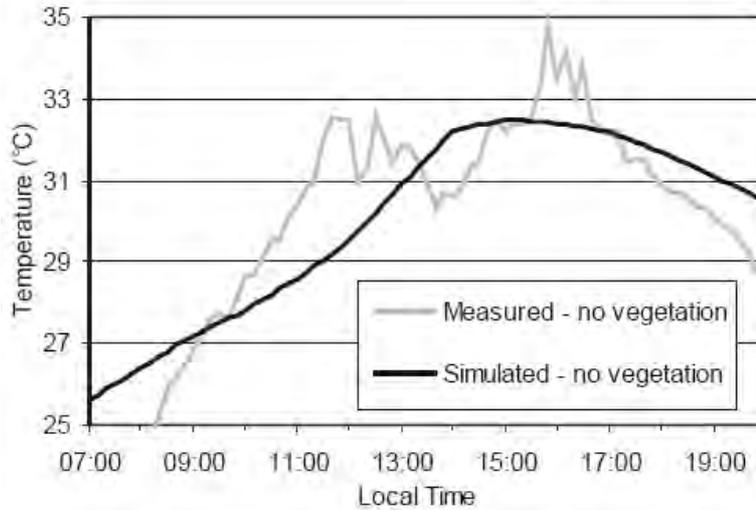


FIG.IV.36 : Comparaison entre la température mesurée et simulée de l'air pour la rue canyon. (Source : Jörg Spangenberg, 2006)

#### IV-6-2-2-2-1-Températures de l'air :

Dans la Figure. IV.37.a, la température de l'air simulé est montré pour les trois cas, pas d'arbres, des arbres ayant un couvert de haute densité (ISF = 5) et les arbres ayant un couvert de faible densité (ISF = 1). Les canyons couverts par des arbres moins denses (T1) et denses (T2) ont en moyenne 0,5 °C à 1,1 °C inférieure à la température de l'air des cas sans arbres.

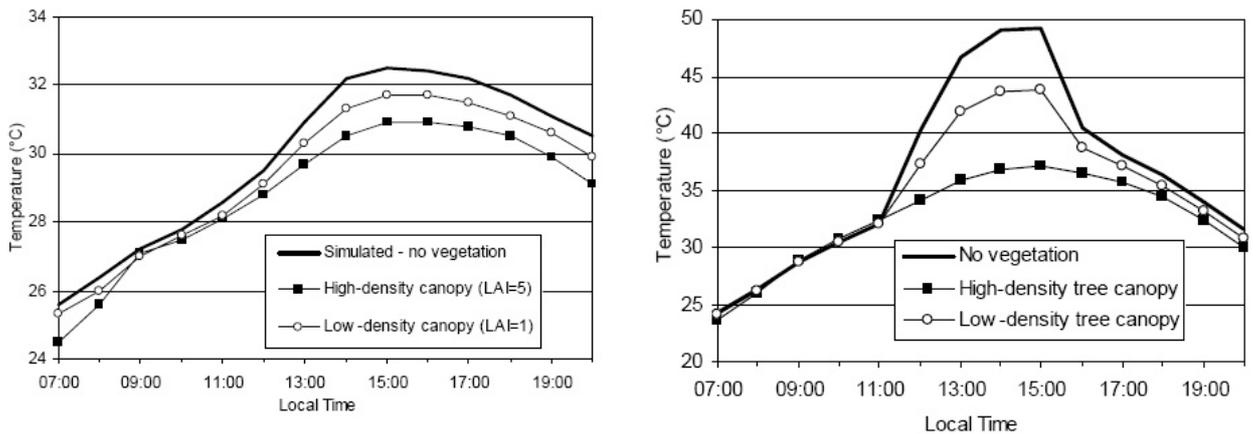


FIG.IV.37 : a) la température de l'air simulé pour le canyon de la rue sans arbres, avec des arbres ayant un couvert de haute densité et avec des arbres ayant un couvert de faible densité.

b) température de surface simulée de la rue sans arbre, une rue à feuillage des arbres de haute densité et une rue avec une canopée à faible densité d'arbres.

(Source : Jörg Spangenberg, 2006)

#### **IV-6-2-2-2-Humidité :**

L'humidité relative ne progresse que légèrement en raison de l'intégration des arbres dans la rue canyon (moins de 5%). La canopée à haute densité provoque une humidité relative de quelques pour cent plus élevée que la canopée basse densité. L'humidité absolue est cependant similaire pour tous les cas et très stable, variant de 12 à 14 g/m<sup>3</sup> pendant la journée. L'effet non significatif de l'évaporation des arbres sur l'humidité, est en bon accord avec d'autres études.

#### **IV-6-2-2-3-La vitesse du vent :**

La vitesse du vent simulé par ENVI-Met est clairement affectée par les arbres. Bien que les arbres étudiés n'aient pas de feuilles entre le sol et une hauteur de 3 m, la vitesse du vent à hauteur piétonne (1,5 m) est réduite de 0,86 m/s (sans arbres) à 0,80 m/s (canopée à haute densité) et à 0,47 m/s (à faible densité du couvert), respectivement. Ainsi, les canopées avec de faibles densités de surface foliaire ou LAD (Leaf Area Density) réduisent la vitesse du vent beaucoup moins que les arbres avec une densité de surface foliaire LAD élevée.

#### **IV-6-2-2-4-Températures Surfacing :**

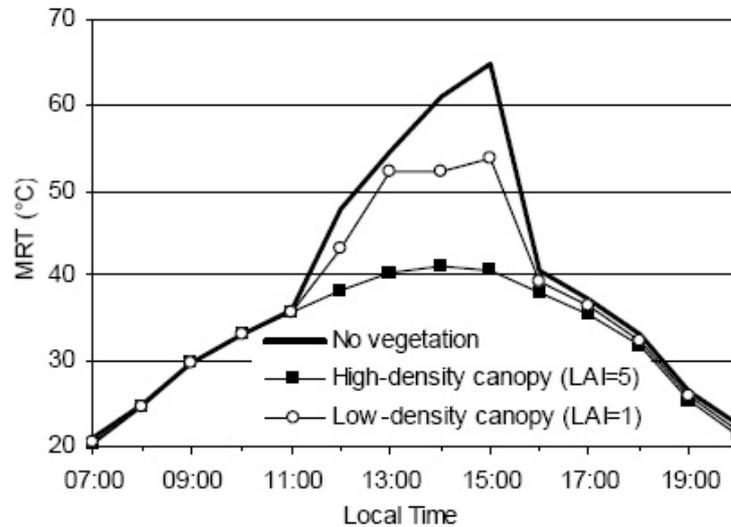
La Figure. IV.38 montre la température surfacing de la rue bitumée pour les trois cas (sans arbres, à faible densité du couvert et à haute densité du couvert). Pendant les heures où la rue reçoit le rayonnement solaire (à partir de 12:00 à 15:00), la Figure. IV.38 montre que les arbres ont un impact énorme sur la température surfacing du sol. Les arbres les moins denses (T1) abaissent la température jusqu'à 5 °C et les arbres de haute densité (T2) abaissent la température d'un maximum de 12°C.

#### **IV-6-2-2-5-Température moyenne radiante (MRT) :**

La température moyenne radiante (MRT) est le paramètre le plus affecté par l'ombrage des arbres. La Figure. IV.38 montre comment varie la MRT à hauteur piétonne et pour les trois cas (pas d'arbres, à haute densité du couvert et à faible densité du couvert). Pendant les heures où la rue reçoit le rayonnement solaire (à partir de 12:00 à 15:00), la Figure. IV.38 montre que les arbres à faible densité (T1) et ceux à forte densité (T2) diminuent la MRT jusqu'à 11 °C et 24 °C respectivement. La canopée à haute densité est nettement plus efficace que la canopée à faible densité.

La réduction de la MRT grâce à l'ombre comprend à la fois moins de rayonnement directe, diffuse et réfléchi (de courtes ondes) reçues du soleil et abaisse les températures de surface et réduit ainsi les radiations thermiques (longues ondes) émis par les surfaces urbaines.

Les réductions de la MRT trouvées dans cette étude sont moins que ceux enregistrées par Chatzidimitriou et al. (Chatzidimitriou et al. 2005). La raison probable est qu'ils ont étudié un canyon peu profond comme discuté ci-dessus.



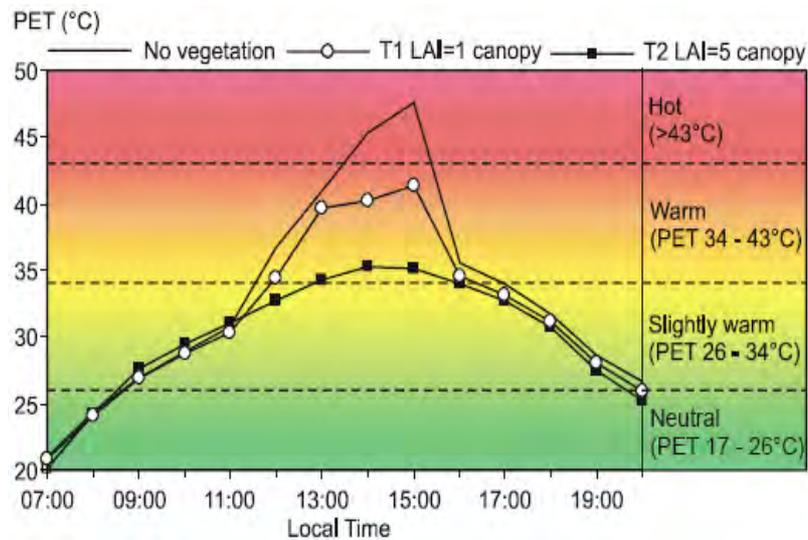
**FIG.IV.38 : (MRT) simulée dans la rue sans arbre, avec couvert à haute densité et la rue avec couvert de faible densité. (Source : Jörg Spangenberg, 2006)**

#### **IV-6-2-2-2-6-Température effective physiologique (PET) :**

Le confort thermique, exprimée comme la température physiologique équivalent (PET), a été calculé sur la base de valeurs simulées de la température de l'air, MRT, l'humidité relative et la vitesse du vent.

La PET varie considérablement d'un canyon sans arbre à celui avec couverture végétal. La figure .IV.39 montre comment la PET varie à hauteur piétonne pour les trois cas (pas d'arbres, couvert à haute densité et couvert à faible densité). De même que pour la MRT, la PET atteint des valeurs très inconfortables entre 12:00 et 15:00. Ce pic est considérablement réduit par les arbres moins denses (T1) et presque effacées par les arbres d'ombrage dense (T2). Les arbres plus denses sont donc plus efficaces, même si ils diminuent la vitesse du vent plus que les arbres moins denses.

Les réductions des valeurs de PET trouvées dans cette étude (jusqu'à 12 °C) sont inférieures à celles présentées par Ali-Toudert et Mayer (Ali-Toudert et Mayer, 2005 ; Ali-Toudert et Mayer, 2007) qui ont trouvé des réductions supérieures à 20 °C. La raison peut être qu'ils avaient une plus grande proportion du rayonnement solaire direct et donc les arbres fournissent une nuance plus efficace.



**FIG.IV.39 : PET simulées pour la rue sans arbres, rue avec haute densité du couvert et rue avec haute faible du couvert. (Source : Jörg Spangenberg, 2006)**

#### IV-6-2-3-Conclusions de la recherche :

Les mesures ont indiqué que le parc public de Luz a un effet de refroidissement avec des températures de 2 °C inférieure à celle de ses environs. Les mesures de températures de surface ont également montré que les surfaces naturelles sont beaucoup plus fraîches que les matériaux de construction couramment utilisés tels que le béton et l'asphalte.

Les résultats des simulations présentées dans cette étude montrent clairement que la végétation sous la forme d'arbres a un grand potentiel d'améliorer le microclimat et d'atténuer le stress de chaleur dans un climat chaud.

L'indice de surface foliaire (LAI) et la densité de surface foliaire (LAD) de la canopée ce sont avérées être des paramètres importants, qui ont une influence significative sur le microclimat. Plus le couvert végétal est dense (LAI et LAD important), plus faible sont les températures de l'air et des surface et meilleur est le confort thermique pour le climat chaud.

#### IV-7-Conclusion :

Les effets micro climatiques du végétal urbain sont relativement peu étudiés, en comparaison avec les conditions qui président à la croissance des arbres et des végétaux en général, ou prédominent les préoccupations liées au rendement des cultures et à la gestion de l'eau destinée à l'irrigation.

A travers cette étude bibliographique, nous avons essayé de souligner l'importance de la présence de la végétation en milieu urbain. En effet, après avoir rappelé les dimensions symboliques, les qualités esthétiques et multi sensorielles mises en œuvre, nous avons cherché à

définir certaines relations entre la ville et la végétation. Ainsi, nous avons pu constater que l'utilisation des arbres et des espaces verts dans des projets urbains ou architecturaux ne pouvait être qu'un élément favorable à l'amélioration du cadre de vie.

Afin d'analyser l'influence à un niveau microclimatique, nous avons adopté une approche multicritères des phénomènes physiques, dans un cadre urbain, à une échelle perceptible par l'homme. Ainsi, l'analyse des impacts de la végétation suivant des modalités différentes permet de dresser des bilans assez complets dont les éléments font appel à des champs d'investigation différents.

La végétation permet l'ombrage, filtre les poussières en suspension, fait écran aux vents tout en favorisant la ventilation, oxygène l'air et le rafraîchit par évapotranspiration.

Toutes ses données vont nous aider par la suite, dans l'interprétation de certains phénomènes qui seront rencontrés lors de l'investigation et de la simulation.

# **Chapitre V**

L'eau et son effet sur le microclimat

## **V-1-Introduction :**

L'eau est source de vie et d'énergie, symbole de purification et de régénération dans toutes les traditions. L'emplacement de l'homme à côté des ressources d'eau est un témoignage de l'importance de l'eau dans la vie<sup>123</sup>. Au cours du temps, la relation entre l'eau et les hommes a varié d'une société à une autre et d'une culture à une autre. L'eau fournit non seulement une base pour l'existence de l'homme et un défi continu de régularisation de son utilisation, mais on la considère comme une source de symbolisme métaphysique, plaisir esthétique et valeur thérapeutique. Les architectes utilisent l'eau comme élément dans la conception.

Chacun a probablement vu des fontaines d'eau dans les bâtiments publics, les parcs et dans les maisons privées. L'objectif de la construction d'une fontaine peut être d'embellir l'environnement, de refroidir par évaporation, de créer des effets spéciaux, de masquer le bruit du trafic et d'aider à la relaxation.

Dans la civilisation arabe, une piscine avec une fontaine était très souvent placée dans la cour ou dans le jardin, avec des jets d'eau. Les fontaines des jardins du palais de l'Alhambra en Espagne sont un exemple de cette tradition.

De nos jours, l'eau est utilisée comme une des stratégies de climatisation passive en extérieur. Des dispositifs favorisant l'évaporation de l'eau sont de plus en plus utilisés<sup>124</sup>. Ainsi, les jets d'eau, les brumisateurs et les tours de refroidissement constituent des solutions au contrôle thermique de l'espace, dans des climats chauds.

Ces dispositifs sont utilisés depuis l'antiquité et ont été employés plus récemment durant l'Exposition Universelle de Séville en 1992.<sup>125</sup>

## **V-2-Eau, symbolisme et religions :**

### **V-2-1-Le culte de l'eau à travers les âges :**

Le culte de l'eau remonte à des temps très anciens mais il est communément admis qu'il fait partie de croyances héritées de la protohistoire, voire de la préhistoire. Habitants de l'Armorique à l'Age du Fer, les Celtes avaient une vie religieuse intense et en conséquence de très nombreux lieux sacrés.

Forêts, clairières, rivières, avaient leur préférence pour communiquer avec les dieux. Mais les sources, là où jaillissait l'eau symbole de vie, avaient une signification particulière et les Celtes leur prêtaient souvent des vertus curatives et régénératrices.

---

<sup>123</sup> **Leguay, J.-P.** : L'eau dans la ville au Moyen âge. Edition Presses universitaires de Rennes, 2002.

<sup>124</sup> **Givoni, B., La Roche, P.:** Indirect evaporative cooling with an outdoor pond. In: James&James(Ed.). Proc. of Architecture, city, environment, PLEA 2000.

<sup>125</sup> **Alvarez, D. S. et al.** : Control climatico en espacios abiertos. In : Proc. Of Expo'92, 1992.

Cette croyance dans le pouvoir des sources ne s'est pas atténuée avec l'arrivée des Romains qui se sont contentés de donner d'autres noms aux divinités vénérées par les Celtes. La venue des moines évangélistes en Armorique entre le 5ème et le 7ème siècle après JC n'a pas non plus contribué à diminuer la ferveur des habitants envers les sources. Aussi, plutôt que de tenter d'éradiquer ces pratiques peu orthodoxes, l'Eglise les a converties en lieux de culte catholique. De sources, elles sont devenues fontaines, intégrées au cours des siècles à des édifices religieux. Elles ont pris le nom des saints de l'Eglise romaine ou de ces moines venus d'outre Manche, eux-mêmes devenus saints dans la religion populaire.

#### **V-2-2-Le thermalisme romain : religion et hygiène :**

Les thermes étaient voués à deux usages : les bains hygiéniques et les immersions dans les eaux curatives. Mais il n'en reste pas moins que la guérison thermique est dû au pouvoir bénéfique de l'eau, qui provient donc du caractère sacré des divinités qui l'habitent.

Les études archéologiques sont de plus en plus difficiles et doivent être complétées par des études de toponymie et d'épigraphie. C'est ainsi que par exemple on identifie un nombre considérable d'établissements thermaux en Espagne, région de Lusitanie, où le dieu thermal Bormanicus est vénéré. Ce dieu est parfois associé à Apollon, parfois identifié seul, selon un culte gaulois et hispanique. Il semble même que la plupart des villes importantes se soient créées d'abord en villes d'eau et souvent sur des sites où l'on retrouve des allusions à des civilisations préexistantes et des cultes de nymphes. Cette importance est d'ailleurs illustrée par l'existence de forteresses dédiées à la défense d'établissements thermaux.

#### **V-2-3-L'eau des fontaines est sacrée :**

C'est ce que montre Brigitte Caulier, qui a compté plus de 6 mille fontaines répertoriées par le clergé en France, ces fontaines ne correspondent visiblement pas à des besoins particuliers en eau, mais seraient des lieux de culte celtes ou préchrétiens. Ces lieux sont souvent identifiés par une trilogie mégalithe (ou rocher) / chêne / source. Les fontaines ont pour vocation initiale de guérir les maladies, et par la suite ont intégré les religions officielles en conservant leur caractère sacré. On note par exemple une forte réticence encore aujourd'hui à utiliser ces fontaines pour irriguer les cultures ou nettoyer les rues.

Certaines ne semblent pas avoir d'appartenance visible au culte catholique. A l'intérieur des lavoirs, les architectes prévoient souvent des niches, réceptacles de statues. Sainte Véronique est identifiée comme la patronne des lavandières.

#### **V-2-4-L'eau et les premiers textes bibliques, le jardin d'Eden :**

Les religions du Livre – judaïsme, christianisme et islam – ont toutes pris naissance dans des zones désertiques, où l'eau reste précieuse, “ don de Dieu ”.

L'eau dans l'ancien Testament apparaît comme " principe créateur, au travers des nuées, brouillards (...). C'est de l'eau et de la terre qu'est façonné le premier homme. "

#### **V-2-5-L'eau dans le Coran :**

L'eau occupe une place prépondérante dans l'Islam, non seulement de par sa valeur intrinsèque, pour une civilisation qui s'est surtout développée dans des pays désertiques, mais aussi par la symbolique très précise qu'elle véhicule. En effet l'eau présente dans le désert revêt deux formes ambivalentes : l'eau destructrice des oueds et des orages et l'eau bienfaitrice des jardins luxuriants. Le Coran cite 63 fois le mot " eau " - ma'a-

C'est grâce à une source " zam zam " que Hajar inquiète pour son fils, est sauvée. Cette source sacrée fait partie intégrante des sites du pèlerinage de La Mecque et le pèlerin doit s'y baigner et en rapporter quelques litres.

Aussi les différentes sociétés musulmanes confrontées à ce défi vont répondre avec des trésors d'imagination : que l'on songe au système des "foggaras" du Sahara central ou aux merveilles technologiques d'al-Andalus par delà les exemples plus connus et d'ailleurs plus anciens de la gestion du Nil, du Tigre et de l'Euphrate.

Sans sombrer dans l'exotisme (le jardin d'Eden, l'oasis, le palmier et le chameau) il apparaît clairement que le mode de production hydraulique (le statut de l'eau, celui de la propriété de la terre, les formes de fermages, ...) a été perfectionné au maximum par les musulmans. Ceux-ci s'appuyaient sur un certain nombre de textes issus du Coran, mais aussi sur la tradition du Prophète et enfin sur une jurisprudence qui va devenir assez rapidement pléthorique étant donné l'ampleur des problèmes rencontrés et des solutions apportées par un Empire qui allait de la Chine à l'Atlantique.

Le Coran confirme la création de la vie dans la mesure où Dieu a créé tous les êtres vivants à partir de l'eau après avoir séparé la terre et les cieux :

.... و جعلنا من الماء كل شيء حي....

سورة" الأنبياء" آية 30

On trouve encore deux références au moins aux bienfaits de l'eau :

....وأنزل من السماء ماء فأخرج به من الثمرات رزقا لكم.....

سورة" البقرة" آية 22

Bien entendu les musulmans s'attachent d'abord à la fonction purificatrice de l'eau pour les ablutions et la détermination de la pureté rituelle et la fonction de *siqaya* (fourniture de l'eau aux pèlerins de La Mecque) est une tâche aristocratique. Et l'on sait l'importance de l'eau de la source de Zem Zem dans l'hagiographie de la vie d'Ismail et de sa mère Hagar.

Mais l'eau est aussi symbole de fécondité et le Coran ne manque pas de le rappeler : "Nous faisons descendre du ciel une eau bénie grâce à laquelle nous faisons croître les jardins ; le grain que l'on moissonne ; les palmiers élancés porteurs de régimes bien ordonnés pour nourrir nos serviteurs".

Sans que cela soit dit explicitement, la conception musulmane générale de la propriété, que ce soit de la terre où a fortiori de l'eau, tout appartient à Dieu et doit être géré comme un usufruit dans l'intérêt général.

#### **V-2-5-1-La purification :**

Le coran dit ainsi " Vous qui croyez, si vous vous mettez en devoir de prier, alors rincez-vous le visage et les mains, jusqu'aux coudes, passez-vous la main sur la tête et sur les pieds jusqu'aux chevilles. Si vous êtes en état d'impureté, alors purifiez-vous ". La purification, comme pour les autres religions du Livre, revêt donc un aspect fondamental, mais cette fois au quotidien. En effet les musulmans se purifient avant les 5 prières quotidiennes par un rite très précis, touchant et aspergeant toutes les parties du corps dans un ordre très précis, de la tête vers les pieds, en commençant par le côté droit du corps. L'eau utilisée doit elle même être pure et n'avoir eu aucun contact avec des impuretés ou des êtres impurs.

#### **V-2-5-2-Les lieux d'ablution :**

La fontaine au centre de la cour de la Mosquée semble provenir de la coutume architecturale romaine du Pluvarium, destinée à recevoir les eaux de pluie et à maintenir une certaine humidité dans les villas. Elle est parfois transformée en puits plus ou moins ouvragé, et sert aux croyants dans le rite de purification.

Le Hammam est à l'origine un lieu de purification et de recentrage sur soi important. Plus proche du lieu de vie communautaire que la midha, il reste encore aujourd'hui un lieu privilégié de détente et de confiance.

#### **V-2-5-3-L'eau dans les jardins du Paradis :**

Les sources d'eau vive et pure sont nombreuses dans le Paradis : elles doivent irriguer et assurer l'existence de jardins magnifiques, traduction d'une parfaite harmonie entre l'homme, la nature et la fin de la lutte contre la désertification. Cette tradition se retrouve dans l'architecture musulmane des jardins (Grenade, Ispahan, Samarkand, Séville), où l'eau joue un rôle prépondérant.

### **V-3-Caractéristique de l'eau :**

#### **V-3-1-Définition :**

Le mot eau vient du latin Aqua, appelée aussi oxyde de dihydrogène, hydroxyde d'hydrogène ou acide hydroxyque) est un composé chimique simple, mais avec des propriétés complexes à cause de sa polarisation.

Sa formule chimique est  $H_2O$ , c'est-à-dire que chaque molécule d'eau se compose d'un atome d'oxygène entre deux atomes d'hydrogène, disposés en V très ouvert.

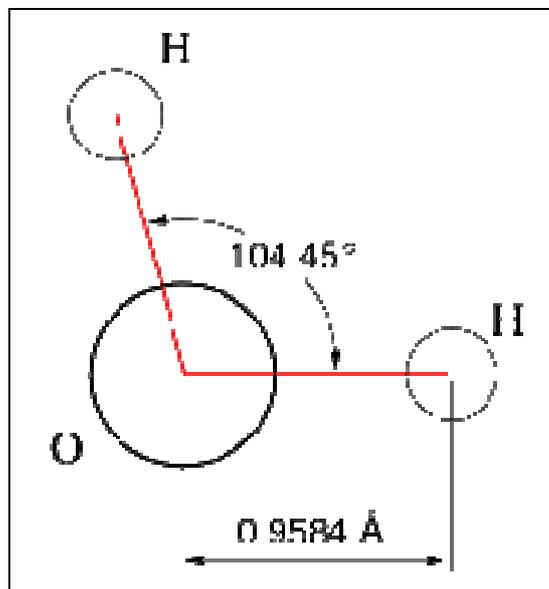


FIG.V.1 : Géométrie de la molécule d'eau. (Source : <http://www.CNRS.fr>)

L'eau se trouve presque partout sur la Terre et est un composé essentiel pour tous les organismes vivants connus. Le corps humain est ainsi composé à 70 % d'eau. Par construction des êtres vivants, l'eau est pour eux (sauf exception très notable) incolore, insipide, inodore, etc.

À pression ambiante (environ un bar), l'eau est gazeuse au-dessus de  $100^{\circ}C$ , solide en dessous de  $0^{\circ}C$ , et liquide dans les conditions normales de température et de pression. C'est là une particularité essentielle : les autres composés proches ou apparentés, (sulfure d'hydrogène, ammoniac, et méthane par exemple), sont tous gazeux à des températures bien plus basses.

Près de 70 % de la surface de la Terre est recouverte d'eau (97 % d'eau salée et 3 % d'eau douce), essentiellement sous forme d'océans. Une étendue d'eau peut être un océan, une mer, un lac, un étang, un fleuve, une rivière, un ruisseau, un canal... (voir Les ressources en eau sur Terre pour plus de détails). La circulation de l'eau au sein des différents compartiments terrestres est décrite par son cycle biogéochimique.

### V-3-2-Le Cycle de l'eau :

Sur la Terre, l'eau est la seule substance qu'on trouve dans ses trois phases à l'état naturel : solide (glace, neige), liquide (eau liquide) et gazeux (vapeur d'eau).

Malgré le fait que le pourcentage de vapeur d'eau dans l'atmosphère est faible (0 à 4 % de la composition de l'atmosphère), la quantité d'eau est étonnamment grande et elle joue un rôle

prépondérant dans le transport d'énergie autour de la planète. On a déjà calculé qu'il y a, au-dessus de l'Amérique du Nord, environ six fois plus d'eau transportée par l'atmosphère que par toutes ses rivières combinées.

L'eau s'évapore, se condense et se précipite continuellement dans un cycle infini qui entraîne d'énormes échanges d'énergie.



FIG.V.2 : Les trois phases de l'eau. (Source : <http://www.maxicours.com/>).

L'eau s'évapore de toutes les étendues d'eau, depuis la simple flaqué jusqu'aux océans. De l'eau s'évapore aussi de la végétation : on parle alors d'évapotranspiration. Lorsque la quantité de vapeur d'eau dans l'atmosphère devient suffisamment grande, la vapeur se condense sur des particules en suspension dans l'air pour former les nuages. Les nuages précipitent éventuellement sous forme de pluie, de neige ou de grêle. L'eau qui est libérée retourne au sol où elle est absorbée par la végétation ou ruisselle vers les rivières et les fleuves si elle n'est pas absorbée par le sol. L'eau peut également percoler (pénétrer lentement dans le sol) vers les couches les plus profondes pour alimenter la nappe phréatique et le système des fleuves et des rivières.

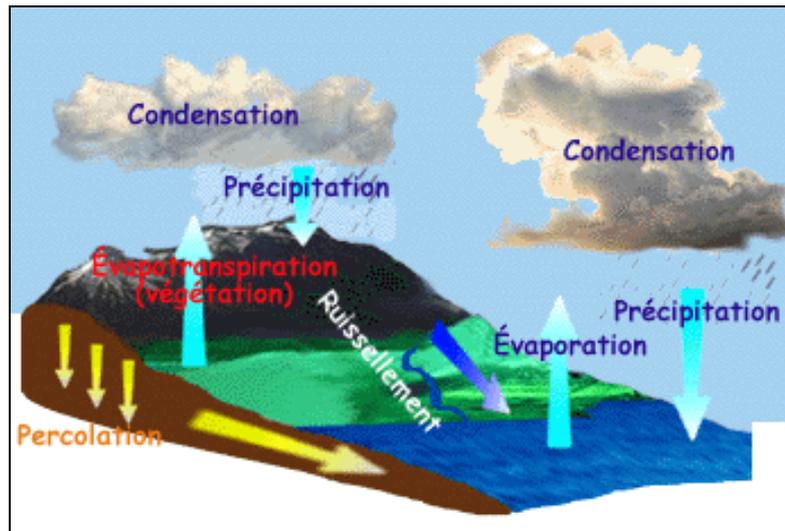


FIG.V.3 : Le cycle de l'eau. (Source : <http://www.envireausol.com/>)

### V-3-2-1-L'évaporation :

L'évaporation est le passage de la phase liquide d'une substance à sa phase gazeuse. Comme toutes les matières, l'eau est constituée de molécules qui s'attirent mutuellement et vibrent plus ou moins fort selon leur énergie cinétique (vitesse). L'énergie cinétique des molécules d'eau est d'autant plus grande que leur température est haute. La force d'attraction des molécules du liquide rend difficile l'échappement des molécules de la surface du fluide vers l'atmosphère.

Seules les molécules d'eau les plus énergétiques arriveront à briser la force d'attraction pour s'arracher de la surface du liquide et se retrouver sous forme de vapeur dans l'air. Les molécules les plus énergétiques sont les plus chaudes et lorsqu'elles s'échappent en emportant leur chaleur, l'énergie cinétique moyenne de la masse d'eau (c'est-à-dire la température) diminue.

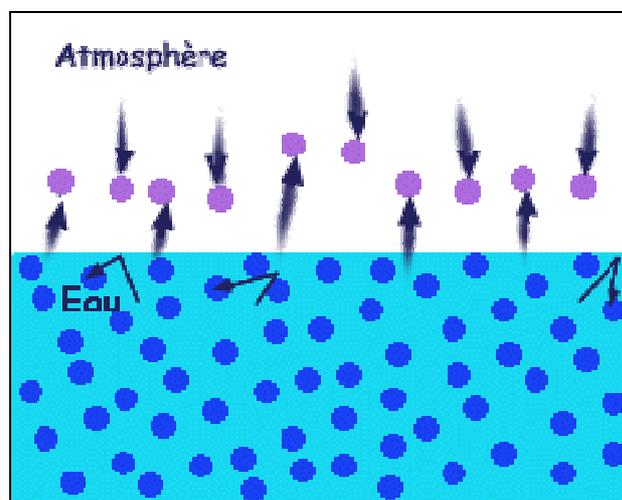


FIG.V.4 : Processus d'évaporation. (Source : <http://culturesciences.chimie.ens.fr/>)

L'évaporation est un processus qui provoque le refroidissement de l'air environnant car les molécules d'eau puisent leur énergie dans l'environnement.

De la chaleur (énergie) peut être ajoutée à l'eau par un apport externe : par exemple, quand l'eau est chauffée par le Soleil ou par l'atmosphère en contact avec la surface de l'eau.

Les molécules d'eau qui se retrouvent dans l'atmosphère pour former la vapeur d'eau conservent l'énergie qu'elles ont utilisée pour s'échapper de la masse d'eau. Cette énergie sera libérée dans l'environnement lorsque la vapeur retournera à l'état liquide. C'est la chaleur latente de vaporisation.

Les molécules d'eau présentes dans l'air sont continuellement en mouvement et certaines viennent parfois frapper la surface de l'eau pour retourner à l'état liquide. On parle d'évaporation quand le nombre de molécules qui quittent la surface de l'eau est supérieur au nombre de molécules qui réintègrent la surface de l'eau.

#### **V-3-2-2-Le principe de saturation et la pression de la vapeur d'eau :**

La pression atmosphérique de l'air est la somme des pressions de tous les gaz qui composent l'atmosphère. Le gaz qu'est la vapeur d'eau exerce donc une partie de la pression atmosphérique totale.

Au fur et à mesure que l'eau s'évapore, on détecte une faible augmentation de la pression de l'air au-dessus de la surface de l'eau. Cette augmentation de la pression est due au mouvement des molécules d'eau qui sont ajoutées à l'air par l'évaporation. Cette fraction de la pression due à la vapeur d'eau est appelée « pression de vapeur d'eau ».

A un certain moment, il y a tellement de molécules d'eau dans l'air qui se trouve au-dessus de la surface d'eau que le nombre de molécules qui retournent à l'état liquide devient égal au nombre de molécules qui s'évaporent. On dit alors que l'air est saturé : la pression de la vapeur d'eau a atteint son maximum et n'augmente plus. Lorsque l'air est saturé, on ne peut plus y ajouter de vapeur d'eau.

Toutefois, si on chauffe l'eau encore plus, les molécules deviendront plus énergétiques et une plus grande quantité d'eau pourra s'évaporer avant que l'air ne soit saturé. Cela veut dire que, à des températures plus élevées, il doit y avoir plus de vapeur d'eau dans l'air pour que la saturation soit atteinte.

#### **V-3-3-Propriétés physiques et chimiques de l'eau :**

Les propriétés physiques d'une substance sont les propriétés liées à l'aspect de la substance. Les propriétés chimiques sont les propriétés qui sont souvent utilisées en chimie pour déterminer l'état d'une substance. Les propriétés physiques et chimiques peuvent nous permettre de déterminer le comportement d'une substance selon les circonstances.

Il existe différentes propriétés physiques et chimiques, qui sont souvent utilisées alternativement. En voici quelques unes :

#### **V-3-3-1-Propriétés physiques :**

##### **V-3-3-1-1-La densité :**

La densité de l'eau correspond au poids d'une certaine quantité d'eau. Elle est habituellement exprimée en kilogrammes par mètre cube.

##### **V-3-3-1-2-Propriétés thermiques :**

Cela concerne ce qui se passe quand l'eau est chauffée, à quelle température elle passe à l'état gazeux et ce genre de choses.

##### **V-3-3-1-3-La conductivité :**

Ceci décrit la quantité d'électricité que l'eau peut conduire. Elle est exprimée à l'aide d'une grandeur chimique.

##### **V-3-3-1-4-L'absorption de la lumière :**

C'est la quantité de lumière absorbée par une certaine quantité d'eau dans un temps fini.

##### **V-3-3-1-5-La viscosité :**

La viscosité permet de déterminer la mobilité de l'eau. Quand la température s'élève, la viscosité diminue ; ceci signifie que l'eau sera plus mobile à températures élevées.

#### **V-3-3-2-Propriétés chimiques :**

##### **V-3-3-2-1-Le pH :**

Le pH a sa propre échelle, de 0 à 14. Le pH permet de savoir si une substance est acide (pH 0-6), neutre (pH 7) ou basique (pH 8-14). Le nombre d'atomes d'hydrogène dans la substance détermine le pH. Plus les atomes d'hydrogène sont nombreux, plus le pH sera faible. Une substance qui contient beaucoup d'atomes d'hydrogène est acide. Le pH peut être mesuré en plongeant un papier spécial dans la substance, le papier prend une couleur différente suivant le pH de la substance.

##### **V-3-3-2-2-L'alcalinité :**

C'est la capacité de l'eau à neutraliser un acide ou une base, de sorte que le pH de l'eau ne change pas.

#### **V-4-L'eau comme solution microclimatique :**

Comme nous l'avons déjà souligné, l'eau est présente dans la ville sous de nombreuses formes et est mise en valeur selon différentes modalités. Laissons momentanément de côté l'aspect joyeux ou calme, rassembleur ou dépaysant, parfois magique des situations ressenties à proximité d'une zone d'eau et attachons-nous à comprendre l'aspect rafraîchissant. Pour ce faire, nous allons dans cette partie analyser les bilans thermiques qui s'appliquent à une zone humide et nous allons

préciser en quoi ces dispositifs peuvent être utiles en climat chaud à des fins de régulation microclimatique.

Avant d'aller plus avant, nous pouvons rappeler que le rafraîchissement par évaporation est connu et a été largement utilisé de par le passé. Déjà sous l'empire romain, ce principe de climatisation devait être mis en œuvre, en été, à Nîmes. Plus récemment, on arrosait les principales rues de Paris et boulevards deux fois par jour en temps caniculaire, à raison de 2 l/m<sup>2</sup>, de manière à donner « une humidité printanière » aux chaussées et trottoirs et ce, jusqu'à cinq fois par jour sur les Champs-Élysées pour « ajouter un supplément de fraîcheur à l'avenue la plus fréquentée du monde ».<sup>126</sup>

#### **V-4-1-Impact d'une grande étendue d'eau :**

La circulation atmosphérique serait différente si la terre n'était formée que de continents ou d'océans. L'eau présente plusieurs particularités dont :

- \* Elle se réchauffe et se refroidit plus lentement que l'air.
- \* Elle est par définition plus humide.
- \* Sa rugosité est nulle.

Le volume d'eau a une importance considérable.

- \* L'action de l'océan s'étend sur des centaines de Km.
- \* L'influence d'une mer bordière est plus limitée.
- \* La taille d'un lac intervient dans la modification des climats.

Les étendues d'eau stockent de grandes quantités de chaleur avec aisance. L'eau agit comme tampon thermique : à l'inverse des sols qui s'échauffent et restituent la chaleur rapidement, l'eau emmagasine et rend la chaleur lentement. C'est pourquoi il fait plus chaud à la Côte que dans les terres internes en hiver, à l'inverse de l'été où il fait plus chaud dans les terres internes qu'à la Côte.

De manière générale, la très grande capacité thermique de l'eau rend celle-ci peu sensible aux variations de température de l'atmosphère.

Sur la frange côtière, la présence conjointe de l'eau et du continent détermine des schémas climatiques particuliers : les brises de mer et les brises de terre.

Pendant la journée, un échauffement plus rapide sur terre que sur mer aboutit à la création de basses pressions thermiques dans l'arrière-pays et de pressions relativement hautes en mer. La brise fraîche qui souffle de la mer vers la terre tend à supprimer le déséquilibre ainsi créé. Durant

---

<sup>126</sup> **Guillerme, A.** : La disparition des saisons dans la ville. Les annales de la recherche urbaine, 1994.

la nuit, la déperdition par rayonnement est plus forte sur terre que sur mer et les courants aériens sont inversés.

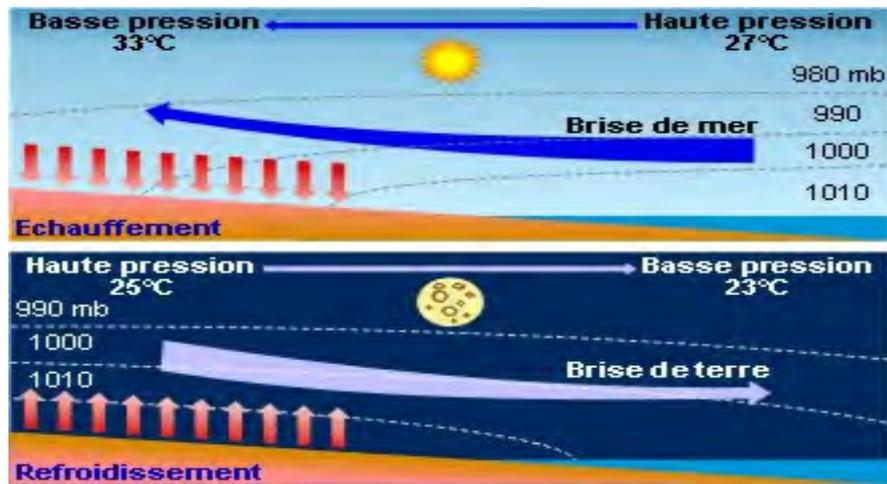


FIG.V.5 : Echanges thermiques entre la terre et la mer pendant les jours et la nuit.

(Source : Alain Liébard , André De Herde 2006)

Ces influences sont dues aux échanges qui surviennent entre deux masses très différentes ; l'eau et le substratum rocheux, masse possédant une température, une humidité et une rugosité particulière.

La présence d'une rivière, d'un fleuve ou d'un océan peut modifier considérablement certaines des composantes du climat local. Ainsi, l'existence d'un éventuel microclimat due à la présence du Tage a été étudiée numériquement. Un potentiel microclimatique favorable est constaté, il est maximal jusqu'à 100 m de la berge de cette rivière, et correspond à un abaissement de la température de l'air de 6 à 7 °C (à une hauteur de 1,75 m) et s'étend de manière atténuée sur plusieurs centaines de mètre.<sup>127</sup>

Il est important de remarquer aussi que ces échanges varient selon :

- \*-La latitude, la saison et la direction des vents.
- \*-Le volume d'eau à une importance considérable.
- \*-Le rôle de la masse d'eau considérée comme une entité isolée est par comparaison médiocre.
- \*-La taille du plan d'eau intervient pour diversifier les climats, (exemple : la température des eaux d'un lac augmente du centre vers la périphérie en saison chaude.

Et à l'échelle urbaine, l'influence des plans d'eau peut être particulièrement bénéfique dans les villes lorsque l'atmosphère est trop sèche pendant la saison chaude.

<sup>127</sup> Fernandes E. O., et al: Energy and environment Lisbon. In proceedings of PLEA 1998.

Si le volume d'eau est suffisant il régularise la température et l'humidité relative.<sup>128</sup>

#### **V-4-2-Impact des sources ponctuelles d'eau :**

Des mesures dans le sud de la France ont permis de montrer que les effets des fontaines sont très localisés. En effet, les faibles échanges entre cette surface froide et l'air ne permettent pas un rafraîchissement. Il ne faut donc pas compter sur une fontaine pour assurer la climatisation naturelle d'un espace urbain (« seuls des effets psychologiques peuvent être escomptés »). Par contre, à proximité d'un grand jet d'eau, des mesures ponctuelles de l'air environnant ont montré qu'il y avait un effet d'humidification et de refroidissement.<sup>129</sup>

Il est donc important de favoriser des dispositifs qui peuvent jouer réellement sur l'humidification et le rafraîchissement de l'air. Lorsque dans un courant d'air on fait évaporer des gouttelettes d'eau la température de cet air diminue et parallèlement il se charge en humidité. Ce procédé est déclinable sous de nombreuses formes, c'est le principe des fontaines à jet, des brumisateurs et des tours de refroidissement.

#### **V-5-L'architecture vernaculaire et l'eau :**

Avant l'avènement des moyens mécaniques modernes pour obtenir un certain confort thermique, les gens dans les régions arides et chaudes ont été forcés de trouver des moyens pour refroidir leurs maisons avec des sources d'énergie et des phénomènes physiques naturels. Généralement, ces solutions se trouvent être beaucoup plus en harmonie avec les fonctions physiologiques humaines que des moyens modernes tels que des climatiseurs électriques, l'eau est l'un de ces éléments dont on dirait « indissociable » à l'architecture vernaculaire.

L'eau est rare dans des régions chaudes et désertiques, et les gens dans ces régions ont toujours donné une importance vitale à l'eau, et ont tenté de rester en contact avec elle aussi longtemps que possible. Outre son effet rafraîchissant physiquement, elle a toujours eu un agréable effet psychologique. En outre, l'eau est très importante dans l'augmentation du taux d'humidité et de promouvoir ainsi le confort thermique dans les terres arides chaudes, ceci les gens d'autre fois le connaissaient aussi bien que nous. Dans la maison arabe, la fontaine joue un rôle équivalent à la cheminée dans les zones tempérées, bien que l'un soit utilisé pour le refroidissement et l'autre pour le chauffage. Ainsi, la fontaine est un élément architectural qui occupe une place privilégiée dans le plan de la maison.

---

<sup>128</sup> **Escourrou G.** : Le climat et la ville. Edition Nathan, 1991.

<sup>129</sup> **Groupe ABC** : Morphologie, végétal et microclimats urbains. Plan urbain, Ministère de l'Équipement, 1997.

### **V-6-L'eau et les techniques ancestrales de rafraîchissement :**

La quantité de chaleur échangée au cours de l'évaporation de l'eau (chaleur latente liée au changement d'état) est très importante. Ce phénomène a été largement utilisé dans les pays chaud (Maghreb et Espagne) et sous plusieurs formes ou techniques, pour rafraîchir l'air extérieur des patios et intérieur des bâtiments.

Parmi les techniques les plus réputées on notera :

#### **V-6-1-Les fontaines et bassins :**

Les fontaines et bassins sont des éléments prépondérants de l'architecture des pays du nord de l'Afrique, du Moyen-Orient ainsi que dans la Péninsule Ibérique.

Ceux-ci sont utilisés pour rafraîchir l'air en jouant sur l'évaporation de l'eau et la conservation de l'enthalpie.



**FIG.V.6 : Patio d'une villa de la Casbah d'Alger avec une fontaine au milieu.**

(Source : <http://algeriecasbah.afrikblog.com/>)

Les fontaines sont particulièrement efficaces dans la mesure où le jet d'eau est fragmenté en une multitude de gouttelettes. Ceci augmente la surface d'échange air-eau et favorise donc l'évaporation.

Au fur et à mesure, la température de l'eau des réceptacles inférieurs s'abaisse, et l'écart avec la température de l'air ambiant peut atteindre jusqu'à 10 degrés, constituant un stock de froid.

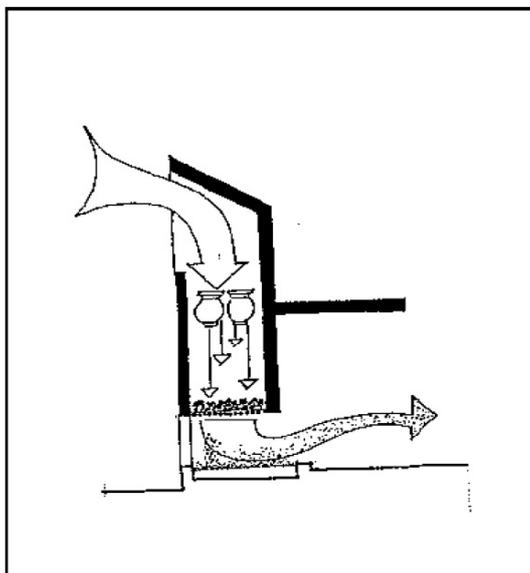


**FIG.V.7 : Fontaine du palais de la Bahia (Maroc)**  
(Source : <http://algeriecasbah.afrikblog.com/>)

#### **V-6-2-Le malqaf :**

Des jarres poreuses et pleines d'eau (récipients en terre contenant l'eau destinée à la consommation domestique) sont généralement placées à proximité d'une ouverture de type moucharabieh (protection solaire permettant la ventilation naturelle).

Ces récipients étant légèrement poreux, leur face externe reste toujours humide. Le flux d'air passant par l'ouverture provoque une évaporation ce qui permet à l'eau des gargoulettes de rester fraîche pendant toute la journée.



**FIG.V.8 : Coupe schématique dan un malqaf. (Source : Bahadori, 1978)**

### V-6-3-Les tours à vent :

Les tours à vent iraniennes sont des exemples remarquables d'utilisation de la chaleur latente de l'eau afin de rafraîchir les espaces intérieurs.

Dans le système représenté dans la figure.V.9, la citerne est remplie d'eau froide pendant l'hiver. Les tours à vent conservent l'eau fraîche jusqu'au fort de l'été.

Quand le soleil chauffe le dôme de la citerne, il réchauffe l'air au dessus de l'eau du réservoir et accroît sa vitesse d'évaporation. Les tours assurent un courant d'air à la surface de l'eau, ce qui chasse la vapeur d'eau, empêche la saturation et favorise l'évaporation. Les couches plus profondes de l'eau se réchauffent à peine, car la chaleur de l'air est presque exclusivement utilisée pour évaporer l'eau à la surface.

Quand le toit de la citerne est percé d'un trou d'aération, le vent descend par les tours, passe sur l'eau et ressort par le trou d'aération, entraînant l'air de la citerne chargé de vapeur. En l'absence de trou d'aération, le vent qui descend par les tours est contraint de remonter par les conduits latéraux placés sous le vent. Le courant d'air ascendant, créé dans ces conduits, entraîne l'air de la citerne vers ces derniers. La citerne est enterrée ce qui lui permet de profiter de l'inertie thermique du sol. Un toit en dôme se refroidit plus facilement qu'un toit plat et dégage moins de chaleur dans le réservoir.

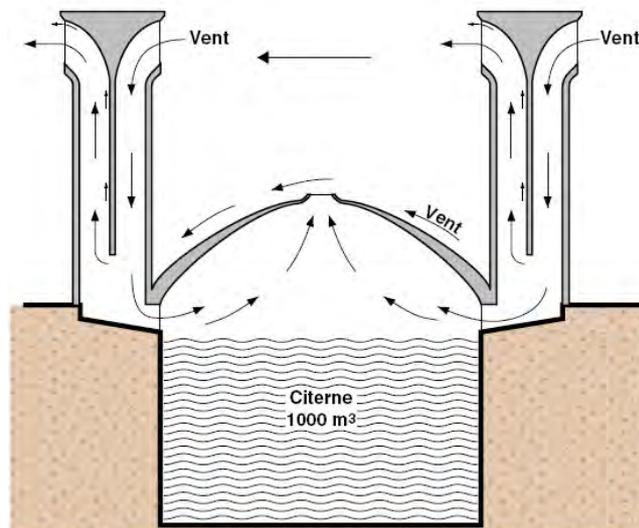


FIG.V.9 : Coupe schématique du dôme et des tours à vent d'une citerne de Yedz, (Iran).

(Source : Bahadori, 1978)

### V-6-4-Système combiné :

Deux types de refroidissement apparaissent dans le système passif représenté figure.V.10. La déperdition de chaleur, entraînée par la circulation de l'air dans le sol, est accompagnée d'un

refroidissement dû à l'évaporation de l'eau. Ce système induit un changement, à la fois de l'hygrométrie et de la température, ce qui est particulièrement efficace. La tour à vent est située à environ 50 m du bâtiment. Quand on arrose les arbustes et la végétation plantés en surface, l'eau s'infiltré dans le sol et humidifie les parois du tunnel, où l'air est refroidit par évaporation. Le bassin et la fontaine placés au débouché du tunnel contribuent aussi au refroidissement de l'air.

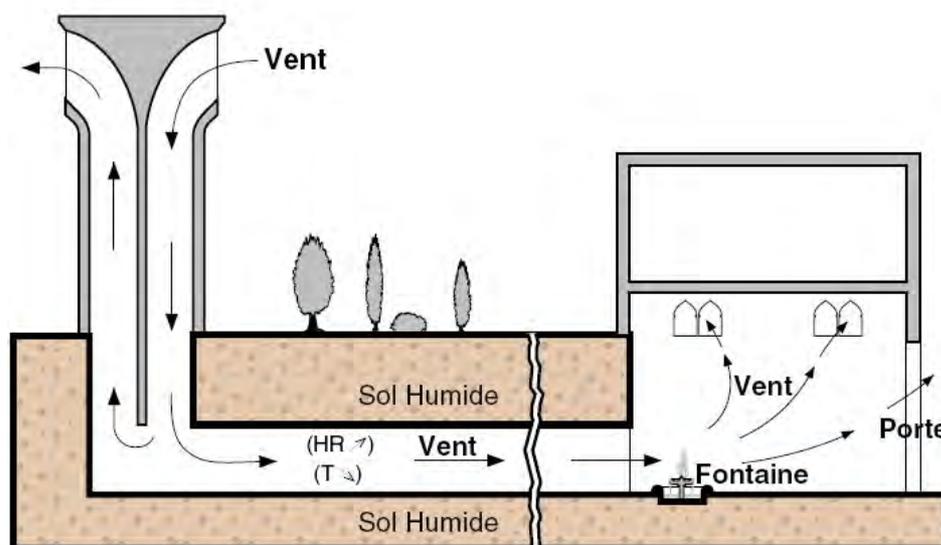


FIG.V.10 : Coupe schématique d'une tour à vent iranienne permettant le refroidissement de l'air à la fois par ventilation et par évaporation. (Source : Bahadori, 1978)

### V-7-L'utilisation des techniques de rafraîchissement de nos jours :

L'exposition universelle de Séville est un exemple spectaculaire d'utilisation de ce phénomène.

Compte tenu des conditions climatiques de Séville durant l'été, les espaces extérieurs de l'EXPO'92 ont été "conditionnés" de façon à augmenter le confort hygrothermique des visiteurs :

- l'eau a été utilisée pour réduire la température de surface du site, à l'aide de bassins et de cascades (exemple : une cascade de 400 m de long et de 6m de dénivelée le long de Maple Avenue).
- la réduction de la température de l'air a été obtenue en créant des "tours de refroidissement". Celles-ci, hautes de 30 m, sont équipées à leur sommet d'un système de captation du vent, et de pulvérisateurs d'eau (générateurs de brouillard) répartis sur toute leur hauteur. L'évaporation de l'eau rafraîchit considérablement l'air (transformation isenthalpique) et crée un courant convectif vers le bas (plus de 14,6 Mégajoules évacués par heure).
- le long de toutes les avenues, des systèmes de pulvérisation d'eau ont été placés dans le feuillage des arbres et sur les structures des pergolas, afin de créer en permanence un flux d'air frais descendant.

Dans toutes ces réalisations, la ventilation naturelle a été privilégiée au détriment des systèmes de ventilation mécanique.

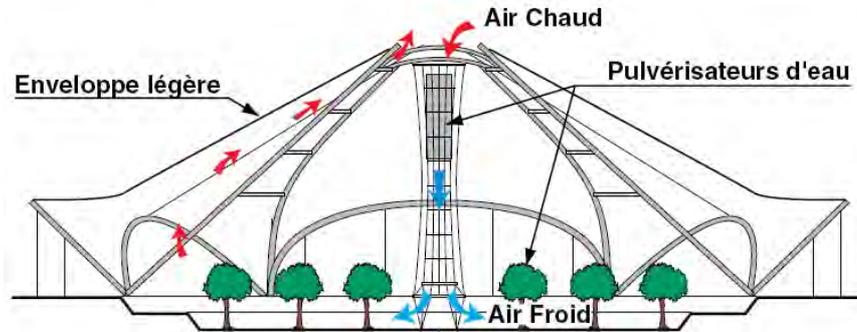


FIG.V.11 : Coupe schématique du système de refroidissement de la "Rotunda", EXPO'92, Séville, Espagne (Source : PLEA, 1991).

Ces techniques, utilisées notamment à Séville et à Lisbonne pour les expositions, ont permis un rafraîchissement local. Ainsi en jouant sur la combinaison des phénomènes convectifs, évaporatif et diffusifs, la régulation du confort de certains espaces est devenue possible.

Mais il est à noter que ces techniques restent assez compliquées et ne pourront être utilisées couramment surtout en milieu extérieur urbain, heureusement qu'ils existent d'autres techniques plus simple mais aussi efficaces que celles utilisées à Séville et dont l'utilisation de nos jours semble assez anodine :

#### **V-7-1-Les fontaines et jets d'eau :**

Les grandes fontaines et jets d'eau, par les embruns qu'ils sont susceptibles de générer, présentent une efficacité voisine de celle de la brumisation, selon la manière dont le vent achemine ces embruns.

Mais il est plus difficile de multiplier les jets d'eau de grande dimension que les gicleurs de brumisation et les quantités d'eau mises en jeu sont sans commune mesure. Enfin, la précision est moindre.



FIG.V.12 : Bassin avec jets à Séville (Source : [www.andalucia.org/](http://www.andalucia.org/))

#### V-7-2-Le ruissellement :

Il existe des solutions pour maintenir une surface mouillée : le ruissellement en est une. Cette solution nécessite une déclivité et des débits relativement importants. Cela peut s'employer sur des surfaces verticales. Le ruissellement peut être animé par des reliefs.

L'eau ruisselante sur un grillage constitue une solution intéressante : l'échange eau/air permet une humidification de l'air et par conséquent un rafraîchissement de sa température.

L'eau a toujours été un excellent moyen pour se rafraîchir, l'environnement bâti peut accélérer son refroidissement grâce à la présence de l'eau. Les concepteurs contemporains ont imaginé l'utilisation de l'eau sous ses diverses formes. Les deux dernières expositions universelles ont bien exploité le principe de la brumisation dans le rafraîchissement des espaces extérieurs, où les foules de visiteurs exprimaient leur satisfaction.

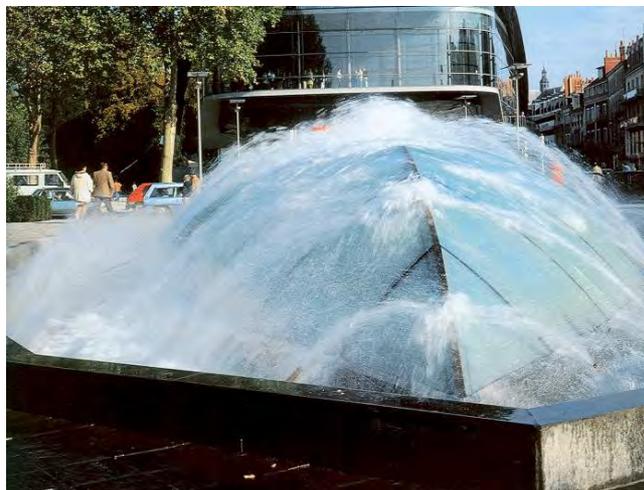


FIG.V.13 : Effet de ruissellement. (Source : <http://sig.ville.gouv.fr/>)

### V-7-3- Les minis jets d'eau :

Il est possible aussi d'utiliser des minis jets d'eau directement sur revêtement du sol. Ci-après une batterie de mini jets d'eau (hauteur d'environ 1m) vient arroser le revêtement à intervalles réguliers.



FIG.V.14 : Utilisation des minis jets d'eau au parc André Citroën Paris7.

(Source : <http://www.metropoleparis.com/>)

### V-7-4- Les cascades :

Il existe d'autres solutions que les jets d'eau pour humidifier l'air par les embruns : une cascade à partir d'un bassin suspendu qui se rompt brutalement sur un sol dur produit aussi des embruns.

Cette solution a été mise en œuvre à Madrid (figure. V.15). L'inconvénient de ces cascades est que pour le promeneur, le niveau sonore est en général très élevé, selon la configuration des lieux.

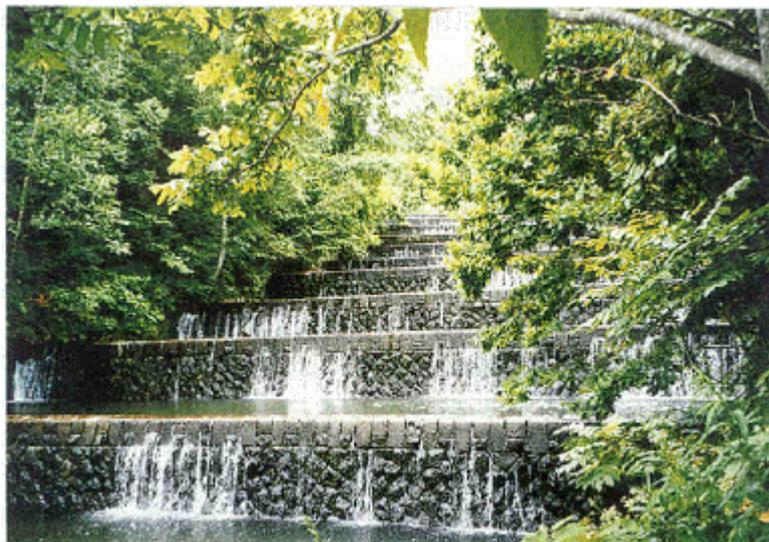


FIG.V.15 : Cascade artificielle. (Source : Chanson, H. 1998)

### V-7-5-La brumisation :

La brumisation est un des moyens d'humidifier l'air lorsque celui-ci est trop sec. Rappelons que la brumisation consiste à vaporiser de microscopiques gouttelettes d'eau dans l'air, comparables à celles qui composent le brouillard. La dissipation de ce brouillard exige de grandes quantités d'énergie qui ne peuvent être extraites que de l'air ambiant, qui se refroidit donc d'autant plus intensément que l'air d'origine est plus sec. A l'arrivée, on récupère un air plus humide et plus frais. Cette technique permet une grande précision quant à la localisation des effets.



**FIG.V.16 : Humidification utilisés à Séville (Pavillon de la CE).**

(Source : Jean-Louis Izard ,1993)

L'évaporation provoquée (brumisation, arrosage des sols...) est plus efficace mais grande consommatrice d'eau, l'effet sera d'autant plus sensible que l'air est sec.

Dans tout projet, architectural ou urbain, il est souhaitable d'envisager le recours à tout procédé, naturel (végétation principalement) ou artificiel (humidification, en dehors de la frange littorale) mettant en jeu l'évaporation de l'eau.

Dans le cas du climat de Séville, le procédé de rafraîchissement par évaporation permet un abaissement de la température de pointe d'environ 7 °C.

On peut voir l'effet bénéfique de la brumisation sur l'humidité et la température a différent niveau du sol, sur les 2 graphes suivants :

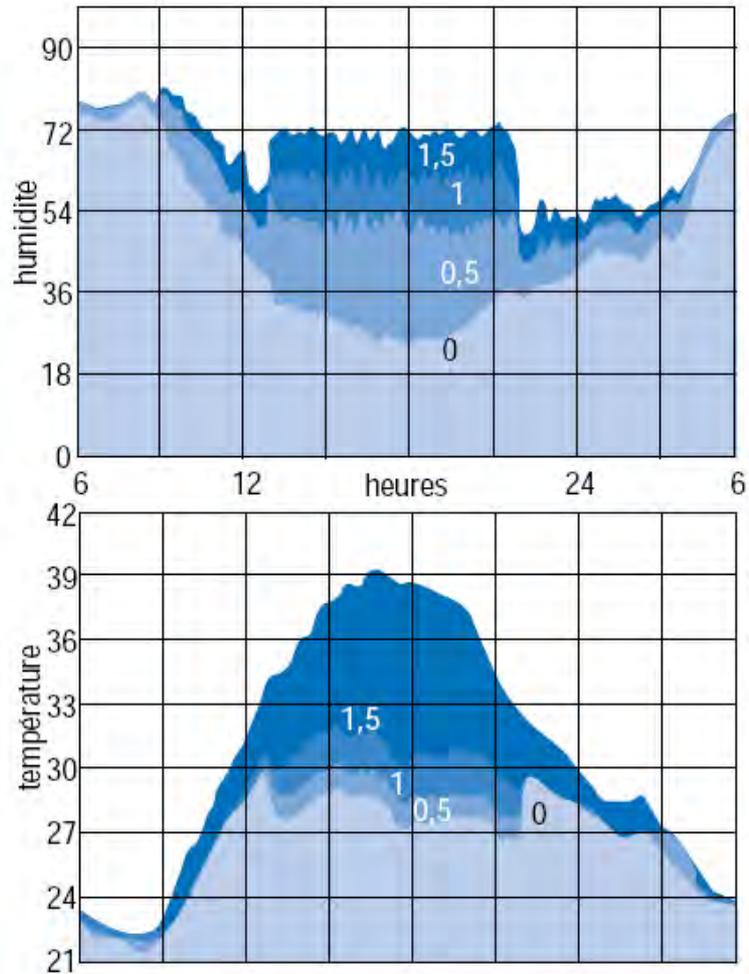


FIG.V.17 : Humidité relative et Température à différents niveaux du sol (0,5-1 et 1,5 m)

(Source : Jean-Louis Izard ,1993)

### V-8-Transferts de chaleur et diffusion entre l'eau et l'air :

Nous allons étudier les différents phénomènes liés à l'évaporation et expliquer les relations entre certains termes du bilan énergétique comme les apports solaires, les pertes par chaleur latente et par chaleur sensible. Nous pouvons considérer un bassin comme un système soumis à des sollicitations extérieures (soleil, vent) et cherchant à équilibrer ces actions (changement de température, évaporation).

Un schéma simplifié permet de représenter les principaux phénomènes (Figure V.18)

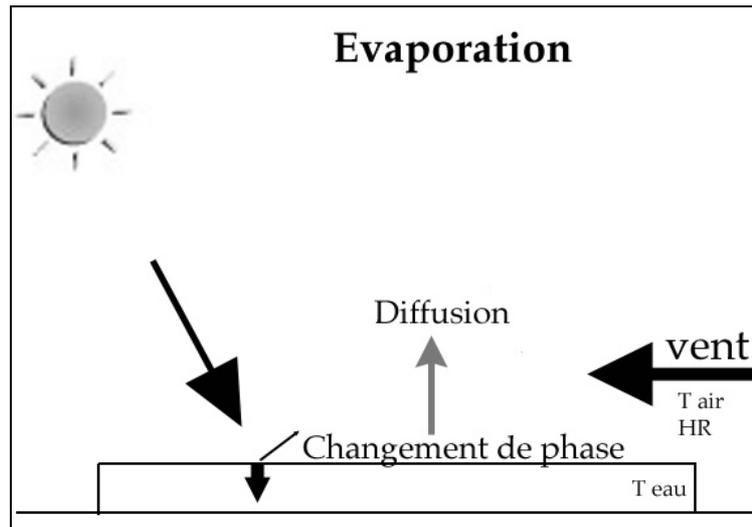


FIG.V.18 : Transferts thermiques d'un bassin. (Source : Vinet J., 2000)

Les apports énergétiques solaires 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 de rayonnement solaire maximal<sup>130</sup>.

En effet, un processus simultané de transfert de chaleur et de masse se produit. Le phénomène de diffusion de la vapeur d'eau entre la surface du bassin et l'air peut apparaître si la concentration de vapeur d'eau dans l'air est initialement faible (le phénomène de transition de la phase liquide à la phase gazeuse est plus intense que l'inverse). Ainsi, la concentration de la vapeur augmente, de sorte que les deux phénomènes tendent à s'équilibrer. Lorsque cet équilibre est atteint, l'air est saturé de vapeur d'eau. La pression de vapeur d'une eau pure à pression atmosphérique est dite pression de vapeur saturante et est égale à la pression partielle de vapeur d'eau dans l'air.

Cette diffusion qui entraîne un changement de phase de l'eau liquide en vapeur d'eau à l'interface eau-air est le moteur qui permet de remplacer la vapeur d'eau qui est assimilée par l'air.

Ce changement de phase nécessite une importante quantité d'énergie, c'est la chaleur latente de vaporisation. Il faut 2450 kJ pour évaporer 1 kg d'eau, soit une épaisseur de 1 mm sur une surface de

1 m<sup>2</sup>. Ainsi, lors de l'évaporation d'une zone d'eau une grande partie des apports énergétiques solaires est perdue sous forme de chaleur latente. C'est pourquoi la température de l'eau est alors inférieure à celle de l'air durant la journée.

Ce décalage entre les deux températures est atténué par un transfert que l'on qualifie de chaleur sensible entre l'air chaud et l'eau froide. Il est fonction de l'écart de température et de la vitesse de l'écoulement. Ces deux phénomènes ont un effet opposé. Le résultat est une température

<sup>130</sup> Alvarez *et al.* : Acondicionamiento climatico de los espacios abiertos en Expo'92. Universidad de Sevilla, 1989.

d'équilibre. En résumé, dans un premier temps, le processus d'évaporation refroidit l'eau et dans un second temps, l'eau refroidit l'air.

Dans la littérature, des expressions permettent de quantifier les différents transferts en jeu. Pour un fluide au repos, de température uniforme, si la concentration des constituants n'est pas uniforme, il se produit un mouvement de ces constituants, dû à l'agitation moléculaire tendant à atténuer les différences de concentration.

Le fait que la surface de l'eau soit à une température plus faible que celle d'un sol exposé au même rayonnement solaire est important car les rayonnements de grande longueur d'onde émis par ces deux éléments sont sensiblement différents. Ainsi, non seulement l'eau renvoie moins de rayonnement solaire (coefficient de réflexion bas), mais en plus elle émet un rayonnement thermique (de grande longueur d'onde) plus faible car elle est plus froide.

Dans la réalité, les situations apparaissent complexes car les phénomènes convectifs, radiatifs et diffusifs ne peuvent être envisagés de manière séparée. Certains cas bien précis nécessitent une appréhension globale des processus physiques qui n'est possible que par la simulation.

#### **V-8-1-Modélisation d'un bassin :**

Un modèle dynamique a été développé pour analyser les performances thermiques d'un bassin d'eau soumis à différentes conditions atmosphériques.<sup>131</sup> Dans le cas d'un bassin de faible profondeur (approximativement 1 m), on peut considérer que l'eau est à une température moyenne qui ne dépend alors que du temps. Cette température est calculée à partir d'un bilan global pour le bassin par unité de surface :

$$\frac{\rho c_p V}{S} \frac{dT}{dt} = \varphi_{sol} - \varphi_{GLO} - \varphi_{evap} - \varphi_{conv} - \varphi_{spray} + \varphi_{apport} - \varphi_{cond}$$

Equation V.1.

L'absorption du rayonnement solaire  $\varphi_{sol}$  s'opère de manière sélective et diffuse. De nombreux facteurs affectent l'atténuation du rayonnement solaire dans le bassin : distribution spectrale des propriétés optiques de l'eau, rayonnement direct, diffus, angle d'incidence du rayon direct, épaisseur de la couche d'eau, coefficient de réflexion du sol et du bassin.

Avec :

---

<sup>131</sup> **Guerra J. J., Esteban C. J. and Molina J. L.:** Detailed Modeling of Roof Ponds Including Sprays and Covering. In : Meeting at CIEMAT, 1996.

- \*-  $\Phi_{GLO}$  : Le flux de chaleur par rayonnement infrarouge entre le bassin et le ciel à une température par unité de surface du bassin.
- \*-  $\Phi_{conv}$  : Le flux de chaleur convectif entre la surface du bassin assimilé à une plaque plane et l'air fait appel à un coefficient de transfert qui peut être obtenu grâce à des corrélations :
- \*-  $\Phi_{evap}$  : La quantité de chaleur perdue par évaporation s'écrit alors en fonction de la chaleur latente de vaporisation.
- \*-  $\Phi_{apport}$  : Les apports de chaleur dans le bassin par addition.

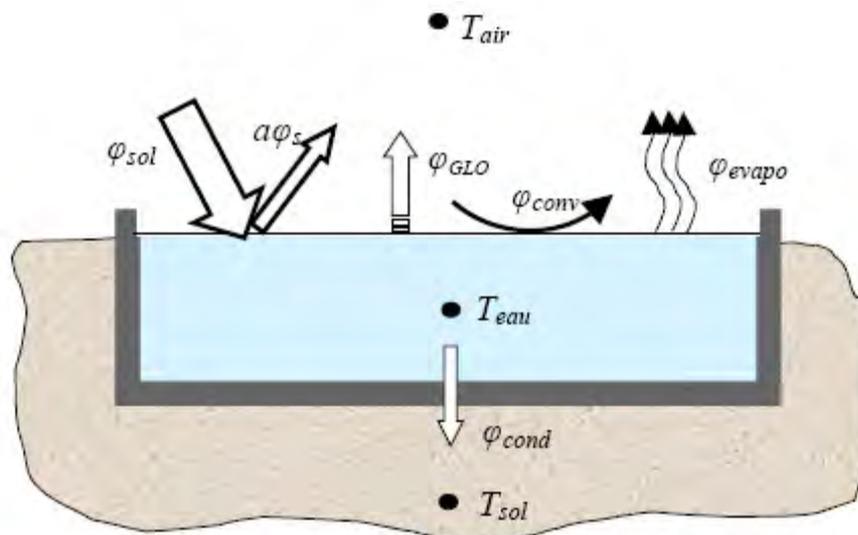


FIG.V.19 : Représentation des échanges thermiques pour un bassin d'eau. (Source : Vinet J., 2000)

### V-8-2-L'équation basique pour l'échange thermique air / eau :

Pour être en mesure d'estimer le paramètre essentiel du processus de refroidissement, à savoir la différence de température entre l'air chaud, et l'air plus frais (passant par l'objet d'eau), il est nécessaire de connaître les flux de chaleur de l'air à l'eau. Le flux de chaleur sensible ( $J_{sens}$ ) à différentes températures de l'air  $T_{air}$ , et de la surface de l'eau  $T_{surf}$  peut être calculé grâce à l'équation V.2. :

$$j_{sens} = k_T^{air} \rho_{air} c_p^{air} (T_{air} - T_{surf}), \quad \text{Equation V.2.}$$

Avec :

$\rho_{air}$  : Est la densité de l'air.

$c_p^{air}$  : Chaleur spécifique de l'air.

$k_T^{\text{air}}$  : Vitesse de transfert de chaleur dans l'air.

Le changement de phase liquide en phase gazeuse nécessite de la chaleur latente de vaporisation  $L_c = 2,344 \cdot 10^6$  J/kg de l'interface air / eau. L'humidité relative de l'air ( $h$ ) près de la surface de l'eau est le moteur du flux de chaleur latente  $J_{\text{lat}}$  qui peut être déterminée à partir de la formule. V.3 :

$$j_{\text{lat}} = -k_q^{\text{air}} L_c c_q (1 - h), \quad \text{Equation V.3.}$$

Où  $L_c$  désigne la chaleur latente de vaporisation,  $C_q$  la densité de vapeur de saturation et  $K_q$  la vitesse de transfert de vapeur d'eau dans l'air.

La différence de température de l'eau due à l'évaporation  $\Delta T$ , dans des conditions sans échange de chaleur avec l'environnement, est donné par la relation entre la perte de chaleur de l'eau nécessaire à l'évaporation  $\Delta Q$  et de la chaleur spécifique de l'eau ( $c$ ) et la masse ( $m$ ) de l'eau à partir de la formule V.4 :

$$\Delta T = \frac{\Delta Q}{c m}. \quad \text{Equation V.4.}$$

### **V-9-Recherche effectuées sur le rôle microclimatique de l'eau :**

Il est connu que la présence des bassins d'eau en ville améliore l'environnement thermique urbain en période d'été par le refroidissement de l'air dû à l'évaporation. Cependant, nous n'avons pas trouvé beaucoup d'informations concernant la quantification et la modélisation des effets des bassins d'eau en tant que solution micro climatique. Néanmoins on peut citer les deux études suivantes :

#### **V-9-1-Aménagements d'eau pour la création d'un microclimat urbaine confortable (1998) :**

##### **V-9-1-1-Description :**

L'une des rares études qui fut entreprise dans ce domaine est celle effectuée par Nishimura et al.<sup>132</sup>, qui ont proposé l'utilisation d'installations artificielles d'eau pour modifier la température et l'humidité. Des mesures ont été réalisées dans l'environnement d'un système d'eau composé d'un

---

<sup>132</sup> Nishimura, N., Nomura, T., Iyota, H., Kimoto, S.: Novel water facilities for creation of comfortable urban micrometeorology. Solar Energy, 1998.

bassin d'eau, une cascade (hauteur moyenne de 2 m) et d'une fontaine artésienne (120 pulvérisateurs d'eau) (Figure.V.20).



FIG.V.20 : Système d'eau utilisé. (Nishimura et al. 1998)

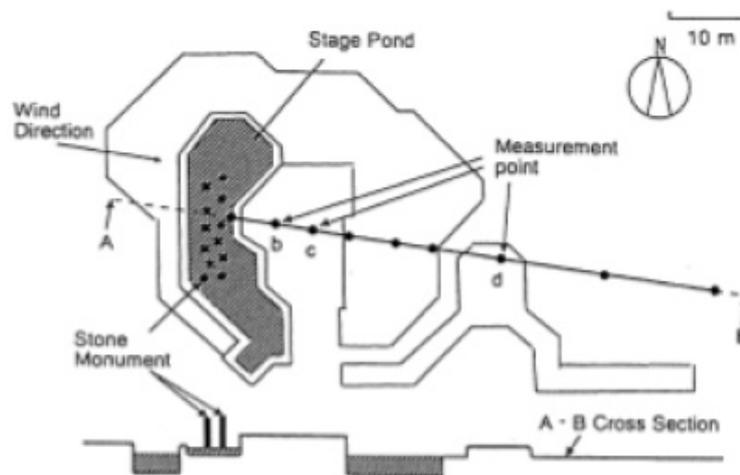


FIG.V.21 : Système d'eau et points de mesure. (Nishimura et al. 1998)

La cascade et la fontaine ont été actionnées par intermittence de 9h00 à 21h00 avec les scénarios suivants :

- Cascade : 10 minutes de fonctionnement toutes les 20 minutes ;
- Fontaine : 3 minutes de fonctionnement quand la cascade d'eau est arrêtée (20 l/mn).

#### V-9-1-2-Résultats obtenus :

Les mesures de la température de l'air sous le vent ont mis en évidence une diminution d'environ 3 °C de la température lors de la période de vaporisation de l'eau (Figure V.22.a) et que l'effet du système d'eau entre 14 h et 15 h peut être ressenti jusqu'à environ 35 m du système d'eau (figure V.22.b).

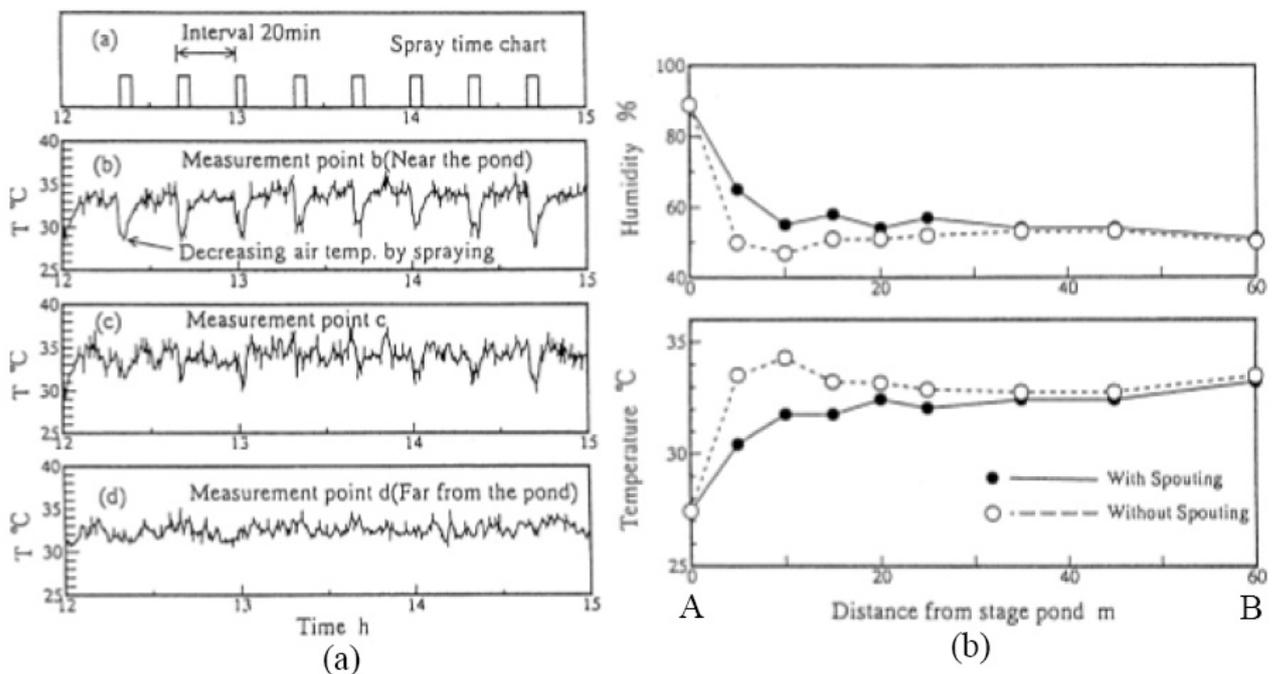


FIG.V.22 : Température et humidité de l'air sous le vent. (Nishimura et al., 1998)

### V-9-2-Modélisation de l'influence de la végétation et d'un bassin d'eau sur le microclimat urbain(2005) :

Un modèle numérique a été utilisé pour estimer l'influence des arbres et des étangs d'eau dans un square de la ville de Nantes, par Mirela Robitu (Université de La Rochelle). Une comparaison des résultats entre les deux situations, avec et sans végétation et d'un étang d'eau, indiquent que les températures de surface sont réduites en présence d'arbres et le confort est amélioré.

Un modèle de l'étang d'eau inclue le rayonnement absorbé, transmis et réfléchi et a été résolu numériquement.

#### V-9-2-1-Étude de cas et des résultats :

La présence d'étangs d'eau et d'arbres améliore l'environnement thermique urbaines en été par le refroidissement de la l'air et l'ombrage des surfaces urbaines. L'évaporation et l'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 au contact des surfaces de l'eau et la végétation.

Pour illustrer le rôle de ses deux éléments sur le confort en milieu urbain, des simulations ont été exercées pendant une journée chaude typiquement claire et ensoleillée de l'été et cela avec le logiciel SOLENE, exactement le 15 Juillet, dans le Square Fleuriot à Nantes, en France (latitude nord 47°). C'est un espace minéral ouvert avec un étang d'eau et des arbres de magnolias (Figure

V.23). La température de l'air variait entre 294 K (20.85°C) à 305 (31.85°C) K, l'humidité relative a été fixée à 55%, et un vent du sud a été utilisé (2 m/s à 10 m au-dessus du sol).



**FIG.V.23 : Square Fleuriot à Nantes. (Source : Mirela Robitu, 2005).**

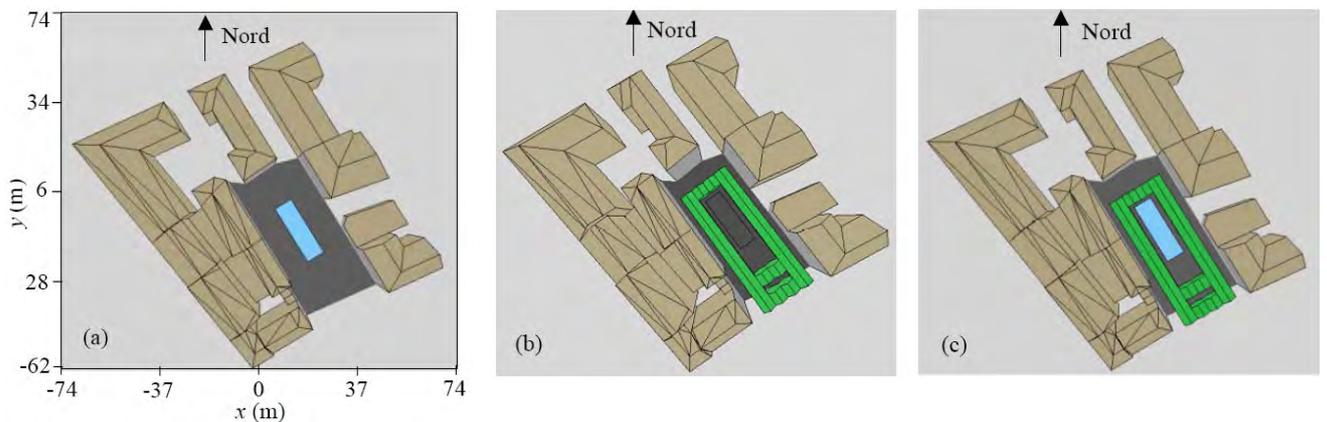
#### **V-9-2-1-1-Cas d'étude :**

Afin de pouvoir bien saisir les effets dus au bassin d'eau et à la végétation, trois cas d'étude ont été simulés :

- Cas 1 : le square Fleuriot avec bassin d'eau et sans arbres (Figure V.24.a) ;
- Cas 2 : le square Fleuriot sans bassin d'eau et avec arbres (Figure V.24.b) ;
- Cas 3 : le square Fleuriot avec bassin d'eau et avec arbres (Figure V.24.c).

Le dernier cas correspond à la situation existante.

Les dimensions du domaine à traiter sont données sur la Figure V.24.a



**FIG.V.24 : Modélisation avec SOLENE du square Fleuriot à Nantes : a) avec bassin d'eau sans arbres, b) avec arbres sans bassin d'eau, c) avec bassin d'eau et arbres (situation actuelle).**

(Source : Mirela Robitu, 2005).

### V-9-2-1-2-Points de mesure :

Pour l'analyse des résultats des simulations, 6 points du square Fleuriot ont été choisis. Ces points ont été sélectionnés de manière à représenter les différents éléments de la place, paroi, sol, et différentes situations d'exposition : au soleil ou à l'ombre de la végétation et l'eau. Les emplacements de ces points sont représentés sur la Figure V.25.

Les points sont :

- P1 ( $z=3$  m), sur la façade N.-E. des bâtiments ;
- P2, sur le sol, à l'ombre produite par la couronne d'arbre ;
- P3, sur le sol, proche de la façade S.-O. du bâtiment ;
- P4, sur le sol ensoleillé le matin ;
- P5, sur le sol, proche du bassin d'eau ;
- P6 ( $z=0,5$  m), sur la façade S.-E. des bâtiments.

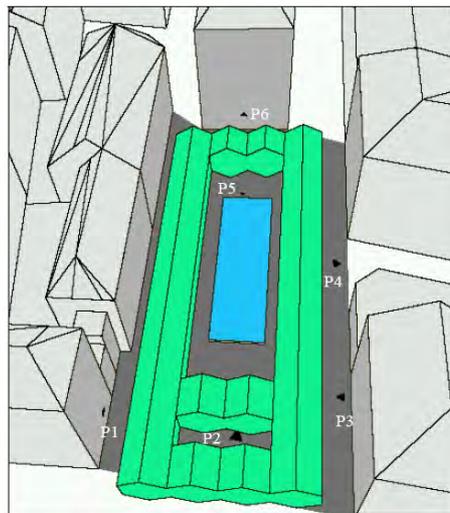


FIG.V.25 : Position des points d'analyse (P1 à P6). (Source : Mirela Robitu, 2005).

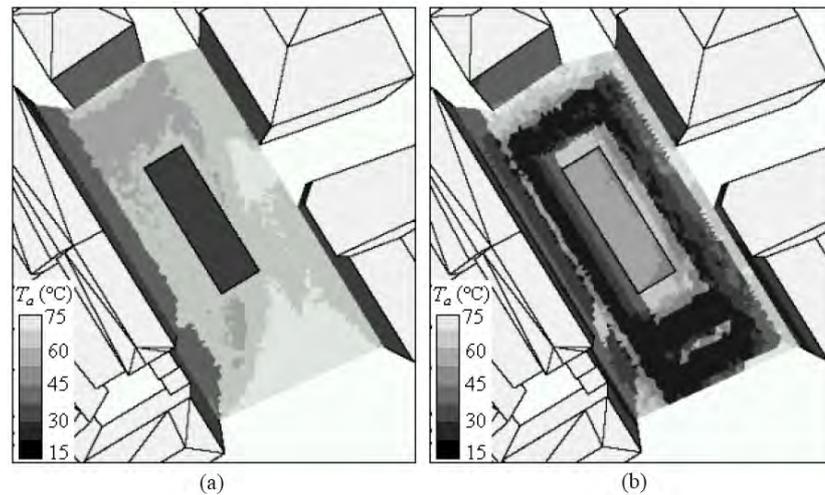
### V-9-2-2-Analyse des résultats des simulations :

#### V-9-2-2-1-Effets des divers aménagements sur les températures de surface :

Sur la figure .V.26, nous avons représenté la température de surface à midi solaire dans le square Fleuriot pour la situation avec bassin (cas A) et avec arbres (cas B). On constate que la température de surface minimale pour le cas avec bassin est de  $30^{\circ}\text{C}$ , valeur qui correspond notamment à celle des façades non-ensoleillées des bâtiments et de la surface du bassin d'eau. Pour le cas avec arbres cette température est de  $25^{\circ}\text{C}$ . Cette valeur correspond à la surface du sol piétonnier ombrée par les arbres.

La température de la surface du sol piétonnier près du bassin est plus élevée que celle de la surface d'eau d'environ 30 à 35°C. Une différence du même ordre de grandeur est enregistrée entre la température du sol piétonnier ensoleillé et ombré.

On peut noter que la température de surface du bassin d'eau est plus faible d'environ 22°C que la même surface en asphalte (Figure .V.26).



**FIG.V.26 : Valeurs des températures de surface à 12 h. a) situation avec bassin d'eau (cas A),  
b) situation avec arbres (cas B)  
(Source : Mirela Robitu, 2005).**

#### **V-9-2-2-2-Effets des divers aménagements sur la température de l'air :**

Sur la figure.V.27 sont représentées les distributions des températures d'air dans le square à 1,5 m au-dessus du sol, à 12 h, pour les trois cas d'étude. Nous pouvons constater que la température de l'air dans le cas avec bassin d'eau est plus importante que celle des situations avec arbres. Ceci s'explique par le fait qu'en situation avec bassin d'eau et sans arbres (cas A), les surfaces du square sont plus exposées au rayonnement solaire par rapport aux situations avec des arbres (cas B et C), les valeurs de température correspondantes sont plus élevées ainsi que les échanges convectifs entre les surfaces et l'air ambiant. Nous observons également que les températures de l'air sont influencées par les températures de surface qui sont plus élevées pour les zones ensoleillées que pour les zones à l'ombre.

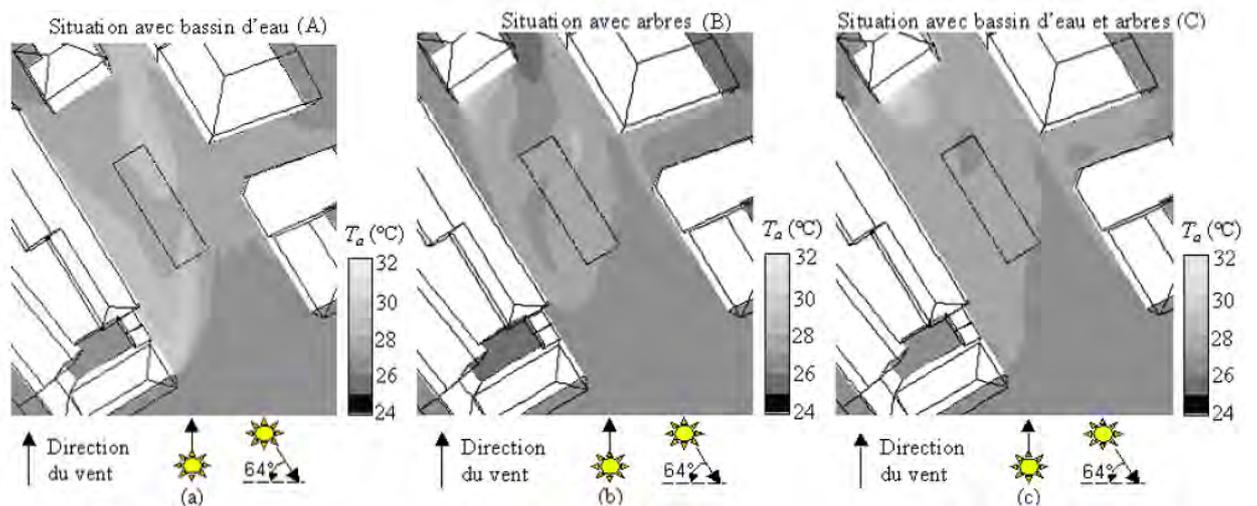


FIG.V.27 : Valeurs des températures de l'air dans le square Fleuriot à 1,5m du sol a) avec bassin, b) avec arbres, c) avec bassin d'eau et arbres. (Source : Mirela Robitu, 2005).

Pour les points situés au voisinage de la façade du bâtiment, la température de l'air est plus faible d'environ 2°C pour les situations avec arbres (cas B et C) par rapport à la situation avec bassin d'eau et sans arbres (cas A). Cette baisse de température est due à la diminution de la température de surface de la façade du bâtiment à l'ombre qui se trouve à proximité.

#### V-9-2-3-Effets des divers aménagements sur l'humidité relative :

Sur la figure. V.28 est représentée l'humidité relative dans une section horizontale à 1,5 m au-dessus du sol pour les trois cas d'étude. L'humidité relative dans le square varie de 38 à 50 % pour le cas avec bassin d'eau et sans arbres (cas A) et de 40% à 52% pour les cas avec arbres (cas B et C).

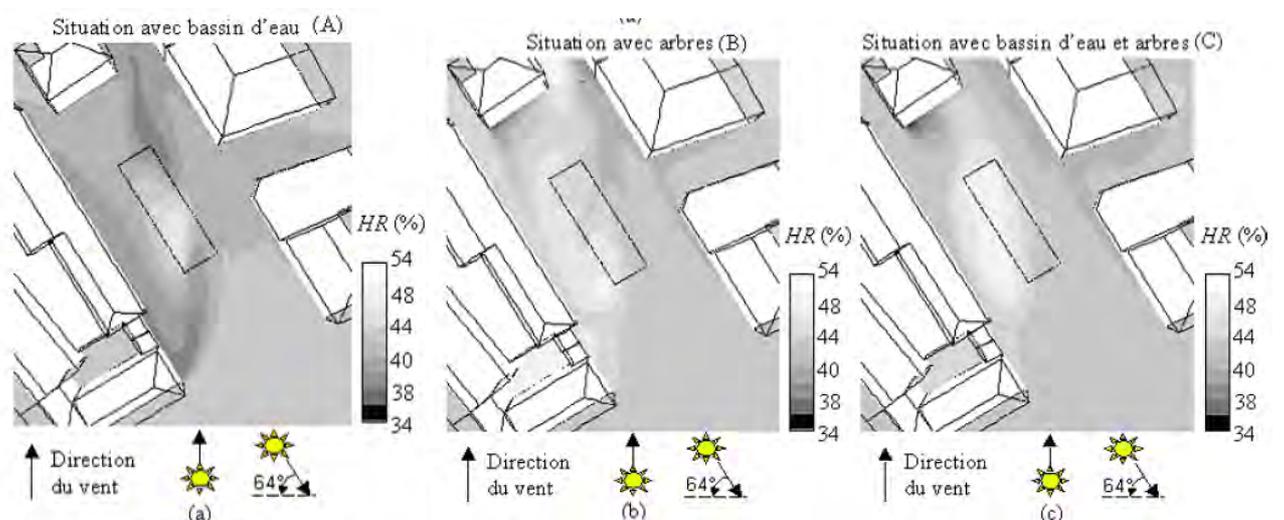
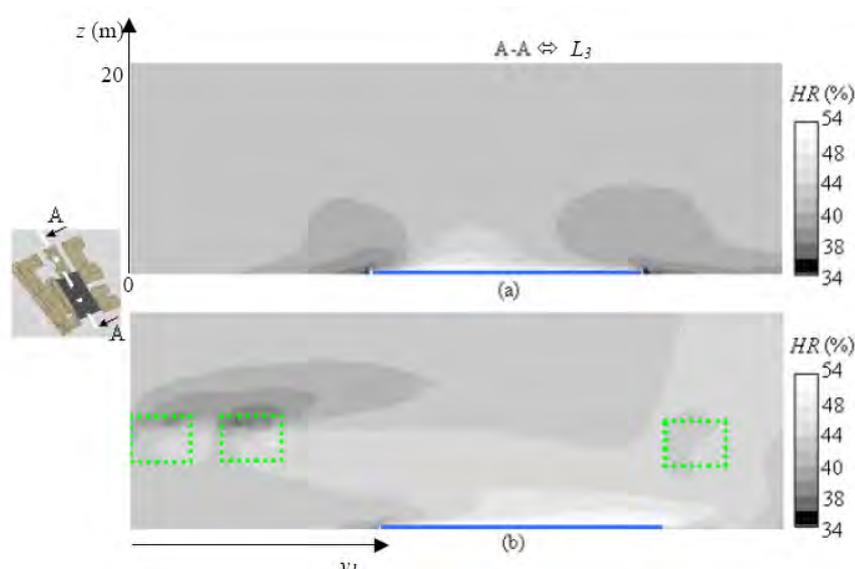


FIG.V.28 : Valeurs de l'humidité relative de l'air à 1,5m du sol a) avec bassin, b) avec arbres, c)avec bassin et arbres. (Source : Mirela Robitu, 2005).

La figure.V.29.a présente le champ de l'humidité relative de l'air à 12 h dans un plan vertical le long de l'axe du bassin, pour les situations avec bassin d'eau et sans arbres (cas A) et avec bassin d'eau et arbres (cas B et C). Nous remarquons une influence très localisée du bassin d'eau qui se traduit par une légère augmentation de l'humidité relative proche de la surface de celui-ci. Par ailleurs et pour le cas avec bassin d'eau et avec arbres (cas C), on retrouve sur le champ de l'humidité relative l'influence de la température de la couronne foliaire des arbres (Figure.V.29.b).



**FIG.V.29 : Valeurs de l'humidité relative de l'air dans un plan vertical du square situation avec bassin d'eau, b) situation avec bassin d'eau et arbres.**

(Source : Mirela Robitu, 2005).

Les résultats obtenus montrent que les zones avec de fortes valeurs d'humidité spécifique correspondent aux zones à des faibles vitesses de vent et vice-versa car le vent favorise le transport de l'air humide. Nous remarquons une influence du bassin d'eau (cas A) qui se traduit par une augmentation de l'humidité spécifique de l'air au-dessus du bassin. Par ailleurs, on retrouve l'influence des arbres (cas B et C) qui se manifeste également par une augmentation de l'humidité spécifique mais dans un domaine plus important que dans le cas avec bassin d'eau (cas A).

#### **V-9-2-2-4-Effets des divers aménagements sur le confort thermique :**

Après les simulations thermo-aérauliques, nous disposons des paramètres nécessaires à la détermination des conditions de confort : la température de l'air et des surfaces, la vitesse et l'humidité relative de l'air. La température radiante moyenne a été déterminée en utilisant la méthode proposée par Vinet et Groleau (2000). Nous avons intégré cette température dans le calcul de l'indice de confort PMV.

Les calculs ont été effectués à 1,5 m du sol, pour un individu qui effectue une activité physique équivalente à 1 met, vêtu légèrement, c'est à dire avec une résistance vestimentaire égale à 0,5 clo.

#### V-9-2-2-4-1-Pour la température de l'air :

Les Figures.V.30 et .V.31 donnent la température de l'air et le module de la vitesse du vent à 1,5 m au-dessus du sol, de P2 à P5. Les résultats montrent que l'évolution de la température de l'air suit le même profil pour les 4 points d'analyse. Des variations sensibles de la température de l'air sont observables. Pour les points P4 et P5, l'influence des arbres se manifeste par une température de l'air plus faible pour les cas B et C par rapport au cas A.

#### V-9-2-2-4-2-Pour la vitesse du vent :

Si l'on observe l'évolution de la vitesse du vent (Figure .V.31), on constate que, les valeurs de la vitesse de l'air obtenues pour le cas avec bassin d'eau (cas A) sont inférieures à celles obtenus pour les cas avec des arbres (cas B et C). Lors de l'analyse de l'écoulement, nous avons noté que la présence de la végétation engendre une modification de l'écoulement de l'air. Nous retrouvons le même comportement de l'écoulement de l'air qu'au cours des tests de cohérence, à savoir une accélération de l'air au-dessous de la couronne végétale des arbres.

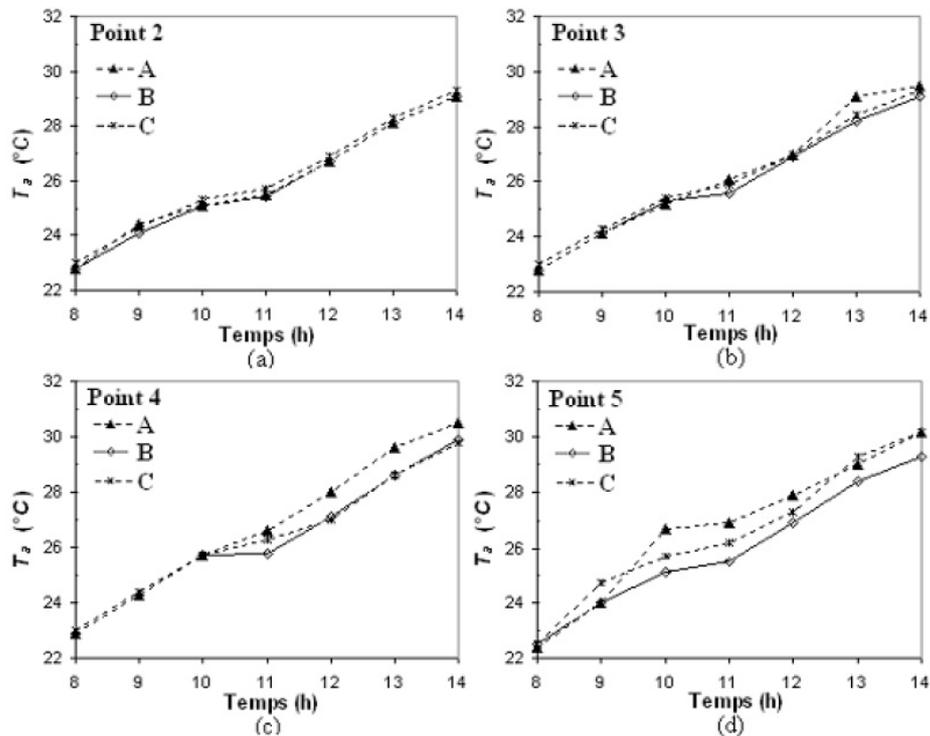


FIG.VI.30 : Profils de la température de l'air à une hauteur égale à 1,5 m pour les points P2 à P5 de la zone piétonnière. (Source : Mirela Robitu, 2005).

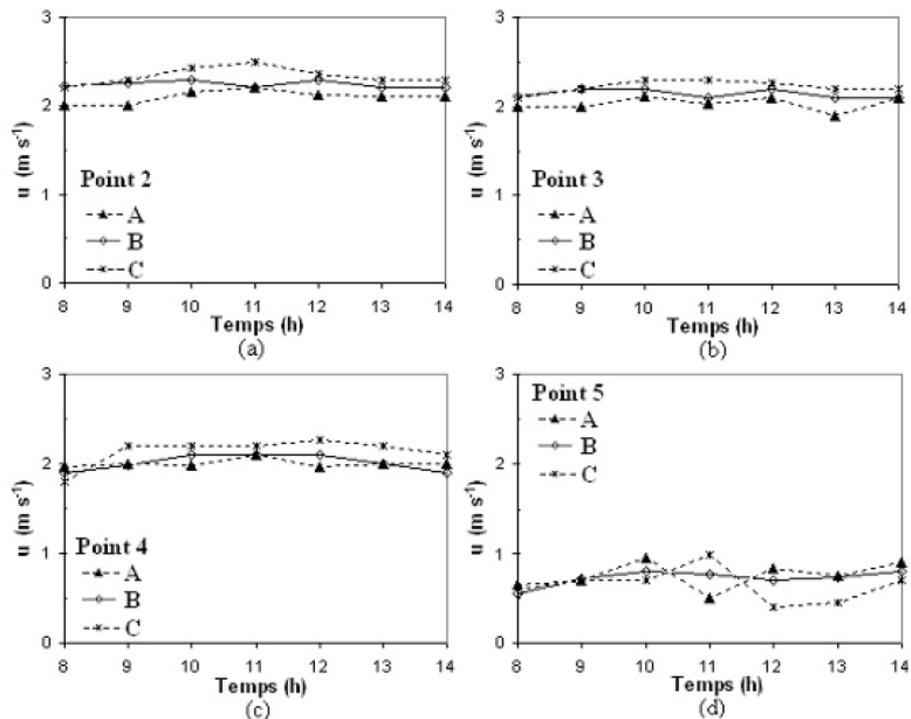


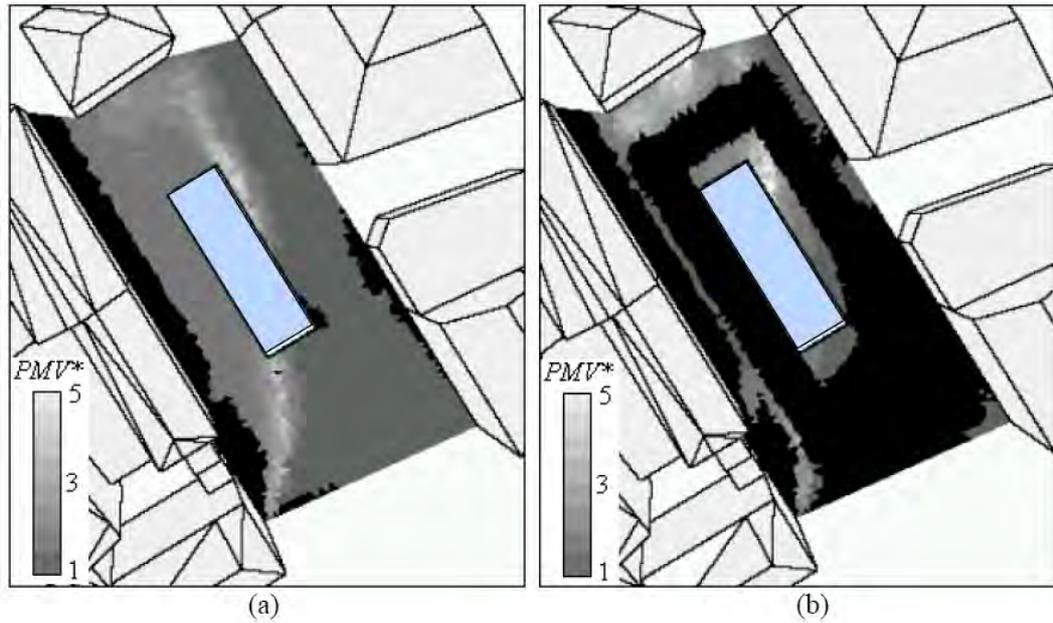
FIG.V.31 : Profils de la vitesse de l'air à une hauteur égale à 1,5 m pour les points P2 à P5 de la zone piétonnière. (Source : Mirela Robitu, 2005).

#### V-9-2-2-4-3-Pour le PMV :

La Figure.V.32 montre l'indice *PMV* pour la zone piétonnière à 1,5 m au-dessus du sol, à 12 h dans deux situations différentes : square avec bassin d'eau (cas A) et square avec arbres (cas B).

Si l'on observe quelles sont les parties de la zone piétonnière qui ont une valeur de l'indice *PMV* inférieure à 1 (la zone de confort correspond à des valeurs de l'indice *PMV* inférieures à 1), on constate que ces zones correspondent notamment aux parties des surfaces ombragées par les arbres et les bâtiments et aux zones avec de fortes vitesses du vent (partie droite du square avec bassin d'eau, Figure V.32.a).

Du fait que la vitesse du vent influe sur les échanges de chaleur sensible et latente, elle influe sur l'indice *PMV*. Les valeurs de l'indice *PMV* pour les autres zones sont supérieures à 1 ; les valeurs maximales obtenues correspondent aux zones avec de faibles valeurs de la vitesse de l'air.



**FIG.V.32 : Valeurs de l'indice PMV à 1,5 m au-dessus du sol (en noir : zones qui ont une valeur de PMV comprise entre 0 et 1). a) situation avec bassin d'eau (cas A), b) situation avec arbres (cas B). (Source : Mirela Robitu, 2005).**

La Figure. V.33 donne les valeurs de l'indice PMV à 1,5 m au-dessus du sol pour une personne se trouvant sur les points P2 à P5.

A l'exception du point P4, les valeurs de l'indice PMV obtenues pour les situations avec arbres (cas B et C) montrent une réduction significative comparée à celles obtenues pour la situation sans arbres (cas A). La valeur maximale de l'indice PMV à 14 h est environ égale à 3,4 (P4) pour la place avec bassin d'eau (cas A) et à 0,54 pour la situation avec arbres et bassin d'eau (cas B). Enfin, nous remarquons la très grande similitude des résultats entre les cas B et C.

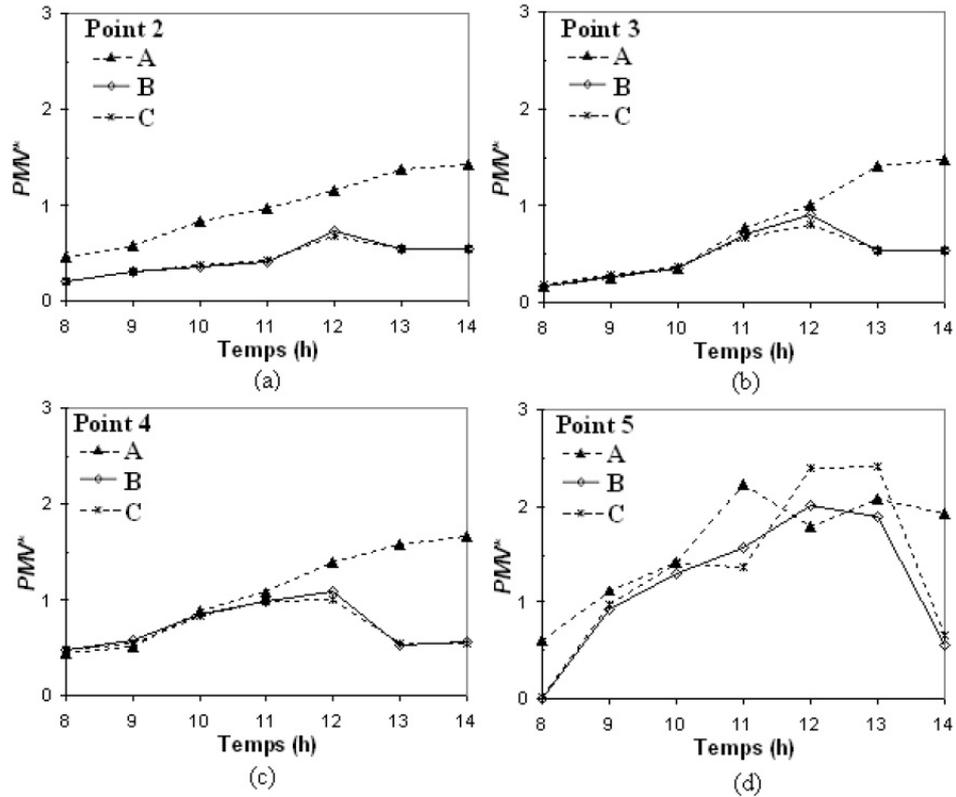


FIG.VI.33 : Valeurs de l'indice PMV à 1,5 m au-dessus du sol pour les points P2 à P5.  
(Source : Mirela Robitu, 2005).

### V-9-2-3-Conclusion de l'étude :

Par rapport à d'autres surfaces artificielles, la présence de bassins d'eau et de végétation au sein du milieu urbain diminue la température de l'air par évaporation et évapotranspiration d'eau. En outre, la végétation réduit la température des surfaces environnantes par l'ombre qu'elle produit. Les surfaces à l'ombre avec des températures plus faibles que les autres surfaces de la scène urbaine émettent moins de rayonnement de grande longueur d'onde et le transfert de chaleur vers l'intérieur des bâtiments est diminué réduisant de ce fait les consommations énergétiques des bâtiments pour le refroidissement en période d'été. Il est communément admis qu'il est difficile d'évaluer la réduction d'énergie due à la présence d'un bassin d'eau ou de végétation. Elle dépend du rapport de la surface de l'eau, du volume de la végétation, de la position par rapport aux bâtiments et des surfaces urbaines, de la géométrie et des matériaux des bâtiments ainsi que des vents dominants.

## **V-10-Conclusion :**

Après avoir abordé le rôle de la végétation en ville il est intéressant de remarquer que l'association de l'eau et de la végétation semble indissociable ou tout du moins représente la meilleure complémentarité dans un environnement urbain minéral.

La représentation islamique du paradis inclut un jardin des plaisirs et des fontaines. L'eau se manifeste dans les fontaines, les cascades, les canaux, les bassins pour « rafraîchir, humidifier et pour atteindre des effets visuels dynamiques et tranquilisants »<sup>133</sup>. A ce titre, les jardins et les palais de Grenade nous offrent une quantité de site où le rôle de l'eau associée à une végétation abondante est conséquent sur les ambiances perçues.

L'eau est source de vie et d'énergie, symbole de purification et de régénération dans toutes les traditions. Au cours du temps, la relation entre l'eau et les hommes a varié d'une société à une autre et d'une culture à une autre. L'eau fournit non seulement une base pour l'existence de l'homme et un défi continu de régularisation de son utilisation, mais on la considère comme une source de symbolisme métaphysique, plaisir esthétique et valeur thérapeutique. Les architectes utilisent l'eau comme élément dans la conception.

Chacun a probablement vu des fontaines d'eau dans les bâtiments publics, les parcs et dans les maisons privées. L'objectif de la construction d'une fontaine peut être d'embellir l'environnement, de refroidir par évaporation, de créer des effets spéciaux, de masquer le bruit du trafic et d'aider à la relaxation.<sup>134</sup>

Il est également intéressant de remarquer que de nos jours, les stratégies de climatisation passive en extérieur développent des dispositifs favorisant l'évaporation de l'eau. Ainsi, les jets d'eau, les brumisateurs et les tours de refroidissement apportent des solutions au contrôle thermique d'espace, en situation climatique chaude.

---

<sup>133</sup> **Vian, C et al. :** L'Alhambra de Grenade. Edition Atlas, 1983.

<sup>134</sup> **Leguay, J.-P. :** L'eau dans la ville au Moyen âge. Presses universitaires de Rennes, 2002.

# **Chapitre VI**

L'investigation

## **VI-1-Introduction :**

La première partie de ce chapitre fût une sorte d'introduction en vue de cerner tous les éléments susceptibles de nous aider à comprendre notre sujet à savoir cet impact -tant recherché par nos ancêtres et autres civilisations-, de l'eau et de la végétation pour adoucir le rude impact du climat.

Mais la meilleure méthode de vérifier les hypothèses de cette étude, est sûrement le recours à l'investigation. Pour ce cas, cette approche est plus avantageuse que la méthode théorique qui repose sur les similitudes, les comparaisons et la quantification des problèmes qui pourront être provoqués dans les mêmes circonstances. L'investigation fournit un outil opérationnel et pratique qui permet d'acquérir des résultats observables et proches à la réalité, sans se perdre dans les illusions et les prévisions.

Cet outil est utilisé sans la deuxième partie dans le but de consolider nos hypothèses et une investigation est menée dans la ville de Sétif et plus exactement dans la place de Ain El Fouara (Place de l'indépendance) certainement l'un des espaces publiques les plus reconnues dans cette ville, et par la même les motivations du choix du site.

Pour ce mettre dans le contexte climatique de cette investigation, une analyse climatique et bioclimatique de la ville est avancée, pour ensuite procéder à une analyse à l'échelle du microclimat et pour cela une campagne de mesure des paramètres les plus pertinents à savoir : la température de l'air, l'humidité et la vitesse des vents. Ces données trouvées au sein de notre site seront comparées à celles de la station météo.

Un autre outil est utilisé dans cette investigation et qui n'est pas le moins important, le questionnaire. Contrairement aux mesures sur terrain qui nous donnent un aperçu quantifiable du confort le questionnaire quand à lui touche la dimension qualitative du confort (notion d'ambiance), et qui est en relation avec l'utilisateur.

Viendra consolider notre investigation, une simulation effectuée à l'aide du logiciel Envi-met largement utilisé dans ce genre d'études, avec plusieurs scénarios de présences de l'eau et de la végétation .Les résultats obtenus à partir de cette simulation seront à leur tour comparés entre eux, et avec les résultats des mesures sur terrain.

Enfin de chapitre nous aurons des résultats opérationnels et concrets qui pourront être des recommandations et des solutions pour des tissus déjà existants qui souffrent d'une multitude de problèmes ou dans de nouvelles conceptions urbaines et architecturales.

## VI-2-Présentation de la ville de Sétif :

La Wilaya de Sétif se situe au Sud-Est par rapport à la capitale du pays, elle est desservie dans le sens Ouest-Est par la route Nationale N° :05 et Nord-Sud par la route nationale N° 09.

Géographiquement, elle est située entre 36°50 et 35° de l'altitude Nord et entre 5° de longitude Ouest et 6° de longitude Est.

Le chef lieu de la wilaya ayant pour coordonnées 36°11'N pour la latitude et 5°24' E pour la longitude, et s'élevant à une hauteur de 1100m.

La Wilaya de Sétif est limitée :

- Au nord, par les Wilayas de Bejaia et Jijel.
- A l'Est, par la Wilaya de Mila
- Au Sud, par les Wilayas de Batna et M'sila.
- A l'Ouest, par la Wilaya de Bordj Bou-Arreidj

La Wilaya s'étend sur une superficie de 6.504 Km<sup>2</sup> soit 0,27 % du territoire National.



FIG.VI.1 : Situation géographique de la ville de Sétif.

(Source : Encarta, 2006)

### VI-3-Les différents paramètres climatiques :

#### VI-3-1-La température :

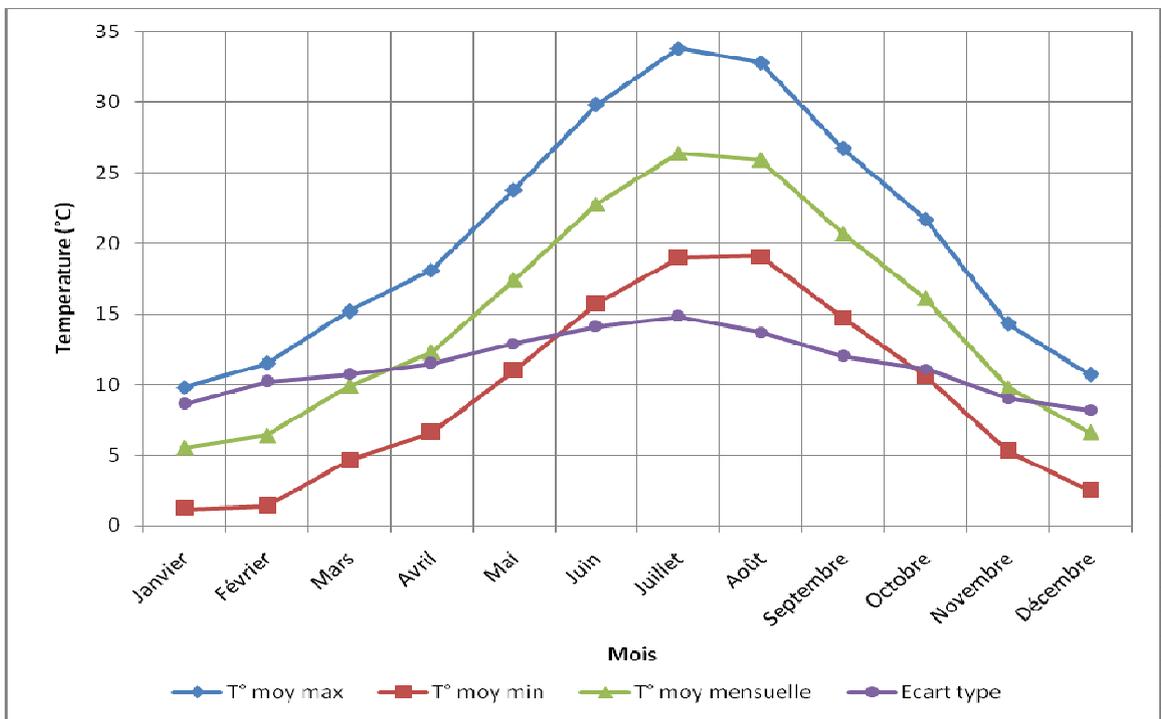


FIG.VI.2 : Données descriptives des températures moyennes mensuelles en °C à Sétif, Période (1990 - 2000). (Source : auteur)

#### VI-3-2-L'humidité relative :

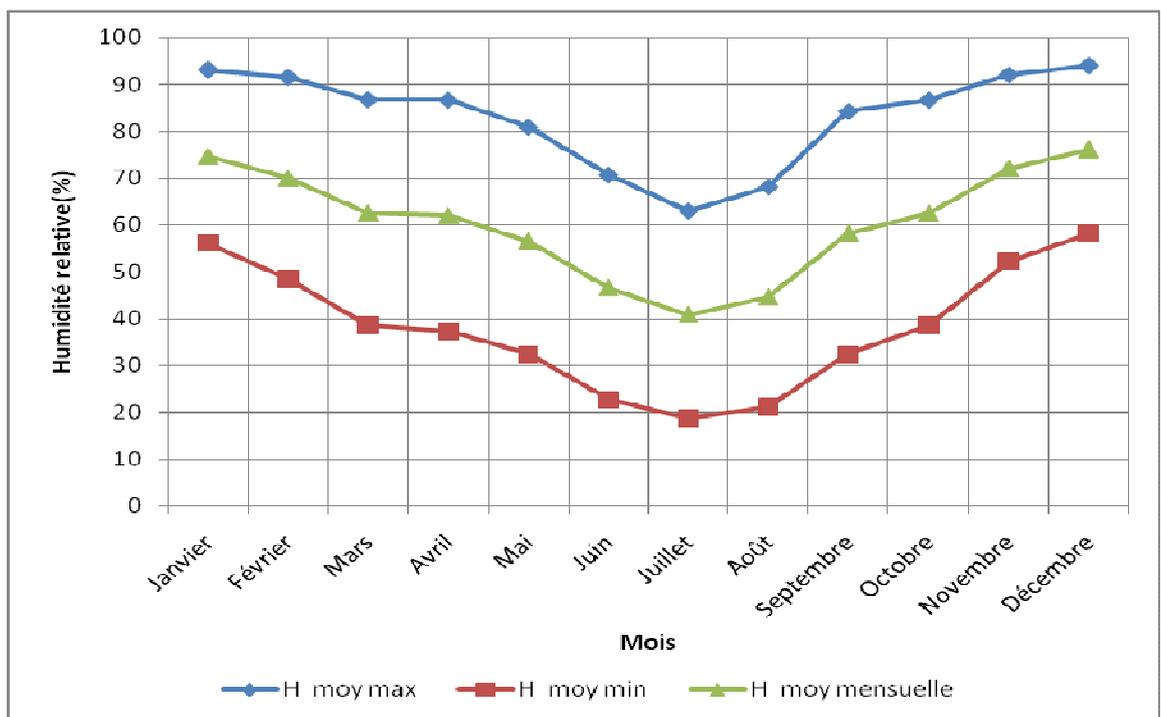


FIG.VI.3 : Données descriptives de l'humidité relative en (%) de ville de Sétif. Période 1995-2005. (Source : auteur)

### VI-3-3-La vitesse des vents :

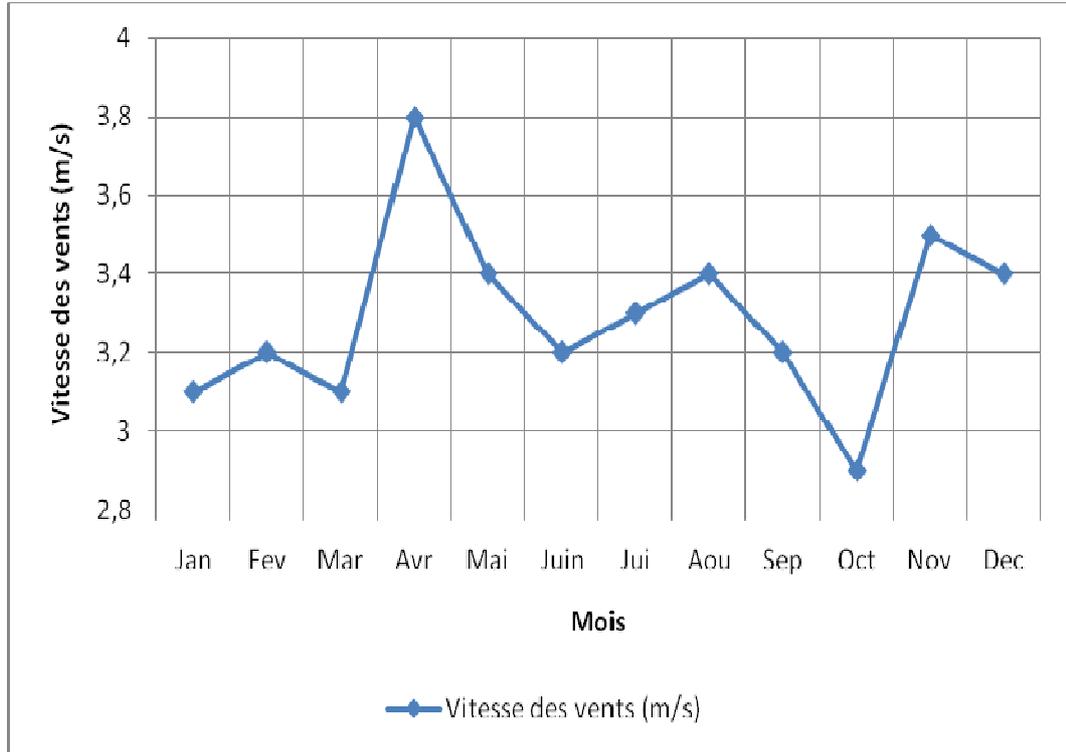


FIG.VI.4 : Moyenne mensuelle des vitesses de vent en (m/s) à Sétif entre 1995-2005.

(Source : auteur)

### VI-3-4-Les précipitation :

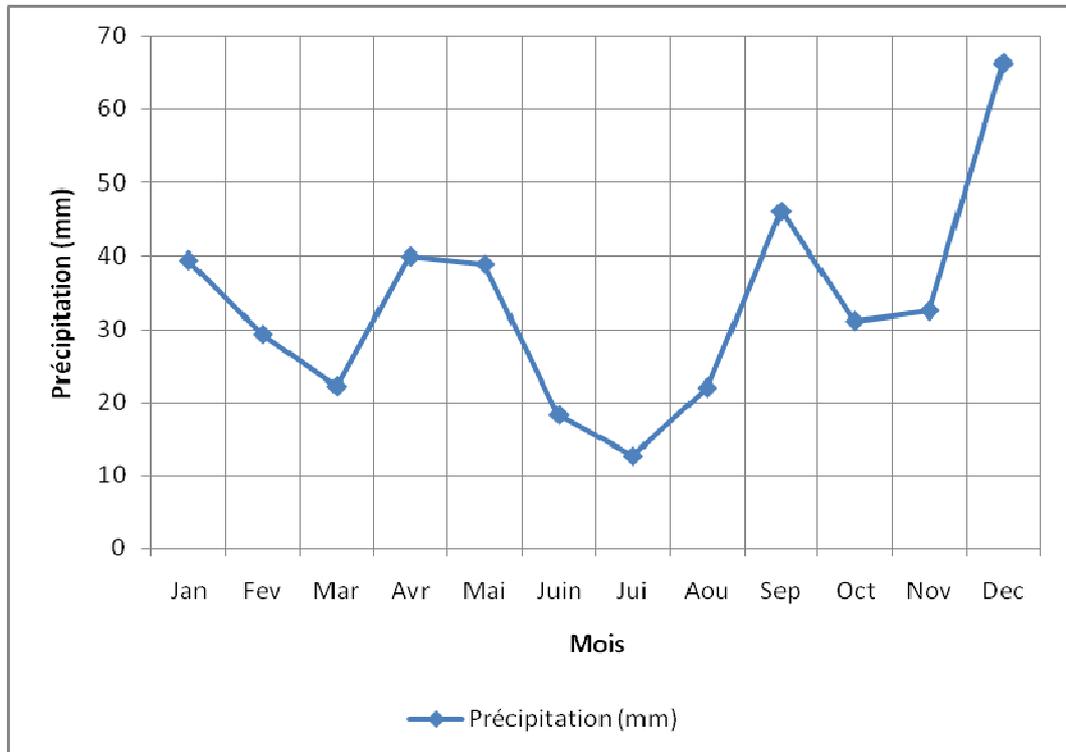
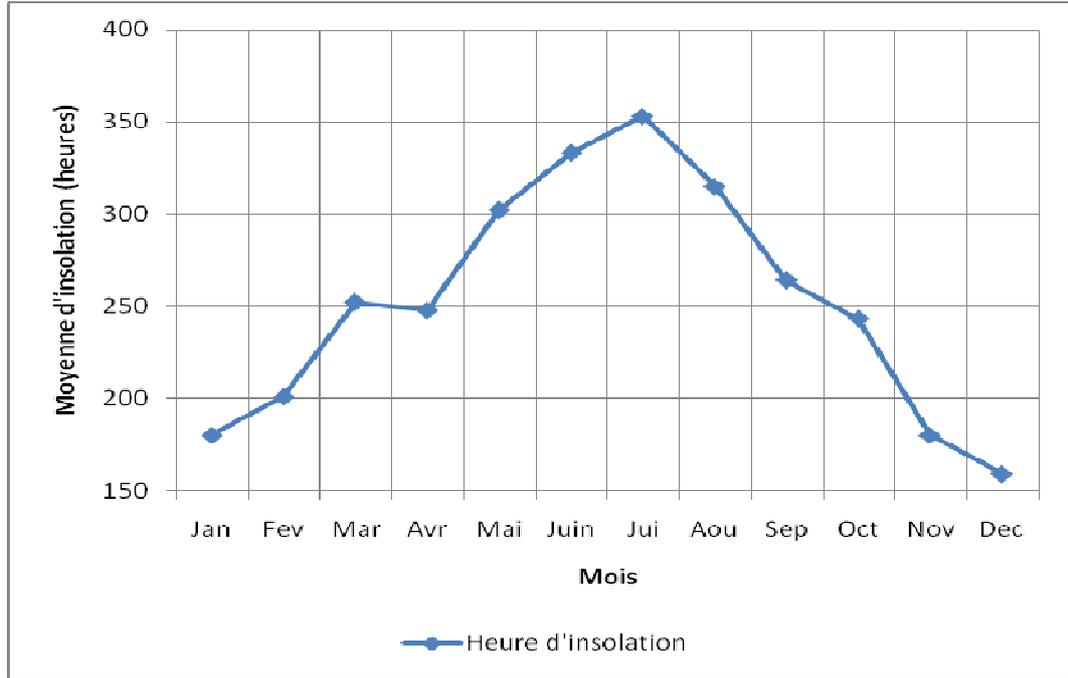


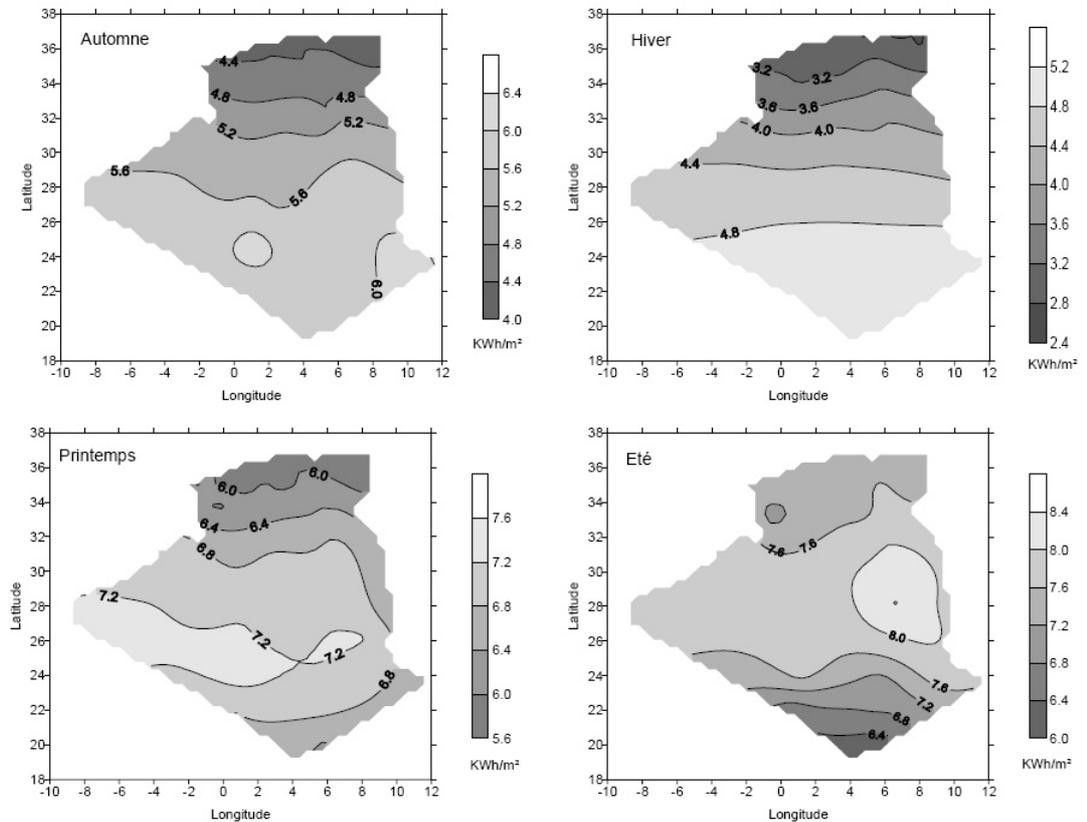
FIG.VI.5 : Précipitation annuelle entre 1995-2005 à Sétif. (Source : auteur)

**VI-3-5-L'insolation :**



**FIG.VI.6 :** Moyenne mensuelle de l'insolation en heure à Sétif entre 1995-2005. (Source : auteur)

**VI-3-6-L'irradiation globale :**



**FIG.VI.7 :** Cartographie de l'irradiation globale simulée par ciel moyen pour les quatre saisons.

(Source : Atlas solaire de l'Algérie, 1985)

### VI-3-7-Calcul de l'indice d'aridité de MARTONE :

$$I_m = P / (T + 10)$$

**I<sub>m</sub>**: indice d'aridité.

**P** : précipitations annuelles.

**T** : température moyenne annuelle.

$$I_m = 398.9 / (15 + 10) = 15.96$$

La lecture caractéristique de cet indice se fait de la manière suivante

Lorsque :

$I_m < 05$                       climat hyper aride.

$05 < I_m < 10$                 climat aride.

$10 < I_m < 20$                 climat semi aride.

$20 < I_m < 30$                 climat semi humide.

$30 < I_m < 55$                 climat humide.

**$I_m = 15.96$       donc    $10 < I_m < 20$**

Nous pouvons dire que le climat de la ville de Sétif est un climat **semi aride**.

Donc le climat de Sétif à travers les données est un climat semi aride.

Notamment pour créer des conditions de confort, surtout liées à la distribution de la chaleur et aux risques de surchauffes en été et de froid en hiver, on doit insister sur les éléments suivants :

-Hautes intensités des radiations solaires.

-Température d'air diurne élevée.

-Humidité et précipitation moyenne.

Donc les actions à entreprendre sont :

-Des apports de chaleur pour les périodes froides.

-Une protection du rayonnement solaire pour éviter les surchauffes surtout en été.

### VI-3-8-Diagramme ombrothermique de GAUSSEN :

Le diagramme ombrothermique de Gaussen permet de calculer la durée de la saison sèche. Il tient compte de la pluviosité moyenne mensuelle et la température moyenne mensuelle qui sont portées sur des axes où l'échelle de la pluviosité est double de la température.

On peut distinguer 2 saisons :

-Dans le cas où la courbe des pluies passe au-dessous de la courbe des températures, cette allure permet de constater que la période humide s'étale le long de l'année avec une intensité max au mois de Décembre. (Figure.VI.8).

-Dans le cas la courbe des pluies passe au-dessus de la courbe des températures, cette allure permet de constater que la période sèche s'étale le long de 5 mois (fin Mai-début Septembre) avec une intensité max au mois de juillet. (Figure.VI.8).

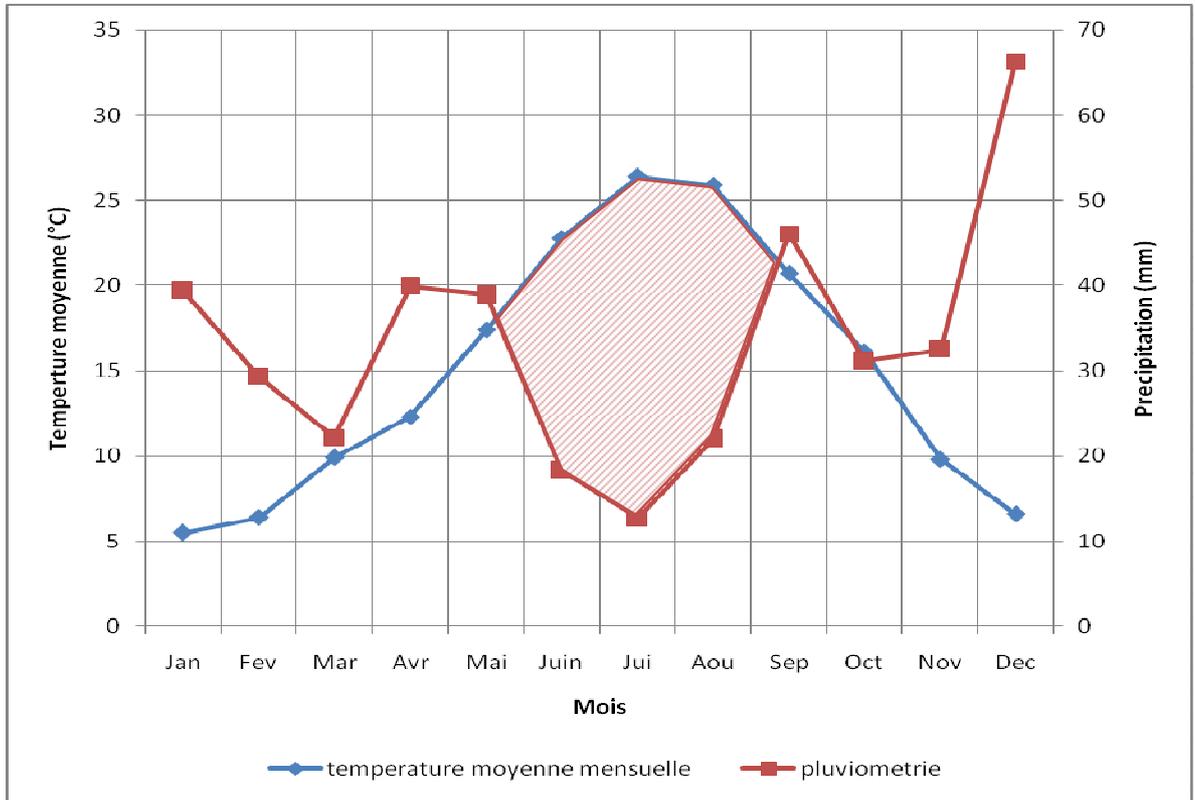


FIG.VI.8 : Diagramme ombrothermique de la ville de Sétif (Source : auteur)

### VI-3-9-Quotient pluviométrique d'EMBERGER

Il permet de connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude.

En abscisse la moyenne des minima du mois le plus froid ; pour Sétif elle est de **1.2°C**.

En coordonnées le quotient pluviométrique (**Q2**) d'Emberger ;

Nous avons utilisé la formule de STEWART (1969) adapté pour l'Algérie, qui se présente comme suit :

$$Q2 = 3.43 P / M - m$$

**P** : pluviométrie moyenne annuelle (en mm).

**M** : moyenne des maxima du mois le plus chaud.

**m** : moyenne des minima du mois le plus froid.

L'indice **Q2** calculé par cette formule est égal à **22.8**.

Le climagramme considère qu'une région est d'autant plus sèche lorsque le quotient est plus petit.

L'emplacement de cet indice sur le climagramme d'EMBERGER, nous a permis de situer Sétif dans l'étage bioclimatique Semi aride à hivers frais (Figure.VI.9).

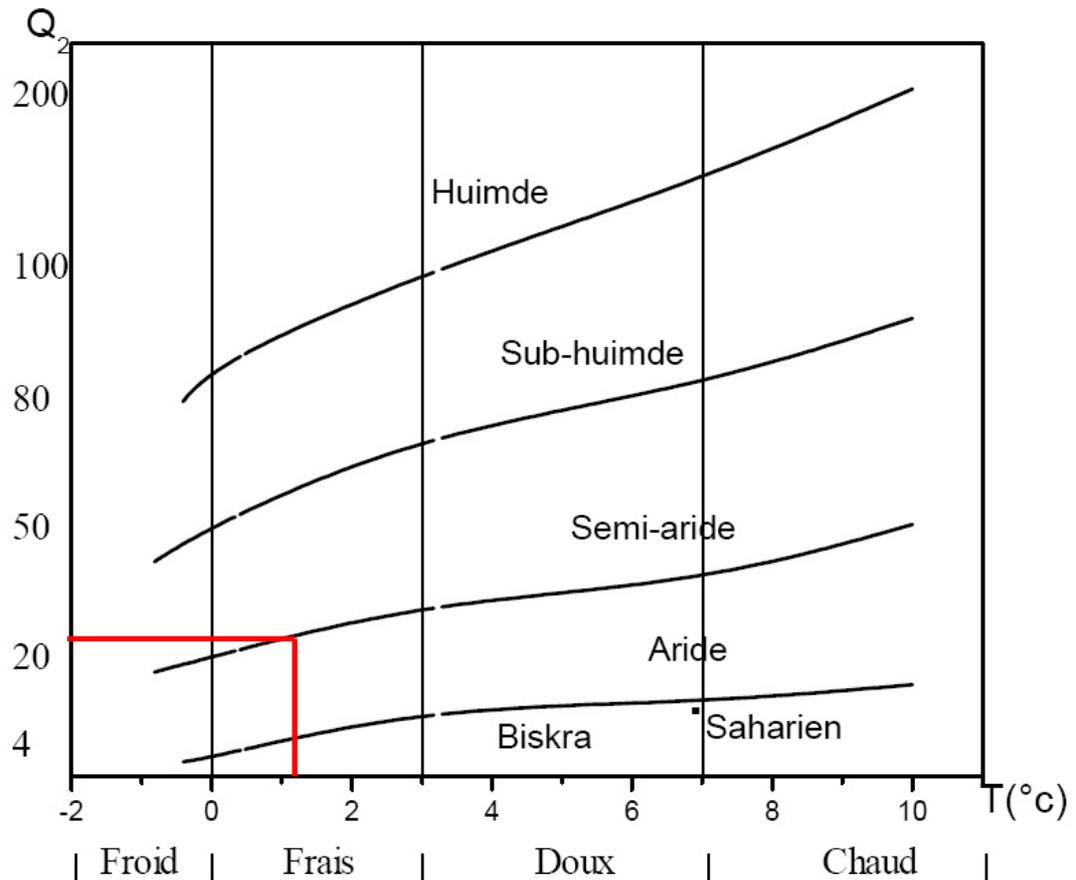


FIG.VI.9 : Climagramme d'EMBERGER de la région de Sétif.

(Source : <http://www.fao.org>)

### VI-3-10-Conclusion :

Le climat de la ville de SETIF peut être identifié selon des aspects qualitatifs mais peut être appréciée grâce à des données quantitatives à l'orientation de la construction, différents facteurs influents sur son climat.

-La région de Sétif (Hauts plateaux) a un climat continental semi aride, elle se caractérise par un volume important de précipitations pendant les saisons pluviales.

-La belle saison chaude, ne connaît par contre que de rares pluies, et des températures qui sont excessives en pleine saison estivale entre Juin et Aout avec des variations mensuelles de 22.8°C à 26.4°C.

Les pluies se manifestent essentiellement en automne et en hiver.

La précipitation annuelle moyenne de 398,9 mm fait de cette wilaya l'une des régions moyennement arrosées du pays.

D'après cette analyse il se révèle que le climat de Sétif est :

-Peu humide et froid durant la saison hivernale, chaud et sec en été avec des températures élevées et des températures diurnes faibles en été.

#### **VI-4-Motivation du choix du site :**

Le choix du site pour notre étude porte sur l'un des espaces les plus importants et les mieux connus de la ville de Sétif, et qui est la place de Ain El Fouara.

Cette place fait partie du centre ville coloniale, au milieu d'un vieux tissu de plus de 160 ans. (Figure. VI.14)

Ce choix est le résultat d'un simple constat, du regroupement permanent de gens dans cette place généralement et autour de la fontaine de Ain El Fouara plus spécialement.

Cette place est située au centre ville et la présence des commerces amène le passage, voire le repos, des piétons dans ce lieu.

De plus, Cette place qui est un espace minéral ouvert avec un point d'eau et de la végétation abondante, nous donnera l'opportunité de vérifier notre hypothèse sur le rôle jumelé de ces deux éléments en terme de microclimat et de confort, sur terrain vu la rareté des sites offrant de telles opportunités.



**FIG.VI.14 : Situation du site d'investigation : La place de Ain El Fouara.**  
(Source : Google earth)

## **VI-5-Présentation de la place de Ain El Fouara :**

### **VI-5-1-La forme :**

La place Ain El Fouara est caractérisée par un tracé géométrique régulier de forme rectangulaire (70mx80m), correspondant au tracé général de la ville. Résultant de l'élargissement de l'axe principal de la ville (Est-Ouest), la place est délimitée au Nord et au Sud par des arcades qui abritent des commerces, assurant ainsi une continuité avec celle de l'axe principal (8 Mai 45), à l'ouest par la mosquée et la mairie et à l'Est par le monument de la fontaine qui participe dans la composition qui structure la place et duquel elle détient son nom. L'existence des rues de part et d'autre du monument structure et organise le flux mécanique isolant ainsi le monument de la configuration de la place en créant des sous espaces sans cohérence apparente lui attribuant la fonction de rond-point. La disposition des bâtiments, dont le gabarit est-en premier temps-homogène à l'exception de la mosquée par la présence d'un minaret élané servant de repère.

La place Ain El Fouara a connue des transformations importantes, à cause de l'avènement de nouvelles constructions tel que les deux hôtels ; ER'RABII au sud et EL REGANE au nord.

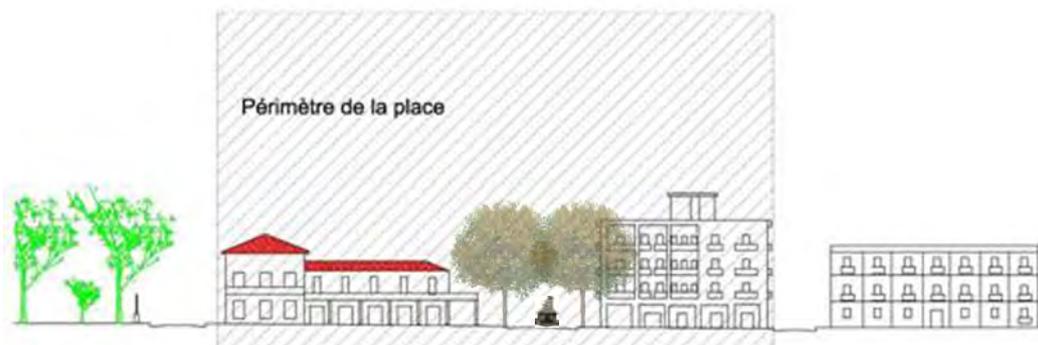
Le fait important se situe au niveau de l'intervention sur le dessin du sol ou l'on peut remarquer la création de parkings par l'élargissement des rues bordant le mouvement diminuant du coup l'espace des piétons et le terre-plein adjacent à la fontaine accentuant son rôle de carrefour.



**FIG.VI.15 : Site d'investigation : La place Ain El Fouara .**  
(Source : Google Earth)



**FIG.VII.16 : profil Ouest de la place Ain El Fouara. (Source : auteur)**



**FIG.VI.17 : profil Est de la place Ain El Fouara. (Source : auteur)**



FIG.VI.18 : profil Sud de la place Ain El Fouara. (Source : auteur)



FIG.VI.19 : profil Nord de la place Ain El Fouara. (Source : auteur)

#### VI-5-2-Le vécu :

Toutes les fonctions de la place reposent sur un rôle fondamental : accueillir, rassembler la foule sur des rythmes variés. La place Ain El Fouara est un centre où cohabitent plusieurs activités. Elle est le lieu de rencontre de différentes catégories sociales justifié par : la présence de la mosquée, la fontaine, les administrations, les commerces et les cafés.

Le développement de la ville a imposé la création de différents équipements plus importants et l'éjection des équipements administratifs hors de cette place, transposant les flux en d'autres lieux, malgré cela le rôle de cette place ne se résume pas qu'aux simples fonctions secondaires, et l'engouement du public vers cet espace reste le même si ce n'est encore plus.

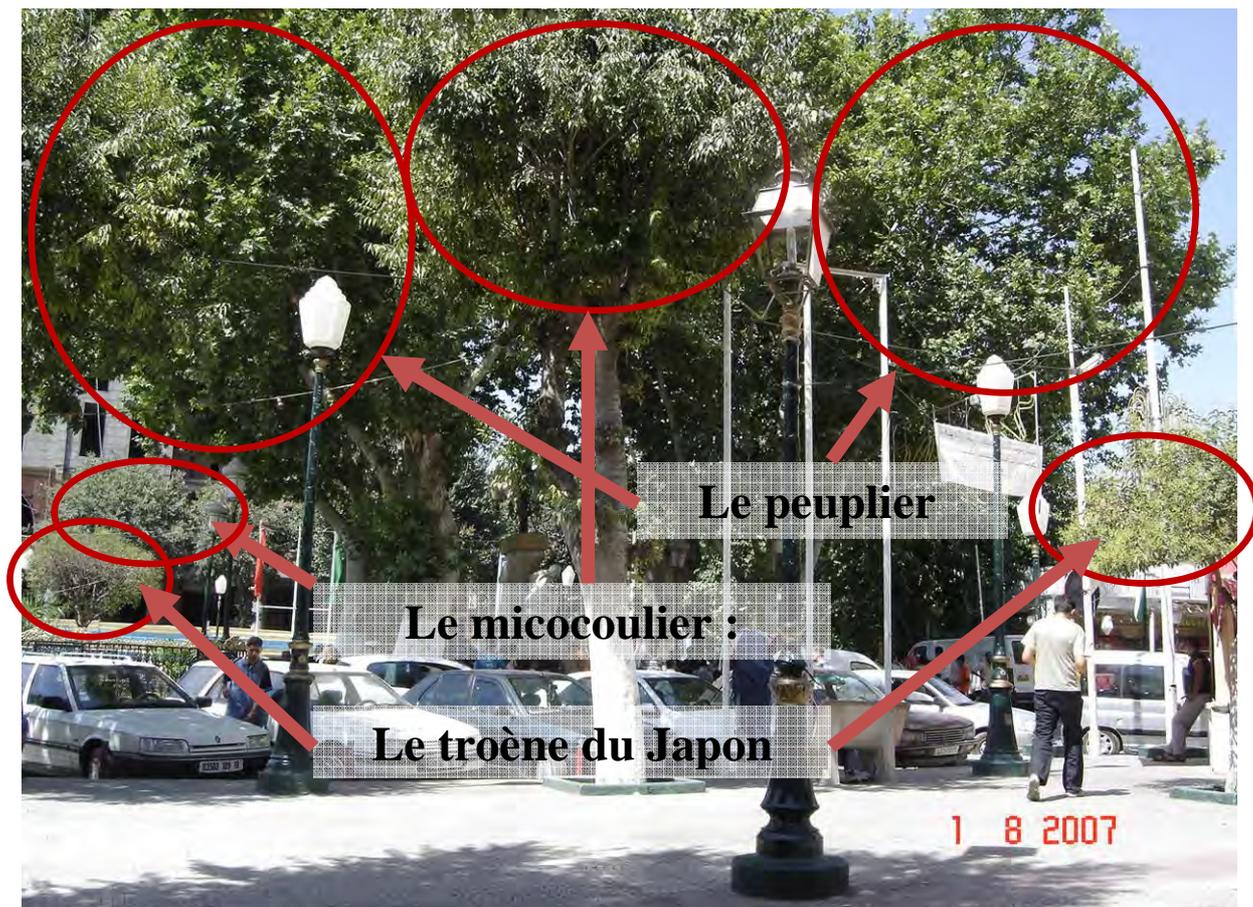
A l'origine cœur de la ville, Ain El Fouara est devenue une partie du nouveau centre élargi à tout le noyau historique, ses fonctions devraient être réduites à celles d'un quartier réservées à ses propres habitants ou à quelques nostalgiques, mais cela n'est pas le cas car de plus en plus de gens le visite, qu'ils soient d'autres quartiers de la ville, ou encore étrangers de la ville de Sétif.

Depuis des années, la place et la fontaine continuent d'être le point d'attraction pour les visiteurs de la ville, ils représentent la mémoire collective de Sétif.

Les espaces extérieurs des cafés débordent sur les arcades (espaces extérieurs des cafés débordant) et sur des fragments de la place (espace public) la partie adjacente à la mosquée ne connaît d'animation qu'aux heures de prière de l'après-midi.

### **VI-5-3-Les avantages de la place :**

- 1/ L'emplacement de la place dans la ville, fait d'elle un espace de transition pour un important flux mécanique et piéton.
- 2/ Elle a une position stratégique dans la ville, qui influe directement sur sa fréquentation.
- 3/ Elle reste l'espace dominant dans la structure urbaine.
- 4/ L'existence des éléments exceptionnels dans cette dernière, tel que la mosquée El Atik et la salle des fêtes avec leur propre identité historique.
- 5/ Une fontaine qui bénéficie d'une valeur symbolique extrêmement élevée dans la mémoire collective. (Elle joue le rôle d'un outil d'une pratique socio-symbolique très riche) et elle sert à identifier la place et constitue le symbole de la ville de Sétif, comme elle apaise la soif des passants pendant les journées de canicule.
- 6/ Diversité de la structure du tissu au sein de la place, offrant ainsi des zones avec beaucoup de végétation et d'autres où la végétation est inexistante.
- 7/ L'opportunité de s'arrêter et de se regrouper au sein de cette place est présente que ce soit grâce aux bancs, tables de café ou autres aménagements.
- 8/ La végétation y est très abondante ce qui devrait apporter un plus dans le confort des usagers, les protégeant ainsi des rayonnements solaires intenses et contribuant à la diminution de la température, et à l'humidification de l'air. On peut noter que les arbres présents dans la place sont : Le peuplier (dont les quatre arbres centenaires), le troène du Japon et le micocoulier (Cf. Figure.VI.20).



**FIG.VI.20 : Arbres présents dans la place de Ain El Fouara.**

(Source : Auteur)

## **VI-6-Interprétation et analyse des mesures In-situ :**

### **VI-6-1-Introduction :**

Ce chapitre concerne les mesures climatiques in situ, nous allons entamer à ce stade de l'étude une campagne de mesures de paramètres physiques pendant trois journées significatives, et on choisira par la suite une journée type où il règne une certaine chaleur ambiante qui nous permettra de montrer les différences microclimatique à travers la place, et cela au niveau de quatre points de mesure qui ont chacun leurs caractéristiques.

Nous comparerons ensuite les résultats des mesures entre eux d'une part et avec les mesures enregistrées à la station météorologique d'Essfiha (périphérie de la ville) d'autre part en essayant de montrer l'impact de la couverture végétale sur l'amélioration du microclimat urbain de la zone présentant le plus grand taux de végétal.

Un questionnaire est aussi utilisé dans cette campagne auprès des utilisateurs afin de déceler les paramètres de confort qu'ils soient quantifiables ou non. Pour cela un certain nombre de questions sont élaboré et poser à 48 personnes ce trouvant dans cet espace, la plupart d'eux sont des utilisateurs des café alentours, vue qu'ils étaient plus accessibles et plus disponibles que les passant.

### **VI-6-2-La campagne de mesure :**

Trois campagnes de mesures des éléments climatiques ont été effectués sur le site de la place de Ain El Fouara, la première campagne de mesures à été effectuée le 30 juillet 2007 pendant une journée ensoleillée, la seconde le 31 juillet 2007 et la troisième le 1 Août 2007.

Les trois campagnes de mesures ont été effectués dans des journées à conditions météorologiques typiques à la saison estival afin d'éviter toute fluctuation journalière ; temps ensoleillé, peu venté et ciel dégagé la collecte des données c'est faite avec pour référence les indications de la station météorologique d'Essfiha située à 3km du site d'étude.

Les mesures étaient horaire à partir de 06h00 du matin jusqu'à 20h00 du soir, ce qui permet d'obtenir les valeurs de tous les paramètres climatiques mesurés (Tair, HR, Vvent) au sein de l'espace considéré en plus de ceux enregistrés par la station météo d'Essfiha .Ceci permettra de comparer les mesures des 4 stations -entres elles - d'une part et la station météo d'une autre part.

Chaque mesure horaire durait entre 5 et 10 minutes, ce qui est favorable à la stabilité des paramètres climatiques et cela grâce à la proximité de 4 points de mesure les uns des autres.

### **VI-6-2-1-Les appareils de mesures :**

#### **VI-6-2-1-1-Thermo-hygromètre :**

Le thermo hygromètre est un appareil qui permet à la fois de mesurer la température de l'air (généralement en °C) et l'humidité relative (en % du seuil de saturation). Il comporte une sonde thermique et un hygromètre, la lecture de ces deux paramètres se fait directement sur un cadran numérique.

#### VI-6-2-1-2-Appareil multi mesure Thermotech :



FIG.VI.21 : Appareil multi mesure Thermotech. (Source : auteur)

#### VI-6-2-1-3-Thermo-anémomètre avec sonde Testo 425 :

Le thermo hygromètre est un appareil qui permet à la fois de mesurer la température de l'air (généralement en °C) et la vitesse du vent (en m/s). Il comporte une sonde thermique et un Anémomètre, la lecture de ces deux paramètres se fait directement sur un cadran numérique.

Il permet de calculer la moyenne temporelle ou ponctuelle, la température, ainsi que le débit mesuré, permet une analyse du débit moyen. Les valeurs Min/Max peuvent également être affichées à l'écran, de même que la fonction hold permet de garder la valeur actuelle mesurée à l'écran. \*

Mesure de la température, vitesse d'air et débit volumique



FIG.VI.22 : thermo anémomètre avec sonde Testo 425. (Source : auteur)

### VI-6-2-2-Choix des points de mesure :

Le choix des points de mesure dans la place de Ain El Fouara c'est effectué selon une certaine logique, et cela dans le but de répondre aux hypothèses, et donc au sujet de la problématique.

Pour cela les mesures ont été effectuées en quatre (04) points réparties dans la place. Chaque point présente des caractéristiques physiques différentes des autres, et les critères de classification les plus importants sont : la présence de végétation, la proximité du point d'eau, l'exposition au rayonnement solaire.

Le choix des stations est donc le suivant :

\*Station S1 (partie nord de la place) : pas de masque solaire des constructions, masque important de la végétation, couloir de vent assez important, assez proche du point d'eau.

\*Station S2 (partie centrale de la place) : le plus proche possible de la fontaine, pas de masque solaire de construction présence de la végétation)

\*Station S3 (partie Sud de la place) assez loin de la fontaine, masque solaire des constructions alentours, présence moyenne de la végétation.

\*Station S4 (partie Ouest de la place) : inexistante des masque solaire (construction et végétation) loin du point d'eau, végétation inexistante autour, couloir de vent assez important.



FIG.VI.23 : les 4 stations et leur répartition dans la place. (Source : Google Earth)

### VI-6-2-3-Station météorologique de référence :

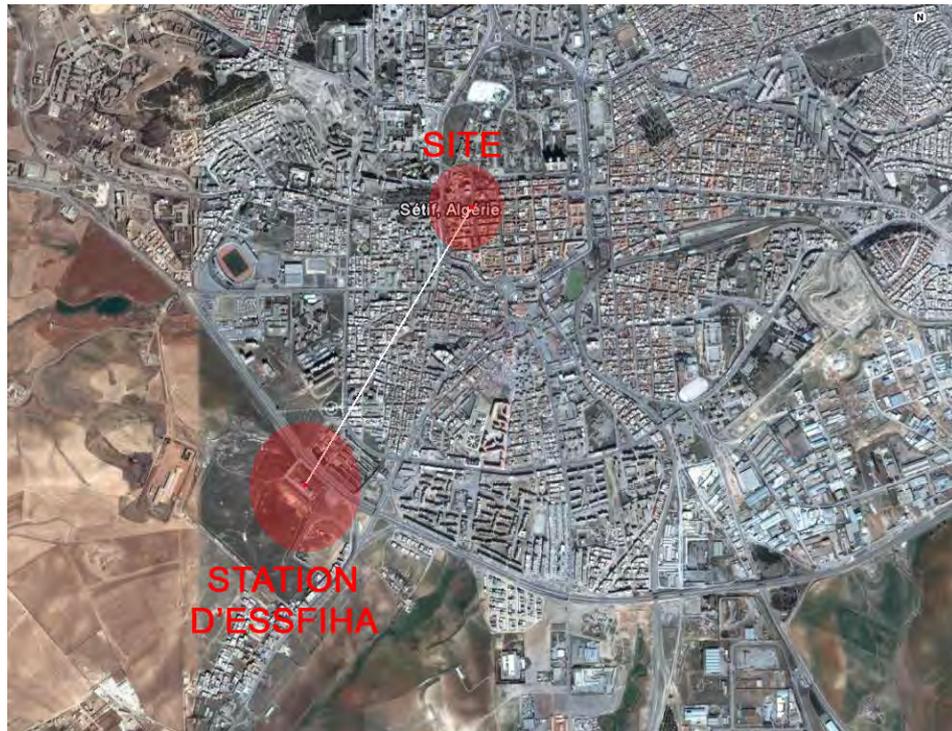


FIG.VI.24 : Localisation de la station météo par rapport au site d'investigation. (Source : Google Earth)

### VI-6-2-4-Interprétations des données enregistrées :

Pour l'interprétation des mesures, le choix se porta sur la journée du 01 Août 2007 vue que cette journée est la plus représentative de la saison car il faisait chaud avec un ciel complètement dégagé et avec peu de vent, contrairement aux deux autres qui sont un peu plus fraîches que la normale.

Les résultats des mesures climatiques seront comparés entre eux d'une part et avec les résultats de la station météorologique d'Essfiha d'autre part

#### VI-6-2-4-1-Interprétations pour chaque station :

Les interprétations pour chaque station sont faites pour les trois paramètres (Température, humidité et vitesse des vents) en même temps et pour chaque station à part, en vue vérifier l'exactitude des relevés, et de déceler des anomalies qui pourraient influencer ou même fausser les interprétations lors de la comparaison des données des stations entre elles.

##### VI-6-2-4-1-1-Station S1 :

Pour cette station, les courbes de température et d'humidité suivent une logique dans leurs parcours, c'est-à-dire que la température augmente graduellement de 6h00 jusqu'à 13h00, pour ensuite décroître jusqu'à 20h00.

La même chose est à noter pour l'humidité mais en relation inverse, donc elle décroît de 6h00 à 13h00, et puis augmente jusqu'à 20h00.

Notons qu'il existe des anomalies pour quelques heures de la journée. On remarque par exemple à 8h00 une baisse de la l'humidité, la même chose est noté à 11h00 ou la température cette fois présente une baisse par rapport aux autres valeurs de la journée, ses valeurs pourraient s'expliquer par la vitesse du vent qui est élevée en ces moments. Pour ce dernier en remarque que le début de journée est plus venté par rapport au soir avec des valeurs néanmoins aléatoires.

On note aussi que les apports anthropiques sont la cause d'une hausse de température et cela surtout aux heures de pointes, synonymes de flux intense de la circulation mécanique mais aussi piétonne.

Heure	6h0	7h0	8h0	9h0	10h0	11h0	12h0	13h0	14h0	15h0	16h0	17h0	18h0	19h0	20h0
T(°C)	24,1	26,5	28,9	31,3	31,9	30,9	35,6	37,7	34,5	34,5	32,3	32,8	32,2	28,7	27,2
HR(%)	35,4	30,2	23,0	26,0	20,0	20,1	15,3	13,5	13,6	15,0	13,3	13,3	18,3	19,3	21,9
V(m/s)	0,7	0,8	1,2	0,4	0,5	1,7	0,6	0,4	0,5	0,4	0,2	0,3	0,5	0,6	0,6

Tableau.VI.1 : Les trois paramètres enregistrés pour la station S1.

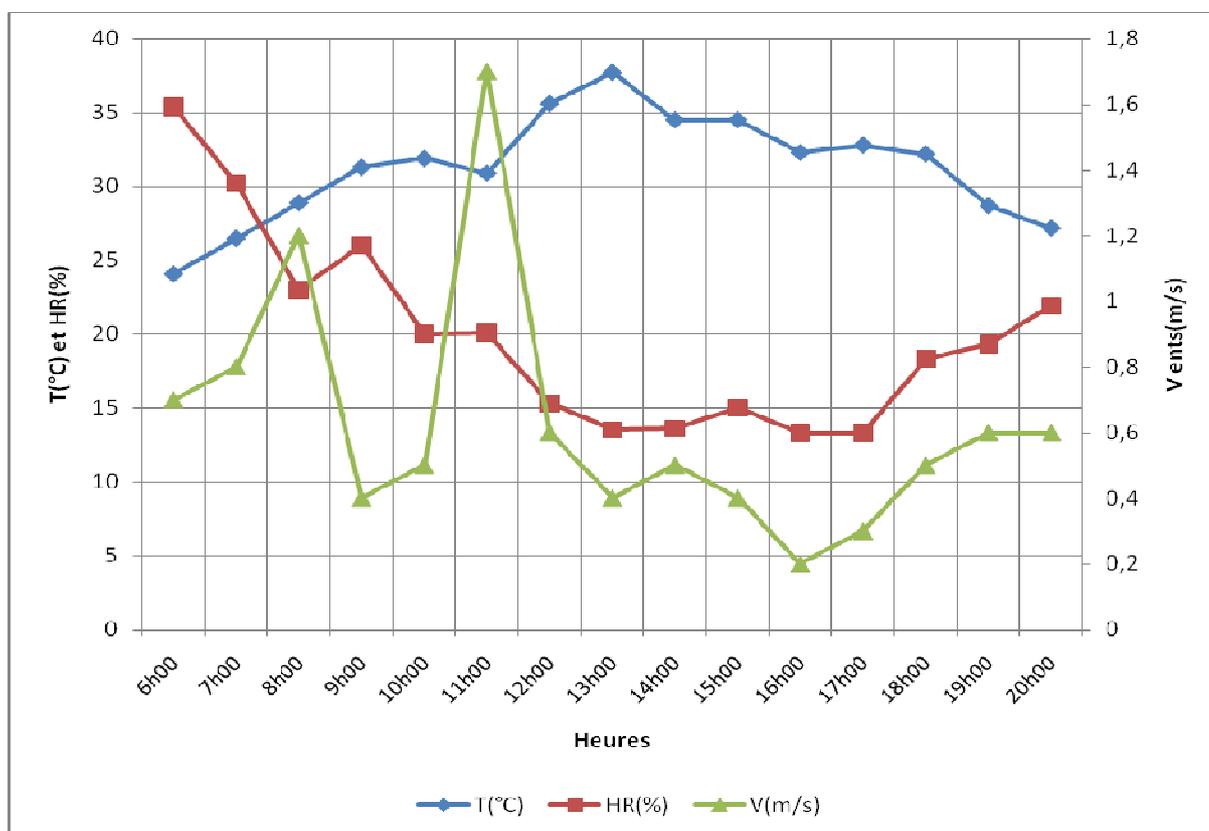


FIG.VI.25 : Les trois paramètres enregistrés pour la station S1.

(01-08-2007) (Source : auteur)

### VI-6-2-4-1-2-Station S2 :

Les mêmes remarques peuvent être avancées pour la deuxième station, où la relation entre la température et l'humidité est inverse.

Les deux courbes de la température et de l'humidité sont régulières dans l'ensemble, avec une anomalie à 16h00 où la courbe de température connaît une baisse anormale due à la vitesse du vent qui est élevée en ce moment.

Les valeurs enregistrées pour la vitesse des vents sont globalement instables, avec deux périodes, l'une ventée en début de journée (de 06h00 à 09h00) et en fin de journée (16h00 à 20h00) et l'autre avec un vent plus calme en milieu de journée.

Même chose concernant les apports anthropiques lors des heures de pointes et qui provoquent des hausses soudaines dans la température.

Heure	6h0	7h0	8h0	9h0	10h0	11h0	12h0	13h0	14h0	15h0	16h0	17h0	18h0	19h0	20h0
T(°C)	24,2	26,8	29,3	31,1	33,2	33,5	35,4	37,3	35	33,3	31,9	32,6	31,9	28,4	26,9
HR(%)	38,0	31,6	25,0	22,0	22,0	21,1	16,8	13,7	13,9	16,4	14,2	13,6	19,6	20,6	22,3
V(m/s)	0,2	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,3	0,2	0,3	0,4	0,3

Tableau.VI.2 : Les trois paramètres enregistrés pour la station S2.

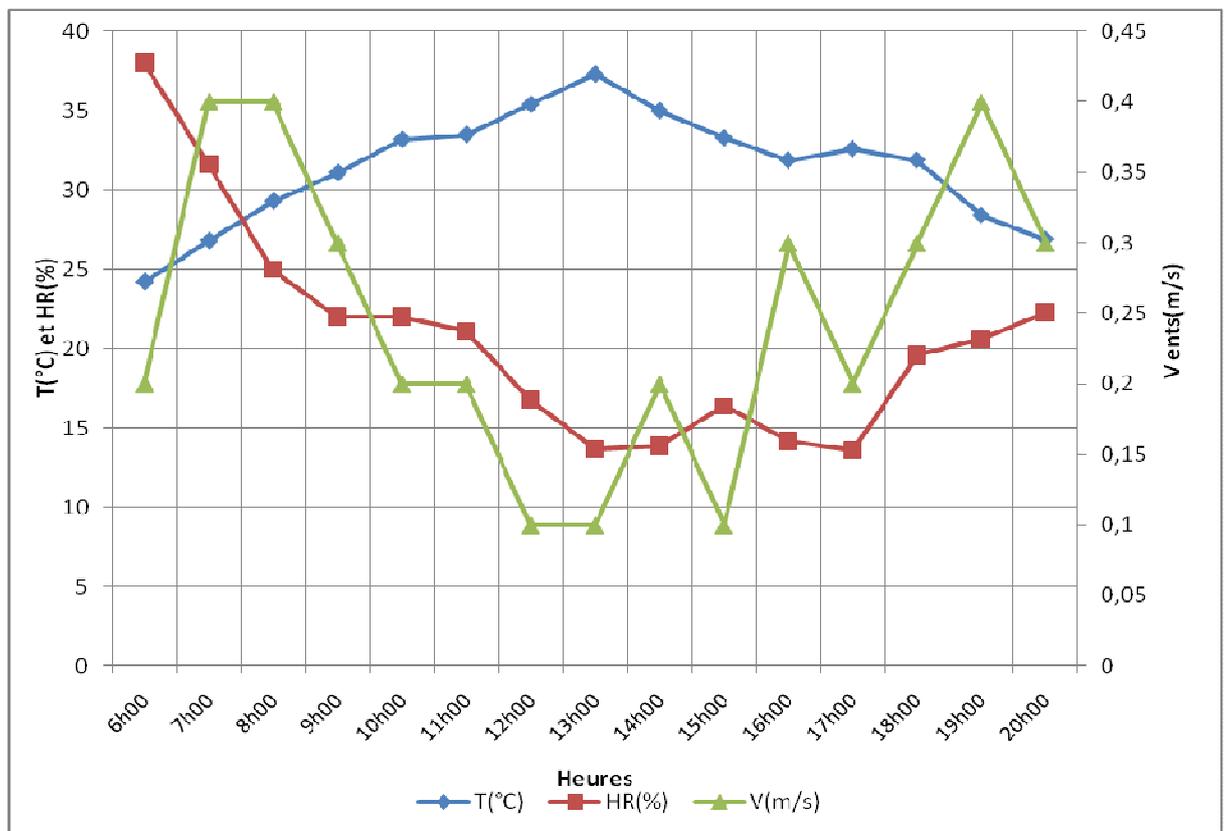


FIG.VI.26 : Les trois paramètres enregistrés pour la station S2.

(01-08-2007) (Source : auteur)

### VI-6-2-4-1-3-Station S3 :

La station S3 présente aussi la même régularité dans l'ensemble pour les deux courbes d'humidité et de température, cependant on remarque une légère hausse d'humidité entre 10h00 et 11h00 sans que cela n'influence la courbe de température qui reste elle régulière.

On remarque aussi une hausse anormale de température entre 17h00 et 18h00, qui est accompagnée par une chute de l'humidité et cela est due à une baisse de la vitesse des vents par rapport à 16h00. Les vents sont plutôt calmes pendant toute la journée (de 06h00 à 15h00), le vent fini par souffler en fin de journée mais avec des valeurs qui reste plus ou moins faible.

Les hausses de température à cause des apports anthropiques sont aussi présentes pour cette station (Surtout entre 17h00 et 18h00).

Heure	6h0	7h0	8h0	9h0	10h0	11h0	12h0	13h0	14h0	15h0	16h0	17h0	18h0	19h0	20h0
T(°C)	24,	26,	29,	31,	33,1	34,6	35	37,1	35,4	33,6	32,1	33,1	32,5	29	27,5
HR(%)	36,	29,	24,	20,	20,3	20,5	16,7	14,0	14,1	14,3	13,7	13,2	19,2	20,1	21,2
V(m/s)	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,3	0,3	0,1	0,2	0,7	0,3	1,2	0,4	0,4

Tableau.VI.3 : Les trois paramètres enregistrés pour la station S3.

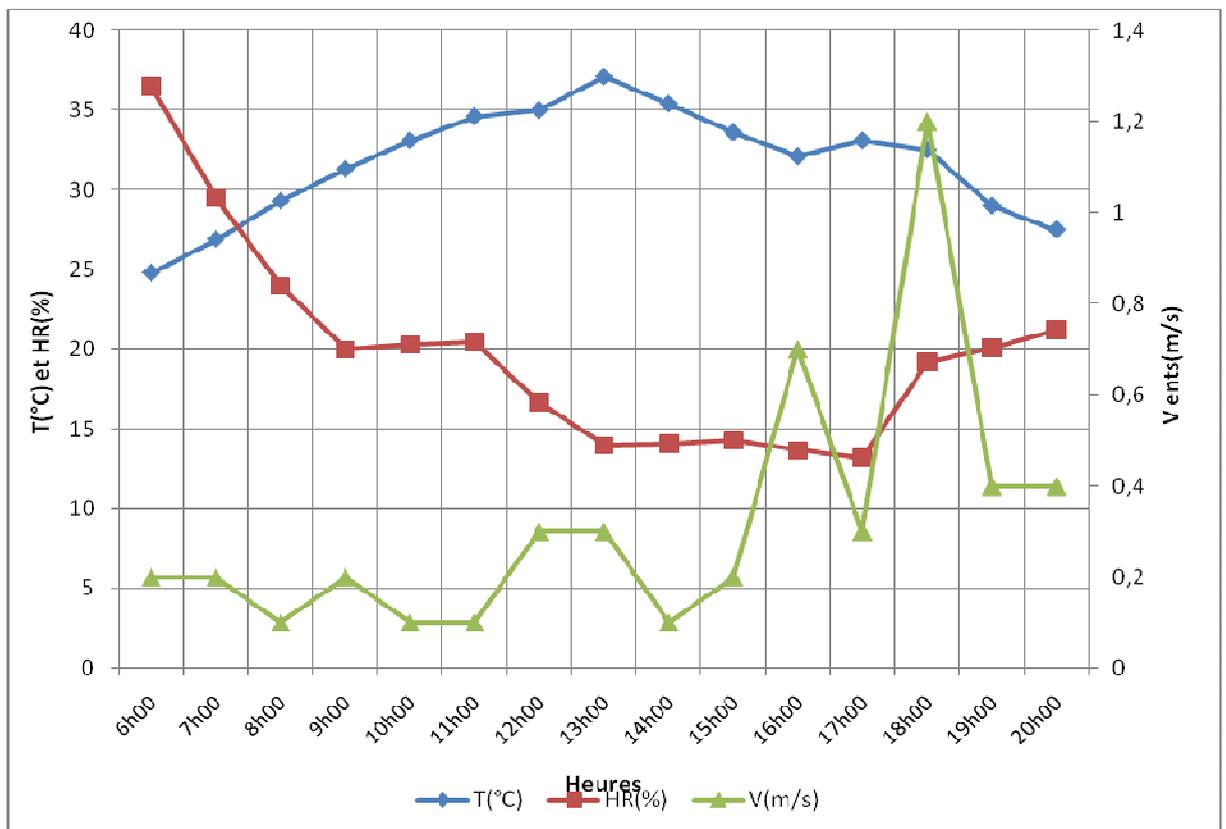


FIG.VI.27 : Les trois paramètres enregistrés pour la station S3.

(01-08-2007) (Source : auteur)

#### VI-6-2-4-1-4-Station S4 :

Idem pour la station S4, où l'évolution des courbes d'humidité et de température est régulière, sauf pour quelques points tels à 10h00 où l'humidité présente une légère hausse et qui peut être expliquée par le transfert d'humidité vers ce point à partir d'autre zone plus humides dans la place (la fontaine) et qui est aidée par le vent à ce moment. Mais aussi à cause des apports anthropiques en plein heures de pointes.

On peut remarquer facilement l'existence de couloirs d'air dans la place et dont les directions sont schématisées dans la figure .VI.27.

Heure	6h0	7h0	8h0	9h0	10h0	11h0	12h0	13h0	14h0	15h0	16h0	17h0	18h0	19h0	20h0
T (°C)	24,	27,	29,	31,	33,3	33,8	35,8	37,9	35,6	34,9	32,6	33,3	32,7	29,2	27,7
HR(%)	36,	28,	23,	20,	21,6	19,1	15,9	12,9	13,6	14,0	13,2	13,1	18,1	19,1	20,9
V(m/s)	0,3	0,3	0,4	0,3	0,5	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,9	0,6	0,5	0,4

Tableau.VI.4 : Les trois paramètres enregistrés pour la station S4.

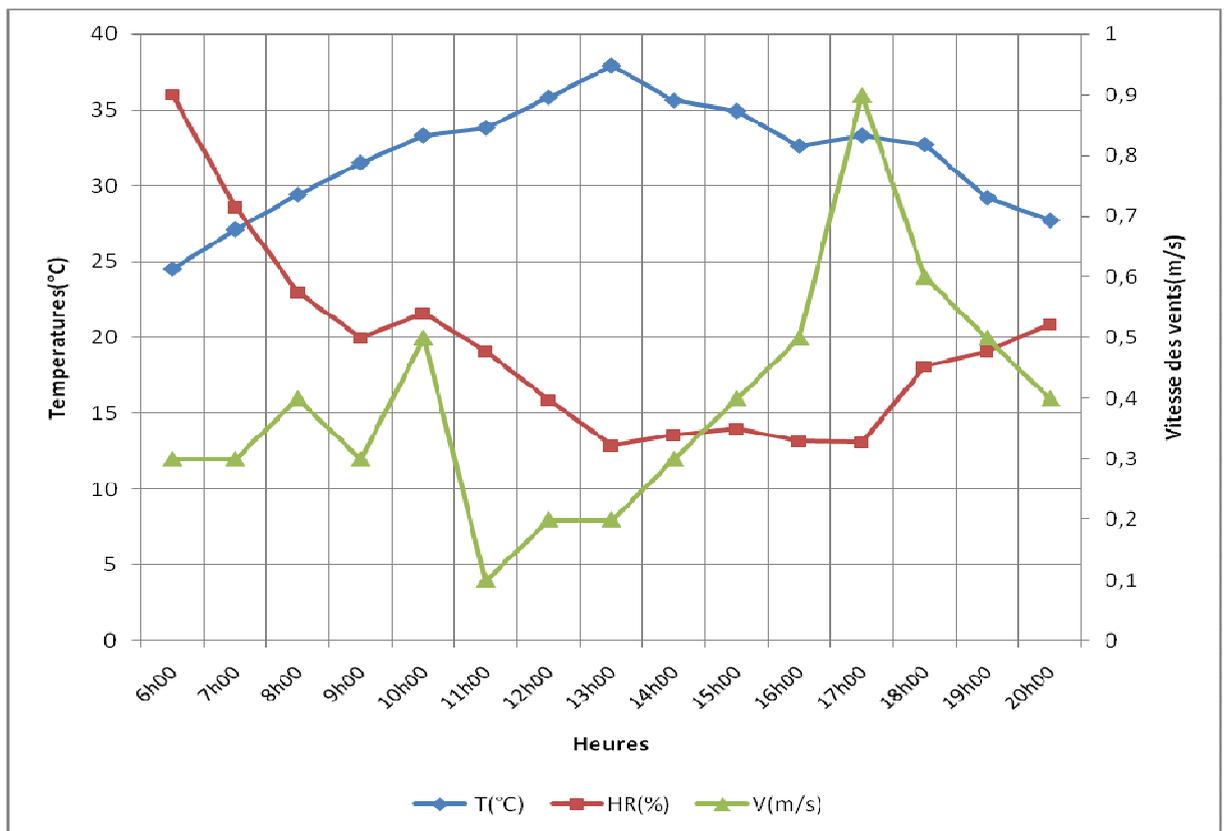


FIG. VI.28 : Les trois paramètres enregistrés pour la station S4.

(01-08-2007) (Source : auteur)



FIG.VI.29 : Schématisation des couloirs d'air existant dans la place. (Source : auteur)

#### VI-6-2-4-1-5-Station météo d'Essfiha :

Pour la station météo (Essfiha) on remarque que les deux courbes de température et d'humidité sont inversement proportionnelles, avec une valeur Max de 38°C pour la température et valeur Min de 20% pour l'humidité, contrairement à 06h00 du matin où on note une valeur Min pour la température (20°C) et une valeur Max pour l'humidité (64%).

Heures	00h00	03h00	06h00	09h00	12h00	15h00	18h00	21h00	Moyenne	Min	Max
T (°C)	20,9	20,9	20	30,7	37,1	34,5	25,6	23,8	26,7	20	38
HR (%)	63,0	62,0	64,0	50,0	38,0	24,0	48,0	46,0	49,4	24,0	64,0
V (m/s)	1	3	3	2	2	4	0	1	2	0	4

Tableau.VI.5 : Résumé des trois paramètres pour la station météo d'Essfiha.



**FIG.VI.30 : Résumé des trois paramètres pour Station météo d'Essfiha.**  
(01-08-2007) (Source : auteur)

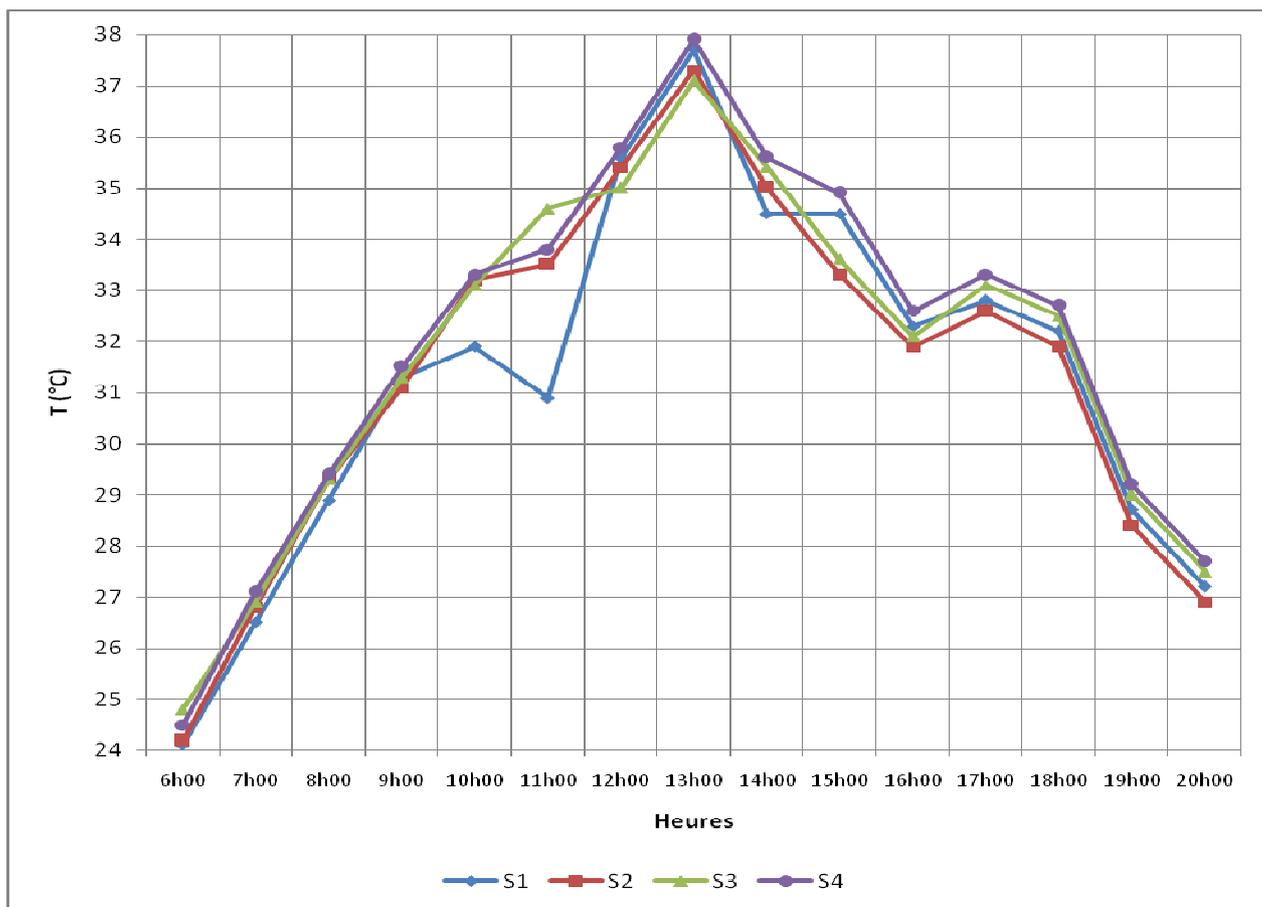
#### VI-6-2-4-2-Comparaison des différents paramètres climatiques mesurés des 04 stations sur terrain :

Une fois l'analyse des données pour chaque station effectuée, on peut procéder à la comparaison entre les quatre stations et pour chaque paramètre enregistré (T, Hr et Vvent), mais en gardant un œil sur les autres paramètres, vue leur interaction les uns avec les autres et cela pour détecter les différences microclimatiques au sein de la place et pour chaque zone.

##### VI-6-2-4-2-1-La température :

Heur	6h00	7h00	8h00	9h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00	19h00	20h00
<b>S1</b>	24,1	26,5	28,9	31,3	31,9	30,9	35,6	37,7	34,5	34,5	32,3	32,8	32,2	28,7	27,2
<b>S2</b>	24,2	26,8	29,3	31,1	33,2	33,5	35,4	37,3	35	33,3	31,9	32,6	31,9	28,4	26,9
<b>S3</b>	24,8	26,9	29,3	31,3	33,1	34,6	35	37,1	35,4	33,6	32,1	33,1	32,5	29	27,5
<b>S4</b>	24,5	27,1	29,4	31,5	33,3	33,8	35,8	37,9	35,6	34,9	32,6	33,3	32,7	29,2	27,7

**Tableau.VI.6 : Résumé des températures mesurées des 04 stations.**



**FIG.VI.31 : Comparaison des températures mesurées des 04 stations.  
(01-08-2007) (Source : auteur)**

Tout d'abord on remarque une certaine homogénéité, pour les courbes de températures des quatre stations c'est à dire qu'elles augmentent graduellement pendant la première partie de la journée, de 06h00 à 13h00 où elles atteignent leur maximum, pour ensuite décroître jusqu'en fin de journée. les valeurs Min sont enregistrées à 06h00 du matin pour toutes les stations.

\*-On remarque aussi que la station S1 présente les valeurs de température les plus fraîches pendant la période de 06h00 à 11h00-avec un écart de 3,7°C par rapport à S3-, cela est causé par deux facteurs :

- Le premier est l'effet de l'air frais véhiculé par le vent, et provenant du parc au nord de la place.

- A cette heure l'emplacement de la station S1 est toujours à l'abri des radiations solaires grâce aux masques solaires provenant des constructions à l'est de la station et des couronnes des quatre arbres centenaires et de la végétation à proximité du point de mesure.

- L'effet de rafraîchissement de la végétation abondante autour du point de mesure.

A partir de 11h00 et jusqu'à la fin de la journée, la température enregistrée devient moins fraîche que celle de la température de la station S2, et de 15h30 à 16h30 elle dépasse aussi la station S3 car les masques solaires lors de cette période n'apportent plus d'ombre à cet endroit et la fraîcheur apportée par le parc diminue de plus en plus.

\*-La station S2 quand à elle présente des températures plus fraîches par rapport aux deux stations S3 et S4 pendant la quasi-totalité de la journée cela est aussi due à :

-La fraîcheur acheminée par le vent provenant du parc, mais à un degré moindre que pour la station S1.

-Le rôle très important des quatre arbres centenaires dans la protection de la zone de la station S2 (périphérie de la fontaine).

-L'eau de la fontaine qui coule des 4 goulots mais surtout celle qui est déversée sur le sol et qui contribue dans le rafraîchissement de l'air environnant de la station S2.

Pour la période de 12h00 à 13h30 on remarque que la température de la station S3 devient plus fraîche que la température en S2 cela est dû à l'estompement de l'effet du parc en ce moment, en plus de la diminution de la vitesse du vent -qui est le principal transporteur d'humidité- en ce moment, et où on note les valeurs les plus faibles de vent (0.1m/s).

Entre 06h00 et 12h00, les températures de la station S2 sont plus élevées que ceux enregistrés en S1-cela a été expliqué plus haut pour la station S1-, mais à partir de 12h00 jusqu'à 20h00 cela s'inverse en faveur de la station S2 qui enregistre les températures les plus fraîches dans la place.

\*-La station S4 présente les températures les plus chaudes pendant la quasi-totalité de la période des mesures.

Cela est dû à trois paramètres qui sont :

-L'absence totale de masque solaire -que ce soit d'immeubles ou de végétation -, ce qui laisse cet endroit sujet aux radiations solaires et cela pendant toute la journée.

-L'absence de la végétation, prive cette zone de l'effet de rafraîchissement de l'air que joue l'évapotranspiration de cet élément naturel.

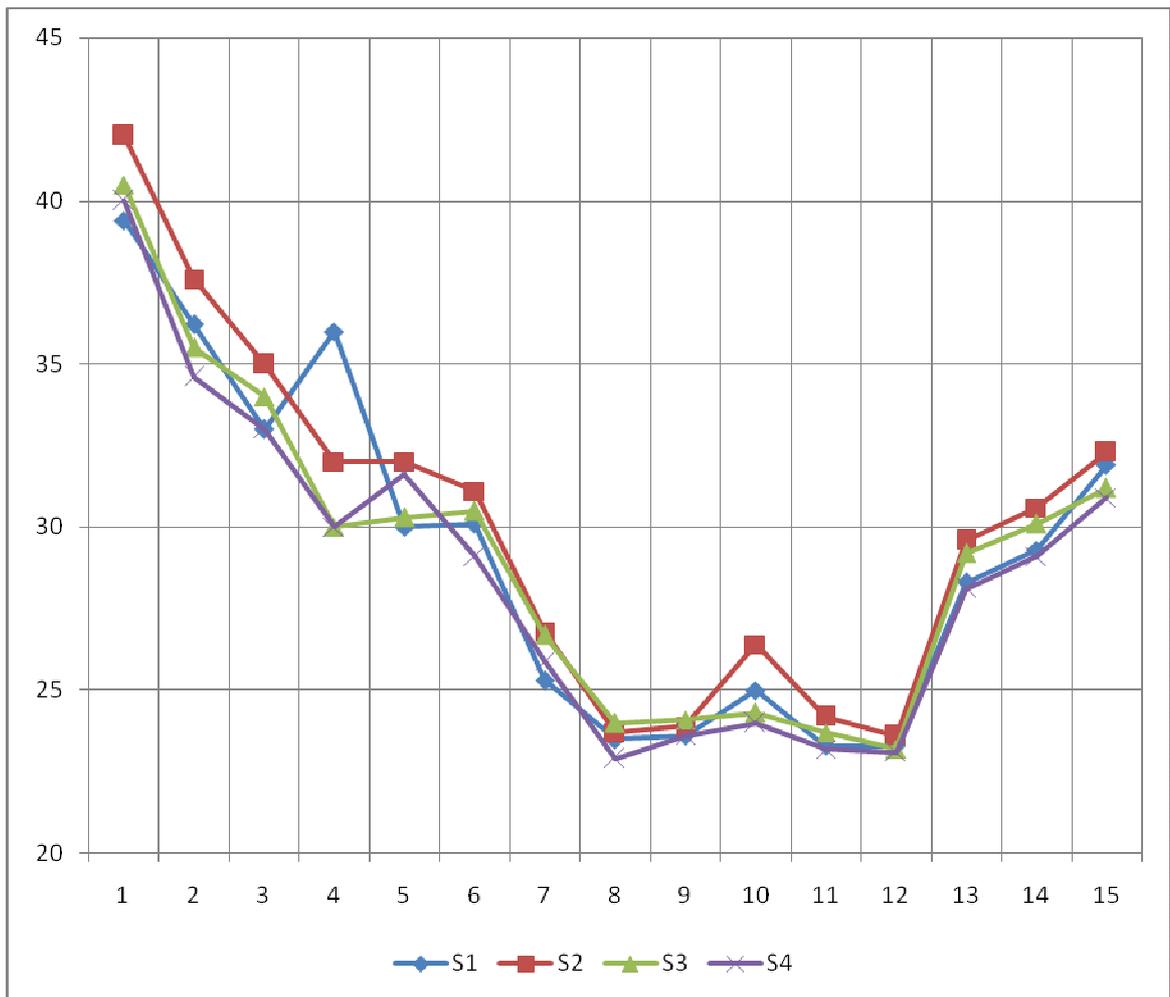
-L'éloignement de la fontaine diminue l'effet d'humidification et de rafraîchissement de l'eau.

- Vue l'absence de trottoir, Le point de mesure a été effectué à un mètre au dessus du bitume qui est connu pour être une matière très absorbante de la chaleur et des radiations solaires.

**VI-6-2-4-2-2-L'humidité :**

Heures	6h00	7h00	8h00	9h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00	19h00	20h00
<b>S1</b>	39,4	36,2	33	36	30	30,1	25,3	23,5	23,6	25	23,3	23,3	28,3	29,3	31,9
<b>S2</b>	42	37,6	35	32	32	31,1	26,8	23,7	23,9	26,4	24,2	23,6	29,6	30,6	32,3
<b>S3</b>	40,5	35,5	34	30	30,3	30,5	26,7	24	24,1	24,3	23,7	23,2	29,2	30,1	31,2
<b>S4</b>	40	34,6	33	30	31,6	29,1	25,9	22,9	23,6	24	23,2	23,1	28,1	29,1	30,9

**Tableau.VI.7 : Comparaison des humidités mesurées des 04 stations.**



**FIG.VI.32 : Comparaison des humidités mesurées des 04 stations.**  
(01-08-2007) (Source : auteur)

\*-Pour la station S4 présente les valeurs les plus basses valeurs d'humidités par rapport aux autres stations et cela pendant toute la journée, sauf pour quelques rares périodes (de 09h00 à 10h30) et à 12h00 cela s'explique par les même intervenant cités en haut pour la température en cette zone .

\*-Pour la station S3 on peut distinguer deux périodes :

-La première s'étale de 06h00 à 11h00, dans cette période cette zone enregistre les humidités les plus basses de la place (après celle enregistrées en S4) cela est due en premier lieu à la végétation qui est moins dense qu'en S1 et S2 donc l'effet de l'évapotranspiration est moins important en cette zone.

En deuxième lieu l'éloignement de du jardin au nord et de la fontaine ne fait pas profiter cette zone des effets conjugués de l'évapotranspiration du premier et de l'évaporation de la deuxième, en sachant aussi que le courant d'air vers ce sens faible.

-La deuxième s'étale de 11h00 jusqu'à 20h00, lors de cette période les valeurs d'humidité relative en cette zone connaissent une hausse, cette dernière est plus humide que la zone où se situe la station S1 (débouchée du jardin) et des fois encore plus humide que la zone de la fontaine (S2).

Cela est due essentiellement l'effet d'ombre des constructions au sud de cette zone (surtout l'hôtel Errabii R+5), cet effet contribue à garder l'humidité contenue dans l'air tandis que les autres points (S1, S2 et S4) sont directement exposés au rayonnement solaire pendant cette période.

On remarque aussi que l'effet de la fontaine -accentuée par le couloir d'air - prend de l'importance dans cette période en sachant que l'écoulement de l'eau est ininterrompu et que les déversements sur le sol sont aussi fréquents pour garder ce dernier humide aussi longtemps que possible.

Contrairement à l'effet de l'évapotranspiration du jardin s'estompe en arrivant à midi ce qui explique que la zone de la station S3 devient plus humide que la zone de la station S1.

\*-La station S1 présente aussi deux périodes selon les relevés d'humidité :

-De 06h00 à 12h00, cette zone est la plus humide après celle de la fontaine cela est due à l'effet de l'évapotranspiration de la végétation aux alentours (et surtout celle du jardin), effet qui est accentué à 9h00 par l'effet du vent en ce moment.

- l'effet d'ombre des constructions voisines et des couronnes d'arbres permet de garder l'air de cette zone assez humide.

\*-On remarque aisément que la station S2 (zone de la fontaine), est la zone la plus humide pendant toute la période de mesure, cela confirme l'effet très important de l'eau dans l'humidification de l'air et de l'évapotranspiration des quatre arbres centenaires, avec des écarts qui peuvent atteindre les 3% à 15h00 entre S1 et S4.

#### VI-6-2-4-2-3-Vitesse des vents :

Vventynt	6h00	7h00	8h00	9h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00	19h00	20h00
S1	0,7	0,8	1,2	0,4	0,5	0,9	0,6	0,4	0,5	0,4	0,2	0,3	0,5	0,6	0,6
S2	0,2	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,3	0,2	0,3	0,4	0,3
S3	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,3	0,3	0,1	0,2	0,7	0,3	1,2	0,4	0,4
S4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,5	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,9	0,6	0,5	0,4

Tableau.VI.8 : Comparaison des vitesses des vents mesurées des 04 stations.

Le vent est un élément très aléatoire et ne répond à aucune logique –surtout à échelle macro-, cela se confirme pour nos relevés ou on remarque que pour une seule station la vitesse des vents oscille de manière aléatoire entre des haut et des bas contrairement aux températures et humidités. Malgré cela on peut distinguer quelques éléments qui peuvent nous aider pour la compréhension et l'explication de certains phénomènes microclimatiques tel les chutes brusques des températures ou des humidités en un moment bien précis.

Dans l'ensemble on remarque que la station S1 est la plus ventée pendant la matinée (de 06h00 à 12h00), par rapport aux trois autres stations.

Cette tendance s'inverse pendant l'après-midi ou la vitesse des vents diminue en cette zone par rapport aux zones des stations S4 et S3 qui deviennent les plus ventées en cette période, ce qui explique l'apport d'humidité à cette zone et cela à partir de la zone de la fontaine.

La station S2 semble être située dans la zone la moins ventée du site ce qui explique que cette zone garde son air plus humide que les autres zones, car l'humidité produite par l'évaporation et l'évapotranspiration n'est pas transférée ailleurs par l'effet du vent.

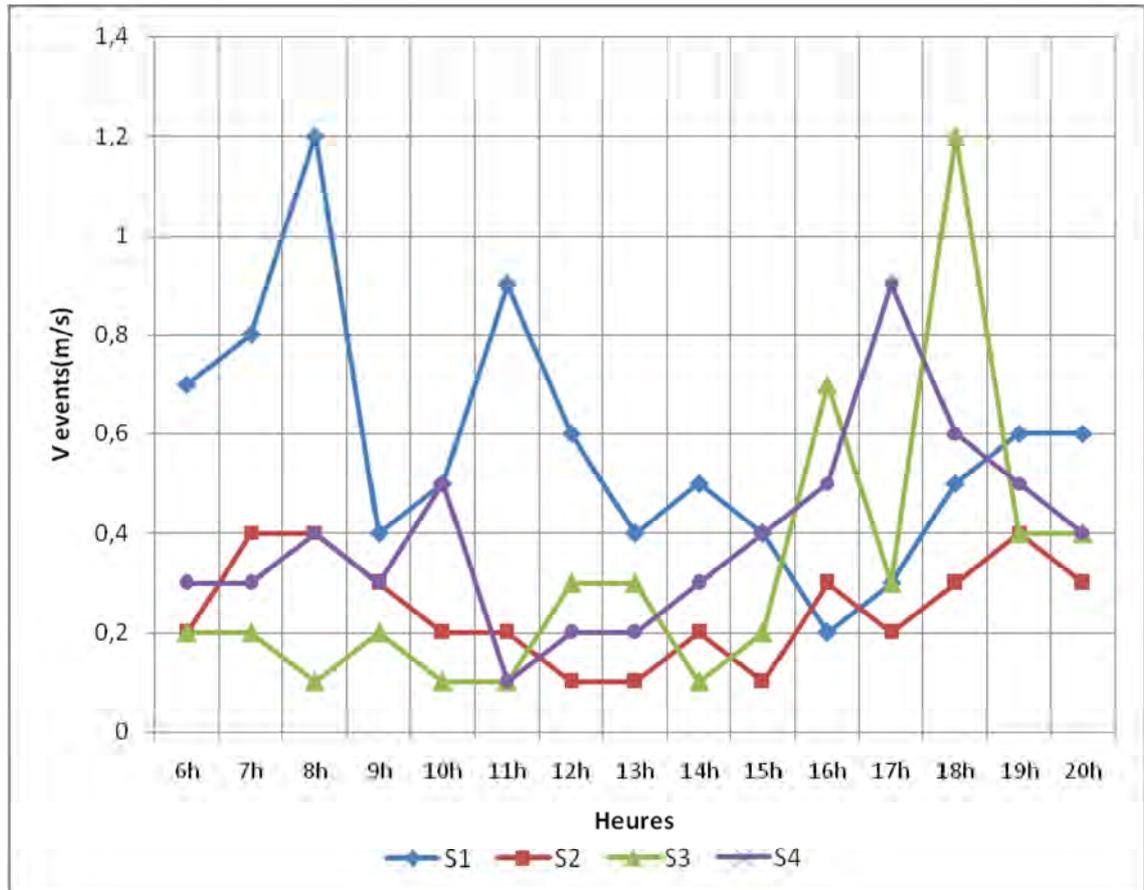


FIG.VI.33 : Comparaison des vitesses des vents mesurées des 04 stations.  
(01-08-2007) (Source : auteur)

#### VI-6-2-4-3-Comparaison des différents paramètres climatiques mesurés et ceux de la station météo :

##### VI-6-2-4-3-1-La température :

La comparaison des températures c'est faite entre, d'une part la température enregistrée dans la station météo d'Essfiha, et d'une autre part les températures enregistrées dans la place et qui seront considérées comme une moyenne et on parlera alors de température moyenne de la place.

Il est clair qu'il existe une différence et des écarts entre les deux températures, cette différence évolue selon l'heure de la journée.

On remarque l'existence de trois périodes bien distinctes :

\*-La première s'étend de 06h00 jusqu'à 09h00, où la température de la station météo est bien inférieure à la température moyenne de la place et l'écart peut atteindre 4,8°C.

L'écart va en diminuant jusqu'à s'annuler vers le coût de 09h00.

\*-La deuxième de 09h00 jusqu'à 15h00, la situation s'inverse car la température de la place devient inférieure à celle de la station météo avec un écart qui atteint de 2,1°C à 12h00

Jusqu'à 4,5°C (exponentiellement à 11h00 pour la station S1).

Dans cette période, les deux valeurs de température atteignent leurs pics et cela en même temps c.-à-d. à 13h00 précisément pour ensuite décroître graduellement.

L'écart entre les deux températures lui aussi diminue de plus en plus jusqu'à s'annuler entièrement à 15h00.

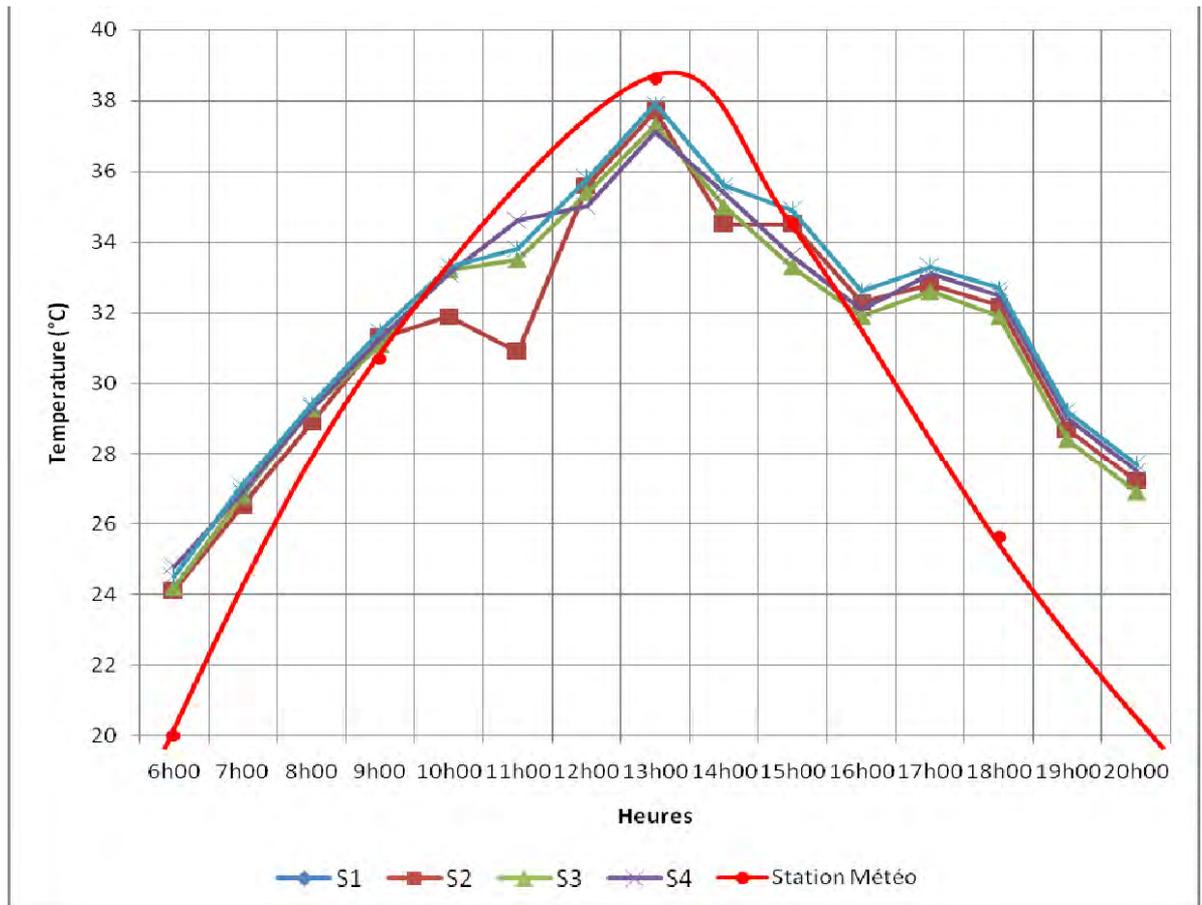
Il faut noter aussi que cet écart ne s'annule qu'une heure après pour la station S2 c'est à dire à 16h00.

On déduit que la place présente des températures inférieures à celle de la station météo pendant la période la plus critique de la journée (de 10h00 à 15h00), tandis qu'avant et après cette période cela s'inverse en faveur de la station météo ou l'on enregistre des températures inférieurs à celle de la place.

Cela s'explique par l'effet de l'îlot de chaleur qui se forme la nuit entre le centre ville et la rase campagne.

Heur	6h00	7h00	8h00	9h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00	19h00	20h00
<b>S1</b>	24,1	26,5	28,9	31,3	31,9	30,9	35,6	37,7	34,5	34,5	32,3	32,8	32,2	28,7	27,2
<b>S2</b>	24,2	26,8	29,3	31,1	33,2	33,5	35,4	37,3	35	33,3	31,9	32,6	31,9	28,4	26,9
<b>S3</b>	24,8	26,9	29,3	31,3	33,1	34,6	35	37,1	35,4	33,6	32,1	33,1	32,5	29	27,5
<b>S4</b>	24,5	27,1	29,4	31,5	33,3	33,8	35,8	37,9	35,6	34,9	32,6	33,3	32,7	29,2	27,7
<b>SM</b>	20,0			30,7			37,1	38,6		34,5			25,6		

**Tableau.VI.9 : Comparaison de la température de la place et de celle ce la station météo.**



**FIG.VI.34 : Comparaison de la température de la place et de celle ce la station météo.**  
(01-08-2007) (Source : auteur)

\*-L'effet des radiations solaires s'intensifie de plus en plus que le soleil devient perpendiculaire, avec l'absence de masques solaires en rase campagne (vue que le site de la station d'Essfiha est complètement dégagé) contrairement au site d'investigation qui présente beaucoup de masques solaire (construction et végétation).

\*- En rase campagne et avec cette augmentation continue de la température, l'effet de l'humidité contenue dans l'air s'estompe vue que cette dernière s'évapore de plus en plus, et son effet de rafraîchissement diminue lui aussi, contrairement au site d'investigation qui est certes moins humides que la rase campagne, mais il présente beaucoup de végétation qui produit de l'humidité par évapotranspiration et qui garde cette humidité prisonnière dans le feuillage.

\*-L'effet d'ombre des constructions et de la végétation permet lui aussi de préserver l'humidité de l'air, cette effet est quasiment absent en rase campagne ce qui implique que l'évaporation de l'humidité contenue dans l'air est plus important.

#### **VI-6-2-4-3-2- L'humidité :**

On remarque que l'humidité en rase campagne nettement supérieure à celle enregistrée dans le site d'investigation, et cela pour toute la campagne de mesure, sauf pour la période s'étalant de 13h00 à 15h00.

Avec des écarts qui atteignent 17% à 20h00 jusqu'à 20% à 16h00.

Notons que dans la période où l'humidité de la place est inférieure à celle en rase campagne, l'écart est moindre avec un maximum qui peut atteindre 3%.

Heur	6h00	7h00	8h00	9h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00	19h00	20h00
S1	39,4	36,2	33,0	36,0	30,0	30,1	25,3	23,5	23,6	25,0	23,3	23,3	28,3	29,3	31,9
S2	42,0	37,6	35,0	32,0	32,0	31,1	26,8	23,7	23,9	26,4	24,2	23,6	29,6	30,6	32,3
S3	40,5	35,5	34,0	30,0	30,3	30,5	26,7	24,0	24,1	24,3	23,7	23,2	29,2	30,1	31,2
S4	40,0	34,6	33,0	30,0	31,6	29,1	25,9	22,9	23,6	24,0	23,2	23,1	28,1	29,1	30,9
S.M	64,0			50,0			38,0		23,0	24,0			46,0		

Tableau .VI.10 : Comparaison de l'humidité de la place et de celle ce la station météo.

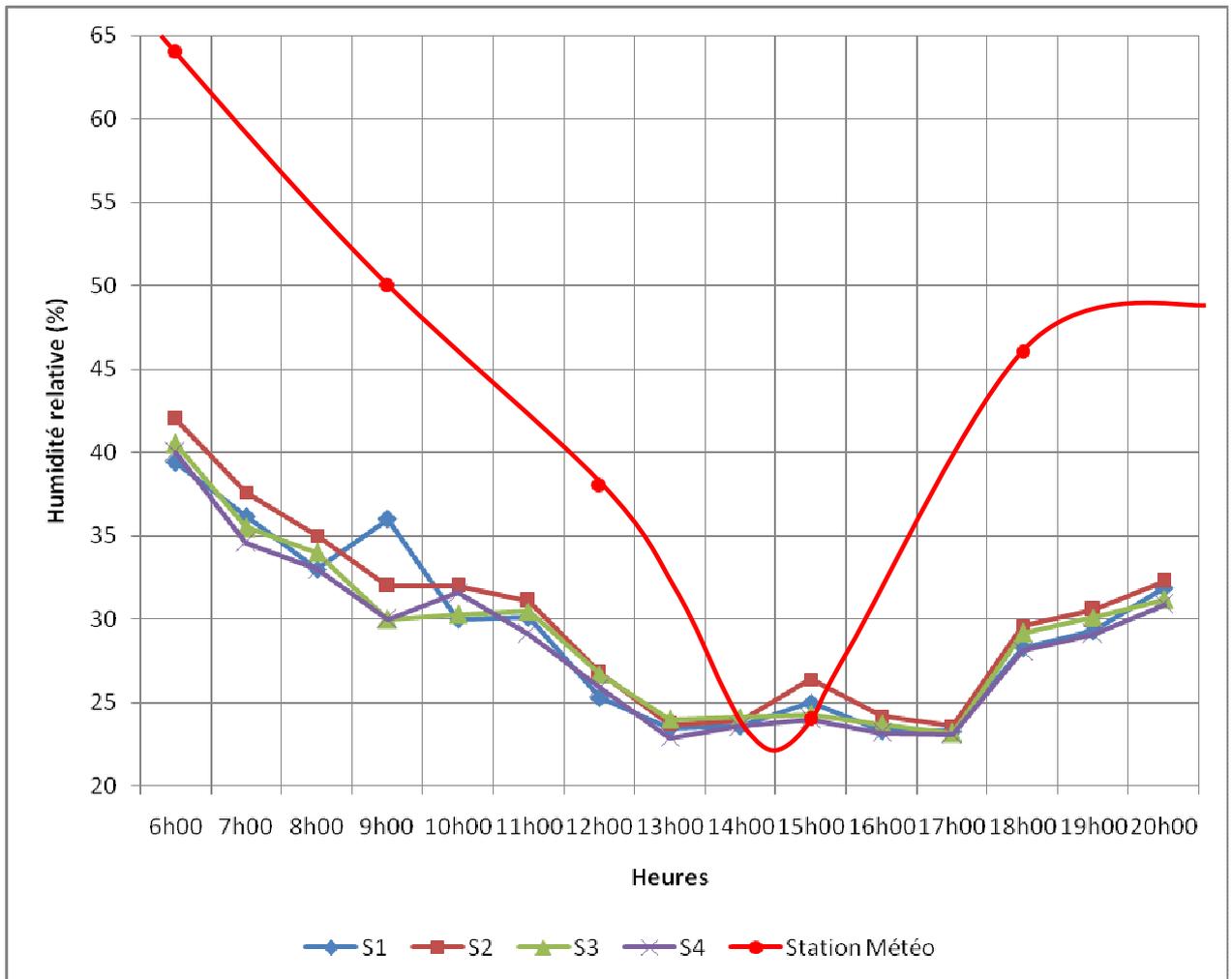


FIG.VI.35 : Comparaison de l'humidité de la place et de celle ce la station météo.

(01-08-2007) (Source : auteur)

#### VI-6-2-4-3-3-Vitesse des vents :

Heure	6h00	7h00	8h00	9h00	10h00	11h00	12h00	13h00	14h00	15h00	16h00	17h00	18h00	19h00	20h00
S1	0,7	0,8	1,2	0,4	0,5	1,7	0,6	0,4	0,5	0,4	0,2	0,3	0,5	0,6	0,6
S2	0,2	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,3	0,2	0,3	0,4	0,3
S3	0,3	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,3	0,3	0,1	0,2	0,7	0,3	1,2	0,4	0,4
S4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,5	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,9	0,6	0,5	0,4
S.M	3			2			2			4			0		1

Tableau .VII.11 : Comparaison de la vitesse du vent de la place et de celle ce la station météo.

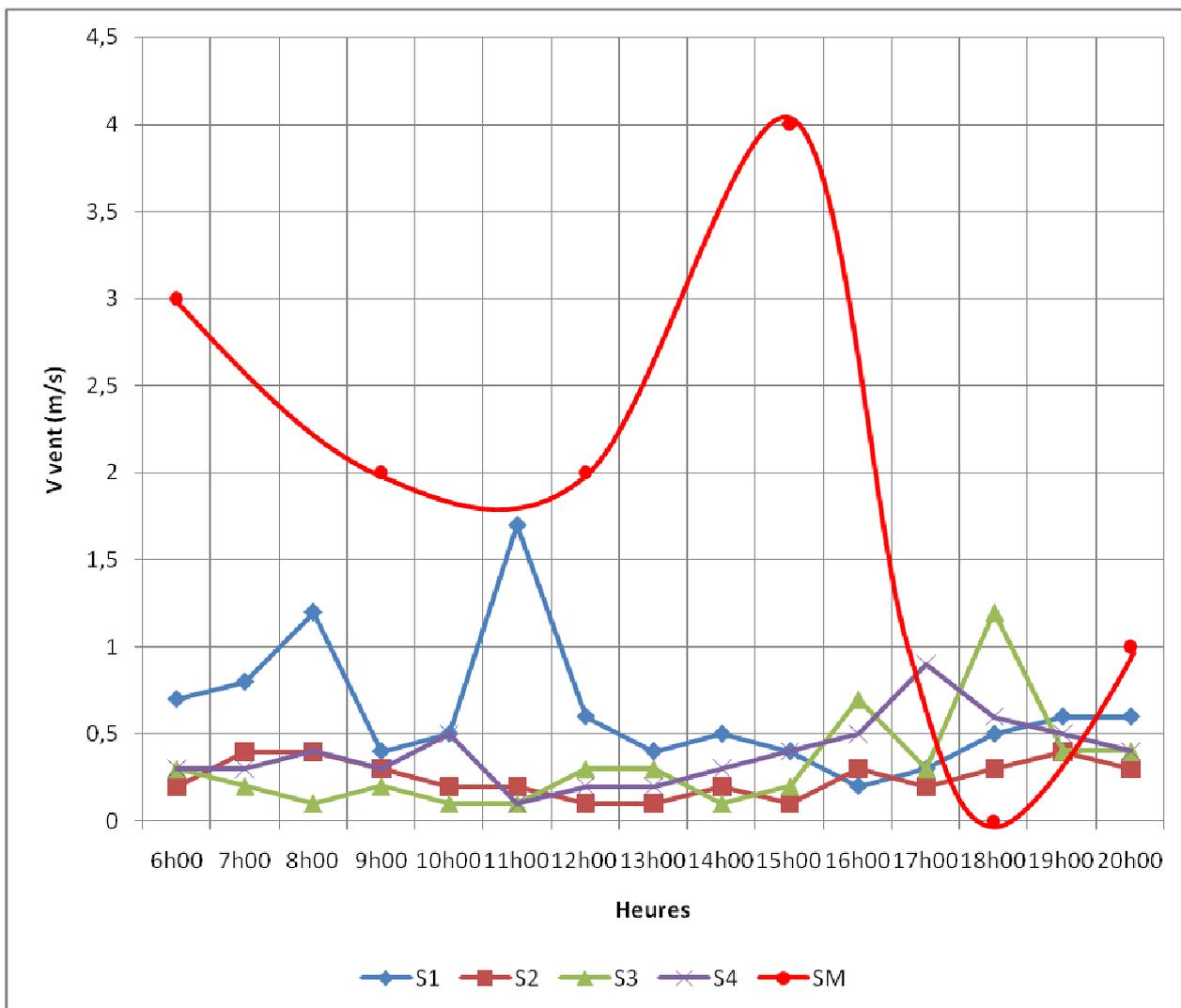


FIG.VI.36 : Comparaison de la vitesse du vent de la place et de celle ce la station météo. (01-08-2007)

(Source : auteur)

La vitesse des vents est elle aussi nettement plu importante en rase campagne que dans le site d'investigation, avec un écart qui varie de 2.5 m/s à 6h00 jusqu'à 3.5m/s à 15h00.

Cela s'explique par la faible rugosité en rase campagne, en plus des obstacles aéroléiques dans le site d'investigation.

En remarque aussi qu'entre 17h00 et 19h00, les rôles s'inversent et la vitesse des vents dans la place est supérieure à celle en rase campagne avec un écart maximum de 1,25m/s.

#### **VI-6-2-5-Conclusion de la campagne de mesure :**

La campagne de mesure effectuée lors de la journée du 1<sup>er</sup> Aout dans la place de Ain El Fouara, nous à permis de confirmer le caractère microclimatique de cette place. Que ce soit du point de vue spatial (différences des paramètres relatifs au confort thermique entre les quatre zone ou se trouve chaque station), mais aussi à travers le temps, car les caractéristiques thermiques de chaque station changent en fonction de l'heure de la journée. La station S3 est la station la plus fraîche en début de journée, alors que la station S2 le devient en fin de journée, la station S4 est la station la plus chaude de la place et pendant toute la journée avec un encart maximal qui peut atteindre 3,7°C entre cette station et la station S2.

Les courbes de température et d'humidité semblent avoir un parcours assez régulier sauf qu'on note certaine hausses ou baisses soudaines qui sont expliquées par deux facteurs très importants et qui sont ; d'une part le vent qui influence considérablement les transferts de chaleur ou de fraîcheur d'une partie du site vers une autres, surtout qu'on a constaté la présence de couloir de vent très importants et qui changent de direction selon l'heure de la journée. Mais aussi aux apports anthropiques qui sont la cause d'une hausse de la température et cela pendant les heures de pointes.

La présence de certains éléments physique et biologique, a une influence assez importante sur les paramètres relatifs au confort thermique, parmi ces éléments on peut noter :

\*-La végétation (spatialement les arbres) dont la présence est très bénéfique sur l'amélioration des conditions de confort. Cela peut être confirmé par l'écart de température qu'on a enregistré entre une zone couverte par les arbres et une autre découverte .L'écart moyen est de 1°C, avec un maximum de qui peut égaler 3,7°C entre S1 et S3 et de 1,6°C entre S2 et S4. En comparant ces résultats avec ceux trouvés dans l'étude de Jörg Spangenberg (2006) (Cf. Chapitre IV, Page 126) on voie bien que l'effet de refroidissement du parc est de 2 °C en moyenne par rapport à l'espace ouvert avec des pointes allant jusqu'à 6 °C et cela est dû à la densité du couvert végétale dans ce parc, qui est très importante par rapport à celle qui se trouve dans la place de Ain El Fouara. Les résultats obtenus dans l'étude effectuée par Wong Nyuk Hien, 2006 (Cf. Chapitre IV, Page 118) semblent être plus proches des résultats dans notre étude, avec une différence qui varie entre 0,5 °C et 0,6 °C entre la moyenne des valeurs obtenues dans une rue à dense couvert végétale et deux autres rues avec une végétation beaucoup moins dense. Ces échantillons choisis dans cette étude ont les mêmes caractéristiques que celui dans notre étude avec des points de mesures sous une

canopée très dense et d'autres moins, et d'où cette similitude des différences de température qui suivent exactement la séquence de la densité des arbres plantés par route.

\*-La présence de l'eau « fontaine » et dont l'effet est enregistré sur l'humidité relative (à un degré moindre que la végétation mais qui est présent quand-même), et dont l'influence est enregistrée avec un écart moyen de 2% et un écart max qui est de 6% à 9h00 entre la station S2 et S4 (cette effet -bien entendue- est jumelé avec celui de la végétation qui est elle aussi une source très importante d'humidité). En comparant aussi avec l'étude de Jörg Spangenberg (2006) l'humidité relative était d'environ 10% plus élevée dans le parc que dans les deux autres sites. Cela s'explique toujours par la haute densité et la grande surface du parc comparé à la densité de la végétation dans la place Ain El Fouara.

\*-L'importance de la géométrie de la place influence les conditions de confort, spatialement par les ombres que projettent les constructions au sud de la place concernant la station S3 qui enregistre des température plus fraîche que celles enregistrées en S4 qui n'est pas protégée, et parfois elles sont plus fraîche que celles enregistrées en S1 et S2 (moins 0,6°C par rapport a S1 à 13h00).

\*-L'importance du parc au Nord de la place et qui influence nettement la température et l'humidité relative près de la station S1, dont on note qu'elle enregistre des chutes de température et des hausses d'humidité relative soudaines et souvent en relation avec les hausses des vitesses des vents comme on peut le remarquer à 11h00.

\*-L'importance des apports anthropique (circulation mécanique et flux intense des passagers) qui est la cause de certaine hausses de température et cela pendant les heures de pointes comme on peut le remarquer entre 17h00 et 18h00.

On comparant les mesures effectuées dans la place et celles faites dans la station météo on déduit que la place de Ain El Fouara possède un microclimat bien spécifique. L'écart entre les température est prononcé car la place est plus chaudes en début et fin de journée (4,8°C à 6h00 et 7,1°C à 18h00), cette écart s'estompe avec une inversion des rôles en milieu de journée et la place devient plus fraîche que la rase campagne avec un écart maximal de 1,1°C à 14h00.

Cette écart et d'autant plus prononcé concernant les valeurs d'humidité relative et où la place paraît nettement plus sec que la rase campagne avec un écart de 24,6% à 6h00 et 17,9% à 18h00. La seule période où cette tendance s'inverse est la période entre 14h00 et 15h00, dans laquelle la place est plus humide que la campagne avec un écart de 1,1% à 14h00.

Pour le vent aussi l'écart est très important, et on note que la place est beaucoup moins ventée que la campagne cela semble logique vu que le site de la station météo est complètement dégagé contrairement à la place qui contient beaucoup plus d'obstacles aérodynamiques (on note un écart max de 3,9m/s à 15h00).

## **VI-7-Le questionnaire :**

### **VI-7-1-Introduction :**

Pour les études du confort thermique en milieu extérieur, en générale et le milieu urbain plus particulièrement on a souvent recours à des enquêtes sur terrain. Ces dernières sont généralement employées, là où les gens se trouvent au milieu des "Paramètres du monde réel" afin d'inclure toute la complexité des conditions thermiques de chaque zone du cas d'étude. Cette collecte inclue des données environnementales et humaines en même temps.

L'une des techniques de collecte des données humaines reste incontestablement le questionnaire et dont la simplicité en fait une technique d'usage très courant. Ce dernier est une technique d'interrogation individuelle, standardisée, composée d'une suite de questions présentées dans un ordre prédéfini, il permet non seulement de quantifier les paramètres relatifs au confort thermique des individus en milieu urbain, mais permet aussi de déceler l'aspect qualitatif de ce confort.

Tout ceci nous orienta vers la nécessité de procéder à un questionnaire, qui permet l'évaluation des différents paramètres climatiques, de la sensation thermique et des préférences de sujets, les divers aspects de l'adaptation physique et psychologique. Ainsi que l'évaluation et l'utilisation de l'espace, l'évaluation du sujet socio-économiquement, le niveau d'instruction, le type d'emploi, les capacités financières qui ont été utilisées pour classer les sujets selon leur milieu socio-économique, en plus de quelques données d'observation tels que l'âge, le sexe, les vêtements, etc.

### **VI-7-2-L'échantillon :**

Pour notre cas, les deux critères de classification de l'échantillon et du choix du nombre des participants (48 personnes), sont incontestablement la proximité et la disponibilité. Car en plus des entretiens avec les sujets, une autre opération était en cour et qui est la prise de mesures des trois paramètres étudiés (températures, humidités et vitesse des vents) et qui prenait un temps considérable alors il fallait vite prendre contacte avec les gens, essayer de les convaincre de répondre, simplifier dans la mesure du possible leur compréhension des questions pour qu'ils puissent enfin répondre.

Dans le monde des statistiques cette méthode s'appelle l'échantillonnage accidentel, Il s'agit d'interroger dans un lieu public des gens au hasard (les passants par exemple, ou simplement assis sur des bancs), sans chercher à les trier. Le danger est de constituer des échantillons non représentatifs car le hasard ici n'en est pas.<sup>135</sup>

---

<sup>135</sup> **Yadolah Dodge** : Premiers Pas En Statistique, édition Springer 2002.

### **VI-7-3-Le model du questionnaire :**

Si dessous le spécimen du questionnaire qui est utilisé dans cette étude, il regroupe trois catégories de questions, les premières sont d'ordre observatoire, les deuxièmes d'ordre général et les dernières sont relatives au confort.

#### **VI-7-3-1-Observations :**

\*Description du sujet :

\*Contexte dans lequel se trouve le sujet :

\*Date - heure :

\*Emplacement dans l'espace (indiquer sur la carte ci-dessous) :

\*Activité :

#### **VI-7-3-2-Questions d'ordre général :**

\*Mètre un cercle sur le cas échéant:

\* Groupe d'âge: enfant, adolescent, 18-24, 25-34, 35-44, 45-54, 55-64,> 65

\* Sexe: Homme, Femme.

\*Vêtements :

-T-shirt (sans manche / court / long) shirt (coton / laine) jumper, sweat-shirt.

- Shorts, pantalons, jeans, jupe (long, court), de l'habillement (à court / long, non / court / manches longues)

-Gilet, veste (coton, laine), imperméable, manteau, cravate.  
-parasol.

\*Cap / chapeau, lunettes de soleil.

\*Alimentation / consommation de boissons: a) la boisson froide b) boisson chaude c) Alimentation

\*L'Interrogé y est: 1) Seul 2) Avec 1 personne 3) Avec plus de 2 personnes 4) Avec un chien

\*L'interrogé actuellement rester en plein soleil: 1) Oui 2) Non

\*L' Interrogé fait des mouvements pour protéger ses yeux d'un excès de lumière (par exemple le déplacement des mains au-dessus des yeux, la rotation ou flexion de la tête, clignotement des yeux)

1) Oui 2) Non

\*L'interrogé effectue une lecture ou une écriture, juste avant l'entretien : 1) Oui 2) Non

\*L'Interrogée regarde quelque chose lointain (c'est-à-dire > 10 m de là), juste avant l'interview :

1) Oui 2) Non

\*Quelle est la direction du secteur que l'interrogé regarde actuellement ?

#### **VI-7-3-3-Questions relatives au confort :**

\*-Pour le moment, vous trouvez qu'i fait :



Tranches d'âge	18-24	25-34	35-44	45-54	55-64	> 65
Nbre de personnes	5	7	9	7	14	6

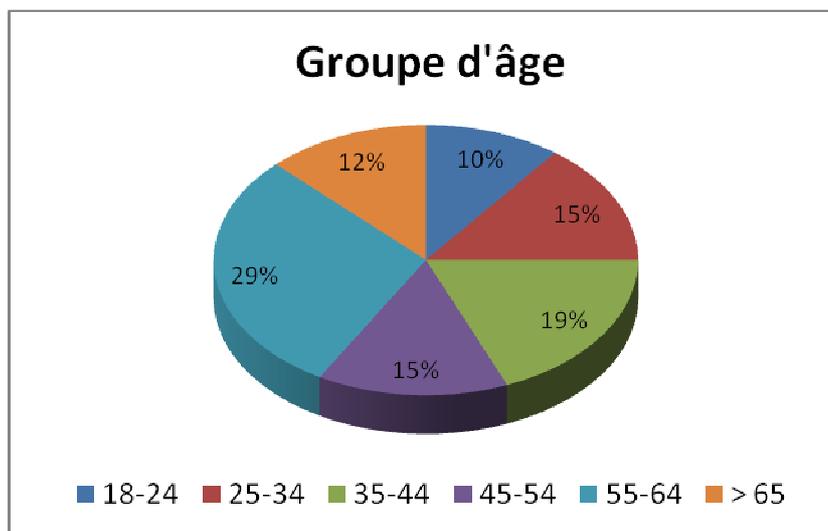


FIG.VI.37 : Différentes catégories de groupe d'âge. (Source : auteur)

\* Sexe :

Homme	Femme
48	0

\*-Etes-vous la ville de Sétif ?

Oui	Non
36	12

\*-Si oui êtes vous de cette zone (quartier) ?

Oui	Non
2	10

\*-Etes-vous ?

élève / étudiant	personne qui travaille	Sans travail	retraité
4	25	7	12

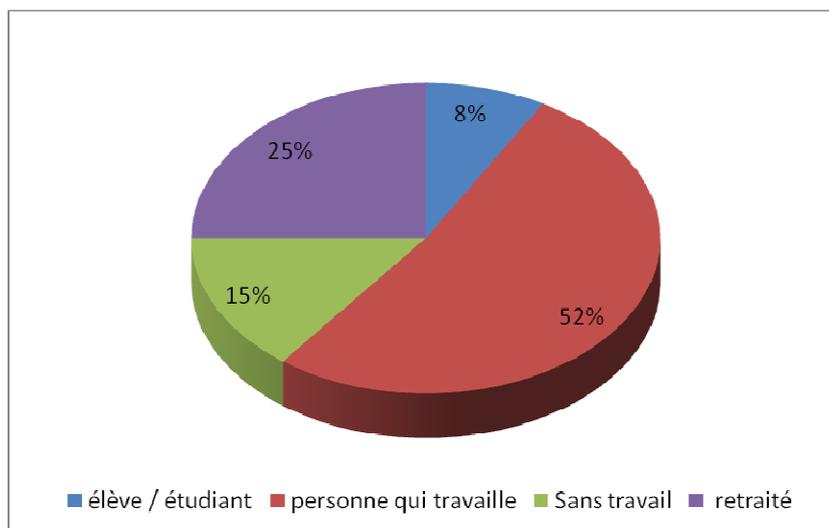


FIG.VI.38 : Statut des personnes questionnées. (Source : auteur)

\*-Quel est votre niveau ?

l'école primaire	secondaire	lycéen	universitaire
10	19	11	8

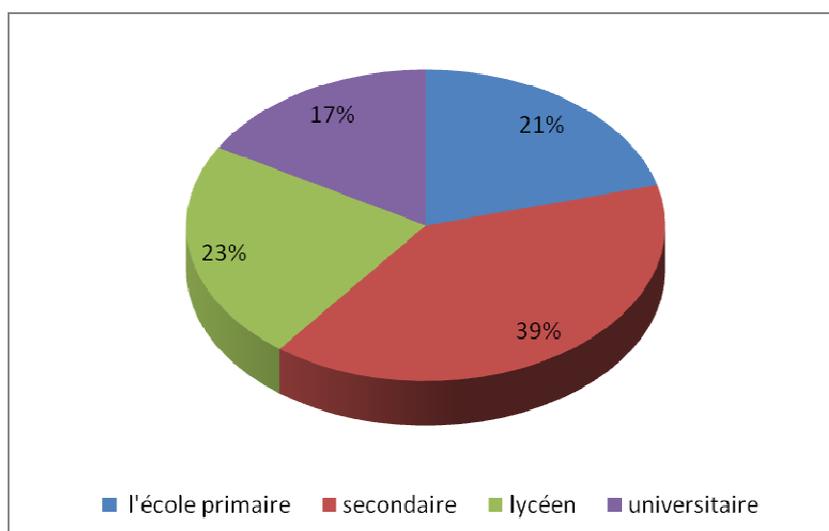


FIG.VI.39 : Niveau éducationnel des personnes questionnées. (Source : auteur)

\*-Vêtements :

T-shirt		
sans manche	court	Long
11	34	3

Shirt	
Leger (coton)	laine
48	0

Shorts	pantalons
8	40

Gilet	veste	imperméable	manteau
5	8	0	0

**\*- Chapeau, lunettes de soleil :**

Oui	Non
15	33

**\* Alimentation / consommation de boissons :**

la boisson froide	boisson chaude	Alimentation	Ni l'un ni l'autre
25	5	7	18

**\* L'interrogé y est :**

Seul	Avec 1 personne	Avec plus de 1 personne
12	10	26

**\*L'interrogé actuellement rester en plein soleil :**

Oui	Non
7	41

**\* L'interrogé fait des mouvements pour protéger ses yeux d'un excès de lumière (par exemple le déplacement des mains au-dessus des yeux, la rotation ou flexion de la tête, clignotement des yeux) :**

Oui	Non
2	46

**\*L'interrogé effectue une lecture ou une écriture, juste avant l'entretien :**

Oui	Non
10	38

**\*L'Interrogée regarde quelque chose lointain (c'est-à-dire > 10 m de là), juste avant l'interview :**

Oui	Non
20	28

\* Quelle est la direction du secteur que l'interrogé regarde actuellement ?

Fontaine	Mosquée	Autres
9	4	7

2- Questions relatives au confort :

\*-Pour le moment, vous trouvez qu'i fait :

Très froid	Froid,	Neutre	Chaud	Très chaud
0	0	17	14	17

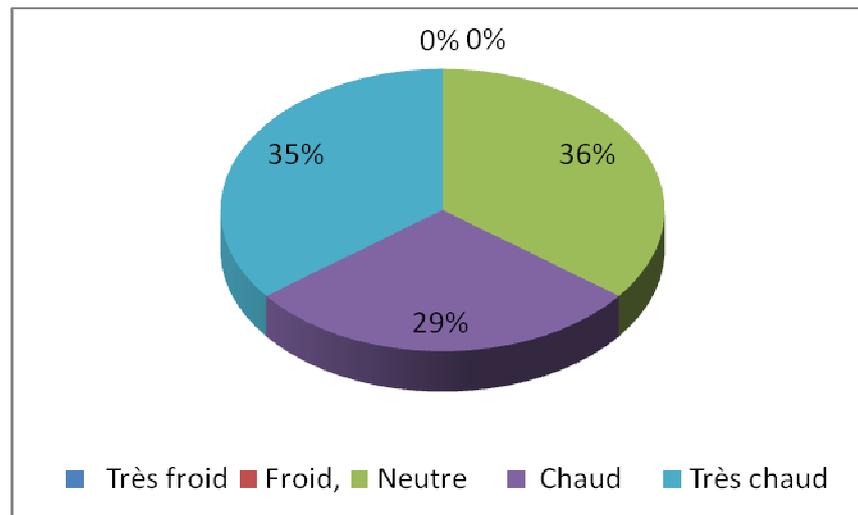


FIG.VI.40 : Sensation thermique ressentie par les sujets dans la place de Ain el Fouara. (Source : auteur)

\*-Que pensez-vous du soleil en ce moment ? (seulement demandé si l'endroit est ensoleillé) :

vous préférez plus	OK	Trop de soleil
0	41	7

\*-Que pensez-vous du vent en ce moment ?

très faible	peut venté	OK	trop de vent	beaucoup trop de vent
24	12	10	2	0

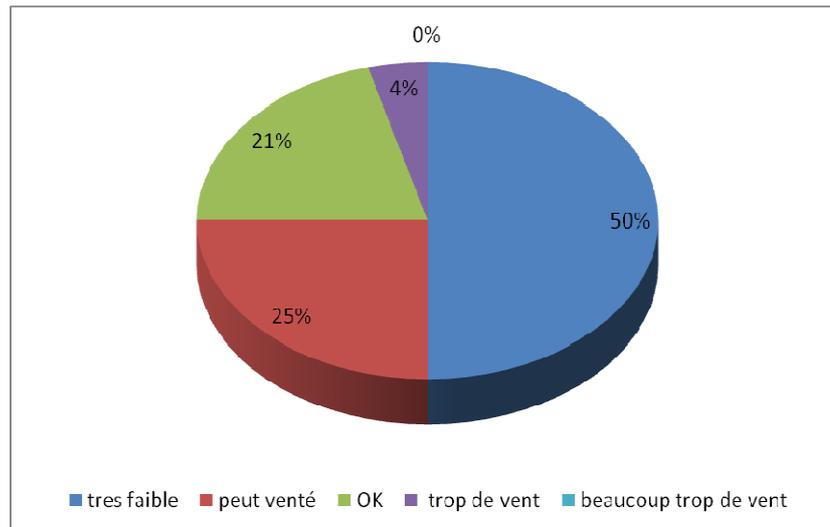


FIG.VI.41 : Différentes échelles de sensation de vent dans la place de Ain el Fouara. (Source : auteur)

\*-Que pensez-vous de l'humidité en ce moment ?

humide	Neutre	Sec
0	10	34

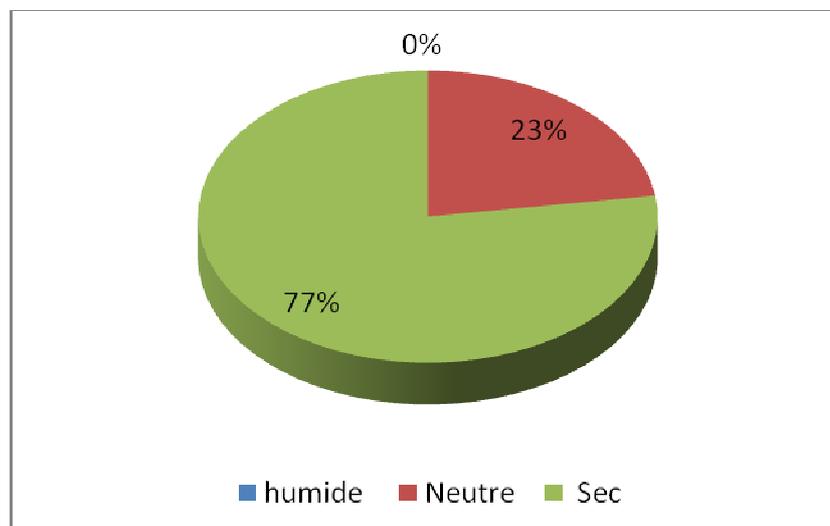


FIG.VI.42 : Sensation d'humidité ressentie par sujets dans la place de Ain el Fouara. (Source : auteur)

\*-Vous sentez-vous au confort ?

Oui	Non
18	30

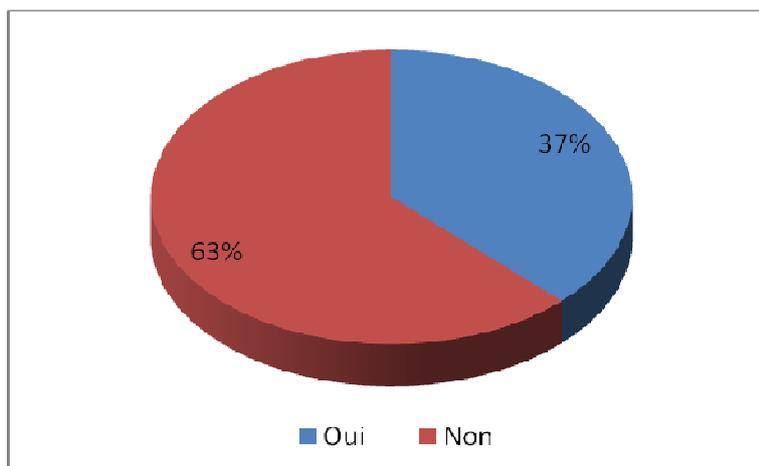


FIG.VI.43 : Sensation de confort ressentie par sujets dans la place de Ain el Fouara. (Source : auteur)

\*-Que pensez-vous de l'aspect lumineux de cet espace ?

Très sombre	sombre	ni sombre ni lumineux	lumineux	très lumineux
0	0	10	18	20

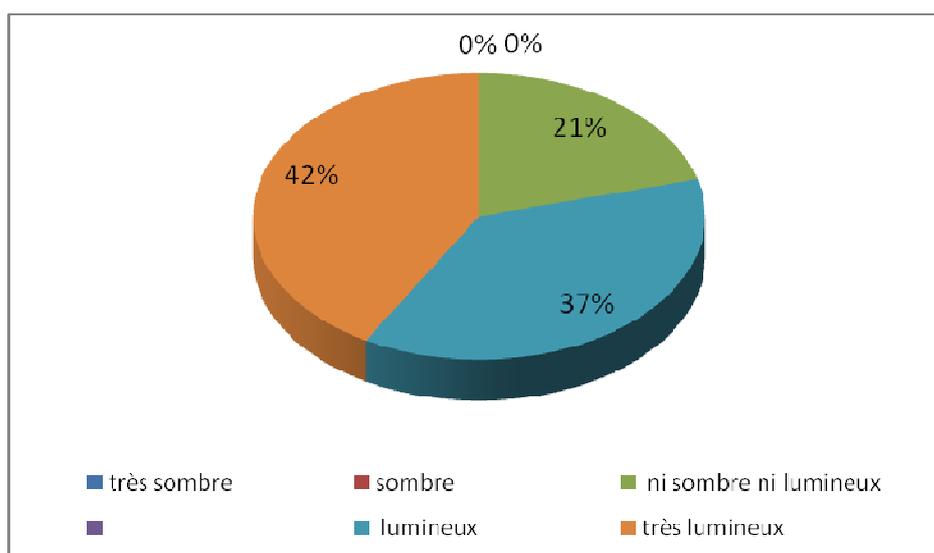


FIG.VI.44 : Réponses des sujets vis-à-vis du confort lumineux dans la place de Ain el Fouara. (Source : auteur)

\*-Est-ce qu'il y'a des surfaces qui vous semble éblouissantes ?

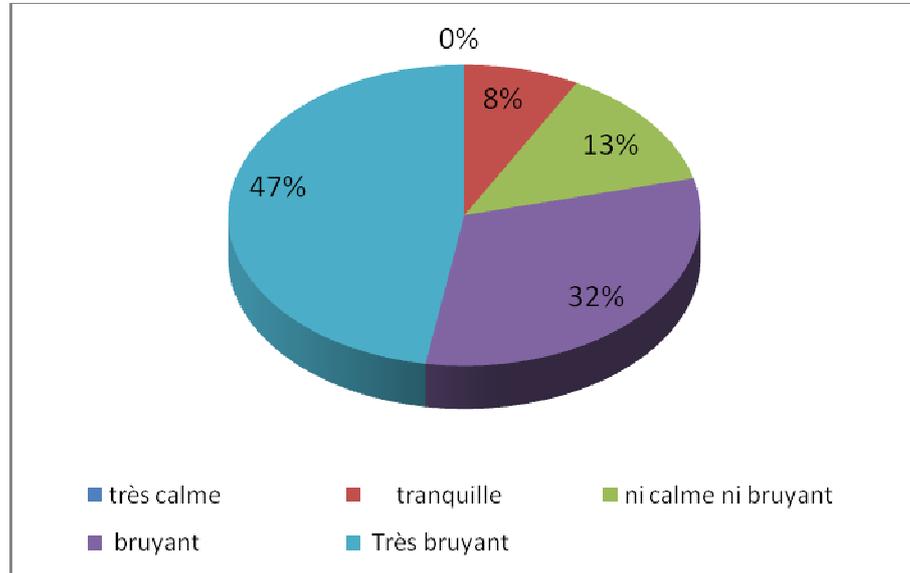
Non	la végétation	le sol / chaussée	surface de l'eau	meublier urbain	bâtiments	ciel
20	0	5	0	0	10	3

\*-Est-ce que la vue à partir de votre position actuelle influe sur votre appréciation de cette place ?

négativement	pas du tout	positivement
0	13	35

**\*-Quel est votre sentiment vis-à-vis du niveau sonore dans cet espace et en ce moment ?**

très calme	tranquille	ni calme ni bruyant	bruyant	Très bruyant
0	0	5	13	20



**FIG.VI.45 : Réponses des sujets vis-à-vis du confort sonore dans la place de Ain el Fouara. (Source : auteur)**

**\*-Pourquoi venez-vous ici ?** : Les réponses les plus fréquemment données sont :

Passer le temps.

Se divertir.

Rencontrer des amis.

Changer de routine.

Point de repère.

Prendre un café.

Ma place.

Pas de préférence.

**\*-Où étiez-vous avant votre arrivée ici ?**

Maison	Travail	Administration	Sport	Divers
15	16	12	3	2

**\*-À quelle fréquence utilisez-vous cette espace ?**

par jour	par semaine	par mois	par an
25	12	10	2

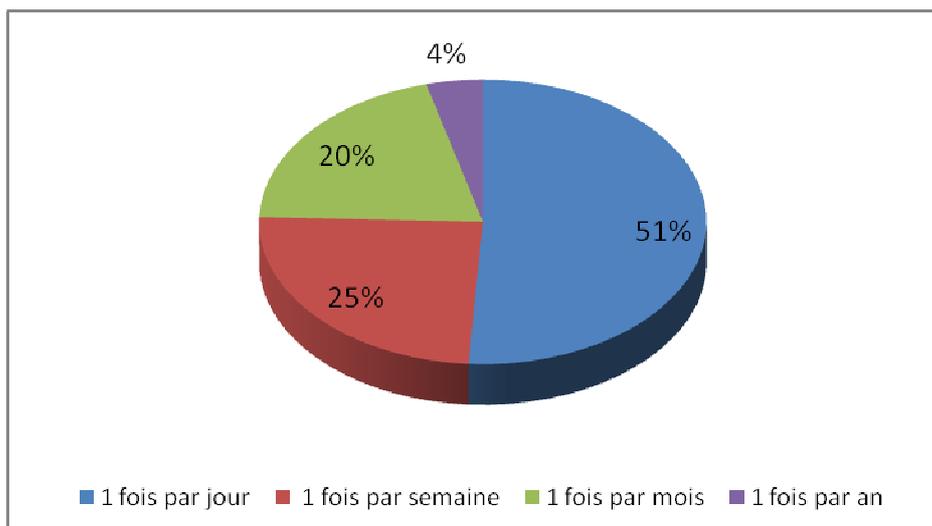


FIG.VI.46 : Fréquences d'utilisation de la place Ain El Fouara par les sujets. (Source : auteur)

**\*-Existe-t-il quelque chose que vous n'aimez pas dans cette zone ?**

La circulation, la voiture.

Trop de monde.

Les touristes.

Les immeubles en ruine.

**\*-En ce qui concerne la végétation (arbres et pelouses) vous aimerait qu'il y est :**

Moins	Parfait	Plus
2	22	24

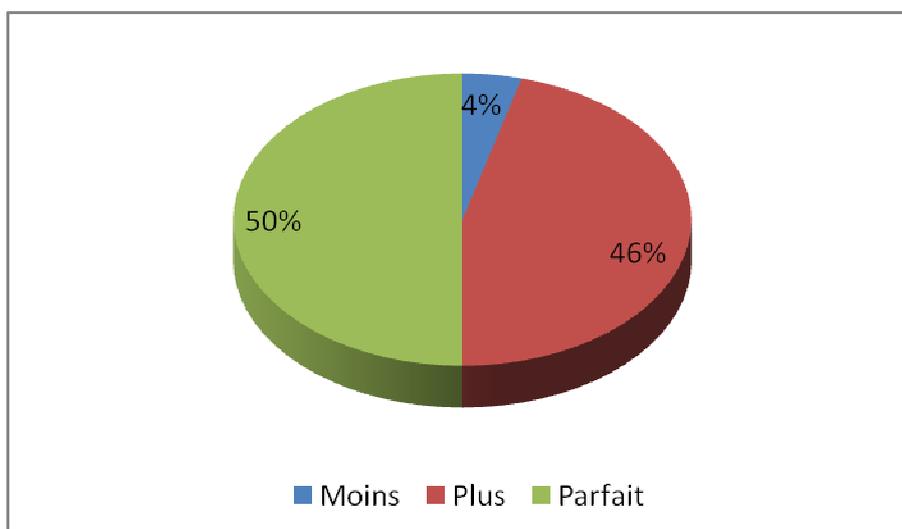


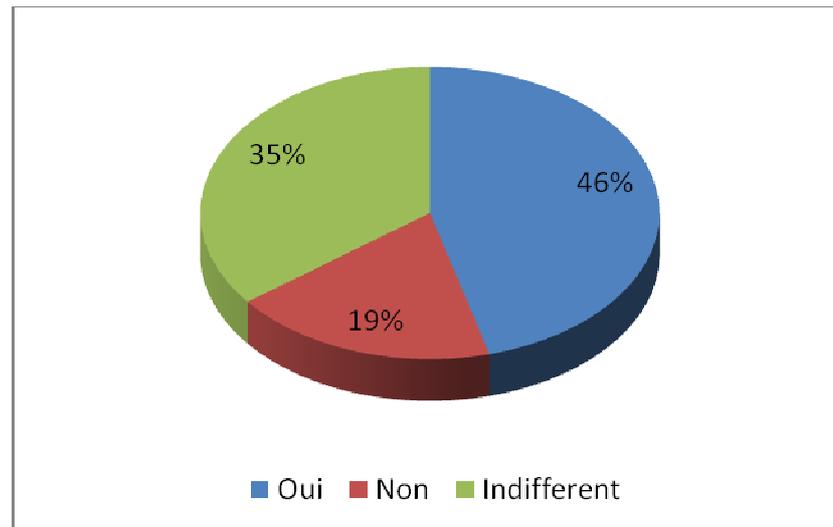
FIG.VI.47 : Réponses des sujets concernant le rajout de végétation dans la place de Ain el Fouara. (Source : auteur)

**\*-La vue de la fontaine vous importe elle ?**

Oui	Non	Indifférent
32	5	11

**\*-La vue de l'écoulement de l'eau vous rapporte-il plus de confort ?**

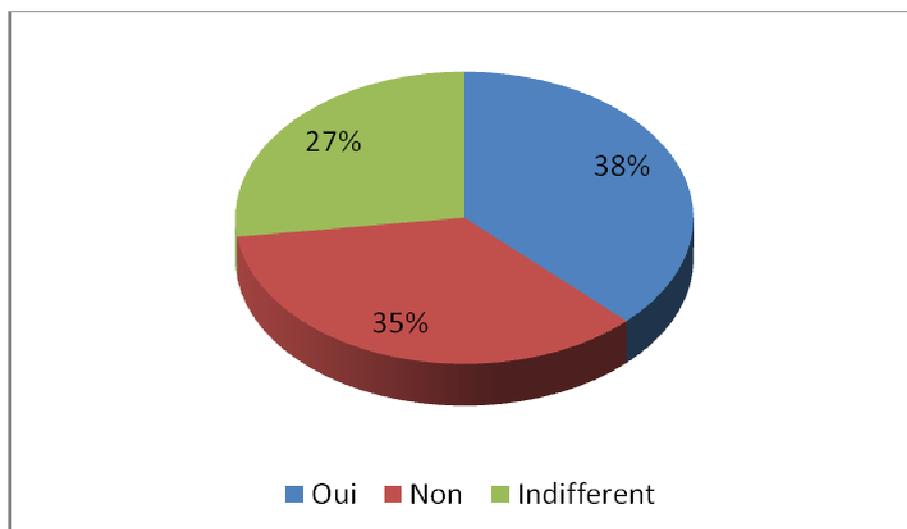
Oui	Non	Indifférent
22	9	17



**FIG.VI.48 : Les réponses concernant l'apport de bien-être à la vue de l'écoulement de l'eau. (Source : auteur)**

**\*-Aimeraient vous qu'il y est plus de surface d'eau (bassins, fontaines et jets d'eau) ?**

Oui	Non	Indifférent
18	17	13



**FIG.VI.49 : Réponses des sujets concernant le rajout d'objets d'eau dans la place de Ain el Fouara. (Source : auteur)**

#### **VI-7-4-Discussion :**

\*-On note en premier lieu que toutes les catégories d'âge sont présentes dans l'échantillon choisi, toute fois la tranche de 55 ans et plus reste la plus représentée avec 41%, cela s'explique tout simplement par le fait que cette tranche n'est plus active généralement à cet âge (retraite) et donc a plus de temps libre que les autres catégories.

\*-A notre surprise générale, et en ayant comme idée reçue que la place de Ain El Fouara serait un point de rassemblement pour les gens originaires de la ville de Sétif, on constate que 75% des participants ne le sont pas ou ne vivent pas à Sétif. Cela confirme que la place est un élément de repère très important.

\*-On note aussi que 52% des participants sont des gens actives (personnes qui travaillent), confirmant que la place est un endroit pour changer d'air et se distraire après une dure journée de travail ou pendant les pauses, sachant que la place de Ain El Fouara est à proximité de plusieurs administrations dans cette région. Et la aussi la tranche des étudiants/élèves reste la moins représentée avec 8%.

\*-D'après les remarques notées sur les tenues vestimentaires des participants, on note qu'elles reflètent parfaitement la saison estivale mais aussi un essai à l'acclimatation aux conditions climatique du site et à la ville de Sétif.

Même la consommation reflète cette tendance d'acclimatation, avec la consommation de boissons froides qui représente 52%, reflétant ainsi une volonté de se rafraichir et de baisser sa chaleur métabolique. Les boissons chaudes sont les moins consommées avec 10% de la consommation totale.

\*-La place de Ain El Fouara représente le lieu idéal pour la rencontre et le rassemblement car 75% des participants au questionnaire sont avec une ou deux personnes.

\*-Concernant la sensation de confort thermique, on note que l'inconfort due à la chaleur est nettement quantifié avec 65% des participants qui disent qu'ils ont chauds ou très chauds. Seul 35% disent que les conditions de confort sont atteintes, mais il est à noter que ce résultat est obtenu en début et en fin de journée où les conditions thermiques sont plus clémentes.

\*-D'autres éléments viennent consolider notre compréhension du confort aux yeux des participants tel les réponses à la question «que pensez-vous du soleil en ce moment ?», les participants vont répondre inconsciemment sur l'intensité du rayonnement solaire au moment du questionnaire. On note tout simplement que ceux à l'ombre ne souffre pas des désagréments causés par l'intensité du flux solaire et ne désirent en aucun cas un apport quelconque de cet élément. Contrairement à ceux se trouvant en plein soleil et qui aimeraient bien une diminution de l'intensité

du flux solaire, ce qui nous renvoi à l'importance de l'utilisation de plus de masque solaire (végétation).

\*-Pour le vent, on remarque que 75% des participants pensent qu'il est faible ou très faible et cela semble causer une gêne, car dans ces conditions thermique (surtout la température de l'air), la plupart d'eux disent qu'ils « manquent d'air », renvoyant à un manque de circulation de l'air.

\*-Pour l'humidité, la majorité des participants (77%) trouvent qu'il fait sec au sein de la place et au moment du questionnaire. Néanmoins 23% trouvent que le niveau d'humidité est acceptable, mais on tient à signaler que la plupart de ceux là ont été questionnés pendant la matinée, période dans laquelle l'air dans la place bénéficie de l'humidité naturelle de l'air mais aussi de celle apportée par la végétation du parc au nord de la place.

Ce résultat confirme ceux obtenus lors de la campagne de mesure et où on remarque que l'effet du parc est perceptible pendant la matinée et s'estompe au fur et à mesure que la température de l'air et des surfaces augmente.

\*-Pour la question « Vous sentez-vous au confort ? », on note que 63% des interviewés ne se sentent pas au confort et seulement 37% le sont. Mais on doit avouer que l'on a peut être influencé les participants car cette question leurs semblaient un peu ambiguë (vue qu'ils ont déjà répondu à d'autres questions relatives au confort) et on essayant de leurs expliquer, nous avons peut être insisté sur le coté thermique alors que « se sentir au confort » ne dépend pas que de cet élément et peut être -dans certains cas- contradictoire avec ce dernier.

\*-Le confort visuel lui aussi est présent dans le questionnaire et d'après les résultats obtenus, on note que l'ambiance lumineuse dans la place est assez confortable vue qu'aucun sujet ne considère que la place comme étant sombre, et ceux qui ont voté que la place est très lumineuse ne considèrent pas que cela soit un défaut ou constitue un inconfort.

L'effet d'éblouissement lui aussi semble ne pas trop déranger, vue que 41% disent ne pas souffrir de cette gêne, toute fois 20% montre leur insatisfaction vis-à-vis de cette gêne mais seulement à cause du nouvel immeuble « hôtel », et dont les grandes baies vitrées reflètent les rayons solaires et surtout en début et milieu de journée.

\*-Contrairement au confort visuel, les sujet considèrent que l'ambiance sonore est inconfortable avec 75% qui considèrent la place comme bruyante ou très bruyante. Cela est causé en premier lieu à la circulation intense qui règne au sein de la place. Les 25% restant considèrent que la place est assez calme, on note que ces participants ont été questionnés en tout début de journée, heure où la circulation mécanique est la moins intense.

\*-En voyant le pourcentage de gens qui fréquentent la place de Ain El Fouara assez souvent on voit bien que 76% y sont tous les jours ou au moins une fois par semaine, ce qui va donner une certaine légitimité à notre questionnaire.

\*-On a tenu aussi à savoir l'avis des participants sur l'état de la végétation dans la place, 50% pensent qu'il devrait y être plus de végétation et sont conscients du rôle bénéfique de cette dernière, 46% pensent que la quantité de végétation est parfaite et ne devrait y avoir aucun rajout. Seul 4% pensent qu'il devrait y avoir moins de végétation (arbres).

\*-La vue de l'écoulement de l'eau, elle aussi semble être positivement vue par les gens et 46% d'eux pensent que la vue d'un tel phénomène leur apporte un certain confort, alors que 19% ne le ressentent pas et 35% sont indifférents. Les réponses concernant un apport en surface d'eau (bassins, fontaines et jets d'eau) semblent être assez mitigées, car 38% des participants sont pour un tel apport, 35% sont contre et disent que le seul point d'eau qui devrait exister dans la place est la fontaine de Ain el Fouara, 27% sont complètement indifférents à un tel rajout.

#### **VI-7-5-Conclusion du questionnaire :**

Dans la plupart des études portant sur le confort thermique des espaces extérieurs, un modèle purement physiologique est employé impliquant un modèle mathématique du confort permettant de calculer un indice de satisfaction thermique dépendant des conditions environnementales, de l'activité de la personne et de son degré d'habillement.

Les mesures faites sur le terrain ont cependant révélé qu'une approche purement physiologique est inadéquate pour caractériser les conditions de confort thermique à l'extérieur alors que la notion d'adaptation devient de plus en plus importante. Cela implique tous les processus par lesquels l'individu utilise pour améliorer l'adéquation entre l'environnement et ses propres besoins, autant d'un point de vue physique que psychologique. Cela implique des changements personnels tels que la modification de l'habillement selon la saison ou la variation de la chaleur métabolisée à partir de la consommation de boissons froides, mais aussi des changements de posture et de position, et sont donc des paramètres déterminants pour la satisfaction dans un environnement thermique.

Cette partie présente les résultats d'un questionnaire sur le confort thermique en climat semi-aride chaud, où on essaie d'établir une relation entre le microclimat de la place Ain El Fouara et le comportement humain.

Ce questionnaire nous a permis de déceler le côté qualitatif de la sensation et du comportement des utilisateurs de la place de Ain El Fouara vis-à-vis du confort thermique dans cet espace urbain.

Plusieurs éléments sont mis en évidence, telle que la différence de ces comportements dus à la catégorie sociale de chaque participant, l'adaptation des gens aux conditions climatiques et qui se reflète par leurs habits, leurs consommations et leurs positionnements dans cet espace.

Pour les différents paramètres de confort on note qu'il existe une certaine concordance entre les résultats du questionnaire et ceux de la campagne de mesure et cela confirme le microclimat chaud sec et peu venté de la place, et on confirme encore plus l'existence de zones de confort à travers la place chose qui n'est pas facilement perceptible dans la campagne de mesure.

Autre élément très important à noter, est l'avis favorable des utilisateurs vis-à-vis de la présence et du rajout de la végétation et de l'eau dans la place, et leur conscience de l'apport que peuvent apporter ces deux éléments sur leur confort.

#### **VI-8-Conclusion :**

A travers ce chapitre qui comporte d'une part la description du site d'investigation avec les différents points de mesure et leurs caractéristiques, l'interprétation de ces mesures avec différentes méthodes afin de les comparer entre elles, et d'une autre part un questionnaire comportant des questions d'observation, d'ordre général et d'autres relatives au confort.

Il est évident que l'utilisation des trois paramètres (température, humidité et vitesse des vents) reste restreinte pour une étude du confort dans un milieu extérieur vue la complexité de ce sujet, mais elle s'avère néanmoins représentative et permet la quantification et l'explication de certains phénomènes microclimatiques qui se sont déroulés dans la place de Ain et Fouara et pendant la campagne de mesure, et donc de répondre aux questions que nous avons posé au début de ce travail. D'où le recours à un autre outil qui permet d'aborder l'aspect qualitatif du confort thermique et d'autres paramètres d'ordre social.

D'après les mesures effectuées, on a constaté l'existence d'un micro climat propre à la place et l'existence de plusieurs zones climatiques au sein même de cette place cela est due principalement aux différentes caractéristiques physiques à travers le site. Le questionnaire vient confirmer cela grâce aux réponses des participants mais aussi à leur positionnement dans la place de Ain El Fouara.

La présence de végétation et de l'eau contribue largement dans le confort dans la place, et lui confère même des conditions plus propices qu'en rase campagne pendant la période la plus critique de la journée, notons qu'il existe une différence de 1°C en moyenne entre les zones sous l'ombre des arbres et celles découvertes, et cet écart peut atteindre une valeur maximale de 3,7°C. Concernant l'humidité relative, la station S2 qui est la plus proche de la fontaine enregistre les valeurs les plus humides de la place (même si cet écart est de l'ordre de 2% à 3%), ce qui confirme

l'aspect bénéfique des sources d'eau sur l'humidité relative et donc sur le confort thermique.

Chaque critère climatique influe sur les autres, et leur évolution au sein de la place reste en relation directe, notons tout de même que le vent reste un élément très influent sur les deux autres paramètres (transfère de flux de chaleur et de quantité d'humidité) et dont le rôle peut être positif ou négatif sur la sensation de confort au sein de la place.

Le questionnaire nous a aidé à confirmer les résultats obtenus lors des mesures et même de déceler des éléments au delà de la simple quantification, et l'élément qui tire le plus notre attention est le phénomène d'adaptation dont font preuve les utilisateurs de cet espace en vue de se mettre dans des conditions plus confortable.

Nous avons confirmé aussi que les considérations sociales influent nettement sur les comportements ou les réactions des gens envers le confort thermique allant de la connaissance en détail de la notion de confort jusqu'à l'ignorance totale de cet élément.

Néanmoins, l'effet bénéfique de la végétation sur les conditions de confort thermique semble faire l'unanimité chez les utilisateurs de la place (que ce soit d'une manière consciente ou non) et donc la volonté d'un rajout de cet élément dans la place. Contrairement à l'ajout des étendues d'eau qui semble être confronté à un problème plutôt « nostalgique » envers la fontaine de Ain El Fouara.

Dans le prochain chapitre nous allons essayer de matérialiser ce souhait de rajout de la végétation et qui est aussi l'un de nos buts dans cette étude et cela grâce à une simulation avec le logiciel ENVI-met, afin de vérifier et de quantifier les améliorations que peuvent apporter le rajout de la végétation et des étendues d'eau vis-à-vis du confort thermique dans la place de Ain El Fouara.

# **Chapitre VII**

La simulation

## **VII-1-Introduction :**

Dans cette partie de la thèse une simulation a été effectuée dans le but de vérifier et de consolider les résultats obtenus lors de l'investigation, mais aussi pour mettre en évidence de nouveaux éléments qui pourraient apporter un plus dans notre recherche.

Deux logiciels sont utilisés dans cette simulation. Le premier est ENVI-met, logiciel qui a fait ces preuves en ce qui concerne la modélisation du microclimat urbain et l'étude des paramètres affectant le confort en ville. Et le deuxième s'appelle PsychComfort.xls pour l'extraction des valeurs du PMV et du PPD.

Un certain nombre d'études ont été réalisées pour différents paramètres tel que le niveau végétal ainsi que certains paramètres de l'environnement physique, comme la géométrie, le type de matériaux des différentes parois qui constituent l'espace urbain, etc. La simulation inclut les flux d'air autour des bâtiments, l'évapotranspiration des surfaces et plantes, turbulence, dispersion, etc.

Dans notre cas d'étude, les deux paramètres étudiés sont la présence et la quantité d'eau d'une part et la densité du couvert végétal d'une autre part, et afin de vérifier si la place telle qu'elle est actuellement (avec la fontaine et le nombre d'arbres existants) présente les conditions de confort optimales, ou pourrions nous améliorer encore plus le confort dans cette espace en ajoutant des surfaces d'eau et encore plus d'arbres.

Et si tel est le cas pourrions nous (dans la mesure du possible) quantifier l'apport bénéfique de cet ajout.

Dans cette logique de raisonnement, cinq scénarios présentent les mêmes caractéristiques sont simulés en ayant comme seule différence la quantité (ou la surface) d'eau présente dans la place en premier lieu, et la densité du couvert végétal en deuxièmes. Les cinq scénarios seront détaillés lors du développement de ce chapitre.

Une fois les résultats obtenus, ils seront comparés avec les résultats mesurés in-situ d'une part, mais aussi ils seront comparés entre eux pour confirmer les hypothèses qu'on a posé au début de cette recherche.

D'après une vue globale sur les études qui sont effectuées dans le domaine du confort thermique en milieu urbain, on constate que les paramètres physiques les plus importants à étudier sont la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse du vent, la température de surface et le flux solaire incident. Dans notre cas seul les valeurs de la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse du vent sont utilisées vu l'impossibilité de quantifier les valeurs des deux derniers paramètres, sans lesquelles on ne pourra comparer les valeurs simulées.

D'autres paramètres physiologique sont aussi utilisés tel que l'indice de vote moyen prévisible (PMV (Predicted Mean Vote), le pourcentage prévisible d'insatisfaits (PPD - Predicted Percentage Dissatisfied) et l'indice PET (Physiological Equivalent Temperature).

Notre choix c'est penché sur l'indice PMV et l'indice PPD qui sont en relation direct l'un avec l'autre.

### **VII-2-Présentation du logiciel ENVI-met :**

La simulation a été exécutée avec ENVI-met, un logiciel qui utilise un modèle en trois dimensions et analyse les interactions thermiques dans les milieux urbains à micro-échelle (avec une résolution typique de 0,5 à 10 m).

Le logiciel utilise à la fois le calcul des caractéristiques de dynamique des fluides, tels que le flux d'air et les turbulences, ainsi que les processus thermodynamiques ayant lieu à la surface du sol, au niveau des façades, les toits et la végétation. ENVI-Met prend en compte tous les types de rayonnement solaire (direct, réfléchi et diffusé) et calcule la température moyenne radiante. Le calcul des flux radiatifs inclue l'ombrage des plantes, l'absorption et les écrans contre le rayonnement ainsi que l'irradiation à partir des couches d'autres plantes.

Le logiciel utilise les valeurs d'entrée des bâtiments, la végétation, les conditions climatiques, les matériaux, et simule alors les modifications du microclimat, à partir de la forme du bâtiment proposé, des ombrages additionnels, des orientations alternatives, etc. Le modèle peut aussi aider à résoudre certains conflits indissociables à la volonté de renforcer le confort thermique à l'extérieur, l'atténuation de l'îlot de chaleur urbain, et l'utilisation de ressources nouvelles telles que l'eau.

Les domaines d'application typiques d'ENVI-met sont la climatologie urbaine, l'architecture, la conception des bâtiments ou d'environnement urbain, etc.

### **VII-3-Présentation des cinq scenarios :**

Les cinq scenarios sont décrits là-dessous avec leurs fichiers (.IN) :

#### **VII-3-1-Scenario N° 1 :**

Dans ce scenario on remarque que la végétation est totalement inexistante, de même aucunes surfaces d'eau et même la seule source existante dans la place qui est la fontaine de Ain el Fouara. Cela revient à dire que la simulation a pour but de vérifier les paramètres relatifs au confort thermique de la place à l'état brute sans éléments susceptible d'améliorer le confort thermique.

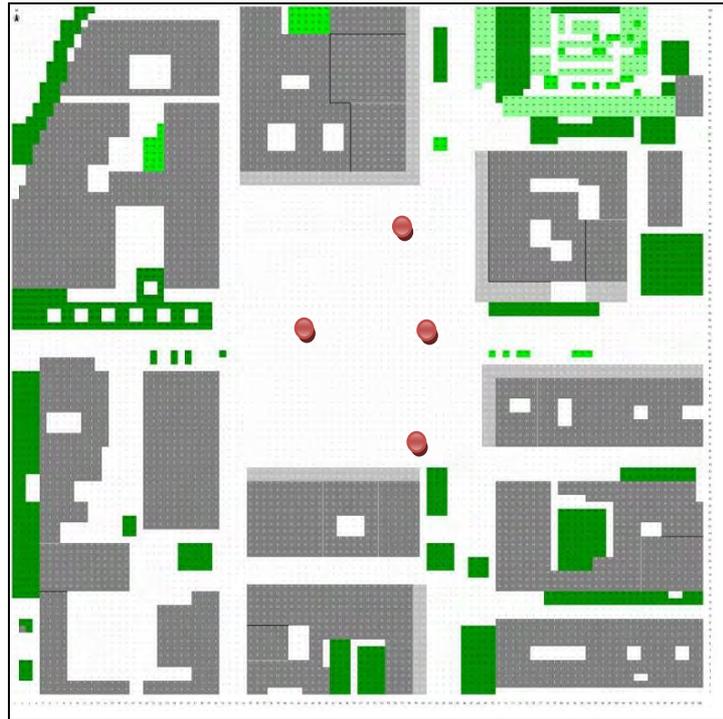


FIG.VII.1 : Fichier d'entrée de la zone étudiée (.IN) pour le premier scenario.(Source : auteur)

### VII-3-2-Scenario N° 2 :

Ce scenario correspond à l'état actuel de la place, ce qui revient à dire l'existence de la fontaine au milieu et une végétation qui équivaut à celle présente en réalité dans la place. En termes de surface cela représente 16,3% de la surface totale de la place.

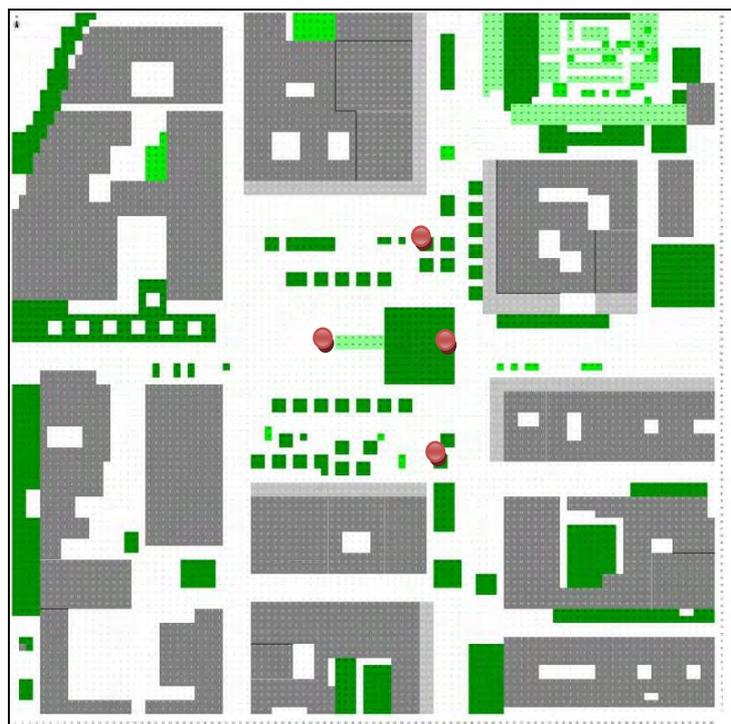


FIG VII.2 : Fichier d'entrée de la zone étudiée (.IN) pour le deuxième scenario.(Source : auteur)

### VII-3-3-Scenario N° 3 :

Dans ce scenario on a conservé la même densité de végétation que le premier scenario (16,3% de la surface totale), et on rajouter une surface d'eau qui correspond au terreplein centrale existant au milieu de la place (en bleue sur la figure VII.3), et qui est d'une surface de 214m<sup>2</sup> ou 3,7% de la surface totale de la place.

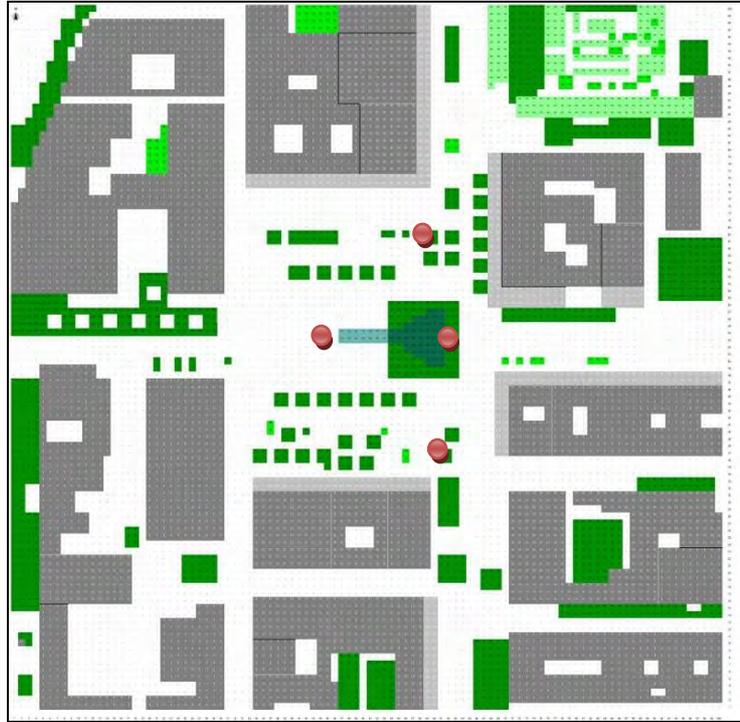


FIG.VII.3 : Fichier d'entrée de la zone étudiée (.IN) pour le troisième scenario.(Source : auteur)

### VII-3-4-Scenario N° 4 :

Dans ce scenario on a conservé la même densité de végétation que le premier scenario, et on a rajouté deux bassin, à gauche et à droite de la fontaine en plus de celui rajouté dans le 3ème scenario, ce qui correspond au total à une surface de 770m<sup>2</sup> ou 13,34% de la surface totale.

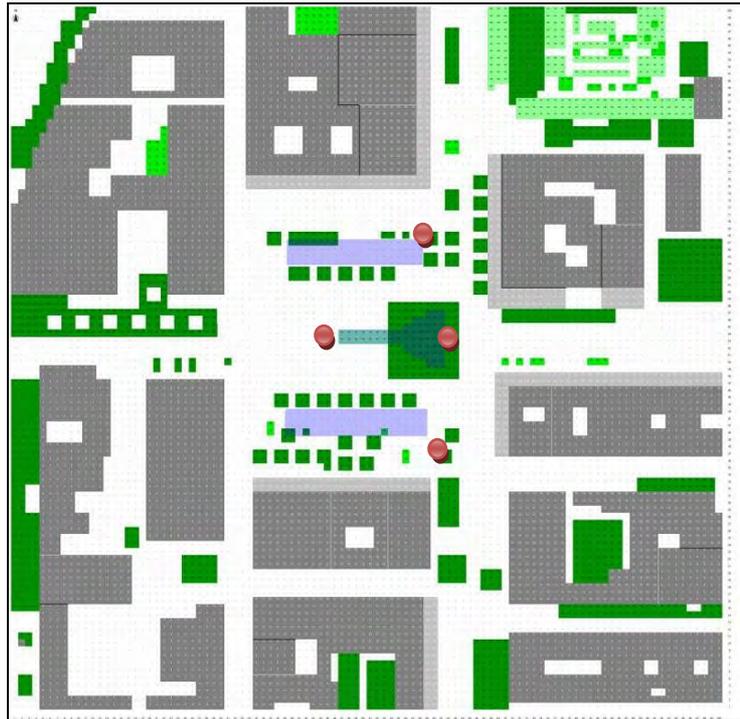


FIG.VII.4 : Fichier d'entrée de la zone étudiée (.IN) pour le quatrième scénario.(Source : auteur)

#### VII-3-5-Scenario N° 5 :

Dans ce scénario on a conservé la même surface pour les bassins d'eau (13,34% de la surface totale), tandis que la densité de végétation est augmentée pour atteindre 34,92% de la surface totale de la place.



FIG.VII.5 : Fichier d'entrée de la zone étudiée (.IN) pour le quatrième scénario.(Source : auteur)

#### VII-4-Présentation du logiciel PsychComfort.xls :

Vu que le fichier de sortie des récepteurs atmosphériques (.1DR), ne contient pas de sortie pour les valeurs du PMV et le PPD, on a utilisé le logiciel **PsychComfort.xls** (Figure.VII.6) qui se présente sous forme de fichier Excel.

Ce logiciel a été élaboré par Michael J. Brandemuehl, PhD, PE sous la tutelle de L'Université du Colorado à Boulder, département d'environnement civil, et génie architectural (University of Colorado at Boulder, Civil Environmental, and Architectural Engineering). <http://ceae.colorado.edu/>

PsychComfort.xls, est défini comme un tableau psychrométrique de calcul de PMV et de PPD qui est basé sur l'équation de Fanger, où une feuille de calcul Microsoft Excel a été élaboré pour aider dans les calculs psychrométrique. La feuille de calcul inclut des routines ou macros Visual-Basic pour les calculs de la propriété commune psychrométriques et pour prédire le confort thermique en utilisant les méthodes de PMV et de PPD.

Ce graphique indique le pourcentage de personnes insatisfaites (PPD) sur une plage de température de l'air et les concentrations d'humidité. Les calculs sont basés sur le taux métabolique, le niveau des vêtements, de la vitesse de l'air, et la différence de température de rayonnement donnée ci-dessus.

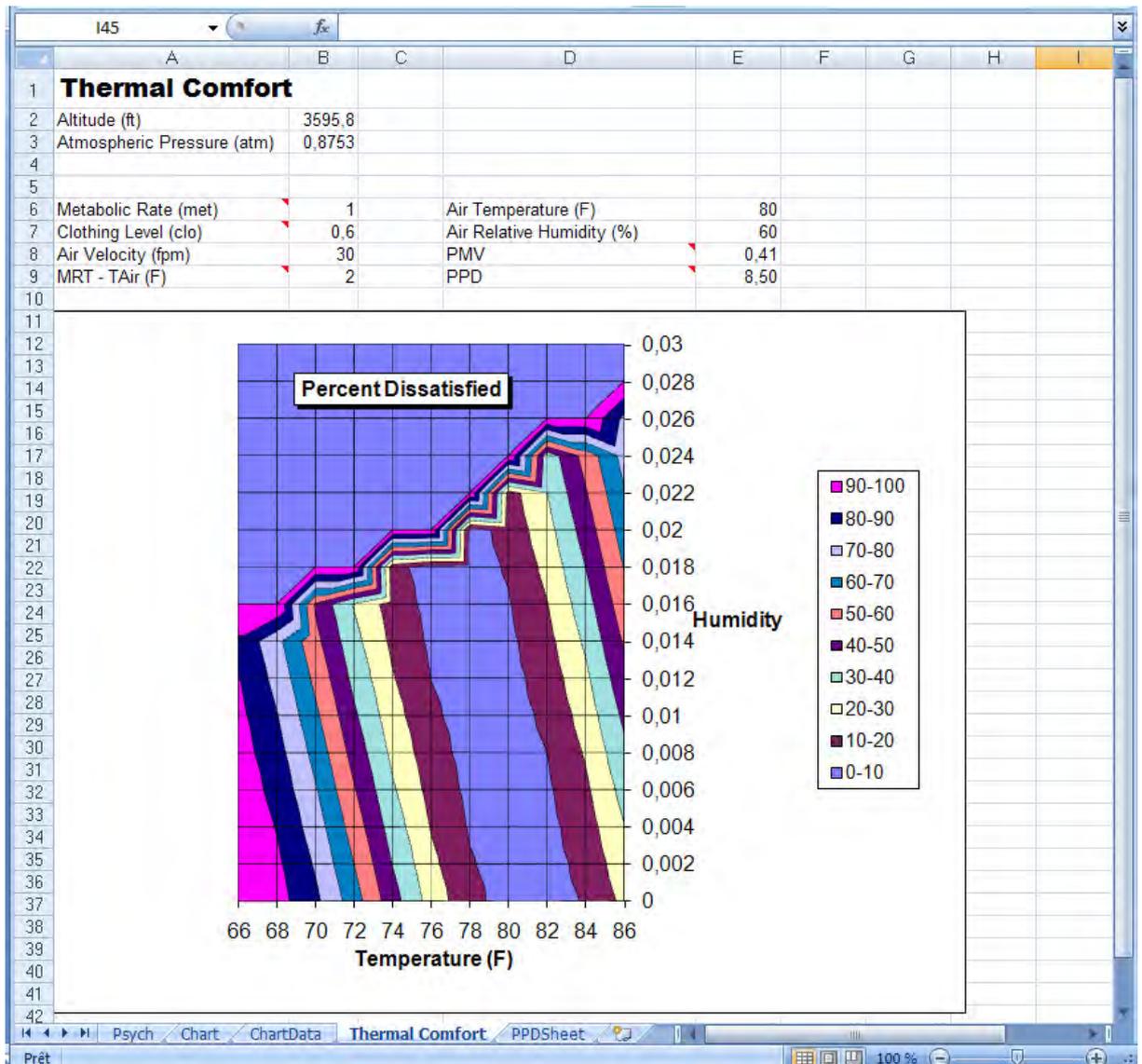


FIG.VII.6 : aperçu sur l'interface du logiciel PsychComfort.xls  
(Source : auteur)

Les paramètres d'entrées sont :

1-Paramètres constants pour tous les scenarios :

-L'altitude du lieu donné, en pied (feet), pour le cas de Sétif est égale à 3595,8 ft (1096m).

-L'activité métabolique (Metabolic rate), pour notre cas est égale à 1met ce qui équivaut à l'activité métabolique d'une personne détendue et assise.

-Le niveau d'habillement (Clothing level), égale à 0,6 indiquant une personne en tenue légère.

2-Paramètres qui changent selon les scenarios :

-La vitesse de l'air en pied/second (f/s).

-La température en degré Fahrenheit.

-L'humidité relative en %.

Les paramètres de sortie sont :

- Le PMV qui varie sur une échelle de -3 à +3.
- Le PPD en %.

## **VII-5-Interprétation des résultats obtenus :**

### **VII-5-1-Comparaison entre les valeurs mesurées In-situ et les valeurs simulées :**

Cette étude comparative entre valeurs mesurées et les valeurs simulées s'avère être utile dans la mesure où elle nous permet d'établir si il existe une relation entre les deux types de donnée, mais aussi de vérifier l'existence d'anomalies dans le modèle simulé.

Pour cela, seules les valeurs obtenues lors du 2ème scénario sont comparées avec celles mesurées puisque ce scénario représente la place telle qu'elle existe actuellement et les autres sont des améliorations de l'état réel.

En plus, on a utilisé les moyennes des valeurs de chaque paramètre (température, humidité et vitesse des vents) et pour les 4 stations (S1, S2, S3 et S4), puisque -d'une part- nous cherchons à avoir une relation globale entre valeurs simulées et valeurs mesurées dans la place, et d'une autre part les variations pour les quatre stations semblent suivre la même logique. Néanmoins on peut voir la comparaison de l'évolution des valeurs mesurées et simulées pour chaque station dans la partie annexes. (Cf. Annexes IV).

#### **VII-5-1-1-La Température :**

Globalement les deux courbes ont la même allure c.-à-d. qu'elles passent par deux périodes importantes, une première période où les deux courbes augmentent pour atteindre une valeur maximale (37,5°C à 13h00 pour les températures mesurées et 34,38°C à 14h00 pour celle simulées). Une deuxième période dans laquelle les deux courbes décroissent pour atteindre leur minimum en fin de période d'investigation.

Mais on distingue clairement que la courbe des températures simulées est plus régulière que celle mesurée qui elle, est plus aléatoire avec des augmentations subites ou « anormales » si l'on puisse dire. Cela peut être expliqué par les apports anthropiques dus à la circulation mécanique mais aussi au grand nombre d'individus présents dans la place, et si on localise le moment de ces sursauts de température on remarque qu'ils se manifestent lors des heures de pointes (précisément 8h00, 13h00 et 17h00). Ces apports ne sont pas pris en considération par le logiciel et c'est pour cela que la courbe simulée est aussi parfaite que ça.

On remarque aussi que pendant la période de la matinée jusqu'en début d'après-midi (de 6h00 à 14h00), il existe un écart très important entre les températures mesurées et celles simulées.

Cet écart peut arriver jusqu'à 3,9°C à 8h00 et 3,55°C à 13h00, cela est due aux apports anthropiques cités plus haut. On peut remarquer que lors de l'étude « Simulation de L'influence de la végétation sur le microclimat et confort thermique dans la ville de São Paulo », effectuée par Jörg Spangenberg, et citée dans le chapitre végétation que de tels écarts sont aussi enregistrés et qui peuvent atteindre plus de 3°C comme à 11h00 et 14h00 .

Dans la deuxième partie de la journée (à partir de 14h00), on remarque que cet écart diminue et les deux courbes tendent à se rapprocher l'une de l'autre, sauf pour les deux heures de pointe (17h00 et 18h00), où l'écart est de 3°C.

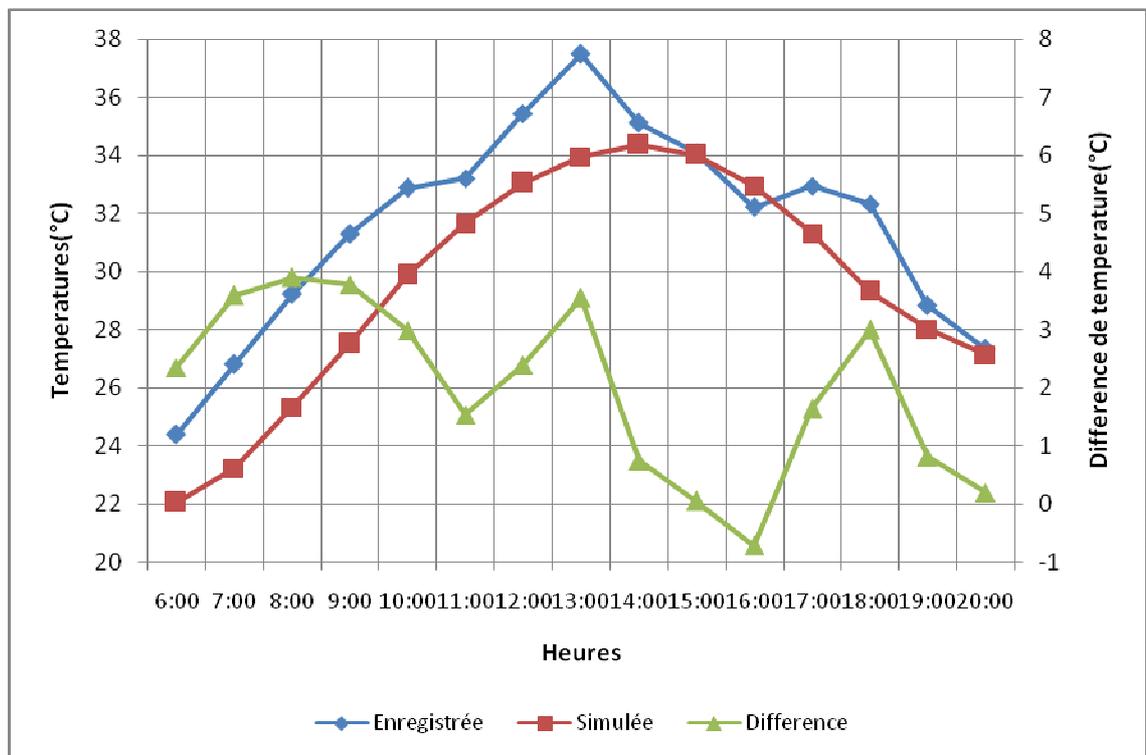


FIG. VII.7 : Comparaison entre les températures mesurées et celles simulées.

(01-08-2007) (Source : auteur)

Heures	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
Mesuré	24,4	26,8	29,2	31,3	32,8	33,2	35,4	37,5	35,1	34,0	32,2	32,9	32,3	28,8	27,3
Simulée	22,0	23,2	25,3	27,5	29,8	31,6	33,0	33,9	34,3	34,0	32,9	31,3	29,3	28,0	27,1
$\Delta T$	2,35	3,59	3,90	3,78	2,99	1,54	2,40	3,55	0,75	0,05	-0,72	1,64	3,00	0,81	0,19

Tableau VII-1 : Comparaison entre les températures mesurées et celles simulées. (01-08-2007)

### VII-5-1-2-L'humidité :

En premier lieu, on remarque que les courbes d'humidité relative sont en relation direct avec les courbes de températures que ce soit simulées ou mesurées.

La courbe d'humidités simulées est plus régulière que celle des humidités mesurées, et cela est dû -comme pour le cas des températures- aux apports anthropiques et catabatiques (relatif au vent) qui ne sont pas pris en compte par le logiciel ENVI-met ou qu'il ne peut pas simuler et qui existent en réalité. Pour les valeurs mesurées, on remarque qu'il existe des chutes soudaines d'humidités relatives lors des heures de pointes (8h00, 13h00 et 17h00) qui ne peuvent être que des réponses aux augmentations de température enregistrées pendant ces heures critiques.

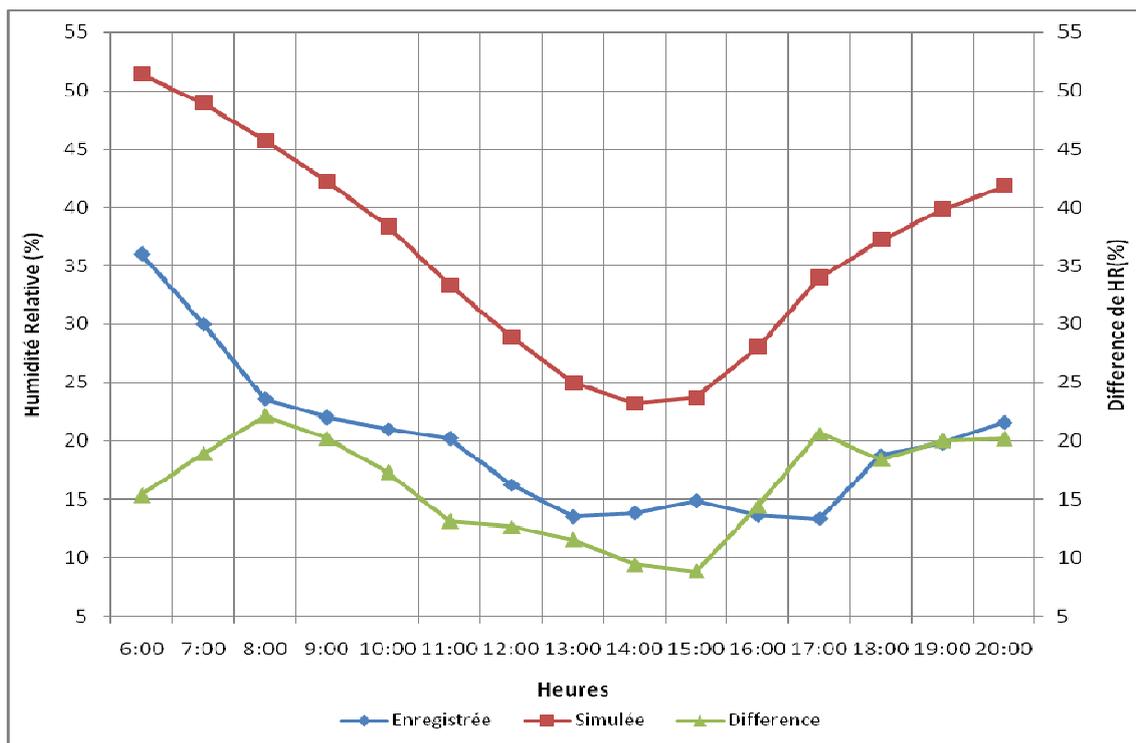
Pour ce paramètre on remarque nettement l'écart très important entre les valeurs mesurées et celles simulées. Cet écart peut atteindre 22,14% à 8h00 et 20,65% à 17h00 et une valeur minimale de 9,43% à 13h00, chose qui est anormale. Et après avoir consulté plusieurs études traitant de la simulation thermique en milieu urbain, on remarque qu'il existe toujours des écarts entre les valeurs simulées et celles mesurées mais ces écarts ne sont pas assez important comme ceux détectés lors de notre simulation. On note que pour les valeurs que la différence d'humidité reportées sur le graphe sont positives car ( $\Delta HR$ ) est égale à HR (simulée) moins HR (mesurée), contrairement au cas des températures.

Pour remédier à cette anomalie nous avons effectué plusieurs vérifications de tous les paramètres de simulation et plusieurs recherches d'études qui sont entreprises dans ce sujet, et on a constaté que la cause directe de ces écarts réside tout simplement dans les valeurs d'entrées du fichier de configuration (.CF). Car ces valeurs d'entrée sont celle enregistrées dans la station météo (température, humidité absolue et vitesse des vents) et on a déjà noté dans le chapitre investigation que ces valeurs sont nettement différentes de celles enregistrées dans la place de Ain el Fouara.

On remarque clairement que les valeurs simulées de l'humidité relative -spécialement celle de début de la simulation- correspondent plus à un microclimat plus humide que la place et qui est celui de la station météo.

La même chose s'applique pour les deux autres paramètres qui sont la vitesse des vents et à moindre degré la température. D'ailleurs même pour cette dernière, on remarque que ces écarts sont exagérés et les valeurs de température simulées eux aussi correspondent à un microclimat plus frais que celui de la place et qui est celui de la station météo (en début de journée).

Ce qui revient à dire que lors des simulations avec ENVI-met, les valeurs enregistrées lors de l'investigation devraient être utilisé comme valeurs d'entrées et non celles de la station météo.



**FIG. VII.8 : Comparaison entre les humidités relatives mesurées et celles simulées. (01-08-2007) (Source : auteur).**

Heures	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
Simulée	51,37	48,93	45,74	42,24	38,32	33,35	28,90	25,01	23,23	23,72	28,00	33,95	37,21	39,81	41,78
Mesurée	36,00	30,00	23,6	22,00	21,00	20,2	16,23	13,5	13,8	14,9	13,6	13,3	18,8	19,8	21,6
$\Delta$ HR	15,37	18,93	22,14	20,24	17,32	13,15	12,67	11,51	9,43	8,82	14,40	20,65	18,41	20,01	20,18

**Tableau VII.2 : Comparaison entre les humidités relatives mesurées et celles simulées. (01-08-2007)**

### VII-5-1-3-Le vent :

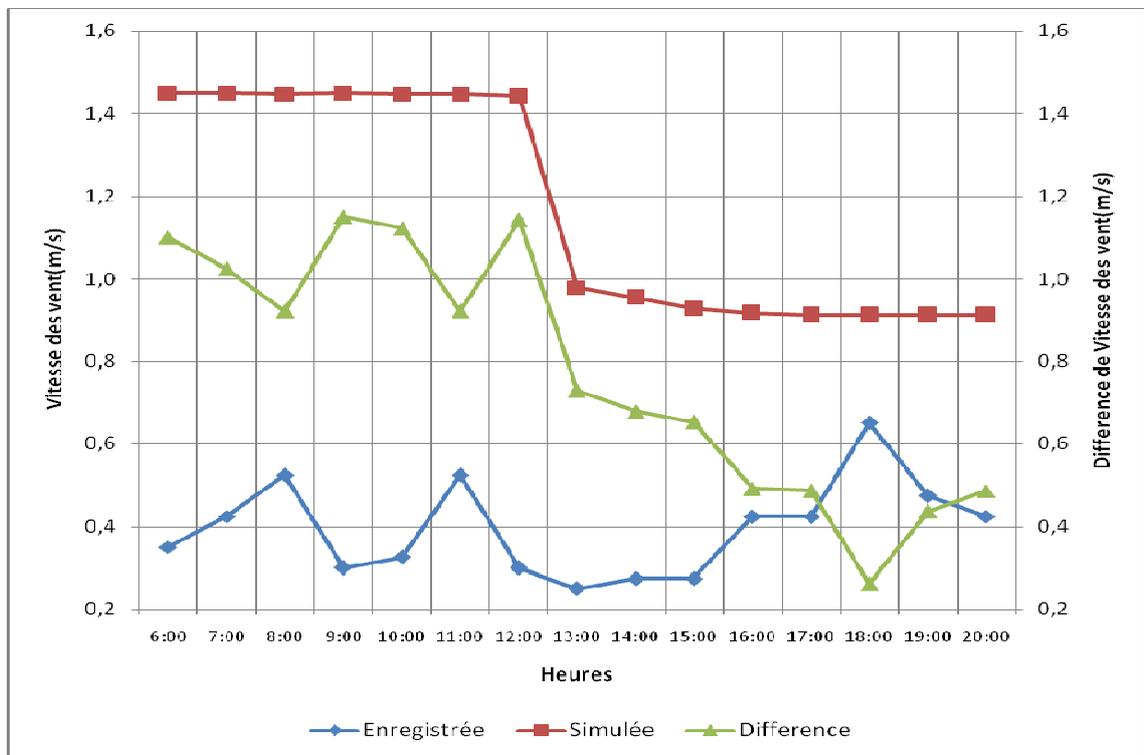
La même chose peut être notée pour le paramètre vent, où l'on remarque que la courbe des vitesses des vents simulée est plus régulière que celles enregistrées. Cela est dû principalement au logiciel ENVI-met qui atteint ses limites en terme de simulation et utilise un model trop régulier pour un paramètre aussi aléatoire que le vent.

Cet aspect aléatoire, on peut le voir nettement dans la courbe des valeurs enregistrées qui semble plus naturelle.

On note aussi la présence de chutes brusque et inexplicées dans les valeurs des vitesses des vents simulées (de 12h00 à 13h00), on peut voir ses chutes même dans les valeurs de chaque stations (Cf. Annexes IV ).

Le même problème -qu'on a noté pour les valeurs de températures et surtout d'humidité- subsiste pour les valeurs simulées de vent, valeurs qui laissent à croire que la place est plus ventée que la normale et cela est toujours due à la valeur d'entrée qui est celle de la station météo qui se trouve dans un site plus dégagé que le site urbain dans lequel se trouve incrustée la place.

Globalement, les valeurs simulées démontrent que la place est plus ventée en début de matinée et cette tendance s'inverse dès 13h00 et le vent devient plus calme. Les valeurs enregistrées quand à elles démontrent qu'il existe une certaine stabilité pendant toute la journée avec une légère hausse en fin d'après-midi.



**FIG. VII.9 : Comparaison entre les vitesses des vents mesurées et celles simulées. (01-08-2007) (Source : auteur).**

Heures	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
<b>Mesurée</b>	0,39	0,40	0,41	0,41	0,42	0,41	0,44	0,48	0,51	0,55	0,58	0,60	0,50	0,45	0,40
<b>Simulée</b>	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,44	0,98	0,96	0,93	0,92	0,91	0,91	0,91	0,91
<b><math>\Delta V</math></b>	1,1	1,0	0,9	1,2	1,1	0,9	1,1	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,3	0,4	0,5

**Tableau VII.3 : Comparaison entre les vitesses des vents relatives mesurées et celles simulées. (01-08-2007)**

#### **VII-5-1-4-Déduction générale :**

On peut déduire que la comparaison entre les valeurs mesurées in-situ et celles simulées avec le logiciel ENVI-met présentent des différences assez importantes et la cause a été diagnostiquée plus haut comme étant une erreur dans les valeurs d'entrée de la simulation, et non un défaut dans la simulation elle-même ou une mauvaise interprétation du logiciel.

On peut confirmer cela si on procède à un rééquilibrage des courbes simulées (cf.

Annexes IV), selon les valeurs enregistrées dans la place on note facilement que la relation entre valeurs simulées et celles mesurées devient plus logique et les écarts très importants entre ces valeurs disparaissent pour laisser place à des écarts plus raisonnables.

Malgré cette erreur imprévue lors de la modélisation de la simulation, cela ne nous privera pas de profiter des résultats obtenus lors de la comparaison des différents scénarios, qui ont été prévues pour la vérification du rôle de la présence des différents niveaux du couvert végétal et des surfaces d'évaporation (étendues d'eau) dans l'amélioration des conditions de confort thermique en milieu urbain. Car ces résultats vont être comparés entre eux, et il serait intéressant de voir l'évolution des différents paramètres physiques (température, humidité et vitesse des vents) et physiologique (PMV et PPD) à travers les scénarios et les valeurs mesurées des différents paramètres.

#### **VII-5-2-Interprétation des valeurs simulées pour chaque scénario :**

##### **VII-5-2-1-Température :**

##### **VII-5-2-1-1-Scénario 1 :**

Pour le 1er scénario (ni végétation ni eau), toutes les courbes se suivent et ont la même allure (une courbe en cloche qui ressemble à la courbe météo) c.-à-d. qu'elles enregistrent un minimum de température le matin à 6h00 et progressent jusqu'à atteindre leurs maximum à 14h00, pour ensuite décroître jusqu'à atteindre les valeurs minimales de cette période. Cette allure des courbes de température va se répéter pour tous les scénarios qui vont suivre.

On remarque que les stations S1 et S3 présentent les températures les plus fraîches par rapport aux stations S2 et S4, avec des écarts qui peuvent atteindre 0,72°C à 6h00 entre S1 et S4, 0,3°C à 14h00 entre S3 et S4 et 0,66°C à 20h00 entre S3 et S4.

La température en S1 (près du parc au nord de la place) étant plus basse en début de journée vu que cette zone bénéficie de la fraîcheur provenant du parc au nord du site. Cette tendance s'inverse en faveur de la zone de la station S3 (sud de la station) qui devient plus fraîche que la zone de la station S1, ceci s'explique par la diminution de l'effet du parc pour la station S1 en fin de journée et l'amplification de l'effet d'ombre des constructions au sud de la station S3 (à 20h00 on note une température de 27,75°C pour S3 et 28,15°C pour S4).

Les stations S2 (près de la fontaine) et S4 (sur la voie mécanique) ont pratiquement les mêmes températures, qui sont en même temps les plus défavorable du site cela est due à l'absence totale de masque solaire pendant toute la durée de la simulation -que ce soit des constructions ou de la végétation- mais aussi l'absence de source potentielle d'évaporation (eau) ou d'évapotranspiration (végétation).

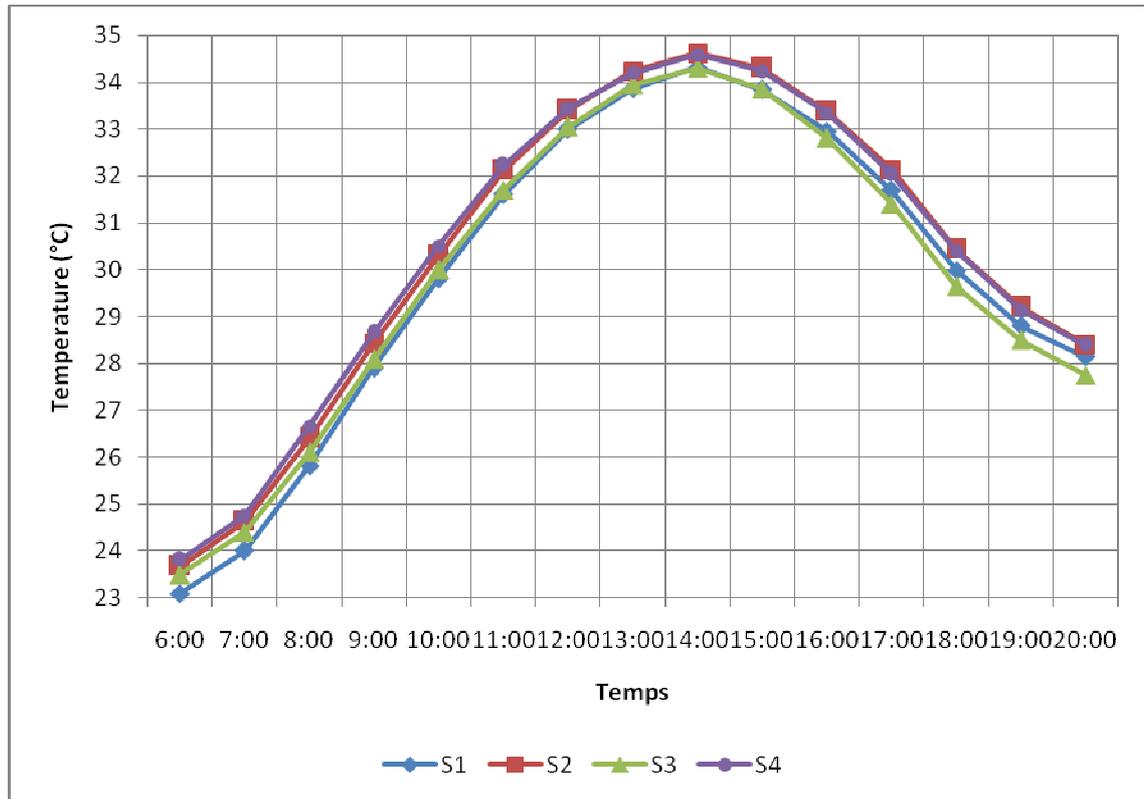


FIG.VI.10 : Températures enregistrées aux abords des quatre stations lors du 1er scénario. (01-08-2007) (Source : auteur).

T(°C)	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
S1	23,10	24,01	25,82	27,91	29,81	31,60	32,99	33,87	34,32	33,84	32,95	31,69	29,99	28,80	28,15
S2	23,68	24,63	26,41	28,44	30,3	32,13	33,40	34,23	34,62	34,30	33,38	32,14	30,43	29,21	28,41
S3	23,50	24,40	26,10	28,10	30,02	31,70	33,05	33,95	34,30	33,85	32,80	31,40	29,65	28,50	27,75
S4	23,82	24,76	26,66	28,66	30,51	32,23	33,45	34,2	34,59	34,24	33,33	32,04	30,39	29,14	28,39

Tableau VII.4 : Températures enregistrées aux abords des quatre stations lors du 1er scénario. (01-08-2007)

### VII-5-2-1-2-Scénario 2 :

Pour le 2ème scénario (état actuel), on voit bien que la station S2 (près de la fontaine) est la station qui présente les températures les plus fraîches par rapport aux autres stations et cela pendant l'ensemble de la période de simulation. Cela n'est dû au fait que la station soit à l'ombre pendant

toute cette période (grâce au masque solaire des quatre arbres centenaires qui ont une masse foliaire très importante avec un diamètre de plus de 12 m), et aussi à l'effet important de l'évapotranspiration de ces arbres et de l'évaporation à partir de la fontaine (point d'eau).

La station S3 (sud de la place) présente des températures plus fraîches par rapport aux stations S1 (près du parc au nord de la place) et S4 (sur la voie mécanique) cela est due d'une part à l'effet bénéfique des arbres qui entourent cette zone (masques solaires et évapotranspiration), mais aussi au masques solaires des constructions au sud de la station et qui protègent cette zone pendant une bonne partie de la période de simulation.

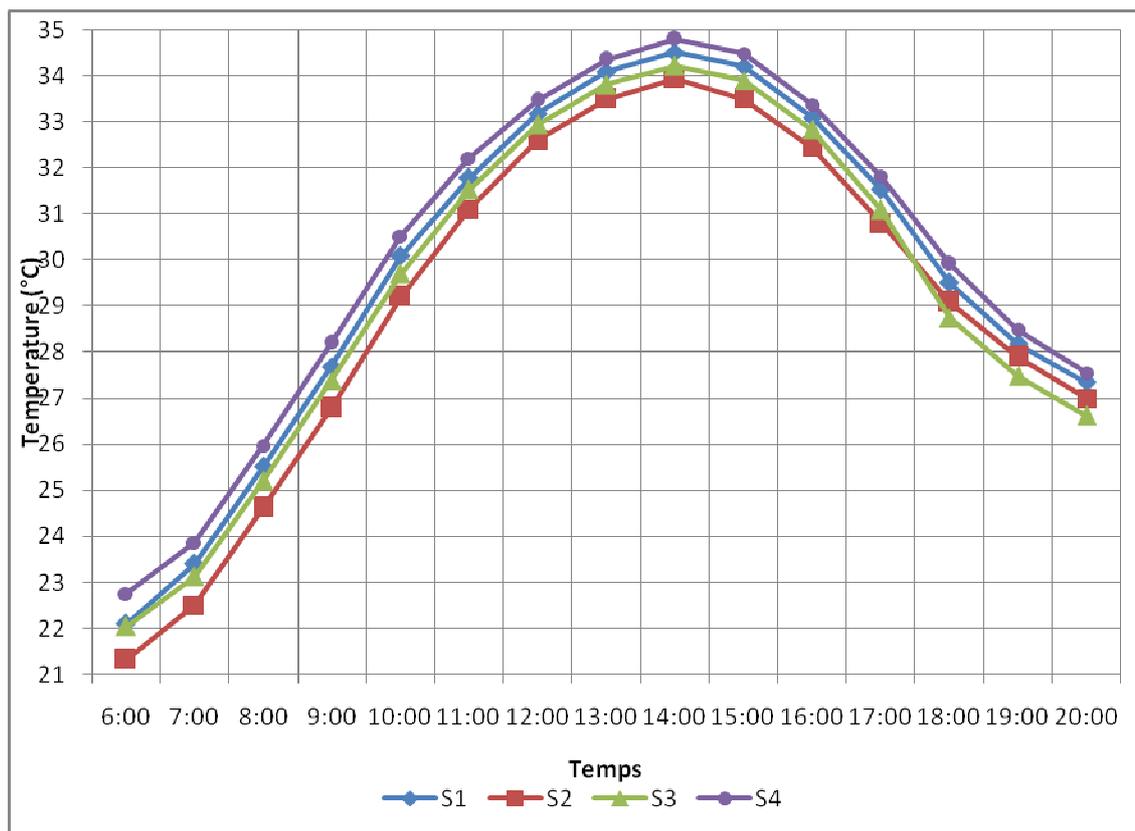
D'ailleurs ce dernier élément expliquera pourquoi la température de la station S3 devient plus fraîche que celle enregistrée dans la zone de la station S2 en fin de journée (de 17h00 à 20h00), grâce à la superposition des différentes ombres dans cette zone. Ombres des arbres environnants et celle des constructions avoisinantes (spécialement l'hôtel Er'rabii qui projette une ombre qui couvre la totalité de cette zone), tandis que la zone de la fontaine ne profite plus de l'ombre des arbres à cette heure de la journée.

La station S1 quand à elle vient en troisième position, elle présente des températures plus fraîche que celle de la station S4, cela est du à l'effet du parc au nord du site d'investigation et à l'effet de la végétation présente dans cette zone (masques solaires et évapotranspiration).

La station S4 présente les températures les plus chaudes du site n'ayant aucune source directe de fraîcheur (évaporation-évapotranspiration), ni de masque solaire, en plus elle se positionne au dessus d'une surface d'asphalte contrairement aux trois autres stations ce qui implique de fortes températures surfacique autour de cette station.

On remarque qu'au début et la fin de la simulation (période où l'effet du rayonnement solaire est minimale), les écarts de température entre les différentes stations sont minimales par rapport à la période critique en milieu de journée.

On prendra comme exemple l'écart entre la station S2 et S4 qui atteint  $0,86^{\circ}\text{C}$  à 14h alors qu'il est de  $1,43^{\circ}\text{C}$  à 6h00, l'écart entre S3 et S4 est de  $0,94^{\circ}\text{C}$  à 20h00.



**FIG.VII.11 : Températures enregistrées aux abords des quatre stations lors du 2eme scenario. (01-08-2007) (Source : auteur).**

T(°C)	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
<b>S1</b>	22,10	23,4	25,51	27,69	30,1	31,79	33,19	34,11	34,52	34,21	33,1	31,53	29,51	28,18	27,34
<b>S2</b>	21,32	22,51	24,62	26,79	29,21	31,11	32,6	33,5	33,95	33,5	32,45	30,8	29,10	27,9	27,00
<b>S3</b>	22,04	23,13	25,21	27,39	29,71	31,54	32,95	33,82	34,23	33,91	32,84	31,09	28,75	27,49	26,62
<b>S4</b>	22,75	23,86	25,97	28,21	30,52	32,21	33,48	34,37	34,81	34,49	33,38	31,82	29,93	28,49	27,56

**Tableau.VII.5 : Températures enregistrées aux abords des quatre stations lors du 2eme scenario. (01-08-2007)**

### VII-5-2-1-3-Scenario 3 :

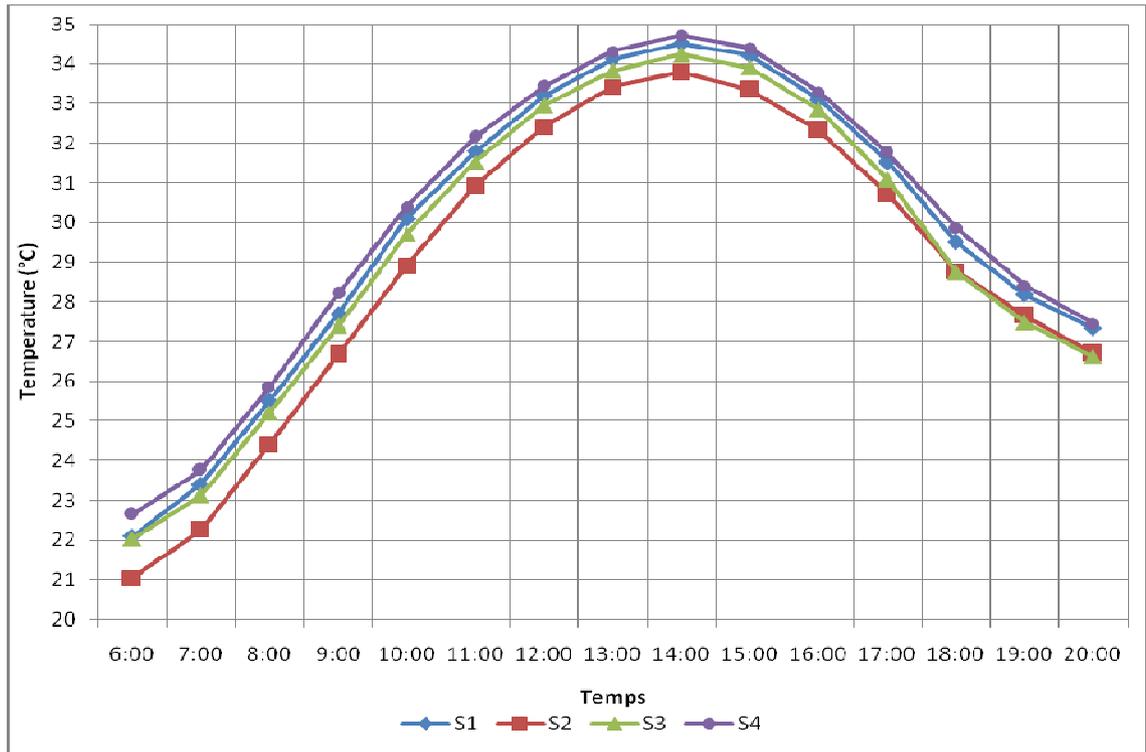
Pour le 3ème scenario (bassin centrale d'eau) on remarque que les valeurs de températures des stations S1 (près du parc au nord de la place) et S3 (sud de la place), n'ont quasiment pas changées ce qui implique que l'effet du bassin d'eau ajouté n'a aucun effet sur la température des deux stations.

Alors qu'on remarque une légère baisse de la température aux abords de la station S4 (sur la voie mécanique), on note une baisse maximale de 0,12°C à 10h00. Malgré cette baisse de température, la station S4 reste la station la plus chaude parmi les quatre stations.

Avec un écart max de 0,55°C avec S1 à 6h00, 1,6°C avec S2 à 6h00 et 1,12°C avec S3 à 18h00.

Cette baisse est beaucoup plus importante au niveau de la station S2 (près de la fontaine) vu que cette zone soit à proximité immédiate du bassin d'eau, donc elle bénéficie encore plus de l'effet refroidissant par évaporation.

Pour cette station, on note une baisse de 0,27°C à 6h00, de 0,1°C à 13h00 et de 0,3°C à 20h00 par rapport au 2ème scenario.



**FIG.VII.12 : Températures enregistrées aux abords des quatre stations lors du 3eme scenario. (01-08-2007) (Source : auteur).**

T(°C)	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
S1	22,1	23,4	25,51	27,69	30,1	31,79	33,19	34,11	34,52	34,21	33,1	31,53	29,51	28,18	27,34
S2	21,05	22,25	24,41	26,67	28,92	30,92	32,41	33,42	33,78	33,35	32,32	30,71	28,78	27,66	26,7
S3	22,04	23,13	25,21	27,39	29,71	31,54	32,95	33,82	34,23	33,91	32,84	31,09	28,75	27,49	26,62
S4	22,65	23,76	25,86	28,21	30,4	32,16	33,43	34,32	34,71	34,39	33,28	31,76	29,87	28,41	27,46

**Tableau.VII.6 : Températures enregistrées aux abords des quatre stations lors du 3emer scenario. (01-08-2007)**

#### VII-5-2-1-4-Scenario 4 :

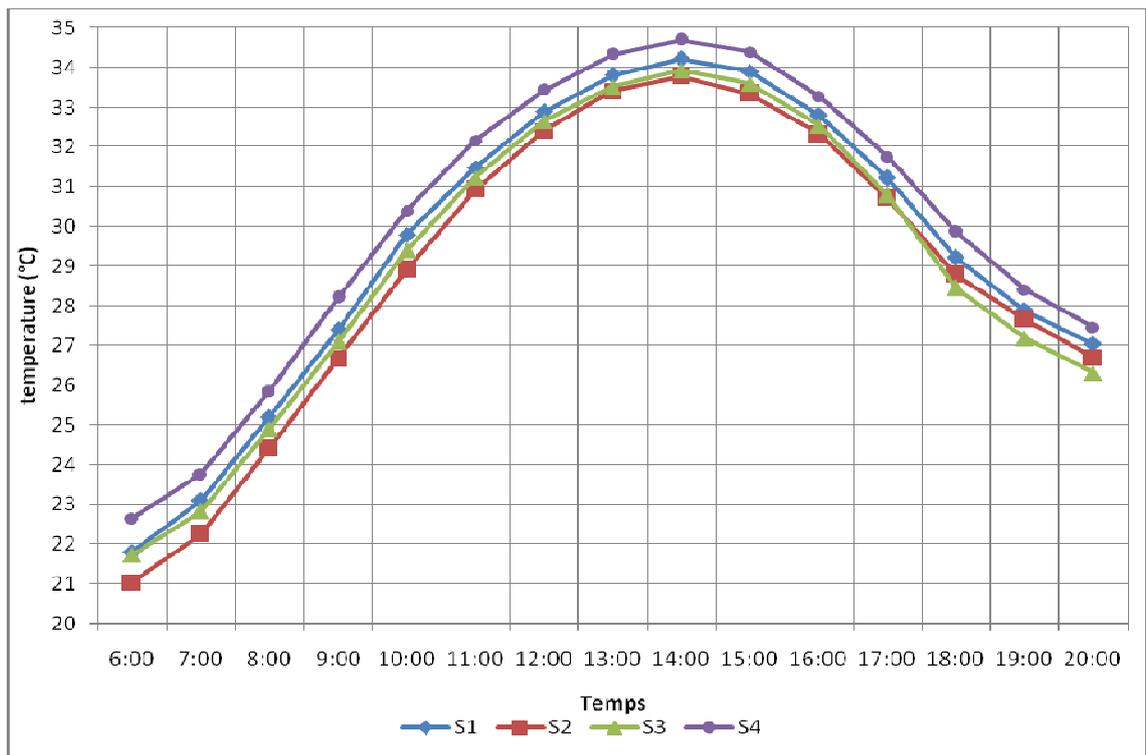
Pour le 4ème scenario (3 bassin d'eau), on remarque que les stations S2 (près de la fontaine) et S4 (sur la voie mécanique), ne subissent aucun changement notable concernant les températures à leurs abords, contrairement aux stations S1 (près du parc au nord de la place) et S3 (sud de la place)

dont les températures subissent d'importantes baisses par rapport au 3ème scénario et cela grâce à l'effet de refroidissement dont l'évaporation est la cause :

-Pour la station S1 on note une baisse de 0,35°C à 1h00, de 0,21°C à 14h00, de 0,31°C à 20h00.

-Pour la station S3 on note une baisse de 0,67°C à 6h00, de 0,49°C à 14h00, de 0,63°C à 20h00.

Ceci confirme que l'amplitude de l'effet refroidissant de l'eau est assez restreinte, ne touchant ainsi que les stations à proximité des nouveaux bassins d'eau c.à.d. S2 et S3.



**FIG.VII.13 : Températures enregistrées aux abords des quatre stations lors du 4eme scénario. (01-08-2007) (Source : auteur).**

T(°C)	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
<b>S1</b>	21,80	23,10	25,21	27,39	29,80	31,49	32,89	33,81	34,22	33,91	32,80	31,23	29,21	27,88	27,04
<b>S2</b>	21,05	22,25	24,41	26,67	28,92	30,92	32,41	33,42	33,78	33,35	32,32	30,71	28,78	27,66	26,70
<b>S3</b>	21,74	22,83	24,91	27,09	29,41	31,24	32,65	33,52	33,93	33,61	32,54	30,79	28,45	27,19	26,32
<b>S4</b>	22,65	23,76	25,86	28,21	30,40	32,16	33,43	34,32	34,71	34,39	33,28	31,76	29,87	28,41	27,46

**Tableau.VII.7 : Températures enregistrées aux abords des quatre stations lors du 4eme scénario.**

### VII-5-2-1-5-Scénario 5 :

Pour le 5ème scénario (3 bassin d'eau plus rajout de végétation) on remarque que la végétation rajoutée a contribué considérablement à la baisse de température dans les quatre zones

étudiées et cela grâce à l'effet combiné des masques solaires mais aussi l'évapotranspiration produite par ces arbres. On peut noter comme baisse par rapport au 4eme scenario :

- Pour la station S1 on note une baisse de 0,52°C à 6h00, de 0,32°C à 14h00, de 0,49°C à 20h00.
- Pour la station S2 on note une baisse de 0,65°C à 6h00, de 0,48°C à 14h00, de 0,63°C à 20h00.
- Pour la station S3 on note une baisse de 0,45°C à 6h00, de 0,31°C à 14h00, de 0,41°C à 20h00.
- Pour la station S4 on note une baisse de 0,84°C à 6h00, de 0,62°C à 14h00, de 0,81°C à 20h00.

Tandis que la logique de répartition de la température des quartes stations reste pratiquement la même que celle du scenario 4.

Néanmoins on note une nette amélioration pour la station S4 dont la température avoisine celle enregistrée dans la station S1 en fin de journée.

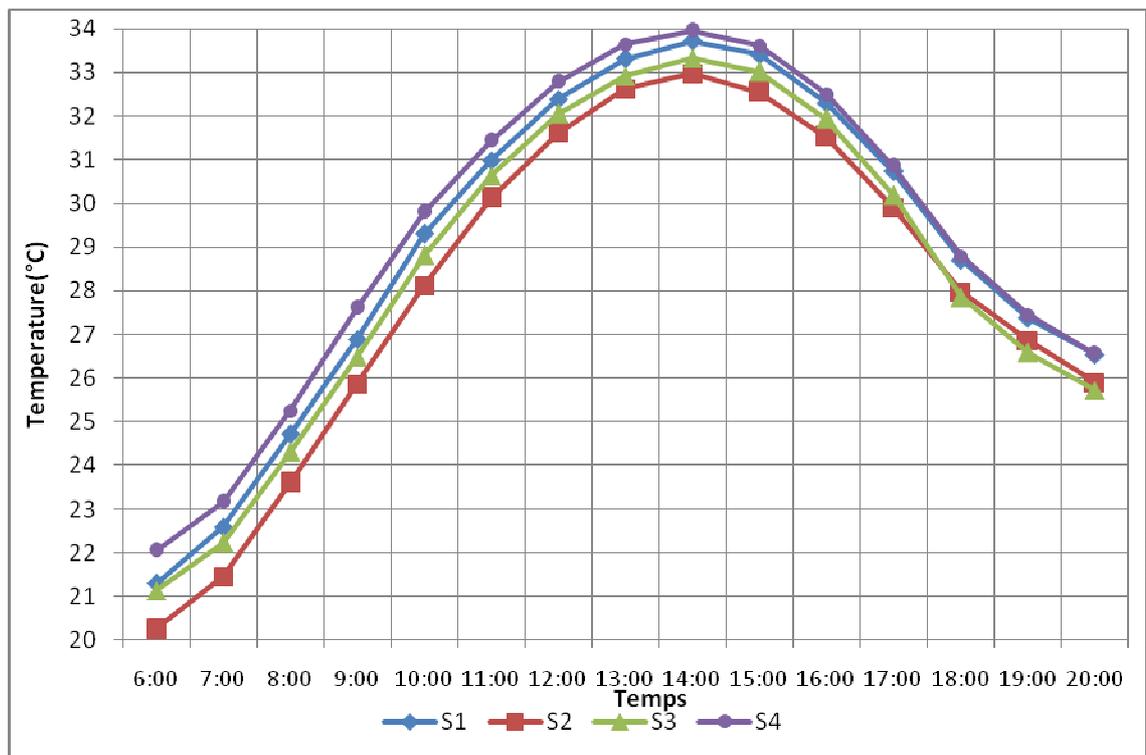


FIG. VII.14 : Températures enregistrées aux abords des quatre stations lors du 5eme scenario. (01-08-2007) (Source : auteur).

T(°C)	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
S1	21,3	22,6	24,71	26,89	29,3	30,99	32,39	33,31	33,72	33,41	32,3	30,73	28,71	27,38	26,54
S2	20,25	21,45	23,61	25,87	28,12	30,12	31,61	32,62	32,98	32,55	31,52	29,91	27,98	26,86	25,9
S3	21,14	22,23	24,31	26,49	28,81	30,64	32,05	32,92	33,33	33,01	31,94	30,19	27,85	26,59	25,72
S4	22,05	23,16	25,26	27,61	29,8	31,44	32,78	33,65	33,95	33,62	32,5	30,85	28,79	27,45	26,56

Tableau.VII.8 : Températures enregistrées aux abords des quatre stations lors du 5eme scenario.

## VII-5-2-2-Humidité :

### VII-5-2-2-1-Scenario 1 :

Pour le 1er scenario (ni végétation ni bassin d'eau), on remarque que la station S1 (près du parc au nord de la place) enregistre les valeurs d'humidité relative les plus élevées des quatre stations surtout en début de journée, cela est dû à l'effet du parc au nord et dont l'effet s'estompe en fin de journée. Avec un écart max de 1,55% avec S2 à 6h00, 2,6% avec S2 à 6h00 et 2,61% avec S3 à 8h00.

Les 3 autres stations présentent quand à elles des valeurs d'humidité proches les unes des autres vue l'absence de sources d'humidité (évaporation et évapotranspiration).

On remarque néanmoins que la station S3 (sud de la place) marque une hausse d'humidité relative par rapport aux stations S2 (écart de 0,9 % à 20h00) et S4 (écart de 1,2 % à 20h00) et cela en fin de journée. Cela est dû sûrement à l'effet d'ombre que projettent les constructions au sud de cette station, et qui protège l'air de cette zone des radiations solaires et donc de perdre de l'humidité contrairement aux trois autres stations qui ne possèdent aucune protection et cela pendant toutes la durée de la simulation.

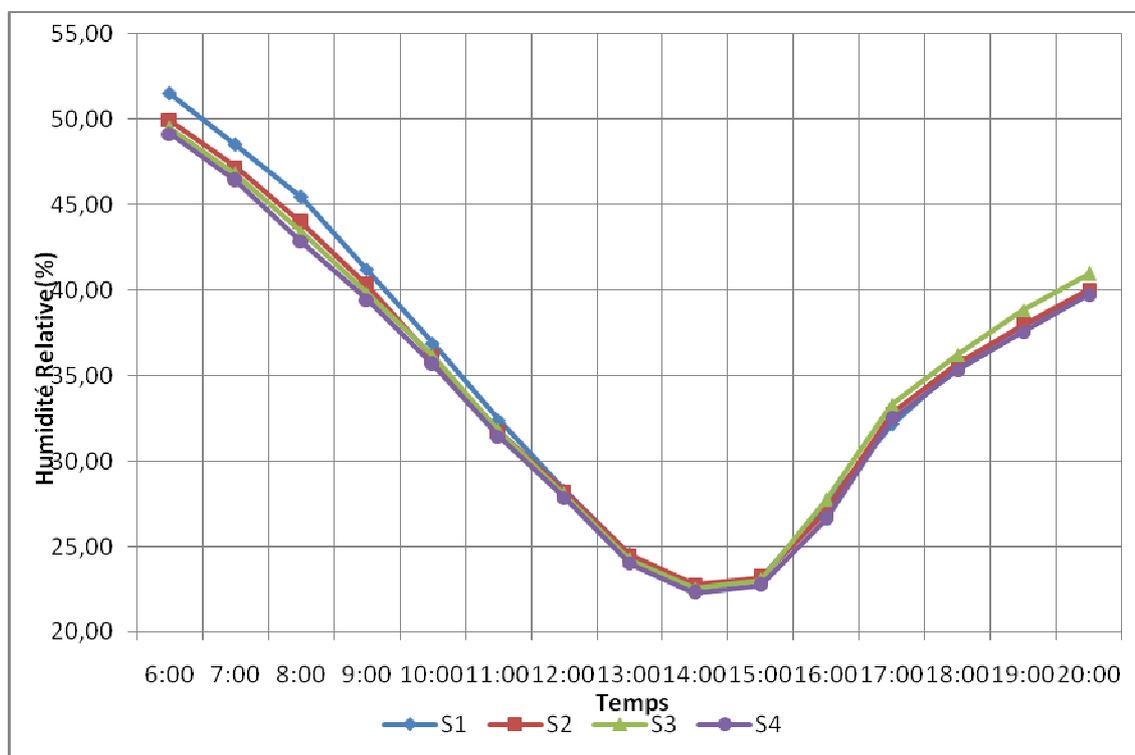


FIG.VII.15 : Humidités relatives enregistrées aux abords des quatre stations lors du 1er scenario. (01-08-2007) (Source : auteur).

HR%	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
S1	51,50	48,50	45,46	41,21	36,89	32,41	28,31	24,53	22,47	23,12	27,48	32,15	35,57	37,95	39,84
S2	49,95	47,20	43,95	40,30	36,02	31,75	28,21	24,48	22,78	23,19	27,03	32,80	35,75	37,99	40,05
S3	49,48	46,79	43,40	39,82	36,15	31,76	28,05	24,22	22,55	23,02	27,75	33,31	36,21	38,82	40,95
S4	49,15	46,41	42,85	39,43	35,66	31,45	27,85	24,02	22,27	22,73	26,61	32,45	35,32	37,55	39,75

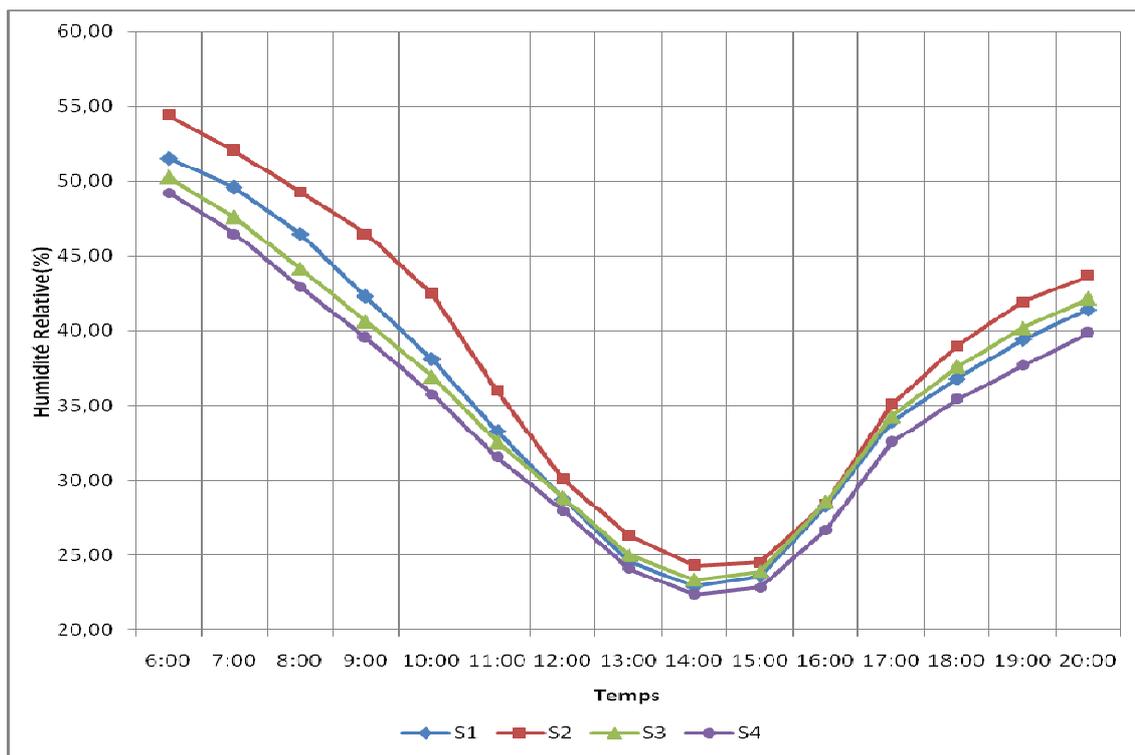
**Tableau.VII.9 : Humidités relatives enregistrées aux abords des quatre stations lors du 1er scenario.**

### VII-5-2-2-Scenario 2 :

Pour le 2ème scenario (état actuel), la zone de la station S2 (près de la fontaine) semble nettement plus humides que les trois autres zones (on note un écart de 4,38% avec S1 à 10h00, 5,88% avec S3 à 9h00 et 6,97% avec S4 à 9h00 aussi), cela est dû à l'effet de la végétation très dense en cette zone protégeant ainsi l'air des radiations solaires, mais aussi grâce à l'effet de l'évapotranspiration. La fontaine (point d'eau) contribue aussi en apportant de l'humidité en plus, grâce à l'effet d'évaporation, par rapport au scenario 1 on note un apport maximum de 6,46% à 10h00 et un apport minimum de 1,32% à 15h00.

L'humidité relative aux abords des stations S1 (près du parc au nord de la place) et S4 (sur la voie mécanique), suit la même logique que celle du 1er scenario c.à.d. que la station S1 est plus humide en début de journée grâce à l'effet de parc, ensuite c'est la station S3 grâce à l'effet des masques solaires des constructions. Il est à noter que les valeurs d'humidité relative de ces deux stations ont augmentées par rapport à celle enregistrées dans le 1er scenario, cela est dû à l'apport d'humidité par effet d'évapotranspiration de la végétation.

La station S4 reste toujours la station qui enregistre les valeurs d'humidité relative les plus basse n'ayant aucune source d'humidité à proximité. (On note un écart de 4,38% avec S1 à 10h00, 5,88% avec S3 à 9h00 et 6,97% avec S4 à 9h00 aussi)



**FIG.VII.16 : Humidités relatives enregistrées aux abords des quatre stations lors du 1er scenario. (01-08-2007) (Source : auteur).**

HR	6:00	7:00	8:00	9:00	10:0	11:0	12:0	13:0	14:0	15:0	16:0	17:0	18:0	19:0	20:0
S1	51,5	49,6	46,5	42,3	38,10	33,29	28,75	24,60	22,90	23,60	28,30	33,91	36,81	39,42	41,45
S2	54,4	52,0	49,3	46,5	42,48	35,98	30,05	26,31	24,28	24,51	28,45	35,03	39,01	41,95	43,66
S3	50,2	47,5	44,2	40,6	36,95	32,56	28,85	25,02	23,35	23,92	28,55	34,30	37,60	40,20	42,15
S4	49,2	46,5	42,9	39,5	35,76	31,55	27,95	24,12	22,37	22,83	26,71	32,55	35,42	37,65	39,85

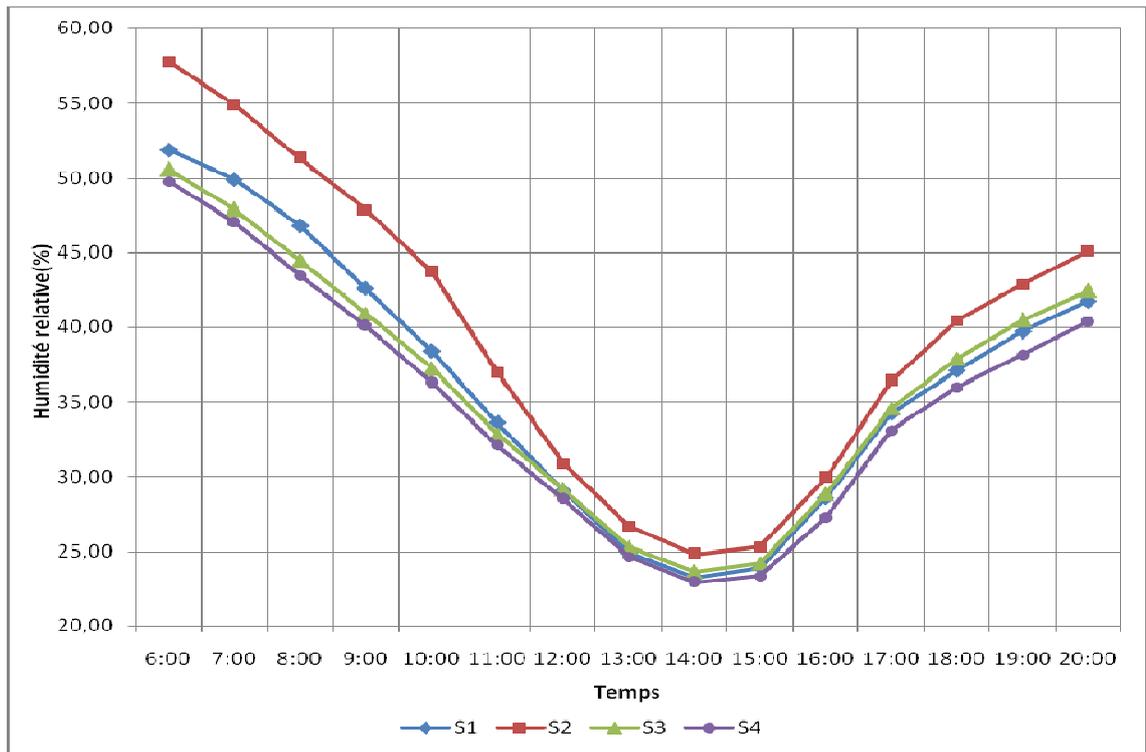
**Tableau.VII.10 : Humidités relatives enregistrées aux abords des quatre stations lors du 2eme scenario.**

### VII-5-2-2-3-Scenario 3 :

Dans ce scenario (bassin centrale d'eau) la station S2 (près de la fontaine) reste la station qui enregistre les valeurs les plus élevées (donc la zone la plus humide), des valeurs encore plus élevées que celles enregistrées dans le 2ème scenario et cela est une cause directe de l'évaporation apportée par le bassin d'eau rajouté dans ce scenario. On note une hausse de 4,46% à 6h00, 6,46% à 9h00, 1,5% à 13h00 et 3,91 à 19h00.

On remarque aussi que la station S4 (sur la voie mécanique), enregistre aussi une hausse dans les valeurs d'humidité relative vue qu'elle se trouve à proximité de ce bassin. On note une hausse moyenne de 0,6% par rapport au 3eme scenario.

Les stations S1 (près du parc au nord de la place) et S3 (sud de la place), subissent une légère hausse concernant leurs humidités relatives (une moyenne de 0,26% pour S1 et une moyenne de 0,3% pour S3). Confirmant ainsi que l'effet d'évaporation est vraiment restreint et son amplitude reste vraiment locale. Les écarts entre S4 (zone la moins humide) et S2 (zone la plus humide) sont de l'ordre de 7,98% à 6h00, 1,90% à 14h00 et 4,72 à 20h00.



**FIG.VII.17 : Humidités relatives enregistrées aux abords des quatre stations lors du 3eme scenario. (01-08-2007) (Source : auteur).**

HR%	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
S1	51,85	49,90	46,80	42,60	38,40	33,59	29,05	24,90	23,20	23,90	28,60	34,21	37,11	39,72	41,75
S2	57,75	54,88	51,29	47,87	43,70	36,99	30,88	26,70	24,82	25,31	29,93	36,41	40,45	42,89	45,12
S3	50,58	47,89	44,50	40,92	37,25	32,86	29,15	25,32	23,65	24,22	28,85	34,60	37,90	40,50	42,45
S4	49,76	47,06	43,47	40,10	36,29	32,11	28,48	24,67	22,91	23,33	27,27	33,12	35,99	38,17	40,39

**Tableau.VII.11 : Humidités relatives enregistrées aux abords des quatre stations lors du 1er scenario.**

#### VII-5-2-2-4-Scenario 4 :

Pour le 4ème scenario (3 bassins d'eau) on constate que les stations S1 (près du parc au nord de la place) et S3 (sud de la place), présentent un gain important en ce qui concerne leurs humidités relatives par rapport au 3ème scenario (pour la station S1 : 3,81% à 6h00, 0,8% à 13h00 et 1,22% à

19h00. Pour la station S3 : 4,04% à 6h00, 0,84% à 13h00 et 1,23% à 20h00), cet apport en humidité est due à l'évaporation des bassins ajoutés dans ce scenario et qui vient s'ajouter à l'humidité émise dans l'air par la végétation grâce à l'évapotranspiration.

Les stations S2 (près de la fontaine) et S4 (sur la voie mécanique), ne subissent pratiquement aucune hausse en ce qui concerne l'humidité relative.

Les écarts entre S4 (zone la moins humide) et S2 (zone la plus humide) ont subis une certaine baisse par rapport au 3eme scenario et sont de l'ordre de 7,98% à 6h00, 1,90% à 14h00 et 4,72 à 20h00.

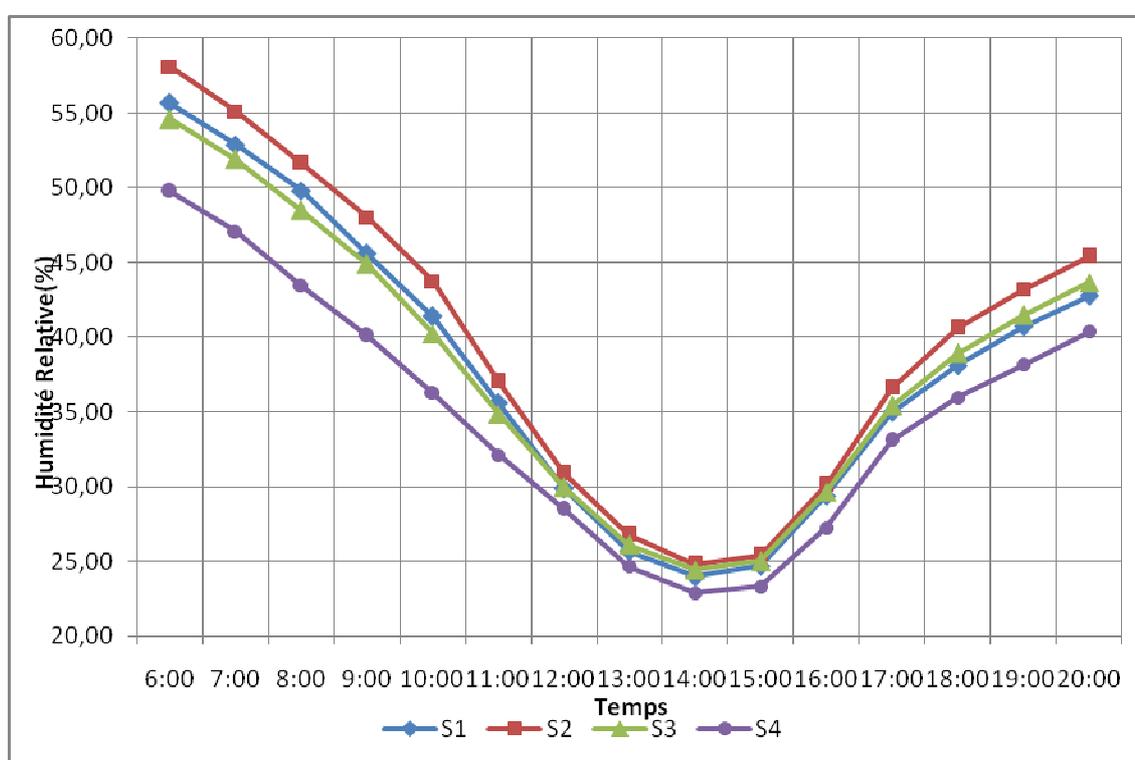


FIG.VII.18 : Humidités relatives enregistrées aux abords des quatre stations lors du 4eme scenario. (01-08-2007) (Source : auteur).

HR%	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
S1	55,65	52,90	49,80	45,60	41,40	35,59	29,85	25,70	24,00	24,70	29,40	35,01	38,11	40,72	42,75
S2	58,09	55,11	51,63	48,02	43,75	37,03	30,89	26,79	24,83	25,41	30,13	36,61	40,64	43,21	45,42
S3	54,58	51,89	48,50	44,92	40,25	34,86	29,95	26,12	24,45	25,02	29,65	35,40	38,90	41,50	43,65
S4	49,76	47,06	43,47	40,10	36,29	32,11	28,48	24,67	22,91	23,33	27,27	33,12	35,99	38,17	40,39

Tableau.VII.12 : Humidités relatives enregistrées aux abords des quatre stations lors du 1er scenario.

### VII-5-2-2-5-Scenario 5 :

Pour le 5ème scenario (3 bassins d'eau plus rajout de végétation), la végétation ajoutée dans le model de simulation contribue pleinement dans la hausse générale des humidités relatives des quatre stations, grâce à l'évapotranspiration produite par les arbres.

Par rapport au 4ème scenario, cette hausse est de :

- Pour S1 : 2,52% à 6h00, 1,03% à 13h00 et 1,04% à 20h00.
- Pour S2 : 1,63% à 6h00, 1,44% à 13h00 et 1,05% à 20h00.
- Pour S3 : 2,38% à 6h00, 0,98% à 13h00 et 0,95% à 20h00.
- Pour S4 : 3,08% à 6h00, 1,51% à 13h00 et 1,71% à 20h00.

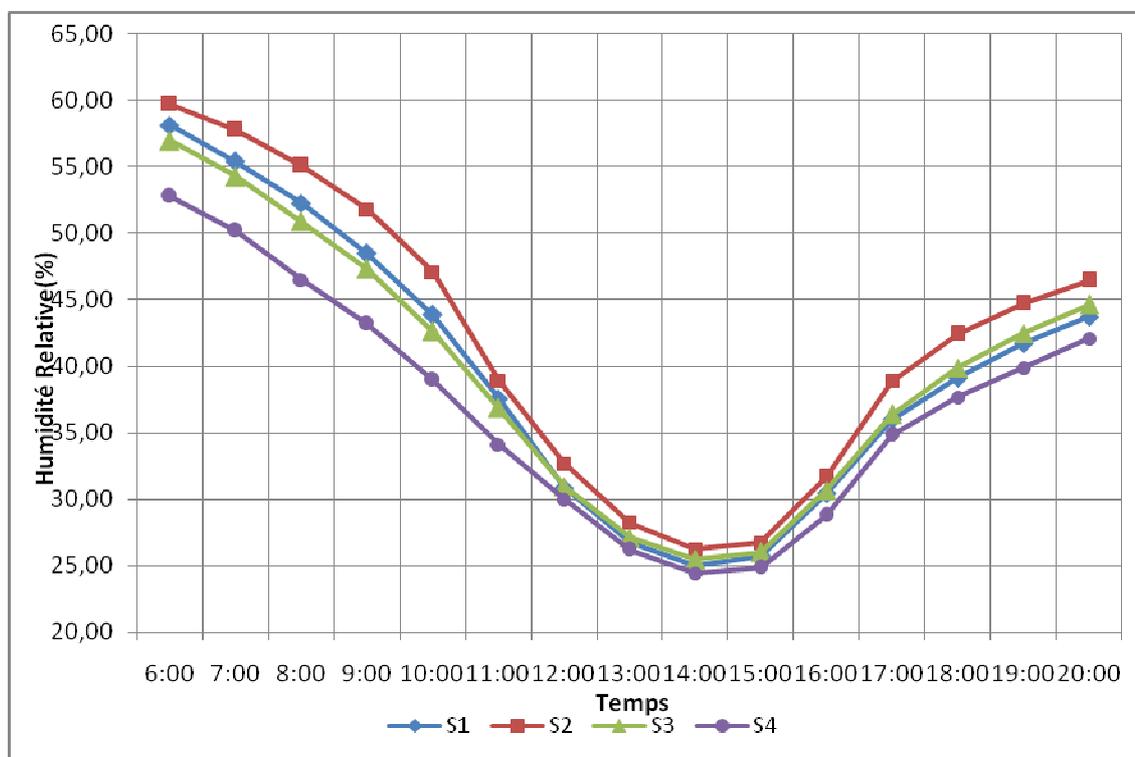


FIG.VII.19 : Humidités relatives enregistrées aux abords des quatre stations lors du 5eme scenario. (01-08-2007) (Source : auteur).

HR%	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
S1	58,15	55,40	52,30	48,50	43,90	37,59	30,85	26,70	25,00	25,70	30,40	36,01	39,11	41,72	43,75
S2	59,72	57,82	55,12	51,83	47,09	38,91	32,68	28,23	26,22	26,72	31,67	38,9	42,45	44,74	46,47
S3	56,98	54,29	50,90	47,32	42,65	36,86	30,95	27,12	25,45	26,02	30,65	36,40	39,90	42,50	44,65
S4	51,86	49,96	46,97	43,21	38,99	34,11	29,98	26,17	24,41	24,83	28,77	34,82	37,69	39,87	42,09

Tableau.VII.13 : Humidités relatives enregistrées aux abords des quatre stations lors du 1er scenario.

### VII-5-2-3-Vitesse des vents :

#### VII-5-2-3-1-Scenario 1 :

On remarque pour ce scenario (ni végétation ni bassins d'eau) que les quartes stations passent généralement par trois périodes, la première de 06h00 jusqu'à 12h00 ou les valeurs de la vitesse des vents sont les plus importantes de la journée (Exemple : pour la station S3 on note une valeur de 2,54m/s).

Lors de la deuxième période on note une chute des valeurs de vent et cela entre 13h00 et 18h00 cette chute varie selon la station (qui est maximale aux abords de la station S3 avec 1,94m/s). Pour la troisième période on remarque une hausse des valeurs des vitesses des vents pour toutes les stations, cette hausse est maximale pour la station S4 (2,09m/s à 19h00).

On remarque aussi que la station S3 est la station la plus ventée par rapport aux trois autres et cela pendant toute la période de simulation, tandis que la station S1 est la moins ventée du site d'investigation. La différence entre ces deux stations est de l'ordre de 1,2m/s.

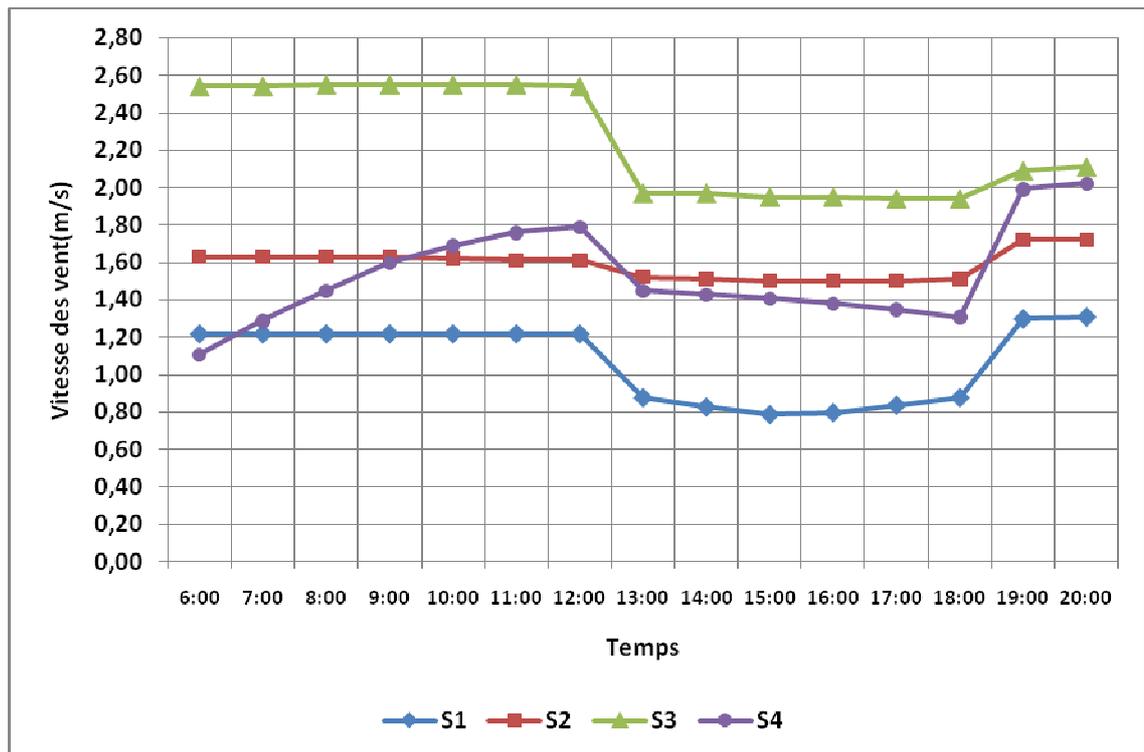


FIG.VII.20 : Vitesses des vents enregistrés aux abords des quatre stations lors du 1er scenario. (01-08-2007) (Source : auteur).

V vent m/s	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
<b>S1</b>	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	0,88	0,83	0,79	0,80	0,84	0,88	1,30	1,31
<b>S2</b>	1,63	1,63	1,63	1,63	1,62	1,61	1,61	1,52	1,51	1,50	1,50	1,50	1,51	1,72	1,72
<b>S3</b>	2,54	2,54	2,55	2,55	2,55	2,55	2,54	1,97	1,97	1,95	1,95	1,94	1,94	2,09	2,11
<b>S4</b>	1,11	1,29	1,45	1,60	1,69	1,76	1,79	1,45	1,43	1,41	1,38	1,35	1,31	1,99	2,02

**Tableau.VII.14 : Vitesses du vents enregistrées aux abords des quatre stations lors du 1er scenario.**

### **VII-5-2-3-2-Scenario 2 :**

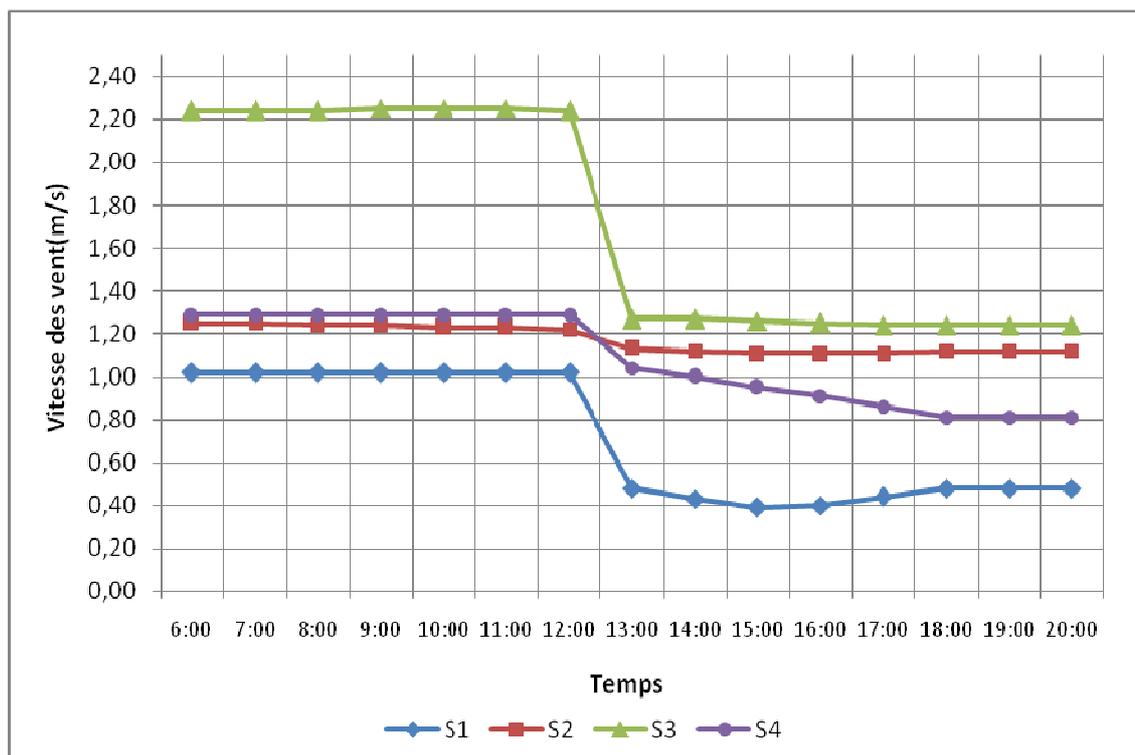
Dans ce deuxième scenario (état actuel), on remarque que les valeurs enregistrées pour les vitesses de vent ont baissées par rapport au 1er scenario et cela pour les quatre stations, cela est dû à la végétation rajoutée dans ce scenario et qui joue le rôle d'un obstacle aéraulique.

Malgré cela la station S3 reste la station la plus ventée avec 2.25m/s comme valeur maximale, tandis que la station S1 reste la station qui enregistre les valeurs les plus basses avec un maximum de 1,29 m/s.

La station S4 quand à elle enregistre des valeurs plus importante en début de journée par rapport à la station S2, mais cette tendance s'inverse en début d'après midi.

On remarque aussi qu'à part la station S2 -dont les valeurs de vitesse de vent sont assez stables-,

Les trois stations S1, S3 et S4 subissent une importante chute dans les valeurs des vitesses de vent, cette baisse et de l'ordre de 1m/s pour la station S3, 0,5m/s pour la station S1 et de 0,25m/s pour la station S4.



**FIG.VII.21 : Vitesses des vents enregistrés aux abords des quatre stations lors du 2eme scenario. (01-08-2007) (Source : auteur).**

V vent m/s	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
<b>S1</b>	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	0,48	0,43	0,39	0,40	0,44	0,48	0,48	0,48
<b>S2</b>	1,25	1,25	1,24	1,24	1,23	1,23	1,22	1,13	1,12	1,11	1,11	1,11	1,12	1,12	1,12
<b>S3</b>	2,24	2,24	2,24	2,25	2,25	2,25	2,24	1,27	1,27	1,26	1,25	1,24	1,24	1,24	1,24
<b>S4</b>	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,04	1,00	0,95	0,91	0,86	0,81	0,81	0,81

**Tableau.VII.15 : Vitesses du vents enregistrées aux abords des quatre stations lors du 2eme scenario.**

### VII-5-2-3-3-Scenario 3 :

Dans ce scenario (bassin central d'eau), on remarque que les valeurs des vitesses de vent n'ont quasiment pas changées, vu que les deux scenarios sont identiques en termes de végétations (obstacles aérauliques) car c'est la surface des bassins d'eau qu'on a rajoutée et non la densité de végétation.

Il subsiste tout de même une anomalie par rapport au 2ème scenario et cela en fin de journée, car on remarque une hausse des valeurs de vent pour les quatre stations, et dont la valeur maximale est enregistrée aux abords de la station S1 et dont la valeur est de 0,2m/s.

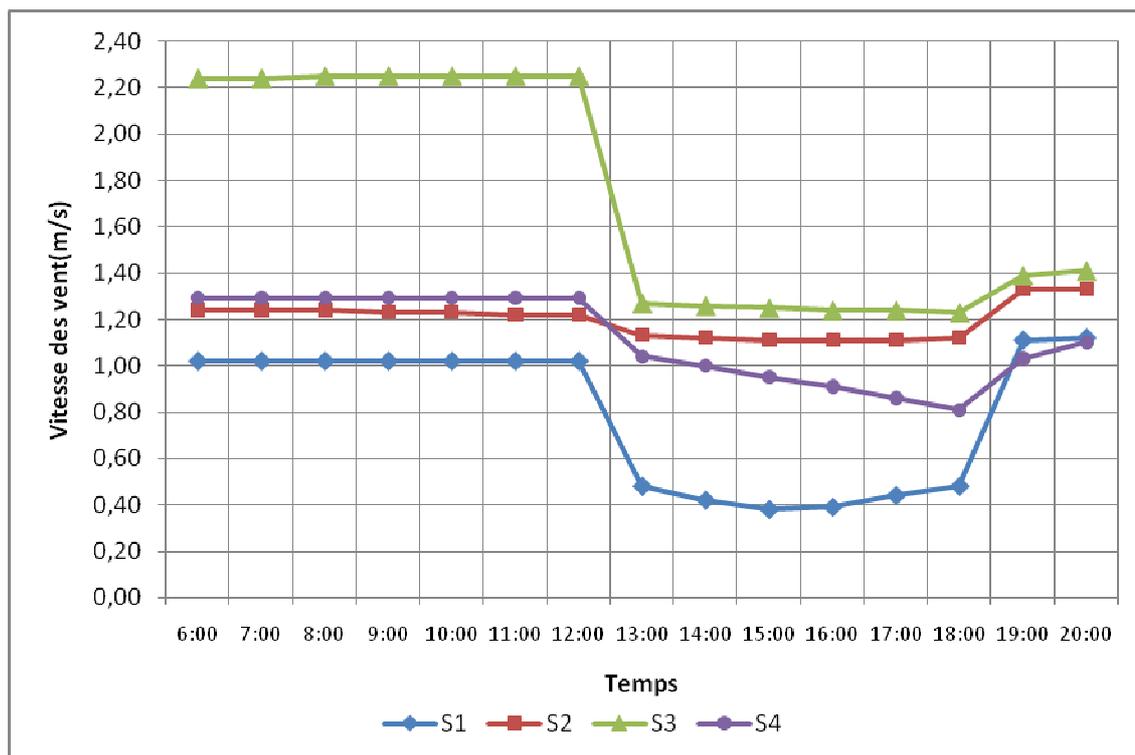


FIG.VII.22 : Vitesses des vents enregistrés aux abords des quatre stations lors du 3eme scenario. (01-08-2007) (Source : auteur).

Vvent m/s	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
S1	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	0,48	0,42	0,38	0,39	0,44	0,48	1,11	1,12
S2	1,24	1,24	1,24	1,23	1,23	1,22	1,22	1,13	1,12	1,11	1,11	1,11	1,12	1,33	1,33
S3	2,24	2,24	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	1,27	1,26	1,25	1,24	1,24	1,23	1,39	1,41
S4	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,29	1,04	1,00	0,95	0,91	0,86	0,81	1,03	1,10

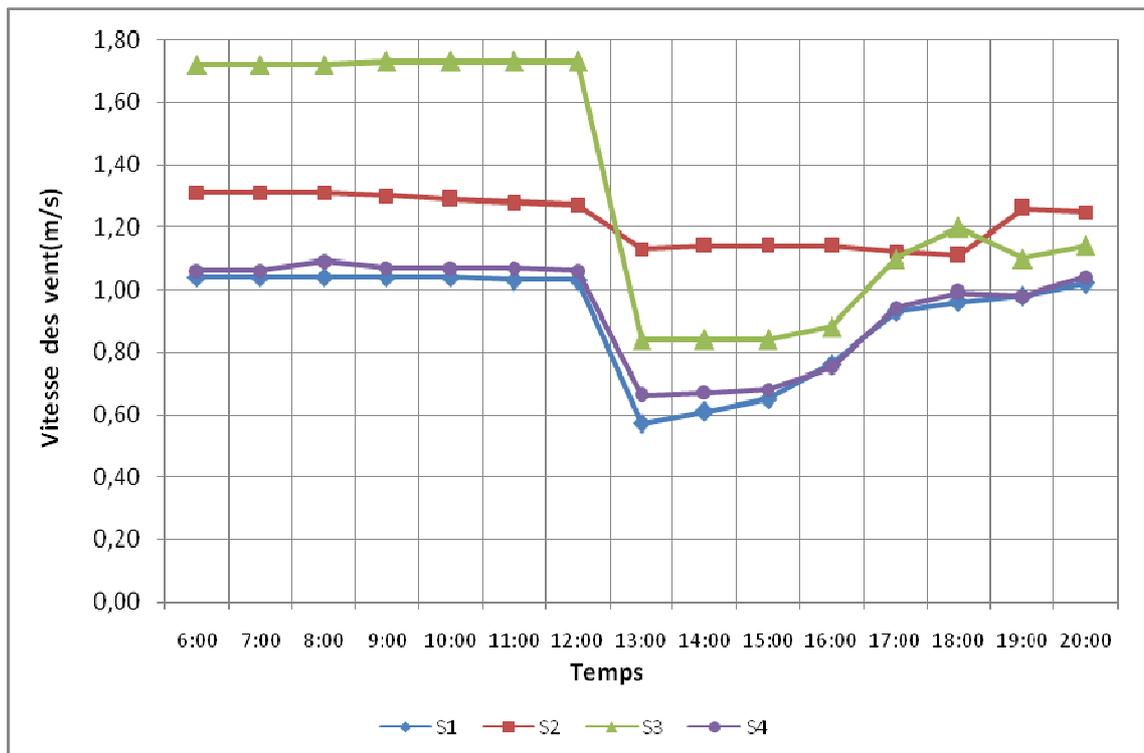
Tableau.VII.16 : Vitesses du vents enregistrées aux abords des quatre stations lors du 3eme scenario.

#### VII-5-2-3-4-Scenario 4 :

Le quatrième scenario (3 bassin d'eau) quand à lui présente une anomalie importante, car les valeurs des vitesses des vents devraient être semblables - ou sensiblement proche - à celles enregistrées dans les scenarios 2 et 3, car la densité des obstacles aérauliques (végétation) est la même pour ces trois scenarios et c'est la surface des bassins d'eau qui augmente comme expliqué en début de chapitre. La seul explication qu'on peut donner à cette anomalie c'est que le logiciel simule à chaque fois d'une manière différente, même si les données sont les même, du moins pour un phénomène aléatoire comme le vent car on remarque que cette anomalie ne se présente pas en ce qui concerne la température et l'humidité.

Et même si cette différence subsiste elle demeure néanmoins faible à cette échelle comme on peut le constater des enregistrements où elle est maximale aux abords de la station S3 avec 0,4m/s, de 0,2m/s pour la station S4 et négligeable pour la station S1.

La hausse enregistrée dans la station S1 quand à elle peut être expliquée par le changement de rugosité du sol près de cette station grâce au bassin d'eau qui vient d'être rajouté. La station S3 reste tout de même la plus ventée, vient ensuite la station S2 qui dépasse les stations S1 et S4 bien qu'elle soit protégées par les quatre arbres centenaires.



**FIG.VII.23 : Vitesses des vents enregistrés aux abords des quatre stations lors du 4eme scenario. (01-08-2007) (Source : auteur).**

Vvent m/s	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
<b>S1</b>	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,57	0,61	0,65	0,76	0,93	0,96	0,98	1,02
<b>S2</b>	1,31	1,31	1,31	1,30	1,29	1,28	1,27	1,13	1,14	1,14	1,14	1,12	1,11	1,26	1,25
<b>S3</b>	1,72	1,72	1,72	1,73	1,73	1,73	1,73	0,84	0,84	0,84	0,88	1,10	1,20	1,10	1,14
<b>S4</b>	1,06	1,06	1,09	1,07	1,07	1,07	1,06	0,66	0,67	0,68	0,75	0,94	0,99	0,98	1,04

**Tableau.VII.17 : Vitesses du vents enregistrées aux abords des quatre stations lors du 4eme scenario.**

### VII-5-2-3-5-Scenario 5 :

Dans ce scenario (3bassin plus rajout de végétation), on peut remarquer que les valeurs des vitesses des vents sont complètement différentes de celles enregistrées dans les quatre scenarios précédents, avec une tendance à la baisse pour les quatre stations (une baisse maximale de 1m/s pour la station S3 à 06h00, de 0,6m/s pour la station S2 à 06h00, de 0,4 pour la station S1 et S4). Cela est logique dans la mesure où la densité de la végétation dans ce scenario est beaucoup plus importante que dans les scenarios précédant.

Cela expliquera aussi le changement de la logique de répartition de zones ventées dans le site d'investigation, car la station S3 qui était la station la plus ventée perd cette tendance au profit de la station S2. La station S1 quand à elle reste la station qui se trouve dans la zone la moins ventée de la place avec une valeur minimale de 0,08m/s à 14h00.

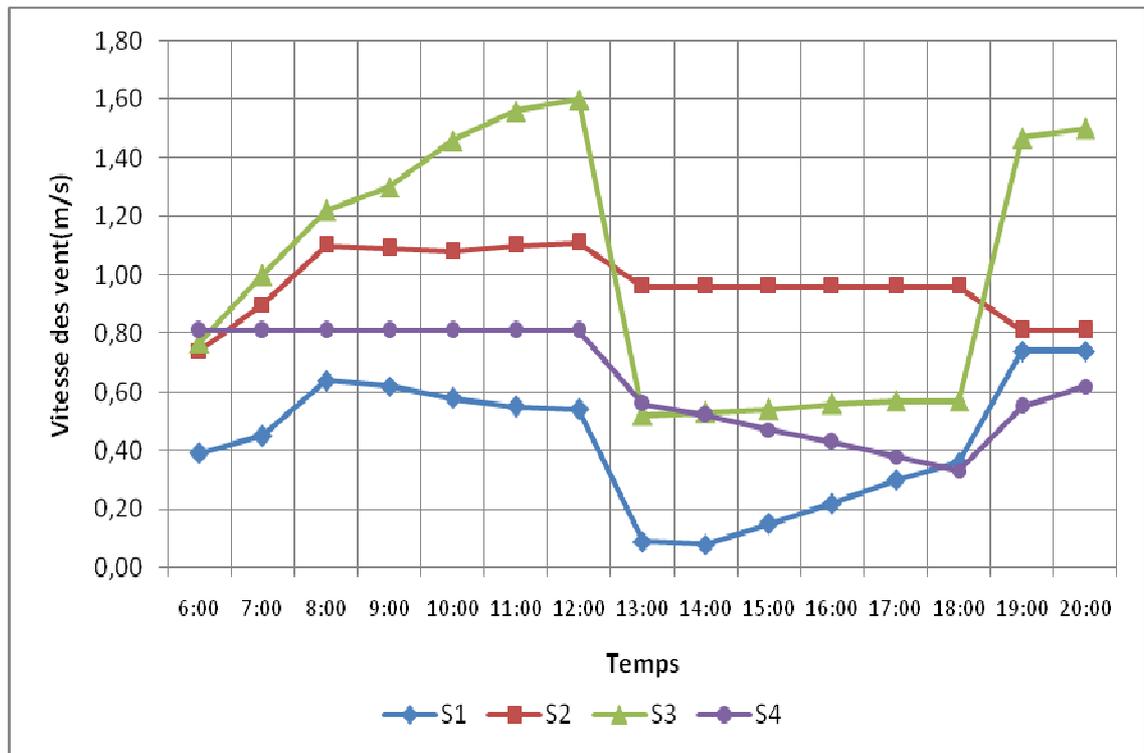


FIG.VII.24 : Vitesses des vents enregistrés aux abords des quatre stations lors du 5eme scenario. (01-08-2007) (Source : auteur).

Vvent m/s	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
S1	0,39	0,45	0,64	0,62	0,58	0,55	0,54	0,09	0,08	0,15	0,22	0,30	0,36	0,74	0,74
S2	0,74	0,90	1,10	1,09	1,08	1,10	1,11	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,81	0,81
S3	0,77	1,00	1,22	1,30	1,46	1,56	1,60	0,52	0,53	0,54	0,56	0,57	0,57	1,47	1,50
S4	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,56	0,52	0,47	0,43	0,38	0,33	0,55	0,62

Tableau.VII.18 : Vitesses du vents enregistrées aux abords des quatre stations lors du 5eme scenario.

#### **VII-5-2-4-Le PMV et le PPD :**

##### **VII-5-2-4-1-Scenario 1 :**

Pour le premier scenario (ni végétation ni eau), on remarque que les valeurs de PMV des quatre stations sont proches les unes des autres mais on distingue néanmoins des différences.

En début de journée la station S1 enregistre les valeurs les plus confortables par rapport aux trois autres vu que ces valeurs sont les plus basses donc la période dite de confort (qui s'étend de -0,5 jusqu'à +0,5) s'étend le plus vers la période la plus chaude (de 7h00 jusqu'à 8h30), cela s'explique sans doute par l'effet modérateur que joue le parc au nord du site, ce qui permet de rabaisser la température en cet endroit mais aussi de relever le niveau de l'humidité.

Cette tendance s'inverse à partir de 10h00 en faveur de la station S3, cette dernière enregistre les valeurs de PMV les plus confortables du site et la valeur maximale d'inconfort pour cette station est enregistrée à 14h00 avec une valeur de +2,76, tandis que la valeur d'inconfort la plus élevée est enregistrée aux abords de la station S1 avec une valeur de +2,82 à 14h00.

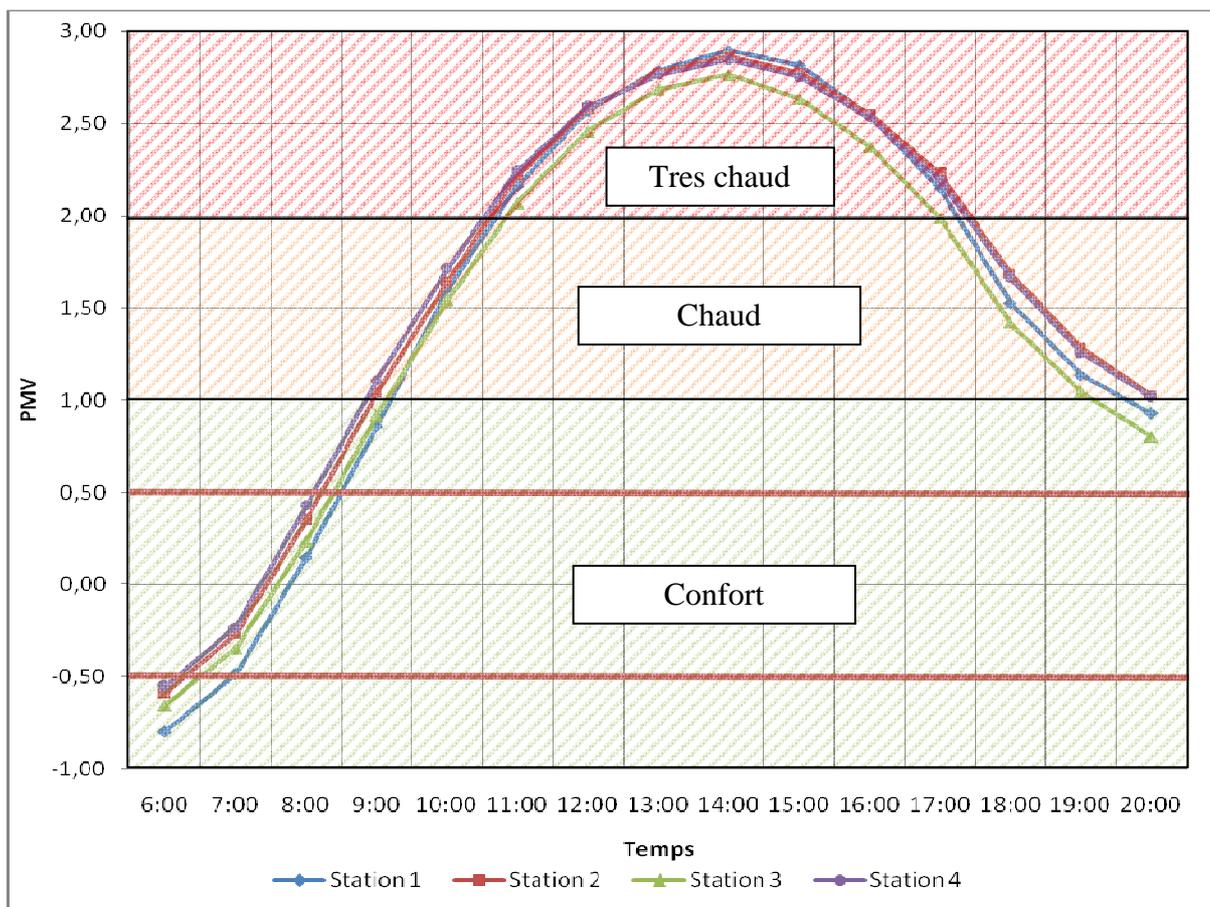
D'une manière générale et pour les quatre stations, on remarque que les courbes de PMV passe par trois périodes majeures :

-Une période dite « confortable » qui -elle-même comporte trois périodes (légèrement froid de -1 jusqu'à -0,5, confort de -0,5 jusqu'à +0,5 et légèrement chaud de 0,5 jusqu'à +1), et qui s'étend de 6h00 à 9h00 et aussi en fin de journée à partir de 19h00 pour les stations S1 et S3.

Cette période représente 22% de la période d'investigation (moyenne de la température des quatre stations).

-Une période dite « chaude » et cela de 9h00 à 11h00 et de 17h00 à 19h00 pour la station S3), avec des valeurs de PMV comprises entre +1 et +2. Cette période représente 30% de la période d'investigation.

-Une troisième période « très chaude » qui s'étend de 10h30 jusqu'à 17h00 et dont les valeurs varient entre +2 et +2,89 pour la station S3. Cette période représente 48% de la période d'investigation.



**FIG.VII.25 : Valeurs de PMV enregistrées aux abords des quatre stations lors du 1er scenario. (01-08-2007) (Source : auteur).**

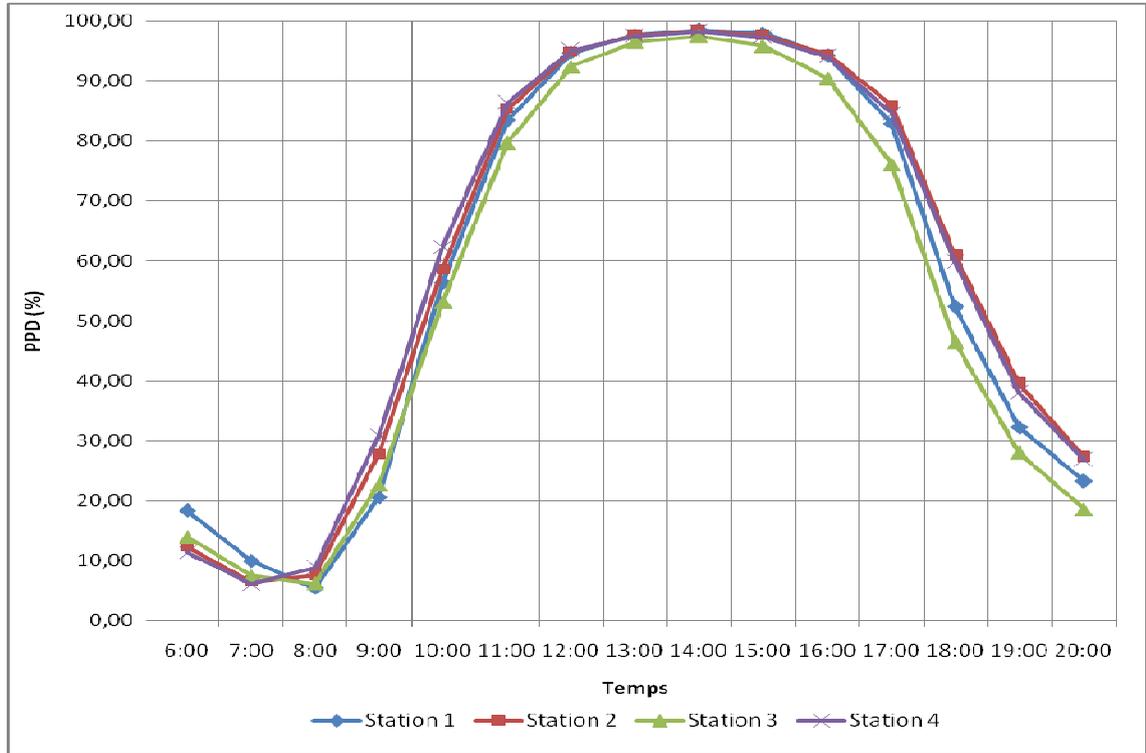
PMV	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
<b>S1</b>	-0,79	-0,49	0,15	0,86	1,60	2,16	2,57	2,79	2,89	2,82	2,54	2,15	1,53	1,14	0,93
<b>S2</b>	-0,59	-0,27	0,35	1,04	1,64	2,21	2,58	2,78	2,86	2,78	2,55	2,23	1,68	1,28	1,03
<b>S3</b>	-0,65	-0,35	0,24	0,92	1,54	2,07	2,46	2,68	2,76	2,63	2,37	1,99	1,42	1,04	0,80
<b>S4</b>	-0,55	-0,23	0,43	1,11	1,71	2,24	2,59	2,76	2,85	2,75	2,53	2,19	1,66	1,26	1,02

**Tableau.VII.19 : Valeurs de PMV enregistrées aux abords des quatre stations lors du 1er scenario.**

Les valeurs enregistrées dans le graphe de l'indice PPD viennent confirmer ce qui a été noté pour le PMV, et on peut remarquer que les stations S1 et surtout S3 enregistrent les taux d'insatisfaction les moins importants par rapport aux deux autres stations pendant toute la période de 8h00 jusqu'à 20h00 (18,56% pour la station S3, 23,21% pour la station S1, 26,81% pour la station S2 et 27,22% pour la station S4). Excepter en début de journée (de 6h00 à 8h00) où le taux d'insatisfaction dans ces deux stations est plus important (11,35% pour S4, 12,30% pour S2, 13,98%

pour S3 et 18,30 pour S1, car d'après les valeurs du PMV cette période est considérée comme légèrement froide pour les deux stations.

On remarque aussi que le taux d'insatisfaction maximal pour les quatre stations est enregistré à 14h00 avec 98,53% pour S1, 98,33% pour S2, 97,45% pour S3 et 98,20% pour S4.



**FIG.VII.26 : Valeurs de PPD enregistrées aux abords des quatre stations lors du 1er scenario. (01-08-2007) (Source : auteur).**

PPD	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
<b>S1</b>	18,30	9,92	5,45	20,54	56,38	83,45	94,70	97,70	98,53	97,95	94,21	82,91	52,27	32,25	23,21
<b>S2</b>	12,30	6,48	7,54	27,80	58,64	85,32	94,92	97,58	98,33	97,57	94,47	85,98	60,87	39,49	27,22
<b>S3</b>	13,98	7,53	6,16	22,71	53,16	79,71	92,45	96,52	97,45	95,82	90,43	76,14	46,47	28,03	18,56
<b>S4</b>	11,35	6,09	8,81	30,83	62,33	86,34	95,10	97,41	98,20	97,32	94,03	84,58	59,78	38,00	26,81

**Tableau.VII.20 : Valeurs de PPD enregistrées aux abords des quatre stations lors du 1er scenario.**

#### VII-5-2-4-2-Scenario 2 :

Pour le deuxième scenario (état actuel), on remarque que l'effet de la végétation rajoutée est nettement positif sur le confort thermique, car on remarque que les valeurs de PMV sont nettement confortables que celles enregistrées dans le premier scenario, des valeurs plus proches de la zone de confort.

Cela se confirme par le glissement de la période confortable jusqu'à 9h45 (cas de la station S2) alors qu'elle s'arrêtait à 9h00 dans le premier scénario, mais aussi que toutes les stations enregistrent des valeurs confortables en fin de journée (18h15 pour la station S3 et 19h00 pour la station S4), les autres périodes connaissent un glissement ce qui implique que leur étendue a diminué à travers le temps par rapport au deuxième scénario.

On peut distinguer cette fois quatre périodes majeures dans ce scénario :

- Une première période froide qui s'étend de 6h00 à 7h00(seul la station S4 n'est pas concernée par cette période), avec des valeurs de PMV allant de -1,5 jusqu'à -1. Cette période représente 3,9% de la période d'investigation.

- Une deuxième période de confort qui s'étend de 7h00 à 9h45, pour se prolonger de 18h15 à 20h00. Cette période représente 29,2% de la période d'investigation.

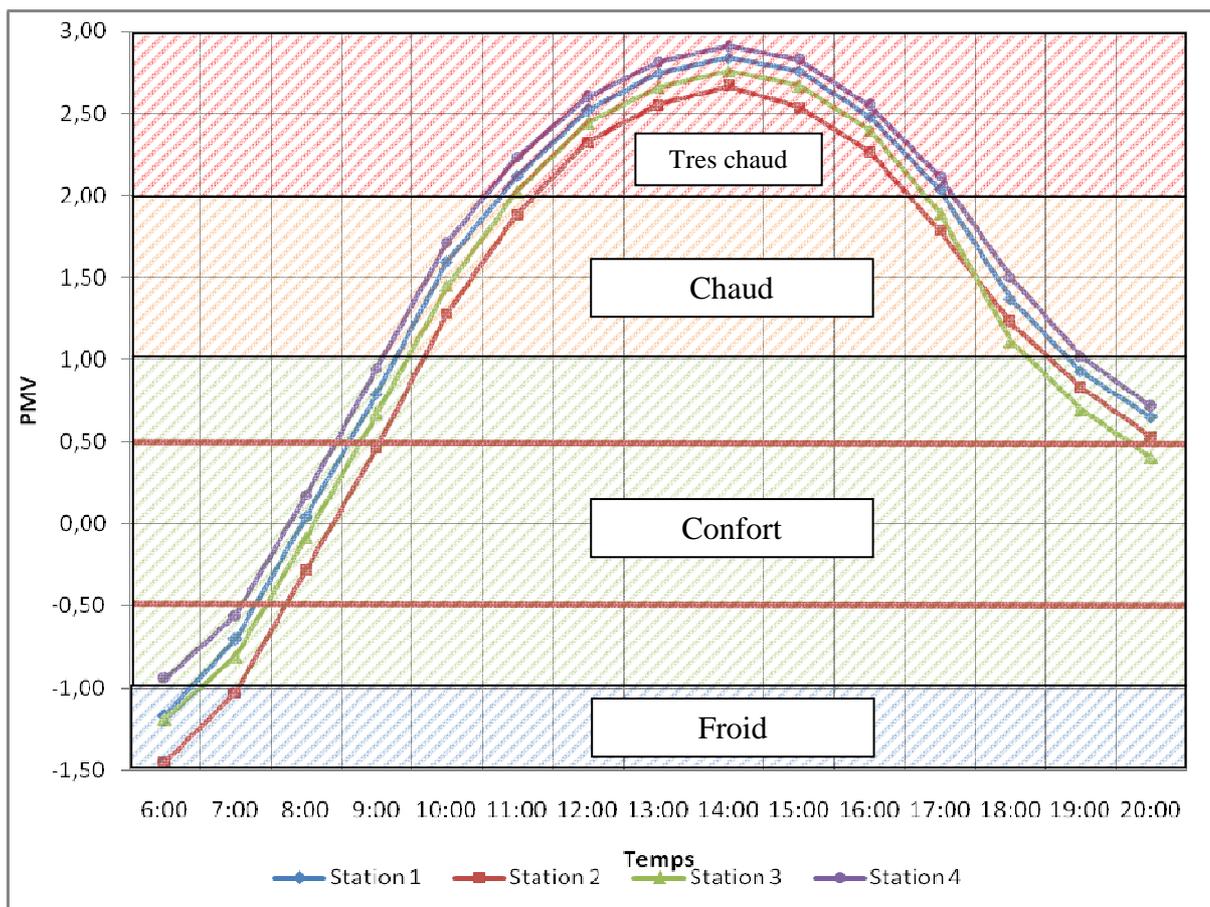
- Une Troisième période chaude qui s'étend de 9h45 jusqu'à 11h15 et de 16h30 à 19h00. Cette période représente 24,25% de la période d'investigation.

- Une quatrième période très chaude s'étend de 11h00 à 16h30. Cette période représente 42% de la période d'investigation.

On remarque aussi que la station S2 marque les valeurs les plus confortables de PMV avec une valeur maximale de 2,67 à 14h00 et une valeur minimale de -1,45 à 6h00 du matin, cela est due à l'effet bénéfique de la végétation qui est très dense autour de cette zone (les quatre arbres centenaires).

Vient ensuite la station S3 qui enregistre les mêmes valeurs de PMV plus confortables que la station S2 et cela en fin de journée (-1,9 à 6h00, 2,76 à 14h00 et 0,4 à 20h00) et cela grâce à l'effet combiné de la végétation ajoutée autour dans ce scénario et aux constructions qui jouent le rôle de masque solaire très important.

La station S4 enregistre les valeurs les plus inconfortables des quatre stations, car cette station reste sans masques solaires ni apport d'humidité.



**FIG.VII.27 : Valeurs de PMV enregistrées aux abords des quatre stations lors du 2eme scenario. (01-08-2007) (Source : auteur).**

PMV	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
<b>S1</b>	-1.17	-0.70	0.04	0.79	1.60	2.12	2.52	2.74	2.84	2.76	2.48	2.04	1.37	0.93	0.65
<b>S2</b>	-1.45	-1.03	-0.28	0.47	1.28	1.88	2.32	2.55	2.67	2.54	2.27	1.79	1.23	0.83	0.53
<b>S3</b>	-1.19	-0.81	-0.08	0.67	1.45	2.02	2.44	2.66	2.76	2.67	2.40	1.89	1.12	0.70	0.40
<b>S4</b>	-0.94	-0.56	0.18	0.95	1.71	2.23	2.60	2.81	2.91	2.83	2.55	2.12	1.50	1.02	0.71

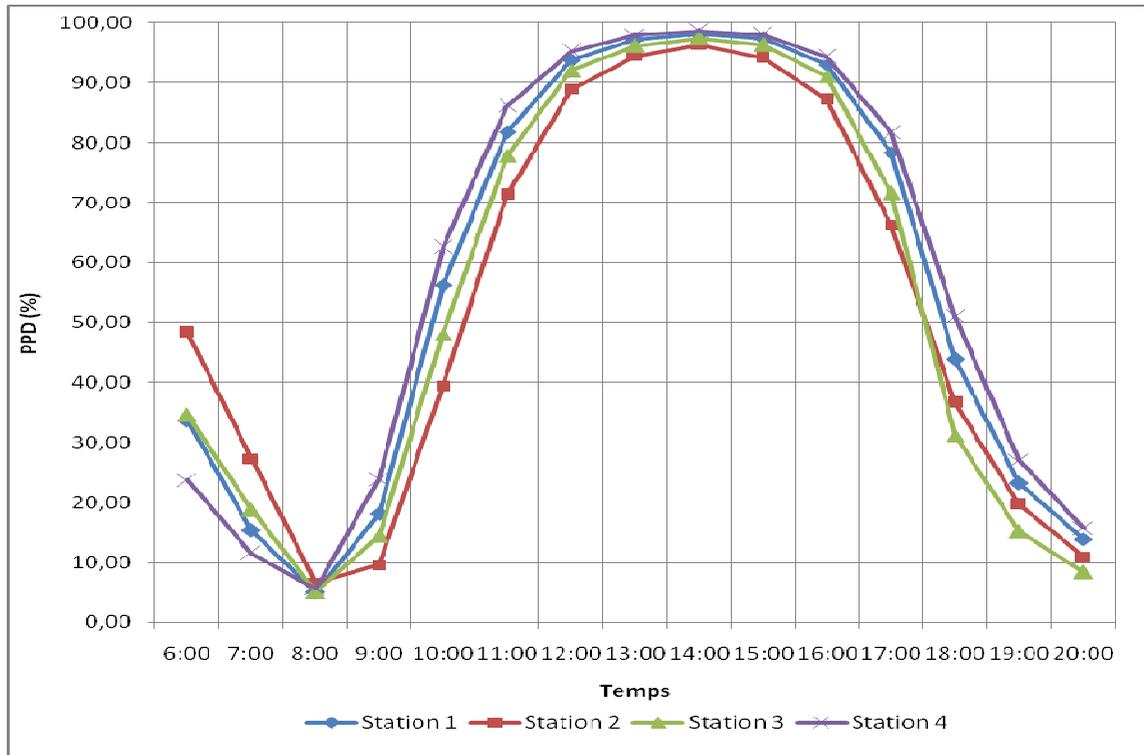
**Tableau.VII.21 : Valeurs de PMV enregistrées aux abords des quatre stations lors du 2eme scenario.**

On remarque qu'en début de journée (de 6h00 à 8h00), le taux d'insatisfaction le plus haut est enregistrée dans la station S2 avec une valeur de 48,37%, 34,63 pour S3, 33,64 pour S1 et 23,76 pour S4.

Après 8h00 cette tendance s'inverse littéralement pour avoir le taux d'insatisfaction le moins important enregistré aux abords de S2, avec 9,55% à 9h00, 96,29% à 14h00 (valeur maximale) et 10,94% à 20h00.

Vient ensuite la station S3 avec 14,42 % à 9h00, 97,40% à 14h00 (valeur maximale) et 8,40% à 20h00.

Et enfin la station S4 qui enregistre les valeurs les plus inconfortables avec 23,91% à 9h00, 98,65% à 14h00 (valeur maximale) et à 15,73% à 20h00.



**FIG.VII.28 : Valeurs de PPD enregistrées aux abords des quatre stations lors du 2eme scenario. (01-08-2007) (Source : auteur).**

PPD	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
<b>S1</b>	33.64	15.38	5.04	18.17	56.23	81.78	93.79	97.24	98.13	97.39	93.01	78.35	43.93	23.22	13.88
<b>S2</b>	48.37	27.34	6.63	9.55	39.46	71.31	88.97	94.46	96.29	94.16	87.19	66.29	36.66	19.64	10.94
<b>S3</b>	34.63	18.79	5.13	14.42	48.17	77.83	92.13	96.21	97.40	96.35	91.09	71.67	31.21	15.18	8.40
<b>S4</b>	23.76	11.53	5.65	23.91	62.53	86.14	95.28	97.93	98.65	98.04	94.36	81.74	51.00	27.01	15.73

**Tableau.VII.22 : Valeurs de PPD enregistrées aux abords des quatre stations lors du 2eme scenario.**

### VII-5-2-4-3-Scenario 3 :

Dans le troisième scenario (bassin central d'eau), on remarque pour les stations S1 et S3, que les valeurs du PMV n'ont pratiquement pas changé, cela implique que le bassin rajouté dans ce scenario n'a pratiquement aucun effet bénéfique concernant les conditions de confort dans les zones des deux stations.

Le seul changement qu'on a constaté concerne les deux stations S2 et S4.

Pour la station S4 on remarque que les valeurs du PMV présente une légère baisse et donc une amélioration dans les conditions de confort dans la zone de cette station.

On note une baisse de 0,04 à 6h00, 0,04 à 14h00 et 0,02 à 20h00.

La baisse dans les valeurs de PMV est plus importante aux abords de la station S2 qui est encore plus proche du bassin d'eau, en plus le masque solaire produit pas les arbres centenaires contribuent pleinement pour garder la fraîcheur contenue dans l'air contrairement à la station S4. On peut donc remarquer une baisse de 0,06 à 6h00, 0,06 à 14h00 et 0,06 à 20h00.

On remarque aussi que les mêmes périodes enregistrées dans le 2eme scenario sont enregistrées dans ce scenario, avec des glissements des différentes périodes presque négligeables pour les stations S2 et S4.

Les glissements notables sont ceux enregistrés pour la S3 :

-La période de froid s'étend jusqu' à 7h15 alors qu'elle s'étendait seulement à 7h00 (8,46% de la période d'investigation).

-La période de confort représente 31,53% de la période d'investigation.

-La période chaude représente 22,30% de la période d'investigation.

-La période très chaude débute à 11h15 alors qu'elle débutait à 11h00, et elle se termine à 16h30 alors qu'elle se terminait à 16h15, ce qui représenté 36,92% de la période d'investigation.

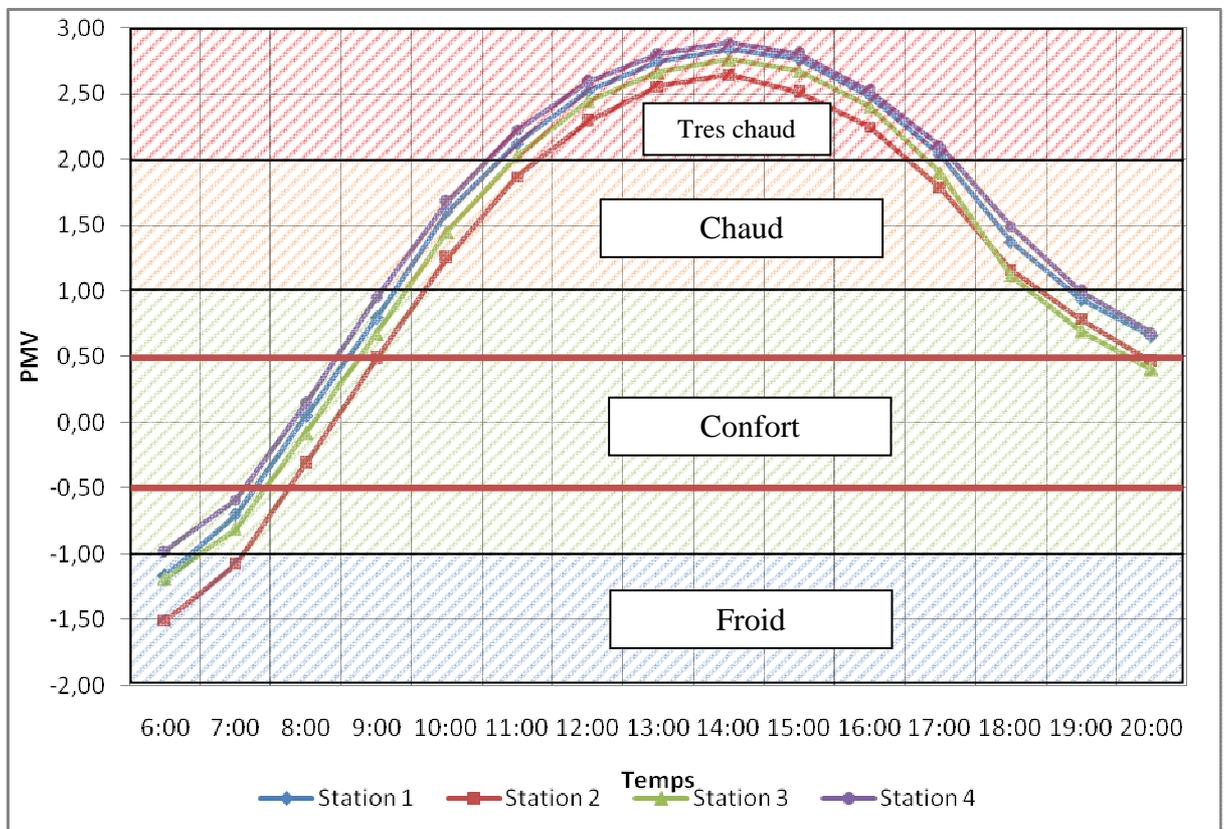


FIG.VII.29 : Valeurs de PMV enregistrées aux abords des quatre stations lors du 3eme scenario.

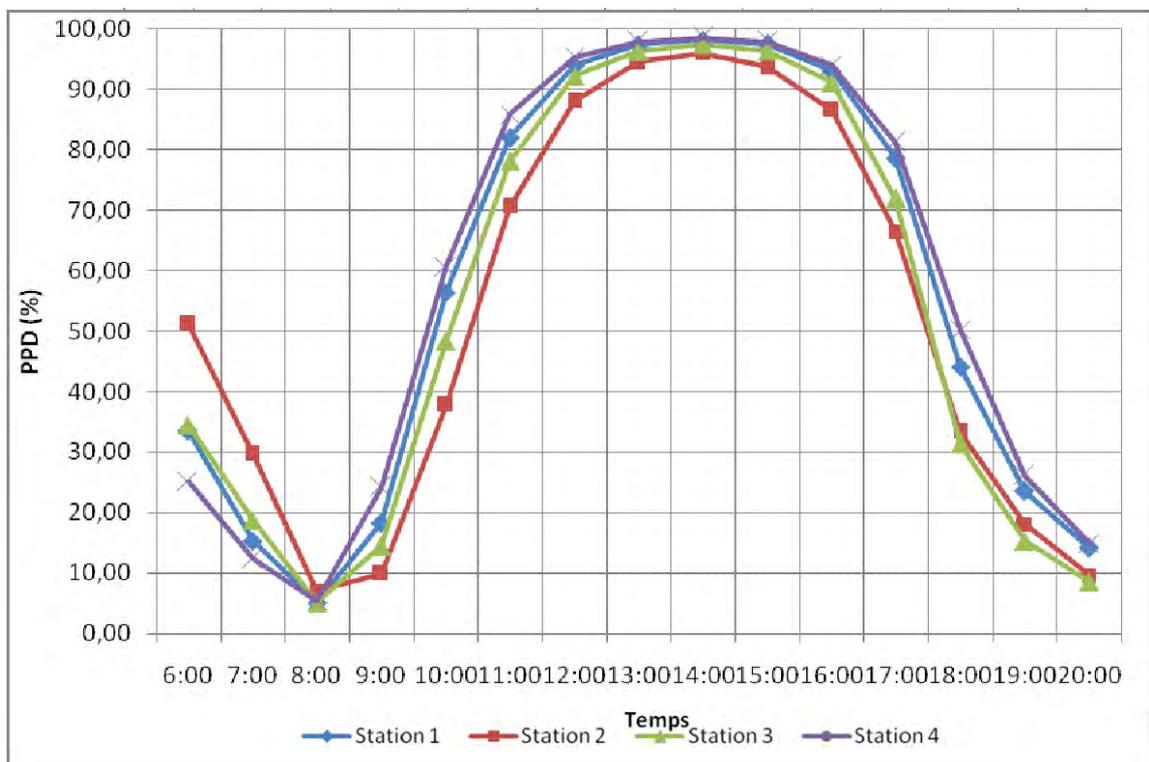
(01-08-2007) (Source : auteur).

PMV	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
S1	-1,16	-0,70	0,05	0,79	1,60	2,12	2,52	2,75	2,84	2,76	2,48	2,04	1,37	0,94	0,66
S2	-1,51	-1,08	-0,31	0,48	1,25	1,87	2,29	2,56	2,64	2,52	2,25	1,79	1,16	0,79	0,47
S3	-1,18	-0,81	-0,08	0,67	1,45	2,03	2,45	2,67	2,76	2,68	2,40	1,90	1,12	0,70	0,41
S4	-0,98	-0,59	0,14	0,95	1,68	2,23	2,59	2,81	2,89	2,81	2,52	2,10	1,49	1,00	0,69

**Tableau.VII.23 : Valeurs de PMV enregistrées aux abords des quatre stations lors du 3eme scenario. (01-08-2007) (Source : auteur).**

Les même remarques peuvent être apportées en ce qui concerne l'indice PPD, les stations S1 et S2 n'étant pas concernées on remarque le taux d'insatisfaction diminue aux abords des stations S2 et S4 pendant les périodes chaudes (pour la station S2 par exemple, on note une baisse de 1,69% à 10h00, 0,31% à 14h00 et 1,41% à 20h00).

En début de journée (de 6h00 à 9h00) le contraire est à noter car le taux d'insatisfaction est plus élevé dans ce scenario par rapport au deuxième scenario, ceci implique que le logiciel juge que les valeurs d'entrées (Température, humidité et vitesse de vent) rendent l'ambiance à cette endroit et en ce moment assez froide pour causer une gêne, tout en notant que le degré d'habillement (tenue légère) est resté le même pendant toute la période de simulation.



**FIG.VII.30 : Valeurs de PPD enregistrées aux abords des quatre stations lors du 3eme scenario. (01-08-2007) (Source : auteur).**

PPD	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
S1	33,52	15,30	5,05	18,28	56,44	81,95	93,89	97,30	98,17	97,44	93,11	78,54	44,13	23,53	14,11
S2	51,22	29,65	7,02	9,89	37,77	70,60	88,01	94,60	95,98	93,75	86,57	66,45	33,32	18,09	9,53
S3	34,51	18,70	5,12	14,52	48,38	78,02	92,24	96,28	97,46	96,42	91,21	71,87	31,37	15,31	8,47
S4	25,08	12,29	5,42	24,18	60,67	85,85	95,16	97,88	98,53	97,87	93,91	81,25	50,26	26,12	14,90

**Tableau.VII.24: Valeurs de PPD enregistrées aux abords des quatre stations lors du 3eme scenario.  
(01-08-2007) (Source : auteur).**

#### VII-5-2-4-4-Scenario 4 :

On note cette fois (pour les 3 bassins d'eau), que les valeurs enregistrées aux abords des stations S2 et S4 ne change quasiment pas ce qui implique qu'elles ne sont pas concernées par l'effet qu'apportent les deux bassins ajoutés dans ce scenario, et donc gardent les mêmes valeurs de PMV.

Par contre les stations S1 et S3 (stations qui sont directement placées sur les deux bassins), ont vu leurs valeurs de PMV baissées (pour la station S1 cette baisse est de 0,07 à 10h00, de 0,13 à 14h00 et de 0,1 à 20h00, pour la station S3 elle est de 0,13 à 10h00, de 0,08 à 14h00 et de 0,1 à 20h00).

Pour les périodes de confort on enregistre :

Pour la station S3 :

-La période de froid s'étend jusqu'à 6h45 (5,38% de la période d'investigation), alors qu'elle s'étendait seulement à 6h20 dans le 3eme scenario (3,84% de la période d'investigation).

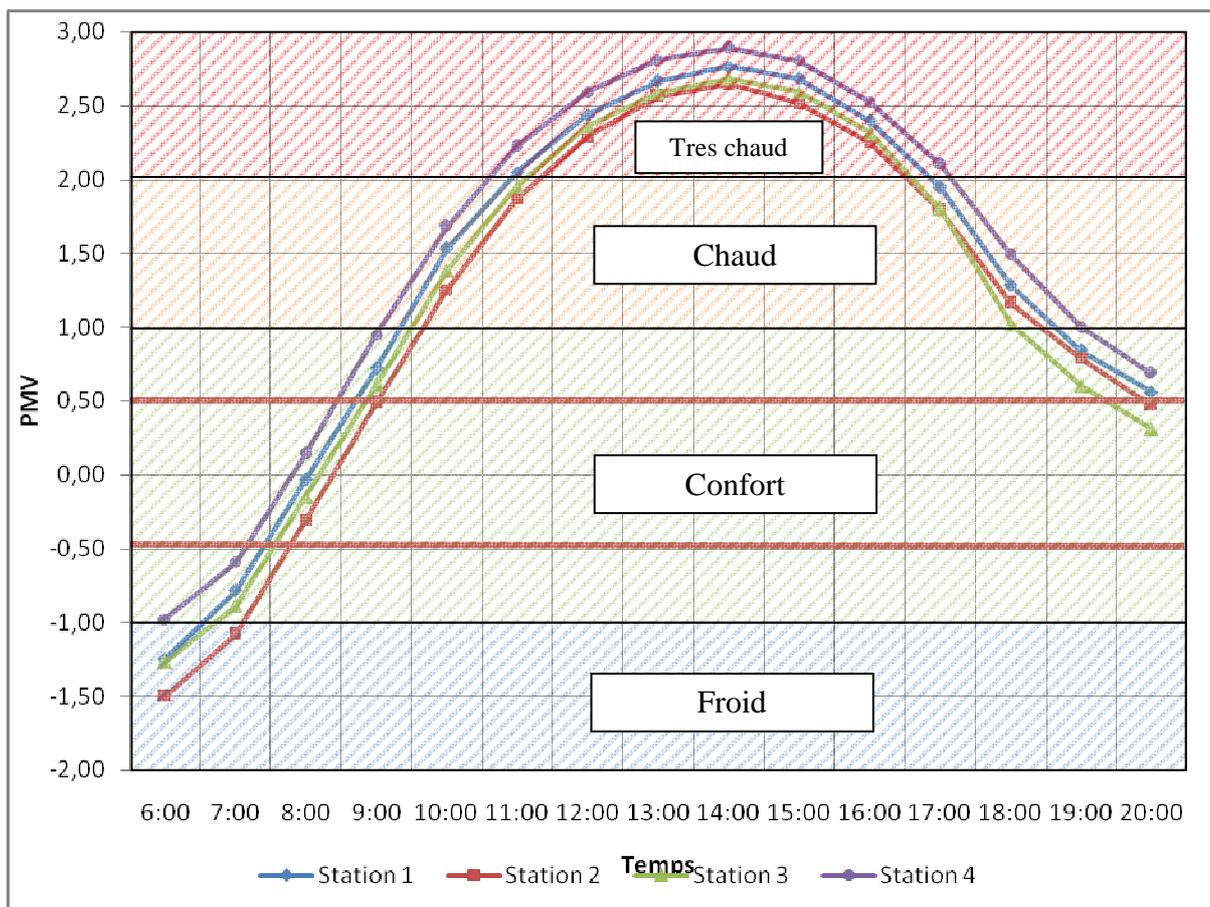
-La période de confort en fin de journée débute à 18h00 au lieu de 18h20. La période de confort absolue (de -0,5 jusqu'à +0,5) débute à 19h15 (30,84% de la période d'investigation) au lieu de 19h45 (30,71% de la période d'investigation).

La période très chaude débute à 11h10 au lieu de 11h00 et se termine à 16h30 au lieu de 16h45 (38,46% au lieu de 41,53% de la période d'investigation).

Pour la station S1 :

-La période de confort en début de journée débute à 7h30 au lieu de 7h15. La période de confort en fin de journée débute à 18h35 au lieu de 18h55 (29,23% au lieu de 29,21% de la période d'investigation).

-La période très chaude débute à 11h00 au lieu de 10h40 et se termine à 16h55 au lieu de 17h10 (41,53 au lieu de 44,61 de la période d'investigation).



**FIG.VII.31 : Valeurs de PMV enregistrées aux abords des quatre stations lors du 4eme scenario. (01-08-2007) (Source : auteur).**

PMV	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
<b>S1</b>	-1,25	-0,78	-0,03	0,72	1,53	2,05	2,44	2,67	2,77	2,68	2,40	1,95	1,28	0,84	0,56
<b>S2</b>	-1,50	-1,08	-0,31	0,49	1,25	1,87	2,29	2,56	2,64	2,52	2,25	1,79	1,16	0,79	0,47
<b>S3</b>	-1,27	-0,89	-0,15	0,61	1,38	1,95	2,36	2,58	2,69	2,59	2,32	1,80	1,02	0,60	0,31
<b>S4</b>	-0,98	-0,59	0,14	0,95	1,68	2,23	2,59	2,81	2,89	2,81	2,52	2,10	1,49	1,00	0,69

**Tableau.VII.25 : Valeurs de PMV enregistrées aux abords des quatre stations lors du 4eme scenario. (01-08-2007) (Source : auteur).**

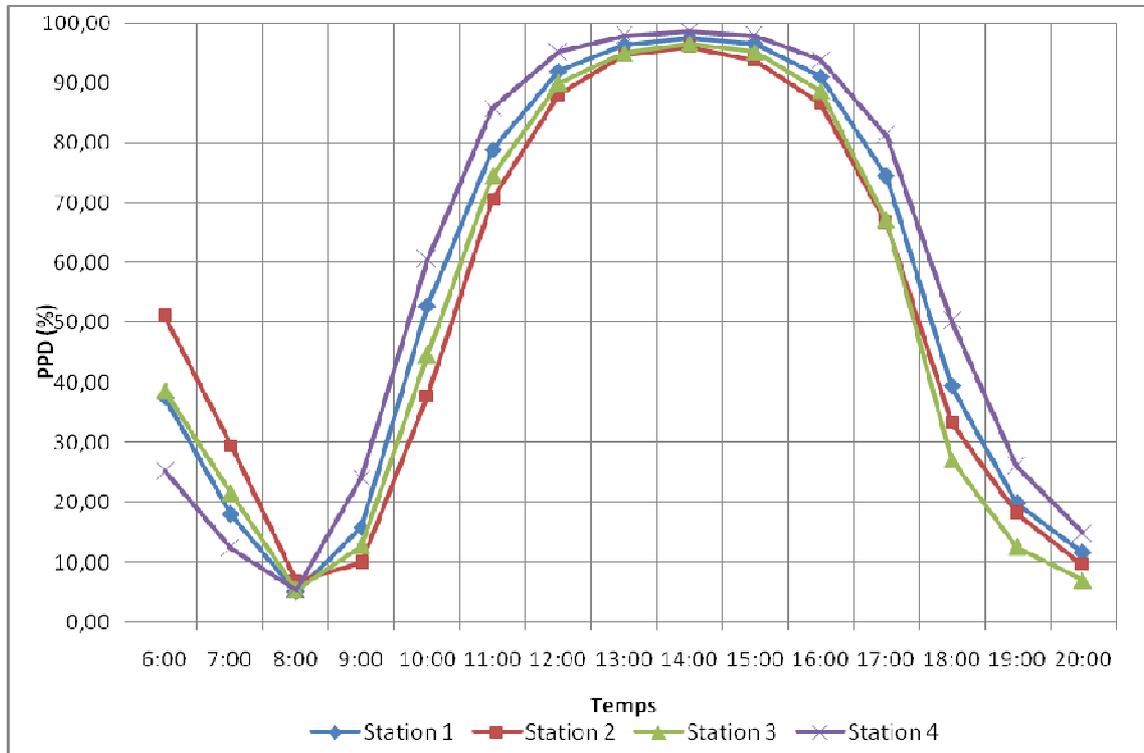
Logiquement et d'après les valeurs du PMV, le taux d'insatisfaction enregistré aux abords des stations S2 et S4 reste le même enregistré dans le troisième scenario.

Les seuls changements sont enregistrés aux abords des stations S1 et S3.

-Pour la station S3 le taux d'insatisfaction présente des baisses notaires, pour se rapprocher de celui enregistré en S2 (station qui se trouve dans la zone la plus confortable du site).

Cette baisse est de 4,18% à 9h00, de 9,46% à 10h00, de 2,9% à 14h00 et de 2,23% à 20h00 par rapport au troisième scenario.

-Pour la station S1 on enregistre une baisse de 3,79% à 9h00, de 8,02% à 10h00, de 2,9% à 14h00 et de 1,76% à 20h00 par rapport au troisième scénario.



**FIG.VII.32 : Valeurs de PPD enregistrées aux abords des quatre stations lors du 4eme scenario. (01-08-2007) (Source : auteur).**

PPD	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
<b>S1</b>	37,50	17,98	5,02	15,89	52,80	78,87	91,99	96,32	97,49	96,52	91,07	74,43	39,41	19,90	11,59
<b>S2</b>	51,03	29,53	6,97	9,93	37,81	70,64	88,02	94,63	95,99	93,78	86,67	66,60	33,43	18,21	9,58
<b>S3</b>	38,65	21,58	5,47	12,73	44,68	74,59	89,99	95,00	96,55	95,19	88,76	67,18	27,14	12,59	7,00
<b>S4</b>	25,19	12,35	5,41	24,13	60,63	85,83	95,15	97,89	98,52	97,87	93,91	81,26	50,31	26,11	14,89

**Tableau.VII.26 : Valeurs de PPD enregistrées aux abords des quatre stations lors du 4eme scenario. (01-08-2007) (Source : auteur).**

#### VII-5-2-4-5-Scenario 5 :

Pour le cinquième scénario (3bassin plus rajout de végétation), on remarque que la végétation rajoutée dans ce scénario a contribué pleinement dans la baisse des valeurs enregistrées de PMV éloignant ainsi ses courbe de la zone d'inconfort et donc l'amélioration de la sensation de confort aux abords des quatre stations.

-Pour la station S1 la baisse enregistrée est de 0,15 à 9h00, de 0,13 à 14h00 et de 0,34 à 20h00, et cela par rapport au quatrième scénario.

-Pour la station S2 la baisse est de 0,26 à 9h00, 0,16 à 14h00 et de 0,29 à 20h00.

-Pour la station S3 la baisse est de 0,2 à 9h00, 0,18 à 14h00 et de 0,19 à 20h00.

-Pour la station S4 la baisse est de 0,18 à 9h00, 0,21 à 14h00 et de 0,31 à 20h00.

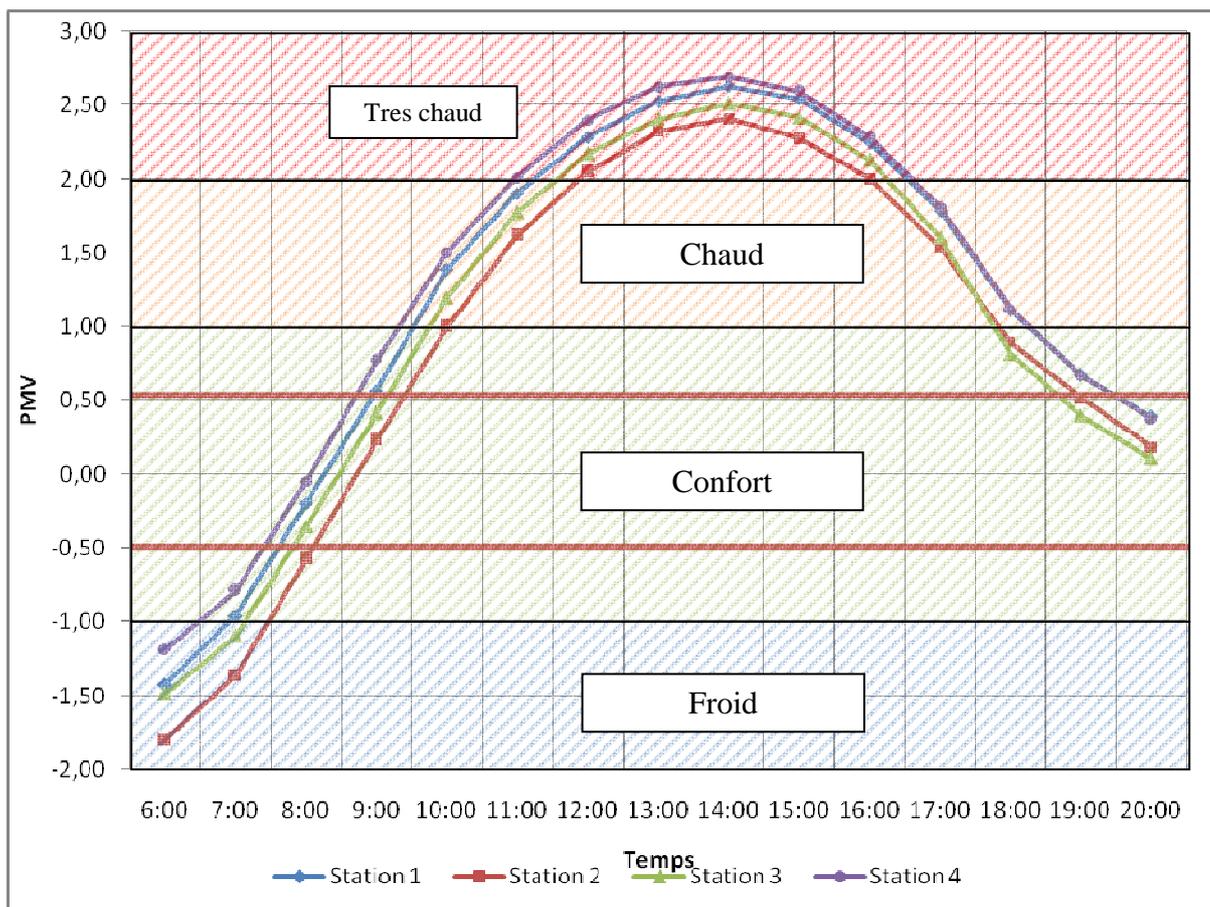
Pour les périodes de confort on constate aussi que les périodes d'inconfort (surtout en période chaude) sont moins étendues que dans le quatrième scénario et cela au profit des zones de confort, à cet effet on peut noter que :

-Concernant la station S1, la période de froid s'étend jusqu'à 7h00 au lieu de 7h25 (6,15% au lieu de 3,07% de la période totale), la période de confort s'étend jusqu'à 9h30 au lieu de 9h15, et en fin de journée elle débute à 17h55 au lieu de 18h30 (34,61% au lieu de 24,61% de la période totale), la période très chaude s'inscrit dans l'intervalle 11h05-16h35 au lieu de 11h00-17h00 (38,46% au lieu de 41,53% de la période totale).

-Concernant la station S2, la période de froid s'étend jusqu'à 7h30 au lieu de 7h05 (10,76% au lieu de 8,46% de la période totale), la période de confort s'étend jusqu'à 10h00 au lieu de 9h35, et en fin de journée elle débute à 17h55 au lieu de 18h30 (33,48% au lieu de 29,23% de la période totale), la période très chaude s'inscrit dans l'intervalle 11h45-16h05 au lieu de 11h25-16h30 (29,23% au lieu de 36,92% de la période totale).

-Concernant la station S3, la période de froid s'étend jusqu'à 7h05 au lieu de 7h30 (7,69% au lieu de 5,38% de la période totale), la période de confort s'étend jusqu'à 9h45 au lieu de 9h30, et en fin de journée elle débute à 17h50 au lieu de 18h10 (34,61% au lieu de 26,92% de la période totale), la période très chaude s'inscrit dans l'intervalle 11h30-16h15 au lieu de 11h05-16h35 (33,84% au lieu de 38,46% de la période totale).

-La station S4 atteint pour la première fois la zone de froid qui s'étend jusqu'à 6h30 (3,84% au lieu de 0,00% de la période totale), la période de confort s'étend jusqu'à 9h15 au lieu de 9h00, et en fin de journée elle débute à 18h15 au lieu de 18h55 (36,15% au lieu de 28,46% de la période totale), la période très chaude s'inscrit dans l'intervalle 10h30-17h05 au lieu de 11h05-16h35 (40,76% au lieu de 46,92% de la période totale).



**FIG.VII.33 : Valeurs de PMV enregistrées aux abords des quatre stations lors du 5eme scenario. (01-08-2007) (Source : auteur).**

PMV	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
<b>S1</b>	-1,42	-0,96	-0,20	0,57	1,39	1,90	2,28	2,52	2,63	2,54	2,25	1,79	1,11	0,67	0,39
<b>S2</b>	-1,80	-1,36	-0,57	0,23	1,00	1,62	2,05	2,32	2,41	2,28	2,00	1,54	0,90	0,52	0,18
<b>S3</b>	-1,48	-1,10	-0,35	0,41	1,20	1,77	2,17	2,40	2,51	2,42	2,13	1,60	0,82	0,40	0,12
<b>S4</b>	-1,19	-0,79	-0,05	0,77	1,50	2,01	2,40	2,62	2,69	2,59	2,29	1,81	1,12	0,67	0,38

**Tableau.VII.27 : Valeurs de PMV enregistrées aux abords des quatre stations lors du 5eme scenario. (01-08-2007) (Source : auteur).**

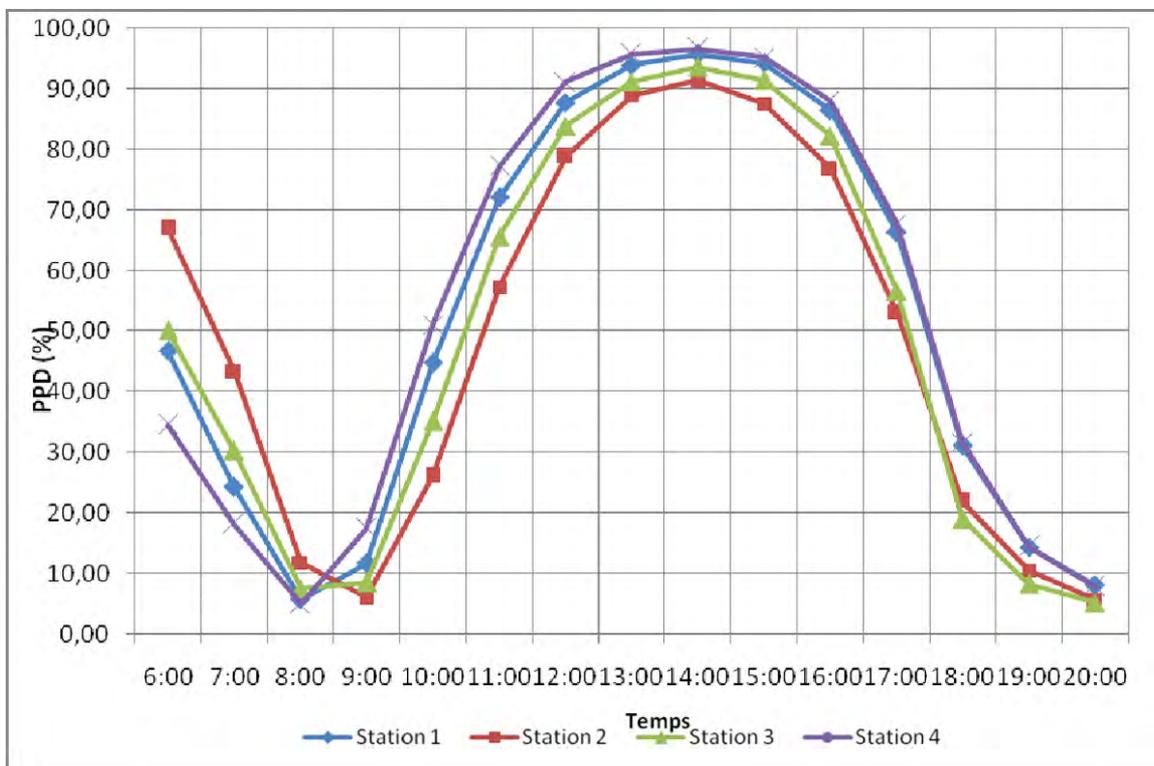
Les taux d'insatisfaction enregistrés dans ce scenario sont plus bas que ceux enregistrés dans le quatrième scenario, cette baisse est enregistrée dans toutes les stations et on peut noter ce qui suit :

-Pour la station S1 le taux d'insatisfaction connait une hausse de 9,23% à 6h00 en sachant que cette période de la journée est estimée froide, à partir de 9h00 c'est une baisse de 4,17% qu'on note par rapport au quatrième scenario, à 14h00 on note une baisse de 1,76% et en fin de journée on note une baisse de 3,45%.

-Pour la station S2 le taux d'insatisfaction connaît une hausse de 15,9% à 6h00, à partir de 9h00 c'est une baisse de 3,82% qu'on note par rapport au quatrième scénario, à 14h00 on note une baisse de 4,75% et en fin de journée on note une baisse de 3,88%.

-Pour la station S3 le taux d'insatisfaction connaît une hausse de 11,52% à 6h00, à partir de 9h00 c'est une baisse de 2,9% qu'on note par rapport au quatrième scénario, à 14h00 on note une baisse de 4,75% et en fin de journée on note une baisse de 2,23%.

-Pour la station S4 le taux d'insatisfaction connaît une hausse de 9,36% à 6h00, à partir de 9h00 c'est une baisse de 6,62% qu'on note par rapport au quatrième scénario, à 14h00 on note une baisse de 1,9% et en fin de journée on note une baisse de 6,94%.



**FIG.VII.34 : Valeurs de PPD enregistrées aux abords des quatre stations lors du 5eme scenario. (01-08-2007) (Source : auteur).**

PPD	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
<b>S1</b>	46,73	24,35	5,81	11,72	44,78	72,11	87,75	93,90	95,73	94,22	86,50	66,35	31,14	14,43	8,14
<b>S2</b>	66,93	43,40	11,91	6,11	26,22	57,21	78,86	88,92	91,34	87,49	76,84	53,14	21,96	10,56	5,70
<b>S3</b>	50,07	30,34	7,59	8,55	35,22	65,57	83,91	91,17	93,65	91,49	82,23	56,61	19,08	8,30	5,23
<b>S4</b>	34,55	18,17	5,04	17,51	51,05	77,16	91,13	95,69	96,62	95,19	87,91	67,69	31,65	14,51	7,95

**Tableau.VII.28 : Valeurs de PPD enregistrées aux abords des quatre stations lors du 5eme scenario. (01-08-2007) (Source : auteur).**

#### VII-5-2-5-Discussion :

Cette première partie de la simulation fait la lumière sur les effets thermiques de la végétation et de l'eau dans l'environnement urbain étudié, démontrant ainsi qu'ils peuvent grandement améliorer le microclimat urbain, ainsi que d'atténuer l'effet d'îlot de chaleur, en réduisant les températures de l'air en été. Cet effet est constaté, non seulement dans les zones contenant des arbres, mais s'étend au-delà même de ces zones. En ce qui concerne les bassins d'eau, cet effet reste néanmoins très localisé autour des points d'eau rajoutés, reste à vérifier l'effet des jets d'eau proprement dit car on sait que ces derniers ont plus d'influence sur les échanges thermiques entre l'air et la surface de l'eau chose que ENVI-met ne prend pas en considération.

Les résultats de cette simulation, comparant une série de configurations de l'espace urbain à travers les cinq scénarios, en termes de confort thermique des piétons et l'efficacité de refroidissement de la végétation et de l'eau conduit à un certain nombre de conclusions, et dont les plus importantes :

\*-L'effet de refroidissement due au premier rajout de végétation (16,3% de la surface de la place) dans le deuxième scénario, ceci a donné une baisse générale de température moyenne qui peut aller jusqu'à 1,47°C avec un maximum de 2,36°C pour la station S2. Une hausse générale de l'humidité relative qui peut atteindre les 2,42% en moyenne avec un maximum de 6,46% pour la station S2. Concernant le PMV, ce dernier a connu une baisse moyenne atteignant les 0,54 ceci est équivalent à une baisse de 14,14% d'insatisfaction pour le PPD, d'où un maximum de 0,86 est atteint dans la station S2 avec un PPD de 24,21%.

\*-L'apport des surfaces d'eau rajoutées (13,34% de la surface totale de la place) quand à lui, reste très localisé et moindre que celui apporté par la végétation rajoutée car on note une baisse moyenne qui peut atteindre 0,25°C avec un maximum de 0,32°C pour les trois stations à proximité des bassins d'eau. Néanmoins, pour l'humidité on note une hausse moyenne de 3,06%, avec une valeur maximale de 4,3% pour la station S3. Le PMV enregistre une baisse moyenne de 0,07 ce qui correspond à un indice d'insatisfaction équivalent à 3,12%, avec une baisse maximale du taux d'insatisfaction égale à 4,02% pour la station S3.

\*-Lors du dernier scénario qui coïncide avec le deuxième rajout de végétation (34,92% de la surface de la place) on note aussi une baisse moyenne de la température équivalente à 0,88°C et pouvant atteindre un maximum de 1,08°C pour la station S4 qui bénéficie pleinement des améliorations apportées lors de ce scénario. En ce qui concerne l'humidité cette dernière connaît une hausse moyenne de 3,06% avec un maximum de 3,81 pour la station S2. Le PMV connaît automatiquement une amélioration qui se manifeste par une baisse moyenne de 0,2 équivalent à une baisse de 11,61%

dans le taux d'insatisfaction, avec une valeur maximale de 0,37 pour la station S4, correspondant à une baisse de 18,66% du taux d'insatisfaction.

Donc il est clair que chacun des traitements paysagers contribue clairement à améliorer le confort, avec les plus grandes réductions du stress thermique en début et fin de journée, et il est nettement clair que les meilleurs résultats sont obtenus lors du dernier scénario et cela grâce à l'effet combiné des arbres et des surfaces d'eau rajoutés dans ce scénario.

Les résultats obtenus lors de cette simulation sont en concordance avec les résultats de l'investigation en ce qui concerne les différentes zones de confort existantes dans la place, car on note que le modèle d'Envi-met considère la zone sud de la place (station S3), et le centre de la place (station S2) sont les zones qui présentent les conditions climatiques les plus favorables de la place. N'oublions pas que le modèle ENVI-met reproduit aussi l'effet du parc au nord de la zone, ce qui influence les résultats obtenus pour la station S1.

## **VII-5-2-Effets des divers aménagements sur les paramètres relatifs au confort dans la place :**

### **VII-5-2-1-Effets des divers aménagements sur la température de l'air :**

#### **VII-5-2-1-1-Pour la station S1 :**

Pour la station S1 on remarque que les deux courbes des valeurs de température de l'air pour les deux scénarios (1<sup>er</sup> et 5<sup>ème</sup>), suivent la même allure, c.-à-d. qu'elles démarrent à partir d'une valeur minimale en début de journée, qui est de 23,1°C pour le scénario 1 et de 21,3°C pour le scénario 5.

Puis elles s'élèvent progressivement pour atteindre une valeur maximale de 34,32°C pour le scénario 1 et 33,72°C pour le scénario 5 à 14h00 pour les deux scénarios, pour enfin décroître progressivement et atteindre une valeur minimale en fin de période de simulation.

Cette valeur est de 28,15°C pour le scénario 1 et 26,54°C pour le scénario 5.

On remarque nettement que les différents aménagements effectués (les 3 bassins d'eau et le rajout de végétation), ont contribué à la baisse de la température dans cette zone avec un écart moyen de 0,97°C, l'écart max est de 1,8°C à 6h00, et l'écart min est de 0,43°C à 15h00. La différence de température entre les deux scénarios est plus importante en début et fin de journée alors qu'elle enregistre ses valeurs minimales en milieu de journée.

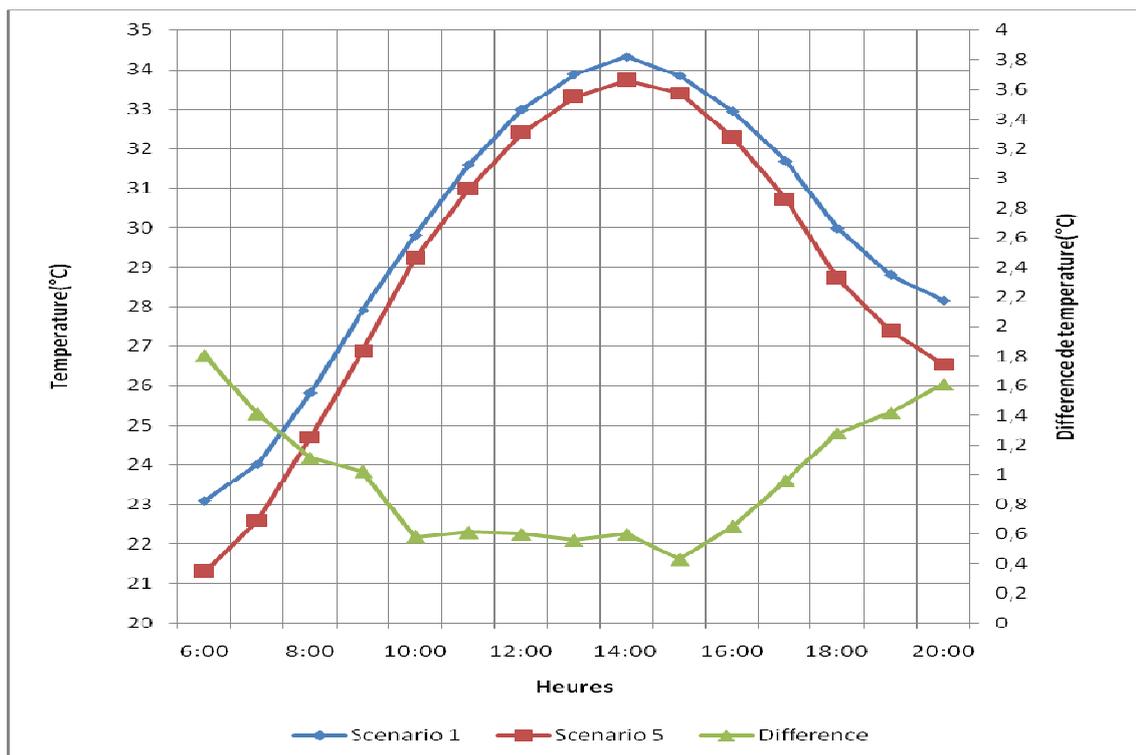


FIG.VII.35 : Comparaison entre les valeurs de température enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S1.(01-08-2007) (Source : auteur).

T(°C)	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
Scenario 1	23,1	24,01	25,82	27,91	29,81	31,6	32,99	33,87	34,32	33,84	32,95	31,69	29,99	28,8	28,15
Scenario 5	21,3	22,6	24,71	26,89	29,23	30,99	32,39	33,31	33,72	33,41	32,3	30,73	28,71	27,38	26,54
Différence	1,8	1,41	1,11	1,02	0,58	0,61	0,6	0,56	0,6	0,43	0,65	0,96	1,28	1,42	1,61

Tableau.VII.29 : Comparaison entre les valeurs de température enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S1.(01-08-2007) (Source : auteur).

#### VII-5-2-1-2-Pour la station S2 :

Pour la station S2 les deux courbes des valeurs de température de l'air pour les deux scenarios (1<sup>er</sup> et 5<sup>ème</sup>), suivent la même allure, c.-à-d. qu'elles démarrent à partir d'une valeur minimale en début de journée, qui est de 23,68°C pour le scenario 1 et de 20,25°C pour le scenario 5. Puis elles s'élèvent progressivement pour atteindre une valeur maximale qui est de 34,62°C pour le scenario 1 et 32,98°C pour le scenario 5 à 14h00 pour les deux scenario, pour enfin décroître progressivement et atteindre une valeur minimale en fin de période de simulation.

Cette valeur est de 28,41°C pour le scenario 1 et 25,90°C pour le scenario 5.

On remarque nettement que les différents aménagements effectués (les 3 bassins d'eau et le rajout de végétation), ont contribué à la baisse de la température dans cette zone d'une moyenne de

2,29°C, l'écart max est de 3,43°C à 6h00, et l'écart min est de 1,61°C à 13h00. Ces les écarts les plus important enregistrés dans la place ce qui nous permet de dire que la station S2 et la station qui profite le plus des améliorations apportées dans la place. Ceci nous permet de mètre en évidence un autre élément qui est l'importance de la densité du couvert végétale au dessus de la zone de mesure.

Contrairement aux trois autres stations qui se trouvent en dessus ou à proximité de végétation éparse, la station S2 se trouve sous les quatre arbres centenaires qui ont une couronne très dense (12 mètres de diamètre) et rapprochées les une des autres, ce qui amplifie l'effet d'ombres projetés et l'effet d'évapotranspiration et de ce fait contribue à une chute plus importante de la température par rapport autre stations.

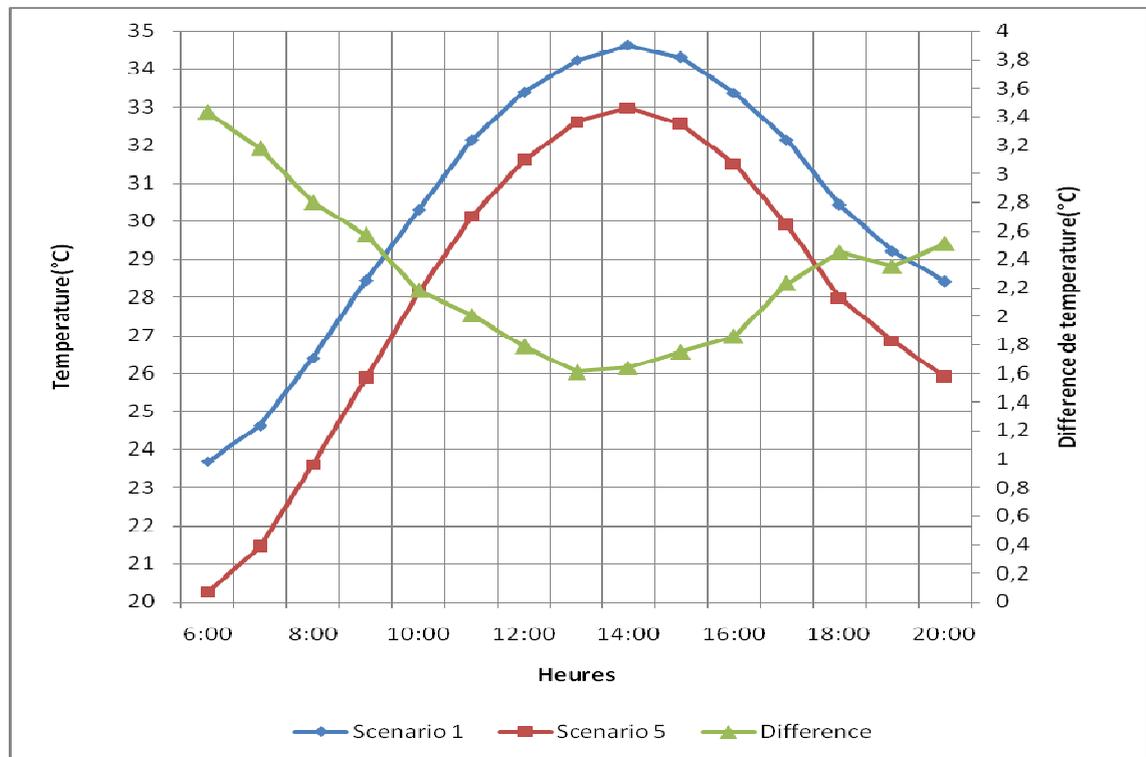


FIG.VII.36 : Comparaison entre les valeurs de température enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S2.(01-08-2007) (Source : auteur).

T (°C)	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
Scenario	23,6	24,6	26,4	28,4	30,3	32,1	33,4	34,2	34,6	34,3	33,3	32,1	30,4	29,2	28,4
Scenario	20,2	21,4	23,6	25,8	28,1	30,1	31,6	32,6	32,9	32,5	31,5	29,9	27,9	26,8	25,9
Différence	3,43	3,18	2,8	2,57	2,18	2,01	1,79	1,61	1,64	1,75	1,86	2,23	2,45	2,35	2,51

Tableau.VII.30 : Comparaison entre les valeurs de température enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux

### VII-5-2-1-3-Pour la station S3 :

Pour la station S3 on remarque que les deux courbes des valeurs de température de l'air démarrent à partir d'une valeur minimale en début de journée, qui est de 23,50°C pour le scenario 1 et de 21,14°C pour le scenario 5, puis elles s'élèvent progressivement pour atteindre une valeur maximale qui est de 33,95°C pour le scenario 1 et 32,92°C pour le scenario 5 à 14h00 pour les deux scenario, pour enfin décroître progressivement et atteindre une valeur minimale en fin de période de simulation. Cette valeur est de 27,75°C pour le scenario 1 et 25,72°C pour le scenario 5.

On remarque nettement que les différents aménagements effectués (les 3 bassins d'eau et le rajout de végétation), ont contribué à la baisse de la température dans cette zone d'une moyenne de 1,46°C, l'écart max est de 2,36°C à 6h00, et l'écart min est de 0,84°C à 15h00.

La station S3 semble être la deuxième station après S2, à bénéficier d'une baisse importante de la température. On notera que les stations S3 et S1 ont eues quasiment les mêmes améliorations à leurs abords (bassin d'eau de la même superficie en plus du rajout de végétations avec la même densité), alors que la baisse de température est plus importante en S3 qu'en S1, ceci peut être expliqué par le rôle très important que jouent les masques solaires près de cette zone et qui amplifient l'effet d'évaporation de l'eau et d'évapotranspiration des arbres.

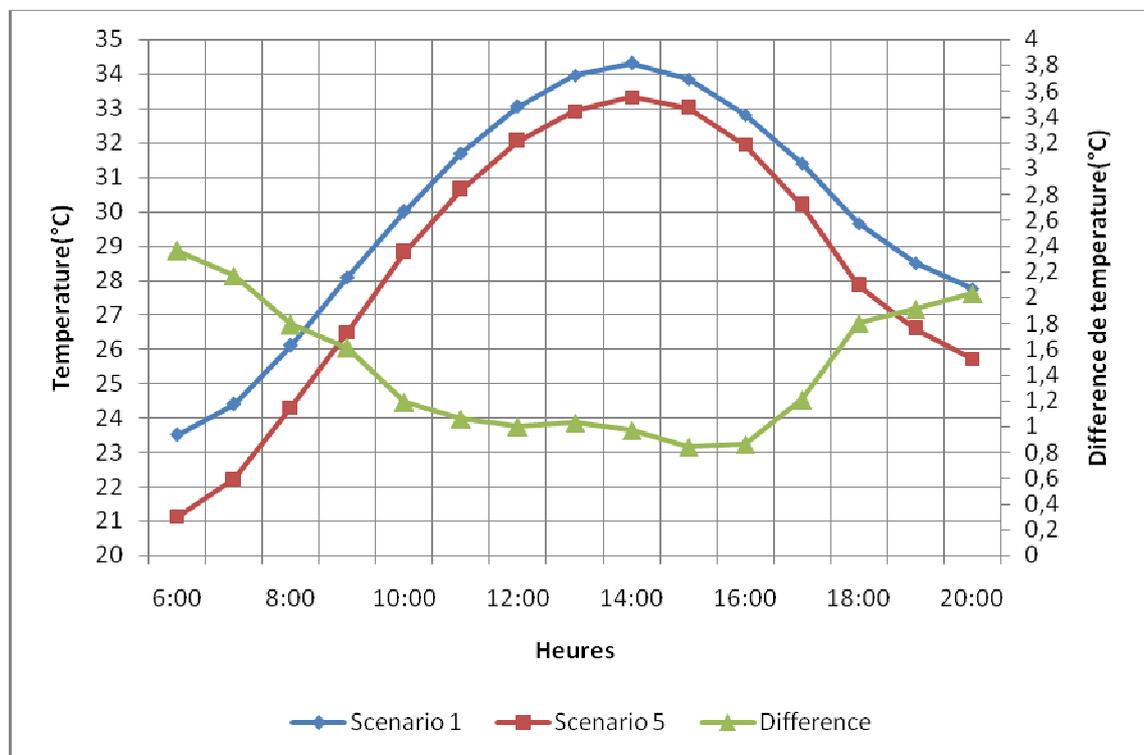


FIG.VII.37 : Comparaison entre les valeurs de température enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S3.(01-08-2007) (Source : auteur).

T (°C)	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
Scenario	23,5	24,4	26,1	28,1	30	31,7	33,0	33,9	34,3	33,8	32,8	31,4	29,6	28,5	27,7
Scenario	21,1	22,2	24,3	26,4	28,8	30,6	32,0	32,9	33,3	33,0	31,9	30,1	27,8	26,5	25,7
Différence	2,36	2,17	1,79	1,61	1,19	1,06	1,00	1,03	0,97	0,84	0,86	1,21	1,8	1,91	2,03

**Tableau.VII.31: Comparaison entre les valeurs de température enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux**

#### **VII-5-2-1-4-Pour la station S4 :**

Pour la station S4, le scenario 5 enregistre des températures d'air plus basses que le scenario 1. Les deux courbes de température de l'air démarrent à partir d'une valeur minimale en début de journée, qui est de 23,82°C pour le scenario 1 et de 22,05°C pour le scenario 5, puis elles s'élèvent progressivement pour atteindre une valeur maximale qui est de 34,59°C pour le scenario 1 et 33,95°C pour le scenario 5 à 14h00 pour les deux scenario, pour enfin décroître progressivement et atteindre une valeur minimale en fin de période de simulation. Cette valeur est de 28,39°C pour le scenario 1 et 26,56°C pour le scenario 5.

On remarque nettement que les différents aménagements effectués (les 3 bassins d'eau et le rajout de végétation), ont contribué à la baisse de la température dans cette zone d'une moyenne de 1,13°C, l'écart max est de 1,83°C à 6h00, et l'écart min est de 0,55°C à 13h00.

Cette station bénéficie le moins des améliorations effectuées dans la place, cela est due en premier lieu aux températures surfacique élevées au dessus de l'asphalte ensuite l'absence de masques solaires dans cette zone exceptée ceux apportés par les arbres rajoutés et qui restent toutefois éloignés les uns des autres.

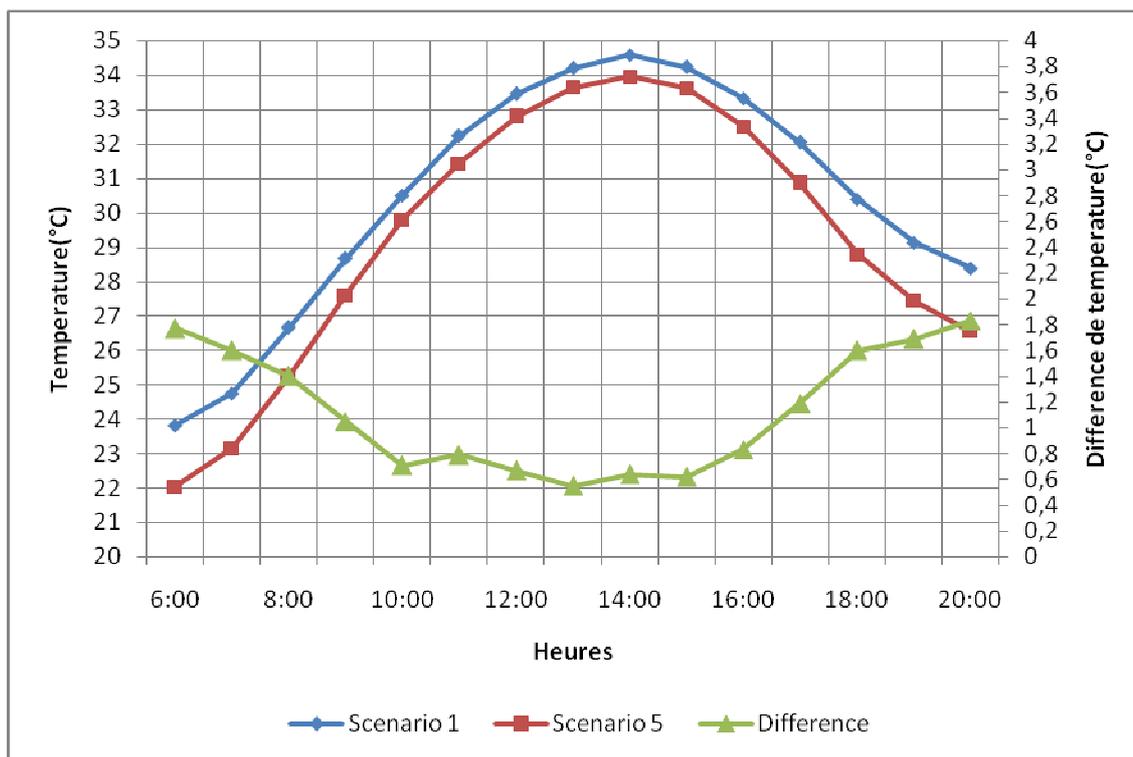


FIG.VII.38 : Comparaison entre les valeurs de température enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S4.(01-08-2007) (Source : auteur).

T (°C)	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
Scenario	23,8	24,7	26,6	28,6	30,5	32,2	33,4	34,2	34,5	34,2	33,3	32,0	30,3	29,1	28,3
Scenario	22,0	23,1	25,2	27,6	29,8	31,4	32,7	33,6	33,9	33,6	32,5	30,8	28,7	27,4	26,5
Différence	1,77	1,6	1,4	1,05	0,71	0,79	0,67	0,55	0,64	0,62	0,83	1,19	1,60	1,69	1,83

Tableau.VII.32 : Comparaison entre les valeurs de température enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux

### VII-5-2-2-Effets des divers aménagements sur l'humidité relative de l'air :

#### VII-5-2-2-1-Pour la station S1 :

Le 5ème scénario présente des valeurs d'humidité relative plus importante que celle enregistrés dans le 1er scénario, cela est dû aux apports d'humidité causés par l'effet combiné de l'évapotranspiration (arbres ajoutés) et de l'évaporation (bassin d'eau).

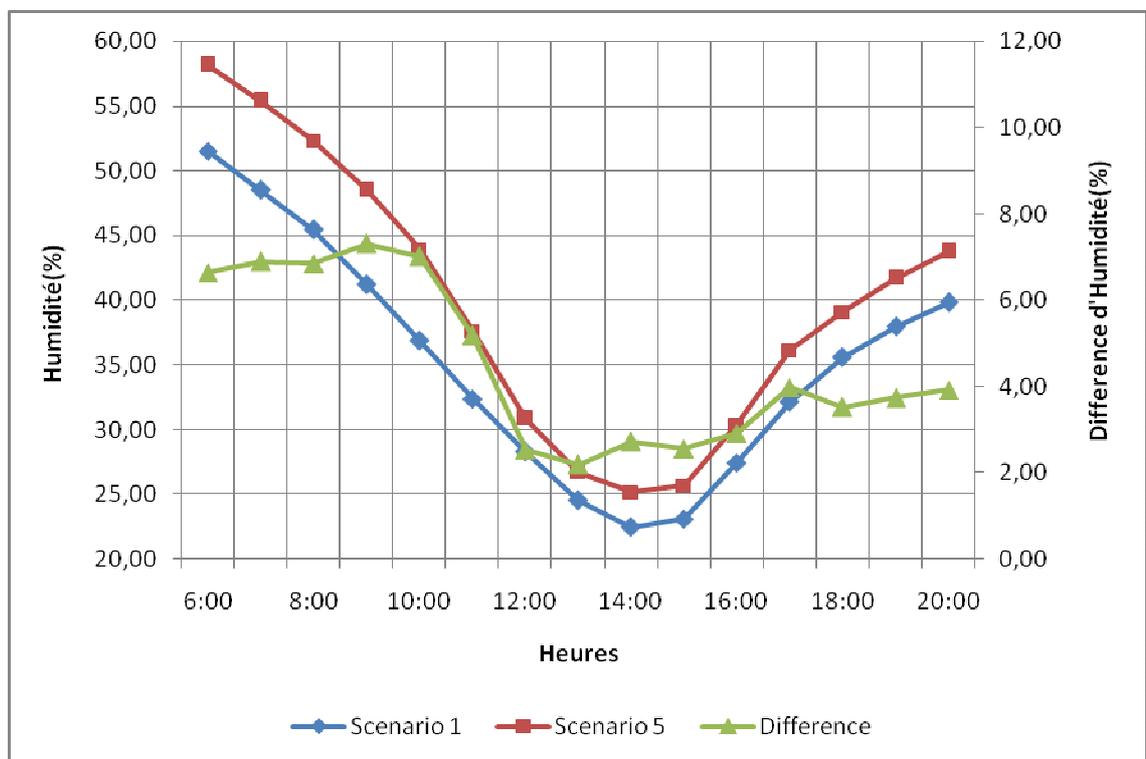
L'humidité relative est à son maximum à 6h00 pour les deux scénarios, elle est de 58,16% pour le 5eme scénario et de 51,51% pour le premier. Ces valeurs commencent à diminuer jusqu'à atteindre leur minimum à 14h00 avec 25,19% pour le cinquième scénario et 22,47% pour le premier.

L'écart moyen de l'humidité relative entre les deux scénarios est de 4,53%, l'écart atteint une valeur maximale de 7,31% à 9h00 cela correspond à une résistance stomatique minimale en

cette période de la journée dont ENVI-met prend en considération, la valeur minimale est de 2,2% à 14h00 ce qui correspond aux valeurs maximale de température qui affecte directement l'humidité relative de l'air, mais aussi à la résistance stomatique qui augmente avec la hausse de température.

On voit bien que la courbe de l'écart entre le 1<sup>er</sup> et le 5eme scenario augmente graduellement en début de journée pour atteindre une valeur maximale, puis décroît en milieu de journée et enregistre ses valeurs les plus basses. Pour enfin connaitre une légère hausse en fin de journée.

Cette allure confirme que l'effet de l'évapotranspiration de la végétation est plus important en début et fin de journée alors qu'il est minime en milieu de journée.



**FIG.VII.39 : Comparaison entre les valeurs d'humidité enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S1.(01-08-2007) (Source : auteur).**

H R %	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
Scenario	51,5	48,5	45,4	41,2	36,8	32,4	28,3	24,5	22,4	23,1	27,4	32,1	35,5	37,9	39,8
Scenario	58,1	55,4	52,3	48,5	43,9	37,5	30,8	26,7	25,1	25,6	30,4	36,1	39,0	41,6	43,7
Différence	6,65	6,89	6,85	7,31	7,01	5,18	2,54	2,20	2,72	2,57	2,92	3,98	3,52	3,74	3,93

**Tableau.VII.33 : Comparaison entre les valeurs d'humidité enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux**

### VII-5-2-2-2-Pour la station S2 :

L'humidité relative est à son maximum à 6h00 pour les deux scenarios, elle est de 59,72% pour le 5eme scenario et de 49,95% pour le premier. Ces valeurs commencent à diminuer jusqu'à atteindre leur minimum à 14h00 avec 26,22% pour le cinquième scenario et 22,78% pour le premier.

L'effet combiné de l'évapotranspiration (végétations) et de l'évaporation (bassin d'eau) est plus prononcé, pour la station S2 car en remarque que l'apport en humidité entre les deux scenarios est le plus important du site avec un écart moyen de 7,14%, cette écart atteint une valeur maximale qui est de 11,53% à 9h00 correspondant à une résistance stomatique minimale, et une valeur minimale de 3,44% à 13h00. La courbe des écarts suit la même allure notée pour la station S1, c.-à-d. qu'elle s'accroît en début de journée et enregistre les valeurs les plus importantes pendant cette période, à partir de 10h00 elle décroît et enregistre les valeurs les plus basses de la journée et reconnait une autre période de croissance en fin de journée.

Les apports en humidité pour cette station confirment l'importance de la densité du couvert végétale, plus le couvert est dense plus la vapeur d'eau émise vers l'air environnant est importante, en plus cette humidité va être emprisonnée sous les couronnes des arbres contrairement aux cas d'arbres isolés.

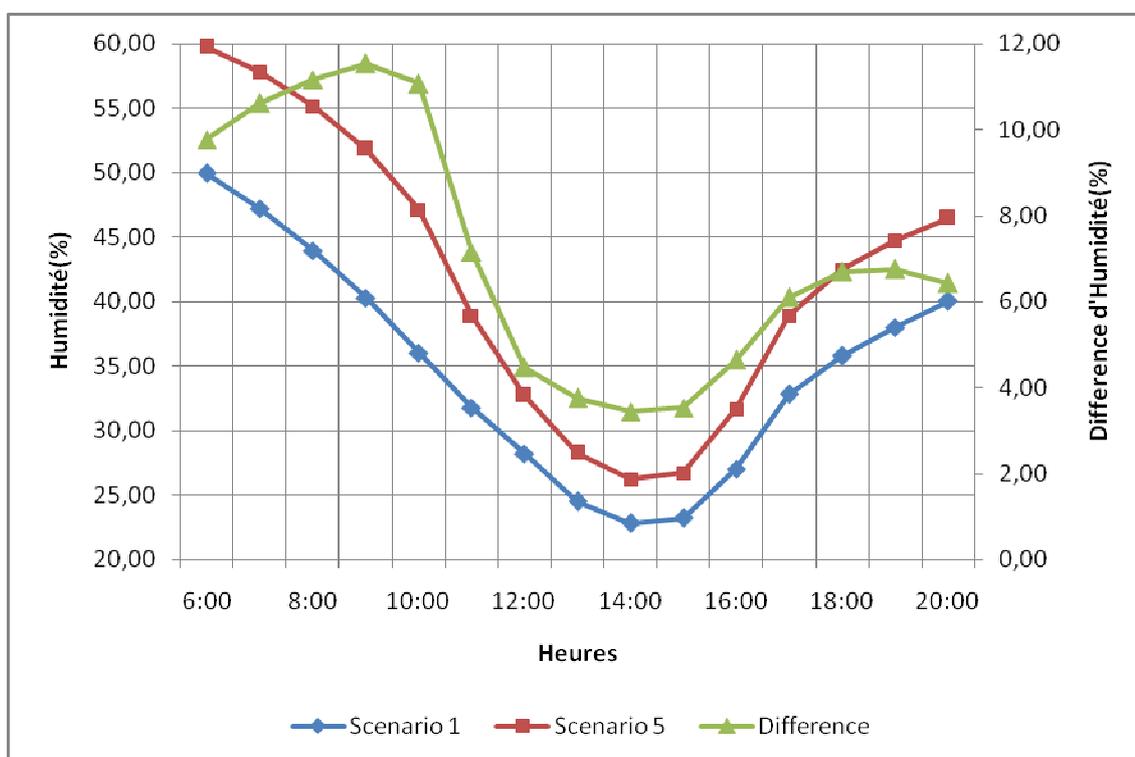


FIG.VII.40 : Comparaison entre les valeurs d'humidité enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S2.(01-08-2007) (Source : auteur).

H R %	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
Scenario	49,9	47,2	43,9	40,3	36,0	31,7	28,2	24,4	22,7	23,1	27,0	32,8	35,7	37,9	40,0
Scenario	59,7	57,8	55,1	51,8	47,0	38,9	32,6	28,2	26,2	26,7	31,6	38,9	42,4	44,7	46,4
Différence	9,77	10,6	11,1	11,5	11,0	7,16	4,47	3,75	3,44	3,53	4,64	6,10	6,70	6,75	6,42

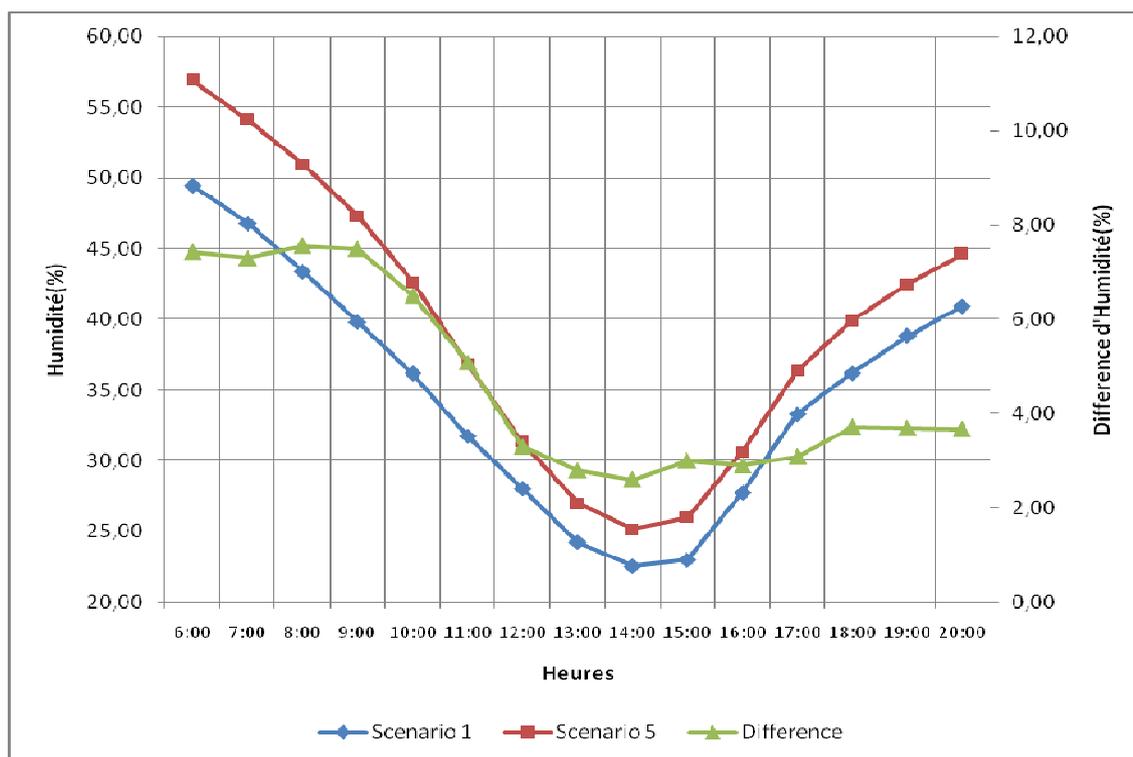
**Tableau.VII.34 : Comparaison entre les valeurs d'humidité enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux**

### **VII-5-2-2-3-Pour la station S3 :**

L'humidité relative est à son maximum à 6h00 pour les deux scenarios, elle est de 56,91% pour le 5eme scenario et de 49,48% pour le premier. Ces valeurs commencent à diminuer jusqu'à atteindre leur minimum à 14h00 avec 27,02% pour le cinquième scenario et 24,22% pour le premier.

La station S3 est la deuxième station (après S2) en termes d'apport en humidité entre le 1<sup>er</sup> et le 5eme scenario, car l'écart moyen entre ses deux scenarios est de 4,68%, cet écart enregistre une valeur maximale de 7,56% à 9h00 et une valeur minimale de 3,44% à 14h00. Cet apport est dû non seulement à l'effet de l'évapotranspiration (végétation ajoutée) et l'évaporation (bassin d'eau) mais aussi et particulièrement pour le cas de cette station, les masques solaires projetés par les constructions au Sud de la place protégeant ainsi l'air de cette zone du rayonnement solaire et préservant la vapeur d'eau contenue dans cet air.

Même remarque pour l'allure de la courbe des écarts d'humidité entre le 1er et le cinquième scenario, cette allure qui est décidément une constante pour les quatre stations. Mais l'amplitude de cette courbe est moins prononcée que celle de la station S2 surtout en fin de journée.



**FIG.VII.41 : Comparaison entre les valeurs d’humidité enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S3.(01-08-2007) (Source : auteur).**

H R %	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
<b>Scenario</b>	49,4	46,7	43,4	39,8	36,1	31,7	28,0	24,2	22,5	23,0	27,7	33,3	36,2	38,8	40,9
<b>Scenario</b>	56,9	54,1	50,9	47,3	42,6	36,8	31,3	27,0	25,1	26,0	30,6	36,4	39,9	42,5	44,6
<b>Différence</b>	7,43	7,31	7,56	7,50	6,50	5,10	3,30	2,80	2,60	3,00	2,90	3,09	3,71	3,69	3,67

**Tableau.VII.35 : Comparaison entre les valeurs d’humidité enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S3.(01-08-2007) (Source : auteur).**

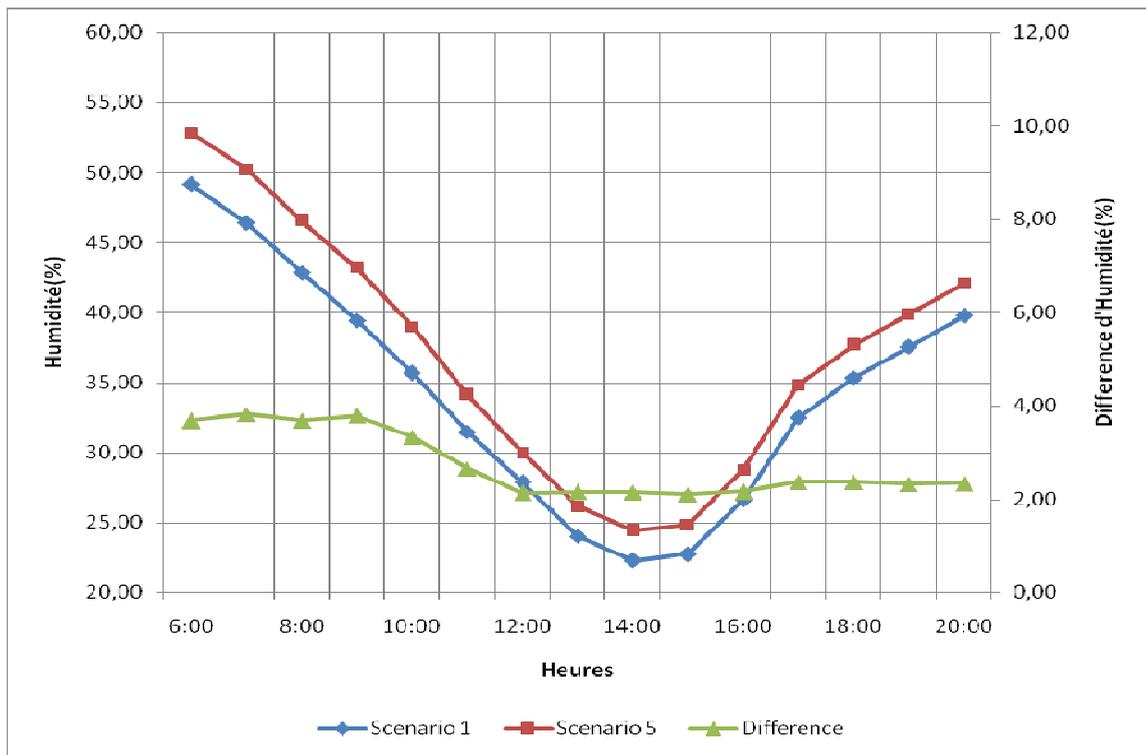
#### VII-5-2-2-4-Pour la station S4 :

L’humidité relative est à son maximum à 6h00 pour les deux scenarios, elle est de 52,83% pour le 5eme scenario et de 49,15% pour le premier. Ces valeurs commencent à diminuer jusqu’à atteindre leur minimum à 14h00 avec 24,41% pour le cinquième scenario et 22,27% pour le premier.

On remarque facilement que la station S4 est la station qui profite le moins des améliorations apportées à la place et cela est visible dans les écarts d’humidité entre les deux scenarios, qui sont les plus faibles de la place avec un écart moyen de 2,74%, une valeur maximale de 3,82% à 7h00 et une valeur minimale de 2,10% à 15h00.

Cela est dû en premier lieu à la nature du sol (asphalte) au-dessous de la station de mesure, la présence d'asphalte a pour conséquence d'augmenter la température de l'air ambiant qui se réchauffe au contact de l'asphalte très chaud et donc diminue la teneur en humidité de cet air et cela malgré les améliorations apportées au niveau de cette zone.

L'allure de la courbe des écarts d'humidité entre les deux scénarios quand à elle est plus écrasée que celles des autres scénarios, néanmoins elle suit la même logique.



**FIG.VII.42 : Comparaison entre les valeurs d'humidité enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S4. (01-08-2007) (Source : auteur).**

H R %	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
Scenario	49,1	46,4	42,8	39,4	35,6	31,4	27,8	24,0	22,2	22,7	26,6	32,4	35,3	37,5	39,7
Scenario	52,8	50,2	46,5	43,2	38,9	34,1	29,9	26,1	24,4	24,8	28,7	34,8	37,6	39,8	42,0
Différence	3,68	3,82	3,69	3,78	3,33	2,66	2,13	2,15	2,14	2,10	2,16	2,37	2,37	2,32	2,34

**Tableau.VII.36 : Comparaison entre les valeurs d'humidité enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S4.(01-08-2007) (Source : auteur).**

### **VII-5-2-3-Effets des divers aménagements sur le PMV et le PPD :**

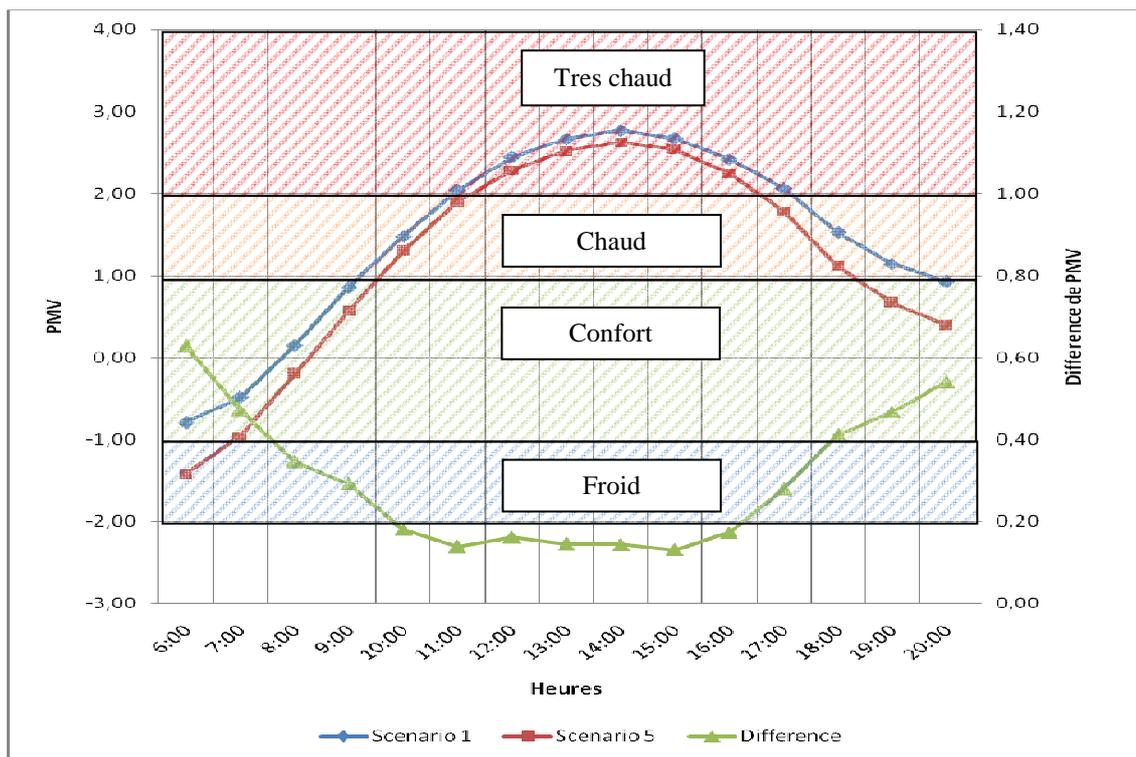
#### **VII-5-2-3-1-Pour la station S1 :**

Pour la station S1, on remarque que les améliorations rajoutée dans le 5eme scenario ont contribués pleinement dans la baisse des valeurs enregistrées de PMV éloignant ainsi ses courbes de la zone d'inconfort et donc l'amélioration de la sensation de confort aux abords de cette station.

Les valeurs de PMV sont à leur minimum à 6h00 pour les deux scenarios, avec une valeur de -0,79 pour le 1er scenario et -1,42 pour le 5eme scenario. Les valeurs de PMV commencent à augmenter jusqu'à atteindre les valeurs maximales de la journée à 14h00, avec 2,77 pour le 1er scenario et 2,63 pour le 5eme scenario. A partir de cette heure, ses valeurs commencent à décroître progressivement pour atteindre la valeur de 0,93 pour le 1er scenario et 0,39 pour le 5eme.

Les améliorations apportées dans la place ont contribuées en une baisse moyenne du PMV de 0,3 par rapport au 1er scenario, avec un écart maximal de 0,63 à 6h00 et un écart minimal de 0,13 à 15h00. La courbe des écarts diminue progressivement dès le début de journée, pour se stabiliser en milieu de journée et enregistre ses valeurs les moins importantes pour enfin enregistrer une hausse en fin de journée.

Concernant les périodes d'inconfort (chaude et très chaude), on remarque ses dernières sont moins étendues que dans le 1er scenario et cela au profit des zones de confort, à cet effet on peut noter que la période de froid s'étend jusqu'à 7h00 alors qu'elle était inexistante dans le 1er scenario (6,25% au lieu de 0,00% de la période totale). La période de confort s'étend jusqu'à 9h30 au lieu de 9h00, et en fin de journée elle débute à 18h25 au lieu de 20h00 (31,66% au lieu de 13,75% de la période totale). La période chaude constitue 22,5% de la période totale au lieu de 32,5%. En fin la période très chaude s'inscrit dans l'intervalle 11h15-16h35 au lieu de 11h00-17h05 (38,33% au lieu de 45,83% de la période totale).



**FIG.VII.43 : Comparaison entre les valeurs de PMV enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S1. (01-08-2007) (Source : auteur).**

PMV	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
<b>Scenario 1</b>	-0,79	-0,49	0,15	0,86	1,48	2,04	2,45	2,67	2,77	2,67	2,42	2,07	1,53	1,14	0,93
<b>Scenario 5</b>	-1,42	-0,96	-0,20	0,57	1,30	1,90	2,28	2,52	2,63	2,54	2,25	1,79	1,11	0,67	0,39
<b>Différence</b>	0,63	0,47	0,35	0,29	0,18	0,14	0,16	0,15	0,14	0,13	0,17	0,28	0,41	0,47	0,54

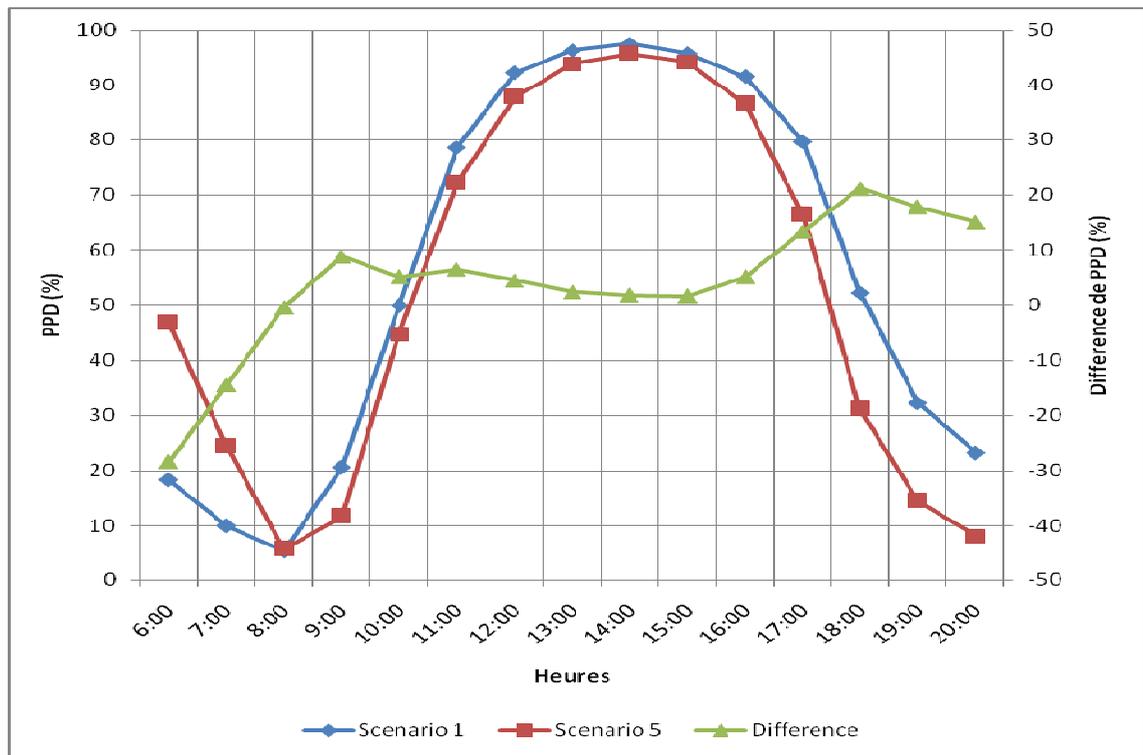
**Tableau.VII.37 : Comparaison entre les valeurs de PMV enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S1.**

Les valeurs de PPD viennent confirmer les résultats obtenus avec le PMV car le taux d'insatisfaction dans le 5eme scenario est moins important que dans le 1er scenario. Néanmoins on remarque qu'en début de journée le taux d'inconfort est plus important dans le 5eme scenario mais cette gêne est due au froid et non à la chaleur (comme le démontre les valeurs de PMV). Cette tendance s'inverse à partir de 8h00 et jusqu'en fin de journée.

Les courbes des deux scenarios démarrent à 6h00 avec 18,30% d'insatisfaction pour le 1er scenario et 46,73 pour le 5eme scenario, ensuite elles diminuent pour atteindre des valeurs minimales à 8h00 équivalentes à 5,45% et 5,81% respectivement, puis augmentent progressivement jusqu'à atteindre le maximum d'insatisfaction à 14h00 est qui est de 97,54% et 95,73%, pour enfin décroître et atteindre une valeur minimale en fin de journée, respectivement 23,21% et 8,14%.

Grace aux améliorations apportées dans la place on note une baisse d'insatisfaction moyenne de 8,60% (pour les valeurs positives) avec un écart maximal de 21,13% à 18h00 et minimal de 1,63 à 15h00.

L'allure de la courbe des écarts est assez écrasée en milieu de journée correspondant à des écarts minimaux et connait une hausse en début et fin de journée ce qui nous ramène à dire que les améliorations apportées (arbres et bassin d'eau) ont un effet optimale lors de ces deux périodes, alors que cette effet s'estompe en milieu de journée.



**FIG.VII.44 : Comparaison entre les valeurs de PPD enregistrées dans le 1er et 5eme Scenarior aux abords de la station S1.(01-08-2007) (Source : auteur).**

PPD	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
Scenario1	18,30	9,92	5,45	20,54	49,85	78,55	92,22	96,32	97,54	95,85	91,57	79,67	52,27	32,25	23,21
Scenario5	46,73	24,35	5,81	11,72	44,78	72,11	87,75	93,90	95,73	94,22	86,50	66,35	31,14	14,43	8,14
Différence	-28,42	-14,43	-0,35	8,82	5,06	6,45	4,47	2,42	1,81	1,63	5,07	13,32	21,13	17,81	15,07

**Tableau.VII.38 : Comparaison entre les valeurs de PPD enregistrées dans le 1er et 5eme Scenarior aux abords de la station S1.**

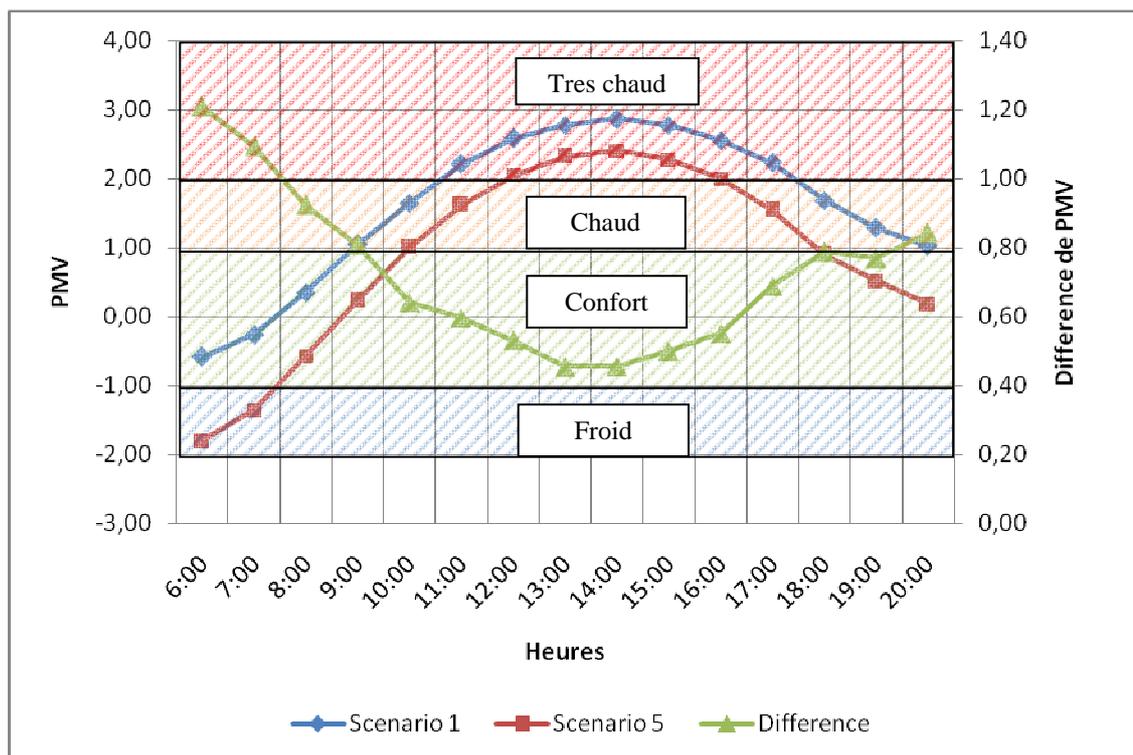
#### **VII-5-2-3-2-Pour la station S2 :**

On remarque que cette station semble la station qui profite le plus des améliorations apportées car elle enregistre les baisses les plus importantes dans les valeurs de PMV, cela semble logique puisque cette station bénéficie des valeurs de température et d'humidité les plus confortables de la place.

Les valeurs de PMV sont à leur minimum à 6h00 pour les deux scénarios, avec une valeur de -0,59 pour le 1er scénario et -1,80 pour le 5ème scénario. Les valeurs de PMV commencent à augmenter jusqu'à atteindre les valeurs maximales de la journée à 14h00, avec 2,86 pour le 1er scénario et 2,41 pour le 5ème scénario. A partir de cette heure, ses valeurs commencent à décroître progressivement pour atteindre la valeur de 1,03 pour le 1er scénario et 0,18 pour le 5ème.

Les améliorations apportées dans la place ont contribué à une baisse moyenne du PMV de 0,72 par rapport au 1er scénario, avec un écart maximal de 0,83 à 6h00 et un écart minimal de 0,22 à 15h00. La courbe des écarts diminue progressivement dès le début de journée, pour enregistrer ses valeurs les moins importantes en milieu de journée, pour enfin enregistrer une hausse en fin de journée.

Concernant les périodes de confort, on peut noter que la période de froid s'étend jusqu'à 7h30 alors qu'elle était inexistante dans le 1er scénario (10,83% au lieu de 0,00% de la période totale). La période de confort s'étend jusqu'à 10h00 au lieu de 9h00, et en fin de journée elle débute à 18h00 au lieu de 20h00 (33% au lieu de 20,83% de la période totale). La période chaude constitue 27% de la période totale au lieu de 30,83%. En fin la période très chaude s'inscrit dans l'intervalle 12h00-16h00 au lieu de 10h35-17h15 (29,16% au lieu de 48,83% de la période totale).



**FIG.VII.45 : Comparaison entre les valeurs de PMV enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S2.(01-08-2007) (Source : auteur).**

PMV	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
<b>Scenario 1</b>	-0,59	-0,27	0,35	1,04	1,64	2,21	2,58	2,78	2,86	2,78	2,55	2,23	1,68	1,28	1,03
<b>Scenario 5</b>	-1,80	-1,36	-0,57	0,23	1,00	1,62	2,05	2,32	2,41	2,28	2,00	1,54	0,90	0,52	0,18
<b>Différence</b>	1,21	1,09	0,92	0,81	0,64	0,60	0,53	0,45	0,45	0,50	0,55	0,69	0,79	0,77	0,84

**Tableau.VII.39 : Comparaison entre les valeurs de PMV enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S2.**

On remarque qu'en début de journée le taux d'inconfort est plus important dans le 5eme scenario et cette gêne (comme il à été mentionné plus haut) est due au froid et non à la chaleur, cet effet de gêne par le froid est encore plus prononcé pour la station S2 vue que la période -dite- de froid s'étale encore plus que les autres stations. Cette tendance s'inverse à partir de 8h15 et jusqu'en fin de journée.

Les courbes des deux scenarios démarrent à 6h00 avec 12,30% d'insatisfaction pour le 1er scenario et 66,93% pour le 5eme scenario, ensuite elles diminuent pour atteindre des valeurs minimales de 7,54% à 8h00 pour le 1er scenario et 6,11% à 9h00 pour le 5eme, augmentent progressivement jusqu'à atteindre la maximum d'insatisfaction à 14h00 est qui est de 98,33% et 91,34%, pour enfin décroître et atteindre une valeur minimale en fin de journée, respectivement 27,22% et 5,70%.

La station S2 semble être -comme prévue- la station qui profite le plus des améliorations apportées dans la place, car on note une baisse d'insatisfaction moyenne de 21,99% (pour les valeurs positives) avec un écart maximal de 38,91% à 18h00 et minimal de 7% à 14h00.

L'allure de la courbe des écarts enregistre des pics en début et fin de journée milieu de journée correspondant à des écarts maximaux et connaît une baisse en milieu de journée ce qui nous ramène à dire que les améliorations apportées (arbres et bassin d'eau) ont un effet optimale lors de ces deux périodes, alors que cette effet s'estompe en milieu de journée.

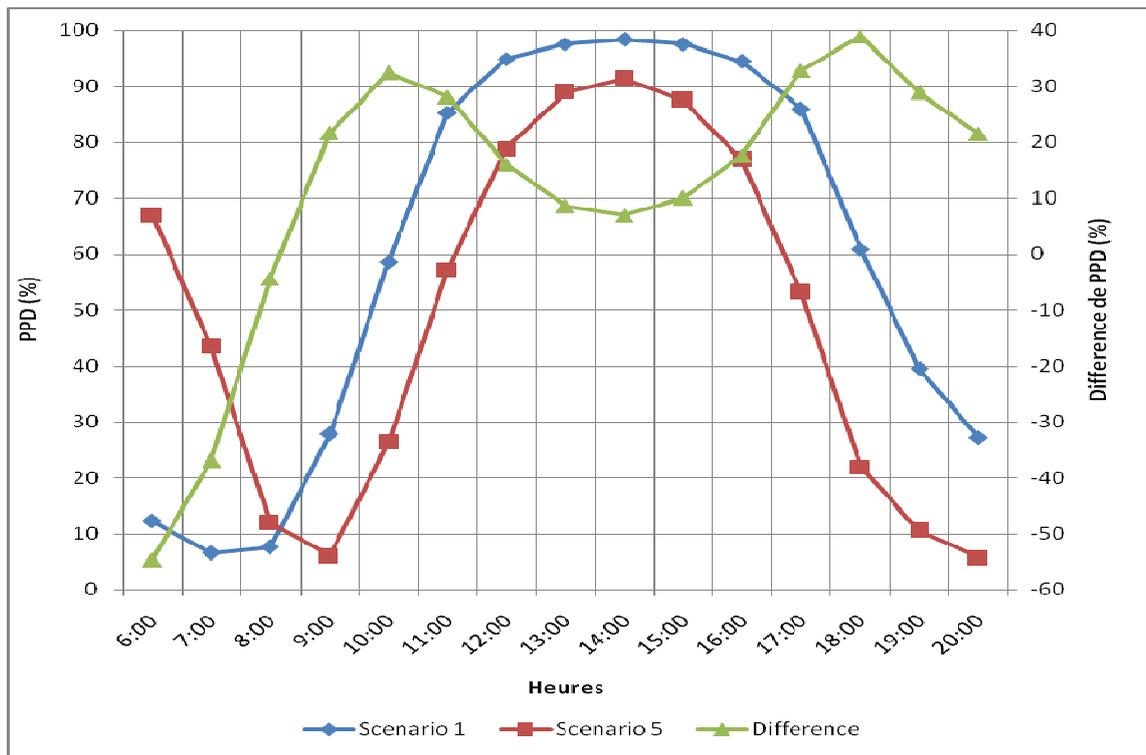


FIG. VII.46 : Comparaison entre les valeurs de PPD enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S2.(01-08-2007) (Source : auteur).

PPD	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
Scenario1	12,30	6,48	7,54	27,8	58,6	85,3	94,9	97,5	98,3	97,5	94,4	85,9	60,8	39,4	27,2
Scenario5	66,93	43,40	11,9	6,11	26,2	57,2	78,8	88,9	91,3	87,4	76,8	53,1	21,9	10,5	5,70
Différenc	-	-	-4,37	21,6	32,4	28,1	16,0	8,66	7,00	10,0	17,6	32,8	38,9	28,9	21,5

Tableau.VII. 40 : Comparaison entre les valeurs de PPD enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S2.

### VII-5-2-3-3-Pour la station S3 :

Les valeurs de PMV sont à leur minimum à 6h00 pour les deux scenarios, avec une valeur de -0,65 pour le 1er scenario et -1,48 pour le 5eme scenario. Les valeurs de PMV commencent à

augmenter jusqu'à atteindre les valeurs maximales de la journée à 14h00, avec 2,76 pour le 1er scenario et 2,51 pour le 5eme scenario. A partir de cette heure, ses valeurs commencent à décroître progressivement pour atteindre la valeur de 0,80 pour le 1er scenario et 0,11 pour le 5eme.

La station S3 semble être la deuxième station en termes d'améliorations apportées aux valeurs de PMV, car les améliorations apportées dans la place ont contribué en une baisse moyenne du PMV de 0,72 par rapport au 1er scenario, avec un écart maximal de 0,83 à 6h00 et un écart minimal de 0,22 à 15h00. La courbe des écarts diminue progressivement dès le début de journée, pour enregistrer ses valeurs les moins importantes en milieu de journée, pour enfin enregistrer une hausse en fin de journée. L'amplitude de la courbe de l'écart de PMV est plus importante par rapport aux autres stations.

Concernant les périodes de confort, on peut noter que la période de froid s'étend jusqu'à 7h15 alors qu'elle était inexistante dans le 1er scenario (8,33% au lieu de 0,00% de la période totale). La période de confort s'étend jusqu'à 09h45 au lieu de 9h15, et en fin de journée elle débute à 17h35 au lieu de 19h00 (40% au lieu de 28,33% de la période totale). La période chaude constitue 23,33% de la période totale au lieu de 25,83%. En fin la période très chaude s'inscrit dans l'intervalle 12h00-16h00 au lieu de 10h35-17h15 (33,33% au lieu de 44,16% de la période totale).

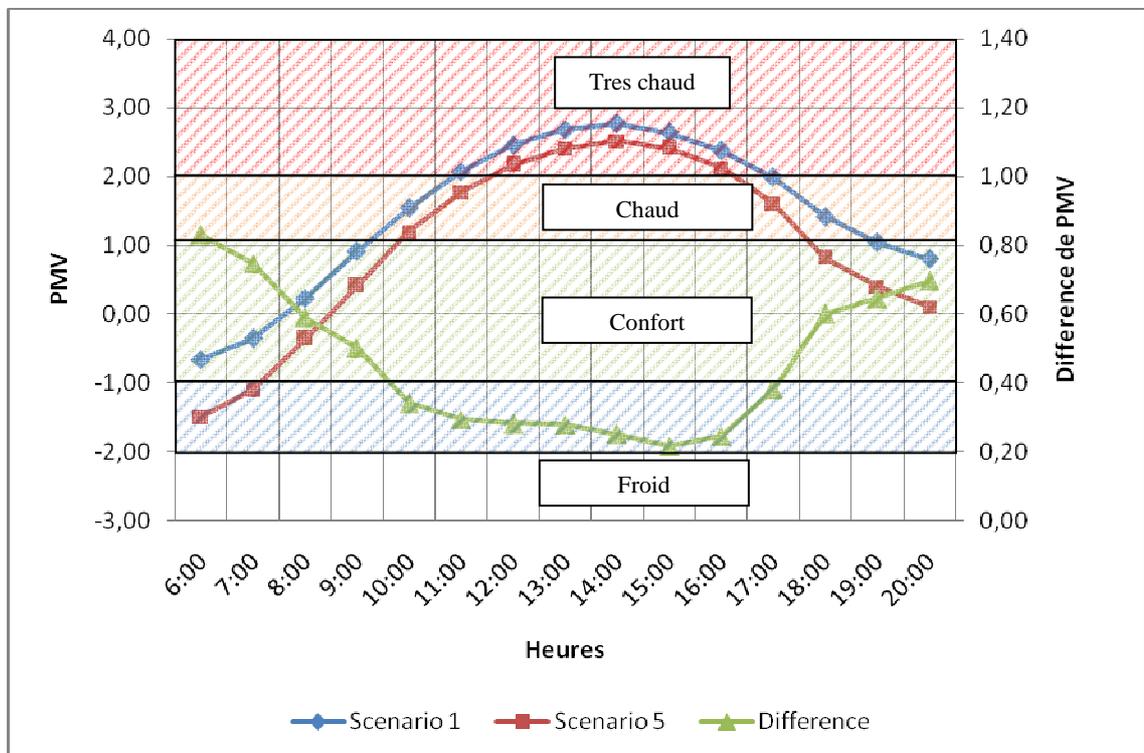


FIG.VII.47 : Comparaison entre les valeurs de PMV enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S3.(01-08-2007) (Source : auteur).

PMV	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
Scenario 1	-0,65	-0,35	0,24	0,92	1,54	2,07	2,46	2,68	2,76	2,63	2,37	1,99	1,42	1,04	0,80
Scenario 5	-1,48	-1,10	-0,35	0,41	1,20	1,77	2,17	2,40	2,51	2,42	2,13	1,60	0,82	0,40	0,11
Différence	0,83	0,75	0,59	0,50	0,34	0,30	0,28	0,28	0,25	0,22	0,25	0,38	0,60	0,65	0,70

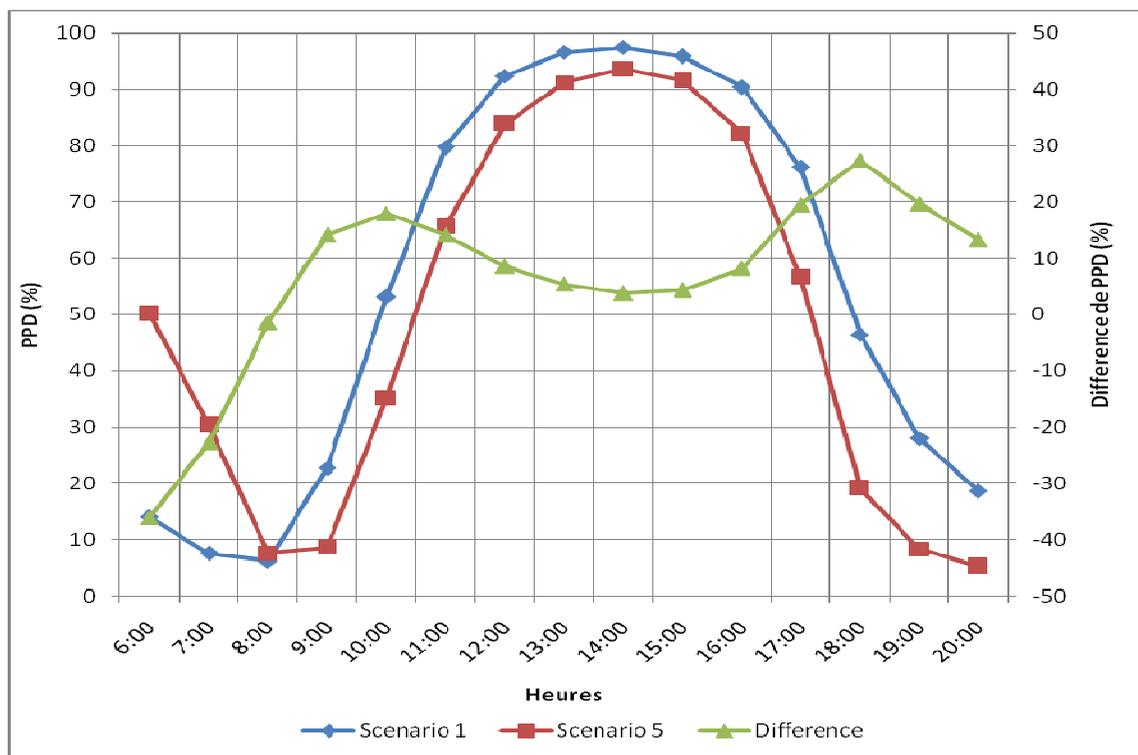
**Tableau.VII. 41 : Comparaison entre les valeurs de PMV enregistrées dans le 1<sup>er</sup> et 5eme Scenario aux abords de la station S3.**

Toujours cette tendance en début de journée, où le taux d'inconfort est plus important dans le 5eme scenario et à cause du froid, cet effet de gêne par le froid est moins prononcé que pour la station S2, mais plus important que dans les stations S1 et S4. Cette tendance s'inverse à partir de 8h05 et jusqu'en fin de journée.

Les courbes des deux scenarios démarrent à 6h00 avec 13,98% d'insatisfaction pour le 1er scenario et 50,07% pour le 5eme scenario, ensuite elles diminuent pour atteindre des valeurs minimales de 6,16% pour le 1er scenario et 7,59% à 8h00 pour le 5eme, augmentent progressivement jusqu'à atteindre la maximum d'insatisfaction à 14h00 et qui est de 97,45% et 93,65%, pour enfin décroître et atteindre une valeur minimale en fin de journée, respectivement 18,56% et 5,23%.

On ce qui concerne les écarts entre le 1<sup>er</sup> et le 5eme scenario, la station S3 est la deuxième station qui bénéficie des améliorations apportées dans la place, car on note une baisse d'insatisfaction moyenne de 13,04% (pour les valeurs positives) deuxième meilleure baisse après S2 avec un écart maximal de 27,40% à 18h00 et minimal de 3,80% à 14h00.

Comme celle de la station S2, l'allure de la courbe des écarts enregistre des pics en début et fin de journée correspondant à des écarts maximaux et connaît une baisse en milieu de journée ce qui nous ramène à dire que les améliorations apportées (arbres et bassin d'eau) ont un effet optimale lors de ces deux périodes, alors que cet effet s'estompe en milieu de journée.



**FIG.VII.48 : Comparaison entre les valeurs de PPD enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S3.(01-08-2007) (Source : auteur).**

PPD	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
Scenario 1	13,98	7,53	6,16	22,71	53,16	79,71	92,45	96,52	97,45	95,82	90,43	76,14	46,47	28,03	18,56
Scenario 5	50,07	30,34	7,59	8,55	35,22	65,57	83,91	91,17	93,65	91,49	82,23	56,61	19,08	8,30	5,23
Différence	-36,08	-22,81	-1,43	14,16	17,94	14,14	8,55	5,34	3,80	4,33	8,21	19,53	27,40	19,73	13,33

**Tableau.VII.42 : Comparaison entre les valeurs de PPD enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S3.**

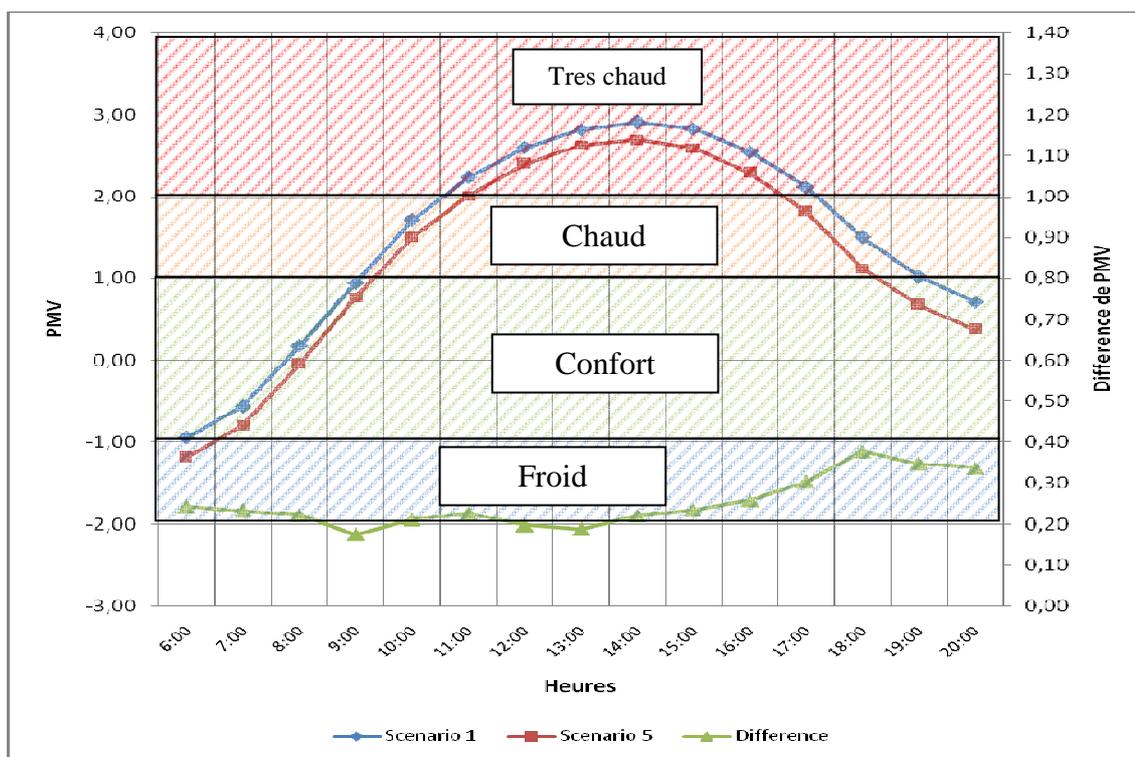
#### VII-5-2-3-4-Pour la station S4 :

Les valeurs de PMV sont à leur minimum à 6h00 pour les deux scenarios, avec une valeur de -0,94 pour le 1er scenario et -1,19 pour le 5eme scenario. Les valeurs de PMV commencent à augmenter jusqu'à atteindre les valeurs maximales de la journée à 14h00, avec 2,81 pour le 1er scenario et 2,62 pour le 5eme scenario. A partir de cette heure, ses valeurs commencent à décroître progressivement pour atteindre la valeur de 0,71 pour le 1er scenario et 0,38 pour le 5eme.

La station S4 semble profiter le moins en termes d'améliorations apportées aux valeurs de PMV, car les améliorations apportées dans la place ont contribué en une baisse moyenne du PMV de 0,25 par rapport au 1er scenario, avec un écart maximal de 0,38 à 18h00 et un écart minimal de 0,19 à 13h00. La courbe des écarts semble être stable pendant le début de la journée et enregistre

une hausse légère en fin de journée. La courbe des écarts pour cette station est très écrasée et son amplitude est très faible.

Les périodes de confort quand à elles aussi ne connaissent que de faibles améliorations par rapport aux autres stations, on peut noter que la période de froid s'étend jusqu'à 6h30 alors qu'elle était inexistante dans le 1er scénario (4,16% au lieu de 0,00% de la période totale). La période de confort s'étend jusqu'à 09h10 au lieu de 9h00, et en fin de journée elle débute à 18h20 au lieu de 19h05 (35% au lieu de 27,50% de la période totale). La période chaude constitue 25% de la période totale au lieu de 22,25%. En fin la période très chaude s'inscrit dans l'intervalle 11h00-16h35 au lieu de 10h30-17h05 (41,66% au lieu de 50,80% de la période totale).



**FIG.VII.49 : Comparaison entre les valeurs de PMV enregistrées dans le 1er et 5eme Scénario aux abords de la station S4.(01-08-2007) (Source : auteur).**

PMV	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
Scénario 1	-0,94	-0,56	0,18	0,95	1,71	2,23	2,60	2,81	2,91	2,83	2,55	2,12	1,50	1,02	0,71
Scénario 5	-1,19	-0,79	-0,05	0,77	1,50	2,01	2,40	2,62	2,69	2,59	2,29	1,81	1,12	0,67	0,38
Différence	0,24	0,23	0,22	0,18	0,21	0,23	0,20	0,19	0,22	0,23	0,26	0,30	0,38	0,35	0,34

**Tableau.VII. 43 : Comparaison entre les valeurs de PMV enregistrées dans le 1er et 5eme Scénario aux abords de la station S4.**

Les courbes des deux scenarios démarrent à 6h00 avec 11,35% d'insatisfaction pour le 1er scenario et 34,55% pour le 5eme scenario, ensuite elles diminuent pour atteindre des valeurs minimales de 6,09% à 7h00 pour le 1er scenario et 5,04% à 8h00 pour le 5eme, augmentent progressivement jusqu'à atteindre la maximum d'insatisfaction à 14h00 et qui est de 98,20% et 96,62%, pour enfin décroître et atteindre une valeur minimale en fin de journée, respectivement 26,81% et 7,95%.

On ce qui concerne les écarts entre le 1<sup>er</sup> et le 5eme scenario, la station S4 bénéficie d'une baisse d'insatisfaction moyenne de 10,80% (pour les valeurs positives) troisième meilleure baisse des quatre stations avec un écart maximal de 28,13% à 18h00 et minimal de 1,58% à 14h00.

On remarque aussi que l'allure de la courbe des écarts enregistre des pics en début et fin de journée correspondant à des écarts maximaux (plus prononcées en fin de journée) et connaît une baisse en milieu de journée ce qui nous ramène à dire que les améliorations apportées (arbres et bassin d'eau) ont un effet optimale lors de la fin de journée, alors que cet effet s'estompe en milieu de journée.

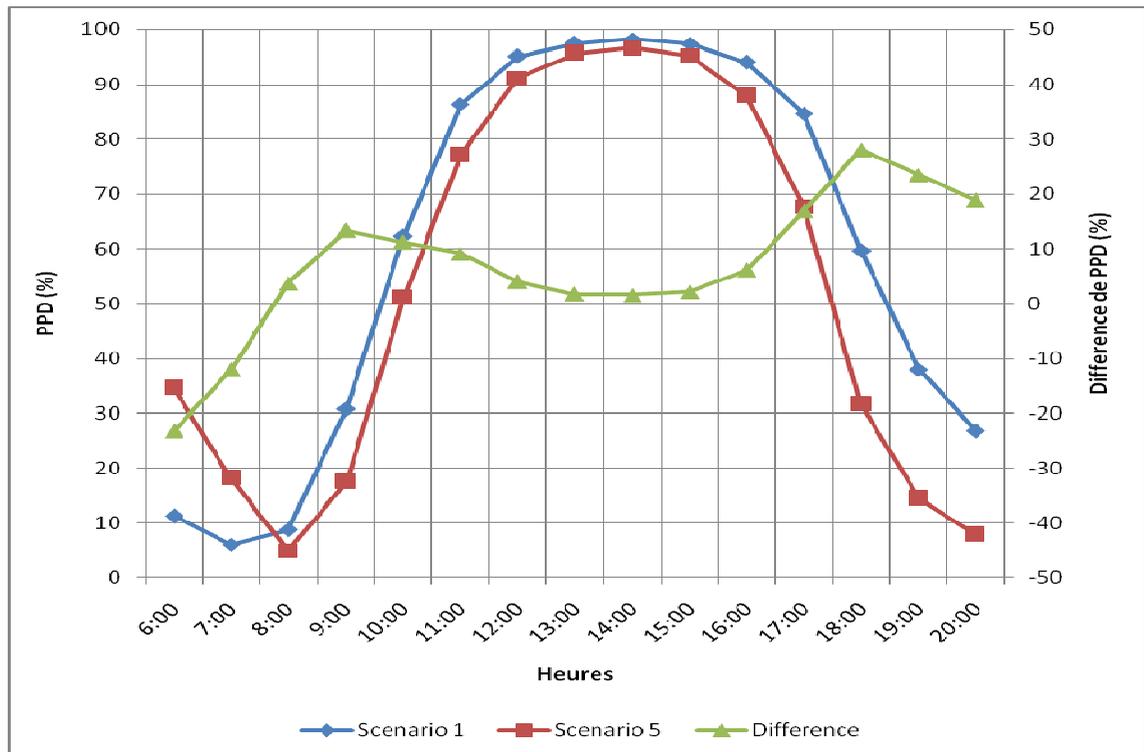


FIG.VII.50 : Comparaison entre les valeurs de PPD enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S4.(01-08-2007) (Source : auteur).

PPD	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
Scenario 1	11,35	6,09	8,81	30,83	62,33	86,34	95,10	97,41	98,20	97,32	94,03	84,58	59,78	38,00	26,81
Scenario 5	34,55	18,17	5,04	17,51	51,05	77,16	91,13	95,69	96,62	95,19	87,91	67,69	31,65	14,51	7,95
Différence	-23,20	-12,08	3,76	13,32	11,28	9,18	3,97	1,73	1,58	2,13	6,12	16,89	28,13	23,49	18,86

**Tableau.VII.44 : Comparaison entre les valeurs de PPD enregistrées dans le 1er et 5eme Scenario aux abords de la station S4.**

#### **VII-5-2-4-Discussion des écarts :**

Cette partie met en exergue les écarts obtenus lors de la comparaison entre le premier scenario (pas de végétation ni d'eau) avec le dernier scenario (améliorations optimales), et cela afin de quantifier l'effet des améliorations cumulées sur les différents paramètres régissant le confort thermique dans la place de Ain-El-Fouara.

Cette comparaison des différents paramètres (température d'air, humidité relative de l'air, PMV et PPD) s'effectue pour chaque station à part et cela nous a permis de mieux déceler cet apport pour chaque zone de la place.

Quel que soit la localisation de la station dans la place, un apport bénéfique des différents aménagements est nettement quantifié, même si cet apport reste différent pour les quatre stations et cela dépend des caractéristiques physiques qui entourent chaque station. En terme de confort thermique des piétons et d'efficacité de refroidissement de la végétation et de l'eau conduit à un certain nombre de conclusions, et dont les plus importantes :

- \*-Pour la température la baisse peut atteindre 1,79°C à 12h00 et cela pour la station S2.
- \*-L'humidité quand à elle connaît une hausse maximale de 4,47% à 12h00 dans la station S2.
- \*-Le PMV étant une interprétation physiologique de ces paramètres, il connaît lui aussi une nette amélioration pouvant atteindre les 0,53 à 12h00 pour la station S2 correspondant à une baisse du taux d'insatisfaction de 16,06%.
- \*-La période de confort peut représenter 30% de la période de simulation avec les améliorations apportées au lieu de 23,83% (cas de la station S2), tandis que les périodes d'inconfort connaissent une diminution considérable telle que celle enregistrée toujours dans la station S2 où la période très chaudes passe de 48,83% à 29,16% ce qui équivaut à presque 3 heures de temps.

Les écarts les plus importants ont été enregistrés en début et fin de journée, contrairement au milieu de journée où le stress thermique est tellement important que l'effet bénéfique des améliorations apportées devient minimale.

### **Comparaison avec d'autres études :**

1-On comparant les résultats obtenus dans notre recherche et ceux trouvés dans la recherche de Jörg (2006) (Cf. Chapitre IV, Page 126), on note que :

Les baisses de température dans notre cas varient entre 0,98°C et 2,29°C (pour les différentes stations) pour une baisse moyenne de 1,46°C pour l'ensemble de la place, alors que ceux enregistrés par Spangenberg sont de l'ordre de 0,5 °C à 1,1 °C inférieure à la température de l'air des cas sans arbres.

Pour l'humidité relative Spangenberg enregistre une hausse moyenne de 5% dans notre cas elle est de 4,09% en moyenne pour toute la place (et varie entre 2,74% et 7,14% pour les différentes stations).

Pour l'indice physiologique on ne peut comparer directement les valeurs du PMV (dans notre cas) et celles de PET (utilisées par Spangenberg), néanmoins on peut comparer les périodes de confort. Pour Spangenberg on remarque en premier lieu que l'écart entre la zone très inconfortable du cas avec arbres et celui sans arbres en milieu de journée est très prononcé, et est minimal en début et fin de journée, alors que pour notre cas c'est tout à fait le contraire et l'écart entre les deux scénarios n'est pas aussi élevé que pour Spangenberg. Ensuite si on compare les deux scénarios avec végétation (pour le cas de Spangenberg et notre cas) on remarque que la période d'inconfort très chaude s'étend de 12h00 à 15h00, alors que pour notre cas elle s'étend de 11h30 jusqu'à 16h30 (pour le cas des zones qui contiennent lus de végétation), l'écart n'est pas très prononcé mais pourrait être expliqué par la géométrie des deux cas. Dans le cas de Spangenberg (canyon) cela dépend de l'orientation de cet axe, alors que la place, la zone en question est continuellement sujet au rayonnement solaire incident.

Généralement en peut noter que les différences trouvées entre les deux travaux sont généralement causées en premier lieu par la différence des deux climats, l'utilisation de deux logiciels différent pour les deux études et donc chaque logiciel pourrait avoir un moteur de simulation différent de l'autre, et en fin la géométrie des deux cas d'étude.

2-On comparant les résultats obtenus dans notre recherche et ceux trouvés dans la recherche de Mirela Robitu, 2005(Cf. Chapitre V, Page159), on note que :

En premier lieu il existe une ressemblance entre les deux recherche concernant l'existence de zones microclimatiques dans les deux places (Place Ain el Fouara et square Fleuriot) et cela dépend des caractéristiques physiques de chaque zones et aussi la proximité de chaque zone des deux éléments qui sont la végétation et l'eau.

Le deuxième point de ressemblance réside dans le fait que, pour le square Fleuriot la station S5 qui est la station qui profite le plus des effets combinés de la végétation et du bassin d'eau et

enregistre l'amélioration la plus importante du square avec une valeur de presque 2°C à 10h00. La même chose est notée dans notre étude avec la station S2 (près de la fontaine) qui enregistre une différence de 2,18°C à la même heure.

Les valeurs de PMV pour les deux recherches semblent avoir presque le même intervalle, car celle enregistrées dans le square Fleuriot varie entre 0 et 2,5 entre 8h00 et 14h00. Alors que celle enregistrées à Ain El Fouara varie entre -0,3 et 2,8 dans la même période.

L'écart maximal de l'indice PMV entre le scénario de le square avec bassin d'eau et celui avec arbres et bassin d'eau à 14 h est d'environ égale à 2,8 (P4). Tandis que dans la place de Ain El Fouara il est de 0,53.

## **VII-6-Conclusion :**

Par rapport à d'autres surfaces artificielles, la présence de bassins d'eau et de végétation au sein du milieu urbain diminue la température de l'air par évaporation d'eau et évapotranspiration des végétaux. En outre, la végétation réduit la température des surfaces environnantes par l'ombre qu'elle produit. Les surfaces à l'ombre avec des températures plus faibles que les autres surfaces de la scène urbaine émettent moins de rayonnement de grande longueur d'onde et le transfert de chaleur vers le milieu environnant est diminué réduisant de ce fait le stress thermique en période d'été. Il est communément admis qu'il est difficile d'évaluer la réduction d'énergie due à la présence d'un bassin d'eau ou de végétation. Elle dépend du rapport de la surface de l'eau, du volume de la végétation, de la position dans l'espace étudié et des surfaces urbaines, de la géométrie et des matériaux des bâtiments ainsi que des vents dominants.

Ce chapitre a été consacré à l'étude de la relation entre le degré de présence ou la densité de la végétation et des surfaces évaporatives (bassins d'eau) d'une part et du confort thermique dans l'espace extérieur urbain, d'une autre part. Cinq cas de figure ou scénarios sont étudiés, dans le premier on considère la place sans végétation ni eau, le deuxième représente la place dans son état actuel et les trois autres constituent des combinaisons des deux variables qui sont la densité de la végétation d'une part et les surfaces évaporatives (bassin d'eau).

L'influence de la végétation sur le confort thermique est approchée à travers la présence quantitative de la végétation dans l'espace de la place, néanmoins d'autres paramètres concernant cet élément pourraient être étudiés tel que : le type d'arbres, la densité du couvert végétal, le positionnement de ces arbres dans l'espace et les uns par rapport aux autres (végétation rapprochée ou éparse) etc.

Pour l'eau aussi, un seul paramètre est pris en considération et qui est lui aussi quantitatif, nous parlons bien sûr de la surface des bassins évaporatives, d'autres paramètres pourraient être

étudiés ou simulés tel que la hauteur d'un ou de plusieurs jets d'eau, la hauteur d'une cascade, la circulation de l'eau dans le bassin ou même la brumisation qui reste tout de même un procédé plus complexe qu'un jet d'eau ou qu'une fontaine. Et cela bien sur avec d'autres logiciels puisque ENVI-met ne donne pas toutes ces opportunités ayant comme unique configuration une eau profonde et stagnante.

Les résultats ont montré, que la présence de la végétation dans l'espace extérieur urbain influe considérablement sur les conditions du confort thermique extérieur en période estivale. Cet effet est d'autant plus significatif dans les zones avec une végétation dense et où sont observées les valeurs les plus confortables de températures de surface et énergie solaire absorbée. L'influence de la masse végétale dans la place est très importante. Les améliorations dues à l'effet de la végétation au niveau de l'espace extérieur urbain sont sensibles par la création de source ou de puits de fraîcheur. Cette végétation agit sur les quantités de rayonnement transmis, les vitesses de l'air, les températures de surface et de l'air ainsi que sur l'humidité spécifique de l'air. Par l'analyse des conditions de confort on observe que la présence des arbres modifie d'une manière significative les températures radiantes moyennes, les échanges de chaleur sensible et latente entre l'individu et l'air ambiant. Ces modifications engendrent des améliorations en termes de confort thermique.

On peut retenir que l'effet du bassin d'eau est très localisé. La surface d'eau a une influence locale sur l'humidité spécifique de l'air et à un degré moindre sa température.

Le calcul du PMV et du PPD nous a permis de mettre en avant les différentes situations de confort présentes dans un même lieu à travers la période de simulation.

Cependant, différents types de représentation peuvent être utilisés, comme des cartes délimitant les zones de confort dans l'espace ou des graphes représentant l'évolution des conditions de confort dans une dynamique de parcours. Cette représentation des zones de confort peut donner, au cours d'une journée, les zones de confort dans l'ombre du bâtiment ou à l'ombre des arbres. A midi, les températures et les apports solaires sont trop importants pour permettre une situation de confort même à l'ombre des arbres.

Ces modélisations ne sont pas exhaustives et d'autres paramètres pourraient être testés (nature de matériaux, de la végétation, profondeur du bassin d'eau etc.). Ces études complémentaires peuvent permettre de donner des règles d'aide à la conception des aménagements de type de bassin d'eau ou végétation.

# **Conclusion générale et recommandations.**

## Conclusion générale et recommandations :

### 1-Conclusion

Depuis les premières études sur l'influence de la ville sur son climat, comme celle menée à Londres en 1833 par Luke Howard<sup>136</sup>, plusieurs travaux ont été conduits s'intéressant principalement à la description du microclimat urbain. Dès les années 1930 et ce jusqu'aux années 1960, les recherches comprennent des études plus précises sur les relations entre la structure urbaine et son climat. Puis les recherches se font plus pointues, plus précises, plus physiques et avec l'arrivée de l'informatique viennent les premières modélisations.

L'effet de la ville sur le climat a été considéré à une échelle qualifiée de microclimatique. L'examen des modifications du climat à travers les différents niveaux scalaires a permis de situer l'espace extérieur urbain à une échelle microclimatique et saisir les éléments intervenant dans la caractérisation de l'ambiance climatique à ce niveau spatial.

L'apparition de l'îlot de chaleur est la manifestation climatique la plus connue de l'influence du milieu urbain sur son climat. Cependant, les vents, l'humidité et la pluviométrie sont eux aussi modifiés et les conséquences sur le confort peuvent être non négligeables. Le climat urbain a été étudié dès les années 1950 mettant ainsi en exergue plusieurs facteurs : la pollution atmosphérique, l'albédo, les rejets thermiques anthropiques, la capacité calorifique et l'imperméabilisation des sols, la géométrie de la ville et plus récemment le refroidissement naturel en milieu urbain grâce à l'utilisation de puits de fraîcheurs, et dont l'utilisation de la végétation et des bassins d'eau sont les plus représentatif.

La plupart des études concernant l'influence de la végétation et des étendues d'eau sur les conditions thermiques extérieures se sont principalement concentrées sur les espaces verts de grandes tailles. Les effets de la végétation dans de petites zones, comme les squares urbains et les rues sont moins connus, même si dans la plupart des villes leur influence sur le microclimat est importante.

Dans la même logique, la présente recherche essaye de traiter la relation entre la densité du couvert végétal et les surfaces des étendues d'eau d'un côté et du confort thermique dans un espace urbain de l'autre, et cela dans le contexte des régions semi-arides à climat chaud et sec plus exactement la ville de Sétif. Dans un tel contexte, l'influence des paramètres géométriques et des masses végétales et d'eau sur le confort thermique extérieur apparait de façon explicite car les facteurs thermiques et énergétiques solaires du climat y sont d'une sévérité déterminante.

---

<sup>136</sup> Howard L.: The Climate of London. Edition Gerald Mills, 2007.

Nous rappelons que cette recherche a nécessité deux phases d'intervention. La première est une synthèse bibliographique qui a traité des domaines des espaces urbains, de la microclimatologie urbaine, du confort thermique dans l'espace extérieur et de la relation entre ce dernier et la végétation et les étendues d'eau. La deuxième phase consiste en une analyse de l'influence de la présence de la végétation et de l'eau sur le confort thermique extérieur dans l'espace à étudier et qui est la place de Ain El Fouara à Sétif. En se basant sur deux outils très utilisés dans ce domaine et qui ont déjà fait leurs preuves, on parle bien entendu de l'investigation sur terrain qui contient une campagne de mesure et un questionnaire et de la simulation, basée sur les capacités d'un logiciel de simulation des phénomènes thermiques et énergétiques solaires. Dans ce qui suit, nous essayons de rappeler les éléments qui nous semblent les plus importants à retenir au travers des chapitres qui composent la recherche.

Dans le premier chapitre, nous avons examinés la place publique, objet de l'étude. Le but de l'analyse est l'établissement d'une approche théorique et d'une représentation commune de cette place. Cette approche traitera non seulement l'aspect physique de la place, mais aussi l'aspect social qui devrait expliquer des phénomènes que le premier aspect ne peut faire.

Le deuxième chapitre est consacré à la microclimatologie urbaine, après avoir rappelé quelques définitions sur le climat et les approches qui traitent la question de l'intégration de la dimension climatique à l'échelle urbaine, nous nous focalisons tout particulièrement sur le microclimat urbain. Ainsi, nous abordons les spécificités de ce dernier, les types de transfert de chaleur. Notre objectif est de définir les bases essentielles à la mise au point des simulations à entreprendre. L'analyse des principes de la microclimatologie urbaine nous a renseignées sur les différentes spécificités du microclimat. Ainsi, nous avons examiné les différents phénomènes physiques de transfert de chaleur en milieu urbain. Cette connaissance théorique a permis de définir certaines notions du confort thermique et a mis en évidence la complexité des échanges présents en ville, ceci dans le but de saisir les bases essentielles à la mise au point des simulations envisagées.

Le troisième chapitre est consacré à l'étude de l'interaction entre l'homme et le confort en milieu urbain, les paramètres du confort sont présentés, l'effet des différents paramètres microclimatique sur le confort. La présentation des différents indices du confort ou de stress thermique en extérieur nous renseigne sur les spécificités de chacun. Ces indices correspondent, en général, à des résultats d'expériences à l'intérieur des bâtiments et sont modifiés pour être applicables en extérieur. L'examen des différents paramètres du confort thermique relatifs à l'environnement et à l'individu, l'analyse des échanges thermiques entre ces deux acteurs a permis d'aborder le confort thermique en espace extérieur. Nous avons dû, ainsi, présenter certains indices permettant de caractériser le confort thermique de l'être humain dans l'espace extérieur.

Le quatrième chapitre est consacré à l'étude de quelques aspects concernant la végétation en générale et celle en milieu urbain en particulier, donc à l'échelle du microclimat. Ainsi, nous allons analyser, de manière précise, comment les végétaux ont la possibilité de modifier leur environnement thermique par leurs actions sur les rayonnements de courte et de grande longueur d'onde, par leur influence sur les écoulements aérauliques et par le phénomène d'évapotranspiration. L'effet de la végétation dans l'espace extérieur urbain sur la réduction des températures de surface ou d'air et l'énergie solaire absorbée a été examiné, anticipant, ainsi, la partie consacrée à la simulation de l'impact de la végétation sur le confort thermique extérieur.

Un cinquième chapitre vient nous éclaircir sur certaines propriétés et certains aspects de l'eau en générale et à échelle microclimatique plus particulièrement. Comme pour la végétation, l'analyse de l'aptitude de l'eau à modifier les propriétés thermiques du milieu avec lequel elle est en contact, et la capacité de cette eau à améliorer les conditions de confort en milieu urbain. L'examen de l'effet thermique de l'eau et de la végétation dans les parcs, places et rues a montré un réel intérêt de ces deux paramètres. De grandes étendues d'eau agissent fortement sur le climat alors que les sources ponctuelles d'eau n'ont qu'un faible impact sur l'amélioration du microclimat, sauf lors de l'utilisation des systèmes plus complexes de jets d'eau ou de brumisateurs tels que ceux utilisés pendant l'Exposition Universelle de Séville de 1992.

L'accumulation des connaissances issues de l'analyse bibliographique nous permet de passer à la deuxième partie de la recherche consacrée à l'investigation in-situ et la simulation de la relation entre la végétation et l'eau d'un côté, et le confort thermique extérieur de l'autre.

L'investigation consiste en une prise de mesures des différents paramètres relatifs au confort thermique dans la place (température de l'air, humidité relative et vitesse des vents), mais aussi en un questionnaire susceptible de mesurer en valeur des aspects moins apparents que les paramètres physique quantifiables. Ce questionnaire sera intéressant dans la mesure qu'on traite avec les usagers de cet espace, chose que l'on ne peut faire avec les autres outils d'investigation.

Les points de mesures ont été choisis en fonction des caractéristiques physiques qui diffèrent d'un point à un autre, et les critères de classification les plus importants furent : la présence de végétation, la proximité du point d'eau, l'exposition au rayonnement solaire.

D'après les résultats obtenus de la campagne de mesure on a constaté que la place de Ain El Fouara possède un microclimat spécifique et nettement différent de celui du site d'Essfiha qui se trouve aux environs de la ville de Sétif. Et même au sein de la place elle-même, des différences subsistent entre les différentes zones et il est nettement clair que ces écarts sont en fonction de la proximité de la végétation et du point d'eau. Pour la température on a noté une différence moyenne de 1°C et qui peut atteindre un maximum de 3,7°C, l'écart moyen pour les valeurs d'humidité

relative est de 2% et peut atteindre une valeur maximale de 6%. On a constaté que la place est faiblement ventée, avec un vent moyen de 0,57m/s dans la station S1 qui est la station la plus ventée, avec des pics pouvant atteindre 1,2m/s. Malgré cela les couloirs de vent présents dans la place influencent pleinement les transfères de chaleur et de fraîcheur.

Le questionnaire vient confirmer les résultats de la campagne de mesure c.-à-d. le microclimat chaud sec et peu venté de la place, néanmoins il existe des zones de confort à travers la place chose qui n'est pas facilement perceptible dans la campagne de mesure.

Plusieurs éléments furent mis en évidence, telle que la différence de ces comportements dû à la catégorie sociale de chaque participant, l'adaptation des gens aux conditions climatiques et qui ce reflète par leurs habits, leurs consommation et leur positionnement dans cet espace.

On a couronné le tout par une simulation avec le logiciel ENVI-met, ajouter à cela des logiciels connexes qui nous on permis de lire, d'extraire et de déchiffrer non seulement les même paramètres utilisés dans l'investigation (température de l'air, humidité relative et vitesse des vents), mais aussi d'autre paramètres physiologique liés directement au confort thermique dans les espace extérieurs (PMV et PPD). La simulation a donnée une autre dimension à notre recherche, une sorte de projection dans le futur, vu qu'on a put simuler des scenarios qui nous on permit de vérifier l'apport de différents niveaux de densité de la végétation et de l'eau sur le confort thermique dans la place de Ain EL Fouara.

Les résultats obtenues par simulation ont été, non seulement comparés aux résultats mesurés in-situ mais aussi entre eux, car la simulation nous ouvre une autre porte, ou dimension dans la recherche et qui est celle de la scénarisation. Cette dernière nous a permis de comparer différentes situations de la place ayant comme variables la densité du couvert végétale et la surface des étendues d'eau.

Grace à ces scenarios on a put quantifier l'apport de chaque élément (végétation et eau) et cela selon sa persistance dans la place.

Les résultats de la simulation ont démontrés l'impact important de la végétation et de l'eau sur les conditions de confort thermique extérieur, mais aussi les capacités d'analyse offertes par la modélisation numérique.

Les résultats ont montré, que la présence de la végétation dans l'espace extérieur urbain influe considérablement sur les conditions du confort thermique extérieur en période estivale. On peut retenir que l'effet du bassin d'eau est très localisé. La surface d'eau a une influence locale sur l'humidité spécifique de l'air et à un degré moindre sur sa température.

Ces effets se sont améliorés au fur et à mesure dans chaque scenario pour atteindre des valeurs maximales dans le dernier scenario et pour tous les paramètres (températures de l'air,

humidité et vitesse des vents) et cela se reflète dans les valeurs de PMV et de PPD. Bien sur les améliorations sont plus importantes dans les zones proches de la végétation et des sources d'eau. À titre d'exemple on a noté une baisse moyenne de 2,29°C dans la température près de la station S2, avec une valeur maximale de 3,43°C. Mais aussi une hausse moyenne de 7,14% pour l'humidité relative, avec une valeur maximale pouvant atteindre 9,77% et malgré la baisse dans les vitesses des vents on note une nette amélioration moyenne de l'indice du PMV égale à 0,72 synonyme d'une baisse du taux d'insatisfaction de 22%, avec une valeur maximale de 0,92 synonyme d'une baisse du taux d'insatisfaction de 38,9%. On a noté aussi une nette amélioration concernant les périodes de confort sachant que la période très chaude fut diminuée de 19,07%, et la période de confort et plus longue de 19%.

L'étude a permis d'affirmer l'intérêt qu'on doit accorder à la végétation et aux aménagements hydrauliques dans la place. Et donc la nécessité de porter plus d'attention aux éléments naturels qui participent à l'aménagement de la place. En effet, le climat urbain est fortement perturbé par le manque de végétation, par les matériaux de surface employés et par les activités anthropiques qui s'y développent. La ville, en modifiant le climat, agit directement sur les problèmes de santé liés à la pollution et aux vagues de chaleur, sur le confort en espace extérieur et sur la consommation d'énergie dans les bâtiments.

Des exemples de propositions d'aménagement en parfaite intelligence avec l'environnement démontrent qu'il est possible de réguler certaines de ces nuisances. L'Exposition Universelle de Séville de 1992 en est un digne représentant. En effet, l'utilisation abondante de végétation et de système de jet d'eau ont permis, non seulement de rendre le cadre plus attractif mais surtout d'améliorer les conditions de visite, même lorsque les contraintes thermiques étaient fortes en situations estivales.

Au terme de ce travail de thèse, une partie des objectifs de départ ont été atteints. Toutefois, d'autres améliorations pourraient être réalisées pour rendre l'analyse du microclimat urbain encore plus précise. Ainsi, il mériterait d'être poursuivi dans différentes directions, de façon à confirmer certains constats, à améliorer la représentation de certains processus et la prise en compte d'autres phénomènes.

## **2-Recommandation :**

Les milieux urbains constituent des milieux difficiles qui affectent la population humaine et sa santé. En effet, nombreux sont les facteurs de stress auxquels elle y est confrontée, l'organisme et la psyché y sont souvent soumis à un niveau important de stress. On y trouve par exemple des

concentrations importantes de polluants atmosphériques, mais aussi parfois des températures accablantes. L'utilisation plus intensive certains aménagements urbains pour atténuer certaines agressions environnementales ou psychologiques constitue une voie a priori intéressante.

Parmi ces aménagements on peut citer l'utilisation jumelée des arbres et des bassins d'eau qui peuvent avoir une influence considérable sur le milieu urbain, mais jusqu'ici, rares ont été les recherches visant à quantifier leurs effets.

La recherche suivante insiste sur les rôles que peuvent jouer les arbres et les surfaces d'eau en tant qu'agents réducteurs des stress urbains et l'efficacité qu'on peut en attendre, compte tenu également de certaines nuisances qui leur sont spécifiques, et donc insiste sur un « retour à la nature » avec l'utilisation de procédés qui furent longuement utilisés par nos ancêtres et qu'on à malheureusement oubliés.

Cette recherche et celles entreprises dans ce domaine ne devraient pas rester dans un simple cadre théorique ou pédagogique, mais devraient au contraire constituer une base de travail pour les aménageurs, urbanistes et architectes qui devront être eux aussi initiés à cet aspect de l'architecture qui -disons le- est négligé dans la formation d'architecte et urbaniste. Et cela dans le but d'opter pour une planification urbaine qui respecte l'environnement et qui considère le contexte de chaque zone.

Il n'y pas que les architectes qui devront être sensibilisé aux rôles très importants des aménagements urbains, les politiques et décideurs eux aussi devront l'être. Même le citoyen devra être sujet à une éducation environnementale afin qu'il soit conscient du devenir écologique de son quartier, de sa ville, de son pays et même de sa planète.

En somme, une sensibilisation de toute la société à l'importance de la trame verte sous toute ses formes que ce soit parcs, jardins, arbres d'alignement ou arbres d'agrément. La même chose s'applique pour les aménagements d'eau telle les fontaines, cascades, jets d'eau ou autres aménagements qui relèvent carrément de l'art (Voir Annexes V : Aménagements urbains mettant l'eau en matières).

On parlant des décideurs et politiques, il ne suffit pas seulement de les initier et leur faire prendre conscience de l'apport des tels aménagements, mais il faut aussi les convaincre, eux dont la première langue n'est que celle des chiffres. C'est pour cela que ce genre d'études devrait prendre en considération l'aspect des coûts et des bénéfices, compte tenu de la valeur monétaire propre de ces aménagements, mais aussi les économies d'énergie qu'ils apportent. Les méthodes et modèles provenant de telles recherches seront communiqués aux planificateurs et décideurs.

Pour cela la simulation semble être l'outil de conviction par excellence, vu qu'elle permet

-comme on l'a dit avant- de se projeter dans le futur et de simuler des scénarios qui n'existent pas encore. Néanmoins le logiciel ENVI-met semble être limité à propos de certains paramètres et l'utilisation d'autres logiciels beaucoup plus performant devraient être utilisés, on citera comme exemple : Solène, N3S, Fluent, Radtherm, etc....

### **3-Futures axes de recherche :**

De nombreuses améliorations peuvent être apportées à notre recherche de manière à rendre encore plus précise l'analyse du microclimat urbain que ce soit dans le cas de la place de Ain El Fouara ou pour d'autres cas d'étude. Tout le long de cette recherche, de nouveaux éléments furent mis en évidence ou tout simplement se sont imposés, des éléments qui mériteraient d'être détaillés qu'ils soient en relation directe avec notre sujet ou non, et dont les axes les plus importants sont :

Le premier axe concerne la végétation, certes ce champ est très vaste mais on pourrait s'orienter vers certains paramètres qui sont le type d'arbre utilisé (cela implique plusieurs sous-paramètres tel la forme, la hauteur, le diamètre de la couronne, la perméabilité, la transmission, la forme et la taille des feuilles, l'indice foliaire LAID, la résistance stomatale, etc...). Aussi la position de la végétation dans la place (périphérique ou centrale), la compacité de la canopée végétale dans la place (avec la même quantité ou surface du couvert végétal avec deux cas de figures : les couronnes d'arbres sont collées les une aux autres ou éparse).

Le deuxième axe concerne l'eau, là aussi plusieurs paramètres sont à étudier parmi les plus importants : la densité des bassins d'eau (avec la même surface totale d'eau, vaudrait-il mieux avoir un grand bassin ou plusieurs réparties sur toute la surface de la place), l'écoulement de l'eau, hauteurs des différents objets d'eau (fontaine, jet d'eau, cascades, etc....)

Il est clair que l'effet jumelé des deux éléments, lui aussi est sujet à divers paramètres tel la surface ombragée des bassins d'eau par les arbres, la hauteur entre la surface d'eau et les couronnes. Mais aussi l'apport de ces paramètres pendant la nuit.

Le troisième axe est en relation directe avec les deux premiers. On a constaté que l'effet de la fontaine de Ain El Fouara est nettement localisé aux quelques mètres entourant cette dernière et encore il aurait été de quelques centimètres si il n'y avait pas de rejet de l'eau sur les surfaces environnant la fontaine et cela est dû aux dimensions de la fontaine. A cet effet si on désire étudier l'effet d'une surface d'eau sur le confort hygrothermique, un échantillon grandeur nature s'offre à nous et non loin du site de Ain El Fouara et qui est le lac du parc d'attraction qui a une surface de 15000m<sup>2</sup> et dont l'effet serait nettement plus ressenti que celui d'une simple fontaine. La même chose s'applique pour la végétation et dont le parc au nord constitue un autre échantillon grandeur nature.

Un quatrième axe pourrait se concentrer sur le questionnaire, on notera que le celui utilisé dans notre recherche ne fut pas aussi poussé et même ses résultats n'ont pas été utilisés pleinement et cela parce. Cela s'explique par le fait que le questionnaire n'était pas le seul outil utilisé dans cette recherche mais il a été utilisé pour consolider une campagne de mesure et une simulation qui ont pris la grande part de notre intérêt. Il serait opportun que les rôles s'inverse c.-à-d. l'élaboration d'une recherche dans laquelle le questionnaire serait l'élément le plus important. Mais qui serait entrepris avec plus de précision (échantillon représentatif, questions plus précises et plus spécifiques aux différents types de confort, aussi l'utilisation de logiciel qui traite ce genre de données citant comme exemple le logiciel Modalisa).

# **Annexes**

**Annexes I : Données climatique de la ville de Sétif.**

Mois	T° moy max	T° moy min	T° moy mensuelle	Ecart type
<b>Janvier</b>	9,8	1,2	5,5	8,6
<b>Février</b>	11,5	1,4	6,4	10,2
<b>Mars</b>	15,2	4,6	9,9	10,7
<b>Avril</b>	18,1	6,6	12,3	11,5
<b>Mai</b>	23,8	11,0	17,4	12,9
<b>Juin</b>	29,8	15,7	22,8	14,1
<b>Juillet</b>	33,8	19,0	26,4	14,8
<b>Août</b>	32,8	19,1	25,9	13,7
<b>Septembre</b>	26,7	14,7	20,7	12,0
<b>Octobre</b>	21,7	10,6	16,1	11,1
<b>Novembre</b>	14,3	5,3	9,8	9,0
<b>Décembre</b>	10,7	2,5	6,6	8,2
<b>Moyenne annuelle</b>	<b>20,7</b>	<b>9,3</b>	<b>15,0</b>	<b>11,4</b>

**Tableau. A.1 : Données descriptives des températures moyennes mensuelles en c° à Sétif (1996-2005)**

Mois	H moy max	H moy min	H moy mensuelle
<b>Janvier</b>	93.1	56.0	74,6
<b>Février</b>	91.5	48.4	70,0
<b>Mars</b>	86.7	38.5	62,6
<b>Avril</b>	86.6	37.3	62,0
<b>Mai</b>	80.8	32.3	56,6
<b>Juin</b>	70.6	22.6	46,6
<b>Juillet</b>	62.9	18.6	40,8
<b>Août</b>	68,1	21.0	44,6
<b>Septembre</b>	84.2	32.3	58,3
<b>Octobre</b>	86,6	38.4	62,5
<b>Novembre</b>	92,0	52.1	72,1
<b>Décembre</b>	94,0	58.1	76,1

**Tableau. A.2 : Données descriptives de l'humidité relative (%) de ville de Sétif**

Moi	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	moy
Moy en m/s	3,1	3,2	3,1	3,8	3,4	3,2	3,3	3,4	3,2	2,9	3,5	3,4	3,3

**Tableau. A.3 : Moyenne mensuelle des vitesses de vent à Sétif entre 1995-2005**

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	total
Précipitation mm	39,4	29,3	22,2	39,9	38,9	18,3	12,7	22,0	46,1	31,1	32,5	66,3	398,9

**Tableau. A.4 : Précipitation annuelle entre 1995-2005 à Sétif**

Moi	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	moy
Heure	180	201	252	248	302	333	353	315	264	243	180	159	252

**Tableau. A.5 : Moyenne mensuelle de l'insolation à Sétif entre 1995-2005**

## **Annexes II : Arbres presentes dans la place de Ain El Fouara.**

### **1. Le Peuplier :**

Les peupliers sont des arbres du genre Populus de la famille des Salicacées.

Le genre populus englobe 35 espèces des régions tempérées et froides de l'hémisphère nord. Il comprend aussi de nombreux hybrides naturels ou créés par l'homme. Les peupliers, arbres à la croissance rapide se rencontrent rarement en forêt dense mais plutôt dans les ripisylves et aux abords des zones humides où comme les saules, ils sont appréciés des castors. Ils croissent sur les terrains humides voire temporairement inondés. Leur système racinaire, important, souvent superficiel et traçant (comme celui du peuplier d'Italie par exemple) peut détruire des murs, soulever les enrobés bitumés et coloniser des tuyaux d'égouts. Certaines espèces (peuplier tremble) peuvent pousser sur des sols sableux pauvres et supportent relativement bien les embruns marins, à une certaine distance de la mer toutefois.



Figure A.1 : Le Peuplier, arbre et feuilles.

(Source : Wikipédia encyclopédie collaborative en ligne)

## 2. Le micocoulier :

Les micocouliers (genre *Celtis*) sont un genre d'environ 60 à 70 espèces d'arbres à feuilles caduques répartis dans des régions tempérées chaudes de l'hémisphère nord, en Europe méridionale, en Asie orientale et méridionale, et en Amérique.

Anciennement classés dans la famille des Ulmaceae (ou bien dans les Celtidaceae), l'analyse phylogénétique a montré qu'ils appartiendraient à la famille des Cannabaceae.



Figure A.2 : Le micocoulier, arbre et feuilles.

(Source : Wikipédia encyclopédie collaborative en ligne)

### 3. Le troène du Japon :

Il s'agit d'un arbuste ou d'un petit arbre pouvant mesurer jusqu'à 6 mètres de hauteur à l'écorce gris-beige.

Ses feuilles coriaces persistantes de couleur vert foncé brillant sont opposées et mesurent 5 à 10 cm de long sur 2 à 5 cm de large.

Les fleurs de couleur blanche, avec une corolle à quatre lobes de 5-6 mm de long poussent en grappes de 7 à 15 cm de long au début de l'été. Elles ont un parfum souvent peu apprécié et produisent de grandes quantités de pollen.

Le fruit est une drupe ovale, de 10 mm de long d'abord verte puis virant au noir violet avec une pruine cireuse au début de l'hiver.

L'espèce est étroitement liée à l'espèce chinoise *Ligustrum lucidum*, mais est plus petite (L. lucidum peut faire un arbre de plus de 10 m de hauteur). Pour les différencier, plier une feuille en deux. Si elle casse, c'est un japonicum sinon c'est un lucidum.



Figure A.3 : Le troène du Japon, arbre et feuilles.

(Source : Wikipédia encyclopédie collaborative en ligne)

## **Annexes III : Application des méthodes de Mahoney, Szokolay et Givoni sur la ville de Sétif.**

### **VI-4-1-Application de la méthode de Mahoney :**

D'après l'application de la méthode de Mahoney sur la ville de Sétif sous la latitude 36°11'N, on peut ressortir avec un certain nombre de recommandations variant du général (implantation – plan de masse - orientation...), jusqu'au détail (dimension des ouvertures...) :

#### **VI-4-1-1-Recommandations générales :**

- Plan à orientation nord sud (long axe est-ouest).
- Configuration compacte du tissu de construction.
- Taille moyenne des ouvertures, de 25-40%.
- Protection contre les vents froids et chauds.
- Murs extérieurs et planchers épais avec un temps de déphasage important (grande capacité thermique).
- Taille moyenne pour les ouvertures.
- Toiture lourde avec un temps de déphasage important.
- Aménagement d'espaces extérieurs pour dormir le soir.

#### **VI-4-1-2-Recommandations sur les détails :**

- Taille moyenne des ouvertures, de 25-40%.
- Aménagement d'espaces extérieurs pour dormir le soir.
- Murs extérieurs et planchers épais avec un temps de déphasage de 8 h.

### **VI-4-2-Application de la méthode de Steve Szokolay pour la ville de Sétif :**

La méthode de Szokolay consiste à établir la zone neutre en plus des différentes zones selon les données climatiques propres à chaque région. Tout en s'inspirant des travaux de ses prédécesseurs ; Olgay et Givoni, Szokolay a voulu intégrer les données climatiques comme faisant partie intégrante de la conception architecturale.

Plus spécifique que le diagramme de Givoni, la méthode de Szokolay permet de déterminer les différentes zones qui composent le diagramme avec les données climatiques spécifiques aux régions concernées.

En localisant une zone de confort on détermine les limites au delà desquelles des moyens passifs ou actifs doivent être mis en œuvre pour arriver au confort nécessaire à l'utilisateur.

Après avoir reporté les différents mois sur le diagramme, chaque mois étant représenté par une ligne dessinée entre deux points ; Nous observant que :

\* Seul une petite partie de l'année se situe en dehors de la zone de confort (une partie des mois de Juin, Juillet, Août et Septembre).

\*Une partie importante de la saison d'hiver se situe dans la zone de chauffage actif (mécanique) ; Il s'agit de tout le mois Janvier, la quasi-totalité des mois de Février et de Décembre, la moitié des mois de Mars et de Novembre et un tiers du mois d'Avril ce qui fait à peu près quatre mois et demi.

\*Une partie importante de cette saison hivernale se situe dans la zone de chauffage solaire (La moitié du mois de Mars et de Novembre, deux tiers du mois d'Avril et quasi-totalité de Mai et d'Octobre et deux tiers du mois de septembre.

N.B : Ce qui est étonnant c'est qu'une partie de la saison estivale est aussi dans la zone de chauffage passif c.-à-d. presque la moitié du mois de Juin et une petite partie des mois de Juillet et de Août qui sont les mois les plus chauds de l'année.

Utiliser les matériaux appropriés agir sur les parois.

\*Les mois de Juin, Juillet, Août ont une petite partie dans la zone de confort la majorité de ces mois se situe dans la zone de refroidissement passif : Ventilation naturelle, effet de masse et refroidissement évaporatif direct (sauf pour le mois de Juin qui n'est pas soumis à la ventilation naturelle).

Il ressort de l'analyse que la radiation solaire constitue un facteur important, vu l'importance de son intensité. Le facteur vent est une contrainte en hiver, seulement il constitue aussi un élément positif pour la ventilation en été.

Des résultats de l'analyse bioclimatique, il apparaît qu'en début de l'été seul l'effet de masse et la ventilation nocturne suffisent pour rétablir les conditions de confort à l'intérieur. Cependant durant les périodes de surchauffe (Juillet et Août) le système de refroidissement par évaporation s'ajoute aux techniques précédentes.

Pour la saison froide le chauffage passif ressort comme recommandation, il suffirait de bien dimensionner et orienter les ouvertures. Cependant pour les moments du grand froid (décembre et janvier) le chauffage d'appoint s'impose.

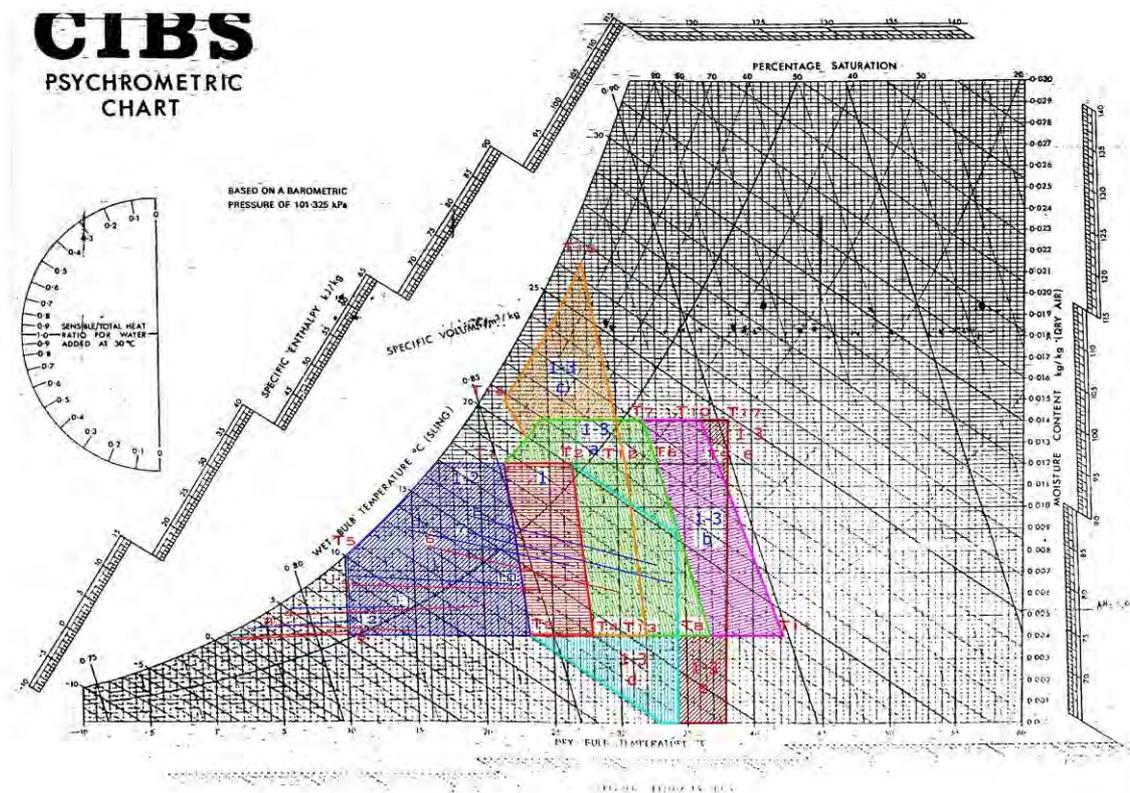


Figure A.4 : Méthode de détermination des zones de confort de Steeve Szokolay pour la ville de Sétif.

(Source : auteur)

### VI-4-3-Application de la méthode de Givoni :

Le diagramme psychrométrique de Givoni consiste à évaluer les exigences physiologiques du confort, à partir desquelles, les grandes lignes de la conception du bâtiment sont déterminées qui permettent de garantir ce confort ; Givoni a établi des zones d'intervention obtenus en fonction des données climatiques de chaque mois.

D'après le diagramme de Givoni on remarque que :

- \* La majeure partie de la saison hivernale se situe dans la zone de chauffage solaire passif (Janvier, Février, Mars, Octobre, Novembre Et Décembre et une partie de Septembre).
- \* Une partie de l'année se situe dans la zone de confort (une partie des mois de Juin, Juillet et septembre et une petite partie de Mai).
- \* Une partie de la saison estivale se trouve à l'intérieur de la zone de la ventilation naturelle et de l'inertie thermique.
- \* N.B : on peut confirmer la remarque faite dans la méthode de Szokolay : une partie de la saison estivale (Juin, Juillet et Août) sont dans la zone de possibilité de chauffage passif.

On compare les la méthode de Szokolay et celle de Givoni appliqué sur les données climatique de la ville de Sétif on constate qu'il existe une certaine cohérence entre les résultats des

deux méthodes sauf peut être pour la saison hivernale qui est plus détaillée dans la méthode de Szokolay (chauffage passif et actif) alors que celle de Givoni généralise le chauffage passif a tout la période.

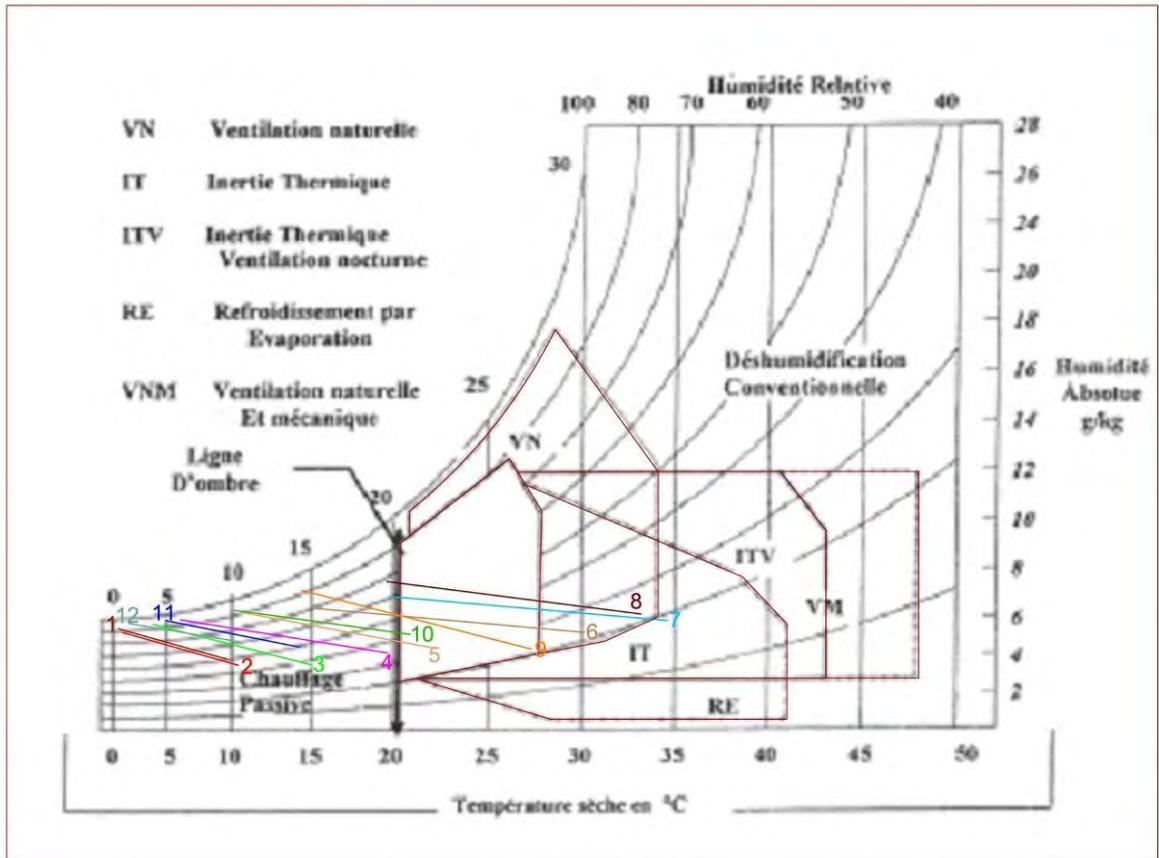


Figure A.5 : Diagramme psychrométrique de B.Givoni (Source : auteur)

#### VI-4-4-Détermination de la zone de confort et de la zone de surchauffe pou la ville de Sétif :

D'après le diagramme des isothermes de Sétif on a deux zones distinctes :

\*-La zone de surchauffe : située au delà de la courbe 24.25°C englobe les mois d'été dont les températures sont supérieures à 24.25°C s'étalant de la fin du mois de Mai jusqu'au début du mois d'octobre.

-Fin Mai : de 13h00 jusqu'à 16h00.

-Juin : de 11h30 jusqu'à 18h00.

-Juillet : de 09h10 jusqu'à 18h55.

-Août : de 09h30 jusqu'à 18h20.

-Septembre : de 12h15 jusqu'à 16h50.

-Octobre : de 13h00 jusqu'à 16h00.

Dans cette zone où l'intensité du soleil est maximale, elle doit être protégée en occultant convenablement.

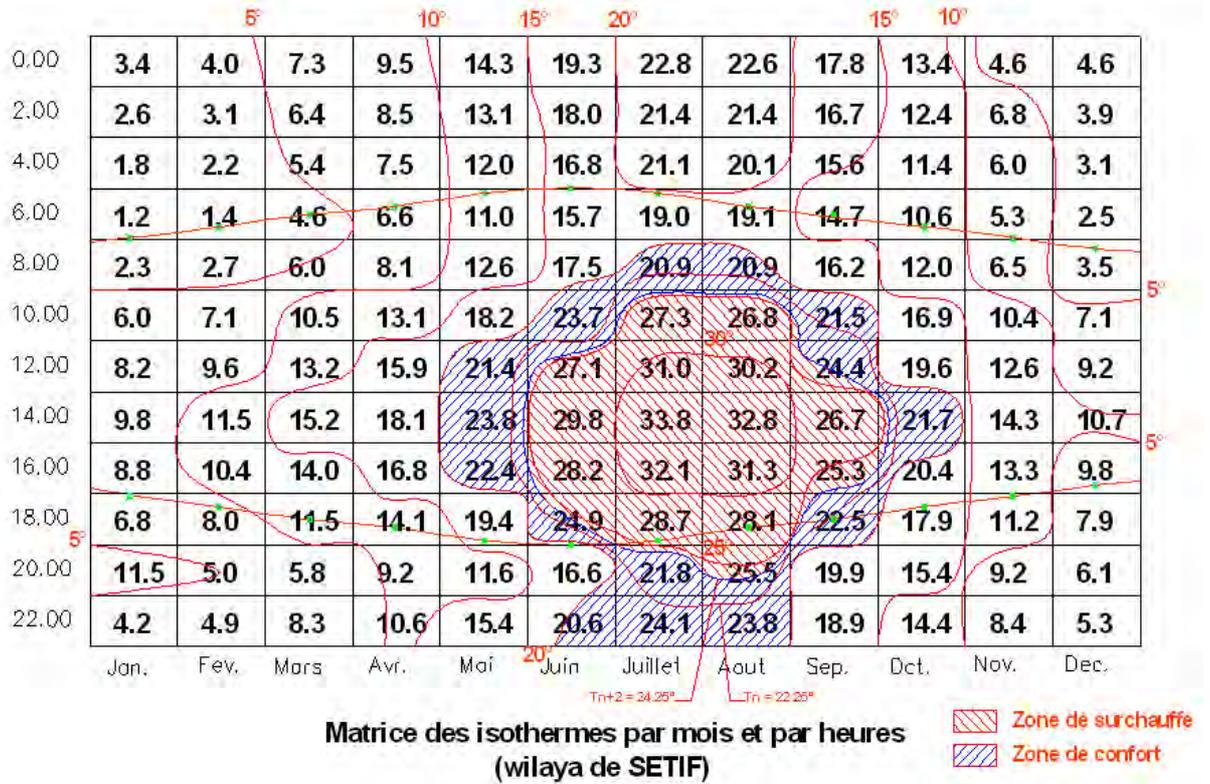
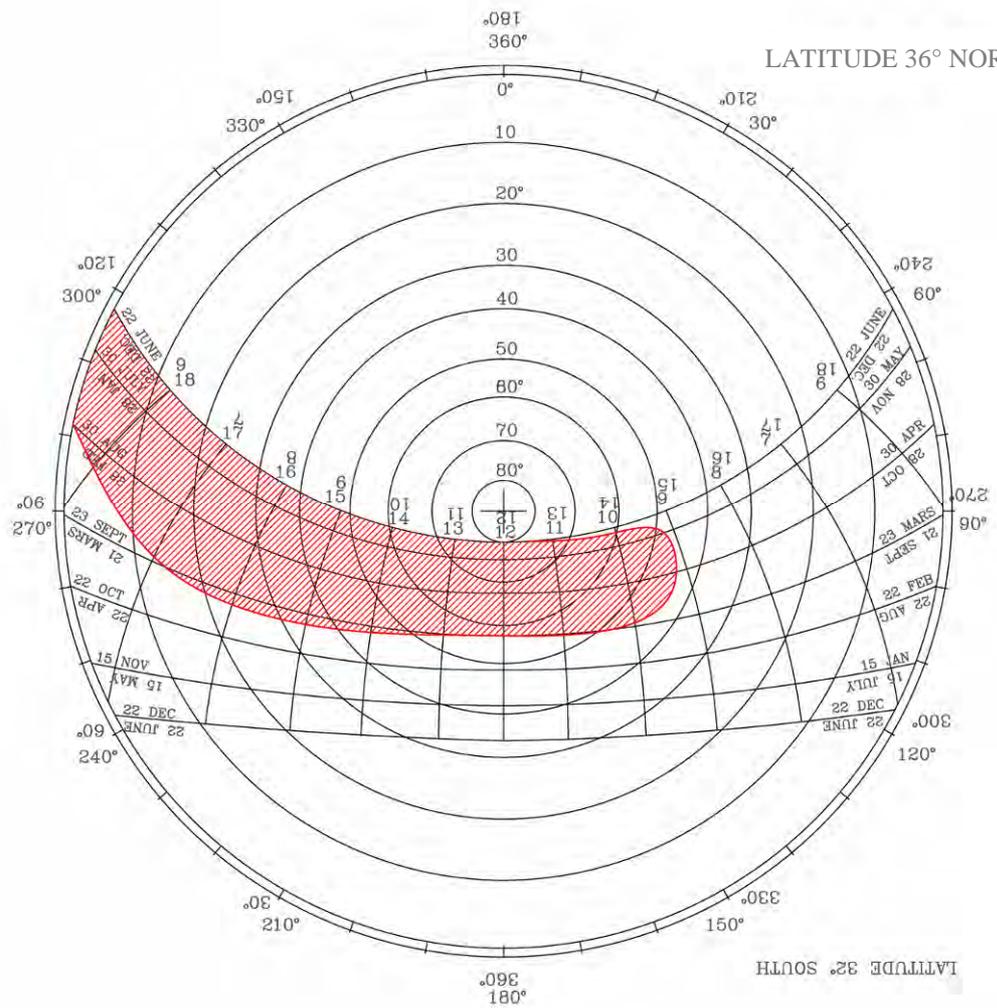


Figure A.6 : Matrice des isothermes par mois et par heures de la wilaya de Sétif. (Source : auteur)



**Figure A.7 : Superposition de la zone de surchauffe sur le diagramme polaire de la ville de Sétif.**

**(Source : auteur)**

## **Annexes IV : Programmes de simulation.**

### **1. Les fichiers Input d'ENVI-met :**

#### **1.1. Fichier de configuration (.CF=Configuration File) :**

C'est un fichier ASCII- texte simple qui définit les paramètres de la simulation en cours, par exemple le nom du fichier d'entrée, le nom des fichiers de sortie, l'heure et la date du début de la simulation, la durée de la simulation et les paramètres météorologiques.

Pour notre simulation on va utiliser un seul fichier de configuration pour les cinq scénarios, avec les mêmes paramètres, la seule chose qui va changer c'est le nom de la simulation et le nom du répertoire d'entrée et de sortie.

Dans la figure A.4 on peut voir comme exemple le fichier utilisé dans notre simulation avec tous les paramètres définis pour cette dernière.

```

ENVImet Configuration Editor - [AF.cf]
File Edit Add Section Help Window
* ---- Basic Configuration File for ENVI-met Version 3.0-----
* ---- MAIN-DATA Block -----
Name for Simulation (Text):                =AF
Input file Model Area                     =F:\AF\AF.in
Filebase name for Output (Text):          =AF
Output Directory:                         =F:\AF\envimet results
Start Simulation at Day (DD.MM.YYYY):     =01.08.2007
Start Simulation at Time (HH:MM:SS):      =00:05:00
Total Simulation Time in Hours:           =13.00
Save Model State each ? min              =60
Wind Speed in 10 m ab. Ground [m/s]      =1
Wind Direction (0:N..90:E..180:S..270:W..) =20
Roughness Length z0 at Reference Point    =0.1
Initial Temperature Atmosphere [K]        =294
Specific Humidity in 2500 m [g Water/kg air] =7
Relative Humidity in 2m [%]               =63
Database Plants                           =[input]\Plants.dat
[SOILDATA]                               Settings for Soil
Initial Temperature Upper Layer (0-20 cm) [K]=300
Initial Temperature Middle Layer (20-50 cm) [K]=300
Initial Temperature Deep Layer (below 50 cm) [K]=300
Relative Humidity Upper Layer (0-20 cm)    =60
Relative Humidity Middle Layer (20-50 cm)  =70
Relative Humidity Deep Layer (below 50 cm) =70
[TIMING]                                  Update & Save Intervals
Update Surface Data each ? sec             =30.0
Update Wind field each ? sec               =900
Update Radiation and Shadows each ? sec    =600
Update Plant Data each ? sec               =600
[TURBULENCE]                              Options Turbulence Model
Turbulence Closure ABL (0:diag.,1:progno.) =1
Turbulence Closure 3D Modell (0:diag.,1:prog)=2
Upper Boundary for e-epsilon (0:clsd.,1:op.) =0
[BUILDING]                                 Building properties
Inside Temperature [K]                    = 295
Heat Transmission Walls [W/m²K]            =0.379
Heat Transmission Roofs [W/m²K]           =1.94
Albedo Walls                              =0.8
Albedo Roofs                              =0.4
[PLANTMODEL]                              Settings for plant model
Stomata res. approach (1=Deardorff, 2=A-gs) =2
Background CO2 concentration [ppm]        =350
[POSITION]                                 Where the area is located on earth
Longitude (+:east -:west) in dec. deg:    =5.24
Latitude (+:northern -:southern) in dec.deg: =36.11
Longitude Time Zone Definition:            =1.0
[NESTINGAREA]                              Settings for nesting
Use aver. solar input in nesting area (0:n,1:y) =1
Include Nesting Grids in Output (0:n,1:y)  =0
[NESTING]                                  Nesting Settings
Number of Nesting Grids                   =5
Soil profile "A" for mesoscale Nesting:    =" s"
Soil profile "B" for mesoscale Nesting:    =" p"
Include Nesting Grids in Output (0:n,1:y)  =1
[PMV]                                       Settings for PMV-Calculation
Walking Speed (m/s)                      =0.3
Energy-Exchange (Col. 2 M/A)              =116
Mech. Factor                              =0.0
Heattransfer resistance cloths              =0.5

```

Figure A.8 : Fichier de configuration (.CF) utilisé lors de la simulation.

(Source : auteur)

## 1.2. Fichier d'entrée de la zone étudiée (.IN=Input File) :

L'un des fichiers de base d'ENVI-met. Il précise la géométrie de l'environnement modélisé tels que les bâtiments, les végétaux ou les sols en détail, donc c'est modèle organisé comme une zone rectangulaire qui s'étend en 3 dimensions.

Les informations stockées dans les fichiers d'entrée du quartier incluent :

- la position et la hauteur des bâtiments.
- la position et la hauteur de plantes.
- la distribution de matériaux de surface et des types de sols.
- les bases de données.
- la situation géographique de l'endroit sur terre.
- la position des récepteurs (Les récepteurs sont certains points de l'intérieur du modèle, où les processus atmosphérique et au niveau du sol sont suivi avec détail), dans notre cas on a choisit quatre récepteurs qui correspondent aux quartes stations de mesure lors de l'investigation, et cela pour que les valeurs des différents paramètres climatiques (températures, humidités et vitesse des vents) et bioclimatiques (PMV et PPD).

Contrairement au fichier de configuration (.CF), pour chaque scenario il existe un fichier (.IN) spécifique.



Figure A.9 :Exemple de fichier d'entrée de la zone étudiée (.IN)

(Source : auteur)

## **2. Les fichiers Output d'ENVI-met :**

ENVI-Met génère une multitude de données pour chaque simulation sous forme de fichiers de différentes extensions. Certains fichiers de sortie sont de simples fichiers ASCII qui peuvent être lus par de simple logiciel et dont le résultat est sous forme de fichiers textes, tel que WinWord. D'autres fichiers sont des fichiers binaires qui doivent être lus avec d'autres programmes tels que Leonardo 3.0 et dont le résultat est sous forme graphique. On peut citer comme fichier de sortie :

### **2.1. Fichier de visualisation 3D (.EDT) :**

Comme on l'a déjà dit ces fichiers sont assez complexes et ne peuvent être ouverts qu'avec le logiciel LEONARDO 3.0 qui permet une visualisation en 2d ou en 3d des résultats obtenus lors de la simulation, sous forme graphique.

### **2.2. Fichier de récepteur atmosphérique (.1DR) :**

Ces fichiers sont importants car ils indiquent l'état de l'atmosphère et de la surface du sol aux lieux où sont placés les récepteurs choisis à l'intérieur du modèle. Parmi les données contenues dans les fichiers des récepteurs de l'atmosphère et qui nous intéressent :

- \*-T : la température de l'air en degré Kelvin.
- \*-q : l'humidité spécifique en g/kg.
- \*-wSpeed : la vitesse du vent en m/s.
- \*-Dir : la direction du vent en degrés.

Il a fallu donc faire la collecte de ces trois paramètres et cela à partir de tous les fichiers de sortie, pour chaque scénario, pour chaque heure et pour chaque récepteur pour enfin les agencer dans des tableaux et pouvoir ainsi les analyser.

Dans la figure A.6, on peut voir l'un des fichiers 1DR obtenus lors de la simulation du modèle avec les paramètres utiles à notre recherche.

Fichier Edition Format Affichage ?

# Receptor: 1 Atmosphere, created with ENVI-met V3.0 @ Michael Bruse 1997-2004

#	Date	Time	modtime	z(m)	u	v	w	Wspeed	wDir	T	dt/dt	q	km	km_
01.08.2007	01:00:00	60	0.20	-0.19	-0.28	-0.00	0.34	33.75	295.01	-1.53	10.17	0.19877	42	
01.08.2007	01:00:00	60	0.60	-0.20	-0.29	-0.00	0.35	33.88	295.00	-1.52	10.15	0.20047	14	
01.08.2007	01:00:00	60	1.00	-0.20	-0.30	-0.01	0.36	34.04	294.99	-1.52	10.14	0.20495	8.	
01.08.2007	01:00:00	60	1.40	-0.20	-0.30	-0.01	0.36	34.22	294.99	-1.51	10.13	0.21184	6.	
01.08.2007	01:00:00	60	1.80	-0.21	-0.30	-0.01	0.37	34.40	294.98	-1.50	10.11	0.22080	5.	
01.08.2007	01:00:00	60	3.00	-0.21	-0.30	-0.02	0.36	34.91	294.96	-1.48	10.09	0.24035	3.	
01.08.2007	01:00:00	60	5.00	-0.15	-0.22	-0.02	0.27	34.37	294.93	-1.41	10.03	0.29609	2.	
01.08.2007	01:00:00	60	7.00	-0.06	-0.14	-0.03	0.16	21.09	294.91	-1.35	9.97	0.35141	2.	
01.08.2007	01:00:00	60	9.00	0.01	-0.13	-0.06	0.15	355.93	294.89	-1.29	9.91	0.39714	1.	
01.08.2007	01:00:00	60	11.00	0.03	-0.17	-0.10	0.20	349.15	294.89	-1.24	9.86	0.42737	1.	
01.08.2007	01:00:00	60	13.00	0.03	-0.24	-0.14	0.28	353.96	294.89	-1.19	9.82	0.44314	1.	
01.08.2007	01:00:00	60	15.00	-0.00	-0.31	-0.19	0.37	0.91	294.90	-1.14	9.78	0.44694	1.	
01.08.2007	01:00:00	60	17.00	-0.05	-0.39	-0.24	0.46	7.71	294.91	-1.09	9.74	0.44113	1.	
01.08.2007	01:00:00	60	19.00	-0.12	-0.47	-0.29	0.57	14.09	294.92	-1.05	9.70	0.42795	0.	
01.08.2007	01:00:00	60	21.00	-0.21	-0.58	-0.33	0.69	19.68	294.94	-1.00	9.66	0.40976	0.	
01.08.2007	01:00:00	60	23.00	-0.31	-0.71	-0.36	0.85	23.90	294.95	-0.96	9.62	0.38876	0.	
01.08.2007	01:00:00	60	25.00	-0.43	-0.87	-0.38	1.04	26.43	294.97	-0.92	9.58	0.36645	0.	
01.08.2007	01:00:00	60	27.00	-0.55	-1.06	-0.38	1.25	27.39	294.98	-0.88	9.55	0.34356	0.	
01.08.2007	01:00:00	60	29.00	-0.66	-1.27	-0.36	1.48	27.23	295.00	-0.84	9.52	0.32107	0.	
01.08.2007	01:00:00	60	31.00	-0.74	-1.48	-0.32	1.68	26.57	295.02	-0.81	9.48	0.30247	0.	
01.08.2007	01:00:00	60	33.00	-0.79	-1.62	-0.27	1.82	26.09	295.04	-0.77	9.46	0.29564	0.	
01.08.2007	01:00:00	60	35.00	-0.81	-1.68	-0.22	1.88	25.76	295.06	-0.74	9.43	0.31108	0.	
01.08.2007	01:00:00	60	37.00	-0.80	-1.69	-0.17	1.88	25.31	295.07	-0.72	9.42	0.35715	0.	
01.08.2007	01:00:00	60	39.00	-0.76	-1.66	-0.12	1.83	24.62	295.08	-0.69	9.40	0.43564	0.	
01.08.2007	01:00:00	60	41.00	-0.71	-1.61	-0.08	1.76	23.67	295.09	-0.68	9.39	0.54987	0.	
01.08.2007	01:00:00	60	43.00	-0.65	-1.56	-0.05	1.69	22.57	295.10	-0.67	9.38	0.72293	0.	
01.08.2007	01:00:00	60	45.00	-0.60	-1.52	-0.02	1.64	21.45	295.10	-0.66	9.37	1.02375	0.	
01.08.2007	01:00:00	60	47.00	-0.56	-1.50	-0.01	1.61	20.53	295.10	-0.65	9.37	1.61030	1.	
01.08.2007	01:00:00	60	49.00	-0.55	-1.51	-0.00	1.60	20.00	295.10	-0.65	9.37	2.80977	2.	

Figure A.10 : Fichier de sortie (.1DR) de l'un des récepteurs atmosphériques.

(Source : auteur)

### 2.3. Remarque :

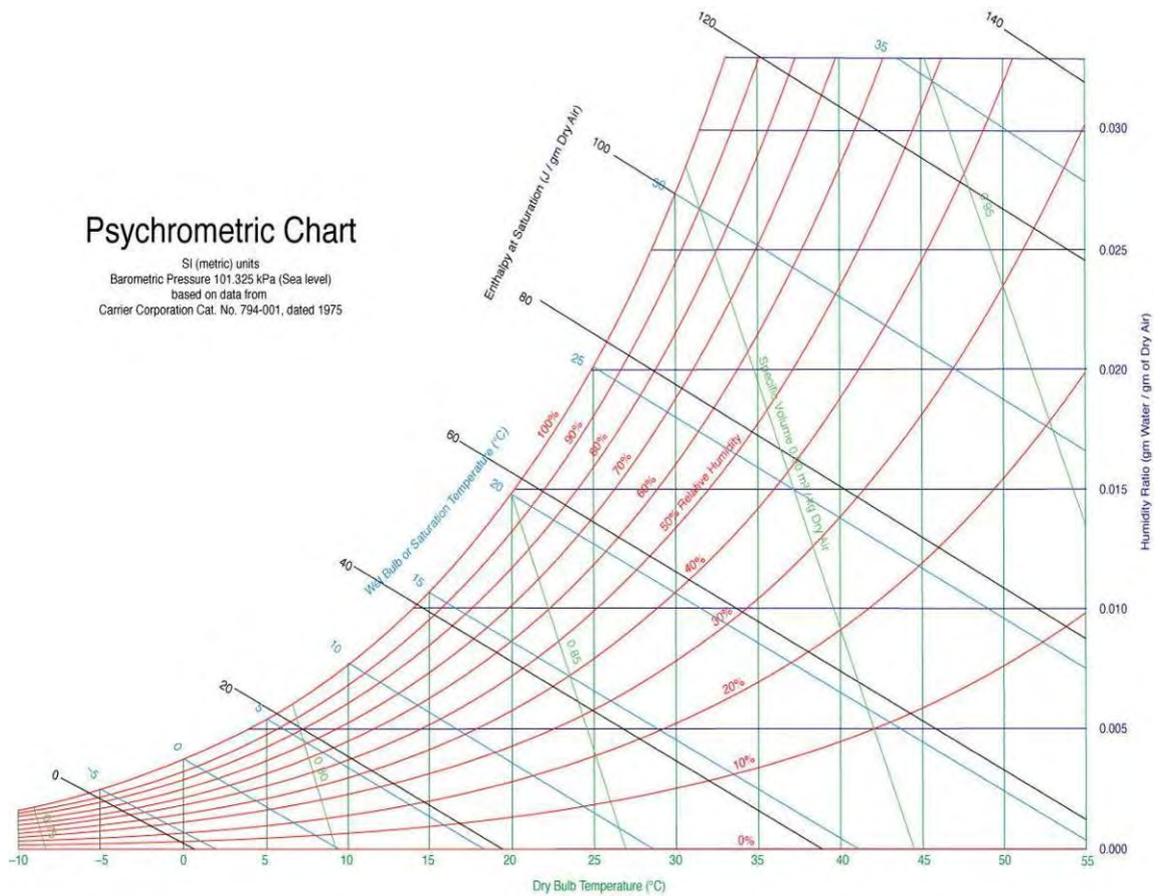
On remarque que les températures obtenues lors des simulations sont en degrés Kelvin, ce qui implique une simple conversion en degrés Celsius.

La même chose pour les valeurs de vitesse de vent qui sont en m/s et donc sont utilisées directement sans conversion.

Le cas ne s'applique pas pour l'humidité absolue qui doit être convertie en humidité relative pour qu'elle puisse être comparée aux valeurs mesurées.

Pour cela nous avons le choix entre deux méthodes. La première fut l'utilisation du diagramme psychrométrique (Figure A.7), et comme deuxième solution l'utilisation d'un logiciel convertisseur qui s'appelle Vaisala Humidity Calculator 2.1 (Figure A.8), qui permet de calculer de nombreux paramètres d'humidité à partir d'une seule valeur connue. Il réalise des conversions d'unités rapides et permet de voir les effets d'une modification des conditions ambiantes, comme la température et la pression.

En plus il calcule ou convertit : l'humidité relative, le point de rosée/de givre, l'humidité absolue, la teneur en eau, le rapport des mélanges, la pression de la vapeur, les parties par millions et température humide.



**Figure A.11 : diagramme psychométrique, pour un point au niveau de la mer.**  
 (Source : <http://fr.wikipedia.org/>)

Finalement notre choix s’est tourné vers le logiciel pour trois raisons :

- La rapidité et la simplicité d’exécution des opérations de calcul de l’humidité relative, qui nous a fait gagner beaucoup de temps.
- La plupart des diagrammes psychométrique disponibles sont des abaques conçus pour des lieux à niveau de la mer avec une pression atmosphérique de 1013.25 Hpa, ou d’autres altitudes qui ne correspondent pas à celle de la ville de Sétif qui se trouve à 1,096m avec une pression atmosphérique de 888.32 Hpa, chose que permet le convertisseur en introduisant simplement la nouvelle valeur dans la case de la pression atmosphérique.
- Une comparaison de quelques valeurs tirées du logiciel avec celles des diagrammes psychométriques existant révèle une concordance quasi-parfaite, ce qui confirme que le convertisseur est fiable.

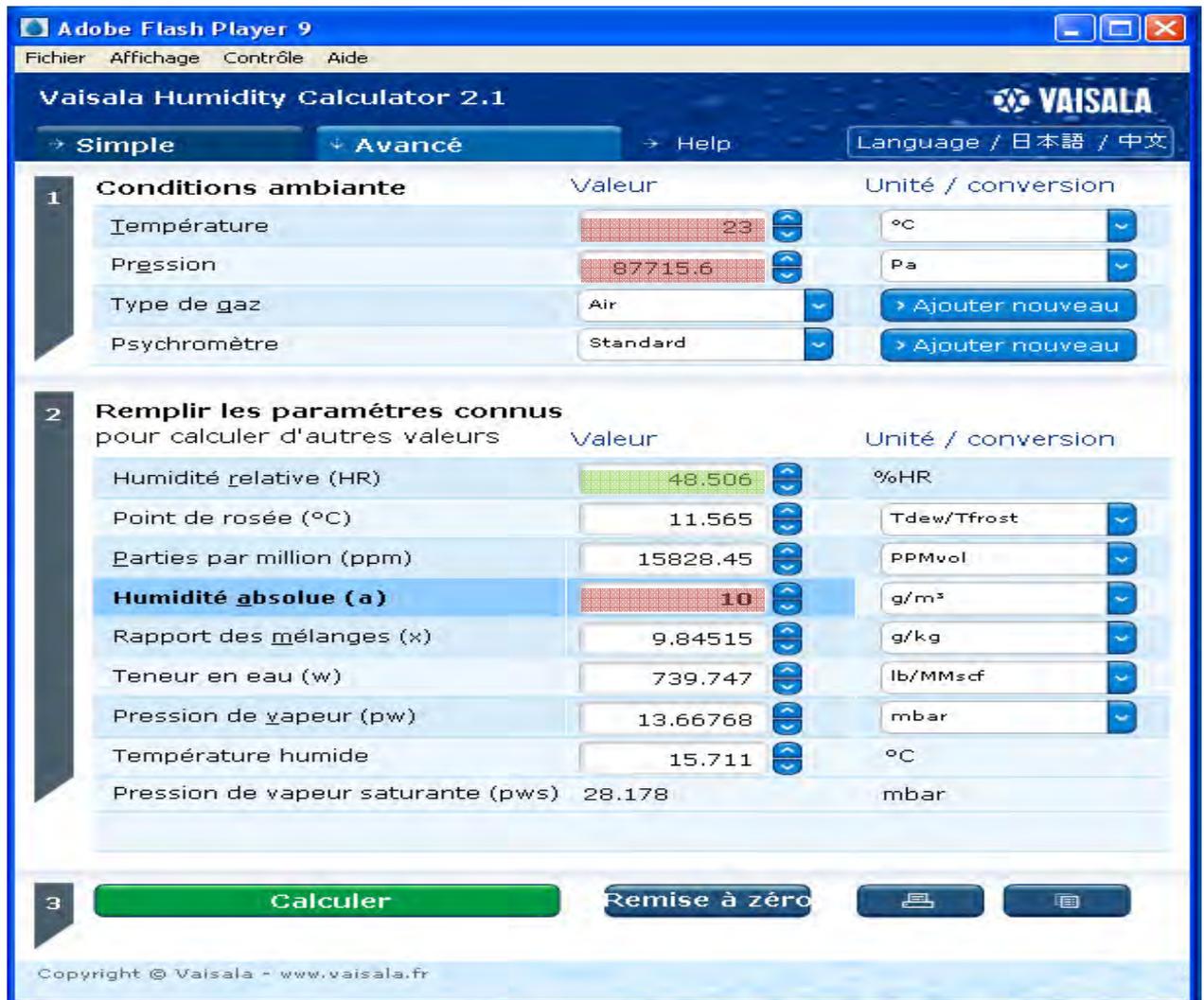


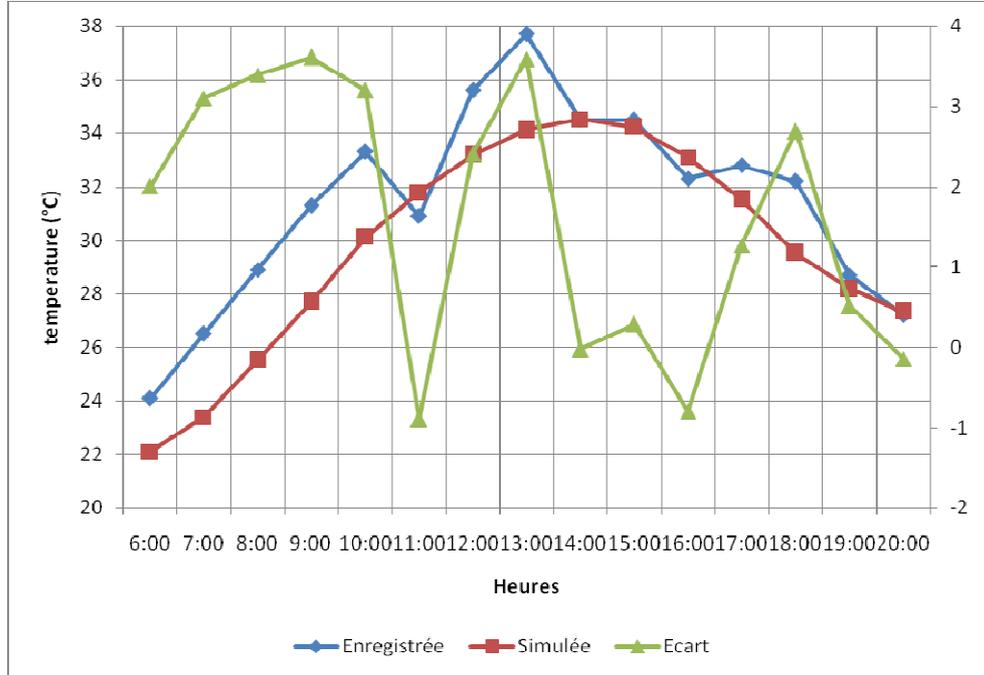
Figure A.12 : aperçu sur l'interface du logiciel Vaisala Humidity Calculator 2.1

(Source <http://www.vaisala.fr/>)

**Annexes IV : Comparaison entre les valeurs mesurées et les valeurs simulées pour chaque station.**

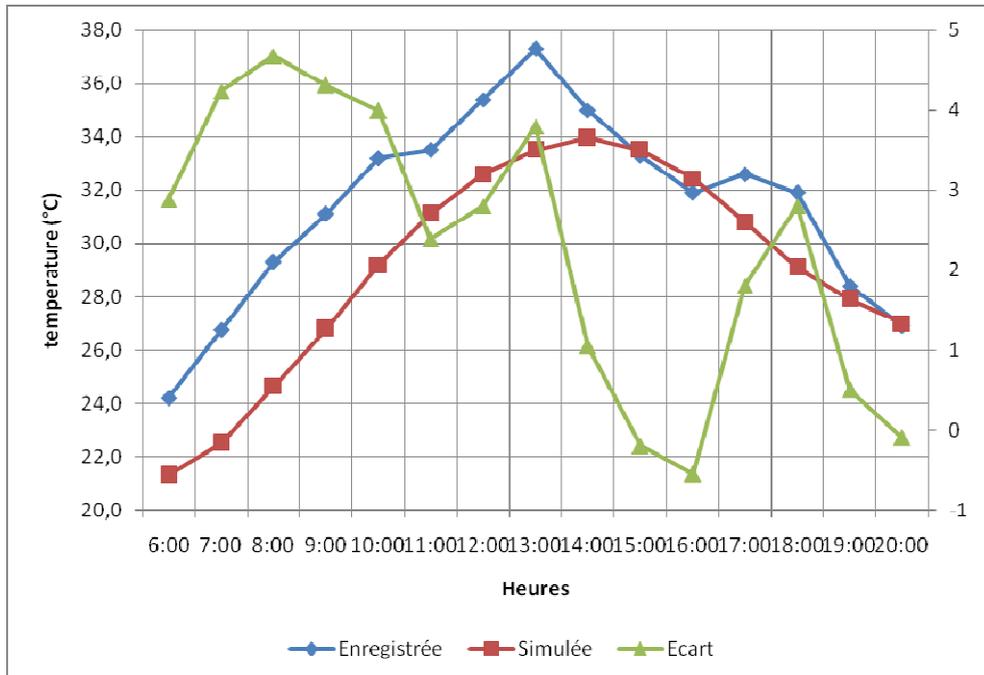
**1. La température de l'air :**

**1.1. Station 1 :**



**Figure A.13 : Comparaison entre les températures mesurées In-situ et les valeurs simulées pour la station S1.**  
(Source : auteur)(01-08-2007)

**1.2. Station 2 :**



**Figure A.14 : Comparaison entre les températures mesurées In-situ et les valeurs simulées pour la station S2.**  
(Source : auteur)(01-08-2007)

### 1.3. Station 3 :

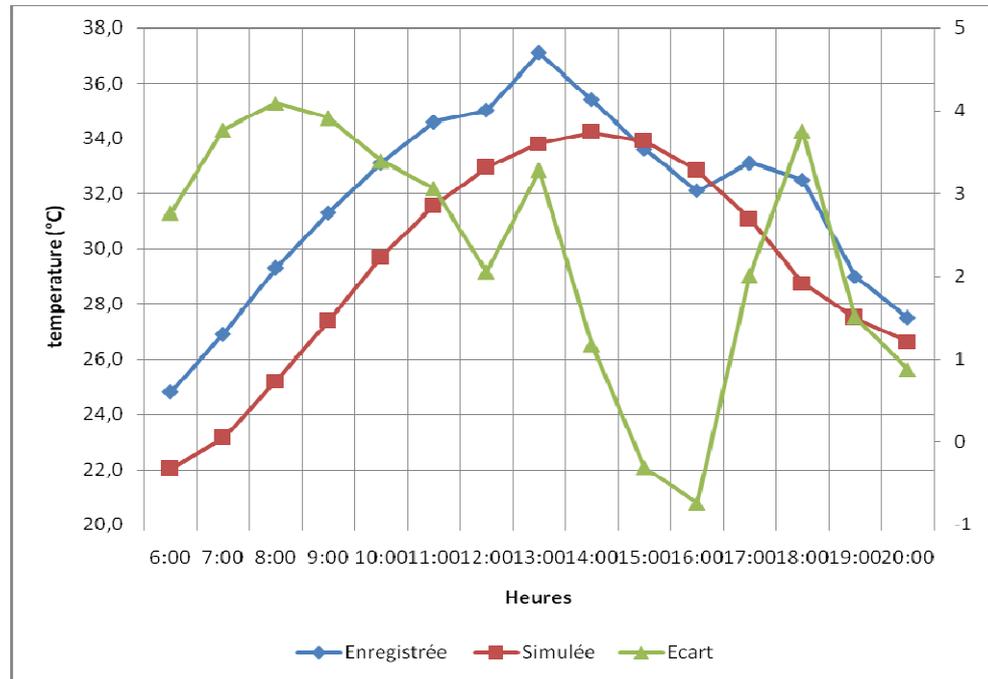


Figure A.15 : Comparaison entre les températures mesurées In-situ et les valeurs simulées pour la station S3.  
(Source : auteur)(01-08-2007)

### 1.4. Station 4 :

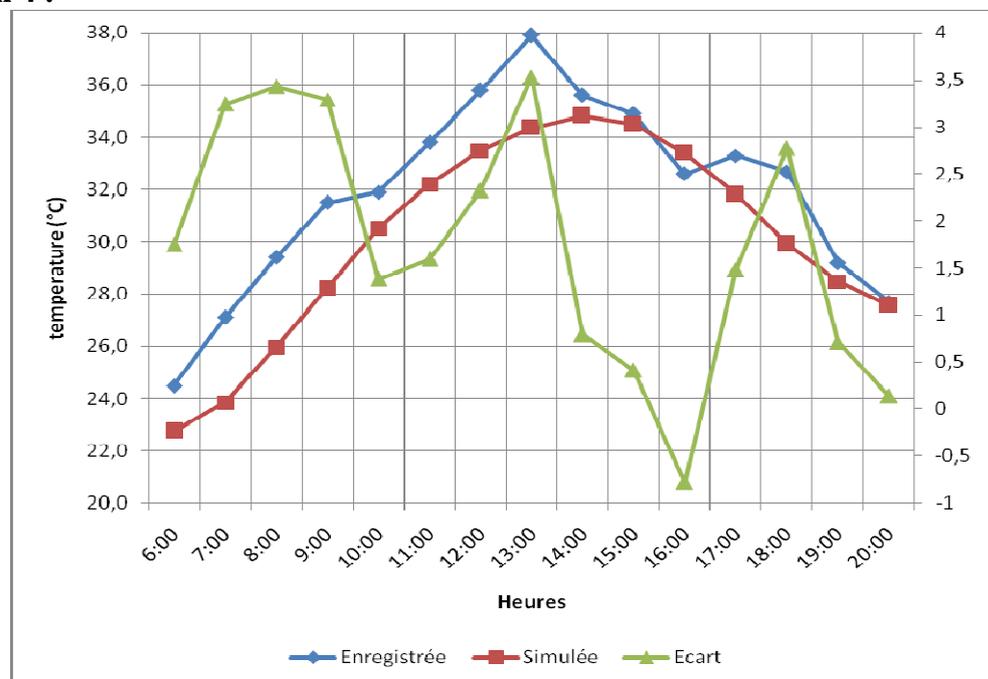
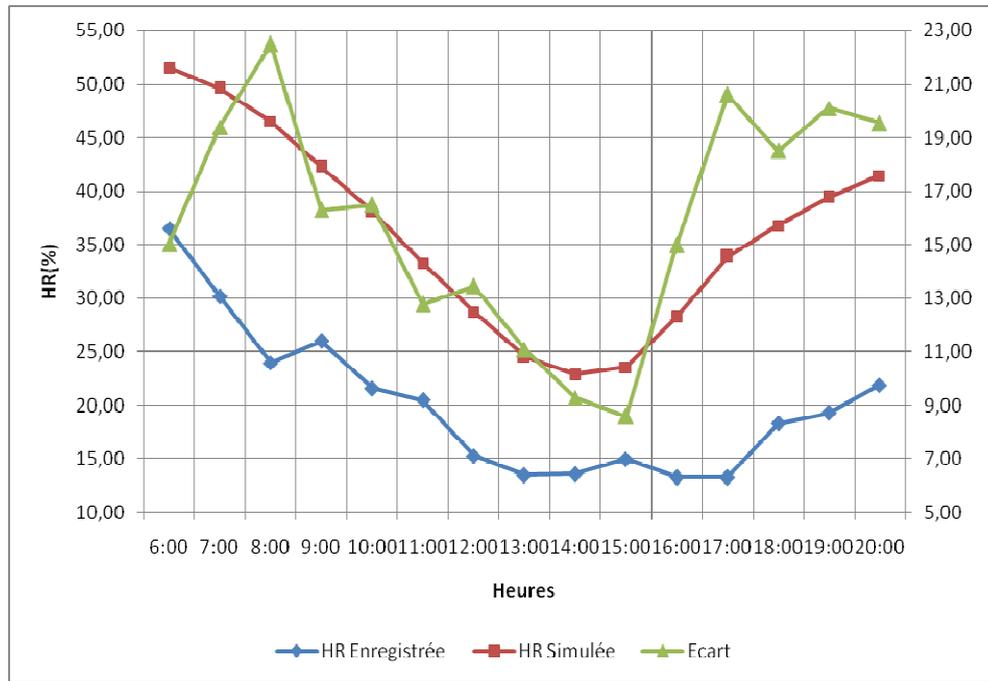


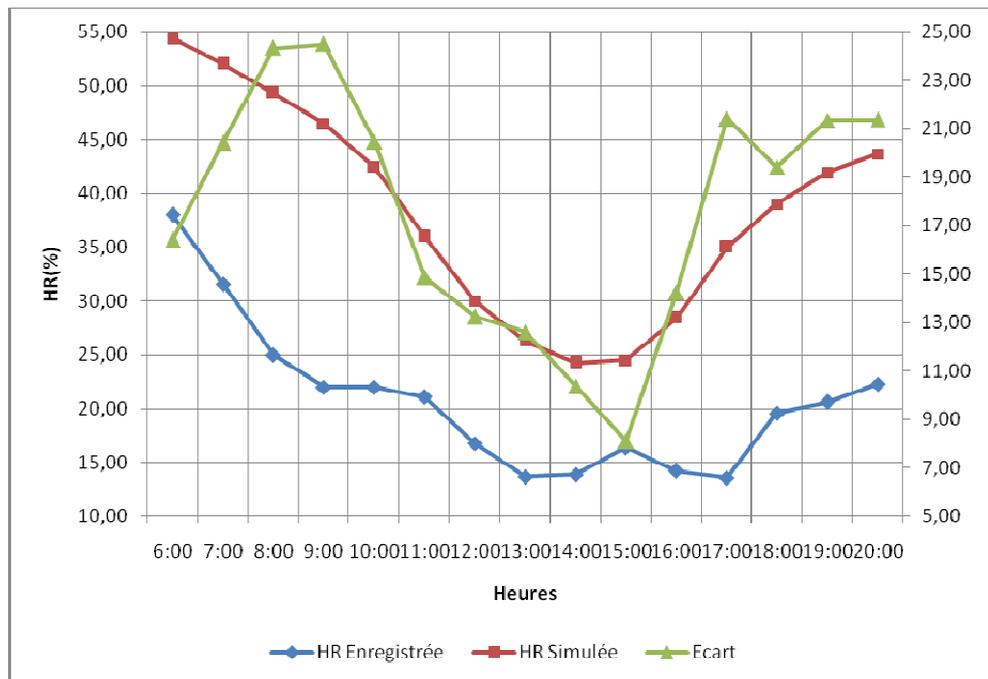
Figure A.16 : Comparaison entre les températures mesurées In-situ et les valeurs simulées pour la station S4.  
(Source : auteur)(01-08-2007)

**2. L'humidité relative :**  
**2.1. Station 1 :**



**Figure A.17 : Comparaison entre les humidités relatives mesurées In-situ et les valeurs simulées pour la station S1. (Source : auteur)(01-08-2007)**

**2.2. Station 2 :**



**Figure A.18 : Comparaison entre les humidités relatives mesurées In-situ et les valeurs simulées pour la station S2. (Source : auteur)(01-08-2007)**

### 2.3. Station 3 :

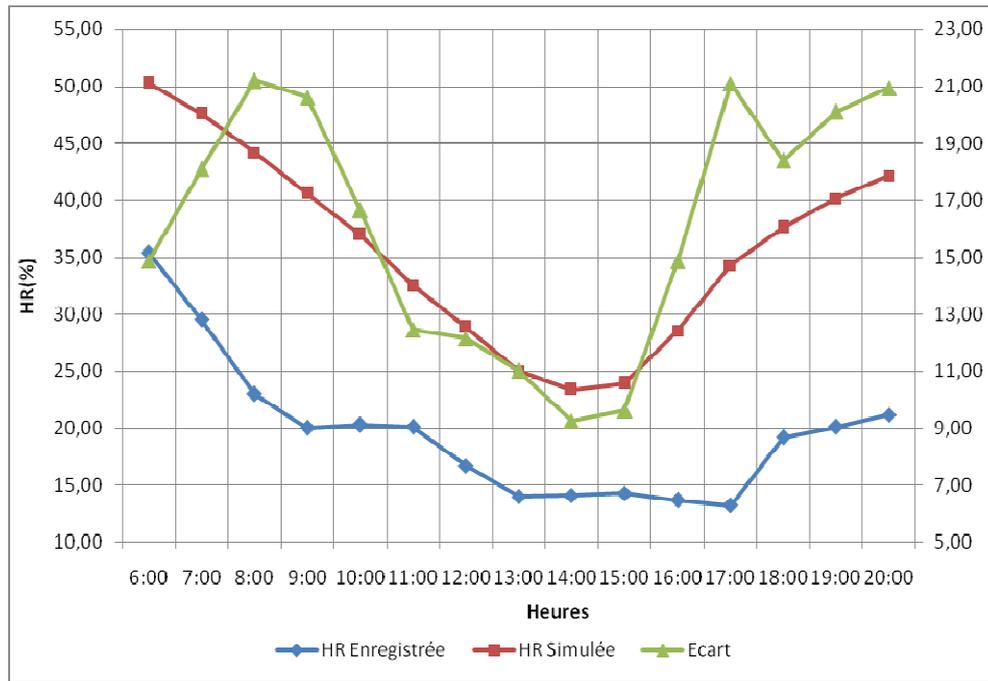


Figure A.19 : Comparaison entre les humidités relatives mesurées In-situ et les valeurs simulées pour la station S3. (Source : auteur)(01-08-2007)

### 2.4. Station 4 :

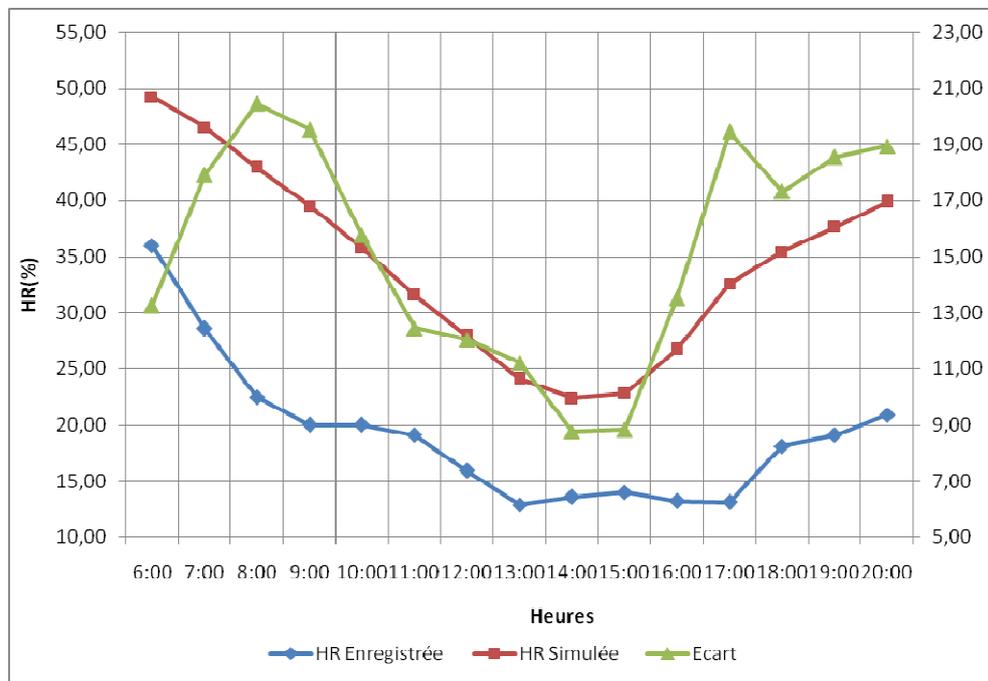


Figure A.20 : Comparaison entre les humidités relatives mesurées In-situ et les valeurs simulées pour la station S4. (Source : auteur)(01-08-2007)

### 3. La vitesse des vents :

#### 3.1. Station 1 :

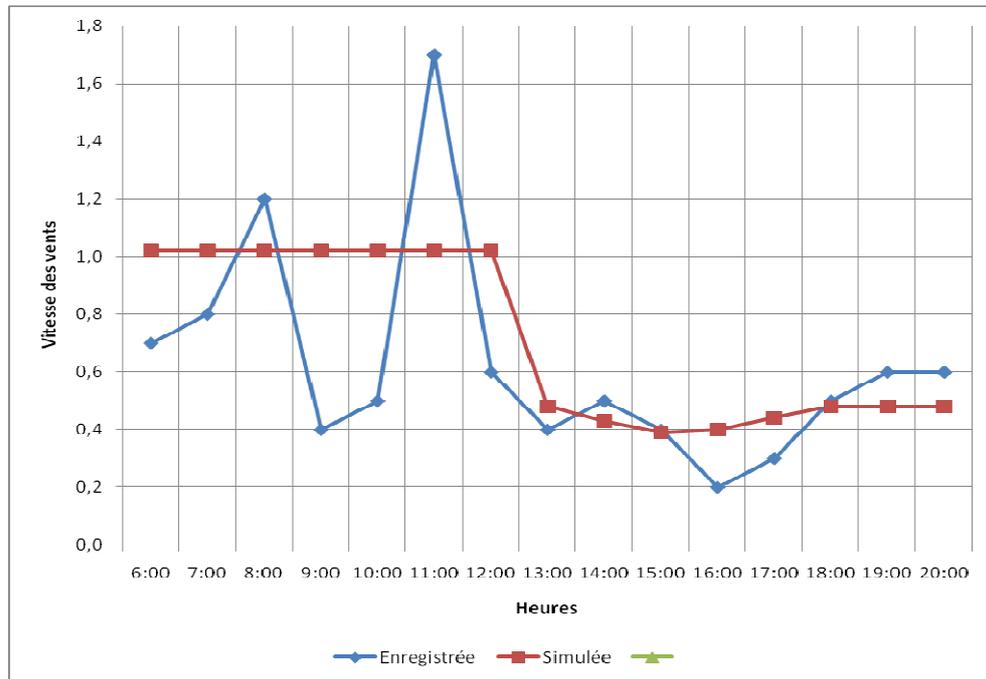


Figure A.21 : Comparaison entre les vitesses des vents relatives mesurées In-situ et les valeurs simulées pour la station S1. (Source : auteur)(01-08-2007)

#### 3.2. Station 2 :

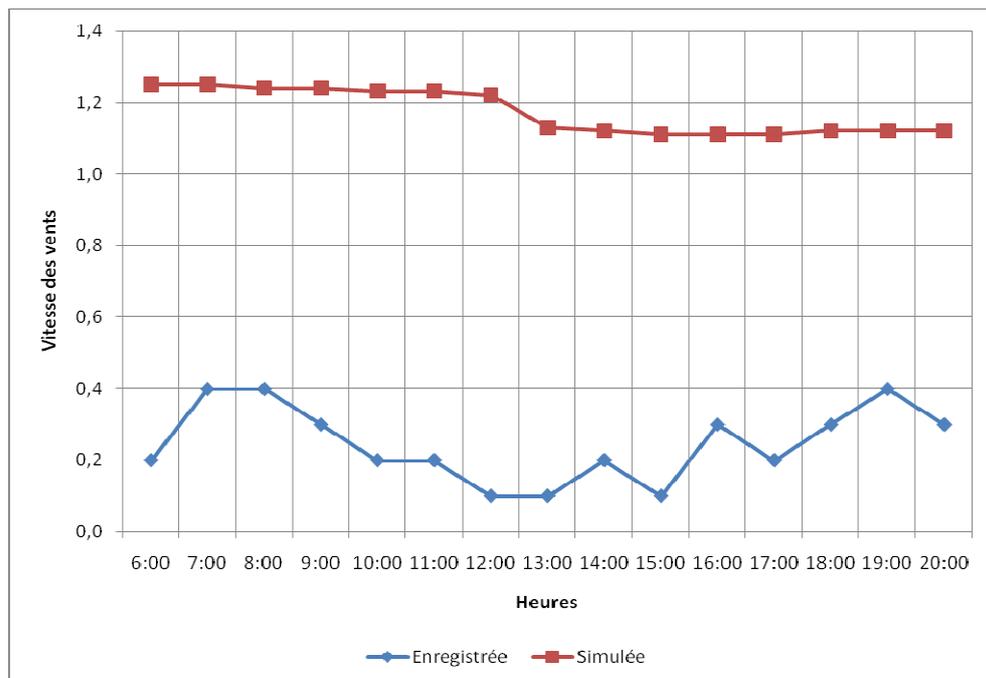


Figure A.22 : Comparaison entre les vitesses des vents relatives mesurées In-situ et les valeurs simulées pour la station S2. (Source : auteur)(01-08-2007)

### 3.3. Station 3 :

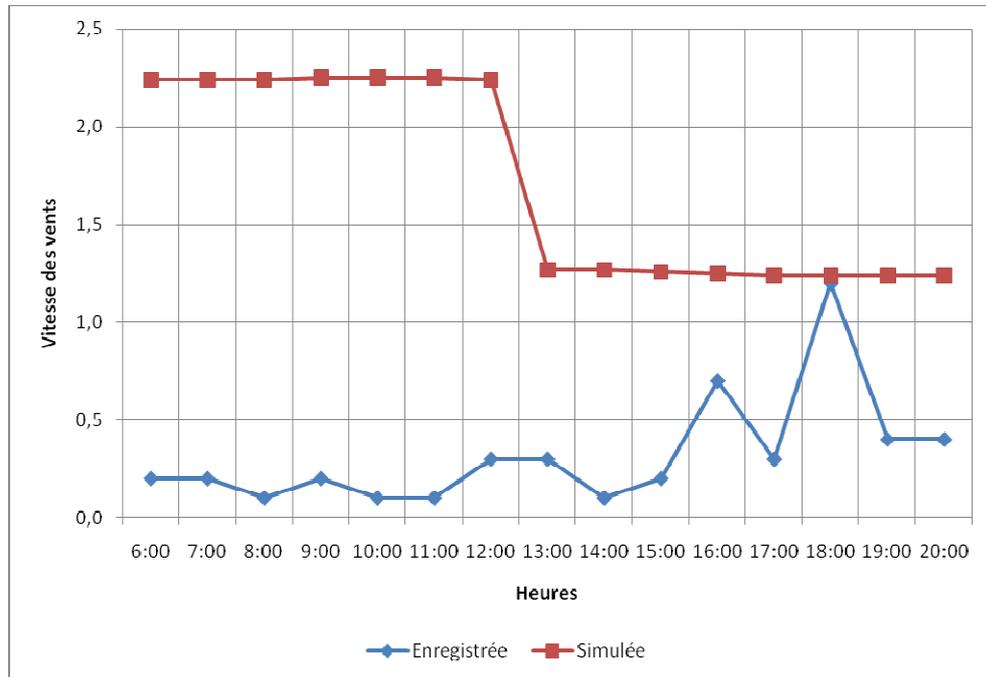


Figure A.23 : Comparaison entre les vitesses des vents relatives mesurées In-situ et les valeurs simulées pour la station S3. (Source : auteur)(01-08-2007)

### 3.4. Station 4 :

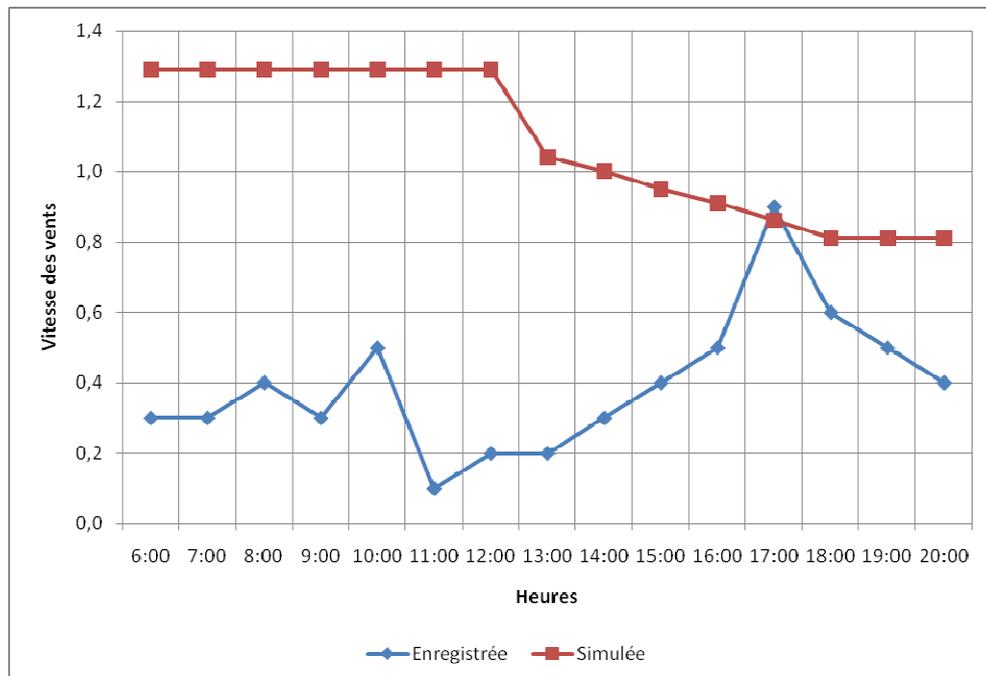
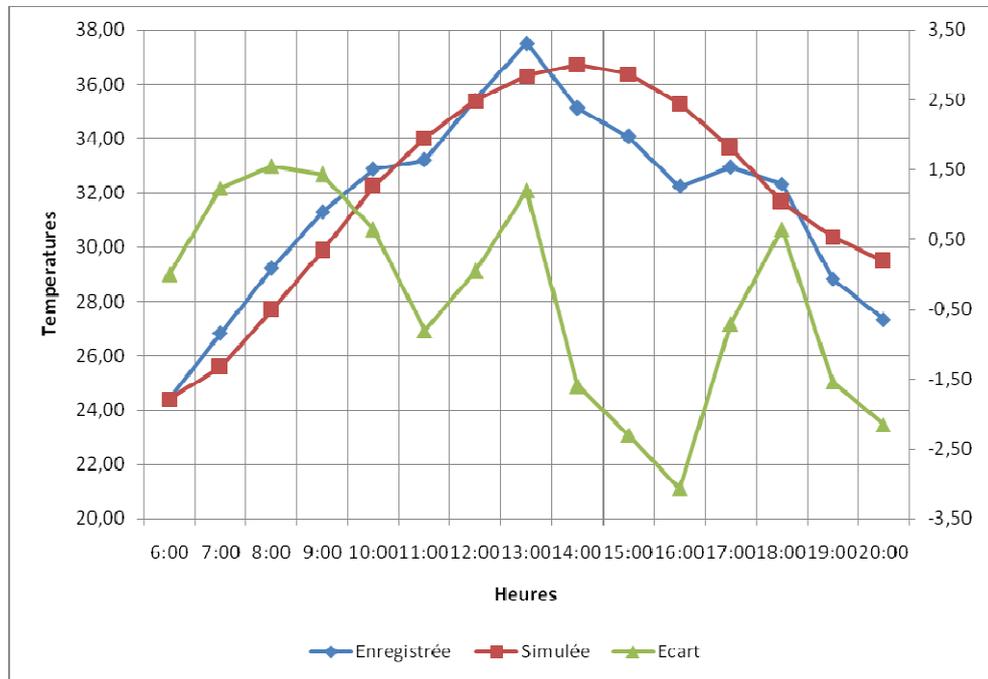


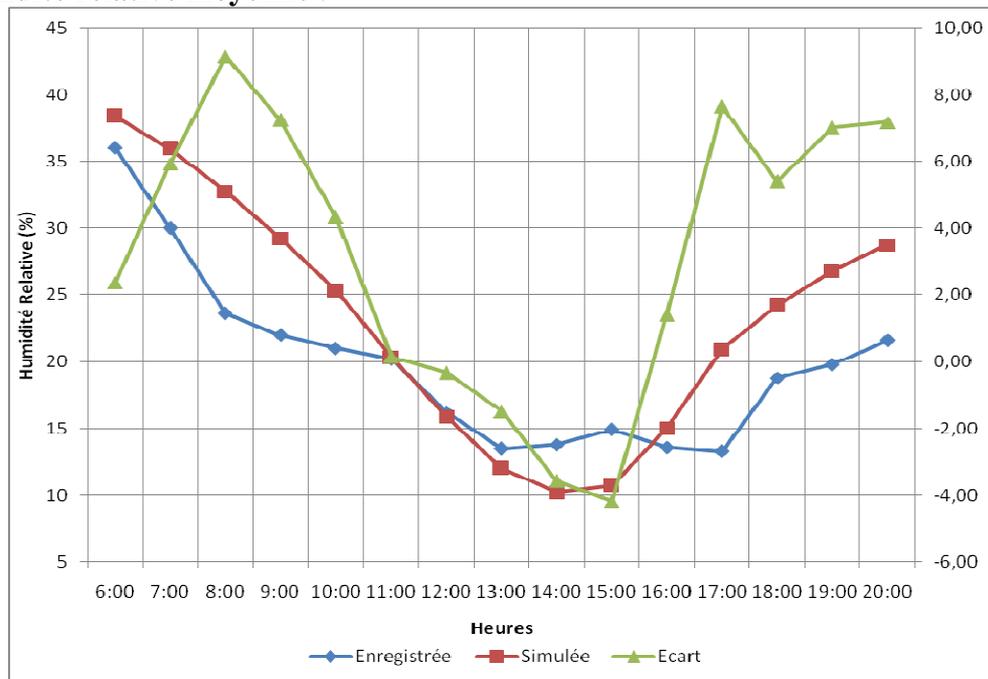
Figure A.24 : Comparaison entre les vitesses des vents relatives mesurées In-situ et les valeurs simulées pour la station S4. (Source : auteur)(01-08-2007)

**4. Rééquilibrage des courbes simulées selon les valeurs d'entrées enregistrées dans la place :**  
**4.1. La température moyenne de l'air :**



**Figure A.25 : Comparaison entre les tempéécatures mesurées In-situ et les valeurs simulées pour la station S4.**  
 (Source : auteur)(01-08-2007)

**4.1. L'humidité relative moyenne :**



**Figure A.26 : Comparaison entre les humidités relatives mesurées In-situ et les valeurs simulées pour la station S1. (Source : auteur)(01-08-2007)**

**Annexes V : Aménagements urbains mettant l'eau en matières.**



**Figure A.27 : Parc André Citroën. Paris, France (Source : JML,2008).**



**Figure A.28 : Parc Diderot. Courbevoie, France (Source : JML,2008)**



**Figure A.29 : Place Sainte Cécile. Albi, France. (Source : JML,2008)**



Figure A.30 : Rond-point de l'Europe. La Garenne-Colombes, France. (Source : JML,2008)



Figure A.31 : The Mall -Cribbs Causeway.Bristol, Royaume-Uni (Source : JML,2008)



Figure A.32 : Place de Verdun. Tarbes, France (Source : JML,2008)



Figure A.33 : Parc de Bercy. Paris, France (Source : JML,2008)



Figure A.34 : Carrefour Pleyel. Saint-Denis, France. (Source : JML,2008)



Figure A.35 : Place Rapp. Colmar, France. (Source : JML,2008)



Figure A.36 : Place de la Liberté. Lons-le-Saulnier, France. (Source : JML,2008)



Figure A.37 : Rueil 2000. Rueil-Malmaison, France. (Source : JML,2008)



Figure A.38 : Avenue Marx Dormoy. Montluçon, France (Source : JML,2008)



**Figure A.39 : Place de l'Eau. Le Blanc-Mesnil, France. (Source : JML,2008)**



**Figure A.40 : Crown Fountain. Millenium Park. Chicago, États-Unis. (Source : JML,2008)**



**Figure A.41 : Place du Nombre d'Or. Montpellier, France. (Source : JML,2008)**

## Bibliographies:

### Livres:

- 1-Adolphe L.:** Ambiances architecturales et urbaines. Edition: Parenthèses , 1998.
- 2-AFNOR :** Ambiances thermiques modérées, détermination des indices PMV et PPD et spécification des conditions de confort thermique . NF EN ISO 7730. Paris: AFNOR 1995.
- 3-Alvarez S. et al.:** Green code : Reglementary frame for renewable energy use in urban site through vegetation planning and strategic surfacing. Edition: Altener, 2000.
- 4-ASHRAE:** Physiological principles and thermal comfort. In: ASHRAE Handbook of Fundamentals, SI Edition:, Atlanta, GA: ASHRAE, 1993.
- 5-Augoyard J.F.:** Ambiances architecturales et urbaines. Les Cahiers de la recherche architecturale, 1998.
- 6-Bassand M.:** Vivre Et Créer L'espace Public. Edition: Ppur, 2001.
- 7-Baudoux-Rousseau L. :** La place publique urbaine. Edition: Artois Presses Université, 2007.
- 8-Cabanel J., Stefulesco C:** L'urbanisme végétal. Edition: I.D.F diffusion, 1993.
- 9-Canter D.:** The Psychology of Place. Edition: Palgrave Macmillan, 1977.
- 10-Cloquet L.:** Places public. Places et monuments. Édition Mardaga, 1988.
- 11-Coombes A. J.:** Les arbres. Paris : Bordas, 320 p. Collection L'oeil Nature. Traduction Isabelle Delvallée,1993.
- 12-De Parcevaux S., Huber L.:** Bioclimatologie : Concepts et applications . Edition: Quae. 2007.
- 13-De Sablet, M.:** Des espaces urbains agréables à vivre. Places, rues, squares et jardins. Paris : Moniteur.1988.
- 14-Desrosieres A.:** Réflexions sur la portée sociologique des diverses phases du travail statistique. Edition: INSEE, 1982.
- 15-Dodge Y.:** Premiers Pas En Statistique. Edition: Springer 2002.
- 16-Escourrou G.:** Climat et environnement, Les facteurs locaux du climat. Edition:Masson, 1981.
- 17-Escourrou G.:** Le climat et la ville. Edition: Nathan, 1991.
- 18-Fanger P.O.:** Thermal Comfort: Analysis and applications in environmental engineering. New York: McGraw-Hill,1972.
- 19-Flanagan J.C.:** Measurement of quality of life. Edition: Archives of Physiotherapy and Medical Rehabilitation, 1982.
- 20-Gehl, J.:** Life Between Buildings, Edition: Van Nostrand Reinhold, 1987.

- 20-Geiger R., Aron R. H. and Todhunter P.:** The Climate Near the Ground . Edition: Springer Netherlands, 2004.
- 22-Givoni B.:** L'homme, l'architecture et le climat. Edition: du Moniteur ,1978.
- 23-Givoni B.:** Climate considerations in building and urban design . Illustrée,1998.
- 24-Givoni B.:** Passive Low Energy Cooling of Buildings. John Wiley and Sons, 1994.
- 25-Guillerme A.:** La disparition des saisons dans la ville. Les annales de la recherche urbaine, 1994.
- 26-Guyot, G.:** Climatologie de l'environnement : Cours et exercices corrigé. 2ème ed. Paris: Dunod, 1999.
- 27-Hieronim L; Michel-Jean B.:** Les places dans la ville Lectures d'un espace public . Edition: Dunod, 1984.
- 28-Howard L.:** The Climate of London. Edition: Gerald Mills, 2007.
- 29-Institut Français d'Architecture :** Place et monuments. Édition Mardaga,1984.
- 30-Izard J.L.:** Architecture D'été construire pour le confort d'été . Edition: EDISUD, 1993.
- 31-Krier R.:** L'espace de la ville théorie et pratique, Edition: Archives d'architecture moderne, 1980.
- 32-Koenigsberger O. H., Ingersoll T. G., Mayhew A. and Szokolay S.V.:** Manual Of Tropical Housing And Building: Climatic Design (Part I). Edition: Longman Group United Kingdom, 1974.
- 33-Larousse :** Dictionnaire encyclopédique, 1970.
- 34-Larue D.:** L'arbre dans la ville. Paris. Edition: Sang de la terre et Foncier Conseil, 1996.
- 34-Lavigne P., Fernandez P., Chatelet A.:** Architecture climatique : Une contribution au développement durable, tome 1 : Bases physiques . Edition: Edisud, 1994.
- 36-Leguay, J.P.:** L'eau dans la ville au Moyen âge. Edition: Presses universitaires de Rennes, 2002.
- 37-Liébard A., De Herde A.:** Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques. Edition: Le Moniteur, 2006.
- 38-Martin R.:** L'agora. Edition: de Bocard, 1959.
- 39-Mazria E.:** Le guide de l'énergie solaire passive. Edition: Parenthèses, novembre 1981.
- 40-Miecsyslaw T.:** Soleil et architecture . Arkady; Edition: Dunod, 1967.
- 41-Ministere de l'habitat :** Recommandations architecturales Edition: ENAG, 1993.
- 42-Müller L.:** Une approche différente de l'urbanisme. Edition: Lars Müller Publishers, 2005.
- 43-Nada J., Maurice C.:** Places et Monuments Bruxelles , Pierre Mardaga, 1984.

- 44-Oke T.R.:** The energetic basis of the urban heat island . Quart. J. R. Met. Soc., 1982.
- 45-Oke T.R.:** Boundary layer climates. Edition: Methuen, 1988.
- 46-Pacione M.:** The Use of Objective and Subjective Measures of Life Quality in Human Geography. Edition: Progress in Human Geography, 1982.
- 47-Pausanias :** Description de la Grèce. Éditeur : Les Belles Lettres, 1821.
- 48-Pelletier A.:** L'urbanisme romain sous l'Empire. Edition: Picard, 1982
- 49-Pinon P., Rose C.:** Places et parvis de France . Edition: Imprimerie Nationale, 1999.
- 50-Quincy Q.:** Recueil de notices historiques. Edition: LeCalerc 1834.
- 51-Rapoport A.:** Pour une anthropologie de la maison. Edition: Dunod, 1972.
- 52-Robinette, G.:** Plants, people, and environmental quality. Washington, D. C, Department of the interior, 1972.
- 53-Roux S.:** Le monde des villes au Moyen Âge. Edition: Hachette, Paris, 1994.
- 54-Santamouris M., Adnot J.:** Cooling the cities. Edition: Presses de l'École des Mines de Paris, 2004.
- Manuelle de la foresterie urbaine, 1987.
- 55-Schraub S., Conroy T.:** Qualité de vie et cancérologie. Edition: John Libbey Eurotext, 2002
- 56-Sitte C.:** L'art de bâtir les viles, Edition: Seuil, 1950.
- 57-Szokolay S.V.:** World Solar Architecture. Edition: Architectural Press, 1980.
- 58-Thanh, V.:** Heat storage of pavements and its effect he lower atmosphere, Atmospheric Environment, 1996.
- 59-Unwin R.:** L'étude pratique des plans des villes. Edition: L'Equerre, 1981.
- 60-Vanlaethem F.:** La place publique dans la ville contemporaine. Edition: Méridien, 1995.
- 61-Vian, C et al.:** L'Alhambra de Grenade. Edition: Atlas, 1983.
- 62-Wright D.:** Soleil, nature, architecture. Parenthèses, 2000.

#### Articles:

- 1-Abbate, G.:** Heat Island study in the area of Rome, Revue: ESA SP,1997.
- 2-ABC Groupe:** Morphologie, végétal et microclimats urbains. Plan urbain, Ministère de l'Équipement, 1997.
- 3-Alexander, J.D., J.R. Donnelly and J.B. Shane.:** Photosynthetic and transpirational responses of red spruce understory trees to light and temperature, 1995.

- 4-Alvarez D.S. et al.:** Acondicionamiento climatico de los espacios abiertos en Expo'92. Universidad de Sevilla, 1989.
- 5-Alvarez D.S. et al.:** Control climatico en espacios abiertos. In : Proc. Of Expo'92, 1992.
- 6-André B.:** Qualité de la vie. Revue : L'Action Nationale, 2001.
- 7-Bottema M.:** A method for optimization of wind discomfort criteria. Building and Environment, 2000.
- 8-Coombes A. J.:** Les arbres. Paris : Bordas, 320 p. Collection L'oeil Nature. Traduction Isabelle Delvallée, 1993.
- 9-Dear, R. J. et al:** Developing an adaptive model of thermal comfort and preference, 1997.
- 10-Dear, R., Pickup, J.:** An outdoor thermal environment index (OUT\_SET\*) -Applications. In: Proc. of ICB, 1999.
- 11-De La Torre, J. M. and Serra, R.:** Microclimatic analysis of some urban scenarios. In: proceedings of PLEA 1998.
- 12-Destobbeleire, G. et Izard, J.L.:** Rôle de la végétation dans le microclimat urbain. In : Proceedings of EPIC, 1998.
- 13-Fanger P.O.:** Thermal comfort. Copenhagen. Danish Technical Press, 1970.
- 14-Fernandes E. O., et al:** Energy and environment Lisbon. In proceedings of PLEA 1998.
- 15-Gagge A. P., Stolwijk, J. A. J., Nishi, Y.:** An Effective Temperature Scale Based on a Simple Model of Human Physiological Regulatory Response. ASHRAE Trans., 1971.
- 16-Gao, W. Sugiyama, H. and Ojima, T.:** Field study of effect of street and its trees on thermal environment of sidewalks. Journal of Architecture and Planning Environment Engineering, 1995.
- 17-Givoni B.:** Impact of planted areas on urban environmental quality: a review . Atmospheric Environment, vol. 25B, n° 3, 1991.
- 18-Givoni B., La Roche, P.:** Indirect evaporative cooling with an outdoor pond. In: James&James(Ed.). Proc. of Architecture, city, environment, PLEA 2000.
- 19-Guerra J. J., Esteban C. J. and Molina J. L.:** Detailed Modeling of Roof Ponds Including Sprays and Covering. In : Meeting at CIEMAT, 1996.
- 20-Guillermé A.:** La disparition des saisons dans la ville. Les annales de la recherche urbaine, 1994.
- 21-Hégron G.:** Ambiances architecturales et urbaines. De l'environnement urbain à la ville sensible , 2007.
- 22-Hoffmann, J. B.:** Ambiances climatisées et confort thermique. In: Proc. of COSTIC, 1994.
- 23-Höppe P.:** Le bilan énergétique de l'homme, 1984.

- 24-Höppe P.:** Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort. *Revue: Energy and Buildings*, 2002.
- 25-Höppe P.:** The Physiological Equivalent Temperature PET. In: *Proc. of Proceedings of the 15th International Congress of Biometeorology & International Conference on Urban Climatology*, 1999.
- 26-Horbert M., Kirchengorg A.:** Energy-sensitive land-use planning. *Tunneling and Underground Space Technology*, 1987.
- 27-Hoyano, A:** Climatological uses of plants for solar control and the effects on the thermal environment of a building. *Tokio Institute of Technology, Japan. Energy and Buildings*, 1988.
- 28-Jendritzky G., Nuebler W.:** A model analyzing the urban thermal environment in physiologically significant terms, 1981.
- 29-Kjelgren, R., Montague, T.:** Urban tree transpiration over turf and asphalt surfaces. *Atmospheric Environment*, 1998.
- 30-Klitsikas N., Georgakis C. and Santamouris M.:** The National Park of Athens. Green-code: Reglementary frame for renewable energy use in urban site through vegetation planning and strategic surfacing, 2000.
- 31-Korosec-Serfaty :** La Sociabilité publique et ses territoires, *Revue : Architecture et comportement*, 1988.
- 32-Leguay, J.P.:** L'eau dans la ville au Moyen âge. *Presses universitaires de Rennes*, 2002.
- 33-Matzarakis A., Mayer, H.:** Investigations of Urban Climate's thermal Component in Freiburg, Germany. In : *Proceedings of the Second Urban Environment Symposium and 13th Conference on Biometeorology and Aerobiology*, 1998.
- 34-Mayer H., and Matzarakis A.:** The urban heat island seen from the angle of human-biometeorology. In: *Proceedings of International symposium on monitoring and management of urban heat island*, 1997.
- 35-Mazouz S.:** L'intégration de variables environnementales dans le processus de conception architecturale, 2000.
- 36-Monteith J.L. and Unsworth M.H.:** Principles of environmental physics. ,1991.
- 37-Nikolopoulou, M.:** Concevoir des espaces extérieurs en environnement urbain : une approche bioclimatique. *Center for Renewable Energy*, 2004.
- 38-Nikolopoulou, M., Steemers, K.:** Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. *Energy and Buildings*, 2003.
- 39-Nishimura, N., Nomura, T., Iyota, H., Kimoto, S.:** Novel water facilities for creation of comfortable urban micrometeorology. *Solar Energy*, 1998.

- 40-Oke, T.R. et Voogt, J.A.:** Complete urban surface temperatures. Journal of Applied Meteorology, 1997.
- 41-Parant C. ; Mazaud J. R.:** Architecture et énergie. Revue : Le Progrès technique, 1991
- 42-Parker, J. H.:** The impact of vegetation on air conditioning consumption. In : proceedings of workshop on saving energy and reducing atmospheric pollution by controlling ,1989
- 43-Penicaud H.:** Microclimats urbains étudiés sous l'angle du confort à l'extérieur des bâtiments, 1978.
- 44-Robinette G.:** Plants, people, and environmental quality. Washington, D. C, Department of the interior, 1972.
- 45-Sacré C.:** Le confort dans les espaces extérieurs : analyse microclimatique. CSTB, 1983.
- 46-Sacré C., Gandemer J.:** Caractérisation microclimatique des espaces extérieurs, du point de vue du vent et de la température. Revue : Les Annales de la Recherche Urbaine, 1994.
- 47-Scudo, G. et al.:** Microclimatic effect of vegetation in urban squares. Case studies in Milan. In : Proceedings of Rebuild, Florence, 1998.
- 48-Tanabe S.I et al.:** Evaluation of thermal comfort using combined multi-node thermoregulation. Revue: Energy and Buildings, 2003.
- 49-Thanh, V.:** Heat storage of pavements and its effect he lower atmosphere, Atmospheric Environment, 1996.
- 50-Upmanis, H. et al:** The influence of green areas on nocturnal temperatures in a high latitude city (Göteborg, Sweden). International Journal of Climatology, 1998.
- 51-Upmanis, H. et al.:** Daytime Summer temperature differences between a green area and Its build-up surroundings in a high latitude city. In : Proceedings of the second urban environment symposium, 1998.
- 52-VDI (Verein Deutscher Ingenieure) :** Environmental Meteorology. Methods for the human biometeorological evaluation of climate and air quality for urban and regional planning at regional level,1988.
- 53-Westerberg U.:** Climate and behaviour in a Nordic city. Plea, 2004.
- 54-Zacharias J.:** Micro climate and downtown open space activity, Environment and Behavior, 2001.

#### **Thèses :**

- 1-Vinet, J.:** Contribution à la modélisation thermo-aéraulique du microclimat urbain. Caractérisation de l'impact de l'eau et de la végétation sur les conditions de confort en espaces extérieurs . Thèse de doctorat, Nantes: Université de Nantes, 2000.

**2-Robitu, M.:** Etude de l'interaction entre le bâtiment et son environnement urbain : influence sur les conditions de confort en espaces extérieurs . Thèse de doctorat, Nantes: Université de Nantes, 2005.

**3-Ali Toudert, F.:** Dependence of outdoor thermal comfort on street design in hot and dry climate. Thèse de Magister. Université de soutenance : Albert-Ludwigs Universität Freiburg, Dissertation 2005.

**4-Tebbeni H.:** Impacte de la végétation sur le microclimat et le confort thermique des espaces urbains publics ,cas du cours de la révolution de Annaba . Université mentouri Constantine, 2006.

**5-Tedjari A.F.:** La place publique comme piece maitresse de la coherence et la continuité, cas de la ville de Setif . Thèse de Magister.Université de Setif.

**6-Bennadji, A. :** Adaptation climatique ou culturelles en zones arides, Cas du Sud-Est Algerien. Université de Provence Marseille, 1999.

**7-Abbaoui H. :** L'impact de la végétation sur le climat urbain dans les milieux arides, cas de la ville de Biskra.Université de Biskra, 2006.

#### **Sites internet :**

<http://books.google.com/>

<http://censam.mit.edu/>

<http://ecotect.com/>

<http://energie.wallonie.be/>

<http://meteo.education.fr/>

<http://muntda.jga.org.jo/>

<http://personal.cityu.edu.hk/~bsapplec/thermal.htm>

<http://unesco.uiah.fi/water>

<http://www.abtreeworkers.be/>

<http://www.alrisala.org/Articles/social/vegetation.htm>

<http://www.andalucia.org/>

<http://www.arturbain.fr/>

<http://www.ashrae.org/>

<http://www.cerma.archi.fr/>

<http://www.cieau.com/>

<http://www.ciel-espacepublic.com/pages/places.html>

<http://www.cig.ensmp.fr>

<http://www.climext.com/index.html>  
<http://www.cnrs.fr/>  
<http://www.cyber.uhp-nancy.fr/demos/CH-ENER/>  
<http://www.earth.google.com>  
<http://www.energy.ca/>  
<http://www.envireausol.com/>  
<http://www.eoearth.org/>  
<http://www.epa.gov/>  
<http://www.e-venise.com>  
<http://www.fao.org/>. The Food and Agriculture Organization of the United Nations.  
<http://www.grap.arc.ulaval.ca/>  
<http://www.greenstructureplanning.eu/>  
<http://www.healthyheating.com/>  
<http://www.innova.dk/books/thermal/thermal.htm>  
<http://www.ladocumentationfrancaise.fr>  
<http://www.linternaute.com>  
<http://www.maquettes-historiques.net>  
<http://www.maxicours.com/>  
<http://www.metropoleparis.com/>  
<http://www.paris-walking-tours.com>  
<http://www.rockefellercenter.com>  
<http://www.rome-passion.com/>  
<http://www.squ1.com/>  
<http://www.state.sc.us/forest/urban.htm>  
<http://www.thermexcel.com/>  
<http://www.thermoanalytics.com/>  
<http://www.u-picardie.fr>  
<http://www.uwsp.edu/>  
<http://www.vaisala.fr/>  
<http://www.vivrealarochefr.fr/>  
<http://www.w3sh.com/>  
<http://www.wikipedia.org/>. Wikipédia encyclopédie collaborative en ligne.

# Résumé

## Résumé :

En milieux urbains denses, les températures d'air sont plus importantes qu'à la périphérie. Ce phénomène bien connu est appelé îlot de chaleur.

Plusieurs études à travers le monde furent menées concernant ce phénomène, et d'après les résultats obtenus, les facteurs les plus importants qui l'influencent sont :

La densité du milieu urbain, les propriétés thermiques des matériaux, la chaleur anthropique, l'effet de serre urbain et la réduction des surfaces évaporatives autrement dit la minéralisation des villes, en remplaçant la végétation et les zones humides par du béton et de l'asphalte contribue à ces nuisances.

L'utilisation de la végétation et de l'eau permet de modifier le climat urbain et d'en améliorer les conditions de confort, et de ce fait réduire l'effet de l'îlot de chaleur. Les arbres agissent comme masque au soleil, au vent, au son, comme source d'humidité et régulateur de la température de l'air et des surfaces environnantes.

L'eau aussi joue le rôle d'un tampon au bruit, elle est aussi une source d'humidité et régule la température sans parler de son effet psychologique sur l'homme.

L'objectif de cette recherche est alors de déterminer l'impact de la végétation et des bassins ou jets d'eau sur le microclimat urbain et sur les situations de confort thermique ressenties par les individus le long de la place de l'indépendance à Sétif qui présente un climat semi aride.

Dans la première partie, une recherche bibliographique permet de faire le point sur des domaines aussi variés que la micro climatologie urbaine, la simulation, l'urbanisme, et le confort thermique en espace extérieur. Ces informations sont utiles lors de la mise en œuvre et de l'interprétation de l'investigation et de la simulation envisagée.

La deuxième partie quand à elle, comporte les données de l'investigation sur terrain .Plusieurs outils furent employés comme le relevé de la température, de l'humidité, de la vitesse des vents et cela pendant une campagne de mesure lors d'une journée type du moi d' Août et pendant toute la journée (de 6h00 du matin jusqu'à 20h00 du soir) en utilisant des appareils de mesure adéquat à ce type d'investigation mais aussi un questionnaire.

Couronnée par une simulation dans laquelle le logiciel Envi-Met fut utilisé et plusieurs scénarios furent simulés (la place sans végétation et eau et trois autre scénarios avec des degrés différent de présence de deux éléments), qui nous aiderons à confirmer nos hypothèse concernant les condition de confort dans le site étudié, pour essayer enfin d'élaborer des recommandations et des solution qui pourront améliorer encore plus les condition de confort dans la place de Ain El Fouara.

En se basant sur les résultats de cette étude, on a put confirmer les hypothèses formulées au départ, de plus les bienfaits de la végétation et de l'eau dans le rafraîchissement de l'air particulièrement, et dans le confort thermique en général furent une fois de plus mis en exergues.

**Mots clés :** Sétif, place de Ain el fouara, confort en espace extérieur, climat semi aride, îlot de chaleur urbain, végétation, eau, transpiration, évapotranspiration, investigation, questionnaire, simulation.

## **Abstract :**

In dense urban areas, air temperatures are greater than the periphery. This is well-known phenomenon called urban heat island.

Several studies all around the world were conducted on this phenomenon, and referring to the results obtained the most important factors that influence it are: The density of urban areas, the thermal properties of materials, heat anthropogenic greenhouse gases and reducing urban surface evaporative which means mineralization of the cities, replacing vegetation and wetlands with concrete and asphalt contributes to this nuisance.

The use of vegetation and water can change the urban environment and to improve comfort, and thus reduce the heat island. The trees act as a mask to the sun, wind, and sound, and also as a source of humidity which reduces air temperature and surrounding surfaces.

Water also acts as a buffer to noise; it is also a source of moisture and regulates temperature not to mention the psychological effect on humans.

The main object of this study is to determine the impact of vegetation and watershed or water jets on the urban microclimate and the thermal comfort conditions experienced on a public square named Ain El Fouara square in Setif city with a semi arid climate.

In the first part, a literature search allows touching several subjects as well as urban microclimatology, simulation, urban planning, and thermal comfort in outdoor space. This information is useful in the implementation and interpretation of the investigation and simulation considered.

The second part contains data from the field investigation where several tools were used-measuring temperature, humidity, wind speed and that during a monitoring period of one week. Results are shown throughout a typical day in August (from 6.00 am until 8.00 pm), using measuring devices suitable for this type of investigation and also a questionnaire.

Besides, a simulation using the Envi-Met software and several scenarios were mock-up (one without vegetation and water and three different scenarios with different degrees of presence of two elements), in order to validate our assumption regarding comfort condition in the site. Finally, to try to develop recommendations and solution that could further improve the condition of comfort in the place of Ain El Fouara.

Based on the results of this study, we were able to confirm the hypothesis formulated at the outset, most of the benefits of vegetation and water in cooling the air particularly, and thermal comfort in general were a once again confirmed.

Thus, several improvements have been performed in order to develop recommendations and guidelines for designers and architects to produce better comfort conditions in public spaces.

**Keywords:** Setif, place of Ain el fouara, comfort in outdoor space, semi-arid climate, urban heat island, vegetation, water, transpiration, evapotranspiration.

## الملخص:

في المناطق الحضرية الكثيفة، درجة حرارة الهواء أكبر منها في الضواحي وهذه الظاهرة معروفة باسم "جزيرة الحرارة الحضرية".

تم إجراء العديد من الدراسات في مختلف أنحاء العالم حول هذه الظاهرة ، وحسب النتائج التي حصل عليها فان أهم العوامل المؤثرة فيها هي : كثافة المناطق الحضرية ، الخواص الحرارية لمواد البناء المستعملة ، الغازات الدفيئة البشرية ، الإحتباس الحراري في المدن و نقص المواد التي تسمح بتبخر الماء و تعويضها بالأسطح المعدنية في المدن فيستبدل الغطاء النباتي و المناطق الرطبة بالإسفلت والخرسانة وهذا ما يساهم أكثر في هذه المشكلة.

إن استخدام النباتات و المياه يسمح بتغيير المناخ الحضري بتحسين شروط الراحة و بالتالي الحد من اثر جزيرة الحرارة. تعتبر الأشجار حاجزا لأشعة الشمس، الريح وكذلك الأصوات كما أنها مصدر للرطوبة و منظم لدرجة حرارة الهواء و الأسطح المجاورة.

تعتبر المياه حاجزا للضوء، كما أنها أيضا مصدر للرطوبة و تنضم درجة الحرارة ناهيك عن آثارها النفسية على البشر. هدفنا الرئيسي من هذه المذكرة إذا هو تحديد أثر الغطاء النباتي و البرك المائية و النوافير على المناخ المحلي في المناطق الحضرية و على الراحة الحرارية التي يشعر بها الأشخاص على امتداد ساحة الاستقلال في مدينة سطيف التي يعتبر مناخها شبه جاف.

في الجزء الأول ، قمنا ببحث بيبيولوجيا في مختلف الدراسات المنشورة سمحت لنا الإحاطة بمختلف المجالات مثل المناخ المحلي في المناطق الحضرية ، التخطيط الحضري ، المحاكاة باستعمال الكمبيوتر و كذلك الراحة الحرارية في الفضاءات الخارجية. إن هذه المعلومات مفيدة في تنفيذ و تفسير التحقيق و المحاكاة المفترض إجراؤهما.

يحتوي الجزء الثاني على بيانات التحقيق الميداني. أين تم استعمال العديد من الأدوات مثل قياس درجة الحرارة و الرطوبة و سرعة الرياح و ذلك خلال يوم عادي من شهر أوت و على مدار اليوم (من الساعة السادسة صباحا حتى الثامنة زوالا) و باستعمال أجهزة قياس خاصة بهذا النوع من التحقيقات ، كما تم اللجوء الى استجواب.

متوجا في الأخير بمحاكاة استعمال فيها البرنامج Envi-Met و عدة سيناريوهات ( الساحة دون غطاء نباتي و دون نافورة ، و ثلاث سيناريوهات أخرى بدرجات مختلفة لوجود هذين العنصرين معا) و هذا لمساعدتنا على تأكيد فرضياتنا بخصوص شروط الراحة في موقع الدراسة ، و نحاول في نهاية المطاف وضع توصيات و حلول قد تساهم في تحسين أكبر لظروف الراحة في ساحة عين الفوارة.

إستنادا إلى نتائج هذه الدراسة ، تمكنا من تأكيد فرضياتنا المصاغة في البداية ، و كذلك فوائد النباتات و المياه في تبريد الهواء على وجه الخصوص ، و الراحة الحرارية بشكل عام.

## المصطلحات الرئيسية :

سطيف، ساحة عين الفوارة، الراحة في الفضاء الخارجي، المناخ شبه الجاف، جزيرة الحرارة الحضرية، الغطاء النباتي، الماء، النتج، التبخر، ساحة عمومية، التحقيق، الاستجواب، المحاكاة.