

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



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم: الهندسة المعمارية
المرجع:

Thèse présentée en vue de l'obtention
du diplôme de
Doctorat en sciences en : Architecture

Option : Urbanisme bioclimatique

**VERS UNE NOUVELLE METHODE
D'EVALUATION DE L'IMPACT DU MICROCLIMAT
SUR L'USAGE EN ESPACE PUBLIC EXTERIEUR
DANS LES ZONES ARIDES - CAS DE BISKRA**

Présentée par :
BOUMARAF Hocine

Soutenue publiquement le

Devant le jury composé de :

ZEMMOURI Nouredine	Professeur	Président	Université de Biskra
TACHRIFT Abdelmalek	Professeur	Rapporteur	Université de Sétif
SAHNOUNE Tayeb	Professeur	Examineur	Université de Constantine
DIB Belkacem	Professeur	Examineur	Université de Batna
BENABAS Moussadek	M.C.A	Examineur	Université de Biskra

REMERCIEMENTS

Avant de commencer la présentation de ce travail de thèse, je veux remercier les nombreuses personnes qui m'ont permis d'accomplir cet exercice délicat et parfois douloureux. Avec un peu de recul, la soutenance étant passée, le cœur étant plus léger ! je souhaite être reconnaissance vis-à-vis de ceux qui, à un moment ou un autre, m'ont apporté des conseils, leur soutien, voire leur aide. Ainsi, c'est avec une vive émotion que je m'adresse aux personnes que je vais mentionner ci-dessous.

En tout premier lieu, je tiens à remercier très chaleureusement M. TACHRIFT Abdelmalek, qui en tant que directeur de thèse a su m'encadrer admirablement et me redonner confiance lorsque je doutais. Je lui en suis sincèrement très reconnaissant.

Je souhaite remercier MM. ZEMMOURI Nouredine, DIB Belkacem, SAHNOUN Tayeb et BENABAS Moussadek pour avoir accepté de rapporter mon travail de thèse et me donner leurs analyses sur le travail que j'ai été amené à effectuer. Leurs avis étant importants à mes yeux, je tiens à leur rendre hommage.

Je tiens à remercier également M. Guy LOEW du laboratoire « Ambiances Architecturales et Urbaines » Université Paul Verlaine Metz – France, pour m'avoir non seulement permis de travailler dans des conditions très favorables et de participer à des congrès internationaux, mais également pour m'avoir supporté dans les bons et les moins bons moments.

Je remercie vivement M. ZITOUNI Athmane pour son assistance aux relevés de terrain et les campagnes de mesures dans des périodes de forte chaleur estivale.

En dernier lieu, je tiens à remercier ma famille et mes amis proches pour avoir cru en moi et pour m'avoir soutenu au cours de ces années.

Résumé

Nombreuses sont les études qui ont tenté de mesurer les effets des aspects du cadre bâti sur les comportements et l'impression de bien-être (aménagement, éclairage, chauffage, ventilation, ambiances sonores et olfactives ...). Cependant, l'incidence des caractéristiques microclimatiques a rarement été étudiée.

A une échelle locale et au niveau de l'espace public, nous avons tenté de mettre en œuvre une méthodologie permettant de vérifier l'impact des caractéristiques sur les modalités et les fréquences d'utilisation des lieux et les types d'activités qui s'y déroulent. Ce travail vise à fournir des informations qui devront permettre à terme d'inscrire dans la pratique de conception architecturale et d'aménagement urbain une meilleure prise en compte des facteurs environnementaux qui influent sur le comportement et les perceptions des usagers.

Notre objectif fondamental est d'examiner et de comprendre l'influence des éléments climatiques sur les comportements et les activités en espace public.

Pour cela, nous avons pris comme terrain d'étude trois places dans la ville de Biskra. Notre méthode revient à croiser des données morphologiques et climatiques urbaines avec les résultats d'enquêtes et de suivis (enregistrements vidéo) du comportement des usagers sur site. C'est un travail qui se situe au carrefour entre sciences de l'homme et de la société, et science pour l'ingénieur. Il s'agit d'un travail exploratoire visant à mettre en place une méthode permettant de coordonner les approches liées aux analyses des caractéristiques microclimatiques à celles liées aux analyses des perceptions et des comportements des usagers. Ceci a impliqué la définition d'une méthodologie basée sur la discrétisation spatiale ainsi que un codage comportemental.

L'analyse des résultats a permis de repérer les emplacements de l'espace public qui sont le plus souvent occupés et ceux dont la durée d'occupation au cours de la période d'observation est la plus importante. Elle a permis également de vérifier les modes et la stabilité d'occupation des espaces en fonction des différentes conditions climatiques (été, hiver).

Mots clés : espace public, microclimat urbain, mesures microclimatiques, observation vidéo, modes d'occupation, perception du climat, morphologie urbaine.

Abstract

Our objective is to contribute to a better understanding of how urban climate and microclimate take part in the relation between users and outdoor public spaces. Our fundamental objective in our study is to examine and to understand the influence of the microclimatic variations on behaviors and activities in public spaces. At a district scale, we examine whether microclimatic attributes affect the use in three squares in the town of Biskra. We present the relation between microclimatic measure and some indicators of use describing occupation mode, density, and stability. In these three squares:

- We have performed microclimatic measurement (dry temperature, humidity, air velocity, globe temperature)
- We have used an observation method, which allowed the elaboration of behavioral indicators that might help to qualify and quantify the use of public space.
- We have elaborated and collected questionnaires about user's perception and evaluation of the space.

The analysis of observation results allowed to mark concentrations so thus appear to certain sites rather than of other, and to appreciate what sites of the public space are the most often occupied, and therefore, those of which the length of occupation during the period of observation is most important. It allowed verifying the stability of space occupation during the time, more precisely if the spatial distribution of users and their places of stop vary during the different climatic conditions (summer, winter).

Key words : public spaces, urban microclimate, microclimatic measure, video observation, occupation mode, perception of climate, urban morphology.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE

13

PREMIERE PARTIE

Principes et éléments théoriques ; de l'appréhension de l'environnement climatique à son effet sur le comportement et les pratiques sociales

Chapitre 1 : Recherche sur le lien morphologie - microclimat urbain: interaction et facteurs d'influences dans les zones arides.	21
1.1. Introduction	23
1.2. Climat et aridité	24
1.3. Caractéristiques des climats arides.	25
1.4. Morphologie et microclimat urbains.	26
1.4.1. Couche d'air et forme urbaine.	28
1.4.1.1. La sous-couche limite urbaine.	28
1.4.1.2. La canopée urbaine.	29
1.4.2. Distribution microclimatique et facteurs morphologiques d'influence.	30
1.4.2.1. Le bilan radiatif.	31
1.4.2.2. Le champ des températures de l'air.	47
1.4.2.3. L'écoulement des vents.	52
1.4.2.4. Le champ des humidités.	61
1.5. Morphologie urbaine et confort.	64
1.5.1. Facteurs climatiques influents sur le confort.	65
1.5.1.1. Le rayonnement solaire.	66
1.5.1.2. La vitesse de l'air.	66
1.5.2. Types de tissus urbains et confort.	69
1.5.2.1. Le tissu urbain traditionnel.	70
1.5.2.2. Les quartiers de grands ensembles.	71
1.5.2.3. Les quartiers pavillonnaires.	72
1.5.3. Les facteurs ambiants influents sur le confort.	73
1.5.3.1. Le refroidissement nocturne de l'air.	74
1.5.3.2. L'ombre.	74
1.5.3.3. La chaleur radiative.	75
1.5.3.4. Ventilation naturelle.	75
1.5.3.5. Les perturbations aérodynamiques.	75
1.5.3.6. L'humidification de l'air.	77
1.6. Conclusion.	78
1.7. Références bibliographiques.	80
Chapitre 2 : L'analyse des relations entre la personne et son environnement	83
2.1. Introduction	85
2.2. Modèles d'analyse de la relation « personne – environnement »	85
2.2.1. Perception de l'environnement.	88
2.2.2. Evaluation de l'environnement.	89
2.2.3. Comportement et pratiques spatiales.	91
2.2.4. Synthèse.	95
2.3. Les différentes conceptions d'analyse de la relation à l'espace bâti.	95
2.3.1. L'espace comme cadre fonctionnel.	98
2.3.2. L'espace comme espace vécu.	99
2.3.3. L'espace et sa relation avec le temps.	100
2.3.4. Synthèse.	101

SOMMAIRE

2.4. Comportements, perceptions et conditions climatiques.	101
2.4.1. La température.	104
2.4.1.1. La perception de la température ambiante.	105
2.4.1.2. Température et performances individuelles.	106
2.4.1.3. Température et pratiques des individus.	107
2.4.2. Le vent.	109
2.4.2.1. La perception du vent.	109
2.4.2.2. Le vent et son effet sur les pratiques.	111
2.5. Conclusion.	112
2.6. Références bibliographiques.	114
Chapitre 3: Le confort thermique en espace de communication extérieur	117
3.1 Introduction	119
3.2 Les paramètres du confort thermique	120
3.2.1 Paramètres relatifs à l'environnement	120
3.2.2 Paramètres relatifs à l'individu	121
3.2.2.1 Mécanismes de thermorégulation	121
3.2.2.2 Le métabolisme	122
3.2.2.3 Les vêtements.	124
3.2.3 Confort en régime transitoire, acclimatation et inertie thermique du corps	126
3.3 Les échanges thermiques.	127
3.3.1 Les échanges radiatifs	128
3.3.1.1 Rayonnement de grande longueur d'onde	128
3.3.1.2 Rayonnement de courte longueur d'onde	129
3.3.2 Les échanges convectifs	129
3.3.3 Pertes par respiration	130
3.3.4 Pertes par diffusion d'humidité à travers la peau	131
3.3.5 Pertes thermiques par sudation	131
3.4 Les indices de confort thermique	132
3.4.1 Les inconforts locaux	133
3.4.1.1 Asymétrie de rayonnement	133
3.4.1.2 Température du sol	134
3.4.1.3 Gradient vertical de température	134
3.4.1.4 Courant d'air	134
3.4.2 Les indices de confort ou de stress thermique en espace intérieur	135
3.4.2.1 Indice de la « Température Résultante »	135
3.4.2.2 Indice de la « Température Effective » et ses dérivées	136
3.4.2.3 Les indices DISC	138
3.4.2.4 Le PMV et ses dérivés	139
3.4.3 Les indices de confort ou de stress thermique en espace extérieur	143
3.4.3.1 Les effets du vent	144
3.4.3.2 La température radiante moyenne en extérieur	146
3.4.3.3 Indice de contrainte thermique	149
3.4.3.4 PMV modifié	151
3.4.3.5 La Température Physiologique Equivalente (PET)	152
3.4.3.6 Le OUT-SET*	153
3.4.3.7 Taux de sueur régulatrice	154
3.5 Conclusion	155
3.6 Références bibliographiques	158

SOMMAIRE

Chapitre 4: L'eau et la végétation en milieu urbain	162
4.1. Introduction.	164
4.2. L'eau et la végétation en tant qu'éléments urbains.	164
4.2.1. L'eau et la ville.	164
4.2.1.1. L'eau évitée.	164
4.2.1.2 L'eau désirée	165
4.2.1.3 L'eau, élément indissociable de la végétation	167
4.2.2 La végétation et la ville	168
4.2.2.1 Dimensions symboliques et esthétiques	168
4.2.2.2 Qualités associées à la végétation	170
4.2.2.3 Dimensions structurelles et composition urbaine	171
4.2.2.4 L'utilisation des arbres dans le projet	175
4.3 L'eau et la végétation en tant qu'éléments de régulation du microclimat.	177
4.3.1 L'eau comme solution microclimatique	177
4.3.1.1 Impact d'une grande étendue d'eau	178
4.3.1.2 Transferts de chaleur et diffusion dans le cas d'un bassin	178
4.3.1.3 Modélisation d'un bassin	180
4.3.1.4 Impact des sources ponctuelles d'eau	182
4.3.2 La végétation comme solution microclimatique	183
4.3.2.1 Modification des échanges radiatifs en présence de végétation	185
4.3.2.2 Température de surface des végétaux	191
4.3.2.3 Impact de la végétation sur les températures d'air et de surface	193
4.3.2.3.1 Les parcs	193
4.3.2.3.2 Les rues, les squares	194
4.3.2.4 Impact de la végétation sur les économies d'énergie	196
4.3.2.5 Les effets de la végétation sur les écoulements aérauliques	197
4.3.2.5.1 Porosité aéraulique	199
4.3.2.5.2 Pertes de charge	200
4.3.2.6 Evapotranspiration : définitions et applications	201
4.3.2.6.1 Bilan d'énergie et évaporation	202
4.3.2.6.2 Formule de Penman	203
4.3.2.6.3 Estimation de l'évapotranspiration à partir d'autres formules	207
4.3.2.6.4 Mesures de l'évapotranspiration	209
4.3.2.7 Simulation de l'impact des arbres en microclimatologie urbaine	211
4.4 Conclusion	213
4.5 Références bibliographiques	214

DEUXIEME PARTIE

Vers une nouvelle méthode d'évaluation de l'impact du microclimat sur l'usage en espace public extérieur

Chapitre 5 : De la méthode à son application.

5.1. Introduction.	223
5.2. De la méthode à son application.	225
5.3. Sites d'étude : choix et présentations.	226
5.3.1. Place de la Liberté.	228
5.3.2. Place de l'Indépendance	229
5.3.3. Place du 1 ^{er} Mai.	230
5.4. Coordination entre les différents types de données.	231
5.4.1. Coordination spatiale « Usage d'une trame spatiale ».	232
5.4.1.1. D'un point de vue comportemental.	232
5.4.1.2. D'un point de vue morphologique.	234
5.4.1.3. D'un point de vue microclimatique.	234

SOMMAIRE

5.4.2. Coordination temporelle.	236
5.5. Gestion et traitement des données.	238
5.6. Techniques utilisées : objectifs et apports.	238
5.6.1. Caractérisations microclimatiques : mesures des paramètres climatiques.	239
5.6.1.1. Conditions d'usage et limites des sondes utilisées.	239
5.6.1.2. Paramètres climatiques mesurés.	241
5.6.1.3. Caractérisation de la configuration spatiale.	243
5.6.2. Perception du microclimat : questionnaire auprès des individus.	244
5.6.2.1. Présentation du questionnaire.	245
5.6.2.2. Construction de grille d'analyse.	248
5.6.3. Occupation de l'espace : l'observation vidéo.	250
5.6.3.1. Recueil des données comportementales.	251
5.6.3.2. Informations à recueillir.	253
5.7. Conclusion.	258

Chapitre 6 : Application de la nouvelle méthode sur la ville de Biskra : Déroulement et exploitation des investigations.

6.1. Introduction.	262
6.2. Caractérisations microclimatiques « mesures ».	262
6.2.1. Place de la Liberté.	264
6.2.1.1. Période chaude.	264
6.2.1.2. Période froide.	267
6.2.2. Place de l'Indépendance.	269
6.2.2.1. Période chaude.	269
6.2.2.2. Période froide.	271
6.2.3. Place du 1 ^{er} Mai	274
6.2.3.1. Période chaude.	274
6.2.3.2. Période froide.	274
6.2.4. Synthèse et discussion.	276
6.3. Analyse des discours des usagers « Questionnaire ».	278
6.3.1. Perception du microclimat et caractéristiques personnelles des usagers.	279
6.3.2. Caractéristiques microclimatiques dans les discours des usagers.	281
6.3.2.1. Éléments de découpage spatial de l'espace.	281
6.3.2.2. Éléments importants intervenant dans la fréquentation des lieux.	282
6.3.2.3. Éléments participant aux appréciations et aux choix des lieux.	283
6.3.2.4. Éléments « gênants » limitant l'usage de l'espace.	284
6.3.3. Synthèse et discussion.	285
6.4. Analyse des observations : modes d'utilisation de l'espace.	287
6.4.1. Présence de courte durée.	292
6.4.1.1. Passage rapide sans station.	293
6.4.1.2. Passage rapide avec station de courte durée.	294
6.4.2. Présence entre une et deux minutes.	294
6.4.2.1. Déplacement long sans station.	295
6.4.2.2. Déplacement long avec une station de courte durée.	296
6.4.3. Présence de plus de deux minutes.	296
6.4.3.1. Station de moyenne durée.	298
6.4.3.2. Station de longue durée.	299
6.4.4. Synthèse et discussion.	300

SOMMAIRE

6.5. Caractéristiques microclimatiques et usage de l'espace.	301
6.5.1. Stations.	302
6.5.1.1. Place de l'Indépendance.	303
6.5.1.2. Place de la Liberté.	311
6.5.1.3. Place du 1 ^{er} Mai.	318
6.5.2. Cheminements et trajectoires.	320
6.5.2.1. Place de l'Indépendance	320
6.5.2.2. Place de la Liberté.	323
6.5.3. Synthèse et discussion.	326
6.6. Conclusion.	331
CONCLUSION GENERALES ET PERSPECTIVES	335
LISTE DES FIGURES	342
LISTE DES TABLEAUX	346
LISTE DES GRAPHES	349
ANNEXES	
ANNEXE – 1	
ANNEXE – 2	
ANNEXE – 3	

INTRODUCTION GENERALE

Les grandes villes actuelles sont souvent accusées de développer en leur centre un certain nombre de problèmes microclimatiques dont le plus connu est « l'îlot de chaleur urbain ». Cette augmentation excessive des températures par comparaison à celles obtenues en zone rurale proche, entraîne des perturbations aussi bien au niveau du confort, qu'au niveau des consommations énergétiques (climatisation) et des nuisances associées (pollution). La minéralisation des villes, en remplaçant la végétation et les zones humides par du béton et de l'asphalte contribue à ces problèmes. La capacité du paysage urbain à intervenir sur les excès thermiques est ainsi réduite.

Ce constat nous incite à essayer de mieux comprendre comment l'espace urbain est affecté par le climat et surtout comment il agit sur celui-ci en retour. Ce travail s'inscrit dans une problématique générale qui traite de la prise en compte de certains facteurs environnementaux dans la pratique de conception architecturale et d'aménagement urbain. Nous traitons plus spécifiquement de l'influence de certains facteurs climatiques sur la perception et l'usage de l'espace public.

Dans le domaine concernant le milieu construit et les ambiances climatiques, plusieurs études et recherches ont été menées depuis une trentaine d'années. Les effets des aspects physiques du cadre bâti sur le confort et le bien-être ont été étudiés. Nous pouvons citer par exemple : Sacré C. & Gandemer J. 1994, Penicau H. 1978, Sacré C. 1986, Miller-Chagas P. & Patrice Paul 1980, Loisillier P. 1992, ... La microclimatologie est une science relativement récente et qui est en plein essor, à en juger par le nombre croissant d'articles dans les derniers congrès. Des éléments étaient ainsi étudiés selon un modèle psychologique ou physiologique du confort humain, comme la lumière, le système de ventilation, d'air conditionné et de chauffage ainsi que leurs relations avec le bien-être, le confort et la santé (Candas V. & Muzet A. 1995, Cluzel D. & Creuzevault D. 1992, Denoëud B. 1992). D'un autre côté, d'autres travaux ont été orientés vers la perception de l'environnement urbain (Augouard J-F. 1995, Chelkoff G. & Balay O. 1989).

Le manuscrit s'organise en deux parties de manière à bien séparer la synthèse des connaissances issues de l'analyse bibliographique de notre contribution. La question que nous nous posons dans ce travail s'inscrit dans cette problématique générale et spécialement dans les contextes thématiques suivants :

1. Morphologie microclimat urbain :

Notre premier champ thématique concerne les incidences réciproques entre forme urbaine et climat. L'incidence de la configuration des espaces architecturaux et urbains sur le climat a été largement étudiée. Cette incidence se traduit en particulier par des modifications d'une part des échanges thermiques au sol et d'autre part de l'écoulement des vents.

Il a été confirmé que des paramètres comme la température, l'ensoleillement, le vent et l'humidité connaissent des variations plus ou moins importantes, d'un espace à un autre et au sein du même espace selon l'aménagement urbain et la typologie architecturale du bâti environnant. Nous pouvons citer les travaux du Groupe ABC¹ (1997), du GRECO² : Adolphe L. (1996), Chatelet A. & al. (1998) et du CERMA³ : Groleau D. & Marenne C. (1995), Peneau J-P. (1995).

2. Comportement des usagers et microclimat :

Notre deuxième champ thématique concerne la relation qui peut exister entre les comportements des individus et leur environnement immédiat.

Dans le domaine de l'étude de la relation entre l'individu et son environnement, l'ensemble des travaux ont montré que l'homme s'adapte à son milieu physique ou le refuse par des conduites actives ou passives (Monnier E. [n.d], Chemillier P. 1993) et il s'investit dans l'espace par l'expression de sentiments ou de perception.(Augoyard J-F.1990, Chelkoff G. & Thibaud J-P.1997).

Dans ce domaine, une double préoccupation a été dégagée. D'abord, les conditions d'ambiances (éclairage, bruit, odeur, etc.) ont été étudiées afin de maîtriser leurs impacts sur les comportements, le bien-être, la santé et les performances de l'homme. Ces facteurs ont été pris comme des éléments participant soit à la sensation de bien-être, soit au sentiment d'insécurité (Augoyard J-F. 1990), de « stress » (Moch A. & Muzet A. 1995) et « d'inconfort » (Candas V. & Muzet A. 1995, Gandemer & al. 1976). Progressivement, les chercheurs ont détourné leur attention de ces facteurs pour s'intéresser aux sensations et aux attitudes des individus à l'égard de leurs environnements urbains (Moch A. & Moser G. 1997, Faure A. 1995-1997).

3. Le confort thermique en espace de communication extérieur :

Dans ce chapitre, plusieurs définitions générales de la notion de confort sont proposées soulignant la complexité du domaine abordé. Les différents paramètres intervenant dans l'établissement des critères de confort sont présentés. Ils concernent à la fois les éléments relatifs à l'environnement et à l'individu. Les bilans d'énergie appliqués à l'individu font intervenir différents échanges thermiques que nous détaillons.

Enfin, différents indices de confort sont rappelés pour les situations en espaces intérieurs. Des extensions relatives à ces indices ou des intégrations de phénomène physique au niveau des bilans énergétiques sont définies de manière à caractériser ou à comparer différentes conditions de confort en espace extérieur.

4. L'eau et la végétation en milieu urbain :

Dans le chapitre, « l'eau et la végétation en milieu urbain », nous rappelons, dans un premier temps, que les dispositifs liés à l'eau et les aménagements végétaux sont largement présents en ville et sous de multiples formes. Ainsi, nous dressons un bref rappel historique sur les relations entre l'eau et la ville, puis nous soulignons les qualités et les dimensions symboliques associées aux arbres et leurs utilisations dans les projets urbains. Ensuite, nous poursuivons notre exposé par la capacité de l'eau à intervenir sur les caractéristiques thermiques d'un espace. Les impacts de grandes étendues d'eau et des sources ponctuelles sont discutés et un exemple de modélisation de bassin est présenté. L'impact de la végétation sur le microclimat urbain est ensuite discuté. Après quelques rappels de travaux à l'échelle de la ville, nous sommes amenés à considérer les implications de la végétation sur les échanges radiatifs, sur les écoulements aérauliques et sur le phénomène d'évapotranspiration.

A travers notre recherche bibliographique, nous avons constaté que les caractéristiques physiques de l'environnement qui ont été traitées et étudiées sont nombreuses. Nous pouvons citer à titre d'exemple : le niveau d'éclairage public (Aubrée A. 1990, Augoyard J-F. 1990), les odeurs (Moch A. & Bonnefoy B. 1997), le niveau sonore (Chelkoff G. & Thibaud J-P. 1997, Chelkoff G. & Balay O. 1989), le type d'habitat (Bordas F. 1990, Nahi-Fleury G. 1997, Blanchet M. 1997). Cependant, les facteurs climatiques et leurs relations directes avec l'usage des espaces, les comportements et les attitudes surtout en milieu extérieur sont restés peu ou rarement étudiés. C'est la raison pour laquelle nous nous sommes fixé comme objectif de

dépasser le stade de l'analyse des phénomènes microclimatiques exclusivement physiques et nous étendre à « l'étude de l'incidence de l'environnement microclimatique sur les comportements des usagers en espace public extérieur ».

Le long de notre manuscrit, nous allons aborder un certain nombre de champs, comme la microclimatologie, la relation entre l'individu et son environnement (perception, évaluation et comportement), le confort thermique en espace de communication extérieur, l'eau et la végétation en milieu urbain. Les connaissances recueillies dans ces différents domaines de recherche apportent des éléments d'information sur la manière dont le climat et le milieu bâti interagissent et la façon dont l'environnement agit sur l'individu.

Dans le cadre de ce travail « exploratoire », nous voulons vérifier s'il existe une relation tangible entre les variations microclimatiques et les comportements des individus en espace public extérieur. Nous pensons qu'un travail de compréhension, de démonstration et d'information concernant l'usage et les activités en espace public et sa relation avec les conditions microclimatiques est nécessaire. L'argument microclimatique au niveau du projet urbain n'est intéressant que dans la mesure où la quantification de son impact sur l'usage est significative où des améliorations du cadre de vie et des conditions de confort peuvent être attendus.

Dans ce travail, nous n'allons pas jusqu'à ce niveau d'analyse, mais nous essayons de donner des pistes permettant à terme de l'atteindre. Nous introduisons de nouvelles dimensions :

les modalités et la stabilité d'usage des espaces. Nous essayons d'évaluer la qualité des espaces publics extérieurs à travers la corrélation entre le degré et la nature de leurs utilisations et les ambiances climatiques qui les caractérisent. Il s'agit de mettre en œuvre une méthodologie permettant d'examiner, d'analyser et de comprendre l'influence des éléments climatiques sur les comportements et les activités de l'homme dans un milieu urbain.

Le résultat envisagé est non seulement la caractérisation du microclimat et des usages, mais également la recherche d'une méthode « quantitative » permettant d'analyser l'impact du microclimat sur l'usage et les activités en espace public extérieur. Ainsi, l'application de cette méthode peut intéresser les aménageurs urbains surtout lors d'aménagement ou de réaménagement d'espaces existants. Nous avons orienté notre travail vers l'étude des fréquences, des modalités et de la stabilité d'utilisation des espaces publics et des activités qui

s'y déroulent en fonction des variations climatiques. Nos objectifs pour cette recherche peuvent donc se formuler ainsi :

- le développement de connaissances relatives à la microclimatologie urbaine notamment aux paramètres (climatiques et morphologiques) les plus significatifs dans la caractérisation microclimatique d'un espace public, et des connaissances relatives au confort thermique en espace public extérieur et l'eau et la végétation en milieu urbain, sans oublier les techniques les plus significatives dans la caractérisation de la relation de la personne avec le climat notamment sa perception et son comportement.

- la définition d'une méthodologie de couplage et de mise en liaison des données microclimatiques issues des mesures et des données comportementales issues de l'observation et des questionnaires ainsi que la vérification de sa pertinence et la valider.

Notre idée de base consiste à dire qu'une meilleure compréhension des différentes interactions entre les données physiques du climat et les modes et la stabilité d'utilisation de l'espace public peut contribuer à une meilleure décision concernant les projets d'aménagement urbain. Nous espérons faire émerger des connaissances permettant d'intégrer, dans un modèle de confort ou d'aide à la décision des paramètres concernant l'usage en espace public extérieur.

Des conditions microclimatiques variées sont le résultat de l'interaction entre les paramètres du climat avec la configuration et l'aménagement urbain de l'espace. Une interaction que nous ne négligeons pas, mais qui est notre point de départ pour poser la question de l'influence du microclimat sur l'usage de l'espace. Nous considérons que le microclimat est une variable qui peut être traduite et exprimée par des paramètres climatiques mesurés « in situ » (température, humidité, vitesse de l'air, etc.). Nous supposons que la perception de l'espace ainsi que son usage sont des variables dépendantes du microclimat, de l'aménagement et de la configuration de l'espace.

Nous avons pris comme terrain d'étude trois places situées dans la ville de Biskra, une ville moyenne située au Sud-Est. Notre méthodologie est basée sur une discrétisation spatiale ainsi que sur un codage comportemental. Nous examinons les relations entre les résultats d'enquêtes auprès des usagers et d'observations de leurs activités avec une évaluation physique des ambiances microclimatiques. Une caractérisation microclimatique des lieux qui comprend des mesures physiques d'un ensemble de paramètres : la température,

l'ensoleillement, la ventilation et l'humidité. L'enquête et les observations conduites dans ces trois places publiques permettent d'identifier les emplacements les plus souvent occupés et les activités qui s'y développent. Ceci permet de contrôler si ces lieux occupés d'une façon permanente présentant des caractéristiques microclimatiques spécifiques. Ainsi, nous pouvons vérifier si la distribution dans l'espace des usagers et si leurs activités changent en fonction des variations microclimatiques des lieux.

La première partie propose un état de l'art non exhaustif des connaissances concernant les acquis actuels dans le domaine de la climatologie urbaine, ainsi que celui concernant le confort thermique en espace de communication extérieur, sans oublier l'eau et la végétation en milieu urbain. Cette partie permet de mieux cerner et construire notre problématique et de définir un ensemble de variables quantitatives permettant la caractérisation du microclimat d'un côté et de l'usage en espace public extérieur d'un autre côté. Elle permet de faire émerger la complexité de la question posée et de montrer les limites de notre travail.

Dans cette partie, nous présentons une synthèse des différentes formes de l'interaction entre climat et aménagement urbain en espace public. L'objectif recherché est la mise en évidence d'un ensemble de paramètres permettant une caractérisation spatiale et temporelle du microclimat. En d'autres termes, les éléments physiques climatiques ou morphologiques qui sont significatifs et essentiels dans la création de variations microclimatiques d'un lieu à un autre.

Nous présentons également les différentes tentatives effectuées pour étudier la relation entre l'homme et son environnement urbain. Nous essayons de voir les facteurs essentiels de l'environnement construit qui influencent les attitudes, les comportements et les pratiques de l'individu en milieu urbain extérieur. Nous vérifions également comment la question de l'effet des paramètres climatiques sur les comportements des individus a été abordée.

La deuxième partie présente notre propre proposition et notre démarche empirique. Dans cette partie, nous introduisons comment nous analysons la relation entre l'individu et les paramètres climatiques en espace public extérieur. Nous définissons notre approche méthodologique. Nous faisons apparaître quelques paramètres ou descripteurs permettant la mise en liaison entre l'usage et le microclimat en espace public extérieur.

Nous rendons également compte de l'application de cette méthode sur trois places publiques à Biskra et nous exposerons les résultats.

Une deuxième partie discute et expose les conclusions tirées de ce travail, les difficultés de validation de notre méthode et ses perspectives.

PREMIERE PARTIE

Principes et éléments théoriques :

**De l'appréhension de l'environnement climatique
à son effet sur le comportement et les pratiques sociales**

CHAPITRE 1

**Recherche sur le lien morphologie - microclimat urbain:
Interaction et facteurs d'influences dans les zones arides.**

Chapitre 1 : Recherche sur le lien morphologie - microclimat urbain: Interaction et facteurs d'influences dans les zones arides.

- 1.1. Introduction
- 1.2. Climat et aridité
- 1.3. Caractéristiques des climats arides.
- 1.4. Morphologie et microclimat urbains.
 - 1.4.1. Couche d'air et forme urbaine.
 - 1.4.1.1. La sous-couche limite urbaine.
 - 1.4.1.2. La canopée urbaine.
 - 1.4.2. Distribution microclimatique et facteurs morphologiques d'influence.
 - 1.4.2.1. Le bilan radiatif.
 - 1.4.2.2. Le champ des températures de l'air.
 - 1.4.2.3. L'écoulement des vents.
 - 1.4.2.4. Le champ des humidités.
- 1.5. Morphologie urbaine et confort.
 - 1.5.1. Facteurs climatiques influents sur le confort.
 - 1.5.1.1. Le rayonnement solaire.
 - 1.5.1.2. La vitesse de l'air.
 - 1.5.2. Types de tissus urbains et confort.
 - 1.5.2.1. Le tissu urbain traditionnel.
 - 1.5.2.2. Les quartiers de grands ensembles.
 - 1.5.2.3. Les quartiers pavillonnaires.
 - 1.5.3. Les facteurs ambiants influents sur le confort.
 - 1.5.3.1. Le refroidissement nocturne de l'air.
 - 1.5.3.2. L'ombre.
 - 1.5.3.3. La chaleur radiative.
 - 1.5.3.4. Ventilation naturelle.
 - 1.5.3.5. Les perturbations aérodynamiques.
 - 1.5.3.6. L'humidification de l'air.
- 1.6. Conclusion.
- 1.7. Références bibliographiques.

1.1. Introduction :

Un ensemble urbain modifie profondément la structure des différentes couches atmosphériques, tant d'un point de vue dynamique, que d'un point de vue thermique. L'interaction des masses d'air avec les composantes urbaines, favorise les échanges de chaleur, et perturbe la distribution des paramètres du climat au-dessus et au voisinage des bâtiments. De nombreuses conséquences sont alors enregistrées sur le bilan énergétique, aussi bien en haute atmosphère qu'au voisinage des constructions. Cela entame aussi la modification des situations de confort dans l'espace.

Dans la couche de mélange au-dessus des bâtiments, la comparaison entre un site rural et une étendue urbaine fait apparaître de nombreux contrastes énergétiques. Ces derniers indiquent un lien fort entre le bilan énergétique et la nature du site, d'autant qu'ils s'avèrent très faibles sur une même portion urbaine. L'étude des modifications physiques que connaissent les paramètres du climat dans ces couches, amène donc à rechercher les conséquences des effets globaux de l'urbanisation.

En revanche, à proximité immédiate du sol, les masses d'air ont une structure plus hétérogène. Leur composition physique est plus complexe en raison ces effets énergétiques nés de l'interaction des éléments du climat avec les éléments bâtis. Ces derniers font obstacles à toute forme de pénétration et de propagation des variables climatiques par la réduction de leur vitesse de diffusion ou la modification de leur trajectoire. Les proportions de ces variables sont de ce fait considérablement réduites au sol. En effet, c'est à ce niveau de l'urbain que les plus grands contrastes climatiques sont enregistrés. Les échanges radiatifs sont très actifs et les bilans énergétiques très variables. Notons que de ces bilans énergétiques dépendent les conditions de confort de l'espace. Ces différents points constituent les thèmes principaux de ce chapitre. A partir d'un état des connaissances et des recherches sur la distribution climatique au sol et sur les éléments urbains responsables de sa variation, il a pour objectif l'étude de l'influence des formes d'urbanisation et des modes de disposition spatiales sur les éléments du bilan énergétique. Notre préoccupation est d'aboutir à un répertoire des principales caractéristiques urbaines qui transforment les variables du climat global et qui modifient les situations de confort nées de l'ambiance climatique produite.

Ce chapitre est ainsi organisé en deux parties:

- la première relie la morphologie urbaine aux microclimats,
- la seconde relie la morphologie urbaine à la notion de confort.

Nous examinons les transformations climatiques à deux niveaux de l'urbain : au niveau du tissu urbain et au niveau de l'espace public. Nous ne perdons pas de vue également, les changements climatiques à l'échelle synoptique. Dans la première partie, nous abordons la relation entre la morphologie urbaine et le microclimat, en présentant tout d'abord, quelques notions théoriques. Nous y définissons le tissu urbain et l'espace public. Nous associons ensuite, ces deux niveaux aux masses d'air qui constituent le support des différentes variations climatiques près du sol. Nous définissons ainsi les deux échelles climatiques les plus concernées par les modifications énergétiques. Par la suite, nous abordons la distribution climatique dans les espaces bâtis pour en déduire les éléments morphologiques entraînant la variation du bilan énergétique. Nous avons choisi d'étudier chaque composante du climat de façon individuelle afin de pouvoir lui associer les facteurs morphologiques responsables de ses variations. Notre intérêt est d'élaborer un support théorique qui illustrera les causes de formation et de transformation des microclimats.

Dans la deuxième partie de ce chapitre nous évoquons les situations de confort induites par les typologies morphologiques les plus courantes dans une ville. Nous définissons tout d'abord, la relation entre le confort et le climat, en donnant les principaux éléments climatiques responsables du confort en espace extérieur, ainsi que les types de confort qu'ils entraînent. Nous procédons ensuite à la description des situations microclimatiques relatives aux trois principaux types de tissus urbains de la ville : le tissu des centres anciens historiques, l'aménagement des grands ensembles et l'urbanisation des quartiers pavillonnaires. Nous évoquons enfin, les facteurs ambiants résultats des situations morphologiques précédemment citées, et pouvant avoir une influence sur le confort.

1.2. Climat et aridité:

Les milieux arides sont des zones où règne un climat désertique ou semi désertique. On les rencontre dans les régions subtropicales d'Afrique, d'Asie centrale et occidentale, d'Amérique du nord-ouest et du sud ainsi qu'en Australie centrale et occidentale. Elles sont

situées généralement entre les latitudes 15° et 35° au nord et sud de l'équateur [Fitch et Branch, 1960; Givoni, 1980; Konya, 1980; Baker, 1987].

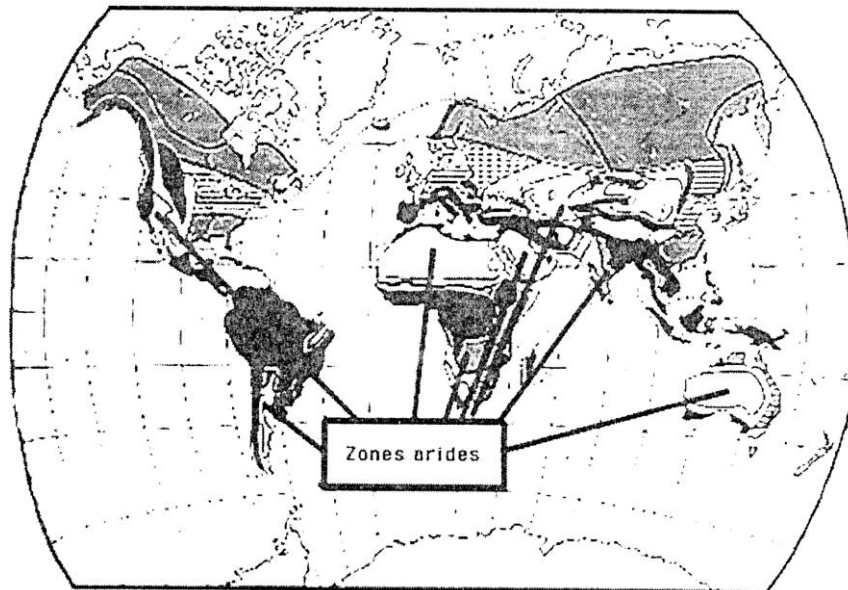


Figure 1.1.: Les zones arides dans le monde (Grand Larousse Universel, 1992 p. 2311)

1.3. Caractéristiques des climats arides.

Les principales caractéristiques climatiques des milieux arides sont:

- * hautes intensités des radiations solaires.
- * température d'air diurne très élevée.
- * contraste entre les températures diurnes et nocturnes du fait de la clarté du ciel et les vents froids auxquels ces zones sont souvent sujettes.
- * basse humidité et faibles précipitations.
- * vents de sable entraînant un environnement poussiéreux.

Ces caractéristiques climatiques se manifestent comme source d'inconfort pour les habitants de ces régions. Afin d'y améliorer les conditions de vie, il faut adopter plusieurs stratégies se rapportant à la protection contre les effets de ces paramètres climatiques essentiellement en période de forte chaleur. [Fardeheb et Schoen, 1988]. Ceci implique l'action sur les paramètres suivants:

- * radiations solaires.
- * températures de l'air.
- * vitesse de l'air.

1.4. Morphologie et microclimat urbains

Le premier objectif apparent de la morphologie urbaine est de permettre la lecture de la ville. I. Samuel (cité par Levy, 1992) l'explique comme « une technique analytique pour lire la ville en comprenant l'évolution de la forme urbaine en relation avec les changements sociaux, économiques et démographiques ». L'évolution de la forme urbaine que Samuel évoque, est le résultat d'un long processus d'élaboration d'une typologie des éléments urbains qui constituent la ville. Françoise Bondon (citée par Levy 1992) fragmente ces éléments en trois paramètres: l'aire géométrique (dimension, forme, paramètre bâti) comme composantes physiques, la répartition des fonctions (trottoir, marché, promenade, aire de jeu...) comme composantes sociales, et le système de distribution (le cheminement) comme articulation des deux.

Si l'on ne prend en compte que les composantes physiques, la ville se définit alors comme une combinaison de formes pleines et concaves. Les formes pleines sont les masses construites par les bâtiments, les formes concaves sont celles des vides urbains des espaces publics, des espaces collectifs où une coopération entre individus est nécessaire. Les typologies qui en émanent sont souvent prédéterminées par la nature du site et par son mode d'occupation (les relations internes, les voies de circulation, les îlots, le parcellaire...etc.). De cette définition, l'analyse construite sur une recherche morphologique de la ville comporte alors l'étude des principes de constitution et d'évolution de la trame urbaine. L'appréhension des formes du projet urbain découle de l'étude du sol avec toutes les traces urbaines visibles ou disparues.

Dans l'étude que nous présentons, nous nous intéressons essentiellement à la forme urbaine aux deux échelles de description du projet urbain, que nous définissons ci-dessous : l'échelle du tissu urbain à l'échelle de l'espace public. Nous aborderons plus tard le croisement de ces échelles avec un facteur d'ambiance important : le climat.

1. Le tissu urbain

Le tissu urbain est composé d'un système englobant des éléments bâtis et non-bâtis, distribués de façon morphologiquement homogène. Les éléments non bâtis (réseau viaire, parcellaire, espace libre, orographie, hydrographie, couverture végétale), constituent sa forme élémentaire. Les éléments bâtis, identifiés comme éléments singuliers (bâtiments publics,

équipements, etc.) exercent dans ce tissu, un rôle en tant qu'éléments de contrôle et/ou de repère.

Tout comme A.Levy, PH. Panerai (1980) situe le tissu urbain à la base de la constitution de la forme urbaine II le considère à la fois comme une continuité d'espaces publics (rues, places, boulevards, passages, etc.), et comme un ensemble de parcelles bâties. Selon Panerai et Levy, le tissu urbain attribue souvent des implantations aux éléments bâtis selon un canevas dont la parcelle constitue l'élément de base. Cette parcelle prévoit, en amont de la construction, la forme de l'édifice qui doit y être intégré. La forme urbaine est de cette façon, essentiellement organisée par le tissu.

2. L'espace public

Dans le cadre des travaux de la COST-UCE³, Albert Dupagne (1996) et son équipe ont défini l'espace public urbain comme la forme creuse délimitée par les formes construites qui l'entourent et par le sol. Cette forme creuse est aussi déterminée par les tracés volontaires ou simplement par l'implantation progressive du bâti. Les parois architecturées des rues et des places avec les discontinuités créées par les masses contraintes d'édifices à différentes échelles, permettent de déterminer ce volume urbain particulier. Ce dernier constitue le contexte direct des monuments protégés ou des autres édifices, ainsi que de leur groupement. Pleins et vides sont ainsi, reliés par des relations réciproques et par une perception commune.

Associé à un besoin physique, l'espace public urbain peut également avoir une définition bioclimatique En effet, selon Levy (1992), l'espace bioclimatique est un découpage morphologique de l'espace urbain, effectué à partir de données environnementales. Par données environnementales, Levy englobe toutes les données qui conditionnent l'état d'un milieu ambiant, ainsi que la qualité d'un microclimat Il inclut principalement les données naturelles (l'air, le vent, l'eau, le soleil, la végétation, la température, le bruit...etc).

Dans la définition bioclimatique qui est donnée à l'espace, il y a lieu néanmoins, de distinguer le rôle de la forme urbaine sur la distribution, plus ou moins inégale et différenciée, des données climatiques. Il est également nécessaire de distinguer l'impact que ces données climatiques peuvent avoir sur la morphologie du tissu. Ainsi, nous retenons deux cas différents:

1. La morphologie du tissu et des tracés agit comme un facteur de variation du microclimat urbain. C'est un agent de diversification de la distribution : il est constitutif de la morphologie bioclimatique,
2. les paramètres climatiques agissent sur les transformations de la morphologie des tissus. Ils sont considérés dans ce cas, comme facteurs explicatifs des mutations morphologiques des tracés urbains, ainsi que de leur évolution.

Notons que l'espace bioclimatique présente des propriétés hétérogènes et instables dues aux distributions fluctuantes des éléments du climat (température de l'air, vitesse du vent, humidité relative de l'air, etc.). Rappelons que la nature de ces éléments varie au sol par rapport à ce qu'elle est à la source, et ce quelle que soit la nature de cette source. En effet, le climat subit des altérations progressives relatives à des échelles superposées dans l'atmosphère. Ces échelles définissent des couches d'air, dont l'état de stabilité dépend de la nature de la fluctuation produite. Il faut noter qu'au niveau du sol, les différentes formes de développement urbain font apparaître des couches variables selon les différents niveaux d'urbanisation. Nous y distinguons une couche d'air associée au tissu urbain et une couche d'air associée à l'espace public.

1.4.1. Couches d'air et forme urbaine

La distinction des échelles climatiques entre hautes couches atmosphériques et couches au sol permet d'effectuer une hiérarchisation des bilans énergétiques. La définition des niveaux de variations, aboutit à une classification des compositions atmosphériques de l'air de la plus homogène, à la moins homogène, au voisinage des constructions.

Au voisinage des constructions, nous distinguons deux couches de mélanges. Oke (1987) les a réparties en fonction de l'état de stabilité qu'elles présentent. Il distingue la sous-couche limite urbaine et la canopée urbaine.

1.4.1.1 La sous-couche limite urbaine.

La sous-couche limite urbaine correspond à une couche de mélange distribuée à l'échelle d'un groupement de parcelles. Dans un centre urbain moyen, elle est voisine de 400 mètres de hauteur, avec une base limitée à la hauteur moyenne des toits (Delaunay, 1986).

D'un point de vue morphologique, nous pouvons associer cette sous-couche limite à l'échelle du tissu urbain. Elle englobe la structure générale du tissu, son mode d'agencement, ainsi que la distribution et l'orientation de ses mailles. Elle couvre un quartier ou une portion de ville ou tout un ensemble de bâtiments liés ou épars formant un corpus significatif. Elle révèle l'organisation élémentaire du tissu, qui, selon la période de formation et la localisation dans la ville, est caractérisée par le rôle structurant des espaces publics, la position des monuments, la logique de la densification, la croissance interne ainsi que les possibilités d'association avec d'autres formes de tissus.

Les modifications climatiques relatives à la sous-couche limite sont enregistrées à une échelle méso-climatique. Cette échelle s'étend sur une partie de la ville, d'une agglomération, d'une vallée ou d'une forêt. Elle correspond à une couche de mélange peu perturbée au-dessus des toits. Les variations climatiques pouvant être enregistrée à son niveau dépendent de la structure générale de la portion urbaine qu'elles couvrent. Dans ce cas, ce sont les propriétés physiques des tissus urbains qui modifient la composition générale du climat, entraînant une instabilité partielle de la masse d'air. Cette dernière subit des effets de contact avec les surfaces de toit et de terrasse mais sa structure ne modifie que de façon globale, d'où cette apparence générale peu perturbée. En effet, quelle que soit la nature des surfaces en contact, les variations physiques sont globalement identiques en tout point de la zone urbaine considérée. Elles ne varient qu'en fonction des changements de typologie urbaine : le passage d'un quartier dense à un quartier pavillonnaire, d'un quartier à hauteurs de bâtis peu élevées à un quartier de grands ensembles...etc.

1.4.1.2. La canopée urbaine.

La canopée urbaine correspond à une couche d'air définie à l'échelle de l'espace public ou du bâtiment construit à proximité. Disposée sous la sous-couche limite urbaine, elle est assimilée à une masse d'air se propageant entre les constructions et les aménagements urbains. Elle est souvent de nature très perturbée en raison des mouvements turbulents et des changements climatiques brutaux, dus aux interactions physiques entre les paramètres climatiques et les composantes urbaines. Les variations climatiques qui s'y produisent perturbent l'équilibre thermique, et favorisent les processus radiatifs au sol.

Dans le découpage classique des échelles climatiques, la canopée urbaine correspond à l'échelle microclimatique. Elle se dessine géographiquement à ras du sol et s'étend sur une zone urbaine peu vaste. Cette échelle fait référence à la parcelle bâtie, c'est-à-dire l'édifice ancré dans le site, intégrant des espaces ouverts (cours, jardins, fond de parcelle...etc.). Par ailleurs, elle englobe l'ensemble des propriétés d'un espace public (rues, placettes ou canaux...etc.) caractérisé par une relation précise avec le bâtiment. Cette échelle constitue ainsi le support de nombreuses hétérogénéités physiques dues aux spécificités à la fois urbaines et environnementales.

1.4.2 Distribution microclimatique et facteurs morphologiques d'influence.

La richesse et la diversité des aménagements spatiaux et des activités urbaines, particulièrement présentes en ville, déclenchent des processus d'échanges énergétiques variés. Ces processus sont engendrés par la variation des paramètres climatiques ayant pour siège le tissu urbain et l'espace public. A ce niveau de l'urbain, l'étude de la distribution des différents paramètres climatiques permet de mettre en évidence les causes de formation et de transformation des microclimats.

Dans cette section, nous nous proposons d'étudier ces causes de formation et de transformation des microclimats en mettant en évidence l'impact des caractéristiques morphologiques sur les variations de l'équilibre du bilan énergétique au sol.

Notons que le bilan énergétique dans un espace s'exprime par l'équation suivante (Duchene-Marulaz, 1980):

$$Q + QF = QH + QE + \Delta QS + \Delta QA$$

avec :

Q : bilan radiatif,

QF : flux de chaleur « artificielle » produit par les processus de combustion, de métabolisme et de rejets thermiques. Il varie en fonction de la densité de population, du besoin d'énergie, du niveau de développement économique et de la saison,

QH : flux turbulent de chaleur sensible. Il est en moyenne plus important en ville qu'en rase campagne et peut varier en fonction des conditions météorologiques

(précipitations, humidité ou sécheresse en particulier),

QE : flux turbulent de chaleur latente, plus faible en ville qu'à la campagne,

ΔQS : quantité de chaleur stockée par la zone urbaine. De manière générale, elle est supérieure en ville dense en raison d'une plus grande capacité thermique des matériaux, d'une importante surface de stockage (murs verticaux), et de l'absence de végétation qui tend à diminuer le stockage, comme c'est le cas à la campagne à cause des pertes de chaleur engendrées par évaporation,

ΔQA : flux de chaleurs advectives (transport horizontal).

Il faut noter que la détermination de chacun des termes du bilan énergétique permet d'approcher les modifications de tous les paramètres climatiques, essentiellement entraînées par les propriétés de la zone urbaine. Dans les sections qui suivent, nous examinons uniquement les modifications relatives aux variations des températures de l'air et des températures de rayonnement, des vitesses de l'air ainsi que des humidités relatives.

1.4.2.1. Le bilan radiatif.

La distribution radiative est évaluée à partir de différents termes : le rayonnement solaire, le rayonnement atmosphérique et le rayonnement terrestre.

Rappelons tout d'abord, que le bilan radiatif Q au sol s'écrit (Duchene-Marulaz, 1980):

$$Q = (1 - \partial)K + L - L'$$

avec:

K : rayonnement solaire global -diffus + direct- (rayonnement de faible longueur d'onde)

L : rayonnement atmosphérique descendant (rayonnement de grande longueur d'onde),

L' : rayonnement ascendant provenant du sol (rayonnement de grande longueur d'onde),

$\partial K = K'$: rayonnement solaire réfléchi (rayonnement de faible longueur d'onde),

∂ : albédo du sol (coefficient de réflexion de la surface au sol).

Les termes K et L dépendent des propriétés de l'atmosphère, et les termes K' et L' soit liés aux caractéristiques de la surface considérée.

Examinons à présent la distribution de chaque composante individuellement. Nous nous focalisons essentiellement sur les caractéristiques urbaines modifiées à proximité du sol, tout en ne perdant pas de vue que chaque composante du bilan peut subir des altérations dans les différentes couches de l'atmosphère.

1. Le rayonnement solaire global

La quantité de rayonnement solaire qui atteint le sol, est nettement inférieure à celle produite par le soleil. L'enveloppe gazeuse plus ou moins riche en vapeur d'eau, qui compose l'atmosphère, s'interpose entre le soleil et la surface terrestre de sorte qu'une partie seulement du rayonnement parvient directement au sol. Le pourcentage de rayonnement qui atteint les basses couches contient ainsi, entre le quart et le tiers de l'énergie libérée par le soleil (Ionienne & Gudand, 1970).

Outre les variations que ce rayonnement subit lors de sa trajectoire, il est également modifié par les caractéristiques et les propriétés thermiques des surfaces présentes. Une partie du rayonnement global qui en résulte est effectivement, absorbée et une autre, réfléchi par le sol et par les composantes urbaines. En effet, la disposition et les types d'aménagements bâtis permettent de piéger le rayonnement global, et entraînent l'affaiblissement ou l'accroissement des radiations, soit par des mécanismes d'absorption, soit par des mécanismes de réflexion par les façades ou par toute autre composante de l'espace. (Figure. 2.2)

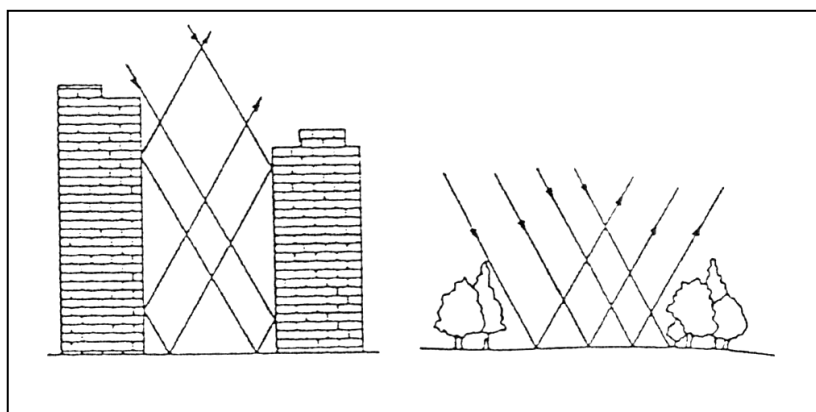


Figure 1.2. Le piégeage et les multi-réflexions du rayonnement solaire en fonction de deux types de composantes urbaines au sol (CSTB, 1996a).

Bien que les atténuations atmosphériques soient nombreuses, et malgré les modifications encore plus prononcées qu'elles rencontrent à proximité des bâtiments, une fois au sol, la quantité de l'énergie solaire est suffisamment importante pour réchauffer les basses couches. A ce niveau, trois composantes du rayonnement solaire, distribuées selon des proportions variées, sont retrouvées :

1. *le rayonnement direct* : provient directement du disque solaire. Il peut être nul par ciel couvert, et atteindre son maximum par ciel clair,
2. *le rayonnement diffus* : provient de la diffusion du rayonnement solaire par les particules de l'atmosphère. Ce rayonnement est émis par la voûte céleste. Il n'est jamais nul et atteint sa plus faible valeur par ciel clair,
3. *le rayonnement réfléchi* : provient de la réflexion sur l'environnement et par l'environnement, des deux rayonnements direct et diffus. Sa valeur dépend donc de ces deux rayonnements mais aussi, des propriétés réfléchives des particules.

En moyenne, le rayonnement parvenu dans les basses limites de l'atmosphère par ciel clair, peut se distribuer de la façon suivante (Tété & al.1984) :

32 % du rayonnement est renvoyé vers l'espace par diffusion,

15 % du rayonnement est absorbé par l'atmosphère,

53 % du rayonnement arrive au sol, 6 % de ce rayonnement est renvoyé par réflexion, et les 47 % restant sont absorbés par la surface du sol.

2. Le rayonnement atmosphérique :

Le rayonnement atmosphérique constitue une part importante du rayonnement thermique dans le bilan radiatif (entre 5 et 100 μm) (Guyot. 1997). Il est produit essentiellement à partir du rayonnement émis par la vapeur d'eau, le gaz carbonique, l'ozone et les aérosols en suspension dans l'atmosphère. En effet, ces gaz émettent dans les mêmes longueurs d'ondes, une fraction de rayonnement qu'émettrait un corps noir à la même température.

Par ciel couvert, les nuages se comportent pratiquement comme ce corps noir (émissivité (ϵ) de 0.97) et accroissent de façon sensible le rayonnement atmosphérique. Ils émettent avec une température d'émission correspondant à celle de leur base. Une fois émis,

une partie de ce rayonnement est absorbée par la vapeur d'eau et les gaz carboniques, réduisant ainsi considérablement ses proportions au sol. Selon Guyot (1997), ces dernières varient de la façon suivante :

- par ciel clair et air sec: 170 W.m^{-2} , donnant une température apparente de l'atmosphère de -39°C ,
- par ciel clair et air humide: 310 W.m^{-2} , donnant une température apparente de l'atmosphère de -1°C ,
- par ciel avec 1/2 de cumulus: 380 W.m^{-2} , donnant une température apparente de l'atmosphère de $+13^\circ\text{C}$.

3. Le rayonnement terrestre.

La terre se comporte comme un corps gris. Lorsque qu'elle reçoit une quantité de rayonnement solaire et atmosphérique, elle en absorbe une partie et en réfléchit une autre. Elle émet aussi une quantité d'énergie thermique dans des longueurs d'onde supérieures à $10 \mu\text{m}$. Le rayonnement terrestre produit, est presque totalement absorbé par l'atmosphère excepté dans le cas d'un ciel clair avec des longueurs d'ondes comprises entre 8 et $14 \mu\text{m}$. Par ciel complètement couvert, tout le rayonnement est absorbé puis réémis vers l'atmosphère (Guyot, 1997).

Nombreux sont les éléments à l'origine des modifications de ces différents termes du bilan radiant. A une échelle synoptique, ils varient avec l'emplacement de la région sur la surface du globe et avec son emplacement par rapport au soleil. A proximité du sol, ces éléments proviennent des aménagements urbains et des caractéristiques de l'espace. Nous les présentons dans les sections suivantes.

a- L'orientation de l'espace.

Des préoccupations de protection ou d'exposition solaire dans des espaces urbains peuvent être prises en compte par le choix de l'orientation de ces espaces et de celle de leurs composantes urbaines. Un bâtiment peut contribuer à la protection solaire de l'espace public par le jeu des ombres portées au sol qu'il peut produire. Cette protection n'est souvent efficace, qu'en début et en fin de journée, en fonction de l'orientation de ce bâtiment. En effet, lorsque le soleil est au zénith les surfaces ombrées sont très réduites.

L'orientation de l'espace par rapport à la trajectoire solaire fait ainsi varier aussi bien la proportion des surfaces ombrées et des surfaces ensoleillées, que leurs heures et fréquences d'exposition. La présence d'une zone d'ombre implique souvent des températures de rayonnement plus faibles qu'un espace au soleil. Par ailleurs, le passage d'un emplacement à l'ombre à un emplacement au soleil, génère de grands écarts entre la température globale (de l'air et de rayonnement) et la température de l'air. En été, l'écart moyen peut être de 1°C, il diminue légèrement en hiver avec des valeurs de l'ordre de 0,5°C (Pénicaud, 1978).

Dans les régions à climats chauds, où les rayonnements de courte longueur d'onde tendent à être régulés, des préoccupations de protection solaire sont davantage, recherchées dans les espaces orientés nord-sud, que dans les espaces orientés est-ouest. Dans les configurations nord-sud, les protections sont souvent réalisées par la réduction de l'angle d'ouverture de l'espace au ciel (figure 1.3).

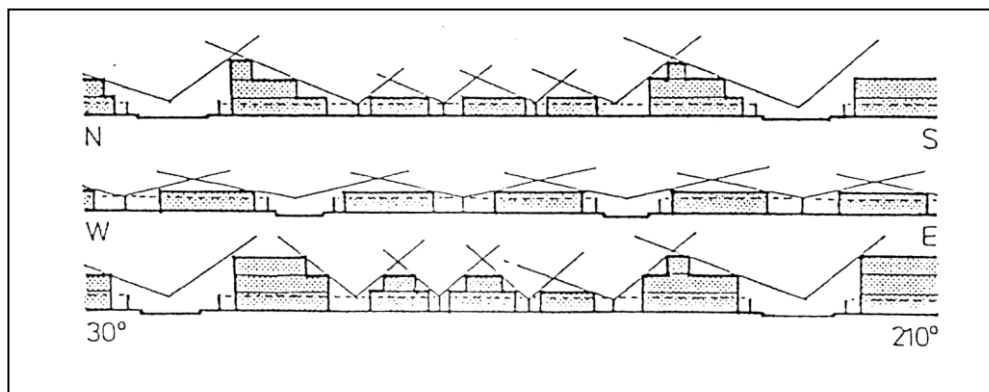


Figure 1.3. Choix des orientations de l'espace pour des besoins de rayonnement solaire (Casablanca et al, 1991).

La figure 1.3 illustre trois types d'orientation de rues, (Nord-Sud, Est-Ouest et 30° Est). Pour chaque type d'orientation, des angles d'ouverture au ciel sont choisis selon les besoins de la rue en rayonnement solaire. Deux aspects ressortent :

- la variation des angles d'ouverture selon les orientations ; les rues orientées est-ouest dans lesquelles les besoins en rayonnement solaire sont plus importants, présentent des angles d'ouvertures plus grands que dans le cas des rues orientées nord-sud,
- le profil dégradé des façades; qui peut compenser le faible angle d'ouverture de l'espace, et constituer une solution appropriée aux possibilités de pénétration du rayonnement solaire dans les espaces étroits (figure 1.4).

b -La géométrie et les dimensions de l'espace.

La complexité d'une géométrie de bâtiment offre un vaste répertoire de surfaces plus ou moins favorables aux échanges énergétiques avec l'ambiance extérieure R. Auzelle (Escourrou, 1996) a fait remarquer que des bâtiments en équerre, convenablement implantés, pourraient créer un microclimat élevant la température de l'air de 2 à 3°C. Dans cette situation, l'exposition des façades au soleil a bien évidemment un rôle significatif. En effet, quel que soit le moment de la journée, le périmètre des surfaces urbaines vues du soleil est délimité par la forme du bâtiment, combinée à la largeur de la rue et à l'orientation de l'espace.

Dans le cas d'une portion urbaine de faible dimension, la géométrie des façades en alignement sur une rue peut compenser le manque d'ensoleillement dû à l'étroitesse de cette rue. Par ailleurs, un profil géométrique en gradin de la façade peut constituer une solution appropriée à une augmentation de la durée d'ensoleillement de la rue ou de ses façades, et cela quelles que soient ses dimensions horizontales. (figure 1.4).

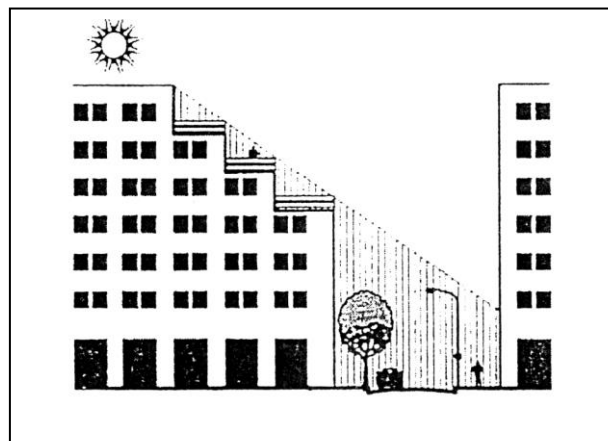


Figure 1.4. Situation d'ensoleillement d'une rue avec une façade orientée Est-Ouest en hiver (Mascaro & al 1998)

Les dimensions horizontales de l'espace (distances entre bâtis) interagissent avec les possibilités de pénétration du rayonnement dans les creux urbains. Lorsque les distances entre les bâtiments le permettent, le rayonnement peut atteindre le sol, avec des taux variables en fonction non seulement de l'ouverture de l'espace, mais aussi de la nature du ciel ainsi que de l'inclinaison et de la hauteur du soleil. Dans les espaces les plus «fermés», l'introduction du rayonnement solaire n'est efficace que lorsque le soleil est très haut sur l'horizon. Près du sol, c'est l'influence des propriétés des matériaux de revêtement qui prédomine. Oke, (1988) a fait remarquer qu'environ 39 % seulement des surfaces des parties les plus hautes des façades

étaient exposées au rayonnement solaire direct dans la plupart des rues canyons des villes implantées à une latitude de 45°C, avec un rapport hauteur moyenne sur largeur de rue égal à 1. Il précise qu'une limite de ce rapport inférieure à 0,4 est nécessaire pour fournir une protection parfaite au rayonnement solaire et à la pénétration du vent. En revanche, une limite supérieure d'environ 0.60-0,65 permet une dispersion atmosphérique et l'accès du rayonnement solaire à l'intérieur de la rue. Un rapport compris entre 0,4 et 0,6 est donc favorable selon lui, au maintien de la qualité de vie dans l'espace (figure 1.5)

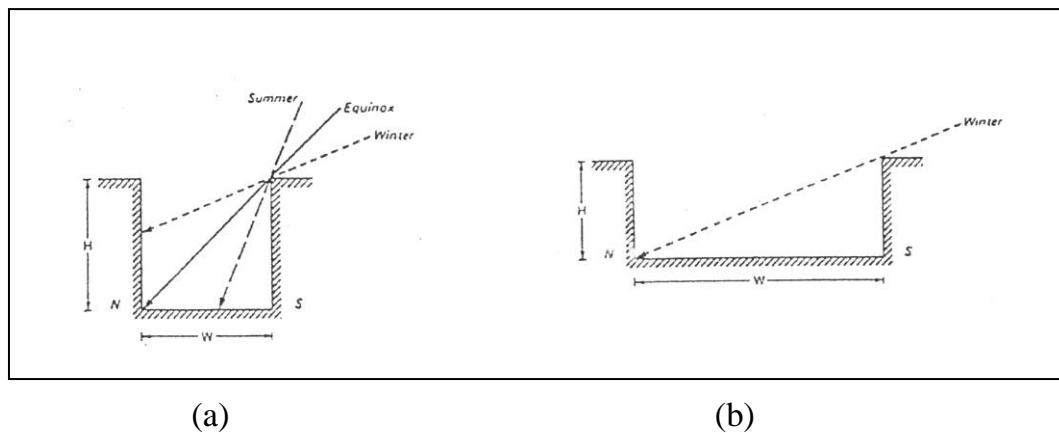
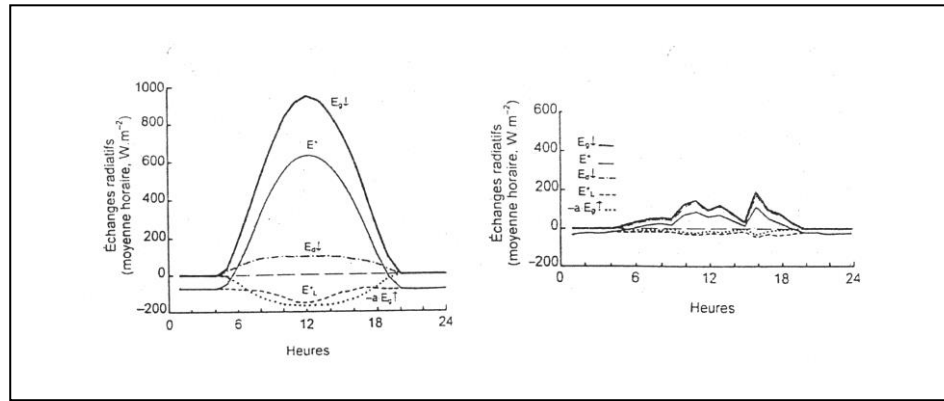


Figure 1.5. Exposition solaire par deux profils de rue différents :
(a) été et hiver, (b) hiver (Oke, 1988).

Notons qu'aux considérations relatives aux distances entre bâtis, qui définissent le rapport de l'espace au ciel, il faut ajouter des états permanents ou partiels de la nature de ce ciel (couvert ou dégagé). Le taux de rayonnement au sol en dépend étroitement.

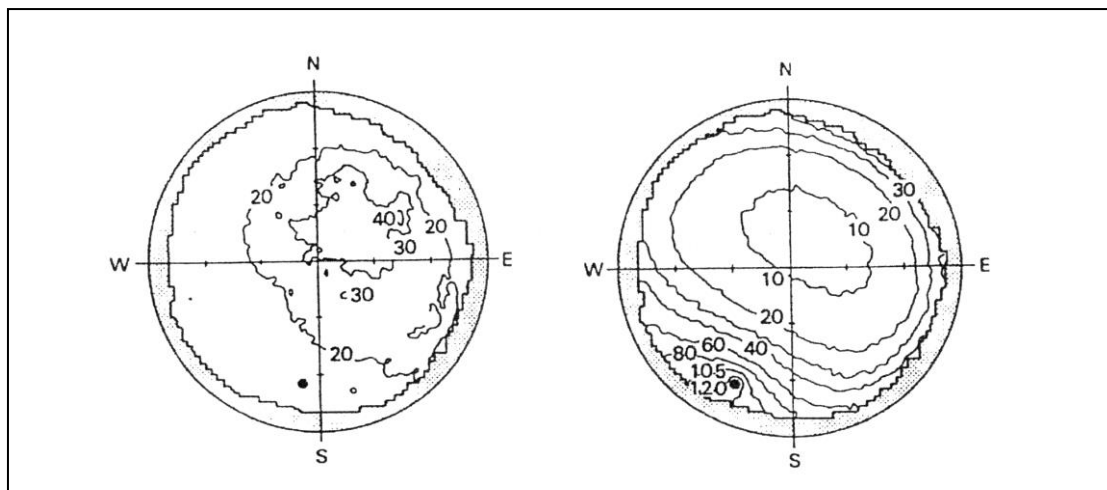
Le graphe montre un exemple de l'évolution du rayonnement net et de ses composantes, avec un ciel clair et un ciel couvert au cours d'un cycle de 24 heures. Les courbes indiquent que le rayonnement net (E^*) est positif de jour car le sol accumule de la chaleur, et qu'il est négatif de nuit en raison des pertes calorifiques par le sol. Par ciel couvert, en revanche, le rayonnement net (E^*) présente des modifications beaucoup plus importantes durant le jour en raison des variations du rayonnement global descendant $E_{g\downarrow}$. Les valeurs matinales par ciel couvert sont plus faibles que les valeurs de l'après-midi. La surface terrestre étant en effet plus chaude l'après-midi, le rayonnement est alors plus élevé.



Graph 1.1. Évolution des différentes composantes du bilan radiatif au cours d'une période de 24 heures à Avignon-Montfavet avec un ciel clair et un ciel couvert (Guyot, 1997).

- (a) : albédo des surfaces,
- (E*) : rayonnement net,
- (Eg↓) : rayonnement global descendant,
- (Ed↓) : éclairage solaire diffus descendant,
- (EL↓) : éclairage de grande longueur d'onde descendant.

Les variations sont aussi considérables si l'on tient compte de l'anisotropie du rayonnement diffus provenant de la voûte céleste : une température radiante plus faible au zénith et plus élevée autour de l'horizon (Oke, 1987).



(a) Ciel clair

(b) Ciel couvert

Figure 1.6. Diffusion des radiations de faible longueur d'onde pour :
(a) un ciel couvert et (b) un ciel clair.

La position du soleil est indiquée par le point en gras (Oke, 1987).

Paradoxalement et malgré les faibles températures de ciel notamment dans les climats méditerranéens, signalons que les taux réduits d'ouverture de l'espace vers une surface radiative froide (le ciel), agissent plus en faveur d'une baisse de température de l'air au sol, que d'une élévation ; l'effet de protection contre les seuls rayonnements froids du ciel donne souvent un effet contraire de rafraîchissement de l'espace. Ce phénomène est particulièrement perceptible dans les rues canyons qui sont caractéristiques des morphologies de faible largeur. Définies comme de véritables «îlot de fraîcheur» (Pearlmutter, 1998), la géométrie de ces rues permet une modération thermique. Précisons que cette conclusion est plus fondée sur les conditions thermiques de l'individu que sur la qualité de l'air qui l'entoure. La faible ouverture procure un faible temps d'exposition au soleil et réduit le gain de chaleur radiative, conservée dans la rue. L'homme ne reçoit ainsi en moyenne que très peu de rayonnement direct, car il est peu exposé aux surfaces horizontales réceptrices.

Dans ce type d'espace, Nuez (1977) a pu évaluer le bilan énergétique de l'individu. Il a montré que la limitation de l'ouverture de l'espace vers le ciel influait sur :

- le refroidissement de l'air de la rue : il est inférieur au refroidissement théorique.
- le flux turbulent de chaleur sensible : il est largement supérieur dans la journée au flux de chaleur latente,
- l'apport ou la perte de chaleur résultante : elle peut atteindre 100 W/m^2 pour une faible vitesse de vent ($<4\text{m/s}$) parallèle à l'axe de la rue.

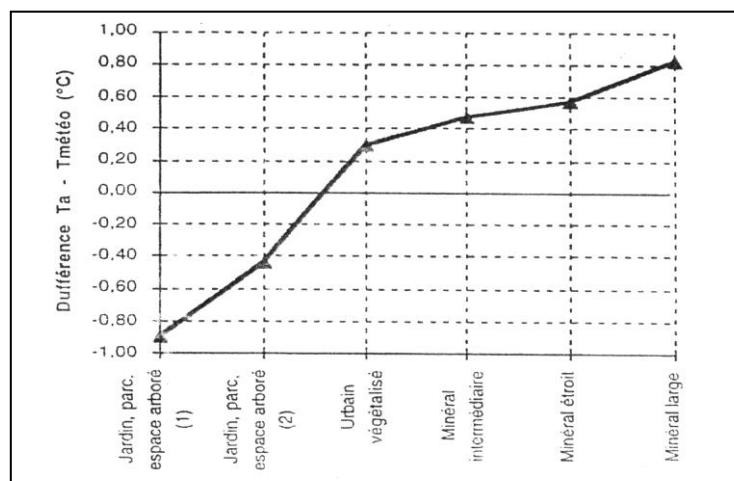
De plus, Miller-Chagas et Paul (1980) ont remarqué que dans les tissus urbains denses, la quantité de rayonnement incidente sur les toits est plus grande que celle qui atteint le sol. Les dispositions variées des bâtiments ainsi que leurs dimensions urbaines favorisent l'apparition d'effets de masque. Néanmoins, ils ont remarqué aussi que la quantité de rayonnement global qui parvient au sol, est parfois supérieure à celle relevée sur les toits, surtout à proximité des façades réfléchissantes. La part du rayonnement réfléchi par la façade, compense largement la diminution de l'angle de vue du ciel, et donc la diminution du rayonnement direct.

Il faut noter par ailleurs, que par définition, les points à l'ombre ne reçoivent que le rayonnement solaire diffus et réfléchi. Cette constatation a été établie à partir de la

comparaison des valeurs du rayonnement infrarouge (été comme hiver) reçu en un point ensoleillé et dégagé, caractérisé par une grande ouverture au ciel, et en un point à l'ombre proche d'une façade ensoleillée avec un taux plus faible d'ouverture au ciel. Cette comparaison a permis de mettre en évidence que l'apport énergétique dû à la proximité de la façade chauffée (ayant une température de surface élevée), est supérieur à la perte du rayonnement atmosphérique par diminution de l'angle de vue du ciel (en moyenne plus de 7 % avec une température de surface supérieure d'environ 15° à la température de l'air) (Miller-Chagas, 1980).

Nous maintenons ainsi que les variations radiatives sont largement proportionnelles aux taux d'ouverture de l'espace au ciel. La figure 1.2 indique que pour des espaces à grandes ouvertures « minéral large », les apports solaires, évalués par l'écart entre la température de l'air et la température opérative,⁴ sont importants, contrairement à ce qui se passe dans les espaces minéraux étroits.

En revanche, dans les parcs et jardins où les espaces urbains sont végétalisés, les apports solaires sont plus faibles (voire négatifs dans les parcs et les espaces arborés) quel que soit leur taux d'ouverture au ciel. Cela est dû au refroidissement évaporatif, et à la densité du feuillage qui occulte le rayonnement direct.



Graph 1.2. Écart entre la température opérative et la température de l'air, pour des espaces urbains caractérisés par différents taux d'ouverture au ciel (Izard. 1997).

⁴ D'une façon théorique la température opérative représente la température d'une enceinte fermée « noire » dans laquelle un individu échangerait la même quantité de chaleur par rayonnement et par convection que dans un environnement réel.

c - La nature des surfaces thermiques de captage.

La diversité des types de matériaux au sol multiplie les échanges entre surfaces thermiques. Exposées au rayonnement incident, elles deviennent sources d'émission du rayonnement de grandes longueurs d'ondes.

Quel que soit le type de matériaux de l'enveloppe bâtie (matériaux opaques ou translucides), et quelle que soit sa nature (brique, béton, bitume...etc., ou verre opaque ou transparent.), l'apport de chaleur externe qu'il peut produire dans l'environnement dépend des caractéristiques physiques suivantes :

1- L'albédo des surfaces

L'albédo définit la fraction de flux renvoyée par la surface réceptrice dans toutes les directions par réflexion et diffusion. A l'échelle de l'espace urbain, la réflexion dépend de la nature et de la géométrie des surfaces de captage. Par un apport de lumière supplémentaire, ces surfaces pourraient augmenter le taux d'éclairement énergétique déjà procuré dans l'espace par le rayonnement solaire direct.

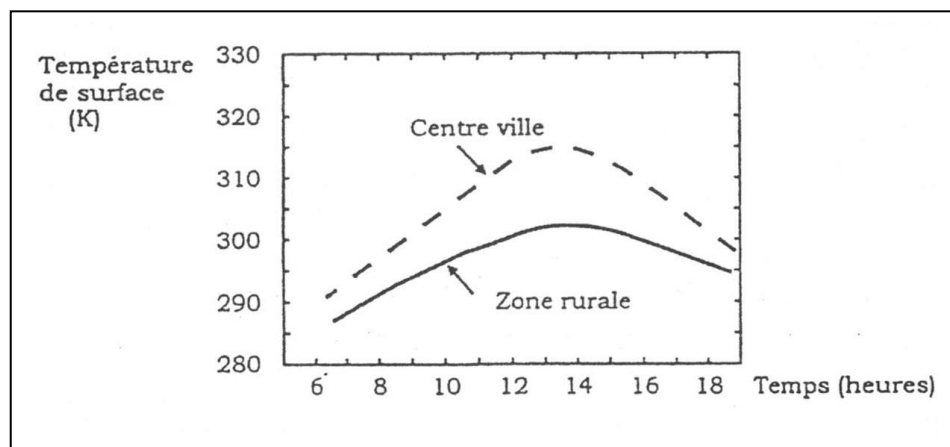
En plus de dépendre des caractéristiques du matériau (inertie thermique, porosité, composition physique...etc.), l'albédo dépend également principalement, de la couleur. Il est d'autant plus important que les couleurs sont claires, (pour un sol recouvert de neige, il est de 80% (Penicaud, 1978). De plus, pour des surfaces très réfléchissantes (eau, neige, vitre...etc.), il varie avec la latitude du lieu, la pente de la surface et l'angle d'incidence de la radiation solaire : plus cet angle est élevé, plus les valeurs de l'albédo diminuent. Dans des configurations de type rue canyon, l'albédo varie aussi, en fonction du rapport entre la largeur de la rue et la hauteur des façades (le prospect). Il est plus important dans des rues favorables au piégeage du rayonnement solaire.

L'albédo varie également selon la quantité d'eau contenue dans le matériau. Celle-ci absorbe la radiation solaire et diminue les pouvoirs de réflexion de la matière : un sable sec a une valeur d'albédo de 35 %, alors qu'humide sa valeur diminue jusqu'à 25% (Peguy, 1970).

2- Les températures de surface

Des processus de réchauffement et de refroidissement, produits par la plus ou moins grande capacité de captage, d'absorption et de stockage calorifique des rayonnements solaire et thermique, permettent de définir des surfaces caractérisées par des températures variées. A l'échelle du tissu urbain et à l'échelle de l'espace public, ces températures dépendent de(s) :

- l'intensité du rayonnement incident,
- l'orientation de la façade
- caractéristiques d'absorption de la surface.
- la conductivité et l'inertie de la masse solide derrière la surface,
- la production de chaleur interne,
- l'évaporation qui s'y produit, ainsi que de l'évaporation potentielle de l'air,
- des échanges convectifs avec l'air, et donc de la vitesse, de la température et du degré de turbulence de l'air, de la forme ainsi que de la rugosité de la surface,
- l'émissivité de la surface



Graphique 1.3. Comparaison de la variation journalière de la température du sol en zone urbaine et en zone rurale, en août 1978 (White, 1978, In : CSTB, 1996a)

Le tableau qui suit donne quelques indications sur la variation des températures en fonction des types de surfaces évaluées par leur albédo à l'échelle du tissu urbain. Ce tableau indique que des surfaces très réfléchissantes n'induisent pas forcément de plus faibles températures. Il indique aussi que les plus fortes températures de surfaces sont trouvées dans les centres urbains denses. White (1978) a d'ailleurs montré une variation importante entre

l'évolution journalière des températures de surfaces relevées dans un centre ville et celles relevées dans une zone rurale (figure 1.7.). Escourrou (1996) a aussi recensé, dans les grandes agglomérations, un écart de 3°C à 5°C entre les températures d'un centre ville et celles d'une périphérie urbaine.

Milieux	Albédo	T° de surface
Forêt de feuillus	0.168	13.5°C
Herbe	0.235	22.5°C
Urbain dense	0.159	23°C
Urbain grand ensemble dense	0.194	21.5°C
Urbain collectif bas	0.185	19.5°C
Urbain pavillonnaire	0.185	20.5°C

Tableau 1.1. Variation de l'albédo et de la température de surface de quelques milieux choisis dans l'agglomération parisienne (CSTB, 1996a).

A l'échelle de l'espace public, les écarts entre les températures de surfaces permettent des échanges de chaleur entre deux surfaces adjacentes. En prenant le cas de deux surfaces verticales ou d'une surface verticale et une autre horizontale, (séparées par une arête), les apports thermiques près de ces surfaces sont aussi considérablement augmentés par les multi-réflexions du rayonnement solaire. L'effet de dièdre induit est plus important près de la façade qu'au centre de l'espace (J-L Izard, 1997) (figure 1.7).

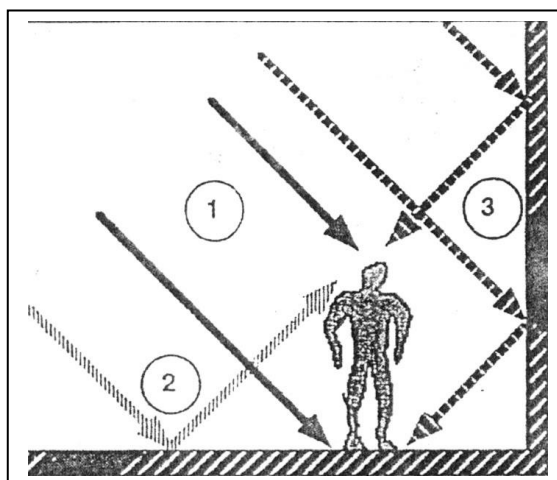


Figure 1.7. Schématisation de l'effet de dièdre (Izard et al, 1998/99).

Précisons que les conséquences de l'effet de dièdre pour l'usager se traduisent par la combinaison de deux champs radiatifs distincts : un champ de rayonnement solaire et un champ de rayonnement thermique, tous deux absorbés et réfléchis par la paroi verticale et la paroi horizontale. Les températures de surfaces augmentent au fur et à mesure que l'individu s'approche de l'arête du dièdre. En parallèle, les échanges convectifs avec l'air élèvent la température ambiante. Ces échanges dépendent de la quantité de rayonnement, mais aussi des propriétés d'émission, d'absorption et de réflexion de la paroi.

3- L'inertie des surfaces et des enveloppes thermiques.

Comparées aux structures légères, les enveloppes urbaines à forte inertie thermique ont une capacité de stockage énergétique importante, ce qui a pour conséquence :

- l'amortissement des variations thermiques dans l'espace urbain, induisant des montées ou des descentes très lentes de températures. Cet amortissement permet d'uniformiser les besoins et les pertes thermiques, et de diminuer les pointes de consommation lors des périodes de grand froid. Lors des canicules, la forte inertie, complétée par une ventilation naturelle assurée par les «pores» urbains (pilotis, ouvertures, passage couverts...etc.), permet d'augmenter les valeurs d'humidité dans l'espace,

- le déphasage des températures entre l'intérieur et l'extérieur de l'enveloppe construite en raison des stockages importants de chaleur par le matériau au cours de la journée, mais aussi dans l'espace urbain extérieur entre la nuit et le jour. Le déphasage thermique maintient, une partie de la matinée des températures fraîches produites par le refroidissement nocturne, et une partie de la nuit des températures plus chaudes produites par l'accumulation thermique journalière. Ce phénomène est d'autant plus présent que l'ouverture de l'espace au ciel est réduite. Les espaces étroits tels les rues et les places présentent en effet des inerties thermiques importantes favorisées par les propriétés des matériaux.

d- L'action du végétal.

La présence de masses végétales verticales (arbres, arbustes, plantes grimpantes, etc.) ou horizontales (pelouse) modifie la distribution spectrale du rayonnement global à proximité du sol. Les feuillages constituent des filtres hétérogènes qui perturbent la régularité du spectre radiatif.

Les plantations végétales verticales importantes réduisent l'ouverture de l'espace au ciel. Dans ce cas, la présence d'arbres d'alignement ou de tout autre couvert végétal vertical joue un rôle de protection solaire particulièrement dans les régions très ensoleillées. La protection que ce végétal procure dépend de la taille et de la densité de son feuillage.

En effet, la variation du rayonnement solaire produite par la perméabilité d'un feuillage sous un arbre, a été évaluée à 40 % en hiver et 5% en été par rapport à sa valeur au-dessus de la masse foliaire (Mascaro & al., 1998) (figure 1.8). Par ailleurs, la transmission de l'éclairage naturel décroît aussi avec l'augmentation de la densité du feuillage. Elle est minimale, aux environs de 10 % à proximité du tronc, et maximale de 100 % à proximité des bords du feuillage et des espaces non couverts. Pour les arbres à feuilles caduques, cette densité dépend du cycle saisonnier.

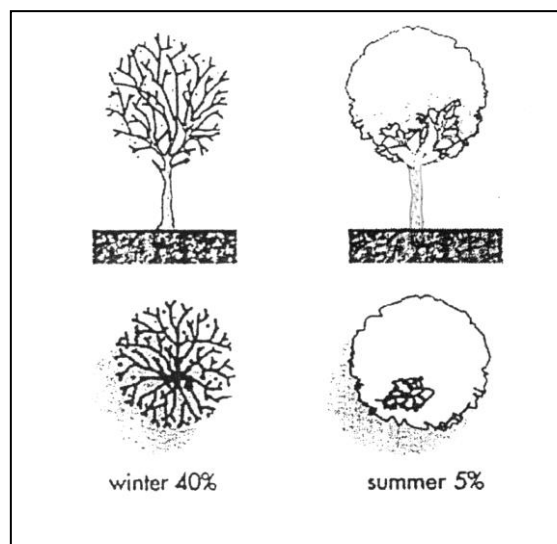


Figure 1.8. Opacité et perméabilité du feuillage en été et en hiver (Mascaro & al., 1998).

En outre, signalons que la directionnalité multiple des feuilles modifie le cycle et la trajectoire des multi-réflexions, et perturbe la distribution radiative et thermique.

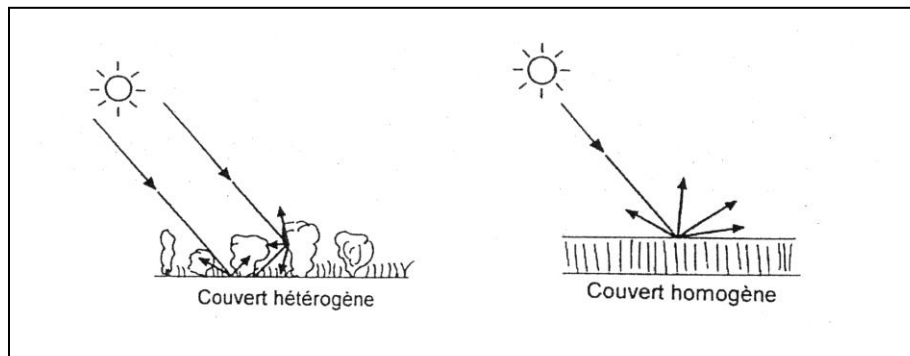


Figure 1.9. Comparaison de la distribution du rayonnement solaire direct sur une surface homogène et sur une surface végétale (Guyot, 1997).

De plus sous les végétaux, surtout les plus denses, la réduction des déplacements d'air, favorise l'accumulation thermique. Les échanges énergétiques produits par les contrastes combinés du rayonnement terrestre ascendant et du rayonnement global descendant, augmentent la température de l'air sous le feuillage. En période estivale, cette température y est plus forte qu'à l'ombre d'une façade. Une différence de plus de 1°C est relevée, avec des taux d'accroissement corrélés à la taille des arbres et au type de feuillage (Izard, 1997). Dans le cas d'un parc de grande étendue, cette température peut-être supérieure (de plus de 3°C) à la température de l'air sur la pelouse au soleil. Dans des conditions similaires, (des écarts de l'ordre de 2 à 3°C), ces variations sont essentiellement dues à une hausse de température de surface des arbres par rapport à celle des façades (Izard, 1997). En revanche, la température de surface du végétal reste toujours inférieure à celle de l'air. Les feuillages particulièrement ceux d'une épaisseur suffisamment importante, se comportent comme des plafonds frais qui compensent l'élévation de la température ambiante de l'air entre le sol et les feuilles.

Par ailleurs, les arbres jouent aussi un rôle de brise vent. Les zones d'ombre produites à partir de la morphologie végétale constituent des sources de régulation énergétique particulièrement importantes lorsque le soleil est bas sur l'horizon. Dans une partie de l'angle solide, au rayonnement atmosphérique reçu au niveau du sol, se substitue cependant le rayonnement thermique des feuillages, exposés à des multi-réflexions (même à l'ombre), et dont la température de surface est supérieure à la température radiative de l'atmosphère (figure 1.10).

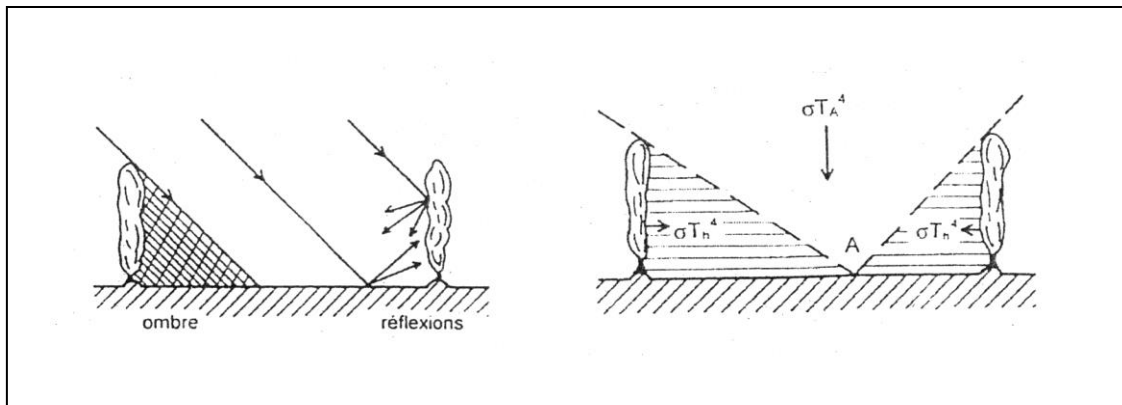


Figure 1.10 : Effet de brise vent sur le rayonnement solaire global et sur les échanges radiants de grandes longueurs d'ondes (Guyot, 1997).

En conséquence, malgré les capacités des végétaux (pelouse ou feuillage d'arbre) à absorber, piéger et réfléchir les rayonnements, l'apport thermique qu'ils peuvent procurer est minime. Une surface végétale s'échauffe, en effet, bien moins qu'une surface minérale.

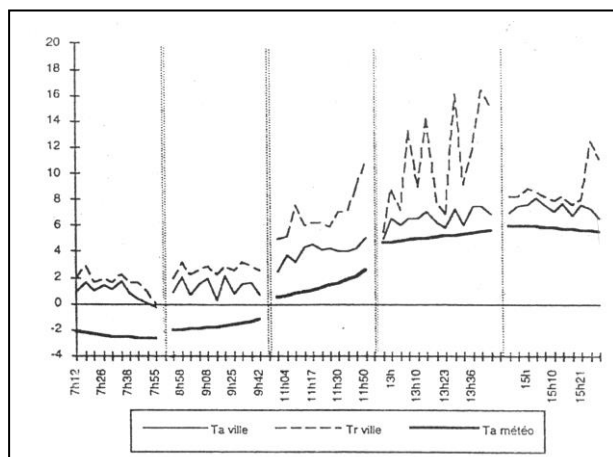
1.4.2.2. Le champ des températures de l'air.

Le champ des températures de l'air dans les milieux urbains n'est qu'une résultante de l'ensemble des échanges énergétiques produits entre les différentes composantes terrestres et atmosphériques. Il est largement dominé par le rayonnement global qui constitue par ciel clair, la principale source de réchauffement au sol. Par ciel couvert ou obscur, le rayonnement atmosphérique et le rayonnement terrestre sont à l'origine des variations de ces températures.

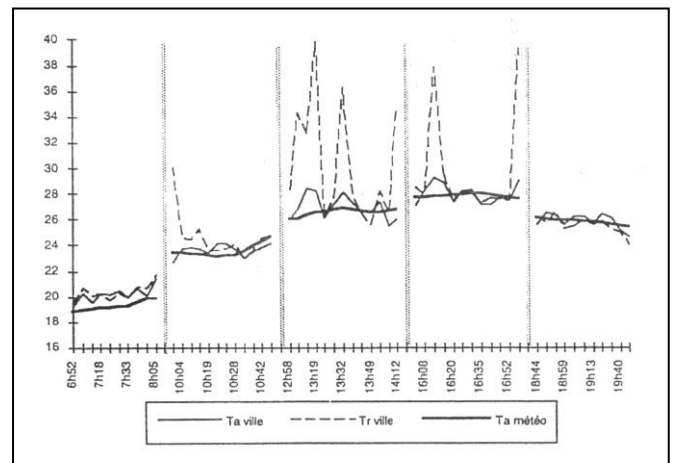
La température de l'air mesurée isolément est difficile à évaluer. Elle l'est généralement à travers des comparaisons avec des valeurs de températures recueillies dans les stations météorologiques. Les variations recensées, entre le centre d'une grande ville et la station météo la plus proche sont souvent très importantes. Elles illustrent pour une grande part, l'effet énergétique de l'urbanisation. Dans des villes moyennes comme Aix-en Provence ou Nîmes, J-L Izard (1987) a observé des écarts plus grands en hiver qu'en été. Nous pouvons expliquer ces variations par l'apport d'énergie supplémentaire dû au chauffage domestique en hiver.

Par ailleurs, dans les couches d'air à proximité d'un sol à urbanisation poussée, la stratification de l'air est souvent instable. Le refroidissement radiatif au niveau des toits est

plus élevé. Il est aussi plus important que celui des stations météorologiques. De plus, l'évolution du gradient vertical de température indique que la température de l'air est toujours plus élevée à 4m du sol qu'au niveau des toits dans des sites à urbanisation verticale très prononcée (Escourrou, 1996). En dessous de cette hauteur, lorsque le rayonnement solaire est capté et parfois piégé par les surfaces, particulièrement dans les configurations urbaines les plus denses, Les mouvements d'échanges thermiques entraînent alors le réchauffement des basses couches.



Le 12/12/1996



Graphe 1.4 Profil des températures de l'air en ville et à la station météo pour une journée d'été et une journée d'hiver à Aix-en-Provence (Izard, 1997).

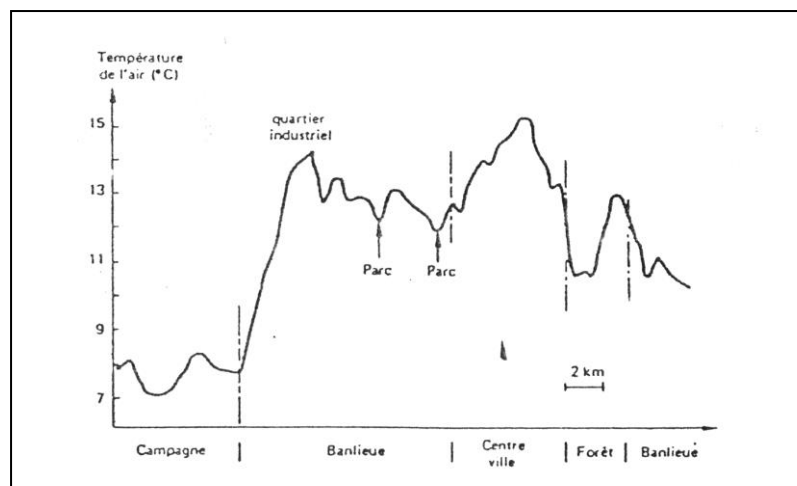
Nous comprenons donc que parallèlement aux facteurs d'ordre cosmique et aux conséquences de la croissance urbaine (pollution automobile, activités domestiques, industrie...etc.), les éléments de l'environnement construit (façades bâties) font également varier les températures de l'air à l'échelle locale. Cette variation est essentiellement produite par les échanges convectifs entre l'air et les parois. Ces échanges dépendent des caractéristiques thermiques de ces parois et des rapports de voisinage qu'elles entreprennent. Deux principaux effets sont à évoquer :

a - La densité urbaine :

L'augmentation des températures est proportionnelle à la densité horizontale d'occupation du bâti au sol. En effet, les conséquences d'un aménagement dense sur le bilan énergétique sont plus importantes au-dessus des grands centres villes urbains qu'au-dessus des banlieues et campagnes environnantes.

Des campagnes de mesures de la température de l'air comme celles effectuées par Miller-Chagas, (1980), Escourrou, (1996), Izard (1997),...etc. ont recensé des influences microclimatiques variées lors du passage d'un quartier dense à un quartier plus ouvert dans la ville. Des variations de températures allant de 1°C à 4°C d'un lieu à l'autre selon le type d'habitat ont pu être enregistrées. Izard (1997) a d'ailleurs conclu à «un effet de ville»⁵. Escourrou (1996) a également, remarqué que le réchauffement de la sous-couche limite urbaine se faisait de façon circonscrite, proportionnellement aux différents niveaux d'urbanisation de la ville (des centres villes vers les campagnes de proximité).

Izard (1997) a défini un effet de ville à Nîmes et à Aix en Provence en hiver, pour des températures d'air relevées en ville inférieure à 5°C. L'effet de ville est plus prononcé le matin.



Graphe 1.5 : Variation de la température de l'air au niveau du sol entre un centre ville et des sites périphériques (CSTB, 1996a).

Par ailleurs dans les quartiers les plus denses de la ville, le régime nocturne d'accumulation de chaleur produit par l'accroissement journalier des températures diurnes, et conservé par l'inertie thermique, de l'espace, rend le centre de l'agglomération encore plus chaud que la périphérie (graphe 1.5) Ces effets persistent jusqu'en début de matinée ; ils sont principalement maintenus par :

- l'apport d'énergie anthropique, surtout en hiver, constitué essentiellement par le chauffage, les industries, les transports et enfin par la chaleur métabolique (homme et animaux),

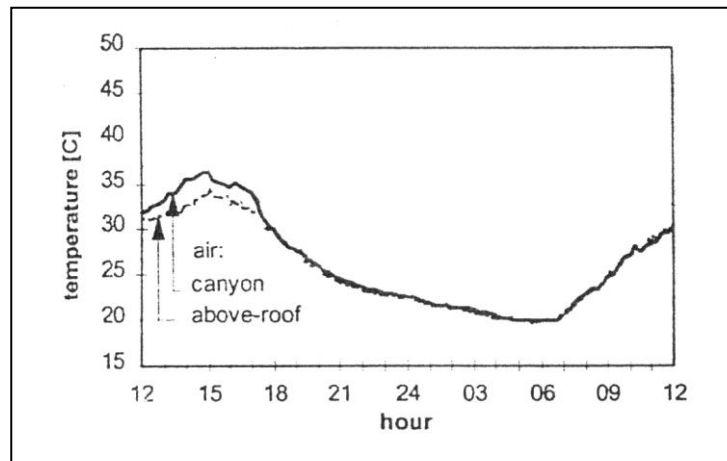
- l'emmagasinement de l'énergie diurne par les dispositions spatiales, et les bâtiments, ainsi que sa redistribution pendant la nuit dans l'atmosphère sous forme de rayonnement terrestre.

Quel que soit le moment de la journée ou de la nuit, l'accumulation thermique, se fait ainsi mieux au-dessus d'un centre urbain dense qu'au-dessus d'une banlieue étendue. La chaleur se disperse mal dans les rues étroites bordées d'habitations hautes. On comprend dans ce cas pourquoi le centre traditionnel d'une ville est plus chaud : les constructions distribuées dans un rayon urbain réduit sont plus nombreuses et le stockage énergétique y est plus important. Santamouris et al (1998) ont recensé des variations de température pouvant atteindre 7°C à 8°C entre le centre de la ville d'Athènes et la périphérie urbaine. Ces écarts peuvent atteindre les 17°C durant une journée d'été ensoleillée (Santamouris & al., 1998).

b - L'effet des surfaces chaudes :

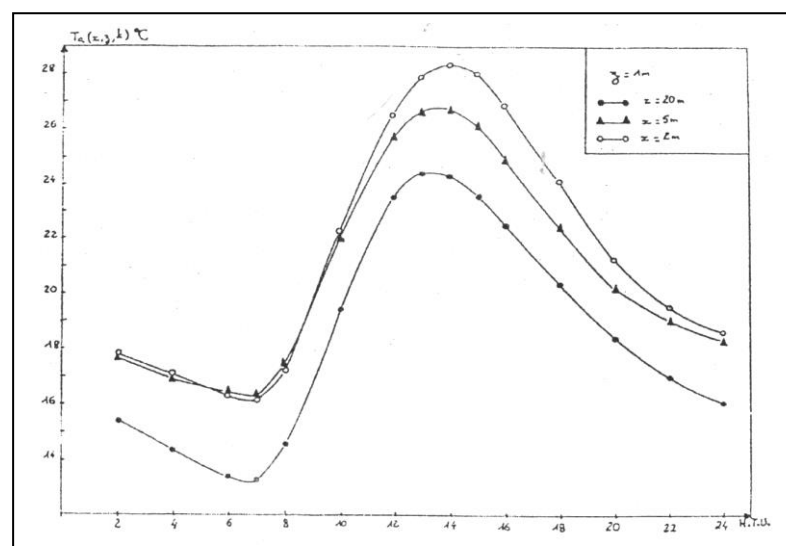
L'hétérogénéité des surfaces urbaines fait varier les échanges thermiques à proximité des façades. La contribution de chaque surface dépend d'une part, de ses propriétés réfléchives, émissives et d'absorptivité, et d'autre part de sa position dans l'espace par rapport au soleil et aux autres surfaces.

Dans une rue canyon orientée est-ouest, Pearlmutter (1998) a pu mettre en évidence des variations comprises entre 1°C et 3°C, du milieu de journée jusqu'en fin d'après-midi (18h00), entre la température relevée à la hauteur d'une personne moyenne, et celle relevée au-dessus des toits. Nous remarquons qu'après 18h00, les écarts sont très faibles et l'évolution des températures est identique (Graphe 1.6)



Graph 1.6 : Écart entre la température de l'air à l'intérieur d'une rue canyon E-O et au-dessus des toits (Pearlmutter, 1998)

Dans des espaces plus ouverts, les températures les plus élevées sont toujours celles enregistrées près des surfaces thermiques, en particulier celles exposées au rayonnement solaire. En effet, et conformément aux observations de Noilhan (1980), la température de l'air est généralement plus élevée près d'un mur ensoleillé, particulièrement en été, que dans un espace dégagé. Noilhan a remarqué que l'accroissement important de l'apport solaire global recensé au voisinage des murs, se poursuivait jusqu'à une distance de 10 m à l'intérieur d'une cour d'immeuble en forme de U.



Graph 1.7 : Variation diurne de la température de l'air à 1m du sol et à différentes distances, d'un mur vertical (Noilhan, 1980).

Notons que l'élévation de la température de l'air, à proximité des façades, est également induite par les pertes de chaleur de l'enveloppe bâtie qui sépare les milieux intérieurs des milieux extérieurs. De ce fait, l'apport de chaleur externe près d'une surface est augmenté par la chaleur émise, réfléchiée ou diffusée par l'enveloppe. L'écart peut atteindre une valeur supérieure à 4°C entre un point situé à 2m et un autre situé à 20m d'une façade ensoleillée (Noilhan, 1980).

1.4.2.3. L'écoulement des vents:

Les contrastes de températures accentuent les variations et l'intensité des déplacements verticaux et horizontaux de l'air. Ces variations sont souvent estimées en fonction d'une vitesse de référence évaluée dans un site peu soumis aux perturbations turbulentes (de type rase campagne par exemple) (Barnaud, 1996). La vitesse de référence est mesurée directement à la station météorologique la plus proche du site à une hauteur de 10 mètres du sol. Dans ce cas, un recalage climatique est nécessaire. Il consiste en une opération qui rapporte la vitesse météo à la hauteur voulue pour une mesure sur site. Il est exprimé par l'équation (Barnaud, 1996) :

$$V(Z) = C.U_{10\text{mètres}}$$

où

$V(Z)$: vitesse horizontale à une hauteur Z choisie sur le site (hauteur de l'individu par exemple),

$U_{10\text{ mètres}}$: vitesse horizontale du vent mesurée à 10 mètres du sol à la station météo,

C : coefficient de recalage qui est fonction de la rugosité du site et de la hauteur de la mesure.

Nous savons que tout objet isolé sur le sol constitue un obstacle supplémentaire à l'écoulement de l'air. Au passage du vent, cet obstacle entraîne soit des survitesses, soit des ralentissements. Cela revient à préciser qu'en plus de dépendre de facteurs d'ordre atmosphérique, les perturbations à l'origine des survitesses et des accélérations dépendent de caractéristiques liées à l'hétérogénéité urbaine produite par un amalgame d'objets isolés. Ces caractéristiques peuvent se résumer au nombre de quatre :

a- La rugosité de l'aménagement :

Les fortes rugosités urbaines peuvent entraîner un ralentissement de l'écoulement par des effets de frottement liés à l'hétérogénéité des surfaces urbaines. Elles peuvent favoriser les mouvements d'air par des effets d'accélération nés des variations importantes de pressions entre zones. Des mouvements verticaux apparaissent aussi, vers la haute atmosphère ou vers le sol. Ils sont favorisés par la croissance ou la décroissance de la température en fonction de l'altitude.

L'une des plus importantes caractéristiques d'un site pour la mesure du vent est sa longueur de rugosité qui, par définition, est la hauteur (à partir du sol) du plan où s'applique la condition d'adhérence (c'est-à-dire où le vecteur vent moyen est égal au vecteur nul). Malet (1989) a noté que si les obstacles présents sur le site sont rapprochés les uns des autres et s'ils occupent plus de 25 % de la surface avec des hauteurs du même ordre, la condition d'adhérence serait appliquée à une hauteur $Z=D+Z_0$, où (D) est la hauteur de déplacement ($D = 7/10$ de la hauteur des obstacles en question, telles les plantes) (In : Cadiou, 1996), et Z_0 est le paramètre de rugosité (figure 1.11)

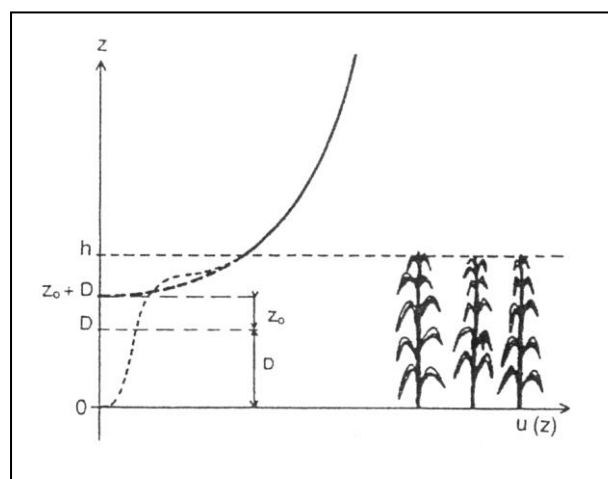


Figure 1.11 Profil vertical de vitesse du vent au-dessus, d'un couvert végétal élevé. (D) étant la vitesse de déplacement (In . Cadiou. 1996).

Signalons que pour chaque direction de vent, la longueur de rugosité dépend de l'homogénéité du terrain, du type d'obstacles et de la distance sur laquelle ces deux conditions

s'appliquent. Son calcul exact étant difficile à établir, nous fournissons dans le tableau ci-dessous une typologie qui peut être utilisée.

Nature de la surface	(Z_0) en mètre	K
Océan, grands lacs	10^{-5} à 10^{-2}	0.17
Rase campagne	0,01 à 0,1	0.19
Bocage zone de banlieue	0,1 à 0,5	0.19
Zone urbaine	0,5 à 1,5	0.22
Centre de très grande ville	1,5 à 2,5	0.24

Tableau 1.2. Valeurs des longueurs de rugosité pour différents sites (Gandemer, & al 1976).

Il est admis que dans la sous couche limite le vent moyen présente un profil logarithmique (Malet, 1989), selon une loi du type

$$V(z) = k \cdot \ln(Z / Z_0)$$

où .

V : vitesse horizontale du vent à l'altitude Z,

Z_0 : longueur de rugosité,

K : coefficient de proportionnalité variable selon le type de site (Cardiou, 1996).

Les valeurs de K sont données dans le tableau 2.2 ci-dessus.

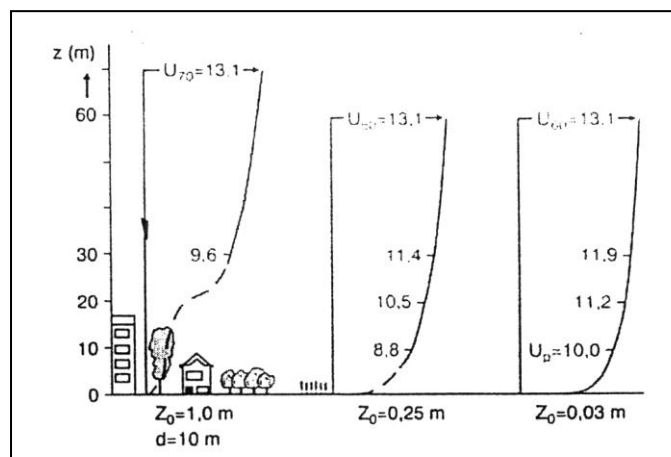


Figure 1.12. Profils verticaux de vent pour différents types de terrains (Cardiou, 1996)

Conformément à la loi précédente, une même vitesse d'air peut être obtenue dans différents sites mais à des hauteurs variables. L'écart type dépend autant de l'état de rugosité des couches urbaines, et de la stratification thermique, que de la nature de ces couches. Dans les basses couches, la stratification favorise en effet les variations de pression entre masses d'air superposées. Selon que le vent passe par un centre ville, une banlieue ou une forte étendue d'eau, l'énergie produite par les combustions urbaines et les échanges au sol, combinée aux types de rugosité, modifie le profil vertical de la turbulence et le gradient de vitesse moyenne (figure 1.12). Sur des sites aussi denses que les centres villes urbains, l'intensité de la turbulence peut même être de 100 % à 200 % supérieure à celle mesurée en rase campagne à hauteur et à température équivalentes (Duchene-Marullaz. 1980).

Par ailleurs, à l'intérieur même du tissu urbain, l'origine des forces de frottement est aussi très diversifiée. En plus de l'influence de la structure générale du tissu, des rugosités locales sont créées par les éléments urbains (bâtiments, végétation, matériaux...etc.), et modifient de manière apparente les vitesses et les écoulements des vents à proximité de l'obstacle. Ces rugosités sont dues à :

- la forme des constructions, leur hauteur, leur largeur, leur aspect extérieur et leur disposition dans l'espace,
- la nature des matériaux de revêtement des surfaces,
- la présence ou non de surfaces végétales.

b - La densité du maillage tridimensionnel :

Il s'agit de la répartition du bâti sur le sol. Les caractéristiques de densité de ce maillage permettent d'évaluer les possibilités de pénétration du vent dans le plan masse. Dans les mailles urbaines resserrées et denses, seuls les toits et les terrasses sont exposés. Le vent, soumis à l'influence des forces de frottement produites par la succession des toits et des terrasses, franchit verticalement ou latéralement l'agglomération ou le bloc de construction avec des vitesses plus faibles que lors de son passage dans les zones périphériques (campagnes environnantes). Même pour des tissus morphologiquement homogènes, la décroissance de la vitesse à proximité du sol peut atteindre 30 % par rapport à ce qu'elle serait en rase campagne (Gandemer & al., 1976). L'écoulement n'est que très peu turbulent.

En outre, le vent qui arrive à pénétrer les mailles urbaines des tissus denses est souvent canalisé par les ruelles étroites. Lorsqu'à l'origine, il a une direction parallèle à l'axe de la rue, il parvient à s'y infiltrer et à l'aérer. Des accélérations ou des ralentissements favorisés par des variations locales de pression, modifient alors le régime des circulations d'air à l'intérieur de l'espace.

Dans une rue de type canyon, Oke (1980, 1988) a étudié la nature des circulations d'air à partir du sol, où des tourbillons se produisent, jusqu'à une hauteur pour laquelle l'écoulement est stable et laminaire. Il a pu remarquer que cette hauteur variait selon le rapport hauteur moyenne de la rue sur sa largeur, ainsi que selon la densité du bâti (Figure 1.13)

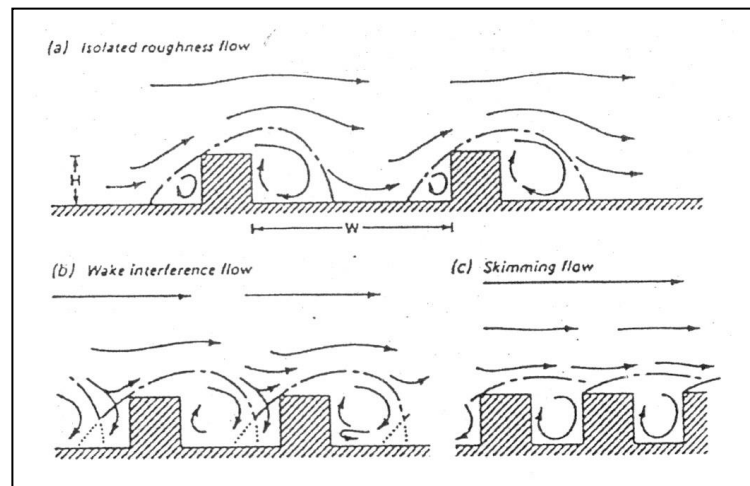


Figure 1.13. Profil de la circulation de l'air en fonction du rapport de la hauteur moyenne de la rue et de sa largeur (Oke, 1988).

Dans des tissus plus ouverts les perturbations sont plus importantes. La porosité horizontale mais aussi verticale, des larges boulevards, des cours, des jardins, des espaces résiduels, ainsi que des aménagements d'immeubles (pilotis, préau, variation typologique horizontale et verticale...etc.) peuvent conditionner des circulations d'air variées. Dans ce cas, les risques d'accidents aérodynamiques et de courants d'air sont plus nombreux (figure 1.14)

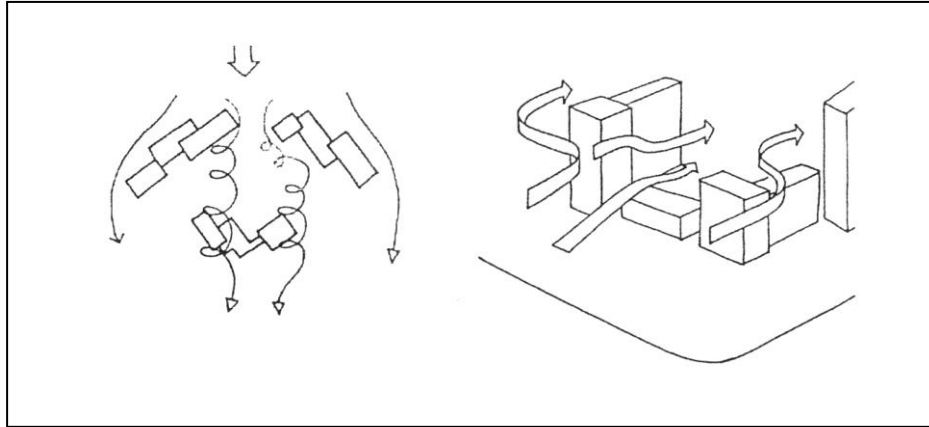


Figure 1.14. Écoulement du vent dans des dispositions en dents de scie et dans des dispositions convexes (Gandemer, 1976).

c - L'orientation des mailles bâties

L'orientation des mailles bâties permet de définir l'exposition de l'espace aux vents dominants. Si l'orientation principale de la maille est parallèle à la trajectoire du vent, les vitesses augmentent davantage que si la maille était perpendiculaire au vent (effet de canalisation, (figure 1.15))

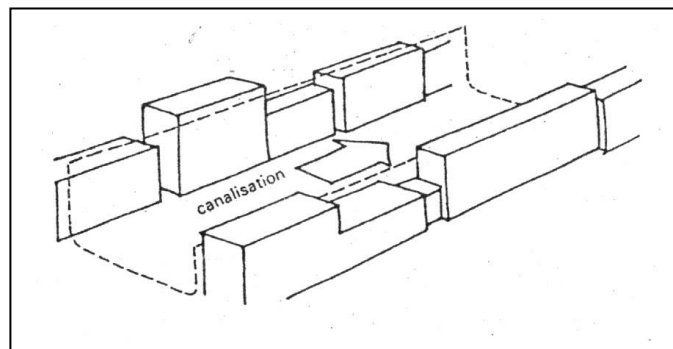


Figure 1.15. Canalisation du vent par une direction de rue (Gandemer & al, 1976)

En prenant comme exemple un espace de type rue canyon, dont l'axe est perpendiculaire à l'axe des vents, nous remarquons que l'écoulement et la vitesse de l'air sont très peu perturbés. L'atténuation de la vitesse est $2/3$ par rapport à la vitesse initiale. Cette atténuation est moins importante, de l'ordre de $1/3$, pour une rue parallèle aux vents (Pearlmutter, 1998). D'autre part quelle que soit son orientation initiale, le vent peut être dévié et canalisé par les vides urbains entre bâtis aussi variés soient-ils, et emprunter dans le cas l'orientation de ces vides.

d- L'influence de la volumétrie du bâti.

L'influence de la volumétrie du bâti dans les espaces extérieurs apparaît dans la forme géométrique des constructions. En effet, l'écoulement du vent à proximité des bâtiments suit l'allure des formes construites. Il est contraint de les contourner en faisant apparaître des zones de pression et de dépression à l'avant et à l'arrière des façades. Dans une architecture simple de type barre, des mouvements tourbillonnaires (à l'avant du bâtiment), en zone de surpression, et sous le vent (au dos du bâtiment dans le sens du vent) en zone de dépression, produisent des zones d'inconfort aérodynamique variables. (figure 1.16)

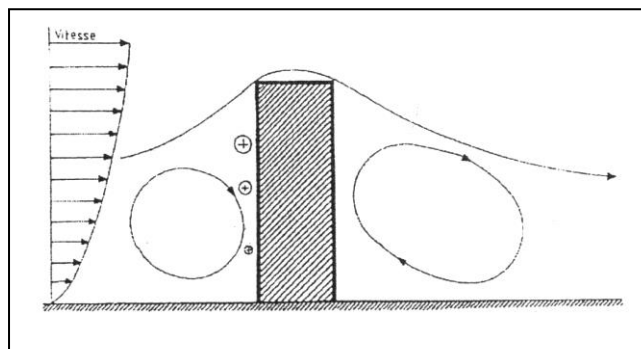


Figure 1.16. Ecoulement du vent sur une géométrie simple
(Gandemer & al, 1976)

Signalons également que la surpression est d'autant plus importante que la vitesse et la hauteur de l'obstacle sont grandes. Les tourbillons dépressionnaires à l'arrière du bâtiment sont plus complexes, et se combinent à un effet de sillage. Autour d'architectures plus complexes, les contrastes de pressions, plus nombreux, favorisent aussi des écoulements de vent plus variables en trajectoire et en vitesse.

De la distribution de ces diverses formes de bâtiments, l'équipe du CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) de Nantes (1976) a déterminé, par des essais en soufflerie atmosphérique, les effets d'un certain nombre de dispositions types de bâtiments sur la vitesse moyenne et l'intensité de la turbulence. Nous rappelons brièvement leurs définitions ci-dessous.

1- L'effet de tours sous immeubles : phénomène d'écoulement dans les trous ou dans des passages sous immeubles, qui relie l'avant du bâtiment en surpression à l'arrière en dépression. Ce phénomène est fréquent dans les immeubles à pilotis.

2- L'effet de coin : phénomène d'écoulement aux angles des constructions qui met en relation la zone de surpression amont et la zone de pression latérale du bâtiment. Ce phénomène existe dans les formes isolées, mais aussi dans les formes compactes qui, par leurs dimensions, forment un écran plus important que les formes aérées

3- L'effet de sillage : circulation fluide tourbillonnaire en avant des formes. Cet effet a une forme caractéristique de sabot de cheval. La zone particulièrement affectée, généralement en aval des grands immeubles, s'étend sur une aire qui est égale au double de la hauteur du bâtiment des deux côtés de la forme. Le sillage intègre l'effet de coins. Ce dernier fournit les niveaux d'inconfort les plus élevés en raison des fortes survitesses engendrées.

4- L'effet de rouleau tourbillonnaire aux pieds des immeubles : rouleau tourbillonnaire au pied de la face au vent de la construction. Il est conditionné par le gradient vertical de vitesse moyenne du vent. La hauteur du bâtiment doit être supérieure à 15m. Cet effet peut être renforcé par la présence d'un immeuble bas d'une hauteur comprise entre 10 et 15 m en amont. Cet immeuble pourrait accélérer le mouvement tourbillonnaire horizontal, et le canaliser.

5- L'effet de barre : déviation en vrille de l'écoulement au passage d'une barre pour une incidence voisine de 45° . Le phénomène existe dans le cas d'une barre isolée face ou parallèle au vent ou dans le cas d'une série de barres alignées avec un espacement peu important.

6- L'effet venturi : phénomène de collecteur formé par des constructions dessinant un angle ouvert au vent. La zone critique pour le confort se situe à l'étranglement de deux séries d'immeubles alignés. Ce phénomène apparaît pour une hauteur minimale de 15 m.

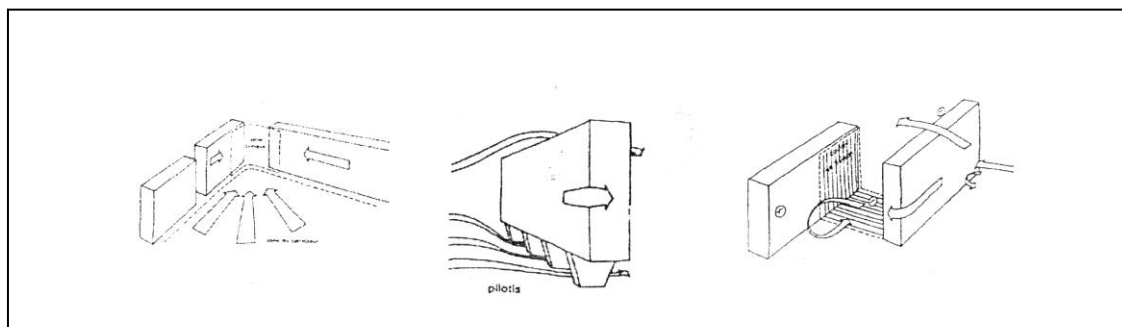
7- L'effet de liaison de zones de pressions différentes : phénomène d'écoulement entre les zones de pressions différentes dans le sens des pressions décroissantes. Il est formé par des bâtiments placés en quinconce sous une incidence voisine de la normale. Ce phénomène agit pour une hauteur moyenne maximum de bâtiments de 15m.

8- L'effet de canalisation : il est provoqué par un ensemble construit formant un couloir à ciel ouvert. Il faut noter que la canalisation n'est pas une gêne en soi. Elle n'agit que si elle est associée à une anomalie aérodynamique, qu'elle transmet sur toute sa longueur, comme son association à un effet venturi à titre d'exemple. Le couloir canalisant doit être constitué de parois peu poreuses pour éviter les filtrages d'écoulement. En effet, avec une porosité

supérieure à 5%, la canalisation ne fonctionne plus. Ce couloir doit également être doté d'une largeur égale ou inférieure à l'épaisseur des bâtiments, et la hauteur minimale des barres doit être supérieure ou égale à 6m.

9- L'effet de maille : provoqué par une juxtaposition de bâtiments formant une alvéole ou une poche. Suivant ses dimensions, la maille sera soit franchie globalement de par ses faibles dimensions (c'est le cas dans les zones abritées), soit pénétrée par le vent compte tenu de sa faible hauteur moyenne ou de sa superficie globale. Cet effet diffère donc selon les dimensions de la maille, mais aussi selon sa forme (ouverte, fermée, parallèle...etc.)

10- L'effet de pyramide : provoqué par un groupement de constructions à décrochement et à caractère pyramidal. Cette forme de construction semble judicieuse car elle n'engendre pas d'inconfort particulier bien qu'elle modifie considérablement la structure du vent. Les survitesses qui apparaissent au pied des constructions et sur les terrasses sont faibles. Ainsi, le confort est moyen voire bon. L'effet de pyramide est correcteur de l'effet de coins. Le dégradé en pyramide réduit les survitesses aux coins des immeubles. Il faut cependant protéger les balcons au vent, soit par un aménagement végétal dense ou par un garde-corps déflecteur, soit en utilisant des balcons alvéoles qui favorisent les espaces calmes,



Effet venturi

Effet de trous
sous immeubleEffet de liaison de zones
de pressions différentes

Figure 1.17. Quelques effets aérodynamiques du vent
(Gandemer & al. 1976).

Une bonne connaissance de ces effets permet d'approcher l'aspect aérodynamique des espaces extérieurs, et de conclure à des configurations urbaines génératrices de situations de confort ou d'inconfort. L'intérêt de ces expériences est de prévoir les orientations nécessaires pour une protection vis-à-vis du vent.

1.4.2.4. Le champ des humidités.

L'effet d'une zone urbaine sur l'humidité de l'air est généralement difficile à préciser. Les écarts obtenus avec la campagne environnante sont souvent difficiles à appréhender. A l'échelle de la sous-couche limite urbaine, les variations dépendent de l'étendue de l'îlot de chaleur qui se forme au-dessus des toits. Ces variations sont inversement proportionnelles à l'évolution des températures. Des contrastes d'humidité peuvent ainsi apparaître entre le centre des villes et les périphéries urbaines de la même façon qu'apparaissent les contrastes de températures.

En règle générale, les valeurs d'humidité relative sont en moyenne plus faibles en ville qu'en rase campagne. En été, ces écarts peuvent atteindre 20% à 30% en valeurs extrêmes et 10% en valeurs moyennes (Duchene-Marullaz, 1980). Ils augmentent avec l'accumulation journalière des températures de l'air surtout pendant la nuit. L'air est toujours plus sec la nuit, dans le centre ville que dans les périphéries. Les quantités de vapeur d'eau diminuent encore davantage par l'effet de chaleur supplémentaire procurée par l'émission et la réflexion des surfaces thermiques. La répartition des surfaces minérales, (plus nombreuses en ville qu'à la campagne), diminue les apports de vapeur d'eau, contrairement aux campagnes où prédominent les surfaces végétales riches eau. Par contre, en hiver, l'air des villes est souvent plus humide, d'une part à cause de la diminution brutale du pouvoir évapotranspirant de la campagne, dû à un sol gelé ou couvert de neige, et d'autre part en raison de l'augmentation du taux de vapeur d'eau en ville par les processus de combustion.

Par ailleurs, l'estimation des variations journalières en ville indique que globalement, l'air est souvent plus humide le jour et un peu plus sec la nuit. Ce phénomène apparaît plus nettement l'été, surtout par temps ensoleillé. La diminution de la quantité d'eau contenue dans l'air entre la nuit et le jour à cette saison, peut atteindre en moyenne 2,5 g/kg d'air sec (Duchene-Marullaz, 1980). Ce taux peut varier entre différents espaces urbains en raison des sources plus ou moins humidificatrices et très localisées suivantes :

a - L'imperméabilisation des surfaces.

La densité de l'îlot de chaleur au dessus des toits favorise la condensation des particules d'eau dans l'air. Une recrudescence des précipitations augmente ainsi les apports en vapeur d'eau dans la sous-couche limite urbaine. Au sol, la quantité d'eau diminue, non pas par évaporation, ce qui constituerait un avantage thermique dans les grands centres urbains, mais par ruissellement au sol, sur les toits, sur les façades des maisons et sur les chaussées. L'évaporation est très faible, elle disparaît peu de temps après la fin des pluies. La consommation d'énergie par production de chaleur latente est ainsi quasi absente.

b - L'évapotranspiration du végétal.

La présence de surfaces végétales est toujours source d'humidité. L'émission de vapeur d'eau due d'une part à l'évapotranspiration, et d'autre part, à l'évaporation des pluies et rosées au-dessus des feuillages, augmente la consommation énergétique. Lorsque l'air est saturé, des dépôts de gouttelettes d'eau se forment sur le végétal et modifient la température de rosée. Ce processus est surtout perceptible une partie de la matinée, par l'effet continu des refroidissements nocturnes conservé par l'inertie thermique des façades. Il diminue progressivement avec l'augmentation de l'intensité du rayonnement solaire.

L'effet de l'évaporation sur les surfaces végétales dépend de la morphologie, de l'albédo et de la rugosité des feuilles. L'humidité relative sous le végétal est supérieure de 3% à 10% comparée à des surfaces sans végétation. L'écart est plus prononcé en été car la densité du feuillage est plus dense. Des valeurs plus faibles peuvent cependant, être enregistrées par l'action du vent, parvenant à s'infiltrer en raison de la porosité de la masse foliaire (période de floraison au printemps), ou en raison de l'existence de surfaces vides au sol (non couvertes par le feuillage) comme l'indique la figure 1.18 sous la masse foliaire (1) la valeur de l'humidité relative est plus importante que celle relevée à proximité des arbres (2).

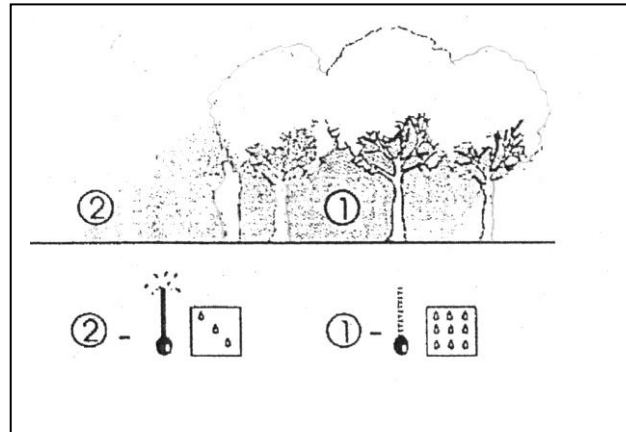


Figure 1.18. Variation de l'humidité relative sous le couvert végétal (Mascaro & al., 1998).

Par ailleurs, la présence d'une surface végétale, même exposée au rayonnement solaire, masque les effets d'inertie au sol. Cela explique la sensation de rafraîchissement lorsque l'on passe d'une surface minérale à une étendue verte (pelouse, jardin...etc.). En effet, les températures de la pelouse sont toujours plus basses que celles d'une allée minérale pour une même température de l'air et un même taux d'exposition au soleil. En comparant deux photos infrarouges d'une allée minérale et d'une pelouse, Izard (1997) a repéré un « effet de pelouse ». Cet effet est défini par un écart de 1°C entre la pelouse et le sol minéral à l'ombre. L'écart peut même atteindre une valeur de 11°C lorsque l'espace est exposé au soleil. Izard a ainsi remarqué les phénomènes suivants : (figure 2.19)

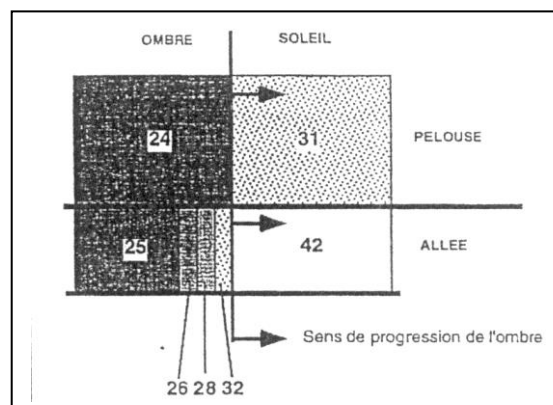


Figure 1.19. Comparaison de la température d'une pelouse et d'une allée au soleil et à l'ombre (Izard, 1997).

- à l'ombre « stabilisée », la pelouse et l'allée minérale ont une température voisine à 1°C près (la pelouse reste un peu plus fraîche à cause de l'humidité procurée par l'arrosage et les rosées matinales),

- au soleil « stabilisé », l'allée s'échauffe beaucoup plus que la pelouse : 11°C de plus. En passant de l'ombre au soleil, la pelouse passe de 24°C à 31°C, tandis que l'allée minérale passe de 25°C à 42°C.

- l'effet d'inertie de l'allée minérale apparaît dans le dégradé des températures à proximité du front d'ombre. Cet effet est inexistant sur la pelouse.

c - L'influence des sources d'eau.

La proximité d'une étendue d'eau (océan, lac, fleuve...etc.) modifie le profil hygrométrique. En hiver la variation d'humidité due à la présence d'un lac, se traduit par la formation de bruine et de brouillards. Toutefois, l'influence de ce lac dépend de sa surface, ainsi que de la masse d'eau qu'il contient. En effet, les petits plans d'eau sont insignifiants sur les changements d'humidité, à l'échelle de l'agglomération. Leur volume n'exerce aucune influence sur les températures ambiantes de l'air. La présence d'un lac important, près d'une zone urbaine, amène en revanche des déplacements d'air sous forme de fronts froids du centre du lac, constituant une zone froide, vers les zones périphériques plus chaudes. Un air frais et humide arrive sur l'agglomération. Il peut diminuer la température de l'air de 1°C à 3°C, et augmenter l'humidité relative de 5% à 10% (Escourrou, 1996)

Par ailleurs, lorsque les sources d'eau sont très localisées (fontaine, petit bassin), le refroidissement ne concerne que la source elle-même. Elle constitue toujours un point relativement froid, mais ne peut en aucun cas participer à la climatisation d'un espace urbain, à l'exception des jets qui peuvent augmenter la part de chaleur latente mais uniquement pour le volume d'air qui l'entoure (Izard, 1997). L'effet d'humidification et de rafraîchissement que peut procurer l'eau projetée est augmenté au fur et à mesure que l'on s'en rapproche.

1.5. Morphologie urbaine et Confort.

L'étude des modifications physiques produites par l'hétérogénéité du projet urbain ne peut sous-estimer l'état que la distribution climatique peut induire à l'ambiance physique près du soi. Elle ne peut également négliger le rapport de cette ambiance avec la perception de l'individu. En effet, quand nous évoquons la notion du microclimat, nous ne pouvons faire abstraction de ses effets sur le bien être physique et moral de l'individu. Nous évoquons donc avec, la notion de « confort ».

Le confort dans un espace extérieur est traduit, en partie, par une plus ou moins grande adaptation de l'individu aux changements microclimatiques (baisse ou hausse de température de l'air, fluctuation des vitesses, ensoleillement, précipitations...etc.). Nous avons évoqué précédemment que ces changements étaient influencés par différentes caractéristiques urbaines. Le rapport qui existe entre la morphologie urbaine et le confort de l'individu dans cet espace, peut donc être expliqué par l'impact des formes bâties sur la production de situations microclimatiques variées. Nous abordons ce rapport dans les sections suivantes.

1.5.1. Facteurs climatiques influant sur le confort.

Le confort de l'individu au sens où nous l'étudions, découle de l'ambiance thermique. Celle-ci est déterminée par un ensemble d'éléments dépendant du climat.

Si l'on traite la question du confort dans les espaces extérieurs, on remarque le rôle prépondérant du rayonnement solaire et de la vitesse du vent. Dans ces espaces, ils sont directement perçus par l'individu, tandis que dans les ambiances intérieures, ils sont d'abord filtrés et souvent même fortement atténués par les enveloppes construites.

Par ailleurs, quel que soit le milieu (extérieur ou intérieur) et le type de rapport (direct ou indirect) que l'individu entretient avec ce milieu, ses réponses physiologiques s'inscrivent dans le même champ de sensations thermiques corporelles. En effet, la structure thermophysique de l'individu est identique quel que soit le milieu. Ses réactions corporelles face aux situations climatiques sont de même type, seul le degré de tolérance physiologique varie. La modification du processus perceptif du corps dépend ainsi de l'intensité des composantes environnementales extérieures. La variation de ces composantes a des conséquences sur la sensation de froid ou de moiteur de la peau. Les réponses de l'organisme apparaissent, avec la modification de la température cutanée, de la température interne du corps, de la sudation, de la production de chaleur métabolique, du rythme cardiaque et de la vitesse de la circulation sanguine.

L'implication du rayonnement solaire et de la vitesse du vent, ainsi que les formes types de confort qu'elles entraînent, sont présentées ci-dessous.

1.5.1.1. Le rayonnement solaire.

Les variations du rayonnement solaire entraînent des pertes ou des gains de chaleur épidermique qui dans le cas d'un inconfort, sont suivies de réactions comportementales souvent contrôlées par le vêtement. Sur la surface de la peau, les échanges radiatifs avec le milieu environnant peuvent en effet, abaisser ou augmenter la température cutanée. Dans ce cas, l'individu tente d'équilibrer son bilan thermique, soit par voie physiologique naturelle, soit par régulation métabolique ou vestimentaire.

Néanmoins, précisons que la présence du rayonnement solaire en espace extérieur n'exclut pas l'action de l'humidité et de la température de l'air dans l'adaptation physiologique du corps. Par ciel clair, l'humidité et la température de l'air apparaissent moins importantes dans les conditions de confort (Sacré, 1986). Mais la perception réelle que l'individu peut en avoir traduit sa sensibilité à leur égard, et particulièrement à l'égard des températures de l'air, ce qui apparaît par une sensation (de froid ou de chaud) exprimée verbalement par l'individu.

Par ciel couvert, l'approche est différente. Selon Tuller (1965) et Penicaud (1978), en absence de rayonnement solaire direct, la température et la vitesse de l'air sont les paramètres climatiques les plus importants. L'humidité et le rayonnement infrarouge jouent alors un rôle plus secondaire.

1.5.1.2. La vitesse de l'air.

Dans les milieux intérieurs, des limites de vitesse de l'air constituent déjà l'une des conditions physiologiques du confort. En effet, il est admis que pour les milieux intérieurs, une vitesse de l'air confortable doit être comprise entre les seuils : 0,05 m/s et 0,3 m/s (Miller Chaggas, 1978). Dans les ambiances extérieures, ces seuils sont difficilement applicables. Les vitesses de vent fluctuent en raison des variations de pression entraînées par l'hétérogénéité des éléments environnementaux. Dans le cas de vents dits faibles, elles peuvent être du même ordre que des vitesses d'air intérieures. Elles peuvent aussi atteindre des seuils qui dépassent la simple considération des variations thermiques dans l'espace. Nous pouvons donc dire que le comportement du vent dans ces milieux permet de distinguer, deux types de confort : le confort thermique et le confort dynamique.

a - Le confort thermique.

Selon P.O. Fanger (In : Thellier, 1989), le confort thermique est « l'état d'esprit qui exprime une satisfaction vis-à-vis de son environnement : le sujet ne peut pas dire s'il veut avoir plus chaud ou plus froid ». D'un point de vue physiologique, la définition la plus précise est donnée par B.Givoni (In : Belchum, 1996). Il définit le confort comme : « les conditions sous lesquelles les mécanismes autorégulateurs du corps sont dans un état d'activité minimum».

Ainsi, et conformément aux définitions précédemment données, la notion de confort thermique est directement liée à la perception épidermique de l'individu. Cette perception est stimulée par les facteurs climatiques, à travers des processus d'échanges énergétiques entre le corps et l'ambiance. Ces échanges produisent chez l'homme une satisfaction ou une insatisfaction corporelle.

Les échanges thermiques entre le corps humain et le milieu extérieur sont souvent perturbés par des vitesses de vent trop importantes. Le pouvoir de rafraîchissement que procurent des vitesses inférieures à 0,3m/s, permet de maintenir un seuil de confort acceptable. D'un point de vue thermique, l'air reste agréable jusqu'aux limites de 0,15m/s en hiver, et de 0,25m/s en été. Au-delà, des perturbations thermiques peuvent apparaître. Signalons tout de même qu'en période chaude des vitesses allant jusqu'à 1,5m/s sont perçues positivement (Thellier, 1989).

Outre la saison (été, hiver), l'agrément du rafraîchissement par les effets convectifs de l'air, est aussi perçu dans des conditions de température, d'humidité et de vitesse de l'air, en adéquation avec les besoins du métabolisme et du travail physique. Cependant, l'étude expérimentale de Kamon & al. (1979), apporte quelques réserves sur le rôle rafraîchissant du vent en atmosphère chaude et sèche. En tentant l'expérience avec une valeur du métabolisme équivalente à 195W/m^2 , une température d'air comprise entre 33°C et 48°C , correspondant à une variation d'humidité de 50% à 25%, et une vitesse de vent comprise entre 0,5m/s et 4m/s, le refroidissement n'a été observé ni sur la surface de la peau, ni sur la quantité d'eau évaporée (Sacré, 1983).

b - Le confort aérodynamique.

Des vitesses de vent supérieures à 4m/s accentuent les échanges convectifs et perturbent tous les autres modes de transfert dans l'atmosphère. Le confort de type thermique est dans ce cas difficile à appréhender. Il est masqué par une forme d'inconfort dite «aérodynamique » induite par des vents très violents (Sacré, 1983).

Le confort aérodynamique exprime l'état de stabilité corporel face à des écoulements et des vitesses de l'air, définis par un seuil de satisfaction à ne pas dépasser. Il est perturbé lorsque les forces induites par les vents, variables dans le temps et l'espace, sollicitent mécaniquement « l'obstacle corps humain », entravent ses mouvements, agressent ses vêtements ... etc. (Gandemer, & al., 1981).

Les fortes vitesses de vent entraînent en effet, la perturbation du mouvement des vêtements, le décoiffement des cheveux, l'irritation des yeux, ainsi que le soulèvement des poussières. L'inconfort ainsi produit, est régi par une notion d'acceptabilité ou de non-acceptabilité de la nuisance par l'individu. Dans ce cas, la simple considération des effets thermiques du vent pour le confort est insuffisante.

Néanmoins, précisons que la combinaison des effets thermiques et aérodynamiques dans l'environnement, présentent de nombreuses répercussions sur la sensibilité physiologique de l'individu. Panwarden (1973) a indiqué, qu'un sujet qui passe d'une zone ensoleillée en air calme d'une vitesse de 0,5m/s, à une zone à l'ombre où souffle un vent de 5m/s, doit ressentir une diminution de la charge thermique équivalente à une baisse de température de 13°C (Sacré, 1981). Lee et Vaughan (1964) ont également mesuré l'accroissement équivalent de la température de l'air en fonction de la vitesse du vent, qui induirait les mêmes réactions physiologiques sur des sujets vêtus d'un short et marchant régulièrement à 1,5m/s sous une forte insolation, avec une température de l'air de 37,6°C, une pression de vapeur d'eau de 8 à 13mb, et avec un rayonnement global de 208W/m². Cette étude a abouti à des accroissements de températures de 6,5°C pour une vitesse de 2,5m/s et de 7,5°C pour une vitesse de 0,75m/s (Sacré, 1983).

L'augmentation de la vitesse d'air réduit donc la charge thermique globale et diminue les températures. Les applications relatives à une évaluation du confort thermique et du confort aérodynamique en espace extérieur, nous obligent ainsi, à tenir compte de l'intensité des fluctuations du vent, en plus des variations du rayonnement.

Rappelons que les fluctuations du vent et les variations du rayonnement dépendent de la structure morphologique du tissu et des espaces urbains (orientation, ouverture de l'espace, propriétés des matériaux...etc.). Nous verrons dans la section suivante comment les situations de confort climatique peuvent être associées à des types de tissus urbains, en recensant les modifications climatiques qui peuvent s'en dégager.

1.5.2. Types de tissus urbains et confort.

Les typologies urbaines varient d'un quartier à un autre. Ces variations sont observables d'une part à travers la forme du parcellaire et du tracé au sol ; et d'autre part à travers la forme et le mode de distribution des constructions. Elles correspondent à différents modes d'aménagement urbain, relatifs à différentes étapes d'urbanisation.

Le schéma classique d'évolution d'une ville émane d'un noyau ancien, à partir duquel des artères desservant des quartiers urbains plus récents, ont été aménagées. Ce noyau est matérialisé par un tissu urbain très dense caractérisé par une régularité urbaine horizontale et verticale distinguant des formes d'urbanisation de l'époque moderne. Dans ces formes plus récentes, la régularité urbaine est en effet rompue par un urbanisme étalé horizontalement et verticalement. Des discontinuités typo-morphologiques se produisent en conséquence.

D'un point de vue climatique, ces discontinuités entraînent des contrastes dus à une distribution inégale des éléments du climat. Des campagnes de mesures climatiques (Escourrou, 1981, Izard, 1997...etc.) ont confirmé l'existence de contrastes importants d'humidité, de température, d'écoulement de l'air...etc., entre différents aménagements urbains. Elles ont révélé l'action et la diversité des types de tissus urbains sur les changements climatiques et les formes de confort que ces changements produisent.

En nous référant aux résultats auxquels les campagnes précédentes ont abouti, nous répertorions dans ce qui suit, les principales modifications climatiques induites par différents tissus urbains :

1. Le tissu urbain traditionnel (tissu urbain ancien).
2. Les quartiers de grands ensembles.
3. Les quartiers pavillonnaires.

1.5.2.1. Le tissu urbain traditionnel :

Les tissus urbains anciens, sont souvent très denses. Ils se présentent comme une concentration importante du bâti sur un rayon urbain réduit.

La structure urbaine d'une médina (Tunis par exemple) ou d'un ksar (Ghardaïa) illustre parfaitement :

* les effets de la compacité à travers les étroites rues qui ombragent les constructions et les protègent des vents nocturnes froids. Les ruelles sont profondes et sinueuses, amenuisant ainsi les durées d'ensoleillement des façades et empêchant le vent de chasser l'air frais accumulé la nuit. Suivant leur orientation, les rues étroites peuvent offrir de l'ombre sur une durée plus ou moins longue de la journée. Pour des causes impératives où l'ombre se fait rare, les passages couverts constituent des relais, les piétons peuvent alors s'y recueillir avant de poursuivre leur chemin.

* les effets de l'introversion, à travers l'organisation des constructions autour d'un patio, ce qui réduit énormément les surfaces exposées vers l'extérieur.

* les effets de l'orientation majeure des rues dans les directions Est/Ouest. Ceci favorise pour les façades un minimum de gain solaire pour celles orientée au Sud (Hudson, 1976 ; Konya, 1980 ; Cook, 1981 ; Fowler et Burr, 1981 ; Fardeheb, 1987a ; Fardeheb, 1987b ; Mahmoud, 1987 ; Al Azzawi, 1990)



Figure 1.20. Vue sur le village de Mélika dans la vallée du M'Zab (Roche, 1970 p41)

1.5.2.2. Les quartiers de grands ensembles.

Les grands ensembles présentent une morphologie moins compacte que les quartiers des centres villes traditionnels. Ils sont le produit d'une urbanisation moderne, structurée en tours et en barres de grande hauteur.

Dans ces « tissus urbains », les surfaces de captage du rayonnement solaire sont nombreuses. Les immeubles de grande hauteur constituent des géométries isolées, et multiplient les surfaces exposées aux fluctuations climatiques. Les propriétés des matériaux (inertie, réflexion, diffusion..., etc.) entraînent des bilans thermiques variables sur les surfaces bâties, ainsi que dans les espaces urbains limités par ces surfaces. Aussi, ces « creux » urbains restent toujours bien ventilés.

Dans les limites du confort climatique, la ventilation procurée entre les bâtiments, compense continuellement la hausse des températures de l'air, et procure un rafraîchissement à l'espace. En revanche, dès que les vitesses de vent augmentent, des effets aérodynamiques indésirables, nés des fortes vitesses produites par les formes du bâti, estompent ce rafraîchissement. En effet, dans les quartiers de grands ensembles, les formes du bâti

augmentent les vitesses du vent. Les constructions isolées constituent des obstacles à l'écoulement de l'air, et produisent des perturbations entraînant des courants et des accélérations d'air ainsi que de nombreux mouvements tourbillonnaires entre les bâtiments. Des formes d'inconfort dues à ces accélérations rendent quelquefois l'espace impraticable. Cet inconfort est aussi, augmenté, par l'instabilité de la masse d'air provoquée par des mouvements d'air ascendants. Cette instabilité est favorisée par la hauteur des constructions qui développe une rugosité importante au voisinage des immeubles.

1.5.2.3. Les quartiers pavillonnaires :

Dans un processus classique d'urbanisation, les quartiers pavillonnaires se situent à la périphérie lointaine du centre historique. Leur aménagement est quelque peu similaire à celui des sites ruraux. Ces quartiers sont structurés en maisons isolées de faible hauteur et en une condensation d'aménagements végétaux de densité importante. Cette forme d'urbanisation récente (les années 70-80) présente peu d'entraves particulières aux phénomènes climatiques. Les conditions climatiques retrouvées dans ces espaces sont à la limite des conditions du climat urbain et de celles du climat rural. L'évapotranspiration des végétaux y est très active. L'augmentation de la température de l'air est ainsi assez faible et l'humidité de l'air ne diminue que très légèrement.

Etant à proximité des sites ruraux, ces quartiers pavillonnaires créent pour la ville, un « effet de protection », contre les répercussions du climat rural. Ils sont le plus souvent les premiers à subir l'influence des brises de campagne qui s'atténuent progressivement au fur et à mesure que l'on s'approche de centre ville. Ces quartiers sont plus exposés au climat régional. Leur implantation et leur urbanisation sont particulièrement favorables à la minimisation des effets par les vents dominants dans la ville. En effet, les végétaux implantés constituent une forme de rugosité importante, freinant les mouvements des masses d'air et réduisant l'action de vents violents.

Des caractéristiques de ces trois « tissus urbains », nous remarquons que les formes d'urbanisation de chacun d'eux entraînent des formes de confort thermique et aérodynamique variables en fonction de l'influence de leur aménagement urbain sur les éléments du climat.

Ainsi, nous constatons que des facteurs ambiants, procurés par des situations morphologiques différentes ont des conséquences variables sur le confort, selon le type de tissu urbain.

Afin de compléter l'étude du confort lié aux formes d'urbanisation, nous définissons dans la section suivante ces facteurs ambiants, et nous donnons leurs avantages et inconvénients dans les différentes formes urbaines.

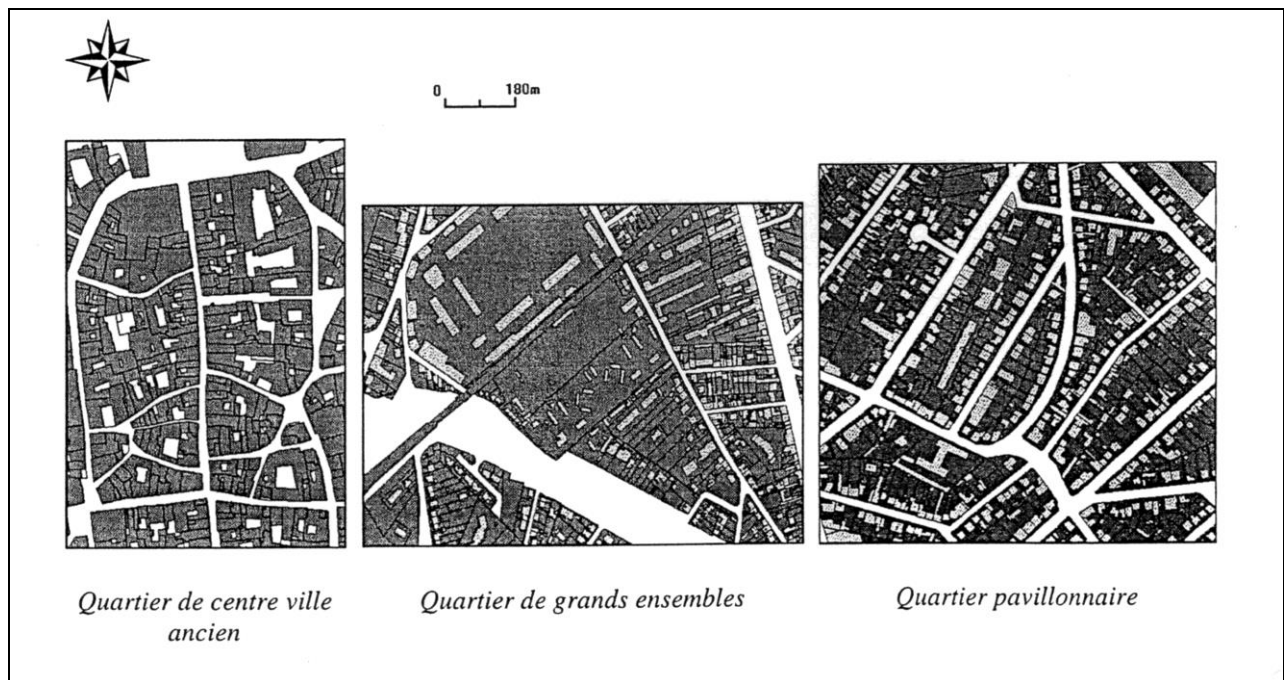


Figure 1.21. Les trois types de quartiers trouvés dans la ville de Toulouse
(Base de données Map Info)

1.5.3. Les facteurs ambiants influant sur le confort.

Nous avons vu que les formes de confort produites par les disparités morphologiques sont régies par des facteurs ambiants différents d'un quartier à un autre, et d'une forme urbaine à une autre. Ces facteurs sont le produit d'échanges radiatifs et d'échanges convectifs entre la masse d'air et les composantes physiques de l'espace. Certains sont communs aux différents types de tissus, d'autres sont propres à une caractéristique particulière de l'espace. Ils se présentent dans la ville sous des formes variées : le refroidissement nocturne, l'ombre, la chaleur radiative, les perturbations aérodynamiques et l'humidification de l'air.

1.5.3.1. Le refroidissement nocturne de l'air.

Le refroidissement nocturne de l'air est en partie le résultat du rayonnement nocturne de la voûte céleste considérée comme principale surface émissive. Il dépend d'une part du taux d'ouverture au ciel, et d'autre part du renouvellement d'air et des propriétés d'inertie thermiques des matériaux et des enveloppes urbaines.

Ce refroidissement est particulièrement actif lorsque les dimensions de l'espace (largeur de rue, hauteur de bâti) sont réduites. On l'observe plus communément dans les espaces des centres anciens traditionnels. En effet, dans des espaces aussi étroits (rue de type canyon, patio... etc.), il est inférieur au refroidissement théorique. Le processus est totalement inversé dans une avenue large.

1.5.3.2. L'ombre.

L'ombre est la résultante de facteurs cosmiques et de facteurs urbains qui dépendent respectivement de :

- la course du soleil,
- l'orientation et les dimensions de l'espace, qui modifient la quantité de rayonnement direct et donc des rayonnements diffus et réfléchis. Dans ce cas, ce sont surtout les surfaces verticales et les reliefs qui restent les plus exposées au soleil et qui participent aux échanges énergétiques.

Dans des configurations de type grands ensembles ou maisons isolées, le soleil peut être masqué au sol par une des composantes de l'espace (bâtiments isolés, arbres... etc.). Cette situation génère des zones d'ombre prenant la forme de l'élément masque. Par contre, dans des configurations plus denses, ces zones d'ombre sont dues à l'absence de rayonnement solaire à l'intérieur des espaces. Elles sont plus présentes dans les quartiers anciens aux mailles resserrées, que dans les quartiers plus ouverts.

Notons aussi que les zones d'ombre sont généralement plus fraîches que les espaces exposés aux rayonnements solaires. En effet, lorsque l'espace ombré n'est pas favorable à une accumulation thermique (inertie, stockage... etc.), les échanges énergétiques produits réduisent les hausses de températures de l'air générées par l'action des rayonnements solaires directs.

1.5.3.3. La chaleur radiative.

Les surfaces horizontales directement exposées au rayonnement solaire constituent les plus grandes sources de chaleur radiative. Dans les espaces à faible ouverture vers le ciel, ce sont celles qui rayonnent le plus. Elles sont cependant, peu nombreuses en raison des dimensions urbaines réduites. Les autres surfaces de l'espace non exposées au rayonnement solaire, sont également réceptrices et émettrices de chaleur. Dans ce type de configuration la chaleur produite en fin de journée, par l'accumulation thermique journalière, augmente les écarts entre les températures de l'air relevées le matin et celles qui le sont en fin de journée.

En revanche, dans des espaces à fort taux d'ouverture au ciel, les surfaces exposées au rayonnement solaire sont nombreuses. Cependant, la chaleur produite est souvent compensée par les renouvellements d'air particulièrement actifs dans les espaces larges.

1.5.3.4. La ventilation naturelle.

La ventilation naturelle dans les espaces publics urbains provient des déplacements de masses d'air entre zones urbaines à pressions différentes. Elle est toujours suivie d'un rafraîchissement thermique dû aux pertes de chaleur par convection et advection (transport des composantes). Cette ventilation est particulièrement présente dans les larges boulevards canalisant l'air lorsque leur orientation est parallèle à l'axe des vents. Dans les ruelles étroites, elle apparaît lorsque les vitesses de vent ne sont pas trop importantes.

Notons que l'agrément que présente la ventilation naturelle, particulièrement en été, est souvent estompée par l'effet des interactions de l'air avec les composantes de l'urbain. Dans ce cas, des formes de perturbation aérodynamique réduisent considérablement ses effets.

1.5.3.5. Les perturbations aérodynamiques.

Les perturbations aérodynamiques apparaissent lorsque les vitesses de vent dépassent les seuils acceptables du confort thermique. Elles naissent généralement de l'interaction du vent avec les éléments isolés de l'urbain. Elles sont ainsi plus actives dans les tissus caractérisés par de fortes hétérogénéités morphologiques.

Gandemer et Guyot (1976) ont évalué les effets de ces perturbations sur le confort, à travers des paramètres de confort pour trois formes d'urbanisation (centre ville, banlieue et zone périphérique ou campagne). Ces paramètres expriment des seuils de confort correspondant à une situation corporelle fixée. Ainsi, l'équipe a abouti à des fréquences d'inconfort qui indiquent le pourcentage de temps durant lequel le niveau de confort dépasse les seuils de nuisance tolérés. Le résultat des correspondances entre la fréquence d'inconfort et ces paramètres permet d'observer des variations importantes de temps, en fonction de la rugosité de chaque type de quartier. En effet, à partir du tableau 3, pour le même paramètre de confort enregistré et quelle que soit la direction du vent, nous remarquons de plus faibles fréquences d'inconfort dans les centres urbains traditionnels que dans les quartiers situés en banlieue ou en site rural.

Paramètre de confort	Fréquence d'inconfort		
	Zone périphériques (200m) ou campagne	Banlieue	Centre ville
0.5	6%	2%	1%
0.7	16%	9%	2%
0.9	25%	17%	8%
1.1	36%	26%	16%
1.3	42%	32%	21%
1.5	50%	40%	28%
1.7	55%	46%	32%
etc.			

Tableau 1.3. Répartition des fréquences d'inconfort en fonction des paramètres de confort dans la station de Marseille Marignane, toutes les directions de vent confondues (Gandemer & al. 1976).

Par ailleurs, ce même tableau indique qu'une même fréquence d'inconfort peut être obtenue dans les différents quartiers, mais avec à des paramètres de confort différents. En effet, le seuil de praticabilité des centres villes par rapport au phénomène du vent, est plus grand que les seuils relevés dans les zones périphériques et les quartiers pavillonnaires. Gandemer et Guyot (1976) ont indiqué que les anciens quartiers traditionnels étaient plus confortables que les quartiers modernes. Ils ont abouti à des fréquences d'inconfort bien supérieures dans les quartiers de type HLM (grands ensembles), de l'ordre de 0,85 en moyenne, alors qu'elles sont de l'ordre de 0,6 à 0,7, dans les rues d'un quartier ancien.

Par ailleurs, ces travaux ont montré que la présence d'obstacles urbains de type bâtiments isolés ou surfaces urbaines exposées, produisaient des niveaux de confort ne correspondant pas aux attentes des individus. L'implantation d'un bâtiment de grande hauteur (tour, église), en tissu ancien, saillant en hauteur, accroît la fréquence d'inconfort jusqu'à atteindre une valeur de 1,5 à 1,8 dans le voisinage immédiat de l'obstacle.

1.5.3.6. L'humidification de l'air.

L'humidification de l'air apparaît généralement dans les tissus urbains caractérisés par des processus évaporatifs importants. Elle est plus prononcée dans les quartiers à fort taux de végétal. L'évaporation des végétaux augmente les apports de chaleurs latentes dans l'air. Cette évaporation est particulièrement perçue dans les quartiers périphériques de type pavillonnaire. Le rafraîchissement qu'elle produit peut en outre, s'étendre dans le centre de la ville par des effets de brises thermiques.

1.6. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons dressé, un état de l'art sur les types de processus de formation et de transformation des microclimats urbains, en mettant en évidence l'incidence des diversités morphologiques sur la distribution des paramètres climatiques. Nous sommes parvenus à répertorier les principales caractéristiques de la morphologie urbaine qui diminuent ou, au contraire qui favorisent les éléments du climat à proximité des bâtiments.

Nous avons observé que les changements microclimatiques produits sont une conséquence des micro-circulations d'air (convection, advection) perturbant l'équilibre énergétique à deux échelles de l'urbain :

- **à l'échelle du tissu urbain**, où les surfaces urbaines sont caractérisées par les toitures des maisons et les terrasses d'immeubles. Leur action d'un point de vue énergétique s'étend dans la sous-couche limite urbaine de nature énergiquement stable.

- **à l'échelle de l'espace public**, où les surfaces urbaines sont caractérisées par les façades bâties, les aménagements minéraux et les surfaces végétales. Elles agissent dans la canopée urbaine dont l'état de stabilité dépend de l'intensité des échanges énergétiques, entre composantes de l'espace.

A chaque échelle, le contact des masses d'air avec des surfaces urbaines variées, modifie le bilan énergétique à proximité, des bâtiments. Au cours de ce chapitre, nous avons mis en évidence ces modifications en leur associant les principales caractéristiques urbaines qui en sont à l'origine. Elles se résument par :

- la distribution et les propriétés morphologiques du tissu urbain, qui regroupent la densité du tissu, la distribution et la forme de ses mailles, la régularité de son tracé, etc.,

- la forme et la disposition des bâtiments, qui renvoient à la volumétrie des constructions, à la répartition et au mode de groupement des éléments bâtis. Ils déterminent les dimensions urbaines de l'espace public,

- la répartition des aménagements urbains dans l'espace, qui fait référence à la distribution des

aménagements végétaux, du mobilier urbain, et des étendues d'eau, les propriétés des surfaces thermiques définies selon la nature des matériaux de revêtement,

Nous avons également évoqué les conséquences de ces caractéristiques sur les situations de confort de l'espace. Nous nous sommes essentiellement basés sur les effets radiatifs du rayonnement solaire et les effets convectifs du vent. Le rayonnement solaire et le vent constituent les principaux éléments de formation des microclimats au sol, et de production des situations de confort. Nous les avons évalués dans les différents types de tissus urbains de la ville. De cette façon, l'influence sur le climat, des différentes caractéristiques morphologiques citées précédemment, et les formes de confort existantes ont pu être mises en évidence.

Ce chapitre souligne ainsi l'impact important des formes urbaines distribuées au sol sur les paramètres du climat. Il permet aussi de remarquer que les situations de confort produites par la distribution climatique au sol, dépendent de l'incidence des caractéristiques urbaines sur les éléments du microclimat. Nous concluons alors que « microclimat, morphologie urbaine, confort de l'espace » sont trois notions complémentaires, et que leur complémentarité est utile à la recherche de l'agrément d'un espace. Le lancement de projets urbains et d'aménagement locaux doit en tenir compte. Les actions à mener doivent découler d'une démarche vigilante qui devra considérer la variation du climat en relation avec un confort adéquat et à proposer des aménagements urbains appropriés. Cette démarche pourra être intégrée dans une approche globale de prise de décision engagée par des décideurs locaux, nationaux voire même internationaux, et pourra être incluse dans des travaux visant au développement de la qualité de vie des individus.

1.7. Références bibliographiques.

Al Azzawi S., (1990), "Passive solar design : traditional courtyard houses. Baghdad" In proc, of the 1st world renewable energy congress, Reading, U-K 2328/09/90, Ed. A-A-M. Sayigh, pp. 2179-2197.

BARNAUD G., (1996), Introduction à l'aérodynamique du cadre bâti, Problématique du microclimat urbain : vent et confort, Champ de vitesse dans les ensembles bâtis, Cours de DEA « Ambiances Architecturales et Urbaines », Ecole d'Architecture de Nantes, 61p.

BAKER N-N., (1987), « Passive and low energy building design for tropical island climat". Commonwealth Secretariat, London.

COOK J., (1981), "Cooling as the absence of heat: strategies for the prevention of thermal gain". In proc. Of int. pas. And hyb. Cool. Miami, Novembre 19891, A.S.I.S.E.S, pp. 612-221

DELAUNAY D., (1986), "Microclimat d'une rue", IN: Conception des formes urbaines et contrôle énergétique, Actes de colloques, 24-25 avril, Nantes, pp. 34-44.

DUCHENE-MARULLAZ PH., (1980), Recherche Exploratoire en Climatologie Urbaine, CSTB, Sophia-Antipolis, 108 p.

ESCOURROU G., (1981), Climat et environnement les facteurs locaux du climat, Masson, Collection Géographie, Paris New York Barcelone, 179 p.

ESCOURROU G., (1995), « Les pratiques du climat urbain », In : Energie et climat urbain, Journée du CUEPE 1995, Genève, 1^{er} décembre, pp. 1-7.

ESTIENNE PP., GODARD A.,(1970), Climatologie, Collection U, Armand Colin, Paris, p.365

ESCOURROU G., (1987), Climatologie pratique, Masson, Collection Géographie, Paris New York Barcelone Milan, 172 p.

FOWLER R-J., et BURR P-A., (1981), « A history of natural daylight in buildings and urban areas in overheated regions with an introduction to recent prediction methods". In proc. of int. pas. And hyb. Cool. Conf. Miami, Niv. 1991, A.S.I.S.E.S, pp. 348-352.

FARDEHEB F., (1987a) "Classification of pas. Sol. Cool. strategies in Middle eastern vernacular architecture". In proc. of 12th. Pas. Sol. Conf. of the ASES, Portland, Oregon, 11-16/07/87, pp. 511-515.

FARDEHEB F., (1987b) "Examination and Classification of pas. Sol. Cool. strategies in Middle eastern vernacular architecture". In Passive Solar journal, Vol. 4 n° 4, pp. 377-417.

- FITCH J-M., et BRANCH D-P., (1960), "Primitive architecture and climate" In *Scientific American*, Dec/60, pp.134-144.
- FARDEHEB F., et SCHOEN R., (1988), "Design guidelines for communities in hot and arid climates of third world countries". In *proc. of the pas. Sol. Architecture, an int. conf. on pas. Sol. Arch. With emphasis on institutional, commercial and multistory residential buildings*, Bled, Yougoslavia, 21-25/03/88, pp. 379-382.
- GANDEMER J., GYOT A., (1976), *Intégration du phénomène vent dans la conception du milieu bâti*, Ministère de l'équipement Direction de l'Aménagement Foncier et de l'Urbanisme Ministère de la Qualité, Paris, 130 p.
- GANDEMER J., GYOT A., (1981), *La protection contre le vent, aérodynamique des brises vents et conseils pratiques*, CSTB, Paris, 132 p.
- GUYOT G., (1997), *Climatologie de l'Environnement, De la plante aux écosystèmes*, Masson, Paris, 505 p.
- GUYOT A., IZARD J-L., (1989-1999), "Les effets urbains", In: *Diagnostic Vent-Microclimat EUROMEDITERRANNEE* Zac Joliette, Laboratoire ABC/Unité Imagine, pp. 36-40.
- GIVONI B., (1980), « L'homme, l'architecture et le climat ». Edition Moniteur, Paris.
- HUDSON S-F., (1976), « *Geography of settlements* 2nd Edition. Mac Donald and Evans Ltd, Plymouth.
- IZARD J-L., GUYOT A., (1976), *Archi-Bio, Parenthèse*, Marseille, 131 p.
- KONYA A., (1980), « *Design primer for hot climates* ». Withey of design, New York.
- LITTLEFAIR P., (1998), «Solar access, passive cooling and microclimate in the city : the POLIS Project », In : Guarracino G. (ed.), *Proceedings actes of EPIC'98.*, 2^{ème} Conférence Européenne Performance énergétique et qualité des ambiances dans le bâtiment et 3^{ème} Conférence Internationale sur la Qualité de l'air intérieur, ventilation et économie d'énergie dans les bâtiments, Lyon, France, 19-21- novembre, pp. 983-988.
- LUCAS DE SOUZA L C., RODRIGUES DA SILVA A N., (1998), « Compacity city : Could this be an option for medium sized Brazilian cities ? », In : Maldonado E., Yannas S. (eds.), *Environmentally Freindly Cities Proceeding of PLEA 98*, Lisbonne, juin, Londres, James & James, pp. 103-106.
- MASCARO L., DUTRA G., FINGER F., (1998), «Environmental aspects of urban precincts in a subtropical city », In : Maldonado E., Yannas S. (eds.), *Environmentally Freindly Cities Proceeding of PLEA 98*, Lisbonne, juin, Londres, James & James, pp. 99-102.

MILLER-CHAGAS PP., PAUL P., (1980), Configurations Urbaines : Apport Énergétique et Microclimat Étude des Espaces Extérieurs de Trois Ensembles à Strasbourg, Contrat de Recherche n° 78 61 015 Plan de Construction

ARIAS, Palais du Rhin, Strasbourg, 182 p.

NOILHAN J., (1980), Contribution à l'étude du microclimat au voisinage d'un bâtiment, CSTB, Nantes, 160 p.

OKE, T-R., (1987). Boundary Layer Climates, (2^oed), Routledge, 435p.

OKE T-R., GRL% MOND C-S-B., (1999), « Aerodynamic Properties of Urban Area Derived from Analysis of Surface Form », In : Journal of Applied Meteorology, 38, American Meteorology Society, pp. 1262-1291.

OKE T-R., (1988), « Street Design and Urban Canopy Layer Climate», In : Energy and buildings, 11, pp. 103-113.

ORESZCZYN T., W JONES B., (1987), « The effects of Shelterbelts on Microclimate and Passive Solar Gains », In C.B Wilson (ed), The International Journal of Building Science and its Applications Building and Environment, Vol. 22, Pergamon Press, Oxford Beijing Frankfurt Sao Paulo Sydney Tokyo Toronto, pp. 101-110.

PEGUY C-P., 1970, Précis de climatologie. 2^{ème} éd., Masson & Cie, Paris, 468 p.

PENICAUD H., (1978), Microclimats Urbains Étudiés sous l'angle du confort à l'extérieur des bâtiments, Plan Construction R.A.U.C, Lettre de commande n° 76 W9.

SACRE C.,(1983), Le confort dans les Espaces Extérieurs Analyse Micro climatique, CSTB, Nantes, 138 p.

SACRE C., (1986), «D'un' typologie des espaces extérieurs à leur caractérisation thermique expérimentale », In : Conception des formes urbaines et contrôle énergétique Actes de colloque, Nantes, 24 - 25 avril, pp. 108-122.

TETE P., THEVENIN D., (1984), Formes Urbaine et Climat : un exemple à Vitrolles, TPFE, Unité Pédagogique d'Architecture de Marseille-Luminy, 203 p.

CHAPITRE 2

L'analyse des relations entre la personne et son environnement

Chapitre 2 : L'analyse des relations entre la personne et son environnement

2.1. Introduction

2.2. Modèles d'analyse de la relation « personne – environnement »

2.2.1. Perception de l'environnement.

2.2.2. Evaluation de l'environnement.

2.2.3. Comportement et pratiques spatiales.

2.2.4. Synthèse.

2.3. Les différentes conceptions d'analyse de la relation à l'espace bâti.

2.3.1. L'espace comme cadre fonctionnel.

2.3.2. L'espace comme espace vécu.

2.3.3. L'espace et sa relation avec le temps.

2.3.4. Synthèse.

2.4. Comportements, perceptions et conditions climatiques.

2.4.1. La température.

2.4.1.1. La perception de la température ambiante.

2.4.1.2. Température et performances individuelles.

2.4.1.3. Température et pratiques des individus.

2.4.2. Le vent.

2.4.2.1. La perception du vent.

2.4.2.2. Le vent et son effet sur les pratiques.

2.5. Conclusion.

2.6. Références bibliographiques.

2.1 Introduction.

Les recherches sur la ville et sur l'espace urbain en tant qu'environnement sensible ont suivi deux voies complémentaires, d'un côté, les méthodes d'observation directe « in-situ » qui exigent une analyse modale et une interdisciplinarité et de l'autre côté, les travaux sur la perception et la maîtrise des formes sensibles.

A travers ce chapitre, nous montrons la complexité et les interdépendances des différentes variables composant un environnement. Ce qui rend les études environnementales difficiles à aborder et impose une simplification des paramètres ou variables.

Nous organisons ce chapitre en deux parties

- dans la première partie, nous présentons la problématique de la relation de l'homme à son environnement d'une façon globale. Nous abordons quelques concepts fondamentaux concernant la perception, l'évaluation et le comportement. Nous faisons également apparaître les différentes conceptions d'analyse de l'espace bâti ainsi que l'influence des facteurs environnementaux sur les perceptions et les comportements des individus.

- dans la deuxième partie, nous abordons plus précisément la question de l'impact du climat sur les comportements et le sentiment de bien-être. Comment la question a été abordée et quels sont les paramètres les plus évoqués ?

2.2 Modèles d'analyse de la relation « personne - environnement »

Au cours des années soixante-dix, dans les pays anglo-saxons, la psychologie environnementale a été constituée en tant que discipline autonome. Cette discipline se distingue par des recherches centrées sur l'interaction de la personne avec son environnement. Les investigations menées avaient pour objectif principal de saisir comment les caractéristiques de l'environnement interagissent avec les caractéristiques psychologiques des sujets dans la détermination de leurs comportements et de leurs représentations.

Dans les études menées en psychologie environnementale, l'environnement en général et le milieu construit en particulier est conçu comme un lieu socialement produit ; les espaces et leurs aménagements sont considérés comme un aspect de la forme sociale d'existence. C'est

donc, en prenant en compte cette perspective sociale que sont analysées les activités humaines en rapport au milieu bâti. Pour autant, l'intérêt pour l'influence du cadre physique et de ses caractéristiques reste une préoccupation centrale en psychologie environnementale.

Dans la perspective des sciences psychosociales, Fisher G.-N. (1997) met en lumière deux aspects : l'environnement agit sur l'être humain qui, à son tour, agit sur les facteurs spatiaux qui le déterminent. C'est donc la nature de la relation en oeuvre qui permet d'expliquer la valeur de l'espace et l'orientation de la conduite. L'idée de relation a été utilisée dans un certain nombre d'études portant sur l'influence du cadre bâti en utilisant soit un modèle causal, soit un modèle d'interdépendance

Pour le modèle causal de la relation homme-environnement, il est question de chercher les facteurs permettant de dégager des correspondances simples et univoques entre certaines variables physiques de l'espace et tel aspect du comportement. Dans ce modèle, nous pouvons distinguer deux grands courants suivant que l'individu ou l'environnement apparaît comme facteur dominant

1. L'individu comme facteur dominant : la place de l'individu est prépondérante pour ce courant dont les théories inspirées du déterminisme biologique selon lequel le comportement humain est réduit à une explication biologique, en rapport avec l'instinct pur tel le concept de territorialité par exemple. (Bell P.A. & al., 1996). La façon d'utiliser l'espace, de l'aménager, de le percevoir, de l'évaluer sont influencées par les traits de personnalité, les attentes et l'investissement affectif

2. L'environnement comme facteur dominant : il s'agit ici de théories liées au courant «béhavioriste » suivant le modèle « Stimulus / Réponse ». Dans ce courant, il y a deux théories. Celle de la surcharge d'attention selon laquelle le processus de traitement de l'information peut-être réduit par l'apparition de stimuli nouveaux ou indésirables. L'homme possède des capacités d'attention limitées dont le dépassement va entraîner une surcharge, obligeant le sujet à focaliser son attention sur ce qui lui paraît le plus important. Selon cette théorie, la ville est un cadre particulièrement propice à la surcharge d'attention. À l'inverse, la théorie de la sous-stimulation s'intéresse aux effets des privations sensorielles. Selon cette dernière, dans la ville, la monotonie des formes et des couleurs empêche les habitants de

développer un sentiment d'appartenance et d'attachement et les pousse vers des environnements plus naturels, apparaissant comme plus stimulants. En somme, le taux de stimulation engendré par l'environnement semble influencer l'appréciation du cadre de vie (Levy-Leboyer C., 1977).

Un modèle d'interdépendance qui met en question l'idée que l'environnement induirait un comportement à la manière d'un stimulus mécanique. Cette approche considère, au contraire, la relation à l'espace comme un système d'interdépendances complexes. Il ne s'agit pas d'inventorier une correspondance stricte entre telle caractéristique de l'espace et son effet sur le comportement. Il s'agit de préciser les processus par lesquels les données de la situation spatiale, qui sont aussi économiques, culturelles et sociales, déterminent les attitudes.

Il s'agit dans ce modèle d'un équilibre entre l'individu et l'environnement. Dans cette catégorie, nous trouvons la théorie de l'espace personnel (E.T. Hall, 1979) par exemple. Ainsi, des échanges ininterrompus s'opèrent entre l'individu et l'environnement, avec soit une action du sujet sur l'objet, soit une action de l'objet sur le sujet. Ces deux modes d'action interdépendants se combinent sans cesse pour maintenir l'état d'équilibre stable qui définit l'adaptation.

Nous pouvons récapituler que notre connaissance de notre environnement se fait à travers les images que nous en faisons. Celles-ci ne sont pas des données abstraites ou intellectuelles, mais servent en permanence à orienter nos comportements, à évaluer les lieux dans lesquels nous nous trouvons et à nous adapter à eux. L'espace n'est pas seulement perçu comme un élément extérieur à soi, mais comme une dimension de notre interaction avec lui. Nous ne percevons pas l'environnement en pur observateur, mais en organisant ses différentes composantes dans une structure d'ensemble qui nous permet de l'appréhender en termes d'évaluations, d'impressions et de significations que nous lui attribuons. La relation entre la personne et son environnement est donc matérialisée par la perception qu'il a, l'évaluation qu'il fait de cet environnement et les manifestations de ses comportements et ses attitudes.

Nous allons voir, à présent, avec plus en détail ces concepts fondamentaux à savoir : la perception et l'évaluation de l'environnement et les comportements et les pratiques qui en résultent.

2.2.1 Perception de l'environnement

Dans le processus de connaissance perceptive de l'environnement, des études menées en milieu urbain, telles que celle de K. Lynch (1971) ont signalé qu'il est évident que nous ne pouvons pas tout noter. Il y a des limitations sensorielles, des limitations d'attentionnalité. La démarche et les éléments définis par Lynch expliquent bien ces limitations « cognitives » humaines et donc l'utilité de simplifier les cadres qui permettent à des humains de faire face à de vastes quantités d'informations. Les stimuli de l'environnement que nous gardons sont les stimuli qui sont importants ou ceux qui sont familiers (l'adaptation et l'habitude). Notre attention ayant tendance à se focaliser sur un aspect de l'environnement considéré comme central pour nous, le processus perceptif est un mécanisme de sélection qui fonctionne sur la base de différenciations telles que proche / lointain, important / banal, etc.

Dans ce processus de connaissance perceptive de l'environnement, une autre approche dite transactionnelle en psychologie de l'environnement déclare que les individus sont en interaction avec leur environnement afin d'atteindre des buts spécifiques. Par conséquent, la perception différera selon nos buts. Selon cette approche, l'individu et l'environnement doivent être considérés comme une seule totalité et les buts de l'action de l'individu peuvent être divisés donc en :

- utilitaires comme le transport, l'agriculture, la sûreté, etc.
- esthétiques c'est-à-dire tout ce qui est lié au plaisir et la beauté de l'environnement.

Nous ne pouvons, également, pas ignorer que dans le processus de perception, l'individu intervient autant biologiquement que psychologiquement (Bailly S.-A. 1977). Comme c'est un être pensant et mémorisant, un sens, une valeur sont donnés à cette information en rapport avec la personnalité profonde et le milieu culturel, social et économique. Dans les recherches perceptives, on pose comme hypothèse de base que tous les hommes ont la même capacité de réception de l'information.

Ce que nous pouvons retenir, c'est qu'il ne faut pas considérer un grand nombre de stimulus qui agissent sur nos sens à un moment donné. Les stimuli dispersés doivent être focalisés dans une perception simple de l'environnement. Ceci aide à réduire la complexité de l'environnement. Nous devons décider à quels stimuli ou caractères (indicateurs) il faut

s'intéresser. Il est évident que certains caractères (indicateurs) seront utiles alors que d'autres ne le seront pas. La vue du brouillard enfumé, par exemple, peut être moins valide pour la détection de la pollution atmosphérique que la densité des automobiles. Pourtant les individus comptent plus fortement sur l'aspect moins valide du brouillard enfumé. Il n'est pas possible non plus d'évaluer le vrai danger en utilisant seulement un indicateur issu de la perception complexe construite par le perceuteur. Il peut être objectivement évalué par des indicateurs tels que des statistiques de crime (nombre de personnes en prison, présence de barres et de barrières, trafiquants de drogue, etc.). La corrélation des indicateurs perçus avec le « vrai » danger (indicateurs objectifs) permet de connaître les indicateurs qui sont très utiles pour la prévision du danger, et ceux qui le sont moins ou entièrement inutiles. Il serait intéressant donc de décrire les correspondances univoques entre variables physiques (objectives) de l'espace et la perception qu'ont les individus. Si l'état réel de l'environnement et de la perception résultante se superposent, la perception est plus précise et s'ils sont distants ou lointains, la perception est moins précise.

Ceci nous amène à dire que toute perception de l'espace est également une façon de l'évaluer en fonction de codes ou de critères plus ou moins normatifs. Par exemple, si un espace « doit » être propre, nous allons le percevoir suivant son degré d'adéquation à cette qualité. La perception est un jugement. Nous pesons la pertinence des éléments environnementaux par rapport à notre système de référence. C'est au concept d'évaluation de l'environnement que nous allons consacrer la prochaine section.

2.2.2 Évaluation de l'environnement

Dans les démarches d'évaluation environnementale, la relation homme-environnement est étudiée à travers les processus cognitifs et affectifs (Moser G. & Moch A., 1997)

- les composantes cognitives se répertorient parmi les processus de perception donnant lieu à la carte cognitive (l'image) d'un espace. L'objectif est de mesurer la qualité des éléments de l'environnement en faisant appel soit à un expert en la matière, soit à un non professionnel. Dans cette méthode, le cadre référentiel d'évaluation est écarté de l'analyse environnementale.

- les composantes affectives sont étudiées à partir des réponses émotionnelles des individus en tant qu'expression du degré de plaisir, de contrôle ou d'insatisfaction par rapport à un espace.

Cette composante affective de l'évaluation peut être interprétée en terme de « qualité » attribuée à un environnement. Cette méthode est axée sur l'étude du degré de satisfaction de l'individu par rapport à un environnement donné. Elle est centrée sur l'individu et essaye d'analyser l'expression subjective de celui-ci, ses valeurs et ses préférences concernant un environnement donné.

Les méthodes et les approches d'évaluation se différencient donc en fonction de l'accent qui est mis soit sur l'étude des qualités environnementales d'un lieu précis, soit sur l'individu et son appréciation subjective des attributs environnementaux. L'évaluation environnementale se réalise généralement à l'aide d'outils divers qui visent soit les attitudes soient les comportements, en étant soit plutôt « descriptives » soit plutôt « évaluatives ».

Devant la multiplicité des attributs et pour différencier les phénomènes structurés des phénomènes aléatoires, plusieurs types d'outils de recueil de données sont utilisés dans ce domaine : les photographies, les descriptions verbales (grilles sémantiques), les échelles d'évaluation ou bien les visites sur le site. L'analyse des données a pour objectif d'obtenir des résultats généralisables à toute une population et de distinguer et d'expliquer les différences interindividuelles relatives aux rapports des individus aux différents environnements. Il est clair également que mesurer, quantifier ou systématiser une perception ou une évaluation subjective d'une image d'une ville ou d'un quartier sont liés non seulement aux caractères du paysage mais aussi aux sens et à l'expérience individuelle. C'est la raison pour laquelle, la définition de l'échantillonnage de population à prendre en compte (réduit ou vaste) ainsi que les techniques de collecte de données sont déterminantes.

La complexité de l'environnement urbain a nécessité la définition de deux types d'indicateurs afin d'évaluer sa qualité :

- les indicateurs objectifs: les EQI « Environmental Quality Indices », variables représentatives de données physiques donc mesurables directement qui relèvent de la santé publique, des aspects économiques ou de l'aménagement urbain, comme les indices de densité (espaces verts, ressources, équipements, etc.), de pollution, de morbidité, de criminalité, etc.
- les indicateurs subjectifs: les PEQI « Perceived Environmental Quality Indices » qui enregistrent la perception que les individus ont d'une situation ou leur réaction face à celle-ci.

Pour ces indicateurs, l'évaluation de l'environnement faite par les usagers ne doit pas constituer le seul critère de la qualité environnementale. Elle ne doit pas pour autant être écartée à cause du caractère subjectif, et donc hétérogène et contradictoire, des appréciations faites par les différentes catégories des sujets. L'absence d'insatisfaction concernant le cadre de vie observée auprès des habitants ne correspond pas toujours à l'absence de facteurs polluants par exemple. En effet, le public n'est généralement pas capable de les déceler et ne possède pas toujours les informations pertinentes.

Nous voudrions souligner ici qu'une approche de l'environnement urbain nécessite une double évaluation objective et subjective. En fait, la pertinence de l'approche «objective» ou «subjective» ou de leur conjonction dépend du problème traité ou de la question posée. Dans le cadre des questions posées dans ce travail, sur la relation entre climat et usage, une double approche (objective et subjective) s'avère intéressante.

2.2.3 Comportement et pratiques spatiales

Dans le domaine de l'influence des facteurs physiques de l'environnement sur le comportement et des attitudes des individus, ce sont les nuisances et les sentiments de gêne et de stress qui ont été le plus étudiées. (Moche A. & Moser G. 1997, Moch A. & Maramotti I. 1995). Le bruit est l'un des facteurs environnementaux le plus étudié par rapport à son effet sur les individus. Il constitue un aspect essentiel de notre relation à l'espace, et il est également une des grands facteurs des sociétés industrielles et de l'environnement urbain. La réaction au bruit semble liée à d'autres facteurs (Fisher G.-N., 1997) tels que les relations avec autrui, selon qu'on les accepte, qu'on les tolère ou qu'on les refuse. Une gêne se mesure selon la façon dont quelqu'un occupe un lieu, avec toutes les composantes que cela comporte, dont, entre autres, le sentiment qu'il y exerce ou non une maîtrise.

L'ensemble des études concernant les facteurs environnementaux et leurs influences sur les comportements et les attitudes des individus ont montré que cette réaction psychologique de gêne ou de stress résultante n'est jamais une pure et simple relation causale directe entre une caractéristique, une composante ou une portion d'espace et ce qui constitue l'expression même du stress ou de gêne. Ceux-ci sont liés aux conditions psychosociales dans la mesure où les aspects physiques d'un environnement ont des caractéristiques inappropriées ou opposées

aux besoins ou aux attentes des individus. Il n'a pas été possible de décider, a priori, si tel ou tel aspect physique de l'espace entraîne automatiquement un effet stressant ou gênant.

Le milieu urbain n'est pas une entité indépendante, close, mais un champ dynamique. Il ne peut exister qu'à travers les relations que nous établissons avec lui. Ce sont les usages d'un lieu qui importent en tant qu'ils révèlent les positions et les mouvements de notre corps dans un environnement donné et le poids d'une situation déterminée par les espaces aménagés.

La recherche, effectuée par G. Chelkoff et al. (1997) sur les ambiances en espaces publics sous terrains, montre que les pratiques du public et les données environnementales se co-définissent. Cette étude a signalé également que l'environnement perçu ne coïncide pas uniquement avec le cadre bâti, mais suppose une dimension temporelle, la présence ou l'absence du public et les intentions des usagers. Quelques indices, révélant plus au moins la dimension souterraine, ont été mis en œuvre. Ces indices concernent, soient des caractéristiques spatiales (la profondeur, la verticalité des espaces, la hauteur et le volume des espaces, la nature des matériaux, le manque de végétal, l'artificiel), soient des conditions ambiantes (obscurité, lumière du jour, température, humidité). Cette recherche a montré que les espaces publics sous terrains mettent en jeu des effets, spatiaux, lumineux et thermo-aérauliques particuliers qui affectent la construction sensible de l'espace public.

D'autres études effectuées par le laboratoire Space Syntax montrent que la configuration du tissu urbain est une cause déterminante des configurations de mouvement urbain. Il s'agit, dans ces travaux, d'un ensemble de mesures géométriques et topologiques de la morphologie de l'espace. En soi ces mesures ont peu d'intérêt, ce qui est intéressant c'est de les mettre en relation avec les pratiques de l'espace. La technique utilisée est simple. L'espace est d'abord représenté en dessinant l'ensemble des plus longues rues et les différents accès passant par chaque rue. Cette représentation graphique dite en carte « axiale » décrit l'accessibilité relative de chaque rue par rapport aux autres rues. Chaque segment de rue est observé par la suite pour un total de plus de 50 minutes à différentes heures de la journée et à différents jours de la semaine. L'écoulement piétonnier horaire moyen est noté sur chaque segment ; une image détaillée d'activité dans la zone est produite. Les diverses valeurs de degrés «d'accessibilité» spatiale pour les rues sont comparées aux écoulements de mouvement par des calculs statistiques, régression simple et multiple. Le degré d'accord entre ce degré de

l'accessibilité de l'ensemble des rues et les cadences de mouvement durant les heures de pointe est calculé.

Ceci a permis à cette équipe de recherche de confirmer que le degré d'accessibilité d'une rue peut prédire les flux piétonniers (Hillier B.). Cela signifie que les espaces dont la morphologie spatiale offre une accessibilité facile (une linéarité avec un grand nombre de connections avec les autres rues) montre un flux d'écoulements piétonniers plus important que les espaces moins accessibles. Ce laboratoire emploie un modèle informatique pour évaluer des arrangements de développement en termes de niveaux probables de mouvement, d'efficacité des 'emplacements de commerce et des espaces potentiellement sous-utilisés. Suite à ses travaux, deux propositions théoriques à propos de la nature et du fonctionnement des grilles urbaines ont été développées :

- la théorie du mouvement normal : c'est la proportion de mouvement observable le long des rues est produit par la structure urbaine elle-même plutôt que par des attractions spéciales,
- la théorie du mouvement sous l'effet des attractions économiques: l'attraction supplémentaire dans les espaces où le mouvement normal est élevé crée un effet multiplicateur sur le mouvement. Les utilisations qui induisent le mouvement, tels que les marchés et les commerces augmentent vers des emplacements où le mouvement est naturellement élevé. Pour des activités, résidentielles par exemple, il est préférable que le mouvement normal soit bas.

Selon ces travaux, les activités en milieu urbain tirent avantage de la morphologie pour capter le mouvement et l'amplifient. La morphologie du réseau urbain ou / et spatial influence le mouvement piétonnier et véhiculaire et cela indépendamment de tous autres facteurs.

Dans le domaine des études concernant l'influence des caractéristiques physiques de l'environnement sur les comportements, nous retenons également les études sur les « sites comportementaux ». Bien que développé pour les espaces intérieurs, l'intérêt du site comportemental réside dans le fait qu'il montre une relation de causalité entre les caractéristiques physiques de l'espace et la configuration du comportement. Ce concept correspond aux comportements collectifs d'un groupe dans un type de lieu, au-delà des différences interindividuelles. L'idée est que le comportement doit être étudié dans son

contexte normal. Selon les adeptes de cette théorie, les sites comportementaux sont les systèmes sociaux, à échelle réduite, composés de personnes et d'objets physiques qui sont configurés de façon à effectuer un programme courant des actions dans des limites spécifiques de temps et d'endroit. Par exemple : réunions d'affaires, boutiques, restaurants, ... etc.

Les « sites comportementaux » contiennent trois composantes qui sont les suivantes :

- Les propriétés physiques : elles concernent tous ce qui caractérise physiquement un milieu tels que :

- sa topographie et les objets qui s'y trouvent.

- la topographie d'un milieu concerne tous les éléments fixes tels les murs, les planchers.

- les éléments semi-fixes, le mobilier comme par exemple, les tables, les chaises et leur organisation dans l'espace.

- ces objets peuvent être décrits par des attributs physiques comme leurs tailles, leurs formes, leurs matériaux. Ils ont aussi des propriétés fonctionnelles ; c'est-à-dire leurs usages.

- Les composantes humaines : dans une configuration spatiale, les individus occupent des positions qui peuvent être classifiées en fonction du degré d'interaction ou d'occupation et du rôle occupé en deux grands groupes de zones

- périphériques : ce sont les zones où les rôles sont moins puissants,

- centrales : sont celles qui ont plus de puissance. Par exemple : la position du directeur de magasin comparée à celle du client.

- Le programme : c'est un ordre prescrit des échanges entre les personnes et les objets. Un programme se compose d'unités « condition - action »¹⁵. Cette structure représente les occasions d'action disponibles dans un « site comportemental ». Ils sont des programmes particuliers à des configurations de comportement, tandis que, des règles générales du comportement sont indiquées par des conventions, des normes et des valeurs sociales. Le « site comportemental » occupe donc une position précise dans l'espace et dans le temps, il est caractérisé par ses aspects physiques, sociaux et comportementaux. Ces caractéristiques favorisent le développement de certaines conduites, mais le site n'existe que si des conduites s'y déroulent : comportements et site se définissent réciproquement.

Ce concept de « sites comportementaux » a ouvert la perspective de l'environnement comme source de comportements possibles au sein des limites données par les caractéristiques physiques du site et le système de régulation comme les dimensions sociales, culturelles et symboliques sous-jacentes aux comportements et relations interpersonnelles qui s'y déroulent.

2.2.4 Synthèse

Nous pouvons constater que dans la plupart des études, le cadre physique est considéré comme support, moyen ou condition d'expression et de développement des relations dynamiques que les sujets établissent avec leurs milieux de vie.

Dans cette perspective, l'influence de caractéristiques environnementales particulières, par exemple les conditions microclimatiques est analysée comme intervenant dans le système complexe d'interdépendances de la personne avec son environnement. C'est-à-dire que les effets d'une variable environnementale particulière sur les comportements, les perceptions ou les représentations vont être examinés en prenant en compte la façon dont ces effets peuvent être modulés d'une part, par les attributs des sujets (âge, sexe, statut social), et d'autre part par les propriétés du milieu (lieu public ou privé, nature et qualité des aménagements spatiaux). L'étude de la relation de la personne avec son environnement peut être conçue comme une relation dynamique en s'inscrivant dans un système complexe d'interactions faisant intervenir les caractéristiques de la personne et les dimensions physiques et sociales de l'environnement.

Nous constatons que la relation à l'espace est considérée différemment d'une approche environnementale à une autre. Certaines se centrent sur le cadre fonctionnel de l'espace, d'autres l'analysent en se basant sur la notion du vécu et d'autres qui se focalisent sur l'occupation de l'espace (durée et fréquence). C'est ce que nous allons développer plus en détail dans la partie qui suit.

2.3 Les différentes conceptions d'analyse de la relation à l'espace bâti

Dans la perspective des études en psychologie de l'environnement, l'espace est défini de plusieurs manières (G-N. Fischer, 1997).

Les espaces peuvent être décomposés en trois types selon la manière dont ils sont investis et occupés :

- comme un lieu, un repère plus ou moins délimité, où peut se situer quelque chose, où peut se produire un événement et où peut se dérouler une activité.

- comme un milieu, pris comme cadre objectif de l'influence des facteurs sociaux, il s'agence en système comportant un ensemble de stimuli et de signifiants. Mais chaque milieu se décompose en un ensemble de micro-milieus, maillons intermédiaires. Dans cette perspective, l'espace, conditionne aussi bien les rapports entre les hommes que les rapports entre les hommes et leurs environnements. Une telle approche privilégie l'analyse des processus d'interactions « homme-espace » en montrant à la fois comment l'homme s'adapte au milieu ou le refuse par des conduites actives ou passives. Elle montre également comment la structure du comportement de chacun s'y investit dans l'espace par l'expression de sentiments, de motivations ou de perceptions.

- Comme un territoire, qui n'existe pas en soi, il n'a de réalité qu'à travers celui qui s'y trouve et qui lui donne d'être objet de connaissance. C'est pourquoi il est possible de définir un territoire comme un champ topologique, c'est-à-dire le découpage d'un espace physique en zones subjectives délimitées par la qualité des relations établies avec lui. C'est dans ce sens qu'il est possible d'entendre également le concept de « proxémie » et « d'espace personnel » (E. T. Hall, 1979) qui montre comment les usages de l'espace sont relatifs à la qualité des territoires et notamment à leurs composantes culturelles.

Les espaces peuvent être décomposés en trois types selon leurs modes d'organisation (Fisher N.-G., 1997) :

- A organisation fixe : c'est celui dont les limites sont établies de manière rigide en vue d'un certain nombre d'activités. Le logement comporte une organisation fixe de l'espace. Il y a un lien étroit entre l'aménagement des pièces et des activités qui sont en quelques façons assignées à un espace défini. Se manifeste là une correspondance entre tels aspects de l'espace et tels comportements particuliers qui s'y trouvent rattachés. Le lien entre espace et comportement repose, selon Hall (1977), sur l'existence de schémas internes d'espace que l'individu acquiert, qu'il apprend et qu'il transporte avec lui au long de son expérience ultérieure. Ces schèmes d'espace, sorte de modèle que les individus intériorisent, façonnent leurs comportements en tant qu'ils constituent une structure impliquant tel ou tel type de conduites.

- A organisation semi-fixe qui se définit par l'ensemble des éléments semi-fixes qui s'y

trouvent (équipement, mobilier, etc.), et la relation entre ce type d'organisation spatiale et le comportement. Il apparaît, à travers un certain nombre d'expériences, que les éléments de l'espace à caractère semi-fixe, suivant la façon dont ils sont disposés et aménagés, orientent ou contraignent les activités et les échanges. Le fait, par exemple, de disposer les chaises d'une terrasse de café sur une place publique suivant des règles esthétiques peut donner un arrangement agréable à l'oeil, mais qui ne facilite guère d'autres activités (la conversation ou l'échange, les observations...). Une conception exclusivement esthétique de l'aménagement peut aussi entraver le développement de certaines activités dans la mesure où elle est considérée comme fixe et rigide, c'est-à-dire intouchable.

- Informel: qui s'établit en fonction d'un certain nombre de distances que nous maintenons dans nos relations avec les autres. Ceci se traduit par le concept d'espace personnel (Hall E.T., 1979) qui repose sur l'expérience quotidienne où chacun apprend à considérer comme son espace l'espace immédiat qui l'entoure. L'espace personnel, c'est l'individu entouré d'une ou de plusieurs enveloppes, comparés à des bulles, à des zones invisibles qui interviennent à des situations différentes. Une sorte de bulle psychologique qui nous enveloppe, elle s'exprime dans nos relations avec autrui, notamment à travers les distances que nous cherchons à conserver, elle démontre l'existence d'un « mur psychologique » généralement invisible, qui protège « l'espace personnel ». Hall a observé ces modes d'utilisation de l'espace en fonction de la distance. Il a défini quatre grandes catégories de distances. Chacune pouvant varier selon la personnalité des sujets et les aspects socioculturels de l'environnement. Ces quatre distances ou zones affectives définissent les relations à l'espace. Chacune est associée à un répertoire d'activités, de relations et d'émotions, spécifique aux diverses cultures et manifeste ainsi la signification des interactions sociales. La distance constitue donc un mécanisme non verbal de régulation des échanges interpersonnels et des relations sociales.

- La distance intime (15 - 45 cm) : c'est l'espace minimal qui existe entre moi et autrui. Cette distance révèle la proximité, non seulement physique, mais sociale et affective des individus les uns par rapport aux autres. Elle s'exprime notamment par le contact. Dans cette distance, la présence de l'autre est la plus prégnante et elle peut devenir envahissante.

- La distance personnelle (45 - 75 cm) : elle correspond à la grandeur de la bulle entourant la personne. Elle se manifeste en particulier dans les relations amicales et les conversations privées. Elle équivaut à l'extension des membres du corps et notamment à la

longueur des bras. Elle correspond à la limite de l'emprise physique sur autrui et à la sienne sur soi.

- La distance sociale (75 cm - 3m 60) est celle des rapports sociaux habituels, en particulier dans les rapports professionnels, elle est fonction des rites d'interactions dans un groupe ou une société. Hall l'appelle « la limite du pouvoir sur autrui ».

- La distance publique (3m60 - 9m) : donnons ici l'exemple extrême de cette distance ; celle qui se manifeste dans des occasions solennelles d'accueil d'une personnalité ou de réceptions entre chefs d'Etats.

Des précédents paragraphes, nous pouvons identifier deux manières de comprendre l'espace dans une perspective psychosociologique. Ces deux notions sont indissociables l'une de l'autre. Il s'agit de les prendre simultanément pour appréhender d'un côté les caractéristiques matérielles d'un espace et de l'autre côté, l'occupation d'un espace particulier à travers le déploiement de son corps qui définit sa place et trace ses frontières avec l'environnement. Nous retiendrons ici trois manières de considérer la relation à l'espace : l'une basée sur une approche fonctionnelle, la deuxième est basée sur l'expérience vécue et la troisième sur la relation espace-temps et trois façons d'analyse de l'influence de l'espace sur la personne.

2.3.1 L'espace comme cadre fonctionnel

Dans cette optique, la vision de l'espace, qui est largement répandue chez les aménageurs, les concepteurs et les urbanistes est une vision déterministe.

Brièvement, elle se résume ainsi : organiser la vie des individus en concevant pour eux des types d'environnement, logement par exemple, qui reposent sur des critères fonctionnels considérés comme répondant à leurs besoins élémentaires. En organisant l'espace, nous agissons d'une certaine façon sur le comportement et les relations. Autrement dit : l'espace est un facteur d'influence et de conditionnement. Il y a alors une manière de le considérer à travers les relations fonctionnelles que l'on établit avec lui et ceci à partir de besoins humains considérés comme universaux. Une telle approche est sous-tendue par une double conception de la relation à l'espace d'une part, une relation fonctionnelle définie à partir de modèles de besoins prétendus valables partout, d'autre part un modèle de comportement directement déterminé par l'organisation d'un espace donné.

Ainsi l'emplacement de certains logements, la distribution interne des espaces, leur position respective de voisinage ou d'éloignement par rapport à un espace valorisé, par exemple, pourraient être interprétés comme ayant une influence directe sur les relations entre les individus (Bell & al., 1996). Dans cette optique, on explique les phénomènes sociaux existants tels que les relations d'inaction, d'indifférence, de violence, par des facteurs comme l'uniformisation spatiale, le manque de variété dans les composantes de l'espace, etc. De nombreuses expériences de rénovation de l'habitat ou d'aménagement urbain s'appuient sur ce schéma de la relation fonctionnelle. On pense qu'en organisant différemment un environnement donné, on changera également les relations et les conditions de vie. En fait, on essaie de faire jouer ce déterminisme « espace-comportement » pour renforcer les relations entre les individus et leur environnement, induire des perceptions positives, favoriser l'engagement, etc.

2.3.2 L'espace comme espace vécu

Une autre manière de comprendre la relation de l'homme à l'espace consiste à voir la façon dont il utilise un lieu, dont il le traite, affectivement et cognitivement. Il s'agit là d'un espace vécu, c'est-à-dire investi par une expérience, tactile, visuelle, affective et sociale.

Dans cette optique, l'espace architectural ne se réduit pas à ses propriétés matérielles, Il est structuré comme un langage qui communique un message sur ses occupants, sur ses fonctions. Un bâtiment sera alors appréhendé et évalué comme la mise en scène d'une sorte de biographie sociale d'une institution et des habitants qui l'occupent, du quartier dans lequel il se situe. En ce sens, un espace raconte toujours une histoire : individuelle et sociale. Il dit du groupe et au groupe quelle est sa façon de vivre, d'habiter, de travailler et de vivre socialement dans un lieu. Les dégradations des bâtiments HLM : les portes d'entrée mal entretenues, les boîtes à lettres cassées, les cages d'escaliers endommagées, examinées sous cet angle sont identifiées comme autant d'indices symptomatiques d'une « relation dégradée » à son propre espace. L'occupant inscrit dans l'espace son mal de vivre, son exclusion, sa demande d'existence et la souffrance sociale qui l'accompagne.

La compréhension de la relation à l'espace comme expérience vécue apporte un éclairage complémentaire en montrant que les lieux sont chargés de significations, elles-

mêmes liées aux représentations que l'on s'en fait. Vivre dans un milieu vétuste dont les habitants ne se connaissent pas, où se produisent des actes de vandalisme et où les gens se sentent insécurisés, révèle la relation dévalorisante et insatisfaisante que ses occupants entretiennent avec les lieux où ils habitent. Cela peut en conséquence être l'expression symptomatique de modes de vie ressentis négativement. Ainsi, toute relation à un espace entre dans le cadre d'une expérience sociale qui la traite comme un langage rapporté à des conditions de vie.

L'espace façonne les individus qui en retour le façonnent à leur manière ; de la sorte, cette relation constitue un langage qui renvoie à la condition d'existence concrète de ces individus. Chaque lieu ménagé crée des situations spécifiques en leur fixant un cadre : Barker les a appelées « sites comportementaux » (cf. § 2.2.3).

2.3.3 L'espace et sa relation avec le temps

Toute relation à l'espace se définit également en terme de réseau de relations à des espaces-temps. L'usage d'un lieu dépend souvent du temps d'occupation qui lui est en quelque sorte affecté en raison du découpage du temps dans nos sociétés. Beaucoup de personnes qui habitent loin de leur travail savent d'expérience qu'à cause de cet éloignement et de la durée de transport, leur logement est le lieu qu'ils occupent et utilisent le moins, alors que c'est l'endroit qui peut être le plus important pour eux. La relation à un lieu ne peut donc être déterminée sans référence à tous les autres dans lesquels un individu passe une part de son temps. Cette approche peut donner lieu à une carte des espaces-temps, dans lesquels un individu, compte tenu de sa condition sociale, évolue habituellement.

Les espaces dans lesquels il passe la plus grande partie de sa vie, ceux qu'il fréquente en dehors de son temps de travail, ceux qu'il ne fréquente jamais et qu'il ne connaît pas, même s'ils sont physiquement proches peuvent être facilement identifiés. Enfin, pour la compréhension de ces relations, une dernière indication paraît nécessaire : toute relation à l'espace doit être située en fonction de l'échelle choisie pour l'étudier. Dans la perspective retenue en psychologie sociale, l'échelle généralement prise en compte dans la relation à l'espace est l'échelle micro-sociale, d'un aménagement donné tel qu'une école, un espace de travail, un hôpital, etc. Cependant, il ne faut pas négliger que pour comprendre l'impact d'un espace, il faut se référer à l'organisation sociale qui le sous-tend.

2.3.4 Synthèse

Dans cette partie, nous avons vu que la relation entre la personne et l'espace bâti a été étudiée à travers trois approches différentes, soit comme un cadre fonctionnel soit comme objet d'une expérience vécue, enfin dans la relation espace-temps. Nous réalisons que le jeu existant entre les lieux et les conduites des individus est un processus constant où, d'une part, l'espace est composé d'attributs exerçant certaines influences, mais il est aussi vécu, d'autre part, à travers des usages dont le sens se lit dans la capacité à agir sur un lieu tout en s'y adaptant. Cependant, si l'espace construit peut être considéré comme l'expression, au travers d'une implantation physique, de fonctions et d'activités, sa structure sociale n'est pas strictement déterminée par la logique qui sous-tend cette implantation, celle-ci n'est qu'un support, un aspect de son expression. Il n'est donc pas possible de conclure à une relation symétrique entre la structure sociale et celle de l'espace. La dynamique de cette relation est déterminée par la culture d'une société, d'un groupe ou d'une institution.

Dans la partie qui suit, nous allons voir précisément comment la question de l'influence des facteurs du climat sur les perceptions et les comportements des individus a été traitée dans l'approche de la psychologie de l'environnement. Nous cherchons à examiner en détail comment les variations climatiques en tant que facteurs physiques de l'environnement influencent et affectent notre vie.

2.4 Comportements, perceptions et conditions climatiques

Dans le domaine concernant l'influence des facteurs du climat sur la personne, Rotton (1986) évoque trois courants différents «déterminisme, possibilisme et probabilisme »

- La vision « déterministe » amène à penser que le climat peut déterminer les comportements et les pratiques sociales. Le comportement peut être, dans ce cas, prédit par les variables climatiques. Par exemple, une forte hausse des températures peut causer une augmentation de la violence et de la criminalité dans les villes.

- Le deuxième courant « possibiliste » nous dit que le climat impose des limites et peut ainsi faire varier les activités : un vent modéré permet la navigation mais un vent fort limite et diminue la promenade à vélo.

- Le troisième courant « probabiliste » est situé entre ces deux courants. Ici le climat ne peut en aucun cas créer un comportement spécifique, mais il peut influencer sur les chances qu'une activité puisse se dérouler ou non. La neige par exemple diminue la probabilité que les individus roulent en voiture, mais elle fait augmenter la probabilité qu'ils s'engagent dans des sports d'hivers par exemple.

La majorité des travaux dans ce domaine concernent l'espace intérieur. En milieu extérieur, l'une des rares études que nous avons trouvées sont celles citées dans l'article de Culliat B. & Erskine R. (1992). Dans cet article, les auteurs citent la distinction faite par Jan Gehl (1968) entre :

- les activités « nécessaires » qui, selon lui, sont les activités qui auront lieu dans certaines circonstances (travail, mouvement orienté vers un objectif, etc.).
- les activités « facultatives » qui sont les activités qui auront lieu seulement si les conditions extérieures sont favorables.

Cette étude affirme que la plupart des activités sociales et récréatives peuvent être considérées comme des activités facultatives. Si l'environnement physique ne les facilite pas et ne peut leur servir de support, elles disparaissent purement et simplement.

L'utilisation ou non d'un espace, la fréquence de son utilisation pour les activités « facultatives » dépend du degré de « la qualité » ou de « la perfection » qu'il présente. Lerup L. définit la « qualité » d'un lieu en termes de conformité entre l'environnement physique et le comportement de l'utilisateur. En regard du climat et de son influence « directe », la « qualité » d'un endroit pourrait être définie, comme le fait Ghel (1968), en termes de protection contre les aspects négatifs du climat et d'exposition vis-à-vis de ses aspects positifs. Ces différentes études ont conclu que la sensibilité aux facteurs climatiques va être fonction de la nature et du type d'activité entreprise. Les activités « nécessaires » vont être relativement indépendantes des conditions climatiques, elles auront lieu même dans les conditions extrêmement défavorables, alors que le déroulement des activités « facultatives » sera extrêmement dépendant des conditions climatiques (Cluzel D et Creuzevault D 1992)

D'autres études sont orientées vers les problèmes urbains liés au climat comme le froid et le transport urbain, la perturbation de la vie économique, les problèmes dans la vie de tous les jours ; les dommages causés par les fortes pluies, les inondations et leurs dégâts. Amphoux p.(1992b), le problème posé par le manque d'eau dans la ville. Chemillier P(1993), le climat et la santé dans les villes et surtout l'influence de la pollution sur la santé. Parmi ces travaux, nous pouvons citer également Nikolopoulou M, Backer N (1998). Dans ce cadre, l'étude du microclimat s'est avérée importante pour améliorer le confort des habitants et aussi pour faire certaines économies d'énergie. Elle est également fort complexe, mais elle reste indispensable pour limiter les risques climatiques tels que les fortes pointes de pollution atmosphérique et le risque d'inondation. Culiati B et Erskine R. (1986)

Nous avons déjà vu dans le deuxième chapitre que la variation de la nature et de la structure du milieu urbain entraîne des modifications de paramètres climatiques (températures, rayonnement solaire, vent). Ces paramètres ont une influence directe sur un certain nombre d'éléments de confort (visuel, mécanique, thermique...). La variation de l'intensité lumineuse dans l'espace ou dans le temps a des incidences sur le confort visuel. Les grandes vitesses du vent et surtout la turbulence de l'air ont des effets sur les usagers de la ville.

Nous avons certainement été tous confrontés à certaines conséquences de l'exposition aux facteurs climatiques haute ou basse température, vents, humidité, etc. Quand il fait froid dehors, nous mettons des vêtements chauds pour minimiser l'inconfort. Quand le vent souffle fort, on change de chemin, on cherche à se protéger, on évite de rouler à vélo, de marcher à côté d'un angle d'un haut bâtiment, et tout ceci afin de maintenir notre équilibre. Les recherches durant la dernière décennie nous ont permis de savoir que les comportements changent quand nous nous exposons à des conditions climatiques extrêmes.

La température et le vent sont les deux facteurs qui ont été le plus largement évoqués. Les effets de ces deux paramètres climatiques sur les attitudes et les comportements ont été étudiés séparément et généralement de façon plus spéculative non basée sur des données et des mesures expérimentales. Des travaux plus récents se sont basés sur des observations, mais qui ne sont toujours pas systématiques. Les derniers travaux dans ce domaine se sont penchés sur l'adaptation physiologique du corps et son acclimatement.

Nous avons organisé la deuxième partie de ce chapitre autour des plus récentes approches concernant l'influence du climat sur les comportements et les attitudes. Nous discuterons chacun des paramètres climatiques à part, tout en gardant à l'esprit que les variables climatiques interagissent les unes avec les autres.

Mais avant cela, nous rappelons la distinction à faire entre le climat et le temps. Ce qui nous intéresse, dans ce travail, ce sont les variations et les différences des conditions climatiques. Cette distinction est importante parce que les effets du climat sur les comportements ne sont pas souvent les mêmes que les effets des variations microclimatiques temporelles. Par exemple, en climatologie, les précipitations définissent quelques attitudes et comportements chez les personnes, mais les mesures de précipitations ne peuvent pas prédire ces comportements chez les usagers de la ville. Nous rappelons également que nous pouvons rarement étudier seuls ces variables, elles sont toujours rattachées à des facteurs culturels et sociaux qui influent également sur les comportements. Dans la perception du climat, nous pouvons identifier les paramètres suivants :

- les facteurs objectifs de l'environnement comme la température, le vent, etc.
- les caractéristiques liées à la personne, comme l'accoutumance et l'attitude vis-à-vis de certaines conditions climatiques perçues positivement ou négativement.

2.4.1 La température.

La notion de confort thermique a été largement étudiée et de nombreux indices traduisant des situations de confort thermique ont été élaborés. L'indice le plus utilisé en situation normale dans des ambiances intérieures est le PMV (Predicted Mean Vote) de Fanger (Wild M. et Bruel Kjaer, 1988)

Le confort a été approché de manière standardisée par la moyenne des sensations physio-psychologiques perçues par un ensemble d'individus soumis à un même environnement et ayant une activité et un habillement identiques. D'un point de vue physiologique, Givoni (1978) considère comme confortables « les conditions sous lesquelles les mécanismes autorégulateurs du corps sont dans un état d'activité minimum ». Dans le même courant d'idée, Candau et Grivel (1988) considèrent que la neutralité thermique peut traduire un état de confort thermique. La neutralité thermique apparaît quand l'organisme humain arrive à maintenir constante sa Température corporelle, sans mettre en jeu, ses mécanismes thermorégulateurs de lutte contre le chaud ou le froid (sudation, transpiration ...).

Le sentiment d'inconfort thermique est directement lié à une situation de rupture et au manque d'homogénéité dans l'ambiance ou les ambiances fréquentées. Les limites entre le confort et l'inconfort ressenties restent cependant peu nettes. En outre, l'état du confort d'un individu dépend des échanges radiatifs et convectifs engendrés dans son milieu environnant des facteurs physiques le milieu urbain et climatique et des facteurs psycho-physiologiques les caractéristiques psychologiques et physiologiques de chaque individu.

2.4.1.1. La perception de la température ambiante

La perception de la température implique deux composantes. La première concerne sa mesure physique et la deuxième composante concerne la perception de la chaleur dépendante de la différence entre la température du corps et celle de l'air ambiant ainsi que de la thermorégulation du métabolisme humain.

Les facteurs qui risquent d'influencer cette perception sont l'humidité et la vitesse du vent. Selon Bell & al. (1996), une température de l'air de 38 °C et une humidité de 60 % est perçue plus inconfortable qu'avec une humidité de 15 %. Les mouvements d'air sont également déterminants dans l'évaporation et la modification de la température du corps.

Humidité relative (%)	Valeurs de températures (réelles mesurées par le thermomètre en ° F (°C))					
	41°F (5°C)	50°F (10°C)	59°F (15°C)	68°F (20°C)	77°F (25°C)	86°F (30°C)
	Température effective (perçue)					
00	41(5)	50(10)	59(15)	68(20)	77(25)	86(30)
20	41(5)	50(10)	60 (15,3)	70 (21,1)	81 (27,2)	91 (32,7)
40	40(4,4)	51 (10,5)	61 (16,1)	72 (22,2)	83 (28,3)	96 (35,5)
60	40(4,4)	51 (10,5)	62 (16,6)	73 (22,7)	86(30)	102 (38,8)
80	39(3,8)	52 (11,1)	63 (17,2)	75 (23,8)	90 (32,2)	111 (43,8)
100	39(3,8)	52 (11,1)	64 (17,7)	79 (26,1)	96(35,5)	120 (48,8)

Tableau 2.1. Températures réelles et températures perçues en fonction de l'humidité de l'air (Bell & al., 1996).

Rappelons que l'ensemble des recherches sur le confort thermique physiologique a permis d'établir six facteurs déterminants dans les échanges thermiques ainsi que dans l'estimation subjective du confort thermique global chez l'homme. L'habillement et le niveau d'activité physique (métabolisme), la température de l'air, la température radiante moyenne, la vitesse de l'air et l'humidité.

L'estimation empirique du confort thermique subjectif est possible dans le cas d'une enceinte thermique, dont les paramètres sont connus, homogènes et contrôlés. Dans la vie de tous les jours il n'y a pas de condition idéale. Plus les facteurs climatiques locaux sont distribués inégalement ou subissent des fluctuations rapides et marquées, plus le risque d'inconforts grandit. Les variables sont les suivantes : asymétrie du flux radiant, la vitesse de l'air local, un air chaud respiré, une humidité ambiante trop élevée, une différence de température d'air le long du corps et les extrémités froides.

Les échanges thermiques et physiologiques entre le corps et le milieu extérieur sont affectés par l'écoulement du vent. Les conditions climatiques comme la présence de précipitations ou du soleil modifient grandement la sensation de gêne. L'état physique et psychologique de l'individu ainsi que son activité rendent particulièrement difficile la quantification du confort ou de l'inconfort.

2.4.1.2. Température et performances individuelles.

Plusieurs travaux et études se sont penchés sur l'examen de l'influence des basses ou hautes températures sur les performances individuelles en laboratoires, dans les usines, dans les écoles, etc. spécialement les variations dans le temps des réactions des personnes, leur vigilance, leur capacité de calcul mental (Bell, Provins & Hiorns 1964, Griffiths & Boyce 1971, Pepler 1963, Poulton & Kerslake 1965, Provin & Bell 1970, Wilkinson & al. 1964).

Selon ces travaux, l'augmentation de la température peut être accompagnée d'une décroissance d'exécution de calcul mental et de ralentissement du réflexe chez l'individu. Ces études ont montré que généralement, quand la température dépasse 32°C elle risque d'altérer la performance de l'exécution du calcul mental, après deux heures d'exposition pour des personnes qui ne sont pas habituées aux hautes températures. Il est intéressant de mentionner ici que d'autres recherches affirment que l'augmentation de la température n'a aucune influence sur les performances individuelles. D'autres études ont montré qu'elle est déterminante ou que par contre elle améliore la performance mentale des individus. Ces derniers confirment qu'avec l'augmentation de la température, la performance individuelle s'améliore au début mais elle se détériore par la suite. Cependant, cette configuration reste spécifique à quelques tâches. La performance peut aussi se détériorer au début de l'augmentation de la température et s'améliorer par la suite pour d'autres tâches. (Bell 1981, Hygge 1992).

Hancock (1986) note que l'exécution des tâches de vigilance sont altérées quand l'homéostasie thermique est dérangée, mais améliorée quand un nouvel état d'équilibre est atteint. Il en résulte que généralement les fortes chaleurs détériorent les tâches mentales complexes après une longue exposition. Les tâches motrices ou physiques se détériorent après une assez courte exposition et peuvent soit altérer ou éveiller la vigilance. En usine, surtout celles où il y a des hauts fourneaux et où les travailleurs, doivent passer près de huit heures par jours, une exposition à une chaleur intense peut causer une déshydratation et une fatigue qui peut encore réduire l'endurance et altérer la performance. Une étude faite par Link & Pepler (1970) a trouvé que la productivité dans les usines d'habillement diminue quand la température augmente.

En milieu scolaire, la température apparaît également comme un facteur qui a quelques effets sur la performance des écoliers. Pepler (1972) a étudié l'air conditionné et la ventilation naturelle dans des groupements scolaires. Il a constaté que, dans les endroits non climatisés, la performance et l'exécution des calculs mentaux des élèves varient en fonction des températures. Par contre, dans les écoles climatisées une telle variabilité ne s'est pas produite.

2.4.1.3. Température et pratiques des individus.

Les études qui se sont penchées sur l'influence des paramètres climatiques sur les attitudes et les pratiques, ont surtout abordé l'influence des conditions extrêmes sur les comportements et les pratiques négatives et insociables (Bell P. A. & al. 1996). Ils ont montré par exemple que le taux de violence et d'agressions augmente avec l'augmentation de la température. Bell P. A. & al. (1996) citent plusieurs autres études selon lesquelles, les individus montrent une meilleure volonté pour apporter de l'aide au autrui et, qu'ils sont plus généreux avec les serveurs dans les cafés quand il fait bon (frais en été et beau en hiver). Dans des ambiances inconfortables, soient très chaudes soient très froides, les individus se montrent très désagréables et refusent souvent d'apporter de l'aide aux autres et refusent même de répondre aux entretiens. Ces mêmes études montrent qu'un grand nombre de personnes ayant participé à des expériences installées dans des chambres climatiques dans des conditions inconfortables refusent d'y participer une deuxième fois, contrairement aux personnes installées en premier dans des conditions de confort.

Des activités telles que s'arrêter, observer, discuter ou s'asseoir, manger ou prendre un verre, les expositions, les manifestations, etc. peuvent disparaître également en fonction des températures. A partir d'observations effectuées par Gehl (Culliat & al., 1992) sur la zone piétonnière à Copenhague ayant un très haut niveau d'activité en été, l'auteur a conclu que non seulement la fréquentation y est plus basse en hiver, mais la nature des activités qui s'y déroulent est très différente. Les personnes qui fréquentent cette place la traversent simplement pour se rendre quelque part. Cette étude a montré également que le nombre de piétons est multiplié par deux dans les mois chauds et il existe trois fois plus de personnes arrêtées ou flânant (engagées dans une interaction sociale de faible degré). Cette sorte d'activité, pratiquement inexistante dans les mois les plus froids, « explose » littéralement quand la température locale s'élève au-dessus de 10 °C.

R Bjorkto (1965) a défini le concept de « saison extérieure » comme étant la période de l'année où il est plus confortable de se trouver dehors sans vêtements lourds (c'est-à-dire avec seulement les vêtements que l'on porte chez soi). L'étude établit que le niveau de confort acceptable dans la région d'Oslo est d'environ + 11°C à l'automne et + 9°C au printemps (avec une humidité et un taux de circulation d'air moyen). Les températures plus basses sont, d'habitude plus largement, acceptées après un long hiver qu'à la fin de l'été, ce qui dépend en partie de l'adaptabilité du corps.

Lors d'une autre étude en Suède à Grindtorp, Gehl J. (1972) a montré que les bancs dans les parcs commencent généralement à être fréquentés quand la température est d'environ + 10°C (par temps sec). Cependant, dans les endroits bien abrités, avec des rayons solaires directs, les conditions microclimatiques peuvent approcher des niveaux de confort à des températures d'air beaucoup plus basses. La même étude enregistre deux à trois fois plus d'individus dehors pendant la période avril - juin que durant celle de janvier - février. Une autre étude V.Follin, K. Larsson (1964) effectuée en 1963 / 1964, à Stockholm, sur les activités extérieures des enfants pendant l'hiver dans trois secteurs résidentiels différents a montré que la fréquentation de l'extérieur par les enfants n'est pas aussi affectée que celle des adultes.

Le nombre de types d'activités extérieures n'est cependant pas influencé par la seule température. Comme le montre le diagramme B.Culliat, R. Erskinee (1992) suivant, le vent et surtout l'absence de radiations solaires sont des facteurs restrictifs significatifs.

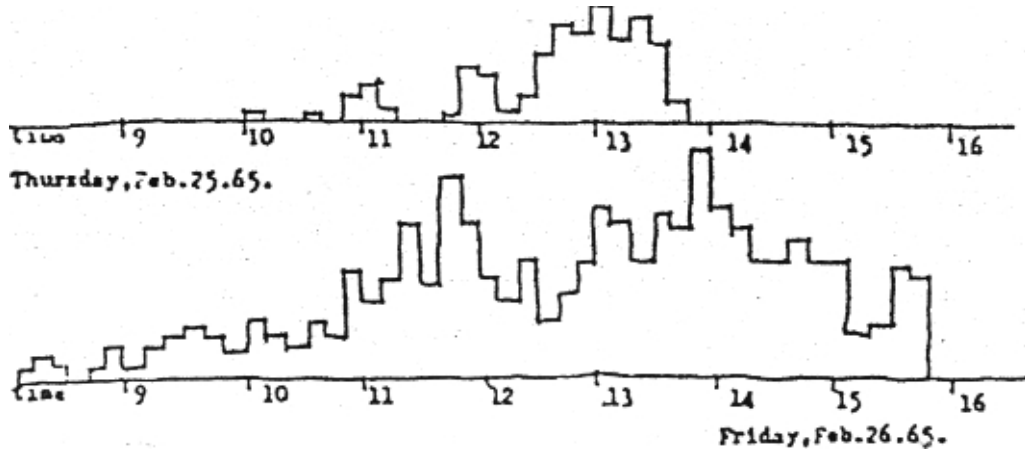


Figure 2.1. Interaction entre la température, le vent et la nébulosité sur la fréquentation des espaces extérieurs (Culliat B. & Erskinee R., 1992).

Il représente le nombre d'individus dehors à différents moments de la journée avec des conditions météorologiques variées.

- Le graphique du dessus montre la fréquentation de l'extérieur par un jour nuageux, un vent assez fort et une température de -11°C .
- Le graphique du dessous montre la situation un jour où la température est beaucoup plus basse -20°C , avec relativement peu de vent et un ciel dégagé.

2.4.2. Le vent

2.4.2.1. La perception du vent.

Notre corps a des récepteurs spécialisés pour détecter lumière, son, odeurs, par contre, il n'y a pas de récepteur spécialisé pour détecter le vent. Pour cela, nous comptons sur plusieurs systèmes percepteurs. Si nous nous sommes affrontés à un vent, c'est la pression exercée sur notre peau qui nous informe s'il est fort ou faible. Le vent est moins fort certainement sur un corps moins exposé. S'il est particulièrement froid ou chaud, humide ou sec, les récepteurs de la température du corps humain nous permettent de le sentir aussi. L'effort musculaire que nous utilisons contre le vent est également une autre façon pour détecter la force du vent.

Cependant, si on est à l'abri, dans un refuge, des indicateurs tels que le mouvement des drapeaux par exemple ou les habits des piétons affrontés au vent peuvent également nous renseigner sur la force et la direction de ce dernier. Le vent peut également donner naissance à des bruits en déplaçant des objets, des cailloux, etc. L'intensité et la fréquence du son donne une idée sur la présence de vent et sa force.

Nous avons vu (cf. § 1.4.2.3) que l'influence du vent a été étudiée sous l'angle de la gêne surtout mécanique. Nous rappelons ici l'échelle de Beaufort qui est l'un des plus anciens indices développés pour évaluer les effets de la vitesse du vent sur les activités et les pratiques des individus en fonction de la turbulence du vent. Nous avons parlé également de l'indice mis en œuvre par les recherches du CSTB (Gandemer & al., 1976-1981) qui prend en compte la gêne dynamique et la nuisance caractérisée localement dans un espace urbain. La gêne due au vent est inévitable dans les espaces extérieurs ; elle est acceptée ou tolérée par l'utilisateur si sa fréquence d'apparition reste modérée. En outre, la notion d'acceptabilité ou de non-acceptabilité d'un niveau de fréquence de nuisance donné est dépendante de l'activité de l'espace extérieur considéré. Cette fréquence « F » s'exprime en pourcentage du temps.

Les mouvements d'air sont déterminants dans l'évaporation et ainsi la modification de la température du corps. Le vent influence la perception et la sensation du froid ; il augmente la perte de chaleur. Une température ambiante de 23 °F (- 5°C) associée à un vent de 15 mph (7m/s) a le même effet psychologique qu'une température ambiante de 32°F (0°C) sans vent. (voir le tableau 2.2.).

Vitesse du vent	0 mph (0 m/s)	5mph (2,1 m/s)	15 mph (7m/s)	25 mph (11,5 m/s)	35 mph (16,2 m/s)
Température équivalente (perçues) °F (°C)	32(0)	29(-1,6)	13(-10,5)	3(-16,11)	-1 (-18,3)
	23(-5)	20(-6,6)	-1 (-18,3)	-10 (-23,3)	-15(-26,1)
	14(-10)	10 (-12,2)	-13(-25)	-24 (-31,3)	-29 (-33,8)
	5(-15)	1 (-17,2)	-25 (-31,66)	-38(38,8)	-43(41,6)
	-4(-20)	-9 (-22,7)	-37 (-38,33)	-.50 (-45,5)	-52(46,6)

Tableau 2.2. Températures perçues en fonction des vitesses de vent (Bell & ., 1996).

2.4.2.2. Le vent et son effet sur les pratiques.

Une série de recherches a été faite par Poulton & al. (1975) où un groupe de sujets ont été exposé à un vent dans un tunnel. La température de l'air a été maintenue entre 18 et 20°C et l'humidité relative entre 70 à 85 % en variant les vitesses du vent de 14,5 à 32,2 km/h. Les résultats de ces recherches ont concluent que le vent influence la personne dans l'accomplissement des activités telles que marcher rapidement et droit dans la rue, fermer son manteau. Il influence aussi quelques-unes de ses performances comme la capacité de calcul mental, il diminue le réflexe et la capacité de mémorisation.

D'autres travaux menés aux USA (Banzinger & Owens, 1978) ont montré une relation directe entre des faibles résultats scolaires et les journées ventées ainsi qu'entre le taux de mortalités, la délinquance. Ces derniers augmentent avec l'augmentation des vitesses du vent dans les villes.

Cunningham (1979) a montré également que la présence de vent est souvent associée à une augmentation de la volonté d'apporter de l'aide aux autres en été, par contre en hiver le phénomène s'inverse. Par ailleurs, Cohn (1993) a trouvé une corrélation entre l'augmentation de la violence domestique et l'augmentation de la vitesse du vent et il a expliqué cela par l'augmentation de stress chez les personnes.

2.5 Conclusion

Dans ce deuxième chapitre, nous avons vu que les conditions physiques, les facteurs culturels et économiques comme les facteurs psychologiques contribuent à orienter la manière de vivre des habitants. Seule la prise en considération d'un ensemble de composantes et de leurs interactions nous permettra de comprendre ce qui intervient dans la perception et l'usage d'un espace.

La prise en considération d'un ensemble de composantes du milieu physique, social, technique et économique permet de mieux saisir la perception de l'homme et donc de son mouvement et ses comportements. Cependant, il est clair qu'il est impossible de considérer l'ensemble de ces facteurs potentiels. Ce qui est possible, c'est d'analyser les effets de composantes environnementales particulières sur le système complexe d'interaction qui définit la perception ou le comportement humain. Il s'agit de cela dans ce travail : analyser les effets des conditions microclimatiques sur la perception et le comportement humain.

À travers cette étude bibliographique, nous nous sommes rendus compte également que les conditions extérieures, la configuration spatiale ou les conditions climatiques, sont en mesure de limiter les activités. Ceci peut être généré par une planification erronée de l'environnement bâti tels que des artères de circulation mal définies (largeur, verdure, hauteur des bâtiments... ou mal orientées par rapport aux vents par exemple.

Nous avons pu constater également que l'approche du milieu urbain est complexe. Elle nécessite une double évaluation objective et subjective. Nous avons constaté la complexité des études des réactions « psychosociologiques » des individus aux paramètres climatiques. En espace public extérieur, il peut être question de beaucoup de paramètres et de facteurs tels que les effets du revêtement du sol, de la qualité de la lumière, de la présence du végétal et de l'eau, de l'ambiance acoustique, du pourcentage de pente, de la commodité du mobilier urbain, etc. D'une part, les processus psychosociologiques impliqués dans l'expérience de la perception des paramètres climatiques sont influencés par un grand nombre de caractéristiques individuelles des usagers et contextuelles de l'espace. D'autre part, le climat lui-même est une variable qui a des interactions réciproques considérables avec la configuration spatiale du milieu urbain. La majeure partie des recherches a été effectuée à l'intérieur des bâtiments.

La plupart des études sur le confort ont été menées avec réduction des caractéristiques du comportement humain dans des chambres climatiques où les paramètres climatiques sont contrôlés.

Dans ce travail, nous cherchons à mettre en relation un ensemble de mesures microclimatiques qualifiant des espaces publics extérieurs avec les perceptions et les comportements manifestés par les usagers dans ces espaces. Nous retenons que l'évaluation des incidences des facteurs climatiques sur la perception, les pratiques, les attitudes est un phénomène complexe et difficile à appréhender dans sa globalité surtout en espace extérieur. A travers ce chapitre, nous avons pu insister sur la difficulté liée à la qualification et à la quantification de la relation entre l'usager et les paramètres climatiques. Cependant, nous pensons que deux grands niveaux d'analyse sont susceptibles de révéler les relations de l'usager aux ambiances microclimatiques

1. L'expression de la perception de l'espace et des effets microclimatiques est le premier niveau d'analyse. Il permettra d'identifier les sensations climatiques des utilisateurs de l'espace ainsi que leurs appréciations globales concernant la qualité climatique de l'espace en question.
2. L'expression comportementale des usagers est le second niveau d'analyse permettant de qualifier les comportements et les attitudes et notamment les conduites de groupes de personnes. Dans ce cadre, il est intéressant d'analyser la densité d'occupation de chaque lieu, les trajectoires empruntées et leurs taux de fréquentation, de relever les lieux de regroupement ponctuels, les allures et les rythmes des piétons, leurs types d'activités et de voir les corrélations qui peuvent exister avec les variations des conditions microclimatiques des espaces.

2.6. Références bibliographiques :

ARENS E. & BOSSLMANN P. (1989), Wind, Sun and Temperature - Proceeding the Thermal Comfort of People in Outdoor, In : Building and Environment, The International Journal of Building Science and its Applications, Vol: 24 N°4, C.B Wilson, Edimburg University, pp. 315-320.

ALTMAN J. (1974), Observational study of behavior : simpling methods, In : behavior, n° 49, pp. 227-267.

AMPHOUX P. (1992.b), La valse des ambiances, In : Autrement, revue n° spécial sur le confort, Paris, Novembre 92, 9 p.

AUGOYARD J-F. (1995), L'environnement sensible et les ambiances architecturales, In : L'espace géographique, N° 4, pp. 302-318.

BAILLY A. S. (1977), La perception de l'espace urbain. Les concepts, les méthodes d'étude, leur utilisation dans la recherche urbanistique, Paris, CRU, 264 p.

BARLET A. (1997), Le confort dans le milieu scolaire, In : Psychologie Française, N°42-2, 1997, 1p.

BLANCHET M. (1997). Le rapport des habitants de Marne-la Vallée à l'espace physique et à l'espace social : perception et images de la ville, In : Psychologie Française, N°42-2, 1997,1p.

BELL P.A. & al (1996), Environmental psychology. Quatrième édition, Harcourt Brace College, Orlando, Chapitre 6 : Weather, climate and behavior, pp. 186-223.

BORDAS F. (1999), Aspects cognitifs et affectifs de la densité humaine : le cas de l'habitat collectif, Thèse de Doctorat, Université de Paris X -Nanterre, 276 p.

CHEMILLIER P. (1993), Le progrès technique et la satisfaction des exigences humaines dans l'habitat, In : Cahier du CSTB n° 2631, janvier - février, 9 p.

CLUZEL D. & CREUZEVAULT D. in : Qualité des ambiances : Relation Confort – santé, In : Confort et santé dans les locaux habités, Séminaire Inter chercheurs. Paris, La défense - Grand Arche, 4 Juin, pp. 97-133.

CULIAT B. & ERSKINEE R. (1986), Contrôle climatique de l'espace social, In : conception des formes urbaines et contrôle énergétique, Acte du colloque, École d'Architecture de Nantes, 1986, pp.250-267.

CANDAS V. & GRIVEL F. (1988), État thermique du corps et confort thermique, Laboratoire de Physiologie et de Psychologie Environnementales, Société Française des Thermiciens, 10 Mars, 10 p.

CHELKOFF G. & THIBAUD J-P. (1997), Ambiances sous la ville : une approche écologique des espaces publics souterrains, Grenoble, CRESSON (avec la participation de Martine Leroux, Jean-Luc Bardyn, Bernad Belchun), 304 p.

DELHOMME P. & MEYER T. (1997); Les projets de recherches en psychologie sociale : méthodes et techniques, Paris : Armand Colin, 224 p.

DUPAGNE A. & al. (1996), Identification de l'impact d'un éclairage public sur l'amélioration de la convivialité et de la sécurité des espaces publics, In : COST-UCE Living and walking in cities - Going to school, International conférence, Brescia.

FISCHER G.-N. (1997), Psychologie de l'environnement social, Paris : Dunod, collection psycho sup, 204 p.

GIFFORD R. (1996), Environmental psychology. Principles and practice, 2^e édition, Allyn & Bacon, Boston, Chapitre 10. Community environmental psychology. Chapitre 14 : managing limited resources. pp. 217-238.

Hall E.T. (1979), La dimension cachée, éditions du seuil. 254 p.

LEGENDRE A , (1995), The effects of environmentally modulated visual accessibility to care-givers on early peer interactions, In : International Journal of Behavioral Development, pp. 297-313.

LEVY-LEBOYER C. (1977), étude psychologique du cadre de vie, monographie française de psychologie, édition du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, 92 p.

LYNCH K. (1971), L'image de la cité, Paris, Dunod, 222 p.

LOISILLIER P. (1992), Incidence des facteurs physiques d'environnement - bruit, éclairage, couleur, odeur - dans les parties communes des maisons de retraites sur le bien être des personnes âgées, In: Confort et santé dans les locaux habitables, Rencontre inter-chercheurs, Paris : La Défense, 4 juin, p.65 - 72.

MATALON B. (1988), Décrire, expliquer, prévoir démarches expérimentales sur terrain, Armand Colin - collection U, 271 p.

MOCH A. & MOSER G. (1997), Psychologie environnementale : perspectives actuelles, In psychologie Française n°42-2. Pp. 103-106

MOCH A. & MARAMOTI I. (1995), les ambiances de la ville : du stress au confort, In : pratiques psychologiques, N° spécial : Qualité de vie, pp. 17 - 24.

MONNIER E.[n.d.], Le confort thermique : motivations et comportements des habitants, In : études et recherches, CSTB de Nantes, 10 p.

NIKOLOPOULOU M., BACKER N. & STEEMERS K. (1998), Thermal confort in outdoor urban spaces, In: environmentally friendly, proceeding of PLEA'98, Lisbon, Portugal, Juin, James & James Sciences Publishers LTD, pp. 179-182.

RATIU E. (1997), Modalités d'appropriation d'un environnement de transition, In : Psychologie Française, N° 42 - 2, pp. 149 - 156.

THIBAUD J-P & al (1998), L'observation des ambiances, In: L'espace urbain en méthode, 13p.

CHAPITRE 3

Le confort thermique en espace de communication extérieur

Chapitre 3: Le confort thermique en espace de communication extérieur

- 3.1 Introduction
- 3.2 Les paramètres du confort thermique
 - 3.2.1 Paramètres relatifs à l'environnement
 - 3.2.2 Paramètres relatifs à l'individu
 - 3.2.2.1 Mécanismes de thermorégulation
 - 3.2.2.2 Le métabolisme
 - 3.2.2.3 Les vêtements.
 - 3.2.3 Confort en régime transitoire, acclimatation et inertie thermique du corps
- 3.3 Les échanges thermiques.
 - 3.3.1 Les échanges radiatifs
 - 3.3.1.1 Rayonnement de grande longueur d'onde
 - 3.3.1.2 Rayonnement de courte longueur d'onde
 - 3.3.2 Les échanges convectifs
 - 3.3.3 Pertes par respiration
 - 3.3.4 Pertes par diffusion d'humidité à travers la peau
 - 3.3.5 Pertes thermiques par sudation
- 3.4 Les indices de confort thermique
 - 3.4.1 Les inconforts locaux
 - 3.4.1.1 Asymétrie de rayonnement
 - 3.4.1.2 Température du sol
 - 3.4.1.3 Gradient vertical de température
 - 3.4.1.4 Courant d'air
 - 3.4.2 Les indices de confort ou de stress thermique en espace intérieur
 - 3.4.2.1 Indice de la « Température Résultante »
 - 3.4.2.2 Indice de la « Température Effective » et ses dérivées
 - 3.4.2.3 Les indices DISC
 - 3.4.2.4 Le PMV et ses dérivés
 - 3.4.3 Les indices de confort ou de stress thermique en espace extérieur
 - 3.4.3.1 Les effets du vent
 - 3.4.3.2 La température radiante moyenne en extérieur
 - 3.4.3.3 Indice de contrainte thermique
 - 3.4.3.4 PMV modifié
 - 3.4.3.5 La Température Physiologique Equivalente (PET)
 - 3.4.3.6 Le OUT-SET:
 - 3.4.3.7 Taux de sueur régulatrice
- 3.5 Conclusion
- 3.6 Références bibliographiques

3.1 Introduction

Avant de définir la notion de confort thermique en extérieur, il est intéressant de s'attarder sur les définitions relevées dans la littérature, du confort thermique en général. Les auteurs sont nombreux et convergent généralement vers le point de vue qu'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, donc désagréable, ses mécanismes instinctifs thermorégulateurs de lutte contre le chaud et le froid [Depecker et al. 1989]. Le confort thermique de l'être humain correspond à une motivation simple mais permanente qui le pousse à rechercher, voire créer, certaines situations climatiques, à en maintenir certaines d'entre elles et à les juger en terme d'agrément ou de désagrément [Galeou et al. 1989]. La définition la plus large est celle proposée par l'ASHRAE puisqu'elle considère que le confort thermique est atteint lorsque l'individu exprime une satisfaction au sujet de son environnement [ASHRAE 1993b].

Cependant, signalons que d'autres auteurs affirment que le confort n'est pas forcément lié au maintien permanent de la neutralité thermique, mais qu'il peut aussi résulter de l'alternance de stimuli qui se compensent, à condition que le sujet en ait une maîtrise parfaite [Hofmann 1994]. Pour d'autres encore, des variations de confort, en fonction de la localisation de l'individu et de l'instant de la journée, sont nécessaires dans les espaces publics [Teller 1998]. Globalement, le confort thermique peut être défini comme une sensation complexe produite par de nombreux facteurs, conduisant l'individu à exprimer le bien-être de son état. La sensation de confort thermique reste cependant une notion personnalisée, dans la mesure où les individus sont différents [Depecker et al. 1989]. Des travaux récents sur la notion de confort adaptatif mettent en avant ces variations individuelles, conduites par des stratégies personnelles qui peuvent être d'ordre physiologique, psychologique, social, culturel ou comportemental [Humphreys et al. 1998].

Malgré la complexité évidente d'appréhension de cette notion, il est possible d'estimer des circonstances dans lesquelles aucune situation de confort n'est atteinte (stress thermique) et il est également envisageable de comparer deux états de confort en termes relatifs, comme par exemple, la variation du niveau de confort dû à un nouvel aménagement. C'est pourquoi, nous ne pouvons faire autrement que d'approcher la sensation de confort thermique à travers la

connaissance des différents échanges thermiques entre l'individu et son environnement. Ainsi, nous entamons cette partie par l'analyse des différents paramètres relatifs à l'environnement et à l'individu. Nous présentons quelques rappels sur des éléments de physiologie humaine (températures internes et cutanées, mécanismes de thermorégulation et comportement du corps en régime transitoire). Nous pouvons alors définir les échanges thermiques entre l'homme et son milieu. Certains indices permettent d'approcher et de quantifier la part objective ou quantifiable du confort thermique à l'intérieur du bâtiment, nous présentons les principaux en essayant d'insister sur leurs spécificités. Enfin, nous terminons ce chapitre par la définition et la caractérisation du confort thermique d'un individu en extérieur et notamment pour des climats chauds et nous proposons des indices applicables dans les simulations des espaces urbains.

3.2 Les paramètres du confort thermique

Les relations entre l'individu et son environnement sont déterminantes dans l'estimation des situations de confort. Avant de présenter les différents indices de confort en espace intérieur et extérieur, nous commençons par détailler les différents paramètres qui interviennent.

3.2.1 Paramètres relatifs à l'environnement

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. Le traitement des facteurs de forme devient alors un élément primordial.

3.2.2 Paramètres relatifs à l'individu

3.2.2.1 Mécanismes de thermorégulation

L'homme est un être homéotherme. Sa température interne doit être comprise entre 36.8°C et 37.2°C (inconfort généralisé en dessous de 36.5 °C et au-dessus de 37.4°C) pour un individu au repos et elle doit être comprise entre 37.0 °C et 37.5 °C pour un individu au travail (> 2 met, 1 met étant équivalent à 58.2 W/m²) [Galeou et al. 1989].

Le corps humain tend à maintenir constante sa température interne à environ 37 °C, comme nous venons de le signaler. Cependant on peut relever trois éléments qui peuvent faire varier cette valeur : une variation diurne d'environ 1 °C (cycle circadien du métabolisme basal), l'activité (variation linéaire de 37 °C au repos à 38.5 °C pour 500 W/m² [Mc Intyre 1980]) et la température ambiante (l'amplitude de variation peut être de 1°C pour des changements de température compris entre 30 et 48 °C [Stolwijk et al. 1966]).

La température moyenne de la peau peut évoluer entre 33.5 °C et 34.5 °C chez l'homme dévêtu et au repos (inconfort généralisé en dessous de 32.5 °C et au-dessus de 35.5 °C), alors qu'elle peut varier entre 33.0 °C et 34.5 °C chez l'homme vêtu (inconfort généralisé en dessous de 32.5°C et au-dessus de 34.8°C). La température de la peau est fortement dépendante de la température ambiante et est quasi indépendante du métabolisme [Mc Intyre 1980]. La température de la peau peut être déterminée grâce à une équation empirique [Alvarez et al.

1992], dans laquelle la température de l'air (T_a), le métabolisme (M) et l'isolation des vêtements (I_{cl}) interviennent :

$$T_{sk} = 29.55 + 0.196 T_a - 1.064 M * (1 - 0.295 I_{cl})$$

Lorsque le corps est soumis à des conditions thermiques défavorables, des mécanismes de régulation apparaissent.

Ainsi, en condition froide, le corps peut lutter en générant un mécanisme thermo protecteur qui est le frisson.

Les deux mécanismes de thermorégulation en situations chaudes sont la vasodilatation et la transpiration. La vasodilatation est un phénomène permettant une augmentation du transfert de chaleur entre la peau et l'extérieur. L'augmentation du débit sanguin, jusqu'à dix fois dans l'ensemble du corps et 30 fois dans les mains, entraîne une modification de la « conductivité apparente », pouvant aller jusqu'à $55 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ [Stolwijk 1966]. Ce mécanisme a une faible efficacité, il ne peut compenser qu'un degré d'élévation de température ambiante entre 30 et 34°C .

La transpiration, grâce à l'évaporation de la sueur est le principal mécanisme de thermorégulation. Chez l'homme exposé à la chaleur, la production et l'évaporation de la sueur représentent le mécanisme thermorégulateur le plus puissant et à la limite, le seul efficace pour lutter contre l'hyperthermie. L'évaporation fatigue l'organisme parce qu'elle entraîne une perte importante d'eau et d'électrolytes (Na^+ , K^+ : désodification), alors que la perspiration n'engendre qu'une perte d'eau [Lemaire 1966].

3.2.2.2 Le métabolisme

L'homme produit une certaine quantité de chaleur en fonction de son activité que l'on appelle production métabolique. Le métabolisme peut se décomposer en une partie purement thermique (M_{th}) et une partie « mécanique » (W)

$$M = M_{th} + W$$

Le rendement mécanique ($\eta_w = W/M$) n'excède pas 0.2. Des valeurs du métabolisme sont répertoriées pour différentes activités (Tableau 3.1), pour un sujet standard (70 kg et surface de corps $s_D : 1.8 \text{ m}^2$) [Depecker et al. 1989].

Activité	M (W)	M_{th} (W)	W (W)
Sommeil	75	75	0
Assis, au repos	105-110	105-110	0
Secrétariat	125	125	0
Danse slow	125	125	0
Assis, écriture	125	125	0
Debout, relax	125 - 130	125 - 130	0
Travail de laboratoire	170	170	0
Enseignement	170	170	0
Activité dans la maison	180	180	0
Debout, travail léger des bras	180	160	20
Vente	210	200	10
Marche (1.6 km/h) pente 5 %	250	230	20
Travail sur machine outil	290	260	30
Gymnastique	360	330	30
Marche rapide (4.8 km/h pente 5 %)	420	375	45
Travail de pelletage	460	390	70
Danse rock	460	460	0
Tennis	480	450	30
Creusement de tranchées	630	510	120
Marche forcée (6.4 km/h pente 5 %)	640	580	60
Squash	750	700	50
Basket ball	790	750	40

Tableau 3.1. : Métabolisme thermique et énergie mécanique [Depecker et al. 1989]

On préfère rapporter les valeurs à l'unité de surface cutanée. Ainsi, on utilise la formule dite de « l'aire de Dubois » [Hofmann 1994] pour évaluer cette aire cutanée :

$$A_{Du} = 0.2.2 P^{0.425} H^{0.725}$$

Avec, P : poids de l'individu [kg]

H : taille de l'individu [m].

L'aire est d'environ 1.8 m^2 pour un individu moyen (1,7 m et 70 kg).

Ainsi, il est possible de définir une unité, le met, qui correspond à $58,15 \text{ W/m}^2$ (métabolisme moyen d'une personne assise au repos). L'activité lorsqu'elle est exprimée en met s'écrit parfois « act » dans les bilans.

3.2.2.3 Les vêtements.

Les difficultés à définir les caractéristiques thermiques des vêtements sont nombreuses et représentent un problème lors des prévisions de confort. La résistance thermique du vêtement aux transferts de chaleur (I_{cl} ou R_v) est souvent exprimée dans une unité que l'on note clo ($1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \cdot \text{KIW}$). Un clo représente l'isolation apportée par une tenue d'intérieur typique d'hiver. L'isolation thermique d'un vêtement peut être soit mesurée, soit calculée en cumulant l'isolation des différentes parties du vêtement [Sprague et al. 1974]

$$\text{Hommes : } I(\text{ens}) = 0,113 + 0,727 \sum I(\text{pièces}) [\text{clo}]$$

$$\text{Femmes : } I(\text{ens}) = 0,05 + 0,77 \sum I(\text{pièces}) [\text{clo}]$$

On retrouve une formule simplifiée dans la norme ASHRAE 55-81:

$$I(\text{ens}) = 0,82 \sum I(\text{pièces})$$

Les valeurs des isolations thermiques de la plupart des vêtements sont données (Tableau 3.2) ainsi que les valeurs moyennes de l'ensemble des vêtements dans des situations courantes (Tableau 3.3) [Depecker et al. 1989].

Vêtements d'hommes	$I_{cl} \cdot 10^4$	Vêtements de femmes	$I_{cl} \cdot 10^4$
Maillot de corps	93	Slip	20
Tee shirt	140	Soutien-gorge	60
Slip	80	Combinaison courte	200
Tee shirt à manches	155	Combinaison longue	300
Caleçon long	155	Tee shirt à manches	310
Chemise légère		Blouse légère	310
manches courtes	220	Blouse chaude	450
manches longues	340	Robe légère	340
Chemise chaude		Robe chaude	1080
manches courtes	390	Jupe légère	155
manches longues	450	Jupe chaude	340

Veste légère	230	Pantalon léger	400
Veste chaude	450	Pantalon chaud	680
Pantalon léger	250	Pull over léger	260
Pantalon chaud	500	Pull over chaud	570
Pull over léger	310	Cardigan léger _	260
Pull over chaud	350	Cardigan chaud	570
Cardigan léger	340	Bas	16
Cardigan chaud	570	Collant	18
Chaussettes	60	Chaussures	
Chaussettes montantes	155	sandales	30
Chaussures		escarpins	60
sandales	30	bottes	125
mocassins	60		
bottes	125		

Tableau 3.2 : Valeurs des résistances propres I_{cl} de quelques vêtements [Depecker et al. 1989]

Été R_v ($m^2\text{°C/W}$)	Printemps - Automne R_v ($m^2\text{°C/W}$)	Hiver R_v ($m^2\text{°C/W}$)
0.08	0.109	0.158
0.166	0.213	0.225

Tableau 3.3 : Valeurs moyennes (hommes et femmes) des I_{cl} (Depecker et al. 1989)

Les vêtements non seulement influencent les échanges de chaleur sensible, mais en plus, peuvent freiner la diffusion de l'humidité évaporée sur la peau. Ainsi, un coefficient d'efficacité de perméation de la vapeur d'eau, noté F_{pcl} , qui varie de 0 pour un vêtement étanche à 1 en l'absence de vêtement, permet de décrire la puissance dissipée par évaporation [Nishi et al.1970]

$$E_{v\acute{e}tu} = F_{pcl} \cdot E_{nu}$$

$$F_{pcl} = 1 / (1 + 0.143 h_c I_{cl})$$

Notons que la valeur de 0.143 a été contestée par certains chercheurs [Candas et al. 1991] et que ce coefficient ne dépend pas du type de tissu, ce que l'expérience confirme à peu près.

On définit, le facteur F_{cl} , de manière à prendre en compte l'augmentation de la surface due au vêtement, à partir de la relation suivante [Fanger 1970]:

$$F_{cl} = 1 + 0.77 I_{cl}$$

Enfin, signalons que le vêtement joue un rôle complexe en absorbant de la sueur. Celle-ci s'évapore ensuite dans son épaisseur, donc avec un moindre rendement pour le refroidissement du corps. Cependant ce phénomène est compensé au moins en partie par l'augmentation de la conductivité thermique du vêtement humide, de sorte que l'hypothèse selon laquelle on considère que la sueur s'évapore directement sur la peau, peut être adoptée en pratique [Nishi et al. 1970]. Berger en modélisant le vêtement a noté qu'un échange radiatif direct d'au moins 15 entre le corps et l'environnement persiste lorsque le tissu est serré et qu'un microclimat sous vestimentaire apparaît et est fonction du temps de confinement de l'air sous le vêtement [Berger 1993].

3.2.3 Confort en régime transitoire, acclimatation et inertie thermique du corps

L'homme réagit en permanence à des variations de température, d'humidité et de rayonnement. Si le taux de production de la chaleur dans le corps n'est pas égal au taux des pertes, la différence est stockée ce qui entraîne un changement de la température moyenne du corps. Sur des périodes longues le stockage net de chaleur doit être nul, mais sur de courtes périodes la capacité thermique du corps est suffisamment importante pour absorber temporairement les écarts avec une faible variation de la température. La chaleur spécifique du corps a été quantifiée à une valeur de 3.49 kJ/kg.K soit environ 83 % de la valeur relative à l'eau. Pour un homme de 70 kg et de surface 1.8 m², le taux d'élévation de la température moyenne du corps (en K/s) est défini en fonction du taux de stockage de chaleur (S):

$$\frac{dT_{corps}}{dt} = 7.4 \times 10^{-6} S$$

Ainsi, la température de corps augmente de 1 K en 1 heure avec un taux de stockage de 38 W/m² [Me Intyre 1980].

En conditions chaudes, le phénomène de sudation apparaît avec un certain décalage avant de réagir rapidement aux variations des contraintes thermiques. Ce retard est fonction de

l'acclimatation des individus. Il est plus important pour les femmes que pour les hommes et peut dépasser une heure. Après plusieurs jours passés en conditions chaudes, l'organisme augmente son débit sudoral et peut ainsi maintenir son équilibre thermique dans des conditions plus dures.

En régime transitoire, même pour des variations relativement rapides, les indices de confort, développés pour la plupart en statique, ne donnent pas une image trop éloignée de l'optimum de confort. Même si un temps de stabilisation de la sensation thermique apparaît après un changement des conditions thermiques et peut atteindre plusieurs heures, il n'affecte que des fractions d'unité de vote et peut en pratique être négligé [Hoffmann 1994].

3.3 Les échanges thermiques.

Les échanges thermiques entre l'individu et son environnement (Figure 3.1) sont définis dans de nombreux ouvrages [Fanger 1970, Givoni 1976, Hofmann 1994, Depecker et al. 1989, Alvarez et al. 1992]. Nous allons passer en revue les différents transferts de chaleur sensible (échange radiatifs et convectifs) ainsi que les pertes par respiration, par diffusion et par sudation. Les échanges par conduction ne sont pas présentés ici car ce type d'échange entre l'individu et le sol est considéré comme négligeable. En effet, la résistance thermique des chaussures est élevée et la surface d'échange est très réduite. Nous ne revenons pas sur les échanges au travers des vêtements cela ayant été traité précédemment.

L'équilibre du bilan thermique sur un individu peut être calculé en connaissant ou en estimant un certain nombre de paramètres. Dans les différentes analyses réalisées, la description mathématique des termes entrant dans le bilan énergétique de l'individu est une combinaison d'équations ou de relations empiriques (coefficients d'échange et certains paramètres physiologiques).

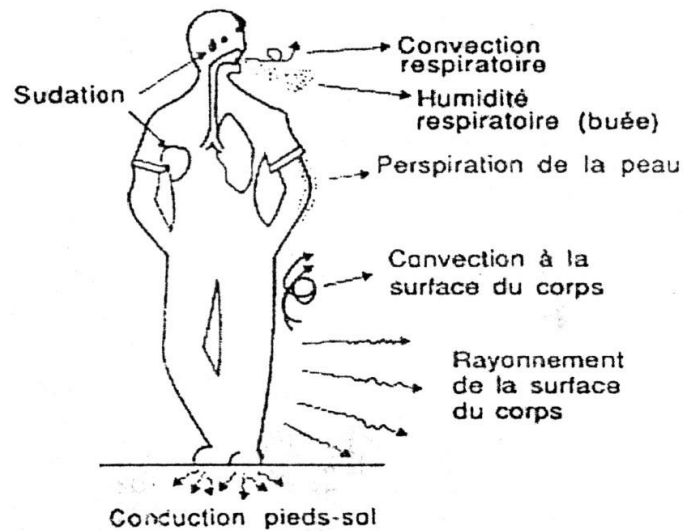


Figure 3.1 : Les différents types d'échanges thermiques [Depecker et al. 1989]

L'équation du bilan thermique appliquée à l'individu est la suivante:

$$M = \varphi_{\text{CLO}} - \varphi_{\text{conv}} - \varphi_{\text{GLO}} - E_{\text{dif}} - \varphi_{\text{res}} - E_{\text{res}} - E_{\text{rsw}}$$

Les différents termes intervenant dans cette expression sont détaillés dans ce chapitre.

3.3.1 Les échanges radiatifs

3.3.1.1 Rayonnement de grande longueur d'onde

Le calcul de ce type d'échanges entre l'individu et son environnement peut se faire grâce à la loi de Stefan-Boltzmann :

$$\varphi_{\text{GLO}} = F_{\text{eff}} F_{\text{cl}} \varepsilon \sigma [(T_{\text{cl}} + 273.2)^4 - (T_{\text{nut}} + 273.2)^4]$$

Dans cette équation F_{eff} représente le facteur de surface effective de rayonnement qui est le rapport entre la surface effective de rayonnement de l'individu et sa surface totale, on adopte en pratique une valeur de 0.7, ε est l'émissivité moyenne de la peau et des vêtements dans l'infrarouge lointain, soit environ 0.97. A titre d'exemple, pour une personne vêtue d'une tenue d'été dont la température de surface extérieure est de 26°C et dans une ambiance dont la température radiante moyenne t_{mrt} équivaut à 22 °C, les pertes par rayonnement sont égales à 18 W/m² [Hofmann 1994].

3.3.1.2 Rayonnement de courte longueur d'onde

Ce flux de chaleur inclut la fraction de l'énergie du rayonnement solaire incident ($S\downarrow$) qui est directement absorbée par la peau :

$$\varphi_{\text{CLO}} = ((1 - \alpha_{\text{sk}}) * \tau_{\text{cl}} * S\downarrow) / F_{\text{cl}}$$

Avec τ_{cl} , le coefficient de transmission du vêtement, α_{sk} l'abédo solaire de la peau et F_{cl} la fraction entre la surface du vêtement et la surface de la peau, ce qui permet de calculer le flux de chaleur par unité de surface de peau. Les apports dus aux réflexions sur les parois et la fraction du rayonnement solaire qui est absorbée par le vêtement ne sont pas considérés dans cette expression.

Dans le paragraphe relatif à la température radiante moyenne, nous précisons comment les apports radiatifs de courtes et grandes longueurs peuvent être pris en considération.

3.3.2 Les échanges convectifs

Un phénomène de convection naturelle apparaît lorsque sous l'effet d'une différence de densité de l'air due à une différence de température, un courant d'air se met en place. C'est ce qui se passe, au voisinage de la peau, lorsque celle-ci est à une température supérieure à celle de l'air ambiant. Lorsque l'air est en mouvement sous l'action d'une force externe, on emploie le terme de convection forcée. Plus la vitesse de l'air est élevée, plus les échanges thermiques sont importants.

Les équations qui régissent ce type de phénomènes sont complexes et ne donnent lieu à des résultats analytiques que pour très peu de configurations. Afin d'estimer ces échanges, il est d'usage d'introduire un coefficient de convection que l'on note h_c . Ainsi, nous pouvons estimer le terme convectif par l'équation suivante

$$\varphi_{\text{conv}} = f_{\text{cl}} h_c (T_{\text{cl}} - T_{\text{air}})$$

La norme ISO 7730 adopte pour valeur de h_c la plus grande des deux valeurs suivantes:

$$\text{en convection naturelle : } h_c = 2.38 (T_{\text{cl}} - T_{\text{a}})^{0.25}$$

$$\text{en convection forcée : } h_c = 12.1 U^{0.5}$$

Avec U : vitesse relative de l'air par rapport à la personne.

Dans la littérature, les valeurs des coefficients d'échange convectif donnent lieu à de nombreuses corrélations. De plus, en espace extérieur, des vitesses de vent élevées peuvent apparaître. Des formules sont répertoriées pour le calcul de ce terme pour différentes vitesses de vent (Tableau 4.4 [Penicaud 1978]).

Vitesse de vent (U en m.s ⁻¹)	U < 0.1	0.1 < U < 2.4	2.4 < U
Echange par convection (W.m ²)	2.05 f _{cl} (T _{cl} - T _a) ^{1.25}	10.4 f _{cl} V ^{0.5} (T _{cl} - T _a)	8 f _{cl} V ^{0.8} (T _{cl} - T _a)

Tableau 3.4. : Echange par convection d'après [Penicaud 1978]

Le rôle de la turbulence dans les transferts de chaleur est également à considérer. En effet, grâce à une approche expérimentale, le rôle très marqué de la fluctuation du vent sur l'amélioration des transferts thermiques a été mis en évidence [Moreau 1999]. Les résultats de cette série de tests donnent pour efficace, du point de vue de l'échange thermique des fréquences comprises dans une gamme de 0.2 à 0.4 Hz. Ces valeurs restent dans un ordre de grandeur équivalent à celles proposées par Fanger et Pedersen qui mettent en évidence d'un point de vue purement sensoriel un maximum de sensibilité pour la gamme de fréquences 0.3-0.5 Hz.

3.3.3 Pertes par respiration

L'air à la sortie des poumons est pratiquement saturé en humidité. Les poumons fonctionnent comme un échangeur de surface quasi infinie, d'environ 100 m². L'air expiré est quasiment saturé d'humidité. En ambiance sèche, la quantité de vapeur d'eau expirée est de l'ordre de 30 g/h. En climat chaud et humide, elle est réduite à une valeur variant de 0 à 20 g/h. Les pertes apparaissent sous deux formes : pertes par chaleur sensible dues au réchauffement de l'air inspiré et pertes par chaleur latente dues à l'humidification de celui-ci.

$$\phi_{\text{res}} = 0.0014 * M * (34 - T_{\text{air}})$$

$$E_{\text{res}} = 0.0173 * M * (5.87 - HR_a * P_v(T_{\text{air}}))$$

Avec, M en W/m², T_{air} et HR_a la température sèche et l'humidité relative de l'air, et P_v(T_{air}) la pression de vapeur d'eau à la température T_a exprimée en kPa

3.3.4 Pertes par diffusion d'humidité à travers la peau

La perte de chaleur par évaporation est un mécanisme de régulation très efficace et constitue le meilleur indice physiologique de stress thermique. La perte de chaleur par évaporation à la surface de la peau E_{sk} oscille entre deux niveaux : une valeur minimum d'évaporation diffuse (E_{dif}) et une valeur maximale (E_{max}) lorsque 100 % de la peau est couverte de sueur. Ces deux types de pertes dépendent des mouvements d'air, du gradient de pression de vapeur entre la surface de la peau à travers les vêtements et l'air ambiant, ainsi que de la résistance au transfert de masse de vapeur d'eau due aux vêtements.

Les pertes par diffusion, également appelée pertes par perspiration, sont permanentes et ne dépendent que de l'écart de pression de vapeur d'eau au niveau des pores de la peau, à saturation et à la température de la peau, et dans l'air ambiant. Elles représentent environ 6 % de la dissipation maximale de chaleur par évaporation. Pour des valeurs élevées de E_{max} ou des expositions longues en ambiance d'humidité faible, le taux précédent peut baisser jusqu'à 2%. Il est possible de les évaluer à partir de la formule suivante [Me Intyre 1980] :

$$E_{dif} = 4 + 0.12 (p_{ssk} - p_a)$$

Avec :

p_{ssk} : pression saturante de la vapeur d'eau à la température de la peau [Pa]

p_a : pression partielle de la vapeur d'eau dans l'ambiance [Pa]

3.3.5 Pertes thermiques par sudation

L'évaporation totale d'eau à partir de la peau est un phénomène de transfert de masse de la vapeur d'eau depuis la surface vers l'air ambiant. Elle est le résultat de quatre processus : sécrétion de la sueur par des glandes sudoripares à proximité de la peau, transport de la sueur jusqu'à la surface de la peau, dispersion en une pellicule sur la peau et évaporation de cette pellicule à la température de la peau. La moiteur de la peau est le rapport entre le taux de sécrétion requis pour assurer un bilan nul et l'évaporation maximale possible dans l'air ambiant. La perspiration des individus existe toujours et est au minimum de 6 % comme nous venons de le dire. En dessous de 12 % la moiteur n'est pas perceptible et le corps semble sec.

De 12 à 30%, le corps ressent une faible moiteur puis des zones humides apparaissent. Au-delà de 30 l'efficacité de la sueur tombe en dessous de 1 car les gouttes de sueur de grandes tailles ne peuvent pas s'évaporer [Berger 1998]. L'inconfort augmente avec la valeur de cet indice qui avertit le corps d'un recours à un processus de sueur. Dans le cas d'une peau entièrement saturée d'eau, la valeur maximale de l'évaporation s'écrit

$$E_{\max} = h_e (p_{\text{ssk}} - p_a)$$

Le coefficient d'échange thermique par évaporation h_e (W/m².Pa) peut s'exprimer à partir de la relation de Lewis en fonction du coefficient d'échange convectif h_c et d'une constante Lr qui dépend des substances en présence et de la pression atmosphérique

$$h_e = Lr \cdot h_c$$

En pratique, la peau n'est pas intégralement mouillée, à la fois parce que le corps fait rarement appel à ses capacités maximales de sudation et parce que les glandes sudoripares ne sont pas uniformément réparties. L'évaporation réelle de la peau, qui est la somme des pertes par diffusion et par transpiration «régulatrice» ($E_{\text{dif}} + E_{\text{rsw}}$), s'écrit:

$$E_{\text{sk}} = \omega Lr h_c (p_{\text{ssk}} - p_a)$$

ω est un coefficient adimensionnel qui caractérise la mouillure cutanée. Il est égal au rapport entre l'évaporation réelle et l'évaporation maximale :

$$\omega = E_{\text{sk}} / E_{\max}$$

3.4 Les indices de confort thermique

Afin de quantifier le confort thermique, de nombreux travaux, généralement réalisés à l'intérieur des bâtiments, dans des conditions expérimentales parfaitement contrôlées, ont recensé les principales causes d'inconfort et ont permis d'établir un certain nombre d'indices. Nous en présentons quelques-uns parmi les plus intéressants. Certains, ont donné lieu à des développements ou à des transpositions en situations extérieures. En insistant sur les intérêts et les limites de chacun, nous essayons de retenir les indices ou les méthodes qui peuvent être utiles dans le cadre de notre recherche. Il est à signaler que de nombreuses informations sont

référencées dans la littérature [Givoni 1976, Mc Intyre 1980, Gagge et al. 1986, Hofmann 1994, Pignolet 1996]. Ainsi, nous allons présenter succinctement les indices qui ont dans un premier temps été développés pour définir le confort intérieur : température résultante, la température effective (et ses dérivés), les indices DISC et le PMV. Puis, nous nous attardons sur les travaux qui nous intéressent plus précisément, c'est-à-dire ceux permettant d'appréhender le confort en espace extérieur. Le confort ou plus exactement l'inconfort dû au vent est discuté. La définition des températures radiantes est un des points clés de ces recherches et est détaillée dans cette partie. Pour finir, nous présentons les indices les plus applicables dans nos configurations l'indice de contrainte thermique (ITS) le vote moyen prévisible modifié (PMV*), la température physiologique équivalente (PET) et la nouvelle température effective standard modifiée (OUT_SET*).

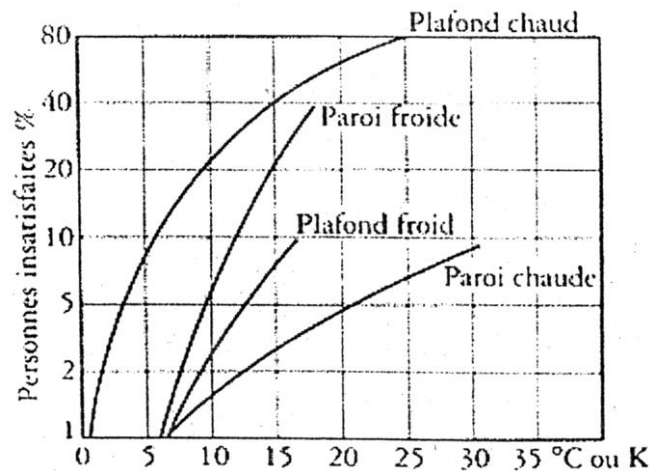
3.4.1 Les inconforts locaux

Les sources locales d'inconfort sont nombreuses et parmi les plus fréquemment citées dans les traités de thermique du bâtiment, nous pouvons relever l'asymétrie de rayonnement horizontale et verticale, le gradient vertical de température d'air, la sensation de courant d'air, un air respiré trop chaud ou trop froid, des extrémités froides du corps, une humidité excessive ou insuffisante, des différences de température d'air le long du corps. Il existe peu de travaux équivalents en espace extérieur sur la quantification des inconforts locaux, ainsi, une transposition des résultats ci-dessous au milieu urbain ne peut être envisagée. Néanmoins, les thèmes traités doivent être considérés et intégrés dans l'analyse du microclimat urbain avec des ordres de grandeur sensiblement différents.

3.4.1.1 Asymétrie de rayonnement

Les parois froides ou chaudes entraînent des déséquilibres au niveau des échanges radiatifs qui peuvent engendrer une sensation d'inconfort. On considère qu'il n'y a pas de gêne si, à 1 m devant la façade, l'écart entre la température radiante orientée vers cette façade et la température radiante orientée vers la cloison opposée ne dépasse pas 8 °C [Chemillier 1986]. Dans la figure ci-dessous (Graphe 3.1), l'asymétrie de rayonnement est reliée au pourcentage de personnes insatisfaites (sujet assis, vêtu 0.6 clo) à partir de travaux réalisés par Fanger [Brindel-Beth et al. 1998] (source ASHRAE). L'asymétrie de température rayonnante due à

des surfaces verticales froides doit être inférieure à 10 °C. L'asymétrie de rayonnement due à un plafond chauffant doit être inférieure à 5°C.



Graph 3.1 : Asymétrie du rayonnement et insatisfaction

3.4.1.2 Température du sol

Une température de sol trop élevée ou trop basse entraîne un inconfort au niveau des pieds. Une température de sol inférieure à 17 °C ou supérieure à 26 °C procure un inconfort [Brindel-Beth et al. 1998]. D'après Olesen, une température optimale de sol est de 23 °C pour un individu chaussé debout et 25 °C pour un individu chaussé assis, mais ces résultats sont fortement dépendants de la température d'air [Hoffmann 1994].

3.4.1.3 Gradient vertical de température

Dans les bâtiments on considère généralement que l'écart entre les températures mesurées à 1.10 m et à 0.10 m doit rester inférieur à 3°C [Chemillier 1986].

3.4.1.4 Courant d'air

Ce point est considéré comme la principale source d'inconfort local. Un écoulement à vitesse fluctuante est plus inconfortable qu'à vitesse constante. A l'intérieur des bâtiments, dans tous les cas la vitesse de l'air doit être inférieure à 0.35 m.s⁻¹ [Chemillier 1986]. Dans la norme ISO 7730-93, une équation relie le pourcentage d'insatisfaits (PD) aux caractéristiques du courant d'air [Hoffmann 1994]

$$PD = (34 - T_{\text{air}}) (U - 0.05)^{0.622} (37 \sigma + 3.14)$$

Avec : t_a : température d'air,

U : vitesse moyenne de l'air

σ : écart type des vitesses d'air ou turbulence absolue

Ces résultats concernent des individus sédentaires en tenue courante, sachant que la sensibilité au courant d'air décroît avec une isolation des vêtements plus importante. Pour des personnes actives le courant d'air est plutôt un facteur de confort. Cependant des auteurs aboutissent à des résultats différents puisque Mayer a montré que la proportion d'insatisfaits croît linéairement en fonction de la vitesse d'air pour une intensité de turbulence jusqu'à 40 % et en fonction de la turbulence absolue au-delà [Mayer 1985]. Des recherches dans ce domaine sont en cours.

3.4.2 Les indices de confort ou de stress thermique en espace intérieur

3.4.2.1 Indice de la « Température Résultante »

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

La température résultante sèche correspond à la température d'une ambiance dans laquelle le corps humain a les mêmes pertes par rayonnement et par convection que dans l'ambiance étudiée. En air calme, c'est-à-dire $U < 0.2$ m/s et lorsque $|T_{\text{mrt}} - T_{\text{air}}| \leq 4$ K :

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

Lorsque l'air s'écoule à une vitesse U , d'au moins 0.1 m/s, l'expression devient [Hofmann 1994]:

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

3.4.2.2 Indice de la « Température Effective » et ses dérivées

Cet indice intègre également la température, l'humidité et la vitesse de l'air [Houghten et al. 1923]. L'impression thermique instantanée, éprouvée par le sujet dès son introduction dans une ambiance donnée, est le critère de réaction retenu pour cet indice. L'indice de Température Effective original ne tient pas compte des effets du rayonnement ; il est néanmoins possible de substituer la température prise au thermomètre à globe à la température de l'air. Deux abaques ont été développés : l'un pour des sujets nus jusqu'à la ceinture et l'autre pour des sujets portant des vêtements d'intérieur ordinaires.

La température standard effective (Figure 2) est définie comme la température d'un environnement isotherme dont les températures de surface et d'air sont équivalentes, où l'humidité relative est de 50 % et l'air calme (0.12 m/s). Dans cet environnement une personne ayant une isolation de vêtement standard subit les mêmes pertes de chaleur et possède la même température moyenne de peau et la même mouillure cutanée que dans l'environnement réel et avec des vêtements pas nécessairement standards. Le niveau d'activité est le même dans, la situation réelle et dans la situation standard, et l'isolation standard des vêtements est une fonction du niveau d'activité. Lorsque l'environnement ne permet pas un équilibre rapide, il est usuel d'envisager l'état après une heure d'exposition.

L'évaluation du SET requiert deux étapes. La première est de trouver la température de la peau et la mouillure cutanée de l'individu à partir du modèle de thermorégulation à deux nœuds [Gagge et al. 1986]. La deuxième étape consiste à trouver la température d'un environnement standard qui génère les mêmes valeurs de température et de mouillure à partir de l'analyse des transferts de chaleur du corps. L'indice SET est donc fonction du niveau d'activité, des caractéristiques d'isolation des vêtements et des variables physiques de l'environnement. La valeur de SET est directement liée à la sensation et non à la température de l'air, la correspondance est donnée ci-dessous (Tableau 5) [Mc Intyre 1980]:

SET (°C)	Sensation	Etat physiologique d'un individu sédentaire
> 37.5	Très chaud, inconfortable	Défaillance de la régulation
34.5-37.5	Chaud, très inacceptable	Sueur abondante
30.0-34.5	Chaud, inconfortable, inacceptable	Sueur
25.6-30.0	Légèrement chaud, légèrement inacceptable	Sueur faible, vasodilatation
22.2 -25.6	Confortable et acceptable	Neutralité
17.5-22.2	Légèrement frais, légèrement inacceptable	Vasoconstriction
14.5-17.5	Frais et inacceptable	Refroidissement lent du corps
10.0-14.5	Froid et très inacceptable	Frison

Tableau 3.5 : Correspondance entre SET sensation et état physiologique [Me Intyre 1980]

La nouvelle température effective standardisée SET*, est la valeur de SET lorsque l'individu adapte ses vêtements à son activité [Gagge et al. 1986].

$$I_{cl} = \frac{1.33}{M - W + 074} - 0.095$$

M et W s'expriment en met, I_{cl} en clo. Cet indice est donc plus général, cependant il impose à l'individu d'être vêtu de manière adéquate, ce qui n'est pas toujours évident.

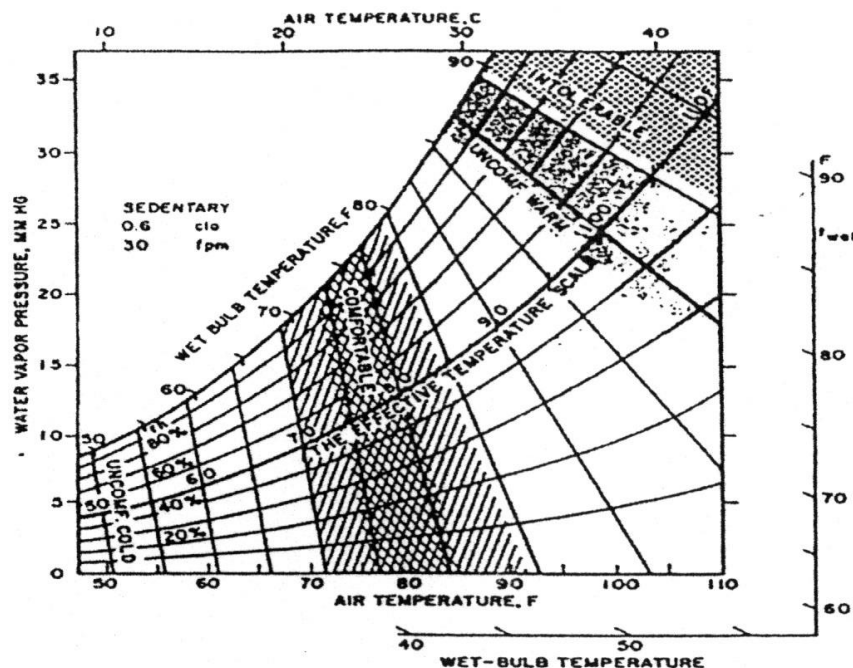


Figure 3.2 : Zone de confort pour la nouvelle Température Effective [Hofmann 1994]

3.4.2.3 Les indices DISC

Parmi les indices de stress thermique basés sur la mouillure cutanée (ω) et sur le débit sudoral, facteurs physiologiques importants dans les climats chauds, il est possible de citer le DISC [Winslow et al. 1937] dont la définition est la suivante [Gagge et al. 1986]:

$$DISC = 5 \frac{\omega - \omega_0}{\omega_{crit} - \omega_0}$$

L'inconfort est mesuré sur une échelle allant de 0 à 5 : 0 à la neutralité (celle-ci correspondant à une mouillure ω_0 qui n'est voisine de 0 qu'au repos et qui augmente avec le métabolisme), 5 quand la mouillure atteint le point critique ω_{crit} , au-delà duquel les mécanismes de thermorégulation cessent d'être efficaces. Gagge propose $\omega_{crit} = 85 \%$.

Des zones de confort (1 : agréable, 2: légèrement agréable, 3 : désagréable et 4: très désagréable) ont été estimées par Fauconnier et son équipe, en fonction des variations de la mouillure cutanée et du débit sudoral (activité et type de vêtement non précisés) (Tableau 6 d'après [Sangkertadi 1994]):

Mouillure cutanée	25%	4	4	4	4
	15%	3	3	3	4
	6%	2	2	2	4
		1	2	3	4
		0	50	100	250
		Débit sudoral			

Tableau 3.6 : Débit sudoral, mouillure cutanée et confort

A partir de ce tableau, on constate qu'au-delà de 25 % de mouillure cutanée, l'individu est dans la zone très désagréable. On considère que 75 % est la limite maximale d'inconfort.

D'autres indices DISC ont également été proposés (Tableau 19 d'après [Pignolet 1996])

Auteurs	Met	Clo	Equations
Gonzalez (1978)	3	0.5	$DISC = 2.4 \omega - 0.1$
Berglund (1984)	1	0-4-0.9	$DISC = 4.13 \omega + 0.013$
Cunningham (1985)	1	0.4-1.2	$DISC = 5.06 \omega + 0.09$
Hoeppe (1985)	1 et 5	0.64	$DISC = 3.6 \omega + 0.25$
Sangkertadi (1994)	1.1	0.5	$DISC = 3.938 \omega + 0.0158 Esd - 0.3348$

Tableau 3.7 : Indices DISC

L'indice DISC n'est plus un indice usuel du fait qu'il se confond pratiquement avec l'indice PMV* que nous présentons plus loin [Hofmann 1994].

3.4.2.4 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 [Fanger 1970]. 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 %. Des courbes de régression ont pu être déterminées:

$$T_{sk} [^{\circ}\text{C}] = 35.7 - 0.0275 M [\text{W}/\text{m}^2]$$

$$E_{rs\text{w}} [\text{W}] = 0.42 A_{\text{Du}} \cdot (M - 58)$$

Ces deux équations exprimant la sensation de confort (assimilée à la notion de neutralité thermique) sont combinées avec le bilan thermique pour donner l'équation de confort.

Un certain nombre de remarques critiques sont à apporter à ces résultats [Hofmann 1994]. En effet, les régressions linéaires de la température cutanée et de l'évaporation régulatrice sont faites à partir de nuages de points très étalés et basés pour quelques cas tests sur quelques dizaines d'individus seulement. De même, les lois décrivant les différents types d'échanges thermiques ont été déterminées à partir d'un petit nombre de travaux (parfois d'un seul).

Cependant on constate une bonne correspondance avec des résultats obtenus dans des expériences réalisées auparavant.

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 PMV est donné par l'équation suivante :

$$\begin{aligned}
 \text{PMV} = & (0.303 e^{-0.036} + 0.028) && \text{coefficient de proportionnalité} \\
 & * \{ (M_{\text{th}} - W) && \text{production de chaleur métabolique} \\
 & - 3.05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6.99 (M_{\text{th}} - W) - p_a] && \text{pertes par diffusion à travers la peau} \\
 & - 0.42 [(M_{\text{th}} - W) - 58.15] && \text{pertes de chaleur par sudation} \\
 & - 1.7 \cdot 10^{-5} M_{\text{th}} (5867 - p_a) && \text{pertes de chaleur latente (respiration)} \\
 & - 0.0014 M_{\text{th}} (34 - T_{\text{air}}) && \text{pertes de chaleur sensible (respiration)} \\
 & - 3.96 \cdot 10^{-8} F_{\text{cl}} [(T_{\text{cl}} + 273.2)^4 - (T_{\text{mrt}} + 273.2)^4] && \text{pertes par rayonnement} \\
 & - F_{\text{cl}} h_c (T_{\text{cl}} - T_{\text{air}}) \} && \text{pertes par convection}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Avec : } T_{\text{cl}} = & 35.7 - 0.028 (M_{\text{th}} - W) - I_{\text{cl}} \{ 3.96 \cdot 10^{-8} f_{\text{cl}} [(T_{\text{cl}} + 273.2)^4 - (T_{\text{mrt}} + 273.2)^4] \\
 & + F_{\text{cl}} h_c (T_{\text{cl}} - T_{\text{air}}) \}
 \end{aligned}$$

$$h_c = 2.38 (T_{\text{cl}} - T_{\text{air}})^{0.25} \quad \text{pour } 2.38 (T_{\text{cl}} - T_{\text{air}})^{0.25} > 12.1 U^{0.5}$$

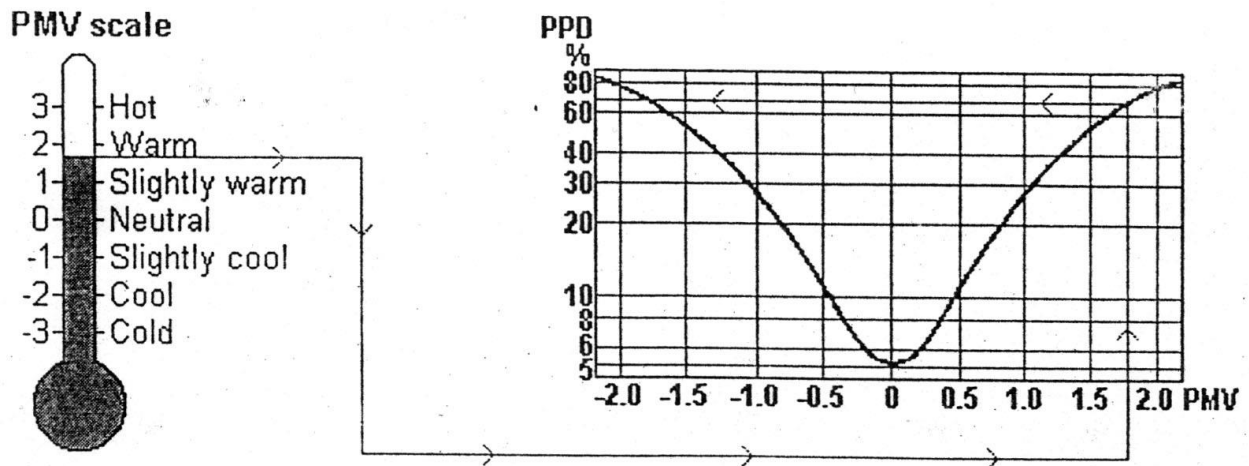
$$h_c = 12.1 U^{0.5} \quad \text{pour } 2.38 (T_{\text{cl}} - T_{\text{air}})^{0.25} < 12.1 U^{0.5}$$

$$F_{\text{cl}} = 1.00 + 1.290 I_{\text{cl}} \quad \text{pour } I_{\text{cl}} < 0.078 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$$

$$F_{\text{cl}} = 1.05 + 0.645 I_{\text{cl}} \quad \text{pour } I_{\text{cl}} > 0.078 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$$

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 ± 2 ou ± 3 sur l'échelle de 7 points de l'ASHRAE (Graphe 2)

$$PPD = 100 - e^{-(0.03353PMV^4 + 0.2179PMV^2)}$$



Graph 3.2 : Correspondance entre le PMV et le PPD
(d'après <http://www.innova.dk/books/thermal/thermal.htm>)

Cette formule est caractérisée par le fait qu'elle soit symétrique en chaud et en froid, comme on l'a déjà signalé et qu'il y a toujours au moins 5 % d'insatisfaits.

Comme nous l'avons déjà précisé, les critiques concernant cet indice de confort sont nombreuses, parmi celles qui sont le plus régulièrement recensées nous pouvons citer la liste suivante [Hofmann 1994] :

- Un point de vote sur l'échelle à 7 points correspond à 3.3 °C environ en condition d'été, ce qui signifie que l'on est censé être encore satisfait si l'on se trouve dans une ambiance à 3 ou 4 °C de la température optimale.
- La représentation du vêtement par les clo est très schématique (la ventilation intérieure, l'absorption et la transmission de l'humidité sont négligées).
- Les variations interpersonnelles sont sans doute sous-estimées.

• Dans la zone chaude, le PMV présente une sensibilité faible à l'hygrométrie qui ne traduit pas de façon satisfaisante les sensations que l'on peut observer. Les pertes par sudation sont évaluées en fonction du seul métabolisme, l'hygrométrie ambiante n'intervenant pas du tout dans ce terme.

Pour compenser ce dernier point, Gagge réintroduit l'hygrométrie dans le calcul du PMV [Gagge et al. 1986] en remplaçant la température résultante sèche par ET^* dans cette équation pour définir le PMV^* (Figure 3). Ainsi, cet indice modifié a une sensibilité plus importante à l'humidité dans la zone chaude, tout en laissant la même valeur dans la zone de neutralité et audessous. Plus précisément, ET^* est substitué dans l'équation de Fanger à l'ensemble de T_a et T_{mr} . Les droites d'iso- PMV^* sur le diagramme psychrométrique recouvrent avec une unité différente les iso- ET^* et les iso-mouillures cutanées (indice DISC). L'indice PMV^* semble le plus pertinent des indices synthétiques de confort existants et rien de plus convaincant n'a été proposé depuis lors. Il hérite de la légitimité que peut porter le PMV, avec lequel il se confond en zones froides et neutres, ainsi qu'à 50 % HR en zone chaude. Gagge lui-même a souligné que le PMV de Fanger traduit mieux la sensation thermique pure et que le PMV^* représente mieux la sensation de confort.

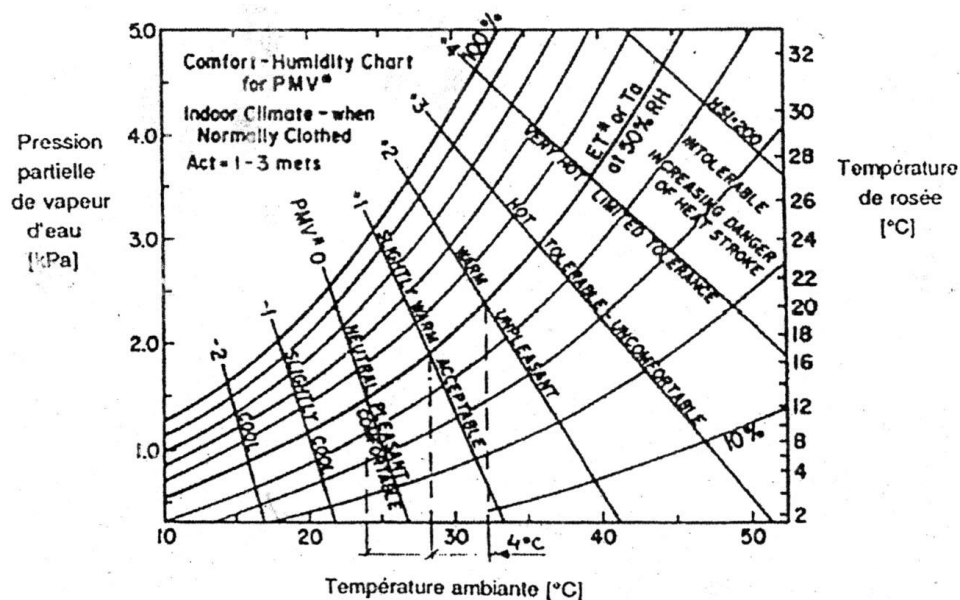


Figure 3.3: Diagramme de confort relatif au PMV^* [Hofmann 1994]

3.4.3 Les indices de confort ou de stress thermique en espace extérieur

L'influence des paramètres climatologiques sur les conditions de confort a motivé de nombreux travaux de recherche. 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 [Sacré et al. 1994]. 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 4 et Figure 5) [Sacré 1983]. 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 [Pénicaud 1978].

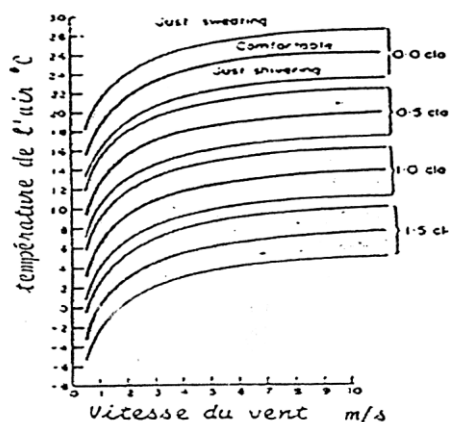


Figure 3.4 : Conditions de confort pour un piéton au soleil d'après Penwarden [Sacré 1983]

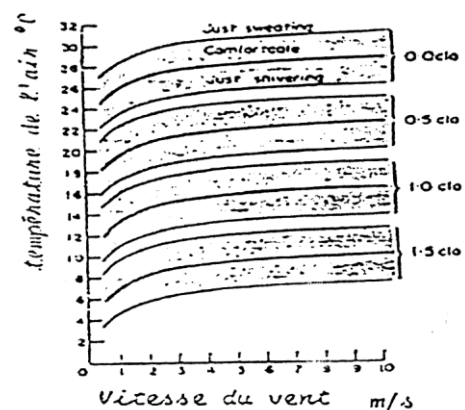


Figure 3.5 : Conditions de confort pour un piéton à l'ombre d'après Penwarden [Sacré 1983]

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 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 [Mayer et al. 1997]. 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) [Höppe 1984], 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.

3.4.3.1 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 [Bottema 2000]. 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 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 8) 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.
	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 3.8 : Echelle de Beaufort [Gandemer et al. 1981]

La notion de gêne due au vent est difficilement quantifiable [Sacré et al. 1994]. Elle s'appuie en effet sur plusieurs critères : le vent s'oppose au piéton et l'oblige à une adaptation permanente, les échanges thermiques et physiologiques entre le corps humain et le milieu extérieur peuvent être fortement perturbés. L'activité de l'individu, le type de lieu (terrasse de café ou aire piétonnière), de climat (en pays chaud et humide, on recherche plutôt la ventilation), les conditions météorologiques (humidité, température, précipitations, soleil) et le contexte physique ou physiologique de l'individu sont autant de paramètres qui rendent la définition d'un critère unique de nuisance du vent impossible. C'est pourquoi, seule la gêne dynamique est prise en compte via un paramètre (Ψ), qui intègre le module de la vitesse moyenne et le niveau de turbulence, représenté par son écart type. Il est indispensable d'associer à ce critère une fréquence de dépassement, c'est à dire une durée, annuelle par exemple, pendant laquelle le seuil évoqué est atteint ou franchi. La nuisance due au vent est caractérisée localement à 1.5 m du sol par l'équation [Gandemer et al. 1981]:

$$v = \bar{U} + \sigma$$

Le seuil de nuisance communément admis à 1.5 m du sol est de 6 m/s ($\bar{U}_s=5$ m/s, $\sigma_s=1$ m/s). Cet état de référence correspond grossièrement aux premières manifestations déplaisantes du vent. La turbulence est associée à celle qui règne en rase campagne pour le niveau U_s de vitesse seuil. Par définition, il y aura inconfort ou nuisance chaque fois que, localement, $v \geq v_s$. Dans sa forme générale, le groupement nuisance lié à l'action dynamique du vent prend la forme:

$$v = \bar{U} + \gamma\sigma$$

Avec $\gamma = 1$ pour l'inconfort du piéton.

Pour la sécurité du piéton (chute), c'est la vitesse de pointe (force maximale) qui va faire chuter le piéton. Le groupement de nuisance correspond alors à $\gamma \approx 3.5$. Il y a nuisance «sécurité» chaque fois que $v \geq v_s$ pour un seuil grossièrement égal à 18 m/s.

En pratique, le critère important 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 9). La fréquence F peut s'exprimer en pourcentage du temps (durée pendant laquelle le niveau ν dépasse le seuil de nuisance ν_s) 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 3.9 : Fréquence de nuisance liée à l'activité [Gandemer et al 1976].

3.4.3.2 La température radiante moyenne en extérieur

Nous avons relevé différentes formulations de la température radiante moyenne (T_{mrt}) dans l'analyse bibliographique donnant lieu à des calculs plus ou moins complexes. La température radiante moyenne intègre les flux de courtes et grandes longueurs d'onde et peut être calculée en utilisant la méthode de Höppe (1992) [Matzarakis et al. 1998] en considérant que la densité de flux radiatif moyen (φ_{net} exprimé en $W.m^{-2}$) absorbé par le corps, s'obtient en faisant la somme pondérée (W_i) des flux CLO et GLO absorbés mesurés, dans les 6 directions pour un individu qui est debout ou qui marche. A partir de ce résultat, il est possible d'appliquer la loi de Stefan-Boltzmann pour calculer la température radiante moyenne T_{mrt} , en Celsius:

$$\varphi_{net} = \sum_{i=1}^6 W_i \cdot ((1 - \alpha) \cdot \varphi_{CLO_i} + \varepsilon \cdot \varphi_{GLO_i})$$

$$T_{mrt} = \sqrt[4]{\varphi_{net} / (\varepsilon \cdot \sigma)} - 273.2$$

La température radiante moyenne en Kelvin peut également être calculée à partir de la formule suivante, dans laquelle F_i est le facteur de forme entre la personne et la surface d'indice i , F_{ciel} est le facteur de forme entre la personne et le ciel et $L\downarrow$ le rayonnement atmosphérique GLO reçu sur un plan horizontal [Penicaud 1978]:

$$\sigma T_{mrt}^4 = \sum_i F_i [\varepsilon_i \sigma T_i^4 + (1 - \varepsilon_i) \rho_{GLO,i}] + \frac{F_{ciel}}{0.5} L\downarrow$$

Enfin, dans le cadre des modélisations que nous souhaitons développer nous nous appuyons sur certains travaux [Pickup et al. 1999], en améliorant la procédure par la prise en compte des facteurs de forme et donc des échanges réels avec les différentes surfaces environnantes [Vinet et al. 2000c]. Le principe est de calculer la température uniforme de surface pour une enceinte hypothétique autour d'un individu debout qui échangerait le même rayonnement dans l'infrarouge avec l'individu que dans toutes les longueurs d'onde (solaire et infrarouge) dans l'environnement complexe réel. La quantité de rayonnement absorbé par le corps correspond à la soustraction des flux quittant le corps des flux incidents pour la partie de la surface du corps qui participe aux échanges radiatifs. En supposant que le rayonnement direct est absorbé par la surface du corps qui est directement ensoleillée, on utilise le facteur de surface projetée du corps (f_p), qui est calculé à partir de la hauteur du soleil (h), pour pondérer la quantité de rayonnement direct absorbé

$$f_p = 0.42 \cos(h) + 0.043 \sin(h)$$

Ainsi, la quantité de rayonnement direct absorbée vaut en fonction de l'albédo solaire des vêtements (α_{cl})

$$\Phi_{direct} = f_p (1 - \alpha_{cl}) S\downarrow$$

Les rayonnements diffus et réfléchis et de grande longueur d'onde sont supposés être absorbés par la fraction de surface totale du corps qui est disponible pour les échanges radiatifs; on la désigne par un facteur de surface effective de rayonnement (F_{eff}), qui dépend de la posture de l'individu. Une valeur de 0.75 correspond à un individu debout. Ainsi, la quantité de rayonnement diffus absorbée vaut :

$$\varphi_{\text{diffus}} = F_{\text{eff}} (1 - \alpha_{\text{cl}}) D \downarrow$$

Le rayonnement direct et diffus réfléchi absorbé s'écrit alors :

$$\varphi_{\text{réfléchi}} = F_{\text{eff}} (1 - \alpha_{\text{cl}}) (D \downarrow + S \downarrow) \alpha$$

Le rayonnement GLO est également supposé être absorbé par cette fraction (F_{eff}) :

$$\varphi_{\text{GLO}} = F_{\text{eff}} (F_{\text{ciel}} L \downarrow + \sum_{j=1}^n F_{i,j} \sigma \varepsilon_j (T_j + 273.2)^4 - \sigma \varepsilon_i (T_i + 273.2)^4)$$

j est l'indice désignant l'environnement et i l'individu.

Enfin, la fraction de rayonnement incident absorbé par le corps varie en fonction de l'isolation des vêtements et fait apparaître un facteur d'efficacité de chauffage dû au soleil (U_{sol}), fonction de l'isolation intrinsèque des vêtements, du facteur de surface de vêtements et de l'isolation de la couche limite d'air à la surface de la peau :

$$U_{\text{sol}} = \frac{I_{\text{air}}}{F_{\text{cl}} \left(I_{\text{cl}} + \frac{I_{\text{air}}}{F_{\text{cl}}} \right)}$$

Le vent réduit l'isolation de la couche limite d'air, augmentant ainsi la convection. L'isolation de la couche limite d'air dépend du logarithme de la vitesse du vent :

$$I_{\text{air}} = 0.3767 - 0.3225 \text{Log}_{10}(U)$$

La quantité totale de rayonnement absorbé par le corps humain est obtenue en sommant le flux direct, diffus et réfléchi au flux de grande longueur d'onde.

La température radiante moyenne, en Kelvin, correspond à la température isotherme (T_s) de l'enceinte pour laquelle la quantité de rayonnement arrivant sur le corps est donnée par la loi de Stefan-Boltzmann. En supposant que le rayonnement de grande longueur d'onde est absorbé par la surface radiante effective, la quantité de rayonnement absorbé par une personne dans une enceinte isotherme s'écrit :

$$\varphi = F_{\text{eff}} \sigma (\varepsilon T_s^4 - \varepsilon_i T_i^4)$$

La température radiante moyenne en Kelvin est alors obtenue ($T_s = T_{mrt}$) soit :

$$T_{mrt} = \left[\sum_{j=1}^n F_{i,j} \varepsilon_j T_j^4 + F_{i,ciel} \varepsilon_{ciel} T_{ciel}^4 + \frac{f_p (1 - \alpha_{cl}) U_{sol} S \downarrow}{\sigma F_{eff}} + \frac{(1 - \alpha_{cl}) U_{sol} (D \downarrow + \alpha_{sol} (S \downarrow + D \downarrow))}{\sigma} \right]^{0.25}$$

3.4.3.3 Indice de contrainte thermique

Ce modèle biophysique, décrit les mécanismes d'échange de chaleur entre le corps et l'environnement, à partir desquels la contrainte thermique totale s'exerçant sur le corps (métabolisme + ambiance) peut être calculée [Givoni 1976]. 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 simplement à l'usage de l'intérieur et d'un seul type de vêtement, à savoir vêtement léger d'été. Plus tard, il a été étendu à l'usage extérieur par l'introduction du rayonnement solaire et couvre maintenant différents types de vêtements. La formule générale de la contrainte thermique définit le taux de sueur requis (S_w) qui se calcule à partir de la formule suivante :

$$S_w = [(M_{th} - W) \pm \varphi_{conv} \pm R](1/f)$$

Avec

$$\varphi_{conv} = \alpha U^{0.3} (T_{air} - 35)$$

$$\frac{1}{f} = \exp \left\{ 0.6 \left(\frac{E}{E_{max}} - 0.12 \right) \right\}$$

Le flux convectif (φ_{conv}) s'exprime ici en kcal/h, α est un coefficient sans dimension fonction de la tenue vestimentaire (Tableau 10), U en m/s, et T_{air} en °C. E_{max} est la capacité évaporative de l'air. De petites fluctuations instantanées de vitesse de vent ont peu d'effet sur le confort thermique des individus (relation en $U^{0.3}$), ainsi, si l'on double la vitesse du vent de 1 à 2 m/s, C et E_{max} n'augmentent que de 23 %.

Vêtements	Coefficients			
	α	K_{cl}	a	p
Semi-nudité : maillot de bain et chapeau	15.8	1.0	0.35	31.6
Tenue légère d'été : sous-vêtements chemise manches courtes en coton, pantalons longs en coton, chapeau	13.0	0.5	0.52	20.5
Treillis militaires sur shorts	11.6	0.4	0.52	13.0

Tableau 3.10 : Coefficient des vêtements de M.C.T. [Givoni 1978]

Pour prendre en compte le rayonnement de grande longueur d'onde, la température du globe est substituée à celle de l'air dans l'équation de l'échange de chaleur convective pour une exposition à l'intérieur ou à l'extérieur et à l'ombre. Le rayonnement solaire intervient sous la forme suivante :

$$R = S\downarrow \sinh K_{pe} K_{cl} [1 - a (U^{0.2} - 0.88)]$$

Avec : $S\downarrow$: intensité solaire en kcal/h

K_{pe} : coefficient dépendant de la position et du site (Tableau 4.11);

K_{cl} , a: coefficients dépendant de la tenue vestimentaire (Tableau 4.10);

U : vitesse du vent en m/s.

Position	Site	K_{pe}
Assis le dos tourné au soleil	Désertique	0.386
	Forêt	0.379
Debout le dos tourné au soleil	Désertique	0.306
	Forêt	0.266

Tableau 3.11 : Coefficients K_{pe} [Givoni 1978]

Le diagramme de Givoni (Figure 6) permet de visualiser les zones de confort pour un individu dont l'activité métabolique est de 1.8 met, dans un air ayant une vitesse de 0.5 m/s pour des niveaux de mouillure de 6 et 25 % et des niveaux de sudation de 50 et 250 g/h.

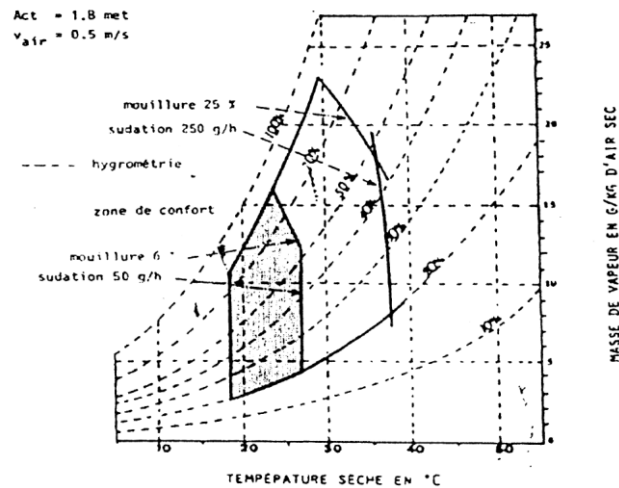


Figure 3.6 : Diagramme de Givoni

La limite inférieure de $1/f$ est 1.0. Ainsi, la peau est sèche aussi longtemps que le rapport $\eta = E/E_{\max}$ est inférieur à 0.12. Ce critère peut être mis en relation avec une température qualifiée de température de confort [Swaid et al. 1993]. Ainsi, si la température de l'air est en dessous de ce seuil, on suppose que la situation peut être jugée confortable d'un point de vue thermique. On peut donc écrire :

$$\eta = \frac{E}{E_{\max}} = 0.12 \quad \Rightarrow \quad T_{\text{confort}} = \frac{0.12E_{\max} - (M_{th} - W) - R}{\alpha U^{0.3}} + 35$$

3.4.3.4 PMV modifié

Le PMV a été étendu par plusieurs auteurs de manière à considérer les apports solaires dans le calcul des votes. Cette procédure artificielle est soumise à caution étant donné les procédures inhérentes à sa définition, à savoir expérimentation à l'intérieur des bâtiments en régime permanent et en climat tempéré.

Une extension de l'indice PMV est présentée en intérieur afin de pouvoir considérer les apports solaires à travers les parois vitrées [Serres 1997]. L'auteur reprend la définition du PMV et considère que le flux solaire (ϕ), absorbé par les vêtements, intervient partout où le rayonnement infrarouge est présent, c'est-à-dire dans les expressions du terme de rayonnement (R), du terme de température de vêtement (T_{cl}) et dans le terme de convection (C). Il définit alors la température de vêtement en présence de flux solaire (T_{cl}^*) et note ΔPMV la variation

de PMV due à la présence d'apport solaire ϕ :

$$\Delta PMV = A' \frac{\phi}{1 + Coef1 + Coef2}$$

Avec

$$Coef\ 1 = 1.875 F_{cl} \sqrt{U} I_{cl}$$

$$Coef\ 2 = 0.62 F_{eff} F_{cl} \varepsilon \sigma \bar{T}^3 I_{cl}$$

$$A' = 0.303 \cdot e^{-0.36M} + 0.028$$

L'auteur donne un exemple de modification du PMV, en considérant un homme debout ($F_{eff} = 0.95$), au repos ($M = 70\text{ W/m}^2$ soit $A' = 0.0524$), en tenue d'été ($I_{cl} = 0.5\text{ clo}$ soit $f_{cl} = 1.1$, $\varepsilon = 0.9$), dans une ambiance à 27 °C et une vitesse d'air de 0.1 m/s . Il obtient :

$$\Delta PMV = 0.0295 \phi$$

Ce qui signifie que pour un flux de 40 W/m^2 le PMV serait augmenté de $+ 1.18$. L'indice variant de -3 à $+3$, l'auteur conclut que le flux solaire modifie de manière conséquente la valeur du PMV.

De son côté, Jendritzky a développé le PMV pour l'extérieur [Matzarakis et al. 1998] en introduisant le rayonnement absorbé par une personne debout dans la valeur de la température moyenne de surface comme nous l'avons signalé précédemment. Cependant les performances du PMV sont considérées moins fiables lorsque l'on s'écarte des conditions moyennes de confort d'où des réserves pour l'utilisation en extérieur [Pickup et al. 1999]

3.4.3.5 La Température Physiologique Equivalente (PET)

L'indice PET est défini comme la température de l'air à laquelle, dans un local intérieur typique avec ou sans rayonnement solaire, le bilan de chaleur du corps humain (activité légère, métabolisme de travail de 80 W à ajouter au métabolisme de base, et résistance des vêtements de 0.9 clo) est équilibré avec les mêmes températures interne et de peau que celles obtenues en conditions extérieures [Hoppe 1999]. Ainsi, le PET permet de comparer les effets d'un

environnement thermique complexe en extérieur avec sa propre expérience en intérieur. Le modèle de bilan de chaleur MEMI est basé sur l'équation de bilan d'énergie et sur quelques paramétrisations du modèle à deux noeuds de Gagge. Ainsi, pour résoudre l'équation de bilan il faut évaluer trois quantités inconnues : la température moyenne de surface des vêtements (T_{cl}) la température moyenne de la peau (T_{sk}) et la température interne (T_{corps}). Pour quantifier ces inconnues, deux équations doivent être ajoutées pour 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. Dans le cas concret d'une journée chaude et ensoleillée d'été, 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 ces 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 (Tableau 12)

	T_{air} (°C)	T_{mrt} (°C)	U (m/s)	P (hPa)	PET (°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
Eté, au soleil	30	60	1.0	21	43
Eté, à l'ombre	30	30	1.0	21	29

Tableau 3.12 : Exemples de PET pour différents scénarios [Hoppe 1999]

3.4.3.6 Le OUT-SET*:

L'utilisation de la température radiante moyenne en extérieur, calculée par le modèle OUT_MRT et introduite dans l'indice de confort thermique de température standard effective (SET*) obtenue par le modèle à 2 noeuds de Gagge, permet de calculer l'indice de confort thermique OUT_SET* [Pickup et al. 1999]. L'objectif est de définir la température d'un environnement de référence isotherme ($T_{air} = T_{mrt}$ RH = 50 %, U = 0.15 m/s) telle qu'une personne dans cet environnement (0.6 clo et 1.2 met) possède la même température moyenne de peau (T_{sk}) et la même moiteur (ω) que dans l'environnement réel complexe. Les environnements réels et de référence sont équivalents en terme de contrainte physiologique et d'inconfort thermique car t_{sk} et ω sont fortement corrélées avec l'inconfort subjectif dans des environnements froids et chauds respectivement.

3.4.3.7 Taux de sueur régulatrice

Dans le cadre de l'exposition universelle de Séville en 1992, le problème du confort thermique dans les espaces extérieurs ouverts a été mis en relation avec le type d'activité prévue [Alvarez et al. 1992]. La notion de confort thermique y était associée à l'équilibre du bilan énergétique sur un individu. Si l'ambiance extérieure ne permet pas de réaliser l'équilibre de ce bilan, des mécanismes de thermorégulation apparaissent : dans un contexte de régulation contre la chaleur, le corps sécrète de la sueur qui en s'évaporant abaisse la charge thermique. Cependant, une sudation excessive peut entraîner une sensation d'inconfort (stress thermique). Le bilan énergétique de l'individu est exprimé en terme de quantité de sueur nécessaire à évaporer afin de se trouver dans une zone de confort. Cette quantité est elle-même considérée en fonction du lieu et donc de l'activité. Ainsi, une zone de passage est supposée être confortable d'un point de vue thermique, lorsque le taux de sueur est inférieur à 90 g/h. Si l'individu doit rester un certain temps (plus de 15 minutes) le taux doit être inférieur à 60 g/h. Le temps de résidence moyen joue donc un rôle sur le conditionnement à appliquer dans chaque zone. D'un point de vue sociologique, les auteurs supposent que les visiteurs étaient disposés à accepter des conditions de confort différentes, liées au climat local.

L'originalité de ce modèle réside dans le fait d'exprimer le bilan en fonction de la quantité de sueur évaporée

$$E_{\text{rsw}} = M - (\varphi_{\text{res}} + E_{\text{res}}) - (\varphi_{\text{conv}} + \varphi_{\text{GLO}} + E_{\text{dif}}) + \varphi_{\text{CLO}}$$

Le modèle considère le corps humain à une température unique (température de la peau), c'est un modèle à un seul nœud. Des comparaisons entre ce modèle et le modèle à deux nœuds (noyau central et partie périphérique) ont démontré que pour des situations chaudes les résultats sont très similaires.

3.5 Conclusion

A travers ces rappels sur la notion de confort thermique, nous avons pu insister sur 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). La majeure partie des recherches a été effectuée à l'intérieur des bâtiments. La recherche de la thermoneutralité est régulièrement mentionnée dans les travaux, bien que de nombreux inconforts soient liés à la notion de transition. Dans la plupart des études sur le confort, le constat d'une trop grande réduction des caractéristiques du comportement humain est pour l'instant un sérieux handicap lorsque l'on prétend évoquer la notion de confort. Ainsi, l'âge, le sexe, l'état de santé et l'état mental de l'individu devraient également être pris en compte. Les précédents travaux nous montrent qu'il est très délicat d'aborder ce type de problèmes car le degré de complexité des modèles devrait être tel que la pertinence de ces considérations serait en décalage par rapport au degré d'imperfection des simulations thermiques actuelles. Il est à espérer que les efforts des différents travaux dans des domaines pluridisciplinaires aboutissent à la définition de simulations de plus en plus réalistes, tant au niveau thermique que comportemental.

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'équilibre de ce bilan conduit à la définition de certains indices, d'autres mettent en avant la quantité de sueur évacuée et d'autres globalisent la notion de température en y ajoutant les répercussions induites par les paramètres.

Les indices DISC sont intéressants car la présence de sueur et les échanges par évaporation font de la mouillure cutanée un indice physiologique important, notamment pour l'inconfort chaud.

Le meilleur indice global en intérieur est le PMV* qui est dérivé du PMV de Fanger et développé par Gagge (en améliorant notamment la sensibilité à l'hygrométrie par rapport à la version de Fanger). Nous avons déjà insisté sur certaines de ses limites mais nous avons également présenté certaines extensions possibles qui offrent l'avantage d'introduire les apports solaires. L'utilisation de ce type d'indice en extérieur n'a pas donné lieu à des

'validations, cependant cette approche, avec toutes les limites qu'on lui connaît, peut servir d'indicateur comparatif.

L'Indice de Contrainte Thermique est adapté à l'analyse des contributions des facteurs métabolisme et ambiance et pour la prédiction de l'effort physiologique imposé aux sujets au repos et au travail. Tant que l'équilibre thermique peut être maintenu, on considère qu'il est fiable dans le domaine des conditions situées entre la zone de confort et la contrainte sévère, au delà de cette limite, l'indice ne peut plus être appliqué [Givoni 1978].

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. Ainsi, il est possible de comparer les effets d'un environnement thermique complexe en extérieur avec les expériences en intérieur.

D'un point de vue général, l'application d'un bilan permet de raffiner les connaissances des différents échanges d'énergie et de masse. 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.

A partir de ces rappels et de ces constats sur les indices il est envisageable d'utiliser ces différents indicateurs, non pas pour obtenir une réponse exacte à une situation de confort en extérieur mais plutôt pour évaluer l'incidence d'une décision d'aménagement sur les niveaux résultants, en terme de tendance ou de comparaison. Nous sommes conscients que ce genre d'approche est délicat car aucune validation ne nous permet d'affirmer de manière forte la réalité de l'état de confort ou d'inconfort. Cependant en l'absence d'un modèle précis de confort reconnu en extérieur, ces options nous aident à mieux définir les effets du microclimat sur un individu, le modèle restant quant à lui perfectible avec l'accumulation des connaissances et le développement des outils de calcul. Nous ne prétendons pas apporter un critère absolu de quantification du confort, cela nécessiterait bien évidemment un travail de validation qui n'est pas envisagé dans le cadre de cette thèse. Néanmoins, par une comparaison des résultats et par une analyse différentielle des situations, une telle démarche devrait permettre d'apporter des informations pertinentes dans la problématique du confort en milieu extérieur urbain. Enfin, il est important de rappeler que les appréciations personnelles d'une

situation thermique peuvent être très diversement affectées, c'est pourquoi s'il est utile d'établir des indices prédictifs de perception thermique et d'évaluation du confort, il est nécessaire d'extrapoler avec prudence à des situations réelles.

3.6 Références bibliographiques

ALVAREZ D. S., CEJUDO L. J.M., GUERRA M. J.J. et al. (1992). Control climatico en espacios abiertos, El Proyecto Expo'92. Sevilla: Ciemat, pp.4-49.

ASHRAE (1993b). Physiological principles and thermal comfort. ASHRAE handbook of fundamental. Atlanta : ASHRAE, 8.1-8.29.

BERGER, X. (1993) Vêtement et micro-climat : gestion dynamique et modèles d'interfaces. In: Journées d'études S.F.T. Paris : SFT, 12 mai.

BERGER, X. (1998). Human thermal comfort at Nîmes in Summer heat. In proceedings of EPIC'98, 2nd european conférence on energy performance and indoor climate in buildings and 3^d international conférence on indoor air quality, ventilation and energy conservation in-buildings, 19-21 November. Lyon : ENTPE, pp. 201-206.

BOTTEMA, M. (2000). A method for optimisation of wind discomfort criteria. Building and Environment 35, Elsevier Science, pp. 1-18.

BRINDEL-BETH, S. et TRICAUD, P. (1998). Isolation thermique et acoustique en résidentiel. Paris : CFE, 328 p.

CANDAS, V., HERMANN, C. et HOEFT, A. (1991). Le vêtement : écran thermique et outil climatique nécessaire au confort thermique. Revue générale de thermique n° 356, p. 359.

CHEMILLIER, P., Sciences et Bâtiment, la démarche scientifique appliquée à la construction. Paris : Presses de l'ENPC, CSTB, 447 p.

DEPECKER, P et al. (1989). Qualité thermique des ambiances. Paris, AFME, 67 p. Collection cahiers pédagogiques Thermique et Architecture.

FANGER, P. O. (1970). Thermal Comfort. New York : Mc Graw Hill.

GALEOU, M., GRIVEL, F. et CANDAS, V. (1989). Le confort thermique aspects physiologiques et psychosensoriels. Etude bibliographique. Strasbourg: CNRS, 113 p.

GAGGE, A. P., FOBELETS, A. P. and BERGLUNG, L. G. (1986). A standard predictive index of human response to the thermal environment. Transaction ASHRAE n° PO-86-14, vol. 92-2B, p. 405.

GANDEMER, J. et GUYOT, A. (1976). Intégration du phénomène vent dans la conception du milieu bâti, Guide méthodologique et conseils pratiques. Paris : Ministère de l'Equipement, 130p.

GANDEMER, J et GUYOT, A. (1981). La protection contre le vent. Paris CSTB, 132 p.

GIVONI, B. (1976). *Man Climate and Architecture*. London : Applied Science Publishers, second edition.

GIVONI, B. (1978). *L'homme, l'architecture et le climat*. Paris : édition du Moniteur, 460 p. Traduction de J. L. IZARD.

HOFMANN, J. B. (1994). *Ambiances climatisées et confort thermique*. Les actes du COSTIC, 120 p.

HOPPE, P. (1984). *Die Energiebilanz des Menschen*, Wiss. Mitt. Meteor. Inst. Univ. München, Nr. 49.

HOPPE, P. (1999). *An universal index for the assessment of the thermal environment - the Physiological Equivalent Temperature PET*. In *Proceedings of the 15th International Congress of Biometeorology & International Conference on Urban Climatology*, November 8-12. Sydney, Australia : Macquarie University, 6 p. [CD-ROM].

HOUGHTEN, F. C. and YAGLOU C. P. (1923). *Determining lines of equal comfort*. In *AHSVE Transaction*, Vol 29, p 163.

HUMPHREYS, M.A and NICOL J. F. (1998), *Understanding the adaptative approach to thermal comfort*. To be published in *ASHRAE Transactions*.

LEMAIRE, R. (1966). *Contribution à l'étude du rôle de l'eau dans les échanges thermiques de thermolyse - mécanisme de l'adaptation à la chaleur*. Bordeaux, 146 p.

MATZARAKIS, A. and MAYER, H. (1998). *Investigations of Urban Climate's thermal Component in Freiburg, Germany*. In : *Proceedings of the Second Urban Environment Symposium and 13th Conférence on Biometeorology and Aerobiology*, November, 2 - 6. Albuquerque, New Mexico : American Meteorology Society, pp 140 - 143.

MAYER, E. (1985). *Untersuchungen von Zeigerscheinungen mit Hilfe physikatischer Messmethoden*. *Gesundh.*, n°2, pp. 65-112

MAYER, H. and MATZARAKIS, A (1997). *The urban heat island seen from the angle of human-biometeorology*. In : *Proceedings of International symposium on monitoring and management of urban heat island*. Fujisawa pp. 84-95.

MC INTYRE, D. A. (1980). *Indoor Climate*. Londres : Applied Science Publishers.

MISSENARD, A. (1972). *Neutralité thermique physiologique*. *Thermique et Aéraulique* n°8.

MOREAU, S. (1999). Caractérisation et développements aérodynamiques de l'espace intermédiaire en climat tropical humide : Conception d'une architecture de confort adaptée à la contrainte cyclonique. Thèse de doctorat de l'Université de Nantes, Sciences pour l'ingénieur option architecture, 294 p.

NISHI, Y. and GAGGE, A. P. (1970). Moisture perméation of clothing - a factor governing thermal equilibrium and confort. Trans. ASHRAE n° 2135, vol 80/1, p 120.

PENICAUD, H. (1978). Microclimats urbains étudiés sous l'angle du confort à l'extérieur des bâtiments. Paris : Plan construction, RAUC.

PENWARDEN, A. D. (1974). Acceptable wind speed in towns. Building Research Establishment, Current Paper, 8 p.

PICKUP, J and de DEAR, R. 1999. An outdoor thermal comfort index (OUTSET*). In : Proceedings of the 15th International Congress of Biometeorology & International Conférence on Urban Climatology, November 8-12. Sydney, Australia : Macquarie University, 6 p. [CD-ROM].

PIGNOLET - TARDAN, F. (1996). Milieu thermique et conception urbaine en climat tropical humide, modélisation thermo-aéraulique globale. Thèse de l'INSA de Lyon, 246 p (+Annexes).

SACRE C. (1983). Le confort dans les espaces extérieurs : analyse microclimatique. Nantes : CSTB, 138 p.

SACRE, C. et GANDEMER, J. (1994). Caractérisation microclimatique des espaces extérieurs, du point de vue du vent et de la température. In Les saisons dans la ville. Paris : Les Annales de la Recherche Urbaine, n°61.

SANGKERTADI (1994). Contribution à l'étude du comportement thermoaéraulique des bâtiments en climat tropical humide. Prise en compte de la ventilation naturelle dans l'évaluation du confort. Thèse de l'INSA de Lyon, 27.5 p.

SERRES, L. (1997). Etude de l'impact d'une perturbation thermique locale de type tache solaire. Influence sur le confort thermique. Thèse de L'INSA de Toulouse, 148 p.

SPRAGUE, C. H. and MUNSON, D. M. (1974). A composite ensemble method for estimating thermal insulating values of clothing. Trans. ASHRAE, n° 2299, vol 80/1, p 120.

STOLWIJK, J and HARDY, J. D. (1966). Partitional calorimetric studies of responses of man to thermal transients. Journal of Applied Physiclogy, Vol 21, p. 967.

TELLER J. (1998), "Design tools for outdoor comfort assessment", In Proceedings of EPIC'98, 2nd European conférence on energy performance and indoor climate in buildings and 3rd Intenational conférence on indoor air quality, ventilation and energy conservation in buildings, 19-21 November. Lyon : ENTPE 8p.

VINET, J. et GROLEAU, D. (2000c), La modélisation des transferts radiatifs dans le logiciel Solene. Applications au microclimat urbain et au confort thermique en espace ouvert. In : 2^e Conférence IBPSA France 2000, Sophia Antipolis - 26 et 27 octobre 2000, 7 p. (à paraître).

WINSLOW, C.-E. A, HERRINGTON, L. P. and GAGGE, A. P. (1937). Relation between atmospheric conditions, physiological reactions and sensations of pleasantness. Am. J. Hygiene 26, pp. 103-115.

CHAPITRE 4

L'eau et la végétation en milieu urbain

Chapitre 4: L'eau et la végétation en milieu urbain

- 4.1. Introduction.
- 4.2. L'eau et la végétation en tant qu'éléments urbains.
 - 4.2.1. L'eau et la ville.
 - 4.2.1.1. L'eau évitée.
 - 4.2.1.2 L'eau désirée
 - 4.2.1.3 L'eau, élément indissociable de la végétation
 - 4.2.2 La végétation et la ville
 - 4.2.2.1 Dimensions symboliques et esthétiques
 - 4.2.2.2 Qualités associées à la végétation
 - 4.2.2.3 Dimensions structurelles et composition urbaine
 - 4.2.2.4 L'utilisation des arbres dans le projet
- 4.3 L'eau et la végétation en tant qu'éléments de régulation du microclimat.
 - 4.3.1 L'eau comme solution microclimatique
 - 4.3.1.1 Impact d'une grande étendue d'eau
 - 4.3.1.2 Transferts de chaleur et diffusion dans le cas d'un bassin
 - 4.3.1.3 Modélisation d'un bassin
 - 4.3.1.4 Impact des sources ponctuelles d'eau
 - 4.3.2 La végétation comme solution microclimatique
 - 4.3.2.1 Modification des échanges radiatifs en présence de végétation
 - 4.3.2.2 Température de surface des végétaux
 - 4.3.2.3 Impact de la végétation sur les températures d'air et de surface
 - 4.3.2.3.1 Les parcs
 - 4.3.2.3.2 Les rues, les squares
 - 4.3.2.4 Impact de la végétation sur les économies d'énergie
 - 4.3.2.5 Les effets de la végétation sur les écoulements aérauliques
 - 4.3.2.5.1 Porosité aéraulique
 - 4.3.2.5.2 Pertes de charge
 - 4.3.2.6 Evapotranspiration : définitions et applications
 - 4.3.2.6.1 Bilan d'énergie et évaporation
 - 4.3.2.6.2 Formule de Penman
 - 4.3.2.6.3 Estimation de l'évapotranspiration à partir d'autres formules
 - 4.3.2.6.4 Mesures de l'évapotranspiration
 - 4.3.2.7 Simulation de l'impact des arbres en microclimatologie urbaine
- 4.4 Conclusion
- 4.5 Références bibliographiques

4.1. Introduction.

Le thème des relations entre l'eau, la végétation et la ville est un sujet vaste et qui ne peut qu'être partiellement abordé dans le cadre de ce travail. Les dispositifs liés à l'eau et les aménagements végétaux sont largement présents en ville et ce sous de multiples formes. Les qualités et les dimensions symboliques associées aux arbres sont nombreuses et sont généralement soulignées par leur utilisation dans les projets urbains.

Notre manière d'aborder le thème des interactions eau-végétation-ville envisage certes de rappeler ces différents points, mais vise avant tout à démontrer la capacité d'action régulatrice de ces deux éléments naturels du paysage urbain sur le microclimat.

En se basant sur une analyse bibliographique des différents travaux menés dans ces différents camps d'investigation nous cherchons à faire ressortir les éléments utiles à la connaissance des différents phénomènes physiques mis en jeu, mais surtout nous essayons d'en extraire les informations nécessaires au développement des conditions de confort en espace de communication extérieur.

4.2. L'eau et la végétation en tant qu'éléments urbains.

4.2.1. L'eau et la ville.

Dans les rapports entre l'architecture, l'urbanisme et l'eau, il est aisé de démontrer l'influence évidente de cet élément naturel dans notre environnement. Les stratégies des aménageurs pour la transporter ou la mettre en valeur dans la ville sont diverses. Le rôle de l'eau en ville est complexe. En effet, la nécessité vitale et hygiénique que représentent les sources d'eau n'est appréciée que si le contrôle est total ce qui mène soit à une minéralisation de l'espace soit à une amplification des dimensions symboliques et à des aménagements spécifiques.

4.2.1.1. L'eau évitée.

Dès les premiers traités d'urbanisme et notamment dans les ouvrages de Vitruve, la recherche d'un lieu sain est une constante. Les caractéristiques en termes d'humidité d'un site

doivent déterminer la qualité hygiénique de cet emplacement et les critères de sélection pour l'implantation des villes sont les suivantes :

« En ce qui concerne les enceintes, voici les principes. D'abord le choix d'un lieu très sain. Celui-ci sera élevé, exempt de brumes et de gelées, exposé à une orientation ni chaude ni froide, mais tempérée, ensuite on évitera un voisinage marécageux. En effet lorsque les brises matinales parviendront à la ville avec le soleil levant, que les brumes prendront naissance et se joindront à elles et que leur souffle répandra dans le corps des habitants les exhalaisons empoisonnées des bêtes des marais mêlées à la brume, elles rendront l'endroit malsain (...). Le refroidissement de l'humidité dans les vents et les brises produit également des dommages dans l'organisme. » [Vitruve (Fleury) 1990]

De la fin du 3^e siècle au début du 5^e siècle le monde romain est en crise. Les villes s'entourent d'une épaisse muraille et d'un large fossé, « première inscription du réseau hydrographique sur le sol ». Les réseaux intra-muros s'appuient sur la consolidation des cours d'eau existants, sur le drainage des marais ou sur l'utilisation du réseau « viaire romain déchaussé » alimenté par une dérivation de la rivière ». Les premiers égouts correspondent plus à une portion de cours d'eau [Guillerme 1983]. Le principe de drainage est un pas important dans l'assainissement des villes. Les fosses d'aisances, les chaussées, les égouts deviennent étanches. Pour veiller à la salubrité publique, les municipalités pavent ou bétonnent [Guillerme 1994]. L'eau quitte ainsi la ville. Les cours d'eau privés de leur rôle de voie de transport sont abandonnés puis comblés, recouverts de bitume et transformés en boulevard ou en parking. Cette mutation des zones humides en zones minérales perturbe les bilans hydrologiques des villes car l'assainissement, la canalisation des ruissellements et l'imperméabilisation des surfaces urbaines ne permettent plus le transfert de chaleur accumulée en perte par chaleur latente comme nous l'avons précédemment expliqué.

4.2.1.2 L'eau désirée

Nous venons de le voir, l'eau non contrôlée est exclue de nos villes. L'eau domestiquée, quant à elle est largement présente. En effet, elle est canalisée dans la ville par de nombreux dispositifs traités selon les circonstances de manière fonctionnelle, fantaisiste ou

monumentale. De nombreux points d'eau tendent à disparaître (puits, lavoirs, pontons, moulins, etc.) alors que d'autres résistent ou réapparaissent (bassins ou fontaines).

Les moyens mis en oeuvre pour transporter ou mettre en valeur l'eau ont considérablement évolué. Il est assez délicat de situer avec précision l'apparition des bassins dans la ville. Afin d'obtenir de l'eau, on s'est contenté le plus souvent de puits, de citernes ou de sources. Les premiers travaux de transport de l'eau de la source vers l'intérieur de l'enceinte paraissent remonter à 1900-1800 av. J.C, à Gezer en Palestine [Lavedan et al. 1966]. Le transport de l'eau étant résolu plus ou moins facilement suivant les différents moyens d'acheminement, qui s'opéraient uniquement grâce à l'effet de la pesanteur, le stockage et la mise en valeur de cette eau se sont diversifiés par la suite. Des innovations technologiques ont vu le jour, comme la possibilité d'ajouter de la pression à l'eau, le développement des aqueducs, l'utilisation de fontaines pour embellir les squares, et la mise au point d'une quantité de dispositifs ludiques comme les orgues d'eau. L'utilisation de l'eau s'est développée dans les villes et les établissements privés romains [Grimal 1990]. La mise au point au 16^e siècle, de systèmes hydrauliques permet d'acheminer des quantités considérables nécessaires aux jeux et aux paysages d'eau dans les grands jardins de la Renaissance. Au 18^e siècle, les paysagistes anglais qui comprennent que la nature, elle-même, produit une esthétique, anticipe l'intérêt écologique présent aujourd'hui. Construire des lacs et des bassins pour réintroduire l'eau en tant qu'élément essentiel était une des composantes de cette approche environnementale. Ainsi se sont développés les parcs urbains pour amener la nature dans la ville [Larue 1996]. Enfin, nous pouvons rappeler que la dimension ludique associée à l'eau est un point qui est utilisé de nos jours dans certains aménagements urbains.

Au Moyen-âge les fontaines urbaines sont utilitaires, à l'époque classique s'ajoute la notion d'esthétique. Aujourd'hui, elles conservent cette dernière qualité. Même si elles se perdent un peu dans le flot de circulation permanent et bruyant, elles conservent la force de leur symbole, la fraîcheur en tout premier lieu [Equipe ARTOPOS 1997].

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. Ces dispositifs ont largement été

employés durant l'Exposition Universelle de Séville en 1992 (Figure 1 [Alvarez *et al.* 1992] et pendant l'exposition mondiale de Lisbonne de 1998 (Figure 2)



Figure 4-1 : Bassin avec jets à Séville



Figure 4-2 : Cascade et brumisateur à Lisbonne

[Alvarez *et al.* 1992]

Ainsi, l'eau dans la ville est distribuée à la fois pour des besoins quotidiens mais également pour générer une atmosphère propre aux loisirs. L'aménagement d'un site peut passer alors par la mise en valeur de l'eau en l'associant à la compréhension de l'environnement architectural.

4.2.1.3 L'eau, élément indissociable de la végétation

Avant d'aborder 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 tranquillisant* » [Vian *et al.* 1983]. 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 (Figure 3) est conséquent sur les ambiances perçues.



Figure 4-3 : L'Alhambra de Grenade

L'omniprésence de l'eau fait la célébrité de certaines villes comme celle d'Aix-en-Provence (station thermale depuis l'époque romaine, présence d'une fontaine d'eau chaude, alimentation de la ville par des aqueducs). Une étude réalisée sur cette ville [Equipe ARTOPOS 1997], souligne que dans les lieux particulièrement fréquentés par la population, le facteur principal d'attraction est la présence de végétal, l'eau jouant un rôle plus secondaire dans le choix de ces espaces. L'eau agit comme « *un élément d'agrément visuel, auditif, comme symbole de fraîcheur, qui accentue l'impression de détente apportée par les arbres* ».

4.2.2 La végétation et la ville

Parmi les points qui intéressent notre étude on peut souligner, tout d'abord, les dimensions symboliques et esthétiques. Puis, d'une manière assez générale, nous présentons les, autres qualités de la végétation en contexte urbain. Ensuite, nous analysons les principes et les fonctions mis en œuvre en termes de composition de l'espace urbain. Des dispositifs urbanistiques font largement appel à la végétation comme nous le soulignons.

4.2.2.1 Dimensions symboliques et esthétiques

L'arbre a toujours été d'une grande richesse symbolique à travers les âges et les civilisations. C'est en effet, le symbole du cycle des saisons et donc de la vie, il évoque des concepts comme la liberté et la justice (Saint Louis rendait la justice sous un chêne) [Larue 1996]. L'arbre est donc un élément de référence et un symbole historique.

Les variations de couleurs, de formes, de textures et de densités sont autant d'éléments qui enrichissent le cadre de vie urbain et renvoient aux notions de paysage et de nature (Figure4)

La palette de couleurs apportée aussi bien par les différentes essences d'arbres que par les nombreuses variétés de fleurs, égaye le quotidien et s'oppose ainsi aux surfaces grises et ternes des parois minérales ou métalliques.



Figure 4-4 : Un arbre à différentes saisons.

La diversité des formes permet de sculpter l'espace urbain. Nous allons insister sur ce point dans le paragraphe sur le rôle des arbres dans le projet urbain. La densité de la masse foliaire intéresse plutôt la notion de transparence vis-à-vis de la lumière.

Ainsi, une masse végétale joue un rôle psychologique ou esthétique en cachant les éléments désagréables, en mettant en valeur la lumière, en créant des jeux d'ombre et en assurant des transitions entre différentes zones. Les qualités esthétiques des végétaux dépassent alors 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.

4.2.2.2 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 [Robinette 1972] mais reste sujet de controverse [De Sablet 1988]. 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.

Le sens tactile n'est certes pas très développé dans nos sociétés, cependant cette dimension peut être mise en œuvre par le jeu sur les textures des différents végétaux et est donc un point que l'on se doit de signaler.

En terme 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.

Cependant, la capacité d'adaptabilité des espèces végétales est à prendre en compte car les nuisances précédemment citées sont autant de problèmes pour les différentes essences. En effet, les arbres doivent présenter des caractéristiques essentielles à leur survie (faculté à tolérer plusieurs stress, à résister aux maladies du sol et de l'air, à la pollution, à l'ombre des bâtiments, etc.). Il est important également de choisir des espèces dont le bois n'est pas cassant et dont les racines ne peuvent pas détériorer les trottoirs et les canalisations.

Bien évidemment nous ne pouvons pas nous attarder sur chacun de ces points, tant la largeur du champ d'investigation nous éloignerait de notre recherche sur l'impact énergétique et nécessiterait un investissement dans de nombreux domaines. Cependant des éléments de réponse sont avancés dans des ouvrages généraux [Robinette 1972, Izard 1979, Muret 1987, Givoni 1991, Maillet *et al.* 1993] mais doivent être étudiés de manière précise et renvoient donc à la littérature scientifique spécialisée.

4.2.2.3 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 [Stefulesco 1993]. 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 5 [Larue 1996]) :



Port conique, pyramidal
thuya géant



Port boule, sphérique
érable boule
robinier boule



Port colonnaire
épicéa
catalpa

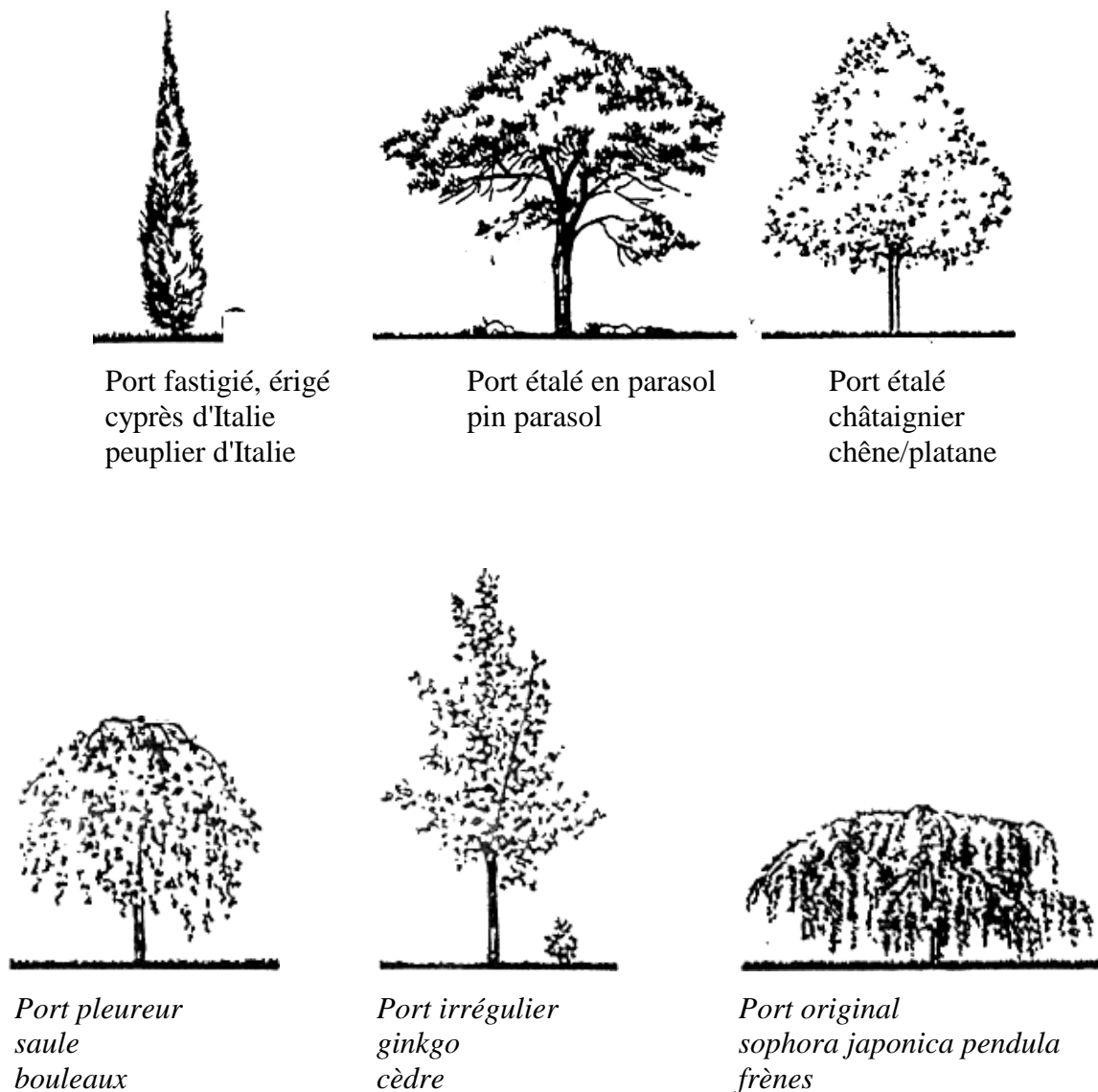


Figure 4-5 : Ports d'arbre en ville [Larue 1996]

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) neuf arbres parmi les plus communs en indiquant les hauteurs maximales du tronc et l'arbre en entier à taille adulte (Figure 6). Les dessins indiquent de plus l'image de l'arbre en été et en hiver [Coombes 1993]. 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.

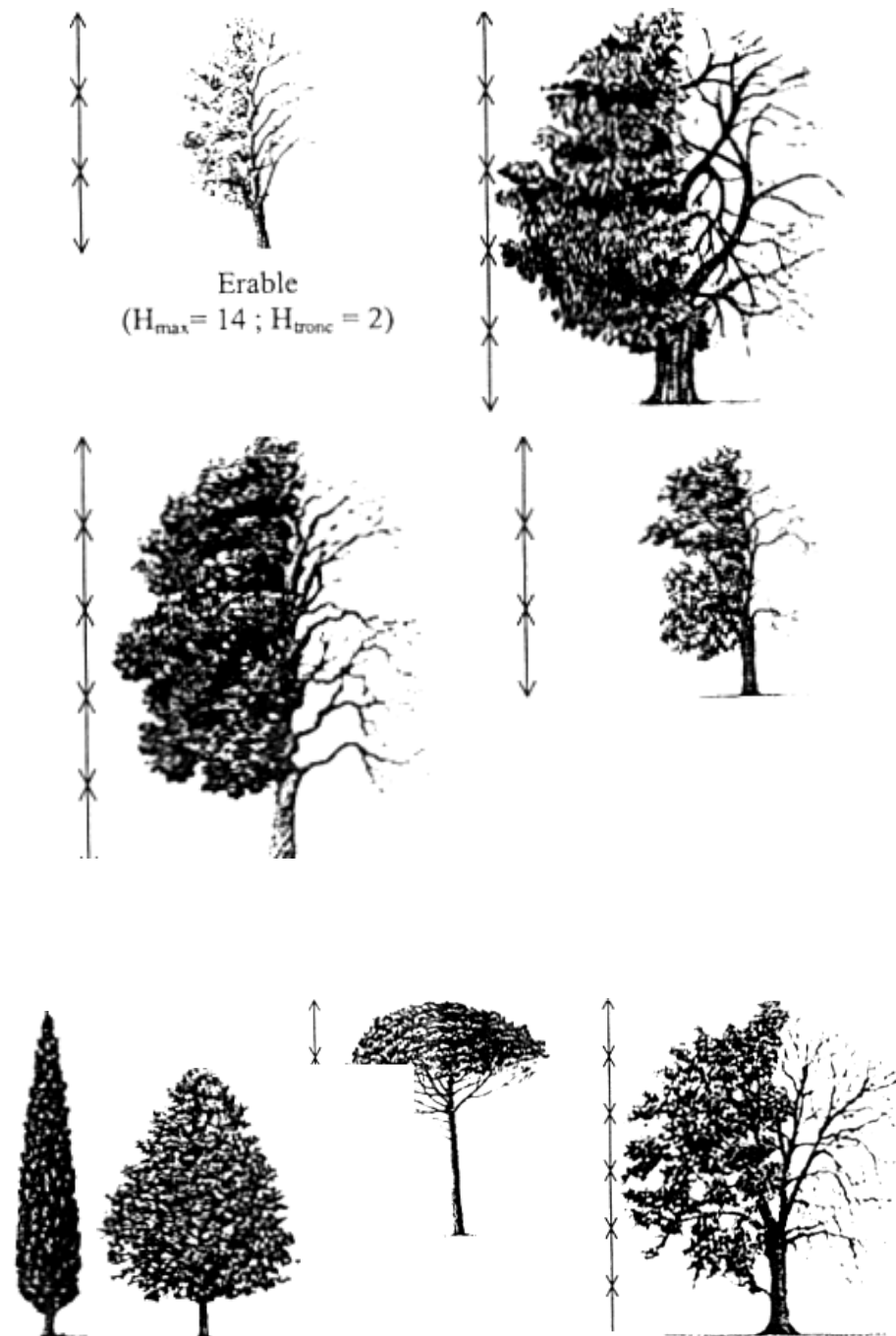


Figure 4.6 : Dimension de neuf arbres communs.

Le groupement et la composition des arbres entre eux ont parfois pour fonction de créer des effets spatiaux (Figure 7 et Figure 8). 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 [De Sablet 1988, Stefulesco 1993].

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 valeur les symboles ou des éléments du décor, elle sert d'articulation, d'indicateur et elle peut moduler l'échelle de perception [Robinette 1972].



Figure 4.7 : Modification de l'espace grâce à l'espacement entre les arbres [Larue 1996]

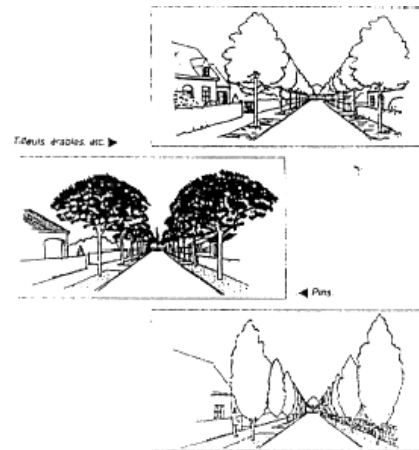


Figure 4.8 : Modification de l'espace grâce à la forme des arbres [Larue 1996]

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 écran ... 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. » [Stefulesco 1993]

Les fonctions et les exemples d'utilisation pourraient donner lieu à des discussions plus approfondies et mériteraient certainement plus d'attention mais nous allons maintenant nous pencher sur le rôle concret des arbres dans une démarche de projet urbain.

4.2.2.4 L'utilisation des arbres dans le projet

« Et si c'était le végétal qui ordonnait l'urbanisation ? Et si c'était le jardin qui générait la ville, qui lui permettait de fonctionner ? ... Planter un arbre est un geste aux conséquences importantes... Dans la ville, les dispositions végétales résultent non pas du hasard, mais d'une véritable culture urbaine... Le végétal est une composante de l'art urbain ou, si l'on préfère, de l'urbanisme entendu dans son sens initial. » [Stefulesco 1993]

L'agencement des arbres donne lieu à de multiples possibilités, de l'arbre isolé au centre d'une place, à l'allée plantée en alignement le long des boulevards. Les spécificités induites par l'arbre unique font appel à des notions précédemment présentées comme celle de monument, de voûte et de repère. En général, il domine un lieu par ses dimensions exceptionnelles et délimite un espace privilégié [Stefulesco 1993]. Avant le développement au cours du 19^e siècle des premières promenades plantées (mails et cours fermées), les arbres sont rares dans les villes aux rues très étroites. Le développement important des arbres date du milieu du 19^e siècle. Haussmann double le nombre d'arbres d'alignement sous son administration [Malverti *et al.* 1994]. L'arbre devient un élément permettant de structurer les nouvelles voies de plus de 20 m, jusque-là très rares dans la ville. C'est un élément d'embellissement qui permet de hiérarchiser les différentes voies de la ville. Les arbres d'alignement doivent posséder certaines qualités d'ordre esthétique bien évidemment, mais c'est surtout à travers la notion d'homogénéité que l'on doit considérer ce type de plantation.

La majorité des gens attachent de l'importance aux alignements composés d'individus de grande taille. La qualification de marqueur d'espace est fréquemment utilisée pour des arbres situés sur les places ou au niveau des entrées des villes, moins souvent pour les plantations de voirie, qui sont néanmoins considérées comme des éléments structurants de la ville et permettant de se repérer. Les alignements sont d'autant plus appréciés et remarqués qu'ils participent à la qualité sociale d'un espace de vie (mail ombragé, aire de jeux, place du marché...) et qu'ils se situent près du lieu d'habitation de la personne [Haddad 1997].

Pour l'urbaniste, l'architecte ou le paysagiste, le choix du type de végétal et sa disposition 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 [Stefulesco 1993] en synthétisant les principaux éléments (Tableau 1)

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 dépaysement et de tranquillité
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
Ceintures vertes	Promenades associées aux enceintes	Lignes d'arbres
Boulevards	Voies de circulation qui entourent partiellement la ville, le quartier	Plantation sur les trottoirs et les terre-pleins
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
Avenues	Rues conduisant à une ville ou à un lieu prestigieux	Plantation de 25 à 30 m de hauteur, symétrie longitudinale
Quais, rives,	Espaces a proximité de l'eau (rivière, fleuve, lac, océan)	Plantation d'alignement Arbres isolés ou bosquet
Esplanades	Compositions monumentales liées à un paysage exceptionnel	La végétation a un rôle d'accompagnement en cadran la vue
Jardins	Classiques	Plantation régulière, symétrique
	Pittoresques	Rappel de la nature et de la campagne
Espaces verts	Formes d'occupations du soi 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 4.1 : Relations urbanisme – végétation (d'après [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. De plus, le maire est responsable de la présence ou non d'arbres sur le territoire public de sa commune, il peut aussi protéger certains arbres du domaine privé. Il contrôle le budget attribué aux espaces verts et arbitre toute décision. Enfin, parmi les acteurs des projets urbains on peut distinguer deux catégories : l'une relativement favorable aux arbres (paysagistes, service environnement et urbanisme), l'autre dont les intérêts sont plus proches des concessionnaires (service voirie, propreté, architecture, éclairage public, assainissement) [Haddad 1997].

D'un point de vue plus architectural, la liste des différents aménagements envisageables nécessiterait un ouvrage entier, mais nous pouvons néanmoins souligner certains points qui nous intéressent de par leurs conséquences sur les ambiances. En reprenant une classification [Guyot 1988], dans laquelle les variétés d'arbres correspondantes sont mentionnées, on peut noter à nouveau l'intérêt des plantations en alignement (avec possibilité de captation du soleil d'hiver et de protection du soleil d'été). Les plantes tapissantes ont l'avantage de permettre une rétention des terres lors d'inondations. Une exposition ouest - nord assure un effet brise-vent alors qu'une exposition sud apporte une protection solaire d'été. Une isolation thermique en hiver et en été est favorisée par une plantation sur les façades ouest à nord. Le captage solaire d'hiver et la protection solaire d'été peuvent être ajustés par des plantations devant des espaces vitrés. Enfin, les terrasses et pergolas, par la mise en place de plantes grimpantes, assurent le captage solaire d'hiver et la protection solaire d'été.

4.3 L'eau et la végétation en tant qu'éléments de régulation du microclimat.

4.3.1 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, [Berger 1998]. Plus récemment, on arrosait les principales rues de Paris et boulevards deux fois par jour en temps caniculaire, à raison de 2 l/m^2 , 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* » [Guillerme 1994].

4.3.1.1 Impact d'une grande étendue d'eau

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 [Fernandes *et al.* 1998].

4.3.1.2 Transferts de chaleur et diffusion dans le cas d'un bassin

Revenons maintenant au cas du bassin. 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 5.9).

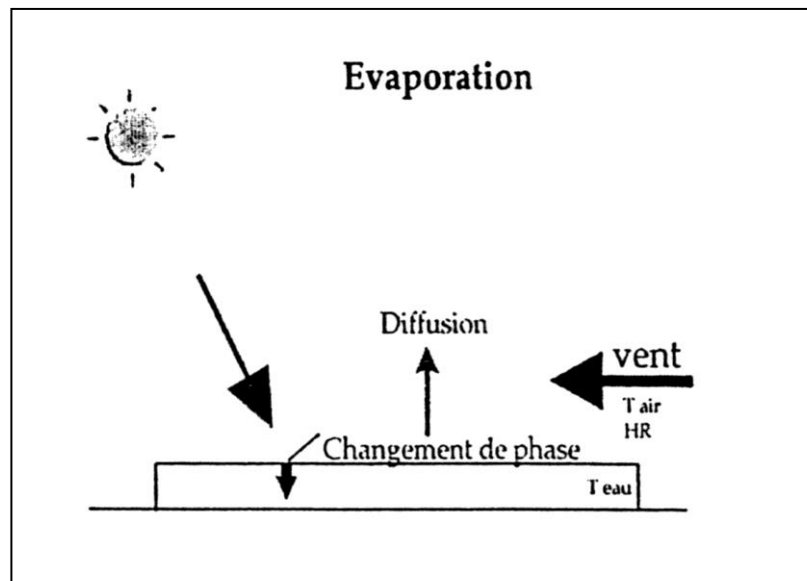


Figure 4.9 : Transferts thermiques d'un bassin

Les apports énergétiques solaires, qui, en été, peuvent atteindre des valeurs élevées et qui arrivent sur la surface de l'eau sont faiblement réfléchis puisque le coefficient de réflexion n'est que de 3 % pour les heures de rayonnement solaire maximal [Alvarez *et al.* 1989]. La fraction importante d'énergie qui va être absorbée pourrait entraîner une augmentation de la température de l'eau mais nous allons essayer d'expliquer pourquoi il n'en est rien. 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 m². 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 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. Ce mouvement est décrit par la loi de Fick, dans laquelle intervient le coefficient de diffusion moléculaire qui peut être évalué par la relation de Schirmer. Ainsi, à 35°C et à la pression atmosphérique il est égal à $2,81 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ [Sacadura 1982].

Le fait que la surface de notre bassin soit à une température plus faible que celle d'un sol exposé au même rayonnement solaire nous intéresse 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.

4.3.1.3 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 [Guerra et al. 1996]. 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 :

$$\frac{\rho c_p V}{S} \frac{dT}{dt} = \varphi_{sol} - \varphi_{GLO} - \varphi_{evap} - \varphi_{conv} - \varphi_{spay} - \varphi_{apport} - \varphi_{cond}$$

L'absorption du rayonnement solaire Φ_{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.

Le flux de chaleur par rayonnement infrarouge Φ_{GLO} entre le bassin et le ciel à une température T_{ciel} , par unité de surface du bassin s'écrit

$$\varphi_{GLO} = \sigma \cdot \varepsilon_w \cdot (T^4 - T_{ciel}^4)$$

Le coefficient d'émission du bassin ε_s a été fixé à 0.95. Les températures sont ici exprimées en degré Kelvin et en degré Celsius dans la suite. Dans ce cas, le ciel est considéré comme un corps noir et le bassin ne voit pas d'autre surface.

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

$$\varphi_{conv} = h_c (T - T_a)$$

Le refroidissement dû à l'évaporation de l'eau est proportionnel à la masse évaporée. Le flux de masse d'eau évaporée est calculé avec le coefficient de transfert de masse K_m estimé à partir d'une corrélation empirique et la différence de pression de vapeur entre l'interface p_{vi} et l'air p_{va} :

$$m_e' = \frac{K_m}{RT_a} (p_{vi} - p_{va})$$

L'air est saturé à l'interface, la pression P_{vi} est à la pression de saturation alors que la pression partielle de l'air P_{va} peut être reliée à l'humidité relative (HR) :

$$m_e' = \frac{K_m}{RT_a} (p_{vs}(T) - HR \cdot p_{vs}(T_a))$$

La quantité de chaleur perdue par évaporation s'écrit alors en fonction de la chaleur latente de vaporisation (L) :

$$\varphi_{evap} = L \cdot m_e'$$

Un modèle de goutte isolée dans un "écoulement d'air" a été développé de manière à obtenir la perte de chaleur due aux performances du spray. [Guerra *et al.* 1996].

Les apports de chaleur dans le bassin par addition d'eau sont calculés par pour un flux de masse d'eau (m') et une température d'eau qui entre dans le système (T_{apport}) par :

$$\varphi_{apport} = m' c_p T_{apport}$$

Cette modélisation d'un bassin a été implémentée dans le logiciel « Canyon » correspondant à la recherche menée dans le cadre du projet Greencode (programme ALTENER - DG XVII). Des exemples de résultats sont présentés par une équipe de l'Université de Séville [Alvarez *et al.* 2000].

4.3.1.4 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 [Groupe ABC 1997].

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, des climatiseurs, des tours de refroidissement (Figure 10 et Figure 11). 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, évaporatifs et diffusifs, la régulation du confort de certains espaces est devenue possible.

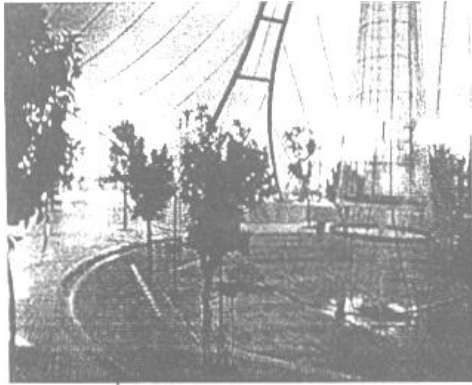


Figure 4.10 : Brumisation dans la végétation

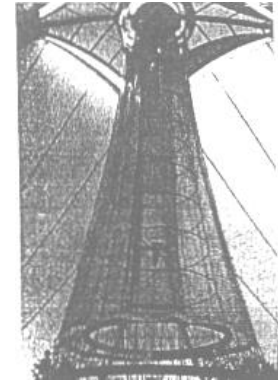


Figure 4.11 : Tour de refroidissement

[Alvarez *et al.* 1992]

4.3.2 La végétation comme solution microclimatique

Ce thème qui est un des axes importants de ce travail et qui a nécessité un investissement important est largement détaillé ici. En effet, nous allons présenter les phénomènes physiques et intégrer des résultats des recherches menées soit par des séries de mesures, soit réalisées en soufflerie, soit basées sur des simulations numériques. Les éléments pertinents, ainsi soulignés permettent d'argumenter certaines des hypothèses que nous retenons pour les simulations envisagées.

Les avantages relatifs à l'impact de la végétation s'illustrent particulièrement par des choix d'aménagement, bien souvent imposés par un sage pragmatisme et transmis par des connaissances ancestrales, qui ont malheureusement tendance à être négligées au profit d'une systématisation de la climatisation. Dans les différents rapports édités sur l'exposition universelle de Séville [Guerra *et al.* 1994], une réflexion sur la possibilité d'agir de manière naturelle ou passive sur les caractéristiques climatiques ou microclimatiques d'une région est présentée. Les auteurs partent du constat que les conditions climatologiques d'une localité ont des conséquences sur la forme de vie de ses habitants. La conception des espaces publics est supposée améliorer les conditions défavorables et faciliter l'adaptation de l'homme au milieu

ambient extérieur. L'usage des espaces ouverts comme zones habitables est un des traits culturels des villages méditerranéens. Les rues de ces villages, les places et les édifices historiques les plus représentatifs intègrent des techniques qui amortissent la rigueur des mois d'été. Bâches, pergolas, végétation, fontaines et étangs sont autant de ressources que l'on peut observer fréquemment dans les zones traitées et qui améliorent l'habitabilité de ces espaces.

Ces idées sont partagées par de nombreux auteurs [Robinette 1972, Givoni 1991, Izard *et al.* 1979]. Ce dernier souligne une similitude entre la fonction végétale et la fonction plan d'eau. Selon lui, la place plantée avec sa fontaine correspond à un modèle d'espace extérieur urbain présentant des aptitudes microclimatiques favorables au confort dans les régions méditerranéennes : l'ambiance climatique répond aux exigences saisonnières de l'espace extérieur, qui est ensoleillé l'hiver et à l'ombre l'été. La voûte formée par le feuillage protège des apports solaires et des éblouissements, par ailleurs elle maintient la fraîcheur dégagée par la présence d'eau. Des études ont permis de souligner la potentialité des villes d'Europe du sud vis à vis de la climatisation passive [Belarbi *et al.* 1998]. Les indicateurs présentés dans ces travaux peuvent nous être utiles dans le choix des régions à traiter. Les recherches sur l'impact microclimatique de la végétation ne se cantonnent pas simplement au bassin méditerranéen, des études importantes ont été réalisées dans de nombreuses régions de la planète [Akbari *et al.* 1992, Meerow *et al.* 1993, Kanda *et al.* 1997].

Avant d'aller plus loin nous nous devons d'insister sur le fait que beaucoup des travaux qui se rapprochent de notre problématique envisagent les effets de la végétation en milieu urbain à une échelle mésoclimatique. On considère alors la ville comme un patchwork de zones hétérogènes dans lesquelles on retrouve les industries, les commerces, les résidences et la végétation répartie de manière aléatoire [Avisar 1996] : En modifiant les paramètres de couverture végétale et en modélisant les échanges induits, des simulations nous indiquent de quelles manières les conditions climatiques des villes peuvent être améliorées. Ce genre d'étude nous renseigne sur les différentes causes des « îlots de chaleur urbain ». En affectant un certain nombre d'arbres par habitation et grâce à la résolution d'équations et de corrélations définies pour des modèles numériques on peut faire des estimations d'économies d'énergie [Huang *et al.* 1987]. L'action directe due à l'ombre des arbres se traduit par une diminution de la température des surfaces, un effet indirect de refroidissement régional peut alors apparaître

en augmentant la couverture végétale comme cela a pu être modélisé par ailleurs [Sailor 1998]. Malheureusement, cette échelle entraîne une estimation moyenne des caractéristiques physiques et par conséquent l'appréhension du confort sur l'homme ne peut être précise. De même, du fait des hypothèses qui sont faites pour ce genre d'études, les villes où les zones végétales sont remplacées par des couches avec des coefficients de densité ou des caractéristiques globales qui ne permettent pas de qualifier la sensation ressentie à un endroit précis de l'espace urbain.

Ce préambule étant fait, nous pouvons poursuivre notre présentation des effets de la végétation à l'échelle plus restreinte qui nous intéresse, celle 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. De nombreux travaux ont abordé ces considérations selon différents angles d'analyse. En effet, certains auteurs ont préféré étudier une modalité d'influence (ombre, température du feuillage, modification des écoulements aérauliques, évapotranspiration, etc.), d'autres ont tenté de les croiser, certains ont estimé les conséquences indirectes à l'échelle de la ville ou d'une région alors que d'autres ont mis l'accent sur les techniques d'évaluation des effets (maquettes, mesures in situ, soufflerie, simulations numériques). En reprenant les éléments essentiels de ces différentes recherches, en les comparant et en les structurant, nous allons voir, de quelles manières et dans quelles conditions, la végétation peut avoir une influence concrète sur le microclimat urbain.

4.3.2.1 Modification des échanges radiatifs en présence de végétation

« 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 contenu à l'excès son volume folié. Elle est préférée à celle du micocoulier car ce dernier a une ombre plus tamisée alors que le platane a une ombre unie. Les Provençaux parlent de qualités d'ombre. Parmi les bonnes, ils citent également celle du figuier et du tilleul ; cette dernière, pour certains, trop froide, peut faire perdre la voix ou donner mal au rein. Le peuplier et le noyer sont mentionnés comme dispensateur d'ombres

humides, mauvaises voire maléfiques. C'est le contraire pour le pin auquel on reproche une ombre trop chaude et trop sèche. » [Stefulesco 1993]

Les échanges radiatifs sont importants dans la vie de l'arbre. En effet, le rayonnement solaire est la principale source d'énergie. Une fois converti en chaleur, il dirige les principaux échanges et certains processus comme la transpiration, déterminant ainsi la température des tissus. 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 photosynthèse¹. Le rendement de cette transformation est faible (1 à 2 % [Givoni 1991]) et on peut donc considérer que l'effet thermique est négligeable. La quantité et la distribution des rayonnements CLO sont des éléments importants pour la croissance de la plante (photomorphogénèse). Et enfin, les rayonnements de très courte longueur d'onde, très énergétiques (UV, X, γ) peuvent entraîner des effets dommageables pour les cellules, comme une mutation du matériel et de la structure génétique (mutagénèse) [Jones 1992].

La densité d'un feuillage détermine une plus ou moins grande perméabilité à la lumière, et aux rayonnements de grande longueur d'onde. Cette densité varie de façon sensible suivant l'espèce considérée, la configuration de son développement (élagage, taille ...) et la saison. En tenant compte de ces différents paramètres, on peut considérer que les arbres urbains peuvent constituer trois types d'écran : un écran opaque (conifères), un écran semi-transparent (arbres à feuilles caduques) et un écran transparent (certains arbres fruitiers ou certaines espèces de pins) [Muret *et al.* 1987]. Des coefficients de transmission solaire (Figure 12) peuvent alors être définis pour différents types d'arbres et pour les différentes saisons [Escourrou 1981, Jones 1992, Brown *et al.* 1995, Gourez *et al.* 1998], comme nous le détaillons par la suite.

⁽¹⁾ On peut rappeler brièvement que la photosynthèse est le processus de conversion d'énergie radiative en énergie chimique, transportable et réutilisable. Elle repose sur la transformation de dioxydes de carbone et d'hydrogène, à faible énergie potentielle chimique, en hydrates de carbone à énergie potentielle chimique élevée (la respiration peut être considérée dans une certaine mesure comme la réaction inverse de la photosynthèse, l'énergie libérée étant sous forme chimique et non radiative).

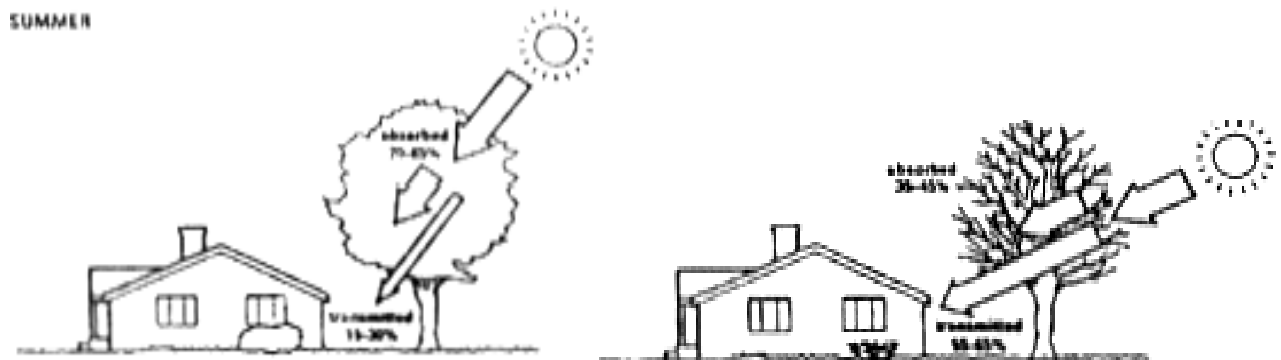


Figure 4.12 : Transmission solaire d'après [Akbari *et al.* 1992]

Les propriétés radiatives des feuilles montrent une dépendance vis-à-vis de la longueur d'onde. L'albédo d'une feuille d'arbre est supérieur à celui de l'ensemble du couvert végétal. La feuille réfléchit une partie du rayonnement incident qu'elle reçoit vers l'atmosphère, elle en diffuse une partie de façon sélective (moins de 10 % des UV) ; elle retransmet surtout les jaunes et les verts [0.5 à 0.6 μm] (plus de 10 %) et les infrarouges [0.7 à 1.1 μm] (plus de 50%). Cette retransmission sélective selon les longueurs d'onde explique la dominante verte que l'œil perçoit de la forêt. Les feuilles absorbent 90 % des UV et une grande partie des infrarouges [$> 2 \mu\text{m}$] [Escourrou 1981].

La transmission du rayonnement solaire à travers une couche de végétation peut être approchée par la loi de Beer qui traduit une décroissance exponentielle, fonction d'un coefficient d'extinction (k) et de la distance traversée :

$$\Phi = \Phi_0 \cdot e^{-kx}$$

La distribution du rayonnement dans la canopée des plantes est difficile à déterminer car elle est fonction de l'architecture de la canopée, de la distribution angulaire du rayonnement incident et des propriétés spectrales des feuilles. Lorsque l'on parle de masse végétale, il est utile de donner la définition de l'indice foliaire que l'on note LAI (de l'anglais Leaf Area Index). On rappelle que l'indice foliaire est le rapport entre la surface de toutes les feuilles du couvert et la surface de sol sous-jacente [Saugier 1996]. Une seule des deux faces de la feuille doit être considérée lorsque celle-ci est plane, pour une aiguille de conifère on

prend la moitié de la surface totale. Certains auteurs tiennent compte de la surface totale des aiguilles, d'autres, de la surface projetée sur un plan. L'indice foliaire peut varier entre 0 (sol nu) 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, de 1 à 6 pour une prairie permanente, de 2 à 3 pour une forêt boréale et jusqu'à plus de 10 pour une plantation de sapins ou d'épicéas à forte densité.

Dans le cas d'une distribution quelconque de feuilles le flux transmis s'écrit :

$$\Phi = \Phi_0 \cdot e^{-kLAI}$$

Les feuilles planophiles ont une distribution principalement horizontale, les feuilles érectophiles ont une distribution principalement verticale. Dans le cas où les feuilles ont une probabilité équivalente d'être dans toutes les directions, la distribution est dite sphérique. Les valeurs des coefficients d'extinction relatifs à ces situations sont présentées dans le tableau suivant [Jones, 1992]

Distribution angulaire des feuilles	Coefficient d'extinction (k)
Horizontale	$k = 1$
Verticale	$k = (2\cot\beta)/\pi$
Sphérique	$k = 1/(2\sin\beta)$
Ellipsoïdale	$k = (x^2 + \cot^2\beta)^{1/2} / (Ax)$
Diaheliotropique	$k = 1/\sin\beta$

Tableau 4.2 : Coefficient d'extinction pour différentes distributions angulaires des feuilles [Jones1992]. x est le rapport de l'axe horizontal sur l'axe vertical de l'ellipse et $A \approx (x + 1.774 (x+1.182)^{-0.733})/x$

La décomposition du rayonnement a été mesurée en site forestier pour certaines espèces d'arbre (Tableau 3). Les résultats expriment la répartition entre le pourcentage de la radiation qui est réfléchi, retransmis et absorbé par ces arbres (Lee 1978) cité par [Escourrou 1981]. On constate qu'en moyenne, pour ces six types d'arbre de forêt, le rayonnement réfléchi est légèrement supérieur à 30 %, le rayonnement retransmis est supérieur à 20 % et le rayonnement absorbé est inférieur à 50 %.

Arbres	Réfléchie	Retransmise	Absorbée par les feuilles
Faux acacia	35	26	39
Bouleau	33	24	43
Chêne rouvre	28	25	47
Tremble	33	20	47
Saule	29	21	50
Frêne	31	18	51

Tableau 4.3 : Coefficients radiatifs pour des arbres en forêt d'après [Escourrou 1981]

Les variations entre les valeurs des coefficients de transmission peuvent être considérables entre les espèces en fonction des conditions de croissance et des zones climatiques et peuvent également être déformées par les instruments de mesure utilisés par les différents chercheurs (Tableau 4). Les plantations du paysage possèdent des caractéristiques qui affectent le rayonnement solaire de diverses manières

- Par les feuilles individuelles qui permettent à une partie du rayonnement d'être transmis (environ 20 %), qui absorbent (environ 50 %) et réfléchissent une partie du rayonnement (environ 30 %).
- Par les dates de feuillaison foliation et de défoliation
- Par leur hauteur maximale et,
- Par la transmission de la canopée à différentes saisons (combinaison des caractéristiques des feuilles, des branches et de la taille)

Nom botanique	Nom Commun	Taux de transmission Été (%)	Taux de transmission Hiver (%)	Foliation	Défoliation	Hauteur maximale (m)
<i>Acer platanoides</i>	Erable plane	5-14	60-75	P	M	15-25
<i>Acer saccharinum</i>	Erable argenté	10-28	60-87	M	M	20-35
<i>Aesculus _hippocastanum</i>	Marronnier	8-27	73	M	T	22-30
<i>Betula pendula</i>	Bouleau	14-24	48-88	M	MT	15-30
<i>Catalpa speciosa</i>	Catalpa	24-30	52-83	T		18-30
<i>Fagus sylvatica</i>	Hêtre	7-15	83	T	T	18-30
<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	Frêne	10-29	70-71	M-T	M	18-25
<i>Gleditsia tricanthos inermis</i>	Févier	25-50	50-85	M	P	20-30
<i>Liriodendron tulipifera</i>	Tulipier	10	96-78	M-T	M	27-45
<i>Picea purgens</i>	Epicéa	13-28	13-28			27-41
<i>Pinus strobus</i>	Pin blanc	25-30	25-30			24-45
<i>Platanus acerifolia</i>	Platane	11-17	46-64	T	M-T	30-35
<i>Populus deltoides</i>	Peuplier	10-20	68	P	M	23-30
<i>Quercus rubra</i>	Chêne	12-23	70-81		M	13-30

Tableau 4.4 : Taux de transmission au rayonnement solaire pour différents arbres [Brown *et al.* 1995].

Avec Foliation, P : précoce = avant 30 avril,
M : moyenne = entre le 1 et le 15 mai,
T tardive = après le 15 mai.

Défoliation, P : précoce = avant le 1 novembre,
M : moyenne = entre le 1 et le 30 novembre,
T : tardive = après le 30 novembre

Il est bien évident que les dimensions de la couronne végétale sont des paramètres très importants qui vont définir la tâche d'ombre au sol et sur les façades des bâtiments proches. Nous avons noté que les apports solaires transmis ne sont pas forcément nuls. Il est donc nécessaire d'associer à notre tâche d'ombre la part d'énergie qui atteint les surfaces. Dans les simulations d'ensoleillement que nous allons réaliser, le tracé des ombres et le calcul des énergies transmises sont donc deux notions essentielles.

Les arbres peuvent être très efficaces pour bloquer les rayonnements solaires. 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, c'est le cas des mails de platanes. De plus, ils réduisent la consommation d'énergie à l'intérieur des bâtiments de trois manières :

- Les arbres, en créant une ombre sur une fenêtre, limitent les apports solaires.
- Les murs, les fenêtres et les toits à l'ombre s'échauffent moins et donc réduisent la quantité de chaleur atteignant l'intérieur.
- Le sol à l'ombre est plus frais et représente donc un « puits de chaleur » pour la maison.

Les inconvénients liés à l'ombre des arbres en hiver ne sont pas aussi significatifs que les bénéfices en été. Le soleil est moins intense en hiver et les arbres à feuilles caduques laissent passer une grande partie des apports solaires [Akbari *et al.* 1992].

4.3.2.2 Température de surface des végétaux

Des mesures thermiques par imagerie infrarouge [Hoyano 1988] 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^2 , sont les mêmes à $1 \text{ }^\circ\text{C}$ près, l'écart n'étant que de 2°C pour un rayonnement de l'ordre de 930 W/m^2 . Dans les illustrations suivantes, nous confirmons ce résultat (Figure 13). Les températures de surface observées dans l'infrarouge, indiquent les zones de la couronne végétale de l'arbre qui sont à 27 , 28 et $29 \text{ }^\circ\text{C}$ dans le cas où celui-ci est dans un air à $28 \text{ }^\circ\text{C}$ et soumis à un ensoleillement important correspondant à celui d'une journée claire d'été [Alvarez *et al.* 2000].



Figure 4.13 : Zones végétales isothermes à 27, 28 et 29°C [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 [Groupe ABC 1997]. 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*» [Destobbeleire *et al.* 1998].

Les zones de pelouse ont également tendance à équilibrer, comme la couronne des arbres leur température avec celle de l'air [De La Torre *et al.* 1998].

Certains travaux apportent une correction à ce constat sur l'équivalence des températures d'air et de surface des végétaux [Kjeltgren *et al.* 1998]. 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 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⁻³.K⁻¹ pour le bois du pin rouge à 2 à 3 MJ.m⁻³.K⁻¹ 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 [Monteith *et al.* 1991]. 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 [Escourou 1981].

4.3.2.3 Impact de la végétation sur les températures d'air et de surface

La plupart des études concernant l'influence de la végétation 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.

4.3.2.3.1 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 [Upmanis *et al.* 1998]. 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 [Upmanis 1998]. 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 [Klitsikas *et al.* 2000]. 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.

4.3.2.3.2 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 [Equipe ARTOPOS 1997, Groupe ABC 1997] 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 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 [Scudo *et al.* 1998]. 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 [De La Torre *et al.* 1998]. 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 [Parker 1989]. Les températures de surface de l'asphalte peuvent être de 20 à 25°C supérieures à celles d'une pelouse l'après-midi [Kjelgren *et al.* 1998]. 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 [Gao *et al.* 1995].

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 14. 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.

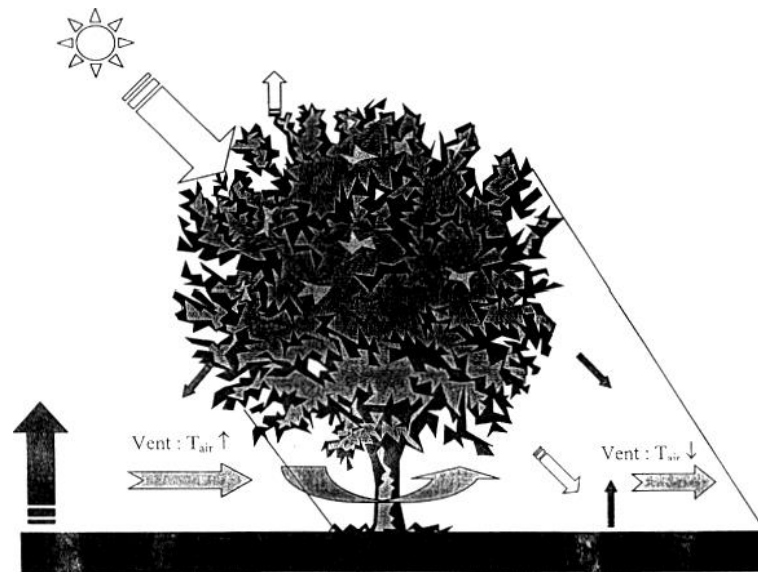


Figure 4.14 : Modification des transferts de chaleur autour d'un arbre

4.3.2.4 Impact de la végétation sur les économies d'énergie

Les résultats d'une recherche sur les relations entre le microclimat urbain et la densité locale des arbres, à partir de mesures dans la ville de Sacramento, en Californie [Sailor et al. 1992], révèlent une interaction complexe entre différents facteurs et mènent à la conclusion qu'une augmentation du nombre d'arbres peut élever la température de l'air urbain pour des jours globalement frais. Ce point négatif, n'induit pas pour autant d'effet significatif sur les charges énergétiques de refroidissement consommées en ville sur la saison complète d'été. En effet, l'analyse des températures confirme que les charges résidentielles utilisées pour le rafraîchissement (mesurées par les degrés jour) peuvent diminuer de 5 à 10 % chaque fois que la densité des arbres augmente de 10 %.

Des simulations ont été présentées pour analyser les effets des arbres comme option de rafraîchissement passif des bâtiments [Raessi et al. 1999]. Les besoins horaires en charge de refroidissement sont calculés par la résolution de l'équation du bilan d'énergie pour le bâtiment. Cette simulation est validée par comparaison avec des données relatives à une maison construite à Shiraz (Iran). Les résultats indiquent que pour cette maison, les charges de conditionnement d'air peuvent être réduites de 10 (effet d'ombre seul) à 40 % (ombre + réduction de la température de l'air de 3°C par évapotranspiration) par plantation appropriée d'arbres.

D'autres travaux [Akbari et al. 1992] montrent que les économies annuelles d'énergie liées à une addition de 3 arbres par maison (effet de l'ombre + effet du vent), pour 7 villes des USA sont estimées entre 75 et 175 \$. En ajoutant les effets indirects (prise en compte de l'évapotranspiration) les simulations montrent que les économies d'énergie d'été pour le refroidissement sont de 57 % à Sacramento, 17 % à Phoenix et 23 % à Lake Charles (Figure 15). La valeur de ces économies d'énergies en rafraîchissement est alors comprise entre 100 et 250 \$ par an et par ménage.

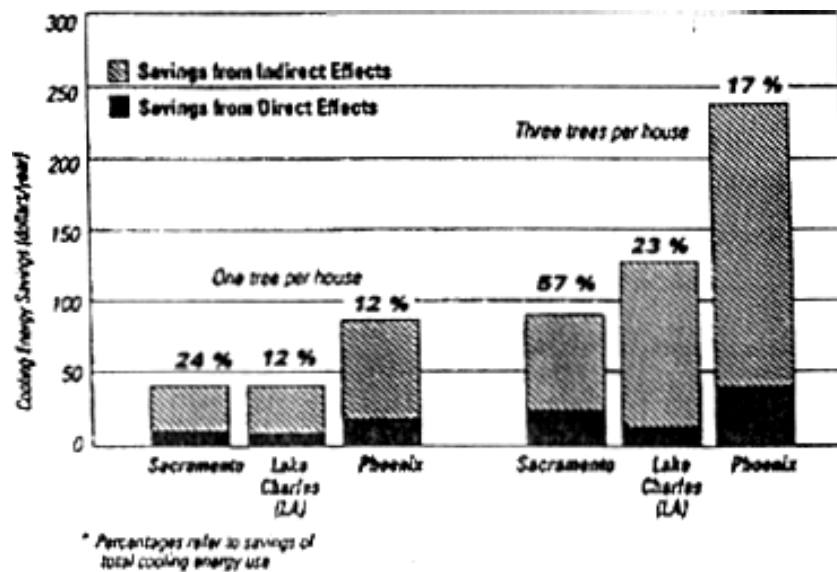


Figure 4.15 : Economie d'énergie dues aux effets directs et indirects des arbres dans trois villes américaines [Akbari et al. 1992]

Pour être encore, un peu plus réaliste il faut ajouter que l'ombre des arbres réduit certes la demande en air conditionné l'été mais augmente la charge de chauffage l'hiver en interceptant l'énergie solaire qui aurait été apportée à la structure à l'ombre et en réduisant la vitesse du vent [Simpson et al. 1998]. Les effets cumulés de l'ombre et de la réduction du vent, mais sans prise en compte des effets indirects cette fois-ci, induisent une économie totale annuelle de 14.00 \$ par arbre, soit 43.00 \$ par propriété.

4.3.2.5 Les effets de la végétation sur les écoulements aérauliques

Dans cette partie nous nous attachons à présenter les différents résultats et les différentes approches mises en oeuvre pour appréhender l'influence de la végétation face aux écoulements aérauliques. Ce thème a fait l'objet d'un certain nombre de publications

[Gandemer et al. 1981, Heisler 1989, Bottema 1992]. Cependant, il est à signaler que peu de données, concernant l'impact des arbres sur le vent dans un environnement urbain, sont disponibles dans la littérature.

Les relations entre la densité d'arbres, la morphologie des bâtiments et les réductions du vent ont été analysées par des mesures de la vitesse moyenne du vent à 2 m du sol dans le voisinage de maisons individuelles [Heisler 1989]. Dans cette étude, les maisons réduisent la vitesse du vent d'environ 24 %, les arbres, répartis de manière principalement dispersée, apportent une réduction supplémentaire de la vitesse de vent de 46 %. Même dans le voisinage, où la plupart des arbres sont à feuillage caduc, la diminution de la vitesse du vent par les arbres en hiver atteint en moyenne une valeur de 50 % à 90 % la valeur de la réduction en été. Dans le voisinage d'une maison individuelle avec 23 % de densité d'arbres la réduction de la vitesse par les arbres et les constructions est d'environ 38 % en hiver et 52 % en été, avec une réduction apparente due aux arbres de 14 % et 29% respectivement. Avec une densité d'arbres de 77 % la réduction totale est de 65 % et 70 % et la réduction imputée aux arbres est de 42 % et 46 %.

Parmi les effets recensés, celui de brise-vent est le plus évident, et est le plus utilisé notamment dans les exploitations agricoles et dans protection de certaines constructions. Une étude en soufflerie, à couche limite, a permis d'examiner l'effet de différentes configurations d'arbres brise-vent sur les infiltrations et sur les charges de vent sur des bâtiments bas [Stathopoulos et al. 1994]. Les résultats montrent qu'une seule rangée, à forte densité, réduit les infiltrations d'air d'environ 60 %, quand les arbres sont plantés à une distance des bâtiments d'environ 4 fois leur hauteur. Les brise-vent composés de grands arbres offrent une protection double de celle des arbres d'une taille deux fois inférieure.

Le choix de la forme de l'arbre dépend de la région à protéger : une couronne en forme de cône augmente la protection sous l'arbre, une couronne ellipsoïdale augmente la protection à l'arrière de l'arbre [Bottema 1992]. Plus les arbres sont hauts, plus le nombre de rangées d'arbres doit être important afin d'apporter une protection. Cependant, nous pouvons noter que des arbres isolés peuvent engendrer une augmentation locale de la vitesse du vent [Gross 1987]. En effet, au lieu de réduire la vitesse du vent, on constate une augmentation des

courants d'air à la base des arbres, sous la canopée, au niveau du tronc. Ceci est dû à une diminution de la surface effective, d'où création d'un effet venturi.

Dans les rues, les arbres sont souvent les seuls systèmes de réduction du vent. Une estimation indirecte de l'effet de protection des rangées d'arbres a été réalisée en soufflerie en comparant (les données relatives à des districts urbains simplifiés obtenues par Alberts (1981) et une étude réalisée par Visser (1987) qui inclut des rangées d'arbres au niveau des rues. Dans une configuration où la hauteur de construction est uniforme, les réductions de vent estimées dues aux arbres sont de 25 % (± 5 %) pour un vent parallèle aux rues et de 20% (± 20 %) pour un vent en travers [Bottema 1992].

4.3.2.5.1 Porosité aéraulique

La masse foliaire de la végétation représente une rugosité par rapport aux écoulements de l'air, et une partie du flux incident pénètre à l'intérieur du feuillage et se trouve filtré et amorti, diminuant sensiblement en aval les vitesses et les phénomènes tourbillonnaires. L'efficacité de l'effet brise-vent dépend de la porosité effective du feuillage, c'est-à-dire le rapport de surface des trous sur la surface totale de la masse foliaire pondéré par un coefficient de perte de charge. Il est intéressant de noter que cette porosité est variable suivant les saisons et les essences choisies. Ainsi, les feuilles de platane ont une porosité croissante avec la vitesse du vent alors que les aiguilles de pins se plaquent les unes sur les autres et forment un écran plus dense [Izard et al. 1979].

Des informations supplémentaires nous sont apportées par des travaux du CSTB [Gandemer et al. 1981] qui introduisent une caractérisation aérodynamique de l'efficacité des écrans végétaux. La perméabilité est fonction de la vitesse du vent, de l'essence du végétal, de la forme et de l'épaisseur de la masse végétale et de la saison. Ainsi, ils ont pu dégager un certain nombre de paramètres importants comme les dimensions de «l'obstacle végétal», la «perméabilité visuelle » (pourcentage de vide visuel) et la forme globale. Des coefficients de porosité peuvent permettre une caractérisation aéraulique des arbres.

Il est possible en première approximation de considérer une correspondance entre la porosité aéraulique et la porosité visuelle (Tableau 5). En effet, les haies dont le pourcentage de vide visuel est pratiquement nul (écran opaque) se comportent comme un écran mince

artificiel de même dimension et de porosité géométrique égale à 0.2. Pour un vide visuel de l'ordre de 1/3, la protection est égale à celle d'un écran mince de porosité 0.5 alors que si la perméabilité visuelle est de 50 à 60 %, l'équivalent porosité géométrique est d'environ 0.7. Pour une perméabilité visuelle supérieure, la protection contre le vent n'existe plus.

Porosité visuelle	Porosité géométrique équivalente
≈ 0	0.2
1/3	0.5
50% à 60%	0.1
> 60%	1

Tableau 4.5 : Porosité visuelle et aéraulique (d'après [Gandemer et al. 1991])

4.3.2.5.2 Pertes de charge

La notion de perte de charge (C_d pour drag coefficient en anglais) peut également être utilisée lorsque l'on cherche à modéliser la végétation. Les termes sources ou puits décrivent la perte de vitesse de vent due aux forces de frottement des éléments végétaux dans les équations traduisant les écoulements. Ils correspondent à la dérivée de la perturbation de la pression locale moyenne suivant les différentes directions. On les obtient en multipliant un coefficient de frottement par la densité d'aire des feuilles à une hauteur donnée, par la vitesse moyenne du vent à la même hauteur et par la vitesse du vent selon une direction. Des termes sources correspondent à la production de l'énergie et à la dissipation de la turbulence au niveau de la végétation [Bruse et al. 1998].

La connaissance de la valeur du coefficient C_d pour un arbre ou une forêt réelle est sujette à de nombreuses incertitudes. Les valeurs expérimentales montrent que C_d augmente lorsque la vitesse du vent augmente à cause de la décroissance dans la section effective de la couronne due à l'alignement des feuilles et des branches dans le sens du courant. Ainsi, en condition de vent élevé, les valeurs des coefficients de traînée pour des arbres urbains varient de 0.2 (sans feuille) à 0.86 (en feuilles) [Roodbaraky et al. 1994]. De même, Fraser (1962) a exposé des conifères de taille adulte dans une soufflerie avec un vent de 15 m/s et a obtenu des valeurs de C_d qui varient de 0.57 pour l'épicéa à 0.25 pour le Tsuga (conifère) [Monteith et al. 1991].

En condition de vent normal, une valeur de C_d proche de 0.2 est généralement retenue dans de nombreuses études [Watanabe 1994, Liu et al. 1996]. Il est intéressant de remarquer que les résultats obtenus pour des valeurs de C_d de 0.5, 0.66 et 0.8 montrent une distribution virtuellement identique des contraintes turbulentes de cisaillement de Reynolds. Cependant, une valeur élevée de 3.3 entraîne de grandes différences, dues à une forte production d'énergie cinétique turbulente dans la région de cisaillement [Kobayashi et al. 1994].

4.3.2.6 Evapotranspiration : définitions et applications

Ce phénomène physique, essentiel à la régulation thermique de la végétation, est présenté dans de nombreux ouvrages [Guyot 1996, Vilain 1993, Musy et al. 1991, Monteith et al. 1991] et donne lieu à une quantité de définitions, de corrélations et d'équations. Afin de sélectionner les bilans ou les équations qui seront utilisés par la suite, lors des modélisations, il est important de s'attarder un peu sur certaines définitions.

On appelle **évapotranspiration** (ET) le phénomène combiné de perte en eau par transpiration et par évaporation directe de l'eau du sol et des surfaces d'eau libre. En effet, les transferts d'eau du système sol-végétation-atmosphère peuvent s'effectuer selon deux processus, soit par évaporation directe de l'eau du sol, soit par évaporation de l'eau de transpiration des végétaux, préalablement prélevée dans le sol par le système racinaire. L'évaporation directe se produit essentiellement dans une zone de faible épaisseur située immédiatement sous la surface du sol, où l'apport énergétique nécessaire à la vaporisation de l'eau est suffisant. Dans le cas de la transpiration des végétaux, le siège de l'évaporation se situe essentiellement au niveau des parois internes des stomates. Les deux processus se produisent simultanément et de manière telle qu'il est difficile de les distinguer, si bien qu'ils sont englobés sous le terme général d'évapotranspiration.

La notion **d'évapotranspiration potentielle** (ETP), introduite par Thornthwaite en 1948 [Guyot 1996], correspond à la perte en eau par évaporation directe de l'eau du sol et par transpiration d'un couvert végétal dense, bien développé, en pleine croissance et surtout bien alimenté en eau. L'ETP climatique (ETP_c) correspond à la valeur de l'ETP obtenue à partir des données météorologiques sur des intervalles de temps allant de la journée au mois à l'échelle

décadaire. Les travaux entrepris sur l'estimation des besoins en eau des cultures, ont conduit à la définition des différents termes suivants:

- **L'évaporation potentielle (EP)** est obtenue lorsque toutes les surfaces évaporantes d'un couvert végétal sont recouvertes d'eau (possibilités maximales d'évaporation dans des conditions climatiques données).
- **L'évaporation potentielle théorique (EP*)** est la valeur maximale de EP, lorsque la végétation n'oppose aucune résistance au transfert de vapeur d'eau et peut être déterminée à partir de formules climatiques comme la formule de Penman.
- **L'évapotranspiration réelle (ETR)** correspond au cas général dans les conditions naturelles et par conséquent est celle qui nous intéresse. Elle 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 l'espace).
- Enfin **l'évapotranspiration réelle maximale (ETR_m)** est la valeur de l'ETR lorsque la résistance stomatale du couvert est minimale (même lorsque les stomates des plantes sont largement ouverts, l'ETR_m ne peut jamais atteindre la valeur de l'évaporation potentielle). Il existe cependant un cas particulier pour lequel l'EP est égale à l'ETR_m : celui d'un gazon bien alimenté en eau, car on peut estimer que la résistance offerte par sa structure au transfert de vapeur d'eau est pratiquement nulle.

L'énergie de vaporisation de l'eau cellulaire est fournie par refroidissement des tissus de la plante, la transpiration assurant ainsi une fonction vitale de régulation thermique. L'évapotranspiration comme les précipitations, s'évalue en hauteur d'eau équivalente sur une période donnée, par exemple mm par an, par mois ou par jour.

4.3.2.6.1 Bilan d'énergie et évaporation

L'ensemble des rayonnements énergétiques (R_n) qui arrivent sur une surface végétale sont soit absorbés par le système, puis transformés en énergie chimique, (c'est la photosynthèse) par le métabolisme (M), soit échangés par chaleur sensible avec l'air ambiant

(φ_{conv}), soit reconvertis sous forme de chaleur latente (LE) ou soit dégradés sous forme de chaleur par le sol et transmis par conduction (φ_{cond}) ou stocké (ΔS). Le principe de conservation de l'énergie appliqué à une canopée s'écrit alors

$$R_n - \varphi_{conv} - LE = M + \varphi_{cond} + \Delta S.$$

4.3.2.6.2 Formule de Penman

La formule de Penman donne l'évaporation potentielle théorique EP* d'une nappe d'eau ou d'un gazon parfaitement arrosé. La validité de la formule de Penman repose sur cinq hypothèses

- Le régime doit être permanent. Dans les conditions naturelles une telle relation n'est donc vérifiée que pour des intervalles de temps très courts (quelques minutes à une heure).
- Les flux doivent être conservatifs entre la surface considérée et le niveau de référence dans l'air. Cette hypothèse sera pratiquement vérifiée si la surface est suffisamment étendue pour que l'on puisse négliger les apports latéraux d'énergie par advection.
- La surface doit être plane, homogène et continue.
- La surface est saturée en eau. L'eau doit être libre et la tension de vapeur au niveau de la surface est la tension de vapeur saturante à la température de la surface.
- Toute l'énergie disponible (essentiellement sous forme radiative) est absorbée au niveau de la surface.

En première approximation, il est possible de négliger la photosynthèse qui ne représente que 1 à 2 % des échanges énergétiques et le flux de chaleur dans le sol car il est de l'ordre de quelques dizaines de $W.m^{-2}$. Le bilan, pour une surface humide à l'équilibre peut alors s'écrire :

$$R_n = LE + \varphi_{conv}$$

Les détails de la démonstration de la formule de Penman sont accessibles dans la littérature [Monteith et al. 1991, Guyot 1996]. On peut la présenter sous cette forme :

$$EP^* = \frac{\Delta \frac{R_n}{L} + \gamma E_a}{\Delta + \gamma}$$

L'évaporation potentielle théorique EP^* est exprimée ici en mm par jour, la température de l'air T_{air} en Kelvin et le rayonnement net R_n en W/m^2 . A , la pente moyenne de la courbe de tension de vapeur saturante entre la température de surface et la température de l'air, valeur de la dérivée cette courbe à $T = (T_s + T_{air})/2$. Elle est calculée grâce à l'expression suivante :

$$\Delta = \frac{e(T_{air})}{T_{air}} \left(\frac{6463}{T_{air}} - 3.927 \right)$$

Le pouvoir évaporant de l'air E_a , fait intervenir la vitesse du vent U et l'écart entre la tension saturante à la température de l'air et la tension partielle de l'air. Il est calculé à l'aide de l'expression suivante :

$$E_a = 0.26[e(T_{air}) - e_a](1 + 0.54U)$$

La demande atmosphérique en eau est déterminée par le déficit de saturation de l'air, la température de l'air et la vitesse du vent prise à 2 m. Si cette vitesse est prise à 10 m, il faut remplacer le coefficient 0,54 par 0,4. En remplaçant le rayonnement net R_n , par l'exposition énergétique nette H_n et le pouvoir évaporant, de l'air par sa valeur moyenne, des valeurs intégrées sur une certaine période peuvent être obtenues. En général, les calculs se font sur une journée.

L'approche de Penman a été étendue par Monteith en 1965. Cet auteur a de la même manière supposé que le flux qui atteint le sol peut pratiquement être négligé et que les coefficients de transfert pour la chaleur et la vapeur d'eau sont identiques. Monteith a indiqué que l'effet global du couvert pouvait être traduit par l'existence d'un niveau moyen identique pour les sources et les puits de chaleur et de vapeur d'eau. T_s représente dans ce cas la température de surface moyenne équivalente du couvert végétal. L'autre différence importante entre l'approche de Monteith et celle de Penman est celle relative à l'évaluation de l'évaporation potentielle. La densité de flux de vapeur d'eau est déterminée en introduisant les résistances aux transferts dans le couvert R_c et dans l'atmosphère R_a .

En reprenant les grandes lignes du calcul [Musy et al. 1991, Monteith et al. 1991], les éléments importants apparaissent sous ces formes et les coefficients des résistances sont donnés dans la suite du document

$$\varphi_{conv} = \frac{\rho_{air} c_{pair} (T_s - T_{air})}{R_a}$$

$$LE = \frac{\rho_{air} c_{pair} (e(T_s) - e_a)}{\gamma(R_c + R_a)}$$

On obtient

$$EP = \frac{(R_n - \Delta S)\Delta + (\rho_a c_{pa} (e(T_s) - e_a) / R_a)}{L \left[\Delta + \gamma \left(1 + \frac{R_c}{R_a} \right) \right]}$$

La variation globale d'énergie emmagasinée ΔS est négligeable si l'évapotranspiration est mesurée sur une journée.

Il est intéressant de retenir le résultat avec cette formulation

$$EP = \frac{EP^*}{1 + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \frac{R_c}{R_a}}$$

En général, dans un couvert végétal, les surfaces évaporantes ne sont pas recouvertes d'eau. Les stomates des feuilles opposent alors une certaine résistance R_s à la diffusion de la vapeur d'eau.

Celle-ci s'ajoute à la résistance R_c opposée par le couvert. La relation entre EP^* et l'évapotranspiration réelle peut donc s'écrire :

$$ETR = \frac{EP^*}{1 + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \frac{R_c + R_s}{R_a}}$$

La valeur de l'évapotranspiration réelle maximum ETR_m sera atteinte lorsque la résistance des stomates aura sa valeur minimale $R_{s,min}$, c'est-à-dire lorsque l'alimentation hydrique sera optimale :

$$ETR_m = \frac{EP^*}{1 + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \frac{R_c + R_{s,min}}{R_a}}$$

Pour un gazon, l' ETR_m diffère de son EP ou même de son EP^* essentiellement en raison de la résistance stomatale $R_{s,min}$ des plantes, la résistance R_c du couvert pouvant être considérée comme négligeable. Si le gazon est bien irrigué et en croissance active, la valeur de $R_{s,min}$ est généralement faible devant R_a et par conséquent

$$EP_{\text{gazon}} = ETR_{m,\text{gazon}} \approx EP^*_{\text{gazon}}$$

Le calcul de la température de surface (T_s) est alors immédiat à partir des échanges convectifs :

$$T_s = T_a + \frac{R_a}{\rho_{air} c_{pair}} (R_n - LE)$$

A partir de cette dernière formule, on comprend que l'écart entre la température de surface de la végétation et de l'air dépend des apports solaires et des échanges par évaporation. Cette relation permet d'expliquer pourquoi l'excès de température des feuilles peut être important en situation ensoleillée dans des climats froids et faible voire négatif dans des climats chauds [Monteith et al. 1991].

Dans les formules notées ci-dessus, différentes résistances apparaissent (R_a , R_s , $R_{s,min}$ et R_c). La résistance aérodynamique de la feuille (R_a) est fonction de sa géométrie et de la vitesse du vent. Une formule proposée par Barden permet de l'estimer en fonction de la vitesse du vent à la surface (U), d'un coefficient A qui vaut $87 \text{ s}^{0.5} \cdot \text{m}^{-1}$ pour les conifères et l'herbe, et $200 \text{ s}^{0.5} \cdot \text{m}^{-1}$ pour les arbres à feuilles caduques et du diamètre de la feuille (D) qui varie de 0.02 pour les conifères à 0.5 pour les plantes tropicales [Bruse et al. 1998]

$$R_a = A (D/U)^{0.5}$$

Dans la littérature, une autre relation empirique est utilisée par Landsberg et met en relation la dimension caractéristique de la feuille (d), vitesse du vent au niveau de la canopée (U) et le rapport entre l'aire totale et la section de la couronne dans la direction perpendiculaire au vent (p varie entre 3 et 4 pour un poirier en fleur et entre 0.75 et 1.5 pour un érable) [Kjelgren et al. 1998]

$$R_a = 58 p^{0.56} (d/U)^{0.5}$$

La résistance stomatale R , est calculée en fonction des apports radiatifs et de la contenance en eau à l'intérieure de la zone des racines. La résistance stomatale minimale R_s , min dépend du type de végétation et varie de 200 $s.m^{-1}$ pour l'herbe à 400 $s.m^{-1}$ pour les feuilles caduques [Bruse et al. 1998].

Et enfin la résistance de la canopée (R_c) varie de 70 $s.m^{-1}$ pour une herbe rase à 150 $s.m^{-1}$ pour une forêt [Oke 1987].

4.3.2.6.3 Estimation de l'évapotranspiration à partir d'autres formules

Les recherches sur la quantification des différentes valeurs d'évapotranspiration nous fournissent un nombre de formules assez conséquent dont la plupart sont recensées dans un ouvrage [Guyot 1996]. Il est possible de faire une distinction entre les formules statistiques et les formules déterminées par des bilans physiques.

Parmi les formules statistiques qui ont été ou qui sont encore les plus utilisées nous pouvons citer celle de Thomthwaite qui est simple d'utilisation car seule la température de l'air est explicitement prise en compte. Cependant les moyennes mensuelles amortissent les résultats, de plus l'humidité de l'air comme la vitesse du vent, qui déterminent le pouvoir évaporant de l'air, n'entrent pas dans les calculs. La formule de Blaney et Criddle (1950) est très couramment employée pour estimer les besoins en eau des cultures à partir de la température moyenne de l'air et la durée relative du jour exprimée en %. Comme cette formule ne tient compte ni de la vitesse du vent, ni de l'humidité de l'air, il est nécessaire d'utiliser des coefficients de correction donnés par des tables ou des abaques (Doorenbos et Pruitt, 1975). Enfin, Turc (1961) a proposé une formule de calcul de l'ETP climatique à la suite d'études statistiques de bilans hydriques à l'échelle décadaire et rend assez bien compte du bilan hydrique à l'échelle du bassin versant.

Dans les formules physiques, celle de Penman dérive de l'équation du bilan d'énergie et n'est en fait théoriquement valable que pour une nappe d'eau libre ou pour un gazon constamment mouillé comme nous l'avons vu précédemment. La formule de Brochet - Gerbier, également appelée formule de la Météorologie Nationale, résulte d'une simplification de la formule de Penman qui donne l'ETP climatique (ETPc) sous la forme d'une équation faisant intervenir l'exposition énergétique nette, un coefficient de proportionnalité fonction du mois et de la latitude et le pouvoir évaporant de l'air mesuré sous abri avec un évaporomètre Piche (ou atmomètre Piche). Une autre version est parfois donnée, pour laquelle le pouvoir absorbant de l'air est identique à celui calculé dans la formule de Penman. La formule de Bowen est exprimée de manière à faire intervenir le rapport de Bowen qui correspond au rapport entre les échanges par convection et par chaleur latente [Guyot 1996].

Enfin, en simulation numérique des modèles ont été développés pour estimer ces quantités. Un modèle à deux couches, dont une au soleil et une à l'ombre, donne les taux de transpiration calculés à partir d'une équation du bilan d'énergie du type Penman-Monteith [Kjelgren et al. 1998].

Les formules d'estimation de l'évapotranspiration sont basées sur des principes différents. Une comparaison des valeurs qu'elles fournissent dans un même lieu est utile. Ce type d'étude a été réalisé par différents expérimentateurs et on peut se référer aux résultats obtenus à Avignon [Séguin 1975]. L'auteur a comparé les valeurs de l'ETPc estimées à partir des formules de Thornthwaite, Blaney et Criddle, Turc, Penman et Brochet et Gerbier, aux valeurs de ETRm mesurées avec un évapotranspiromètre (Tableau 6).

Méthode de détermination	ETPc (mm)	ETPc / ETRm
Evapotranspiromètre	1065	1,00
Thornthwaite	772	0,72
Blaney et Criddle	1104	1,04
Turc	936	0,88
Penman	1030	0,97
Brochet et Gerbier (1)	1111	1,04
Brochet et Gerbier (2)	1032	0,97

Tableau 4.6 : Comparaison des évapotranspirations annuelles cumulées [Séguin 1975]

Cette étude nous apprend qu'à l'échelle annuelle, les formules de Blaney et Criddle, Penman et Brochet et Gerbier donnent des valeurs satisfaisantes. En revanche les formules de Thornthwaite et, à un degré moindre, de Turc, sous-estiment les valeurs de l'évapotranspiration de 28 et 12 respectivement. Cependant, cette comparaison à l'échelle annuelle peut être trompeuse car les formules sont susceptibles d'introduire des erreurs importantes à l'échelle mensuelle ou décadaire qui peuvent se compenser à l'échelle annuelle. Ainsi, la formule de Blaney et Criddle, qui donne de bons résultats à l'échelle annuelle, surestime la valeur de ETP en hiver et la sous-estime en été. En revanche, la formule de Thomthwaite et, à un moindre degré, celle de Turc, sous-estiment la valeur de ETP de façon assez régulière au cours de l'année.

La formule de Penman ainsi que les formules de Brochet et Gerbier donnent des résultats beaucoup plus satisfaisants. Avec la formule de Penman, on observe une surestimation de l'ETP en hiver et une sous-estimation en été. Cet écart s'explique par la mauvaise adaptation au climat méditerranéen des coefficients utilisés dans les formules pour calculer l'exposition énergétique nette et le pouvoir évaporant de l'air. Elle apparaît cependant la plus apte à suivre les variations de l'ETP. La méthode simplifiée et mise au point par la météorologie nationale s'avère particulièrement intéressante car elle permet par une procédure simple et rapide d'obtenir des valeurs très proches de la formule de Penman.

Enfin, les calculs basés sur l'équation de Penman Monteith apportent probablement la technique générale la plus puissante pour estimer les taux d'évaporation de la végétation, bien que l'estimation de la résistance des stomates puisse être une limitation majeure. L'utilisation de l'équation de Penman standard pour estimer l'évaporation d'eau libre, associée à des coefficients de correction reste adéquate dans de nombreux cas [Jones 1992].

4.3.2.6.4 Mesures de l'évapotranspiration

L'évapotranspiration d'un arbre peut atteindre jusqu'à 400 litres par jour, ce qui représente une action de refroidissement équivalente à celle de 5 climatiseurs moyens pendant 20 heures en climat chaud et sec [Huang et al. 1987].

L'impact de surfaces comme l'asphalte et la pelouse sur la consommation en eau est analysé en fonction de l'évolution de la résistance des stomates [Kjelgren et al. 1998]. Un

poirier en fleur au-dessus de l'asphalte, dans un environnement humide, possède une température de feuillage plus élevée induisant une perte en eau d'un tiers en plus par rapport aux arbres au-dessus de la pelouse alors que la perte en eau d'un frêne vert ou d'un érable de Norvège au-dessus de l'asphalte, dans un environnement aride, est égale voire inférieure à celle au-dessus de la pelouse (Tableau 7). Cette faible perte en eau est due à une fermeture prolongée des stomates. Ce phénomène entraîne une augmentation de la température des feuilles. Nous pouvons donc retenir que la perte en eau d'un arbre au-dessus de l'asphalte dépend du degré de fermeture des stomates (résistance stomatale), qui est une réaction à l'interception importante des flux d'énergie et à l'écart de pression de vapeur d'eau trop élevé entre l'air et les feuilles.

Date	Perte d'eau journalière (mm)			
	Frêne vert		Erable de Norvège	
	Asphalte	Pelouse	Asphalte	Pelouse
17 juillet	2.60	2.10	1.61	1.33
23 juillet	0.75	2.06	0.49	1.13
13 août	0.97	1.52	0.65	1.46

Tableau 4.7 : Transpiration d'arbres au-dessus de deux surfaces [Kjelgren et al. 1998]

Des mesures équivalentes réalisées sur un troène du Japon (*Ligustrum Japonicum*), arbuste à feuilles persistantes réputé pour sa forte consommation en eau, détaillent les transferts d'eau pour trois journées types (normale, aride et nuageuse) [Levinson 1997]. Les jours normaux et arides sont caractérisés par une évapotranspiration plus rapide en matinée qu'en après-midi bien que l'air soit plus chaud et plus sec l'après-midi (fermeture des stomates). Les résistances stomatales, calculées les jours normaux, nuageux et arides, à midi, sont respectivement de 500, 250 et 1200 s/m.

Les caractéristiques des pertes en eau varient fortement entre les végétaux [Kjelgren et al. 1998]. Dans la nature et l'environnement urbain, des mesures ne sont pas toujours possibles et des estimations peuvent être proposées en utilisant un coefficient spécifique (k) qui correspond au rapport entre la valeur réelle qui intègre les phénomènes de résistance et de fermeture des stomates et une valeur de référence en condition idéale, à savoir sans aucune

résistance. Ainsi, il est possible de considérer que l'évapotranspiration réelle, ETR que l'on note plus simplement E, est reliée à l'évapotranspiration potentielle par la formule suivante

$$E = kETP^*$$

Les valeurs de k sont données par le tableau suivant (d'après [Kjelgren 1998]) :

Végétation	Commentaires	Rapport k
Gazon	Saison froide	0.8
	Saison chaude	0.65
Arbres	Forte consommation d'eau	0.5-0.6
	Consommation d'eau modérée	0.4-0.5
	Arbre isolé	0.4 LAI (indice foliaire)

Tableau 4.8 : Valeurs du coefficient k (d'après [Kjelgren 1998])

L'augmentation des arbres devrait entraîner une augmentation des quantités d'eau nécessaires pour l'irrigation et une augmentation des déchets solides générés. Cependant, l'utilisation d'arbres à la place de la pelouse peut réduire de manière drastique les besoins en eau d'une communauté et l'utilisation de buissons à la place des arbres réduit encore plus la consommation en eau [Akbari et al. 1992]. Dans les climats arides, il est intéressant d'utiliser la végétation locale qui est moins consommatrice d'eau.

4.3.2.7 Simulation de l'impact des arbres en microclimatologie urbaine

Le type d'approche que nous souhaitons réaliser grâce à la simulation numérique des transferts de chaleur en milieu urbain avec prise en compte de la végétation est un thème qui se développe et qui motive un certain nombre de laboratoires. Nous présentons ici deux recherches parmi les plus intéressantes.

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 [Vu Thanh Ca et al. 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. Même avec un taux important d'évapotranspiration, la température de l'air au niveau d'un champ en herbe est légèrement supérieure à celle du parc. Cela est dû au fait qu'il n'y ait pas d'ombrage et qu'un fort vent transporte de la chaleur

d'une zone résidentielle proche. 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. Les zones avec une forte température de l'air sont celles ayant une surface pavée et avec un rapport de bâti faible. Les zones avec une température d'air faible sont celles où des arbres sont présents.

Les modifications induites par la construction d'un petit parc (120 m sur 60 m) en milieu urbain à la place d'un bâtiment avec une cour intérieure et l'ajout d'arbre le long d'une rue (Figure 16) ont été simulées [Bruse et al. 1998]. La distribution horizontale et verticale de la température résulte de la prise en compte des écoulements aérauliques et des températures de surface différentes dues à l'ombre des maisons et des arbres. Grâce à ce type de simulation à échelle microclimatique, des effets complexes apparaissent et permettent une analyse détaillée du comportement thermo-aéraulique de cet espace urbain.

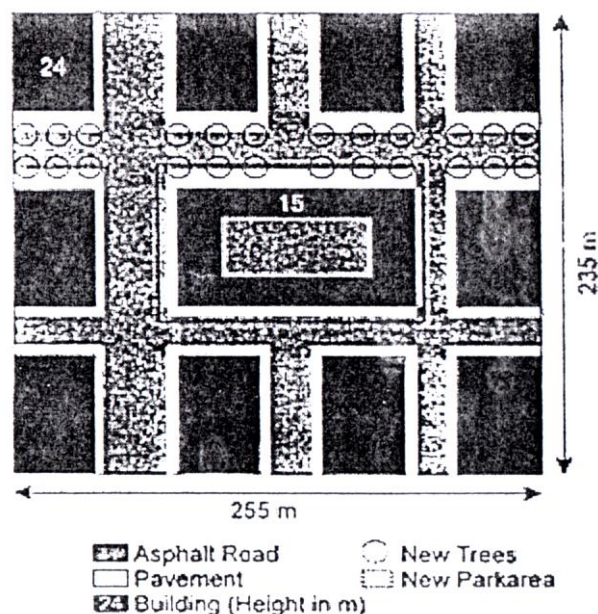


Figure 4.16 : Impact microclimatique [Bruse et al. 1998]

4.4 Conclusion

L'analyse des relations entre l'eau et la ville nous montre que cet élément naturel est fortement présent pour de nombreuses raisons, parmi lesquelles son influence sur la régulation du climat est à souligner. L'évaporation de l'eau nous a permis de rappeler certains phénomènes physiques et surtout d'expliquer les processus liés aux transferts de chaleur et de masse. Ces rappels nous sont utiles afin de définir le comportement thermique des sites dans lesquels l'eau est présente.

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 oeuvre, 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.

Puis, en se concentrant sur l'impact énergétique de la végétation dans un contexte urbain, nous nous sommes aperçus que les recherches étaient souvent effectuées à une échelle qui est celle de la ville ou de la campagne, que les préoccupations apparaissent sous forme d'économie d'énergie ou de quantité d'eau à fournir pour des récoltes. Afin d'analyser l'influence à un niveau microclimatique, nous avons adopté une approche multi-critères 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.

4.5 Références bibliographiques

- AKBARI H., DAVIS S., DORSANO S. et al. (1992). Cooling our communities - a guidebook on tree planting and light colored surfacing_ U.S. Environmental Protection Agency. Office of Policy Analysis, Climate Change Division. Berkeley : Lawrence Berkeley Laboratory, 217 p.
- ALVAREZ et al. (1989). Acondicionamiento climatico de los espacios abiertos en Expo'92. Laminas de agua. Sevilla : Universidad de Sevilla.
- ALVAREZ D. S., CEJUDO L. J.M., GUERRA M. J.J. et al. (1992). Control climatico en espacios abiertos, El Proyecto Expo'92. Sevilla: Ciemat, pp.4-49.
- ALVAREZ S., BLANCO A., SANCHEZ F.J. et al. (2000). Case study X: 'Ensanche de Vallecas'. Greencode : Reglementary frame for renewable energy use in urban site through vegetation plannings ans strategic surfacing. ALTENER - DG XVII (in press).
- AVISSAR, R. (1996). Pokential effects of vegetation on the urban thermal environnment. Atmospheric Environment Vol 30, n 3, pp. 437-448.
- BELARBI, R. andtALLARD, F. (1998). Atlas of natural cooling techniques in Southern Europa application to evaporative cooling systems. In : Proceedings of EPIC'98, 2"d European conférence on energy performance and indoor climate in buildings and 3rd Intenational conférence on indoor air quality, ventilation and energy conservation in buildings, 19-21 November. Lyon ENTPE, pp. 763 -768.
- BERGER, X. (1998). Human thermal comfort at Nîmes in Summer heat. In proceedings of EPIC'98, 2"d european conférence on energy performance and indoor climate in buildings and 3^d intenational conférence on indoor air quality, ventilation and energy conservation in buildings, 19-21 November Lyon : ENTPE, pp. 201-206.
- BOTTEMA, M. (1992). Wind climate and urban geometry. Eindhoven: University of Technology, 212 p.
- BROWN, R. D. and GILLESPIE, T. J. (1995). Microclimatic Landscape design. Creating thermal confort and Energy Efficiency. New york : Wiley J. and Sons, 193 p.
- BRUSE, M. and FLEER, H. (199.8). Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. Environmental Modelling & Software, Vol 13, Issue 3-4, pp. 373-384.
- CABANEL, J. In STEFULESCO, C (1993). L'urbanisme végétal. Paris : IDF, 323 p. (avant-propos, p 9).

COOMBES A. J. (1993). Les arbres. Paris : Bordas, 1993. Traduction Isabelle Delvallée, 320 p. Collection L'oeil Nature,

De La TORRE, J. M. O. and SERRA, R. (1998). Microclimatic analysis of some urban scenarios. In proceedings of PLEA 98, Lisbon, Portugal, June 1998. London: James & James, pp. 159 - 162.

De SABLET, M. (1988). Des espaces urbains agréables à vivre - Places, rues, squares et jardins. Paris : Moniteur. La végétation urbaine pp. 127-135.

DESTOBBELEIRE, G. and IZARD, J-L. (1998). Rôle de la végétation dans le microclimat urbain : utilisation de la thermographie. In : Proceedings of EPIC'98, 2^d European conférence on energy performance and indoor climate in buildings and 3rd International conférence on indoor air quality, ventilation and energy conservation in buildings, 19-21 November. Lyon : ENTPE, pp. 749-755.

EQUIPE ARTOPOS (1997). Morphologie, végétal et microclimats urbains. Cas d'Aix-en-Provence et de Nîmes. Tome 1, le contexte, analyse urbaine. Plan urbain, Ministère de l'Équipement, 52 p (+ fiches).

ESCOURROU, G. (1981). Climat et environnement, Les facteurs locaux du climat. Paris : Masson, 182 p.

FERNANDES E. O., ALMEIDA F. and CARDOSO P. (1998). Energy and environment at EXPO'98 Lisbon. In : Proceedings of PLEA 98. Environmentally Friendly Cities, Proceedings of PLEA 98, Lisbon, Portugal, June 1998. London : James & James, pp.7-12.

GANDEMER, J Et GUYOT, A. (1981). La protection contre le vent. Paris CSTB, 132 p.

GAO, W. SUGIYAMA, H. and OJIMA, T. (1995). Field study of effect of street and its trees on thermal environment of sidewalks. Journal of Architecture and Planning Environment Engéenering, n° 469, pp. 53-64.

GIVONI, B (1991). Impact of planted areas on urban environmental quality : a review. Atmospheric environment Vol n°3, pp. 289-299.

GOMEZ, F. et al.(1998). The green zones in bioclimatic studies of the Mediterranean city. In : Proceedings of PLEA 98, Lisbon, Portugal, June 1998. London: James & James, pp. 207- 210.

GRIMAL, P. (1990). Un urbanisme de l'eau à Rome. In : Le grand livre de l'eau. Paris : La Cité des Sciences, 15 p.

- GROSS, G. (1987). A numerical study of the air flow within and around a single tree. *Boundary-Layer Meteorology*, 40, pp. 311-327.
- GROUPE ABC (1997). Morphologie, végétal et microclimats urbains. Cas d'Aix-en-Provence et de Nîmes. Tome 2, les mesures; Plan urbain, Ministère de l'Équipement, pp. 131 - 133.
- GUERRA et al. (1994). Control climatico en espacios abiertos: evaluación del proyecto Expo'92. Sevilla : Grupo de Termotecnia, Universidad de Sevilla.
- GUERRA J. J., ESTEBAN C. J. and MOLINA J. L. (1996). Detailed Modelling of Roof Ponds Including Sprays and Covering. Meeting at CIEMAT, Madrid (Spain), December 1996.
- GUILLERME, A. (1983). Les temps de l'eau. Paris : Chauvillon, 263 p.
- GUILLERME, A. (1994). La disparition des saisons dans la ville, les années 1830-1860. Les annales de la recherche urbaine n°61, Les saisons dans la ville, 7 p.
- GUYOT, A. (1988). L'arbre élément du confort vivant. In : Vivre dehors, confort des espaces publics. Manosque : actes de colloques, pp. 71 - 80.
- GUYOT, G. (1996). Climatologie de l'environnement De la plante aux écosystèmes. Paris : Masson, 505 p.
- HADDAD, Y. (1997). Les arbres d'alignement urbains, un enjeu pour les partenaires multiples. Les Annales de la Recherche Urbaine, n°74, Natures en Villes, pp. 113-118.
- HEISLER, G. M (1989). Mean windspeed below building height in residential neighborhoods. In : Proceedings of the workshop on saving- energy and reducing atmospheric pollution by controlling Summer heat islands. Berkeley: Applied Science Division LBL, editors: Garbesi, K et al., (351 p.) pp. 256 - 272_
- HESCHONG, L. (1981). Architecture et volupté thermique. Traduction GUILLAUD, H. Paris : Parenthèses, 93 p.
- HOYANO, A (1988). Climatological uses of plants for solar control and the effects on the thermal environment of a building. Tokyo Institute of Technology, Japan. *Energy and Buildings*, 11, pp. 181 - 199.
- HUANG, Y. J. et al. (1987). The potential of vegetation in reducing Summer cooling loads in residential buildings. Berkeley: University of California, 32 p.
- IZARD, J. L. et GUYOT, A. (1979). *Archi Bio*. Paris : Parenthèse, 135 p.
- JONES, H. G. (1992). Plants and microclimate : A quantitative approach to environmental plant physiology. 2nd Edition, Cambridge University Press, 428 p.

- KANDA et al. (1997). Environmental effect of Meiji-Shrine forest as a sink of energy and pollutant - field observation and numerical Simulation by SPAM3. In : Proceedings of International on monitoring and management on urban heat island. Fujisawa, pp. 69-83.
- KJELGREN, R. and MONTAGUE, T. (1996). Isolated tree water use in various surfaces. In : Proceedings of the International conférence on evapotranspiration and irrigation scheduling, , San - Antonio, pp. 250-256.
- KJELGREN, R. and MONTAGUE, T. (1998). Urban tree transpiration over turf and asphalt surfaces. Atmospheric Environment, Vol 12, n°1, pp. 35-41.
- KLITSIKAS N., GEORGAKIS C. and SANTAMOURIS M. (2000). Greek case study : the National Park of Athens. Greencode : Reglementary frame for renewable energy use in urban site through vegetation plannings ans strategic surfacing. ALTENER - DG XVII (in press).
- KOBAYASHI, M. H. et al. (1994). Numerical study of the turbulent flow over and in a model forest on a 2^d hill. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 53, pp.357-374.
- LARUE, D. (1996). L'arbre dans la ville. Edition Sang de la terre et Foncier Conseil, Paris, 168 p. Collection écologie urbaine.
- LAVEDAN,P et HUGUENEY,J.(1966). Histoire de l'urbanisme, Antiquité. Paris: Laurens,p63.
- LEVINSON, R. M. (1997). Near-ground cooling efficacies of trees and highalbedo surfaces. Ph. D. Thesis. Berkeley: Department of Mechanical Engineering, University of California and Environmental Energy Technologies Division, LBNL, 148 p.
- LIU et al. (1996). Modelling of turbulent air flow downwind of a model forest edge. Boundary-Layer Meteorology, 77, pp. 21-44.
- MAILLET, L. et BOURGERY, C (1993). L'arboriculture urbaine. Paris édition LD.F , 320 p. Collection Mission du Paysage.
- MALVERTI, X. et PICARD, A. (1994). Les saisons dans la rue. Paris : Les annales de la recherche urbaine, n° 61, Les saisons dans la ville, pp. 114-120.
- MEEROW, A. W. and BLACK R.J. (1993). Envirosapping to conserve energy: a guide to microclimate modification. Florida: University of Florida, 9 p.
- MONTEITH J.L. and U11SWORTH M.H. (1991). Principles of environmental physics. New York : Edward Arnold, 291 p.
- MURET, J. P. et' al. (1987). Les espaces urbains - concevoir,, réaliser, gérer. Paris : édition du Moniteur, 364 p.

MUSY, A. et SOUTTER, M (1991). La physique du sol. Lausanne : Presse polytechniques et universitaires romandes,` Collection Gérer l'environnement, 335 p. -

OKE, T.R. (1987). Boundary layer climates. London and New York : Methuen, Second edition (first edition 1978), 435 p.

PARKER, J. H. (1989). The impact of vegetation on air conditioning consumption. In proceedings of workshop on saving energy and reducing atmospheric pollution by controlling Summer heat islands. Berkeley: Applied Science Division LBL, editors: Garbesi, K et al., (351 p.), pp. 45 - 52.

RAESSI, S. and TAHERI, M. (1999). Energy saving by proper tree plantation. Building and Environnement 34, pp. 565-570.

ROBINTETTE, G. (1972). Plants / people / and environmental quality. Washington, D. C., Department of the Interior, 140 p.

ROODBARAKY, H.J et al. (1994). Experimental observation of the aerodynamic characteristic of urban trees. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 52, pp. 171-184.

SACADURA, J. F. (1982). Initiation aux transferts thermiques. Paris Technique et Documentation, 445 p.

SAILOR et al. (1992). Measured impact of neighborhood tree cover on microclimate. Berkeley- Energy & Environment Division, LBL, University of California, 19 p.

SAILOR, D. J. (1998). Simulations of annual degree day impacts of urban vegetative augmentation. Atmospheric Environment, Elsevier, Vol 32, No 1, pp. 43 - 52.

SAUGIER, B (1996). Végétation et atmosphère. Paris : Dominos, Flammarion, p 149.

SCUDO, G. et al. (1998). Microclimatic effect of vegetation in urban squares. Cases studies in Milan. In : Proceedings of Rebuild, Florence, April 1998, edited by Butera, F. et al. 403 p, pp 129 - 132.

SEGUIN, B (1975). Etude comparée des méthodes d'estimation D'ETP en climat méditerranéen du sud de la France (région d'Avignon). Annales Agronomiques, INRA, pp. 671-691.

SIMPSON, J. R. and Mc PHERSON, E. G. (1998) Simulation of free shade impacts on residential energy use for space conditioning in Sacramento. Atmospheric Environment, Vol 32, No 1, pp. 69 - 74.

STATHOPOULOS, T. et al. (1994). Wind shielding effects of trees on low buildings. *Building and Environment*, 29, 2, pp. 141-150. 1

STEFULESCO, C. (1993). *L'urbanisme végétal*. Paris : I.D.F, 323 p.

UPMANIS, H. (1998). Daytime Summer temperature differences between a green area and its build-up surroundings in a high latitude city. In second urban environment symposium and 13th conférence on biometeorology and aerobiology, November, 2 - 6. Albuquerque: American Meteorology Society, pp. 210 - 211.

UPMANIS, H. et al. (1998). The influence of green areas on nocturnal temperatures in a high latitude city (Göteborg, Sweden). *International Journal of Climatology*, 18, pp. 681 - 700.

VIAN, C et al. (1983). *L'Alhambra de Grenade*. Paris : Atlas, 80 p.

VILAIN, M (1993). *La production végétale*. Deuxième édition, vol 1. Paris édition Lavoisier, 438 p. Collection Agriculture d'aujourd'hui.

VITRUVÉ (1990). *Les dix livres de l'architecture*. Livre 1. Paris : Les Belles Lettres, traduction de FLEURY, P.

VU THANH CA et al. (1998). A numerical model for the urban climate. In second urban environment symposium and 13th conférence on biometeorology and aerobiology, November, 2 - 6. Albuquerque: American Meteorology Society, pp. 6 - 9.

WATANABE, T. (1994). Bulk parametrization for a vegetated surface and its application to a simulation of nocturnal drainage flow. *Boundary-Layer Meteorology* 70, pp. 13-35.

DEUXIEME PARTIE

**Vers une nouvelle méthode d'évaluation de l'impact
du microclimat sur l'usage en espace public extérieur**

CHAPITRE 5

De la méthode à son application.

Chapitre 5 : De la méthode à son application.

5.1. Introduction.

5.2. De la méthode à son application.

5.3. Sites d'étude : choix et présentations.

5.3.1. Place de la Liberté.

5.3.2. Place de l'Indépendance

5.3.3. Place du 1^{er} Mai.

5.4. Coordination entre les différents types de données.

5.4.1. Coordination spatiale « Usage d'une trame spatiale ».

5.4.1.1. D'un point de vue comportemental.

5.4.1.2. D'un point de vue morphologique.

5.4.1.3. D'un point de vue microclimatique.

5.4.2. Coordination temporelle.

5.5. Gestion et traitement des données.

5.6. Techniques utilisées : objectifs et apports.

5.6.1. Caractérisations microclimatiques : mesures des paramètres climatiques.

5.6.1.1. Conditions d'usage et limites des sondes utilisées.

5.6.1.2. Paramètres climatiques mesurés.

5.6.1.3. Caractérisation de la configuration spatiale.

5.6.2. Perception du microclimat : questionnaire auprès des individus.

5.6.2.1. Présentation du questionnaire.

5.6.2.2. Construction de grille d'analyse.

5.6.3. Occupation de l'espace : l'observation vidéo.

5.6.3.1. Recueil des données comportementales.

5.6.3.2. Informations à recueillir.

5.7. Conclusion.

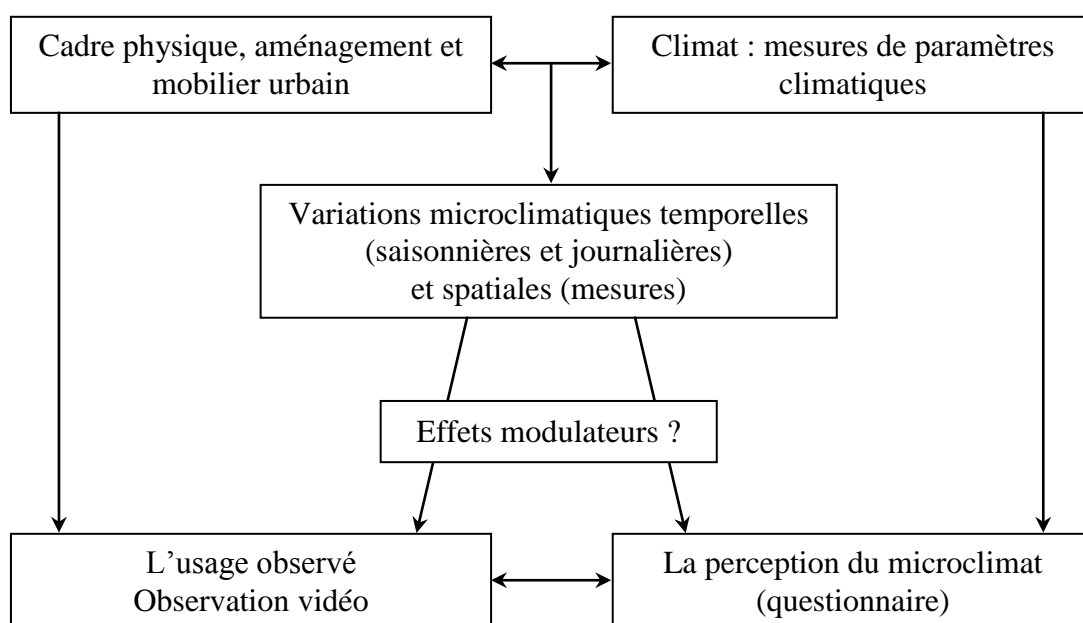
5.1. Introduction.

Nous présentons dans la troisième partie du manuscrit notre propre formalisation de la question de la prise en compte de l'incidence des conditions microclimatiques sur l'usage et la perception des utilisations d'espaces publics extérieurs.

Précisons que notre hypothèse centrale consiste à dire que la relation entre l'aménagement urbain et l'usage est modulée par le microclimat. Les choix effectués par les usagers qui s'installent dans un lieu, en fonction du mobilier urbain sont modulés par les caractéristiques microclimatiques du lieu. Nous pensons que l'attraction d'un mobilier est peut-être dépendante, à un certain niveau, du microclimat. Des différences microclimatiques. Il est évident que les caractéristiques du cadre bâti (configuration spatiale et aménagement urbain) sont les variables les plus ou moins stables. Le microclimat varie dans l'espace et dans le temps.

Dans ce travail, nous examinons cet « effet modulateur » :

- en comparant les répétitions des usagers dans l'espace, leurs activités en fonction des différences microclimatiques à un moment donné au sein du même espace.
- en analysant les effets des variations microclimatiques intervenant, au cours de l'ajournée sur l'usage de l'espace.
- en vérifiant les effets des variations climatiques saisonnières sur la stabilité et les modes d'utilisation de l'espace.



Notons qu'en effectuant nos analyses dans des espaces de communication extérieurs comme des places, nous nous intéressons à une échelle urbaine réduite mais néanmoins suffisamment grande pour que des variations microclimatiques internes à ces espaces puissent surgir. En effet, une étendue de palmier ou de verdure, un bassin d'eau ou même un mur de terre brute ou de béton peuvent contribuer à créer une zone microclimatique particulière à l'intérieur même de la place.

Notre procédé consiste à mettre en liaison des observations vidéo, des entretiens effectués auprès des usagers et des mesures des paramètres physiques du climat. Ainsi, comme le montre le schéma, nous retenons.

- Espace, usage et microclimat perçus (questionnaire) nous effectuons un questionnaire avec les usagers. Nous cherchons à voir si les variations temporelles et les différences spatiales des conditions microclimatiques sont perçues par les usagers, et si pour leurs usages de l'espace les paramètres climatiques sont importants.

- usage observé (observation vidéo) : nous observons l'état momentané de l'utilisateur de l'espace à une plage horaire donnée grâce à un système d'enregistrement vidéo. Nous retenons des descripteurs simples tels que l'orientation de l'activité de l'individu, la position qu'il occupe dans l'espace, ses attitudes corporelles, son allure et son rythme de marche. Notre objectif est d'examiner si l'occupation de l'espace et si les types d'activités sont influencés par les variations et les différences microclimatiques.

- Variations « temporelles » et différences « spatiales » du microclimat (mesures des paramètres climatiques) : nous vérifions la relation entre le degré et la nature de l'utilisation de l'espace et les ambiances climatiques qui le caractérisent. Nous effectuons, pour cela, des mesures des paramètres climatiques, dans plusieurs points de l'espace, cinq fois dans la « journée type », pour deux périodes de l'année ; en période chaude et en période froide. Nous nous limitons dans nos mesures aux conditions de temps calme et ciel dégagé.

Les études du microclimat urbain dans le second chapitre de la première partie de la thèse ont montré que l'état du ciel et la vitesse du vent sont deux paramètres importants surtout pour le bilan énergétique et la sensation de confort thermique et mécanique chez l'individu.

Nous présentons dans cette troisième partie de ce manuscrit, notre propre formalisation de la question de prise en compte de l'incidence des paramètres climatiques sur l'usage que l'individu fait de l'espace. Cette partie s'organise en trois chapitres.

- Dans le premier chapitre, nous présentons l'analyse microclimatique urbaine de la ville de Biskra afin d'établir une corrélation entre les formes urbaines incluant leurs particularités et leurs diversités.
- Dans le deuxième chapitre, nous présentons en détail la méthode que nous avons élaborée afin de répondre à nos objectifs et nos hypothèses.
- Dans le troisième chapitre, nous présentons l'étude de cas ainsi que les résultats obtenus.

Dans le troisième chapitre de la troisième partie de cette thèse, nous abordons dans un premier temps notre contribution. Nous présentons les sites d'étude. Nous traitons successivement les trois techniques que nous avons utilisées (mesures, enquêtes et observations) ainsi que les trois types de données (microclimatiques, morphologiques et comportementales). Une fois les principes, les procédures de collecte et le traitement des données, présentés, nous présentons brièvement le logiciel que nous avons utilisé pour la gestion et le traitement des données.

Enfin, nous terminons, en présentant des résultats relatifs à l'ensemble des analyses faites (microclimatiques, discours recueillis auprès des usagers, observations).

5.2. De la méthode à son application

Pour cette recherche exploratoire trois types d'instruments ont été utilisés pour recueillir les données :

- Un système d'acquisition BABUC/M (cf.§ annexe1) pour les mesures des paramètres climatiques.
- Un questionnaire pour recueillir la perception des usagers sur les espaces et leurs conditions microclimatiques.
- Des enregistrements vidéo pour observer les déplacements et les activités des usagers dans les espaces étudiés.

Ces trois types de données vont être mis en liaison « spatiale » et « temporelle ».

-
- La mise en liaison « spatiale » sera effectuée au moyen d'une technique graphique permettant le report des données microclimatiques et comportementales sur un plan tramé des espaces.
 - La mise en liaison « temporelle » sera effectuée en examinant les relations usagers-conditions microclimatiques en fonction des périodes de la journée et des saisons (chaude et froide).

Nous présentons dans ce chapitre les différentes techniques mises en œuvre dans cette recherche pour appréhender l'influence des conditions et des variations microclimatiques sur l'usage des espaces publics extérieurs, mais avant cela, nous présentons les trois places publiques choisies.

5.3. Sites d'étude : choix et présentation.

Comme site d'étude, nous avons choisi trois places situées dans la ville de Biskra. une ville située dans le Sud-Est algérien. Elle est constituée de plusieurs tissus urbains (traditionnels et contemporains) de morphologies distinctes reflétant des périodes de réalisation différentes.

Elle manifeste une bonne diversité typologique dans son aménagement urbain. Elle comprend de grandes étendues vertes constituée par les jardins publics (Djenane el Beylek, Jardin Landon) et la palmeraie au Sud de la ville.

Le choix de la ville de Biskra comme site d'étude a été guidé également par des raisons pratiques tel que la facilité du recueil des données vu l'existence d'une station météorologique à moins de 10 km de la ville de Biskra et la possibilité d'utilisation de la base de données urbaines des services techniques, ainsi que d'un accès facile aux documents et plans techniques.

Biskra est également une ville de 600 000 habitants ce qui est en conformité avec une étude qualitative comme la nôtre. Les trois places choisies sont à l'échelle de la ville. Elles sont des éléments significatifs et représentatifs dans l'aménagement urbain de la ville de Biskra et des éléments essentiels dans la vie sociale des habitants de cette ville.

Cette ville est donc un bon site d'étude. Dans cette ville, notre choix s'est porté sur la Place de la Liberté, la Place de l'Indépendance et la Place du 1^{er} Mai. Ces trois places sont

localisées dans deux types de tissus présentant deux périodes de conception différentes et donc de densités urbaines différentes : ces trois places sont morphologiquement bien définies. Elles présentent une variabilité de caractéristiques typomorphologiques ce qui nous a amené à supposer qu'elles puissent présenter des variations microclimatiques repérables.

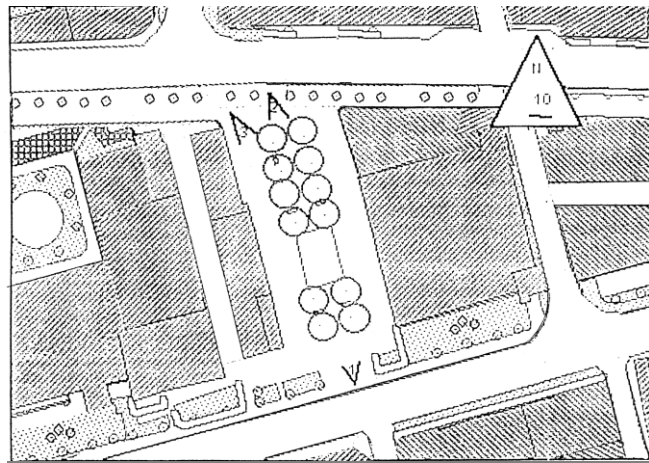


Figure 5.1. Trois places publiques choisies
(BDU : Base de données Urbaines, Direction d'Urbanisme. Biskra)

5.3.1. Place de la Liberté.

La place de la liberté est située, également, dans l'ancien centre, à proximité de l'équipement de la wilaya. Cependant, elle a été réaménagée. On peut donc la qualifier comme une place récente située dans un ancien tissu. Elle donne directement sur une des plus importants boulevards de la ville de Biskra : le boulevard Emir Abdelkader.

Elle est de forme rectangulaire (20×61) m, à caractère plutôt mixte entre le minéral et le végétal. Elle se caractérise par une présence de palmiers de 3 m de hauteur, des eucalyptus d'environ 10 m de hauteur, un grand bassin d'eau, un sol minéral avec un pavage en béton, quelques mobiliers urbains.



Vue 1



Vue 2



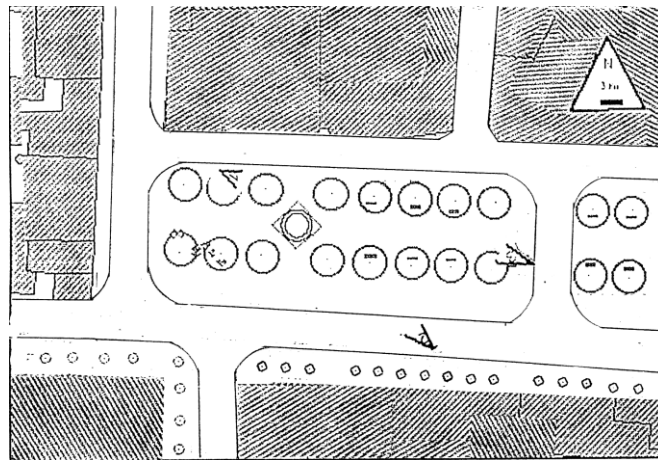
Vue 3

Figure 5.2. Place de la Liberté, plan et vues

5.3.2. La place de l'Indépendance.

Place de l'Indépendance est située dans un tissu contemporain « le quartier des 726 logements. Ce quartier se caractérise par des grands boulevards, des constructions espacées. Cette place est rectangulaire (60×25 m). Son aménagement est assez symétrique. Un grand jet d'eau occupe le centre. Quelques bancs publics sont disposés de part et d'autre.

Elle se caractérise par la présence marquante de végétation composée essentiellement de ficus d'environ 4 m de hauteur.



Vue 1



Vue 2

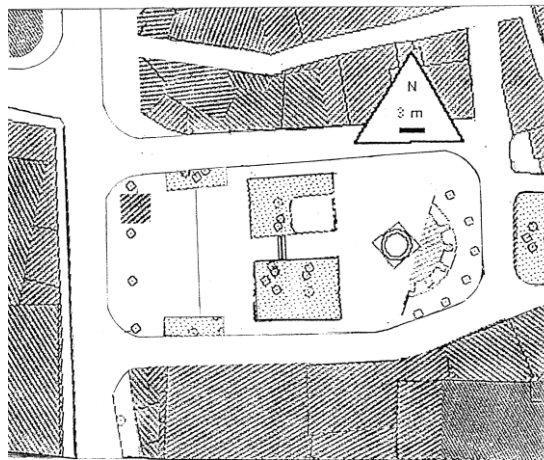


Vue 3

Figure 5.3. Place de l'Indépendance, plan et vues.

5.3.3. Place du 1^{er} Mai.

La place du 1^{er} Mai est située dans un tissu contemporain. Elle est à caractère plutôt minéral. Elle est relativement petite par rapport aux deux autres places choisies. Elle a une forme presque rectangulaire (20×32) m. C'est un espace dégagé bordé de quelques arbres du côté ouest, un grand jet d'eau occupe le centre, la place est entourée d'habitations en majorité en (R.D.C). Géométriquement, le parvis de cette place est presque symétrique par rapport à l'entrée principale de la place avec deux lieux aménagés différemment.



Vue 1

Vue 2



Vue 3

Figure 5.4. Place du 1^{er} Mai, plan et vues.

5.4. Coordination entre les différents types de données.

Dans cette partie, nous exposons la technique que nous avons utilisée pour coordonner les différents types de données de la configuration de l'espace et du cadre bâti, des conditions microclimatiques et usages de l'espace. Nous rappelons qu'il s'agit dans notre méthodologie d'une coordination spatiale réalisée à travers une discrétisation de l'espace et d'une coordination temporelle réalisée à travers une mise en œuvre d'un protocole de mesures et d'observations. Nous récapitulons et nous présentons plus clairement, dans le tableau suivant, les paramètres que nous avons retenus pour notre travail.

	Paramètres	Descripteurs
Paramètres climatiques	Températures	- Température de l'air (°C.) - Température de rayonnement (du globe) (°C)
	Vents	- Vitesse de l'air (m/s)
	Ensoleillement	- Partie au soleil / à l'ombre (observation in situ)
	Humidité	- Température humide (°C)
Caractéristiques architecturales et urbaines	Géométrie et proportions de l'espace	- Hauteur du bâti / largeur de l'espace. - Hauteur moyenne des façades délimitant l'espace.
	Revêtement au sol et aux façades	- Nature des matériaux (brique, terre brute, ...)
	Mobiliers urbains et végétation	- Présence ou non du végétal (type, nature) - Mobiliers urbains : bancs, jets d'eau, fontaine. - Dispositifs architecturaux et urbains : trous sous immeubles, balcons, pilotis, etc.)
	Orientation cardinales de l'espace	- Par rapport à l'ensoleillement.
Usages et activités	Perception de l'espace et du microclimat (recueillie à partir d'un questionnaire avec les usagers)	- Perception de l'espace. - Choix et préférence de lieu d'emplacement dans l'espace. - Raisons de fréquentation des lieux, fréquence de l'usage des lieux. - Perception de l'ambiance microclimatique (période chaude et période froide)
	Comportements et usages observés	- Densité d'occupation des lieux. - Durée et stabilité d'occupation des lieux. - Modes d'occupation des lieux : traversée rapide, promenade, station. - Orientation de l'activité : selon les aspects corporels et le rythme de marche.

Tableau 5.1. Tableau récapitulatif des paramètres retenus.

5.4.1. Coordination spatiale « usage d'une trame spatiale ».

Nous avons appliqué au plan de chacune des trois places une partition représentée graphiquement par une trame de cases carrées. Cette trame est un élément fondamental de notre travail. Chacune des cases de la trame mesure (3×3) m soit (9) m². Chaque case est identifiée par un repérage alphanumérique, par exemple : A8, D13 (voir application sur les trois places à Biskra plus loin).

Cet élément fondamental permet des relevés et des exploitations faciles des données. Cette partition en trame carrée permet de mettre en liaison les différentes données comportementales, les mesures climatiques et les caractéristiques morphologiques recueillies dans l'espace public en question. Une telle partition facilite l'exploitation des différentes données en utilisant un logiciel « Visual Dbase IV » et un logiciel (SIG) permettant le traitement graphique de ces données « Map Info ». Nous avons essayé d'ajuster cette trame à chacune des trois places choisies, de manière à pouvoir insérer le mobilier dans ces cases carrées et d'éviter au maximum d'avoir un élément de mobilier urbain partagé entre deux cases.

Cette valeur de (3×3) m² peut être modifiée en fonction des objectifs recherchés et des informations à recueillir.

Dans notre cas, la valeur de (3×3) m² a été choisie en tenant compte des trois types de variables et de paramètres comportementaux, microclimatiques et morphologiques.

5.4.1.1. D'un point de vue comportemental.

Cette partition en cases de (3×3) m² sert à reporter les positions des usagers et leurs activités sur chacune des cases carrées. La surface de ces cases peut présenter l'espace qui délimite les interactions de l'individu avec son environnement immédiat en espace public extérieur. Nous nous référons à la théorie d'E.T.Hall sur l'espace personnel (1977). En espace public extérieur, nous trouvons qu'un espace de (3×3) m² peut parfaitement correspondre à la « distance sociale » dont parle Hall E.T. Cette valeur nous paraît appropriée pour reporter des informations telles que les positions et le type d'activités des usagers. Ainsi, différentes cartes de positions et d'activités peuvent être établies en fonction des caractéristiques individuelles (âge, sexe).

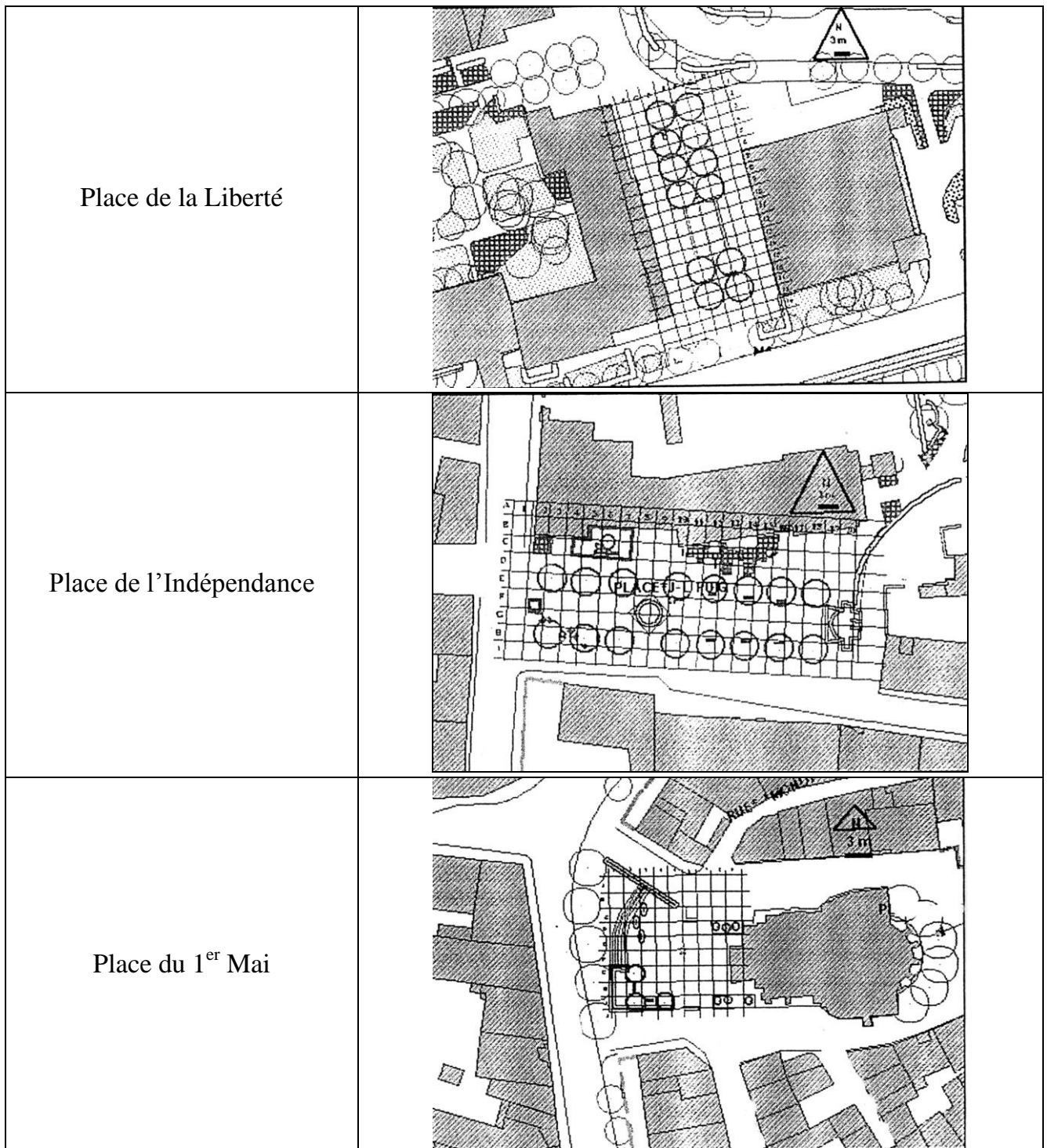


Figure 5.5. Application de la trame de cases carrées aux trois places publiques choisies.

5.4.1.2. D'un point de vue morphologique.

Cette partition en cases de (3×3) m² facilite l'insertion de tout élément de végétation ou de mobilier urbain dans une case précise. Ainsi, la qualification de chacune des cases par des propriétés morphologiques ou par la présence d'arbre, de banc, la proximité d'un point d'eau, la proximité d'une façade, etc. Il est également possible de faire des groupements de cases et constituer des blocs en fonction de la configuration de l'espace et de son aménagement. En faisant des groupements, nous constituons des zones morphologiques plus larges mais homogènes que nous appelons « blocs ». Des blocs présentant des caractéristiques topomorphologiques différentes l'un de l'autre d'un point de vue du mobilier, de la présence de végétal, de l'orientation, du degré d'ouverture, de la hauteur du bâtiment qui le limitent, de la nature des matériaux, ... etc.

5.4.1.3. D'un point de vue microclimatique.

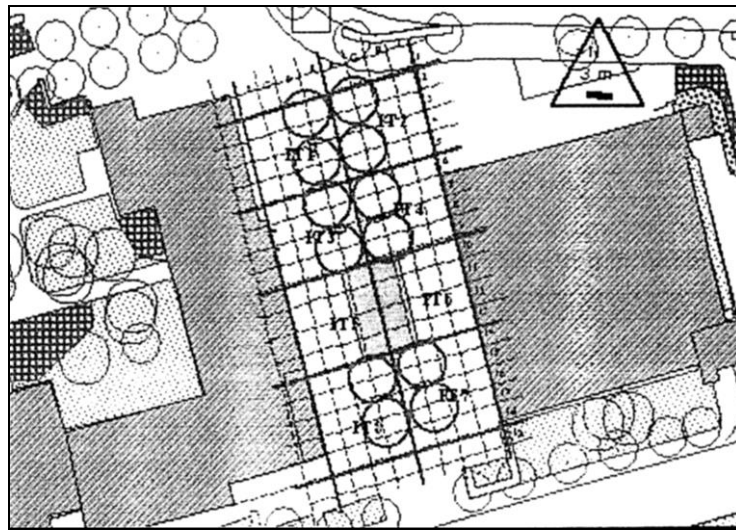
Comme nous venons de le dire, en regroupant les cases adjacentes, nous pouvons constituer des « blocs ». Ces blocs sont des zones qui peuvent être définies par des caractéristiques morphologiques propres et peuvent en conséquence présenter des variations microclimatiques significatives.

La géométrie de l'espace et son aménagement urbain contribuent aux variations microclimatiques, ce qui nous a conduits à localiser et à déterminer les points de mesures en fonction de la trame spatiale. Nous faisons des mesures à des intervalles de distance constants. Nous faisons l'hypothèse que cette mesure est valable pour toutes les cases carrées constituant le bloc.

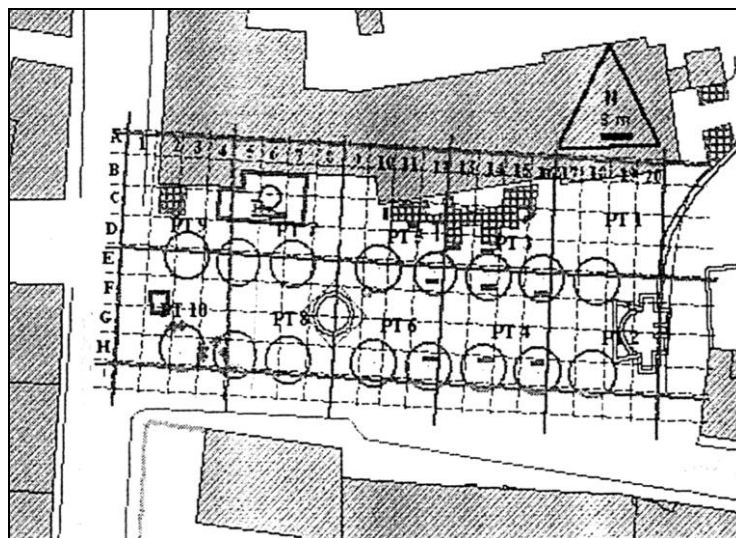
Idéalement, il aurait été cohérent de pouvoir qualifier chaque case par une valeur de température, de vent, d'humidité, etc. Cependant, comme nous allons l'expliquer plus loin, nous devons laisser l'appareil de mesure se stabiliser surtout en passant de l'ombre au soleil, et étant donné le grand nombre de cases carrées, la différence du temps entre la première mesure et la dernière serait certainement très grande. Chaque bloc est constitué de 16 cases.

Nous effectuons la mesure au centre de chaque bloc. Ainsi, nous avons eu 4 points de mesures sur la place du 1^{er} Mai, 8 points sur la place de la Liberté et 10 points sur la place de l'Indépendance.

Le bloc est un élément qui permet la mise en relation des bases de données. Certains éléments se définissent au niveau des cases élémentaires de la trame, d'autres seulement au niveau des blocs. Les liaisons au niveau des blocs sont un choix statistique important. Nous aurons peut-être la possibilité de faire une analyse qualitative plus fine sur les plans au niveau des cases de la trame.



Place de la Liberté



Place de l'Indépendance

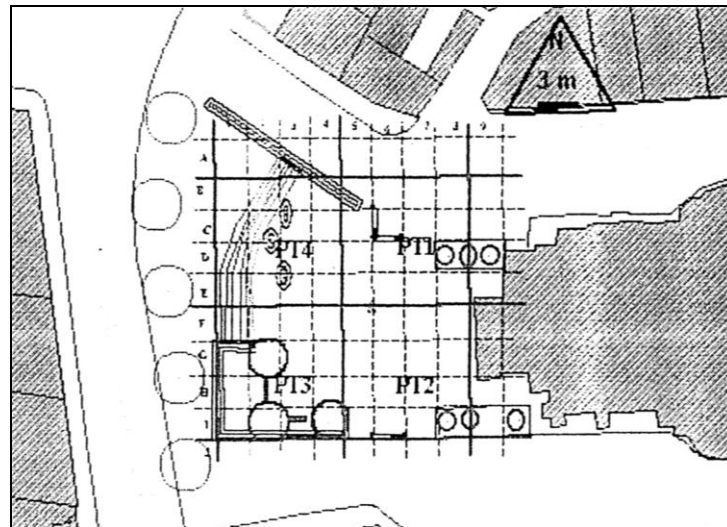
Place du 1^{er} Mai

Figure 5.6. Constitution des blocs et des points de mesures dans trois places choisies.

5.4.2. Coordination temporelle.

Nos effectuations successivement une première série de mesures de paramètres climatiques suivie immédiatement par les enregistrements vidéo. Les mesures et les observations sont effectuées dans une faible unité de temps. Ainsi, nous pouvons relier à ces conditions climatiques et les usages qui s'y développent.

Nous aurions aimé faire notre étude également en temps cyclonique venté n'impliquant pas une gêne mécanique aux usagers des espaces publics. Ces conditions faussent les mesures des paramètres physiques. Les mesures par temps variable, venté ou à ciel couvert, auraient aidé sans doute à relever des lieux où le taux et le mode d'occupation restent stables même dans des conditions extrêmes ou très variables.

Nos mesures et nos observations ont lieu à différents moments au cours de la journée. Pour tenir compte des variations microclimatiques qui peuvent survenir au cours de la journée, sous l'influence croisée de la position du soleil, de la morphologie du bâti, nous avons choisi des périodes de la journée qui, à priori affichent une densité d'usage importante et qui correspondent également à des moments où l'incidence de morphologie sur les facteurs du climat est lisible :

- Le matin, l'usage risque d'être faible au cours de cette plage horaire, mais d'un point de vue microclimatique, une mesure le matin sera indispensable pour examiner l'évolution des différents paramètres au cours de la journée.

- La mi-journée, d'un point de vue climatique, cet intervalle correspond aux moments les plus chauds de la journée. Du point de vue de l'activité des usagers, nous sommes hors des horaires de travail, et c'est un moment important dans l'utilisation et l'occupation des espaces publics par les usagers.

- L'après-midi peut être un moment très important, d'un point de vue usage et microclimatique. Cet intervalle de temps ne sera pas le même en été et en hiver. En été, la journée est plus longue qu'en hiver.

- en été, nous effectuons deux sessions de mesures et d'observations.

- en hiver, nous effectuons une seule session de mesures et d'observations.

Nous faisons nos investigations seulement les jours de semaine ouvrables. Nous aurions aimé étaler cette étude aux week-ends, étant donné que dans un espace public, nous ne pouvons pas séparer l'aspect fonctionnel de l'aspect ludique concernant la fréquentation. Notre étude étant limitée dans le temps, ceci ne nous a pas été possible.

Après la session de mesures microclimatiques et la session de l'observation vidéo, nous effectuons quelques questionnaires avec des usagers de l'espace. La journée de mesure s'organise donc comme suit :

- Première session (8h30 – 9h30)

- mesures entre 8h30 et 9h00

- 20 minutes d'observation entre 9h00 et 9h30

- questionnaires.

- Deuxième session (12h00 – 13h00)

- mesures entre 12h00 et 12h30

- 20 minutes d'observation entre 12h30 et 13h00

- questionnaires.

- Troisième session (16h00 – 17h00)

- mesures entre 16h00 et 16h30

- observation de 20 minutes entre 16h30 et 17h00

- questionnaires.

-
- Quatrième session (seulement en été) (18h30 – 19h30)
 - mesures entre 18h30 et 19h00
 - 20 minutes d'observation entre 19h00 et 19h30
 - questionnaires.

5.5. Gestion et traitement des données.

L'ensemble des données recueillies sera couplé aux mesures climatiques relevées sur les différents terrains. Dans le but d'avoir la possibilité d'organiser et de traiter très facilement les différents types de données en fonction des divers types d'analyses envisagées. L'ensemble des données sera inséré dans un système de gestion informatisé «Visual D-base IV ». Nous utilisons ensuite, un SIG (Système d'information géographique) « Map INFO Professional 4.0 » pour la représentation graphique de nos traitements et résultats (cf.§ annexe 3).

Ce sont deux environnements de bases de données dynamiques permettant de créer des tables de données, de les manipuler et de les croiser. Ainsi, nous avons pu faire des traitements sur l'ensemble des données ou sur certaines parties des données sélectionnées en fonction des critères temporels, des caractéristiques des usagers ou encore de la durée d'utilisation de l'espace public.

Grâce à l'interface entre ces deux logiciels, nous avons pu gérer simultanément nos données. Nous avons pu également construire de petits programmes permettant de filtrer et de sélectionner les informations, sur différents critères, de façon à analyser plus précisément certains aspects des relations entre les usages des espaces et les caractéristiques microclimatiques de ces espaces.

5.6. Techniques utilisées : objectifs et apports.

Dans cette partie, nous présentons notre méthode plus en détail. Nous souhaitons à partir de l'application de cette méthode, examiner la relation entre paramètres microclimatiques et usage en espace public extérieur en prenant en considération les perceptions subjectives et les réactions comportementales des usagers.

Nous présentons, dans cette partie, les différentes techniques mises en œuvre dans la recherche pour appréhender l'influence des conditions et des variations microclimatiques sur l'usage des espaces publics extérieurs. Pour cette recherche, trois types d'instruments ont été utilisés pour recueillir les données. Un système d'acquisition BABUC/M pour les mesures des paramètres climatiques, un questionnaire pour recueillir la perception des usagers sur les espaces et leurs conditions microclimatiques et des enregistrements « vidéo » pour observer les déplacements et les activités des usagers dans les espaces étudiés. Ces trois types de données vont être mis en liaison « spatiale » et « temporelle ». (cf. § 5.5)

5.6.1. Caractérisation microclimatique : mesures des paramètres climatiques.

Généralement, les mesures se prennent à une hauteur d'un mètre et demi du sol approximativement, loin de tous flux de sources de chaleur, d'humidité et des courants d'air, à moins que ce soient les endroits que nous souhaitons évaluer. Dans toutes mesures expérimentales, on doit définir la période ainsi que la durée du temps pour chaque mesure. La période de la mesure doit être sélectionnée en prenant en considération les objectifs des mesures, et la variabilité des paramètres.

Le protocole de mesure, les paramètres dépendent également en grande partie du matériel de mesure utilisé, les possibilités qu'il offre et les limites de son usage. Dans notre cas, pour faire les mesures microclimatiques en milieu extérieur, nous avons deux alternatives. La première est d'effectuer plusieurs mesures de quelques minutes dans le lieu et répéter l'opération trois fois durant la journée : le matin, au milieu de la journée et à la fin de l'après-midi, et si nécessaire dans tous points critiques pendant la journée. La deuxième alternative est d'effectuer une mesure en continu qui couvre tous les changements de la variable mesurée ; de lever au coucher du soleil en espace extérieur. Les limites de l'appareil de mesure « BABUC/M » nous ont amenés à choisir la première alternative.

5.6.1.1. Conditions d'usage et limites des sondes utilisées.

Pour effectuer nos mesures, nous avons utilisé plusieurs sondes raccordées à un système d'acquisition des données bien adapté pour effectuer des mesures d'environnement

appelé le BABUC/M. Ce dernier peut être défini comme un moniteur d'environnement ou une centrale météo (cf. § annexe 1).

Cet appareil de mesure, nous a permis de mesurer la température de l'air, la température globe, la vitesse de l'air ainsi que la température humide.

* Pour la mesure de la température de l'air et la température humide, nous avons utilisé une sonde psychométrique à ventilation forcée (de plus de 4,5 m/s) avec un réservoir d'eau distillée. Cette sonde se caractérise par une cadence d'acquisition de 10 secondes au minimum. Son temps de réponse est estimé à 90 secondes.

* Pour la mesure de la vitesse de l'air, nous avons utilisé une sonde anémométrique portative à fil chaud pour mesures omnidirectionnelles. Cette sonde est caractérisée par une cadence standard de saisie au minimum de deux secondes, un intervalle de mesure qui peut aller de 0 à 50 m/s et un temps de réponse très court de 10 m/s.

* Pour la mesure de la température globe, nous avons utilisé un thermomètre à globe. Sa cadence d'acquisition est de 10 secondes. Par contre, la sonde a un temps de réponse relativement long si elle vient d'un environnement dans lequel la température est différente.

Pour vérifier les temps de réponses de ces sondes, nous avons fait quelques expérimentations durant des conditions climatiques stables : ciel clair et vent faible. Nous avons effectué 1h30 de mesures sans interruption, en alternant les mesures entre l'ombre et le soleil. Trente minutes à l'ombre suivie de 30 minutes au soleil et enfin une deuxième fois 30 minutes à l'ombre.

L'objectif était de déterminer le temps de stabilisation du thermomètre globe en passant de l'ombre au soleil et vice-versa. Les deux points étaient l'un à proximité de l'autre, sauf que l'un était à l'ombre et l'autre au soleil (voir annexe 1)

Nous avons remarqué que la mesure de l'humidité est longue (10 minutes) à se stabiliser tout en début de mesure, par contre elle n'a pas été affectée par le changement de l'appareil « ombre/soleil/ombre ». Seule, la mesure de la température globe a été affectée par ce changement. Dans le cas du passage de l'ombre au soleil, le thermomètre globe met 5 minutes avant que la mesure se stabilise. Par contre, dans le cas du passage du soleil à l'ombre, le temps de stabilisation est plus. L'appareil met 10 minutes avant que la mesure ne se stabilise.

Pour assurer une bonne mesure, nous avons laissé l'appareil de mesure se stabiliser au moins 15 minutes au début de chaque session de mesure. Nous avons effectué les mesures aux points à l'ombre d'abord et ensuite aux points au soleil pour chaque session de mesures. Nous avons fait des mesures de trois minutes à chaque point. L'appareil de mesure a été programmé pour s'arrêter automatiquement une fois les deux minutes expirées.

Afin de valider les mesures du BABUC/M, nous avons également effectué des comparaisons entre des données enregistrées à la station météo avec d'autres données enregistrées avec le BABUC/M. Nous avons placé ce dernier à proximité des pistes de l'aéroport de Biskra où les mesures météo se sont effectuées. (cf. § annexe 1)

6.6.1.2. Paramètres climatiques mesurés.

Pour la caractérisation physique du microclimat des espaces, nous avons donc retenu les mesures des paramètres suivants :

- 1- La température de l'air : cette mesure s'impose donc à des fins de comparaison soit au sein du même espace ou entre espaces urbains.
- 2- Température humide : on mesure facilement l'humidité relative (rapport de la quantité d'eau contenue par l'air à la quantité maximale qu'il peut contenir à une température donnée). Mais on lui préférera une expression absolue de l'humidité, comme l'humidité spécifique, pour mettre en évidence les effets réels d'humidification de l'air. Si la température d'air est connue, cette grandeur se déduit de l'humidité relative au moyen du « diagramme de l'air humide ». C'est alors la température humide que l'on a mesurée.
- 3- La vitesse de l'air est un paramètre indispensable pour qualifier un lieu climatiquement. La vitesse de l'air rend compte des possibilités d'émission thermique d'un espace urbain. Pour cela elle doit être comparée avec les mesures faites à la station météo.
- 4- Le rayonnement solaire : la mesure de cette température permet de voir l'influence des parties ombrées et parties ensoleillées, et permet de déceler les éventuels échanges thermiques entre les surfaces.

Dans chaque espace public, les mesures ont été faites durant une journée en période chaude et une journée en période froide de l'année. Ces mesures ont été faites en conditions stables ; vents faibles et ciel clair. Pour chaque journée de mesure, les mesures de ces

paramètres vont être répétées plusieurs fois durant l'ajournée et en plusieurs points de l'espace. Nous avons fait trois sessions en période froide (hiver) et quatre sessions en période chaude (été).

Ces différentes mesures ont été organisées avec la base de données « Visual Dbase IV », comme suit :

Nom de variables	Définition
Site d'investigation	Elle indique l'espace dans lequel été effectuées les mesures. Chaque espace est identifié par un numéro. A : place de la Liberté. B : place de l'Indépendance. C : place du 1 ^{er} Mai.
Saison	E : été (période chaude) H : hiver (période froide)
Journée d'investigation	C'est la date (jj/mm/aa) de la journée de la campagne in situ. Pour chaque place : - 1 : la journée en période chaude. - 2 : la journée en période froide.
Session de mesure	La session de mesure permet de connaître quand et à quel moment de la journée, les mesures ont eu lieu. Les sessions sont notées selon leur ordre chronologique ainsi : - A : la première session. - B : la deuxième session. - C : la troisième session. - D : la quatrième session (seulement en période chaude)
Le « Bloc »	Le bloc est un regroupement de 16 cases adjacentes (12×12)m ² . Chaque bloc est codé avec un numéro. Ce numéro est le même que le numéro du point de mesures (la mesure est effectuée au centre du bloc)
Température de l'air	Dans chaque site et pour chaque journée d'investigation, une valeur est mesurée.
Température humide	
Vitesse du vent	
Température globe	

Tableau 5.2. L'organisation des mesures des paramètres climatiques dans « Visual D-base ».

Nous rappelons que cette base de données est suffisamment souple pour permettre de rajouter plusieurs autres champs correspondants à d'autres informations ou paramètres possibles sur le climat à obtenir ou à définir dans un espace public pour mieux caractériser son microclimat comme la température opérative, la direction du vent, etc.

5.6.1.3. Caractérisation de la configuration spatiale.

Concernant la caractérisation de la configuration spatiale de nos sites d'étude, nous avons retenu les éléments suivants que nous organisons dans notre base de données de la manière suivante :

Variables	Type de codage
Site d'investigation	Elle indique l'espace dans lequel ont été effectuées les mesures. Chaque espace est identifié par un caractère (A, B, C, ...)
Trame	Chaque case est définie par une abscisse et une coordonnée (exemple : A5, C8, etc.)
Présence de végétal (trame)	Noter si oui (O) ou non (N) il y a du végétal dans la case.
Type du végétal (trame)	Définir s'il s'agit d'arbres d'alignement, de haies, de brousses, de pelouse, etc.
Présence d'un mobilier urbain (trame)	Noter si oui (O) ou non (N) il y a un mobilier urbain dans la case.
Définition du mobilier (trame)	Qualifier le mobilier présent dans la case : banc, poubelle, téléphone, fontaine, terrasse de café, un arrêt de bus, un lampadaire, etc.
Bloc	Chaque bloc a un numéro.
Matériaux au sol (bloc)	Définir les matériaux par bloc au sol : béton, etc.
Matériaux des façades délimitant le bloc.	Définition les matériaux par le bloc aux façades : par exemple brique, béton, etc.
Hauteur moyenne des façades délimitant le bloc.	La somme des hauteurs des bâtiments délimitant le bloc divisé par le nombre de bâtiments.
Orientation de la façade délimitant le bloc	L'orientation de la normale de la façade : Nord, Est, Ouest, Sud.
Distance du point central du bloc % aux façades qui le délimitent.	Reporter à chaque fois l'orientation de la façade accompagnée de sa distance à ce point central. Par exemple : N2, S5, E9, O15 ce qui veut dire que le point central est à 2 mètres de la façade nord, à 5 mètres de la façade sud, etc.
Présence d'un dispositif architectural ou urbain (bloc)	Noter si oui (O) ou non (N) il y a un « dispositif » architectural ou urbain dans le bloc.
La définition du dispositif (bloc)	Définir le dispositif : tel que des pilotis balcon, etc.

Tableau 5.3. Caractéristiques de la configuration spatiale.

5.6.2. Perception du microclimat : questionnaire auprès des individus.

Généralement, le questionnaire est utilisé pour saisir des phénomènes tels que les attitudes, les opinions les préférences, les représentations, etc. qui ne sont pratiquement accessibles que par le langage. Nous avons réalisé un questionnaire, et donc interrogé un certain nombre d'individus en vue d'une généralisation. Ce ne sont donc pas les individus dans ce qu'ils ont de personnel qui nous intéresse mais la possibilité de tirer de ce qu'ils disent des conclusions plus larges. En somme, notre questionnaire vise à susciter un ensemble de discours individuels, à les interpréter et à les généraliser sur la base d'une classification des individus fonction de leurs caractéristiques personnelles (âge, sexe, etc.)

La passation du questionnaire que nous avons établi ne nécessite pas l'utilisation d'appareils complexes. Cependant, les discours recueillis ne peuvent être interprétés que par référence aux conditions dans lesquelles ils ont été produits. La technique du questionnaire présente la difficulté de s'appuyer exclusivement sur le langage, celui du chercheur et ceux des diverses catégories d'enquêtés. De fait, nous travaillons uniquement sur un discours verbal, ce qui pose le problème du sens et de l'interprétation. Les autres difficultés sont liées à la formulation des questions et à l'analyse du contenu des réponses.

Pour obtenir les informations souhaitées, il existe plusieurs techniques définies en fonction de la directivité ou du degré de liberté laissée à la personne enquêtée de choisir le point de vue selon lequel elle répondra, les thèmes qu'elle abordera et les termes qu'elle utilisera. En général, on utilise les termes d'entretien ou d'interview pour les techniques les moins directives, et celui de questionnaire pour les formes d'interrogation où les questions sont formulées d'avance avec un choix de réponses limité.

En tant qu'enquêteur sur le terrain, nous avons veillé à ce que notre attitude ne présente pas un risque de biais. Lors de la passation, nous avons essayé de rester neutres pour ne pas influencer le sujet dans ses réponses. Obtenir une réaction spontanée de la part du sujet aux thèmes auxquels il est soumis est, en effet, très importante. Si le sujet hésitait, nous lui avons laissé le temps de réfléchir, et ne pas lui donner d'indications supplémentaires.

5.6.2.1. Présentation du questionnaire.

Nous avons établi notre questionnaire sous forme d'un tableau en une seule page dans le but de faciliter le recueil et la retranscription des discours des usagers, de faciliter la passation des questions et de rassurer l'interviewé. Nous avons mis les questions d'un côté et nous reportons les réponses de l'autre côté.

Le questionnaire est composé de sept questions dont quatre fermées, trois ouvertes et une partie signalétique. Nous présentons dans l'annexe (3) le texte du questionnaire tel qu'il a été proposé aux interviewés.

Questions ouvertes :

A travers les questions ouvertes, nous cherchons à savoir si les usagers perçoivent l'espace comme une seule unité ou comme plusieurs zones distinctes.

L'objectif est de vérifier si les paramètres climatiques interviennent dans la perception unitaire ou dans la partition qu'ils font de l'espace : un intérêt particulier à certains paramètres microclimatiques (parties ombrées, ensoleillées, ventées, protégées, humides, sec).

Nous voulons également examiner dans quelle mesure les partitions subjectives telles qu'elles sont décrites par les usagers correspondent à des caractéristiques physiques du site (éléments d'aménagement urbain, morphologie, topologie).

Nous cherchons également à estimer si des variations microclimatiques sont ressenties par les usagers et si cette variation est importante pour eux dans l'organisation de leurs activités et leurs usages des lieux. Cette perspective des variations climatiques intervient-elle dans le choix des emplacements et les préférences pour certains endroits de l'espace ? Nous recueillons, ainsi, leur perception de l'espace et l'importance qu'ils accordent aux éléments du climat dans leur fréquentation et appréciation des lieux.

Dans ce questionnaire, les sujets sont peu orientés vers les paramètres climatiques. Nous n'évoquons pas d'emblée les caractéristiques architecturales et les aspects climatiques si le sujet ne les aborde pas lui-même. Progressivement, nous interrogeons les sujets sur l'aspect climatique. Cet aspect est abordé de façon directe seulement à la fin du questionnaire où nous

demandons aux sujets d'évaluer les conditions climatiques les plus gênantes, celles qui risquent de limiter leurs activités dans l'espace public.

Les questions fermées :

Les questions fermées sont orientées vers les sensations climatiques des utilisateurs dans les différents espaces étudiés. Nous recueillons également des informations à propos de la fréquence d'utilisation et le degré de connaissance des lieux, afin de vérifier l'influence du degré de familiarité avec le lieu sur la perception qu'en ont les usagers.

La partie signalétique du questionnaire :

La partie signalétique du questionnaire nous renseigne sur les tranches d'âge, le sexe, la date, l'heure exacte et l'emplacement du déroulement de l'enquête.

Certaines de ces données sont utiles pour identifier l'impact des facteurs personnels sur la perception et l'appréciation climatiques des lieux. Ils seront également confrontés avec les données recueillies lors des observations vidéo.

A travers le tableau suivant, nous récapitulons les objectifs recherchés par chaque question :

Questions de départ	Objectifs du questionnement	Sous thèmes étudiés	Thème central
<p>Comment trouvez-vous cette place ?</p> <p>1. Forme-t-elle une seule unité indissociable ?</p> <p>2. Est-elle formée de plusieurs zones, coins, ou endroits, qu'on arrive à distinguer ?</p> <p>• Lesquels ? En quoi sont-ils distincts ou différents ?</p>	<p>- Elaborer une partition « perceptive » des sites d'investigation : fonctionnelle, formelle ... afin de repérer les éléments du climat qui ressortent dans la perception des usagers.</p> <p>- Examiner si ces partitions subjectives sont fonction des paramètres microclimatiques : parties ombrées, ensoleillées, ventées, protégés, humide, sec, etc.</p> <p>- Examiner si cette perception change d'une période climatique à une autre.</p>	<p>- Eléments physiques du site : aménagement/végétal/bâti/...).</p> <p>- L'importance des paramètres climatiques dans la perception de l'espace.</p> <p>- Les différences microclimatiques (d'un lieu à un autre) sont-elles perçues ?</p>	<p>La perception des usagers de l'espace.</p>
<p>Est-ce que vous pouvez me donner les principales raisons qui vous conduisent à fréquenter cet espace (qu'est-ce vous venez faire ici généralement) ?</p>	<p>- Repérer la nature de l'usage de l'espace.</p> <p>- Repérer des pratiques conditionnées ou modelées par des conditions climatiques, ainsi que le rôle des éléments de l'aménagement urbain.</p> <p>- Faire un classement par ordre d'apparition dans le discours : définir l'importance des paramètres et conditions climatiques.</p>	<p>- Relatif aux conditions du climat.</p> <p>- Relatif à l'aménagement de l'espace.</p> <p>- Relatif à la fonction des lieux (commerce, services, ... ou autres)</p> <p>- Autres raisons : passage, transit , ...</p>	<p>Activités et usage des lieux</p>
<p>Quel est l'endroit(s) que vous appréciez le plus dans la place ?</p>	<p>- Voir si les paramètres climatiques (sans les évoquer) ressortent comme paramètres qui influencent les choix</p>	<p>- Relatif aux conditions du climat (positivement et négativement).</p> <p>- Relatif à l'aménagement de l'espace.</p>	<p>Le choix ou l'appréciation d'un endroit</p>

Pourquoi ?	d'emplacements, les appréciations, les usages des lieux... - Analyser comment s'élabore le choix, préciser les différents facteurs qui l'influencent. Définir l'attractivité d'un lieu précis.	- Relatif à la fonction des lieux (commerce, services ou autres) - Autres raisons : 2...	
Parmi ces conditions climatiques (vent fort, température basse, fort ensoleillement, ...) à votre avis quelle est celle qui limite le plus vos activités dans cette place ? Est-ce que c'est plutôt : (donnez un seul choix svp)	- Identifier les conditions climatiques que les usagers qualifient comme « la plus gênante ». - Examiner les changements en fonction des périodes climatiques.	- Paramètre climatique le plus / le moins gênant : liaison avec paramètres de l'aménagement urbain, les activités dans l'espace.	Activités/condition climatique gênante

Tableau 5.4. Thème et objectifs des questions posées aux usagers

L'enquête de terrain n'a pas fait l'objet d'un échantillonnage au préalable. La population a été interrogée au « tout venant ». Nous avons demandé aux personnes traversant la place ou s'installant quelque part dans la place s'ils ont quelques minutes à nous accorder pour un questionnaire anonyme. Nous leur avons expliqué que c'est un travail de recherche qui concerne quelques espaces publics dans la ville de Biskra. Nous leur avons indiqué que cela ne leur prendra que 5 à 10 minutes au maximum.

Soulignons encore que ni les caractéristiques architecturales, ni les aspects climatiques ne sont évoqués par l'enquêteur si le sujet ne les aborde pas lui-même.

5.6.2.2. Construction de la grille d'analyse.

Pour analyser l'ensemble des discours recueillis, nous avons élaboré la grille d'analyse suivante sous le tableau d'Excel :

Période	Période chaude/période froide
Sujets	Numéro du sujet
Place	La Liberté / L'Indépendance / 1 ^{er} Mai
Date	Date des jours d'investigations
Heure	L'heure du déroulement de l'enquête
Position	L'emplacement du déroulement de l'enquête
Genre	Masculin / Féminin
Age	-15/15-25/25-40/40-55/55+
Fréquentation	Plusieurs f/j – 1f/j – qlqfois/semaine – occasionnellement – 1 ^{ère} fois
Connaissance	Très bien/bien/moyen/pas du tout
Type de perception	Perception de l'espace : Multiple / unitaire
Zones perçues	Description des différentes parties perçues dans l'espace
Climat évoqué	Oui / Non
Paramètres ?	Quels sont les paramètres climatiques qui ont été évoqués dans cette description et perception de l'espace ?
Raisons de fréquentation	1. Fonctionnelles (achats, services, passage...) 2. Récréatives (promenade, visite, attente, ...) 3. Autres
Climat évoqué	Parmi ces raisons, climat évoqué : Oui / Non
Paramètres ?	Quels sont les paramètres climatiques qui ont été évoqués dans les préférences d'un endroit de l'espace ?
Gêne climatique	Un fort ensoleillement / un ciel couvert / une humidité élevée / un vent fort / une température basse / Aucune / Toutes.
Remarques	Faite par les enquêtés suite à cette question
Sensations	Très chaud / chaud / légèrement chaud / bon / légèrement frais / très froid

Tableau 5.5. Tableau récapitulatif schématisant la grille d'analyse du questionnaire.

Nous avons hiérarchisé cet outil explicatif dans le but de produire des résultats en thèmes principaux et en thèmes secondaires de façon à décomposer au maximum l'information, à séparer les éléments secondaires des éléments principaux de signification et à minimiser les dérives d'interprétation. Ainsi, nous avons identifié des thèmes et nous avons construit la grille à partir des hypothèses opératoires de notre recherche. Nous avons ignoré la cohérence singulière des questionnaires au profit d'une cohérence inter-questionnaires. C'est-à-dire que nous avons cherché à défaire la singularité du discours individuel pour procéder à une découpe transversale de ce qui, d'un questionnaire à l'autre, se réfère au même thème.

5.6.3. Occupation de l'espace : l'observation vidéo.

Le choix de l'observation vidéo a été guidé par plusieurs raisons. La principale raison est que cette méthode permet, à notre avis, de contourner le problème de l'appréciation subjective des individus sur leur propre comportement. Cette technique permet également une analyse fine et détaillée du comportement. Concernant l'influence des facteurs climatiques sur les comportements, nous pensons que l'observation est une approche qui complète la technique du questionnaire.

Généralement, il est plus facile de parler de la forme, de l'esthétique, des nuisances, mais quand il s'agit de parler d'ambiance climatique, c'est difficile. Les interviewés ne s'expriment par le langage spontanément que rarement concernant le climat, ses paramètres et ses variations. Ainsi, la technique de l'observation s'avère intéressante à appliquer. Cependant, l'inconvénient de cette méthode reste l'investissement temporel très important qu'elle implique et le transfert de la subjectivité de l'utilisateur à celle de l'observateur.

L'observation est un moyen d'investigation dont les choix techniques dépendent des caractéristiques du phénomène étudié :

- nature et quantité d'information à recueillir.
- nombre et choix des situations et des périodes d'observation.
- localisation spatiale de l'observateur (caméras).

Il est donc indispensable d'encadrer au maximum la tâche de l'observateur, de déterminer la répartition et le découpage temporel des observations, d'établir une grille de codage avec une définition des catégories de codage qui soit la plus précise possible. Il faut également contrôler la fiabilité du codage.

L'identification des emplacements où les personnes restent le plus longtemps nécessite un enregistrement de la durée des stations, et donc une observation continue. Comme nous cherchons à définir la stabilité et la durée d'occupation en fonction des différentes périodes climatiques, ceci impose un mode de codage en continu. Dans une observation en continu avec recueil de durée, la session d'observation doit être définie. Exemple : dix minutes de session d'observation avec un intervalle de codage de trois secondes. Le choix de cet intervalle doit être déterminé en fonction des catégories de comportement ayant les durées les

plus brèves que l'on souhaite prendre en compte dans l'analyse. Un intervalle de codage trop long défavorise les catégories comportementales de courtes durées au profit des comportements de plus longues durées.

Souhaitant prendre en compte des comportements brefs comme les déplacements dans la place, nous avons retenu, sur la base d'une approche empirique préliminaire, in situ un intervalle de codage de cinq secondes. Cet intervalle représente le temps que met un adulte « ordinaire » pour parcourir une distance de cinq mètres. Cela se traduit, sur notre trame, par un passage d'une case à une autre. Ainsi, nous ne risquons pas de perdre des informations au cours de nos relevés pratiques. Nous avons effectué un arrêt image toutes les cinq secondes pour coder le comportement et la position du sujet.

Nous avons jugé qu'une période de 20 minutes est suffisante pour pouvoir collecter les informations nécessaires à l'analyse de l'espace à une période déterminée de la journée.

5.6.3.1. Recueil des données comportementales.

A partir des observations, nous voulions pouvoir recueillir deux types d'information :

- la localisation de l'individu dans l'espace et
- la nature de son activité.

Nous pensons que ces deux types d'information peuvent nous aider à vérifier l'existence des relations entre l'usage et les caractéristiques microclimatiques des différentes zones (blocs, cases) de l'espace.

Enfin, nous avons jugé qu'une période de vingt minutes était suffisante pour pouvoir collecter les informations nécessaires à l'analyse de l'usage de l'espace à une période déterminée de la journée.

Afin de réaliser des observations satisfaisant l'ensemble des exigences formulées ci-dessus, nous avons utilisé un système vidéo constitué de deux caméscopes filmant la totalité de l'espace défini par les places. Ce système nous a permis d'observer en continu et simultanément l'ensemble des usagers présents sur la place, de les localiser et de définir leurs activités.

Dans chaque place, nous avons effectué au moins deux journées d'observation. Une journée en été et une autre journée en hiver. En hiver, nous avons effectué trois

enregistrements ; en été, quatre enregistrements. Chaque session d'enregistrement dure vingt minutes. Nous avons effectué trois sessions d'observation par jour et par place en hiver et quatre sessions en été. Cette répétition d'observation offre une garantie minimale et permet de constituer une base d'observation fiable non imputable à des événements ponctuels.

Pour chaque journée d'investigation, et pour chaque session d'observation, les deux caméscopes ont été placés sur trépied, à une hauteur de 1m50, aux extrémités des trois places choisies (voir figure 5.7.). Ils étaient situés de façon à saisir une image de la totalité de l'air de la place. L'heure est réglée dans les deux caméscopes. La synchronisation des deux caméscopes est assurée par un signal sonore émis au début de chaque enregistrement.

Ce signal nous permet, grâce à une horloge électronique, d'introduire sur les bandes magnétiques un repère visuel de la durée en minutes et en secondes. Cette technique de synchronisation temporelle des enregistrements offre la possibilité de coder la durée des événements observés, même si le sujet sort du champ d'un caméscope pour entrer dans celui de l'autre caméscope.

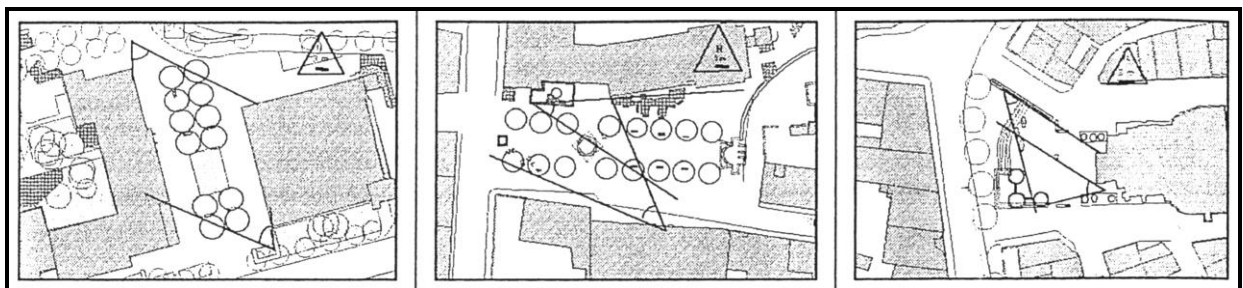


Figure 5.7. Présentation des emplacements des caméscopes et leurs champs de visions dans les trois places.

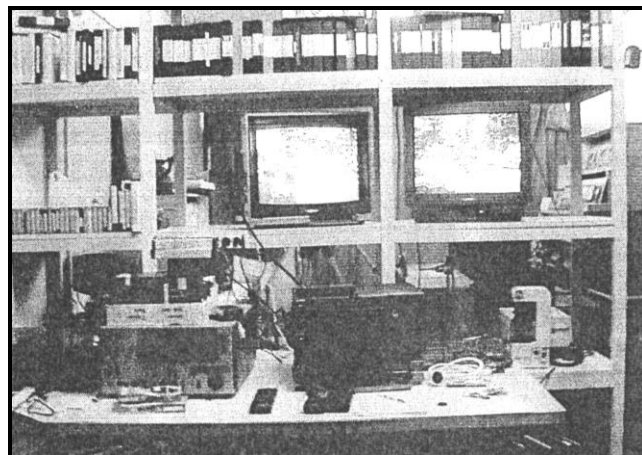


Figure 5.8. Matériel utilisé pour la réalisation du codage comportemental.

5.6.3.2. Informations à recueillir.

Nous faisons un arrêt image toutes les cinq secondes, et nous relevons les positions, et les activités de chaque personne passant par le champ de vision. Les relevés de positions occupées permettent de donner la densité ainsi que la stabilité d'occupation. L'analyse de la répartition des positions enregistrées conduit à une carte de densité d'occupation des différents emplacements d'un site. Par ailleurs, l'analyse de la durée d'occupation permet de repérer les emplacements où sont effectuées les stations les plus longues. Enfin, ce sont les relevés des déplacements, qui feront apparaître les trajectoires utilisées par les usagers pour parcourir la place.

Ainsi, nous pouvons apprécier les emplacements de l'espace public qui sont le plus souvent occupés, ceux dont la durée d'occupation au cours de la période d'observation est la plus importante soit d'une façon permanente par une seule personne ou par succession de plusieurs personnes. Nous pouvons savoir par exemple si l'espace est un simple espace de circulation ou s'il est utilisé pour la promenade. Nous examinons si ces emplacements les plus fréquemment utilisés présentent des caractéristiques climatiques spécifiques.

C'est donc la superposition des observations « instantanées » qui nous donnera la répartition d'ensemble des positions occupées. Ainsi, des concentrations plutôt que d'autres. De même, des variations peuvent être observées au sein du même lieu d'une période climatique à l'autre. En examinant la densité d'occupation, nous vérifions si la répartition des individus dans le même espace varie au cours du temps (période chaude, période froide).

Nous définissons l'orientation de l'activité en fonction de la composante de l'environnement immédiat impliqué dans l'activité de l'individu. Nous distinguons une activité orientée principalement vers la composante humaine constituée par les autres usagers, d'une activité orientée principalement vers des objectifs physiques, qu'ils fassent partie du site ou qu'ils aient été apportés sur le site. Ceci permet de déterminer l'effet des conditions microclimatiques sur la répartition ainsi que l'apparition ou le développement d'un ou plusieurs types d'activités. C'est en examinant les variations de la distribution générale des catégories d'activité dans les diverses situations que nous testons l'effet des conditions

microclimatiques sur les activités des usagers. En conséquence, afin de connaître dans quelles mesures les variations microclimatiques spatiales ou temporelles modifient la distribution des catégories d'activités, nous mettons en correspondance la nature et les fréquences des activités avec les différentes conditions microclimatiques définies par nos mesures.

Les grilles de codage que nous avons utilisées sont présentées de façon détaillée dans les paragraphes, les tableaux et les figures qui suivent :

- Caractéristiques des usagers de l'espace :

Le tableau suivant montre les différents champs qui correspondent aux informations codées concernant l'utilisateur de l'espace. Le recueil vidéo effectué sur le terrain donne lieu à la constitution d'autant de fichiers qu'il y a de sessions de recueil de données. Le compteur est mis à zéro pour chaque session d'observation. Le site, la journée d'investigation, la session d'observation sont des champs qui permettent la mise en liaison des différents fichiers de données.

- Positions des individus et catégories d'activités :

Le nom du site d'investigation, la journée, le numéro d'observation (sujet) seront bien sûr notés. Ce sont ces quatre champs qui servent à mettre en liaison les différentes données codées.

Lorsque plusieurs comportements peuvent être observés simultanément au cours d'un même intervalle, le codage tiendra compte en priorité du comportement traduisant le niveau d'implication avec l'environnement le plus élevé. Par exemple, si la personne utilise un support importé combiné avec du mobilier (support fixe), c'est la catégorie de support importé que nous retenons. Elle reste toujours une combinaison plus ou moins marquée.

Si les prises de vue n'autorisent pas le codage d'un champ quelconque, par exemple une personne de dos ou masquée par d'autres personnes ou un élément du cadre physique. Un code spécial caractérisé par (...?...?) est alors utilisé pour indiquer que l'état est techniquement « non codifiable » à l'intervalle considéré, mais que la personne est présente et localisée dans l'aire d'activité.

Type de variables	Codage	Intérêts
Numéro d'observation (sujet)	Chaque sujet fait l'objet d'une séquence d'observation. Un numéro sera donné à chaque sujet : Les sujets seront notés par ordre d'entrée sur la place.	
Moment d'entrée sur la place	Le moment exact (hh:mm:ss) de l'entrée et de la sortie de la personne codée.	Cela permet de - calculer la durée de la présence dans le site. - savoir si l'espace est utilisé pour la promenade ou si c'est un espace de passage.
Moment de sortie de la place	Suite à cela, nous aurons un champs ou nous marquons : -0 : si nous voyons la personne entrer et sortir de la place. (sujet normal). -1 : si nous ne voyons pas le sujet entrer. -2 : si nous ne le voyons pas sortir. Si la personne sort plus de cinq minutes de la place, nous le considérons comme un autre sujet.	
Tranches d'âges	Pour définir la tranche d'âge de la personne observée et codée, nous nous basons sur deux critères : l'apparence de la personne et la façon dont elle se déplace. Nous avons ainsi établi six catégories : - (1) Les bébés : enfants de bas âges sans autonomie de déplacement. - (2) La petite enfance : les enfants entre 12 mois et 5 ans qui ne peuvent être qu'accompagnés. - (3) L'enfance : enfants ayant entre 6 et 12 ans, autrement dit les écoliers primaires. - (4) Adolescents : personnes ayant entre 12 et 18 ans. - (5) Adultes : personnes ayant selon leurs apparences plus de 18 ans et qui n'ont aucune difficulté de déplacement. - (6) Personnes âgées : les adultes qui ont des difficultés pour se déplacer.	Cela permet d'examiner si des différences apparaissent entre les différentes tranches d'âges ou entre femme et homme dans l'usage de l'espace ou la sensibilité à certains aspects de l'ambiance microclimatiques.
Sexe	F : les personnes de sexe féminin et M : les personnes de sexe masculin.	
Caractéristiques spécifiques du sujet.	si la personne a des caractéristiques spécifiques telles qu'un handicap moteur par exemple, l'information sera également notée.	C'est une information supplémentaire et indicative.
Sujet familier	si la personne a été déjà codée une première fois, nous notons si oui ou non ce sujet a été identifié la première fois et il sera codé comme sujet familier.	C'est également une information supplémentaire et indicative.

Tableau 5.6. Grille de codage de la « Population » : caractéristiques des usagers.

	Codage	intérêt
<i>Numéro d'intervalle</i>	Effectuer un arrêt image toutes les 5 secondes. Pour chaque session d'observation de 20 minutes nous aurons : 240 intervalles de codage de (60/5 *20). L'intervalle de codage est l'unité temporelle minimale durant laquelle un événement ou un état est codé.	A chacun des intervalles de codage de 5 secondes correspond un <i>enregistrement</i>
<i>Trame</i>	Pour chaque site, la position de l'individu est relevée avec précision et notée grâce à la trame carrée où chaque case est définie par une abscisse et une cordonnée (exemple : A5, C8, ... etc.).	L'étude de la densité et modes d'occupation de l'ensemble des usagers ou de certaines de ses sous-ensembles. Ces sous ensembles peuvent être définis sur des critères d'âge ou de sexe.
<i>Bloc</i>	Nous donnons un numéro à chaque bloc. Ce numéro est le même que le numéro du point de mesures. Certains éléments se définissent au niveau des cases élémentaires de la trame, d'autres qu'au niveau des blocs.	Le bloc permet la mise en liaison des bases de données comportementales et microclimatiques.
<i>Accompagnement</i>	- (O) Oui : si la personne est en groupe. - (N) Non : si la personne est seule.	Nous cherchons par l'ensemble de ces catégories à identifier si la personne est en liaison ou non avec son
<i>Activité sociale(S) ou individuelle (I)</i>	- (I) L'activité est individuelle: si l'individu est seul et son activité est orientée vers l'environnement physique et si la personne est dans un groupe mais son activité est individuelle. - (S) Activité sociale : si l'individu est en interaction sociale ou si son activité est orientée vers d'autres personnes.	environnement, utilisant ou non un élément mobile ou immobile de ce dernier. Dans ce cas, nous nous intéressons beaucoup plus à la posture de la personne. Comment la personne se positionne dans l'espace public, avec l'idée que ceci a une liaison avec le confort climatique.
<i>Support d'activité (objet ou animal)</i>	Nous avons défini les catégories suivantes - (AS) <i>absence de support</i> : la personne est arrivée sur la place sans aucun objet ou animal extérieur. - (SI) <i>Support intégré à la place</i> : 1. (ES) <i>élément de structure de la place</i> : comme un muret, c'est-à-dire, un support immobile appartenant à la place. 2. (MU) : éléments du mobilier urbain qui servent de support à l'activité de la personne, comme s'asseoir sur un banc, 3. (SA) <i>support importé (apporté)</i> : l'activité a lieu en présence d'objets ou d'animaux extérieurs : autrement dit un support apporté. Dans cette catégorie, l'utilisateur est en interaction avec un objet ou un animal: jeux, chiens, journal, vélo,...	Nous vérifierons si les emplacements où les usagers effectuent le plus souvent leurs arrêts ont des caractéristiques microclimatiques « spécifiques » et pour quel « usage » les usagers s'arrêtent-ils.

	4. <i>Autres</i> : ex. objet trouvé sur place... 5. (IB) <i>Intérieur d'un Bâtiment</i> : si la personne entre dans un bâtiment : magasin, Eglise, institution, ...).	
<i>Déf du support</i>	Une définition précise de l'objet utilisé : Appareil mobile (vélo, voiture, ...) ou objet fonctionnel comme un balai par exemple.	
<i>Posture corporelle</i>	Nous avons défini les catégories suivantes : <i>D</i> : debout, <i>A</i> : assis et <i>Z</i> : Autres : Assis sur un équipement mobil par exemple.	
<i>Mouvement</i>	Nous avons établi suite à des pré-observations les catégories suivantes : <i>S</i> : Statique, <i>P</i> : petits mouvements, <i>I</i> : marche interrompue, <i>C</i> : marche continu, <i>R</i> : marche rapide, <i>F</i> : utilisant un support fixe, <i>M</i> : utilisant un support mobile.	
<i>Activité attribuée</i>	Pour les qualifier, nous nous basons sui, le but général de l'action. Exemple : si l'activité observée c'est une interaction sociale, nous lui attribuons un sens tel que : la rencontre, la discussion, l'attente, l'observation sociale ou d'un objet.	C'est une qualification de l'activité et des manifestations extérieures du comportement. Ceci donne une « intentionnalité », un sens du comportement que nous venons d'observer.

Tableau 5.7. Grille de codage des positions et des activités.

Enr	CDDOBS	SITE	SAIS	SESS	INTERV	TRAME	ACOMP	ACT	ACTSUP	SUPPOR	POSTU	MOUV	ACT_ATTRIB
1	BE1A001	B	E	A	1	E12	0	S	SA	un cartable	D	S	discuter et fumer une cigarette
2	BE1A001	B	E	A	2	E12	0	S	SA	un cartable	D	S	se prépare à partir
3	BE1A001	B	E	A	3	E10	0	S	SA	un cartable	D	C	il marche et discute jrs avec sujets 2 et 3.
4	BE1A001	B	E	A	4	D09	0	S	SA	un cartable	D	C	il marche et discute jrs avec sujets 2 et 3.
5	BE1A001	B	E	A	5	C09	0	S	SA	un cartable	D	C	il rentre à la maison.
6	BE1A002	B	E	A	1	E12	0	S	MU	Banc	A	F	discutent avec les sujets 3 et 1
7	BE1A002	B	E	A	2	E12	0	S	MU	Banc	A	F	discutent avec les sujets 3 et 1
8	BE1A002	B	E	A	3	E11	0	S	AS		D	C	discutent avec les sujets 3 et 1
9	BE1A002	B	E	A	4	D09	0	S	AS		D	C	discutent avec les sujets 3 et 1
10	BE1A002	B	E	A	5	C09	0	S	AS		D	C	discutent avec les sujets 3 et 1
11	BE1A003	B	E	A	1	E12	0	S	SA	un cartable	D	S	dicute avec le sujet 1 et 3
12	BE1A003	B	E	A	2	E12	0	S	SA	un cartable	D	S	dicute avec le sujet 1 et 3
13	BE1A003	B	E	A	3	E11	0	S	SA	un cartable	D	C	dicute avec le sujet 1 et 3
14	BE1A003	B	E	A	4	D09	0	S	SA	un cartable	D	C	dicute avec le sujet 1 et 3
15	BE1A003	B	E	A	5	C09	0	S	SA	un cartable	D	C	dicute avec le sujet 1 et 3
16	BE1A004	B	E	A	2	C08	N	I	AS		D	C	marche, se dirige vers la voiture garée sur p
17	BE1A004	B	E	A	3	D08	N	I	AS		D	C	marche, se dirige vers la voiture garée sur p
18	BE1A004	B	E	A	4	E06	N	I	AS		D	C	marche, se dirige vers la voiture garée sur p
19	BE1A004	B	E	A	5	F05	N	I	AS		D	C	marche, se dirige vers la voiture garée sur p
20	BE1A004	B	E	A	6	F05	N	I	SA	voiture (garé	D	S	ouvre la porte et monte
21	BE1A004	B	E	A	7	G05	N	I	SA	voiture (garé	A	M	ferme la porte, et se prépare à démarrer
22	BE1A004	B	E	A	8	G05	N	I	SA	voiture (garé	A	M	ferme la porte, et se prépare à démarrer
23	RF1A004	R	F	A	9	F04	N	I	SA	voiture (garé	A	M	démare

Figure 5.9. Exemple de codage des activités (Place de l'Indépendance, période chaude, première session)

Enr	CODOBS	SITE	SAISON	SESSION	TAGE	SEXE	AVAPRES	ENTREE	SORTIE	SJFAMILIE	CARSPECIFI
2	BE1A002	B	E	A	5	M	1	09:30:11	09:30:37		il était sur place au début de l'enregistrement
3	BE1A003	B	E	A	5	M	1	09:30:11	09:30:37		il était sur place au début de l'enregistrement
4	BE1A004	B	E	A	5	M	0	09:30:24	09:31:17		
5	BE1A005	B	E	A	5	F	0	09:30:53	09:31:13		elle rentre à la mairie, je ne la vois pas sortir
6	BE1A006	B	E	A	5	M	0	09:31:41	09:31:58		
7	BE1A007	B	E	A	4	F	0	09:33:35	09:34:42		
8	BE1A008	B	E	A	5	F	0	09:33:52	09:34:33		
9	BE1A009	B	E	A	5	M	0	09:34:35	09:36:18		
10	BE1A010	B	E	A	5	F	0	09:34:58	09:37:05		
11	BE1A011	B	E	A	5	M	0	09:35:16	09:35:33		
12	BE1A012	B	E	A	5	F	0	09:35:16	09:35:33		
13	BE1A013	B	E	A	5	M	0	09:35:26	09:36:21		
14	BE1A014	B	E	A	5	F	0	09:35:28	09:35:43		elle rentre à la mairie
15	BE1A015	B	E	A	1	?	0	09:35:28	09:35:43		
16	BE1A016	B	E	A	5	F	0	09:35:42	09:36:06		elle sort de la mairie
17	BE1A017	B	E	A	5	F	0	09:36:35	09:39:27		
18	BE1A018	B	E	A	5	F	0	09:36:47	09:37:06		
19	BE1A019	B	E	A	5	F	0	09:36:47	09:37:06		
20	BE1A020	B	E	A	5	M	0	09:36:57	09:37:11		il sort de la mairie
21	BE1A021	B	E	A	5	F	0	09:37:22	09:40:20		
22	BE1A022	B	E	A	5	F	0	09:37:22	09:37:48		
23	BE1A023	B	E	A	5	M	0	09:37:46	09:38:26		il rentre à la mairie
24	BE1A024	B	E	A	5	F	0	09:38:18	09:38:36		elle rentre à la mairie
25	BE1A025	B	E	A	4	F	0	09:38:18	09:38:36		elle rentre à la mairie

Figure 5.10. Exemple de codage des caractéristiques des usagers
(Place de l'Indépendance, période chaude, première session)

5.7. Conclusion.

Dans ce chapitre, nous avons essayé de décrire le plus précisément possible, la manière dont nous envisageons la mise en liaison des mesures microclimatiques et les données d'observation. En nous appuyant sur une discrétion spatiale des trois places choisies et en utilisant l'interface d'un logiciel de gestion et de traitement de données « Visual Dbase IV », nous avons proposé une méthode permettant de mettre une liaison l'ensemble des données microclimatiques et comportementales.

L'inconvénient que nous tenons à signaler est le temps d'investigation que le codage implique. C'est une opération très longue à réaliser. Nous avons mis beaucoup de temps pour avoir un ensemble de données comportementales « fiables » pour pouvoir les croiser avec les autres données. Nous avons présenté un par un les trois types d'instruments qui ont été utilisés pour recueillir les données. Le BABUC/M pour les mesures des paramètres climatiques. Un questionnaire pour recueillir la perception des usagers sur les espaces et leurs conditions microclimatiques, et des enregistrements vidéo pour observer les déplacements et les activités des usagers dans les espaces étudiés.

Nous avons montré comment nous comptons mettre en liaison « spatiale » et « temporelle » l'ensemble de ces données. Nous avons vu que la mise en liaison « spatiale » sera effectuée au moyen d'une technique graphique permettant le report des données microclimatiques et comportementales sur un plan tramé des espaces. La mise en liaison « temporelle » sera effectuée en examinant les relations entre l'usage et les conditions microclimatiques en fonction des périodes de la journée et des saisons (chaude et froide).

Nous avons retenu un ensemble de paramètres et d'indices pour caractériser le climat, la morphologie et l'usage et nous avons montré qu'il est possible d'élargir la liste de ces indices descripteurs. Les deux logiciels utilisés « Visual Dbase IV » et « Map Info 4.0 » offrent une certaine souplesse à tout moment pour rajouter d'autres paramètres ou filtrer des données selon des critères particuliers.

Nous avons déterminé un ensemble de catégories pour décrire le comportement de l'individu d'une part et pour décrire l'espace et ses caractéristiques microclimatiques d'autre part. Pour tester la fiabilité de cette grille de codage, il est important de faire coder une session d'enregistrement vidéo, indépendamment par deux codeurs se basant sur les catégories définies. Cela permet d'établir un coefficient qui traduit la concordance entre les deux codeurs à propos des différentes catégories. Ceci est particulièrement important pour les catégories d'activités et le positionnement des individus dans les cases carrées de la grille.

Nous pensons que c'est une vraie innovation dans le domaine du microclimat de pouvoir « quantifier » l'usage et de le mettre en la liaison avec des données climatiques. La partie importante de notre contribution concerne donc la mise au point d'une méthode permettant le couplage des données des mesures microclimatiques et des données d'observation. Cette méthode permet de « quantifier » l'usage et les activités des usagers grâce à la mise au point d'un codage comportemental assez rigoureux. Le seul point négatif de la technique du codage comportemental, nous le rappelons, c'est le « temps » que cette technique nécessite pour sa réalisation.

Dans le prochain chapitre, nous allons appliquer notre méthode à l'étude des trois places. Nous mettons en œuvre des différentes étapes à effectuer pour mener à bien l'application de cette méthode.

CHAPITRE 6

**Application de la nouvelle méthode
sur la ville de Biskra :
Déroulement et exploitation des investigations.**

Chapitre 6 : Application de la nouvelle méthode sur la ville de Biskra : Déroulement et exploitation des investigations.

- 6.1. Introduction.
- 6.2. Caractérisations microclimatiques « mesures ».
 - 6.2.1. Place de la Liberté.
 - 6.2.1.1. Période chaude.
 - 6.2.1.2. Période froide.
 - 6.2.2. Place de l'Indépendance.
 - 6.2.2.1. Période chaude.
 - 6.2.2.2. Période froide.
 - 6.2.3. Place du 1^{er} Mai
 - 6.2.3.1. Période chaude.
 - 6.2.3.2. Période froide.
 - 6.2.4. Synthèse et discussion.
- 6.3. Analyse des discours des usagers « Questionnaire ».
 - 6.3.1. Perception du microclimat et caractéristiques personnelles des usagers.
 - 6.3.2. Caractéristiques microclimatiques dans les discours des usagers.
 - 6.3.2.1. Eléments de découpage spatial de l'espace.
 - 6.3.2.2. Eléments importants intervenant dans la fréquentation des lieux.
 - 6.3.2.3. Eléments participant aux appréciations et aux choix des lieux.
 - 6.3.2.4. Eléments « gênants » limitant l'usage de l'espace.
 - 6.3.3. Synthèse et discussion.
- 6.4. Analyse des observations : modes d'utilisation de l'espace.
 - 6.4.1. Présence de courte durée.
 - 6.4.1.1. Passage rapide sans station.
 - 6.4.1.2. Passage rapide avec station de courte durée.
 - 6.4.2. Présence entre une et deux minutes.
 - 6.4.2.1. Déplacement long sans station.
 - 6.4.2.2. Déplacement long avec une station de courte durée.
 - 6.4.3. Présence de plus de deux minutes.
 - 6.4.3.1. Station de moyenne durée.
 - 6.4.3.2. Station de longue durée.
 - 6.4.4. Synthèse et discussion.
- 6.5. Caractéristiques microclimatiques et usage de l'espace.
 - 6.5.1. Stations.
 - 6.5.1.1. Place de l'Indépendance.
 - 6.5.1.2. Place de la Liberté.
 - 6.5.1.3. Place du 1^{er} Mai.
 - 6.5.2. Cheminements et trajectoires.
 - 6.5.2.1. Place de l'Indépendance
 - 6.5.2.2. Place de la Liberté.
 - 6.5.3. Synthèse et discussion.
- 6.6. Conclusion.

6.1. Introduction.

Dans ce chapitre, en décrivant l'application de notre méthode à l'étude des trois places. Nous montrons la mise en œuvre des différentes étapes à effectuer et à enchaîner pour mener à bien l'application de cette méthode. Nous ne prétendons pas valider l'intégralité de notre méthodologie, mais nous souhaitons démontrer la cohérence de notre démarche.

Dans un premier temps, nous abordons les mesures microclimatiques que nous avons effectuées en vérifiant l'impact des éléments de la morphologie et d'aménagement de l'espace.

Nous traitons ensuite, les questionnaires collectés auprès des usagers. Nous cherchons à vérifier l'impact du microclimat sur leur perception de l'espace, sur leurs choix d'emplacements dans l'espace, sur leurs taux de fréquentation et sur leurs activités.

Nous terminons ce chapitre, par l'analyse des résultats des observations. Nous les mettons en parallèle avec les résultats de mesures microclimatiques.

6.2. Caractérisations microclimatiques « mesures » :

Afin de faire une caractérisation microclimatique des trois places, nous avons effectué des mesures de température sèche de l'air, de température globe, d'humidité relative et de vitesse de l'air.

Nous avons effectué nos campagnes de mesures dans des conditions de temps anticyclonique. Un temps ensoleillé avec ciel dégagé, pas ou peu venté. Des conditions stables durant toute la journée de mesure et caractéristiques d'une période chaude et d'une période froide. Les conditions climatiques ont donc déterminé le choix des jours d'investigation.

Nous signalons que dans la partie qui suit, dans tous les graphes, nous allons utiliser :

- Ta : température de l'air °C
- Tg : température globe °C
- Hr : l'humidité relative de l'air %
- Va ; vitesse de l'air m/s

En période froide, nous pouvons constater que c'est au niveau de la place de la Liberté que nous avons enregistré les plus basses valeurs de température sèche de l'air et de température globe ainsi que les valeurs les plus élevées d'humidité relative de l'air.

	Place du 1 ^{er} Mai 15/01/2005			Place de l'Indépendance 16/01/2005			Place de la Liberté 17/01/2005		
	8:00 10:00	12:00 14:00	16:30 18:00	8:00 10:00	12:00 14:00	16:30 18:00	8:00 10:00	12:00 14:00	16:30 18:00
Hn%	65,21	60	54,50	60,50	55,80	50,40	68,90	60,62	54,87
Ta° C	7	9,80	12,76	7,79	9,85	11,39	4,90	7,46	8,76
Tg° C	7,37	20,75	20,91	9,39	19,25	20,03	5,11	10,88	9,64
Va m/s	0,5	1,88	1,25	0,76	1,35	1,21	1,41	1,84	1,08

Tableau 6.1 : Tableau récapitulatif des mesures climatiques (Les trois places - période froide)

En période chaude, les valeurs les plus élevées ont été sur la place de l'Indépendance.

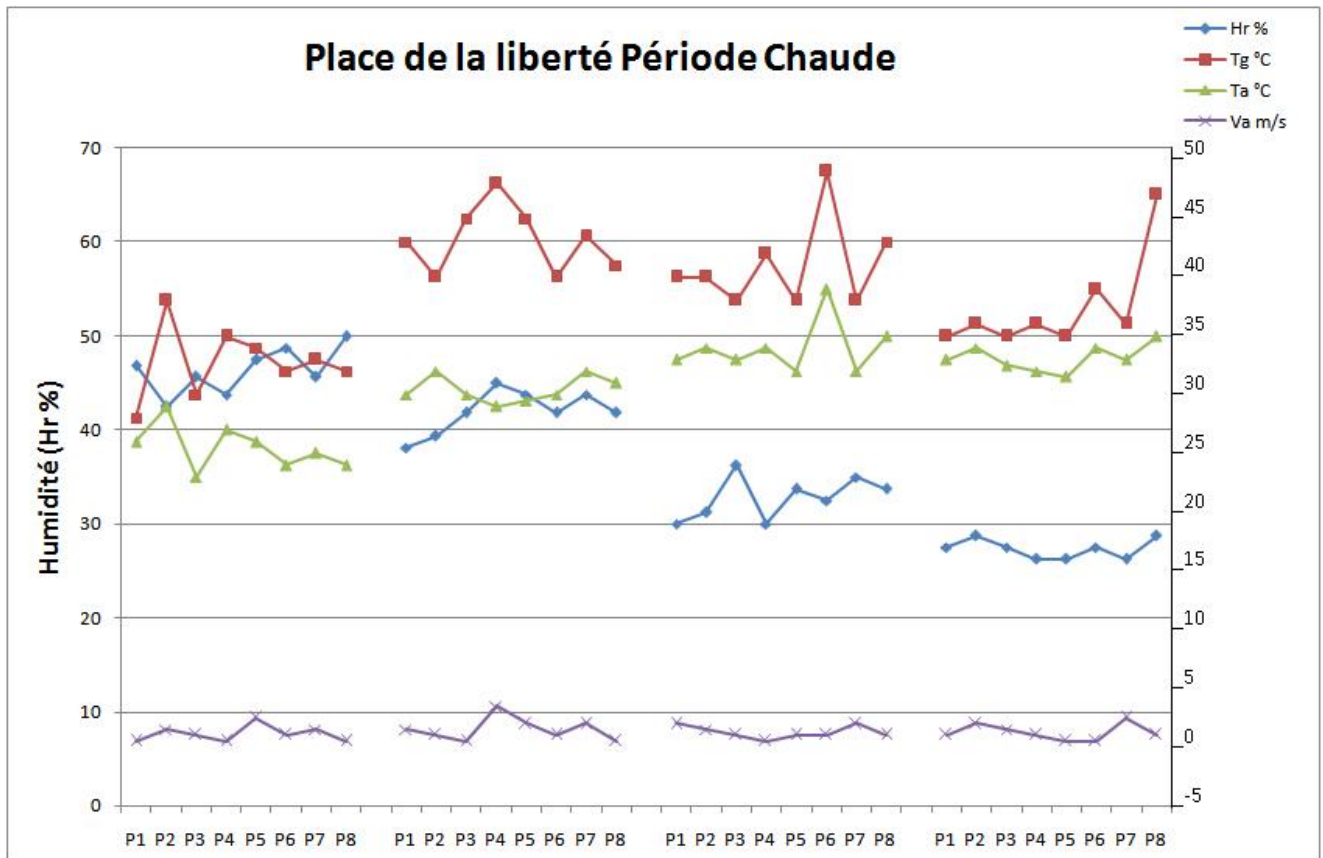
	Place de l'Indépendance 15/07/2005				Place de la Liberté 16/07/2005			
	8:00 10:00	12:00 14:00	16:30 18:00	18:30 20:00	8:00 10:00	12:00 14:00	16:30 18:00	18:30 20:00
Hn%	49,80	41,10	36,50	37,20	47,75	40,61	32,55	27,95
Ta° C	23,50	32,50	39,40	39,54	25,71	30,67	33,87	34,33
Tg° C	28,39	38,94	44,77	44,57	32,97	43,74	40,52	37,89
Va m/s	0,83	1,35	0,97	0,78	0,75	1,55	1,04	0,98

Tableau 6.2 : Tableau récapitulatif des mesures climatiques
(Les deux places - période chaude)

Nous présentons dans la partie qui suit l'exploitation des données climatiques que nous avons recueillies dans les trois places d'abord en période chaude puis en période froide.

6.2.1. Place de la Liberté :

6.2.1.1. Période chaude :



Graph 6.1. Evolution journalière des paramètres climatiques
(Place de la Liberté – période chaude)

Première session.

Le matin, durant la première session de mesure, toute la moitié sud-ouest de la place était à l'ombre des bâtiments, L'ombre est arrivée jusqu'à la limite du bassin d'eau, en conséquence les points 6 et 8 étaient à l'ombre des habitations. Les points 2 et 4 étaient par contre au soleil. Le point 2 est complètement dégagé vers le ciel. De l'autre côté de la place : les points 1, 3 et 7 étaient à l'ombre des arbres. Le point 5, situé à proximité du bassin, est relativement dégagé vers le ciel.

Les points étaient partagés entre l'ombre et le soleil, les températures sèches (Ta) étaient très homogènes dans tous les points. Seul le point 2 fait exception, il affiche une température sèche de l'air un peu plus élevée que les autres points de mesure.

Par contre, nous pouvons constater à partir de la courbe de la température du globe (Tg) que ce sont les points 2, 4 et 5 qui affichent les valeurs les plus élevées. Ce sont les points les plus dégagés vers le ciel.

Le point 8 affiche la plus haute valeur d'humidité (50%) durant cette première session de mesure. Aux points 5 et 6, l'humidité relative est également élevée (48,6% et 48,9%) par rapport aux autres points. Ce sont les points les plus proches du bassin d'eau.

Deuxième session.

Durant cette session, toute la place était au soleil à l'exception des points 2 et 7 qui étaient à l'ombre des arbres. Cela explique les plus faibles valeurs de température globe enregistrées en ces deux points. Cependant, ils affichent les valeurs de température sèche les plus élevées.

Bien que tout le reste des points aient été au soleil, c'est au point 5 que nous relevons la valeur la plus élevée de la température globe, de vitesse et l'humidité relative de l'air. Cela s'explique par le fait qu'il était exposé au soleil depuis le début de la journée et qu'il est également dégagé vers le ciel.

Troisième session.

Durant la troisième session de mesure, c'est la partie nord-est de la place qui était investie par l'ombre des habitations. L'ombre des arbres était également présente dans toute la place, Tous les points de mesures étaient à l'ombre sauf le point 6, ce qui explique les valeurs élevées de température globe (48,71°C) et de températures sèches de l'air mesurées en ce point

Les valeurs de température sèche de l'air aux points de mesures 2, 4, 6 et 8 sont légèrement plus élevées que celles relevées aux points : 1, 3, 5 et 7. Ce sont les points les plus proches de la façade nord-ouest qui est restée ensoleillée durant tout l'après-midi.

L'humidité relative, par contre, est plus élevée de l'autre côté de la place aux points 3, 5 et 7.

Quatrième session.

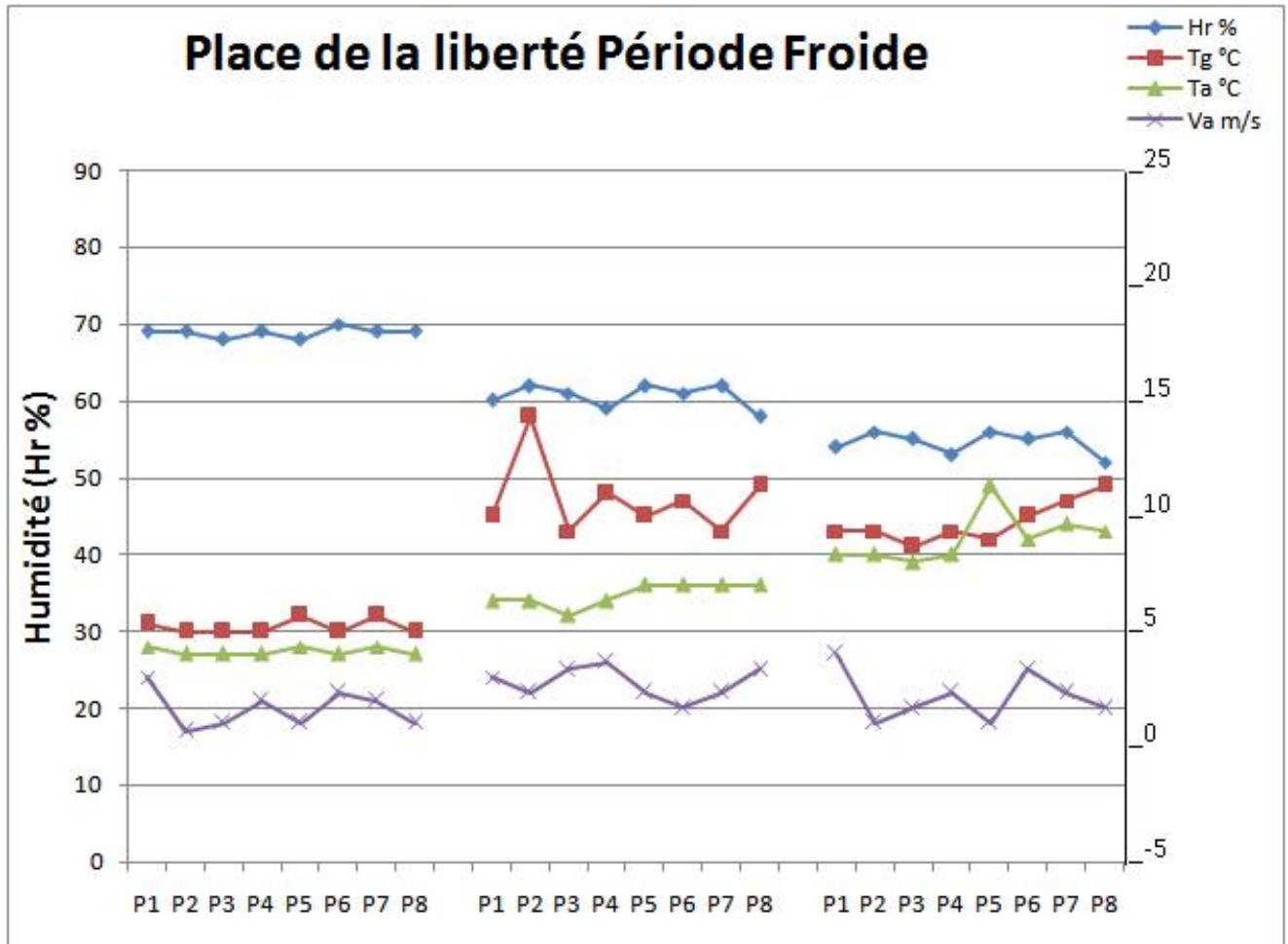
Pendant la dernière session, pratiquement toute la place était à l'ombre à l'exception des points 6 et 8 qui étaient au soleil, ce qui explique les deux valeurs de température globe élevées enregistrées aux points 2 et 4 qui sont à proximité de cette façade, bien qu'ils soient à l'ombre.

En ce qui concerne la température de l'air elle est relativement homogène dans tous les points. La valeur maximum a été enregistrée au point 8 (35°C), le point minimum est enregistré au point 5 situé à proximité du bassin d'eau.

Synthèse.

Au cours de cette journée de mesure, nous avons constaté que la position du point au soleil ou à l'ombre et la durée de son exposition au soleil représente la différence entre les points de mesure. Lors de la deuxième session de mesure et du fait de l'apparition du soleil, la différence était très nette entre la température sèche de l'air et la température globe dans tous les points à l'exception des points 1, 3 et 7. Ces derniers sont restés toute la journée à l'ombre, ce qui explique que les valeurs de la température de l'air et de température globe soient restées très proches l'une de l'autre. Les points 2 et 4 sont passés du soleil le matin vers l'ombre l'après-midi, ce qui explique les valeurs élevées de température globe en fin de journée.

L'humidité relative est plus élevée le matin et à midi du côté des points les plus proches du bassin. En début d'après-midi, ce sont les points 3, 5 et 7 qui affichent les valeurs les plus élevées. Ces points situés du côté qui était à l'ombre toute la matinée, affichent une humidité plus élevée. Ces points se situent de l'autre côté de la place qui était à l'ombre tout l'après-midi.

6.2.1.2. Période froide :

Graphe 6.2. Evolution journalière des paramètres climatiques
(Place de la liberté - période froide)

Première session.

Le matin, lors de la première session de mesure, toute la place était à l'ombre. Le ciel était relativement voilé. Il s'est dégagé au fil de la journée. Durant cette première session de mesure, les surfaces n'avaient pas encore accumulé la chaleur du soleil ; les températures dans tous les points étaient relativement homogènes. La température globe est à peine plus élevée que la température de l'air, l'écart est de l'ordre de 2°C,

Deuxième session.

Au cours de la deuxième session, le soleil est apparu derrière les nuages. Le ciel s'est dévoilé petit à petit. Les mesures aux points 3 et 5 étaient effectuées avec des apparitions solaires timides. Pour les mesures aux points 2, 4, 6 et 8, le soleil était clairement présent.

Ainsi, nous remarquons que la température sèche de l'air qui reste relativement homogène dans toute la place.

Seules les deux courbes d'humidité relative de l'air et de la température globe montrent des variations entre les points 1, 3, 5 et 7 et ceux de l'autre côté de la place 2, 4, 6 et 8. Les deux graphes montrent clairement une forme en zigzag.

Troisième session.

Au cours de la troisième session de mesure, le ciel était complètement dégagé, cependant, tous les points de mesures étaient à l'ombre des habitations sauf les points 7 et 8 qui étaient à l'ombre des arbres.

Pendant cette session, la température de l'air était assez proche de la température globe sauf aux points 7 et 8 où elle était plus élevée. Ces deux points étaient sous l'ombre des feuillages par contre le reste des points était sous l'ombre du bâti.

Synthèse.

Dans l'ensemble, peu de variations ont été enregistrées durant cette journée d'hiver. Le soleil était voilé, durant toute la première moitié de la journée. Une certaine homogénéité dans les différentes valeurs de l'ensemble des paramètres mesurés a été relevée. Les valeurs des températures sèches de l'air et des températures du globe sont restées assez proches les unes des autres, surtout au cours de la première et de la dernière session de mesure

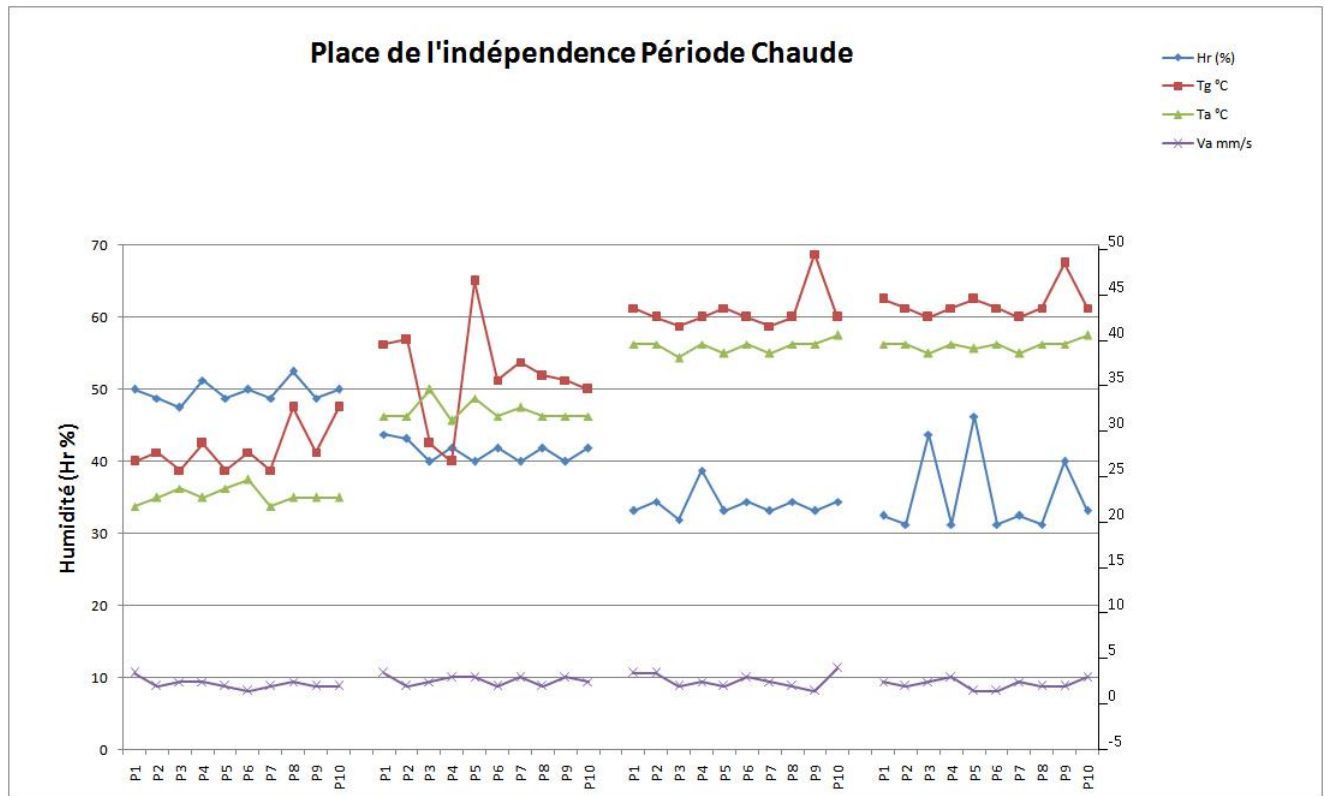
Seuls aux points 7 et 8, restés au soleil relativement plus longtemps que les autres points.

Nous avons enregistré les valeurs les plus élevées de température globe malgré le fait qu'ils étaient à l'ombre des arbres, en fin de journée.

Par contre, dès que le ciel s'est dégagé au milieu de la journée globe et la température de l'air a été enregistrée entre les points 1, 3, 5 et 7 et les points 2, 4, 6 et 8. C'est du côté des points 2, 4, 6 et 8 que la température globe et l'humidité relative étaient plus élevées.

6.2.2. Place de l'Indépendance :

6.2.2.1. Période chaude :



Graph 6.3. Evolution journalière des paramètres climatiques
(Place de l'Indépendance - période chaude)

Première session.

Durant cette première session de mesure, l'espace était partagé entre l'ombre et le soleil. L'ombre portée des arbres coïncidait avec leur alignement sur la place, ce qui a donné deux parties ombrées et une partie centrale ensoleillée. Tous les bancs étaient à l'ombre.

Nous remarquons que la courbe de température globe descend et remonte. Les points 2, 4, 6, 8 et 10 affichent des valeurs relativement élevées par rapport aux autres points qui leur sont opposés (1, 3, 5, 7 et 9). Cela est dû au fait que ces points sont au soleil.

Nous constatons également, que la différence entre la température de l'air et la température globe augmente au fur et à mesure que nous avançons vers le côté ouest de la place. Cela s'explique toujours par la présence du soleil. C'est la partie nord-ouest qui est investie par le soleil la matinée. Dans son évolution, la courbe de l'humidité suit celle de la température globe. Les valeurs aux points 2, 4, 6 et 8 sont plus élevées que celles aux points 3, 5, 7, et 9.

Deuxième session.

Durant la deuxième session, presque toute la place était à l'ombre des arbres, à l'exception des points 1, 2 et 5 qui étaient au soleil. Cela explique les valeurs de température globe élevées enregistrées en ces points.

L'humidité relative de l'air est en baisse par rapport à la première session, cependant elle garde le même profil. Elle est relativement plus élevée du côté des points 4, 6, 8 et 10. Les valeurs les plus élevées sont relevées aux points 1 et 2 les seuls points au soleil.

Troisième session.

Durant la troisième session de mesure, le soleil était du côté sud-ouest de la place et toute la place était à l'ombre des arbres à part les points 9 et 10. Ces deux points se trouvent à l'extrémité ouest de la place et donc ouverts vers le ciel. Le soleil était également du côté sud-ouest de la place, ce qui explique les valeurs élevées de température globe en ces deux points.

La température sèche de l'air est relativement homogène dans tous les points. La plus faible valeur, de température sèche de l'air, a été enregistrée au point 3 et la plus haute valeur a été enregistrée au point 10.

L'humidité relative de l'air a gardé le même profil en zigzag. Elle est plus élevée aux points sur l'allée centrale (2, 4, 6, 8 et 10) qui aux points à proximité de la façade.

Quatrième session.

Au cours de la dernière session, presque toute la place était à l'ombre. Seul le point 9 était au soleil, ce qui explique la valeur élevée de température globe en ce point.

Les points 3, 5 et 9 affichent des valeurs d'humidité plus élevées que les autres points. La situation s'est inversée, ce n'est plus l'allée centrale de la place qui affichait des humidités élevées, c'est du côté de la façade que nous relevons les valeurs les plus élevées. Cela est dû au fait que cette partie de la place est restée ensoleillée toute la matinée.

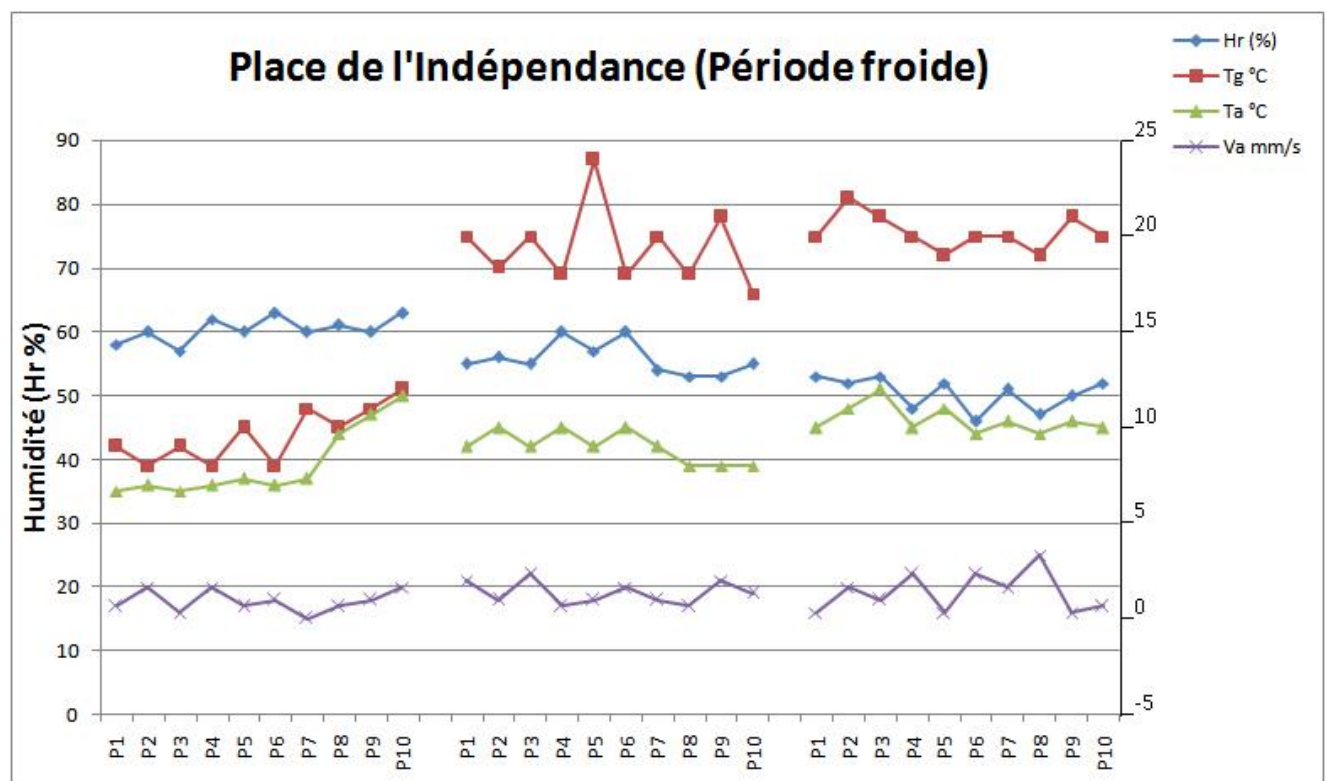
Synthèse.

La température de l'air a augmenté au fur et à mesure de la journée. L'humidité par contre a beaucoup diminué. Concernant la température globe, nous pouvons conclure qu'à cause de l'ombre des arbres une certaine homogénéité dans la température de l'air a été relevée. C'est l'exposition du point au soleil « qui fait la différence ». A part au cours de la première session où la place était partagée entre l'ombre et le soleil, durant les autres sessions, l'ombre des arbres rendait toutes les zones (blocs) homogènes.

L'humidité est plus élevée du côté des points à proximité de la façade le matin et à midi. Par contre, l'après-midi, elle est plus élevée de l'autre côté de la place.

La vitesse de l'air est fluctuante. La valeur la plus élevée a été enregistrée au point 10 durant la troisième session de mesure.

6.2.2.2. Période froide :



Graph 6.4. Evolution journalière des paramètres climatiques (Place de l'Indépendance - période froide)

Première session.

Durant la première session de mesure, tous les points de mesures étaient dans des conditions homogènes. Il n'y avait pas encore de soleil sur la place. Il a fait son apparition au cours de la session de mesure. Les points à proximité de la façade de la place (1, 3, 5, 7, 9 et 10) affichent des valeurs nettement plus élevées de température globe et de température sèche de l'air que ceux de l'autre de la place (2, 4, 6 et 8). Cela est dû à la couleur blanche et au caractère réfléchissant du sol. Par contre, l'humidité relative est plus élevée du côté des points (2, 4, 6, 8 et 10) que de l'autre côté, points (1, 3, 5, 7 et 9).

Nous remarquons les trois graphes de T_a , T_g , et $H_r \%$ s'aplatissent vers les points 6, 8, 9 et 10 situés du côté ouest de la place. Dans cette partie de la place, on a un traitement au sol en béton, différent de l'autre côté qui est en brique rouge. Les points 6, 7, 8 et 9 n'ont pas pu profiter de la chaleur du soleil qui a fait son apparition de l'autre côté de la place.

La courbe de vitesse de l'air connaît également le même profil en *zigzag*. Les valeurs enregistrées sont plus élevées du côté des points 2, 4, 6, 8 et 10 que du côté où il y a les points 1, 3, 5, 7 et 9.

Deuxième session.

Lors de la deuxième session, toute la place était au soleil. La différence entre température globe et température de l'air a manifestement augmenté. La différence entre le côté nord (1, 3, 5, 7 et 9) et le côté sud (2, 4, 6, 8 et 10) est toujours nette.

La valeur la plus élevée de température globe a été enregistrée au point 5 et la valeur la plus basse au point 10. Le point 2 affiche une valeur relativement plus élevée que les points 4, 6, 8 et 10. Il a été le plus exposé au soleil.

L'humidité a toujours le même profil, les valeurs les plus élevées sont enregistrées aux points 2, 4 et 6 et les valeurs les plus basses aux points 7, 8, 9 et 10. Autrement dit, du côté ouest de la place, de l'autre côté du jet d'eau.

Troisième session.

Pendant la troisième session, toute la place était partagée entre l'ombre et le soleil, tous les points étaient dans des conditions homogènes dans tous les points.

La courbe de l'humidité relative de l'air garde la forme en zigzag. Les points du côté nord affichent des valeurs plus élevées que les points du côté sud. Seuls les deux derniers points, côté ouest de la place, 9 et 10 font exception. La vitesse du vent garde également sa forme en zigzag. Par contre, ce sont les points au sud de la place (2, 4, 6 et 8) qui affichent des valeurs plus élevées que ceux au côté nord (1, 3, 5 et 7). Les points 9 et 10 font également exception. La valeur de la vitesse de l'air au point 10 est plus élevée que celle au point 9.

Synthèse.

Au fil de la journée, deux grandes zones se sont distinguées. La première zone est la partie nord de la place à proximité de la façade, où il y a de la végétation. La deuxième zone est la partie centrale de la place, limitée de part et d'autre par les deux rangées d'arbres. Vers les points (2, 4, 6, 8 et 10), du côté nord de la place, nous avons enregistré des valeurs d'humidité relative plus faibles que celles enregistrées de l'autre côté le matin et à midi. L'après-midi, la situation s'est inversée, c'est du côté sud que nous avons les valeurs les plus élevées. Concernant la température globe, le matin et à midi, c'est la partie nord qui affiche les valeurs les plus élevées. La vitesse du vent a le même profil d'évolution que l'humidité relative le matin et évolue à l'inverse dès que le soleil fait son apparition.

Nous avons également remarqué une certaine différence entre le côté est et ouest de la place. C'est du côté est que nous avons le plus de différence entre les points à proximité de la façade de la place et ceux sur l'allée centrale.

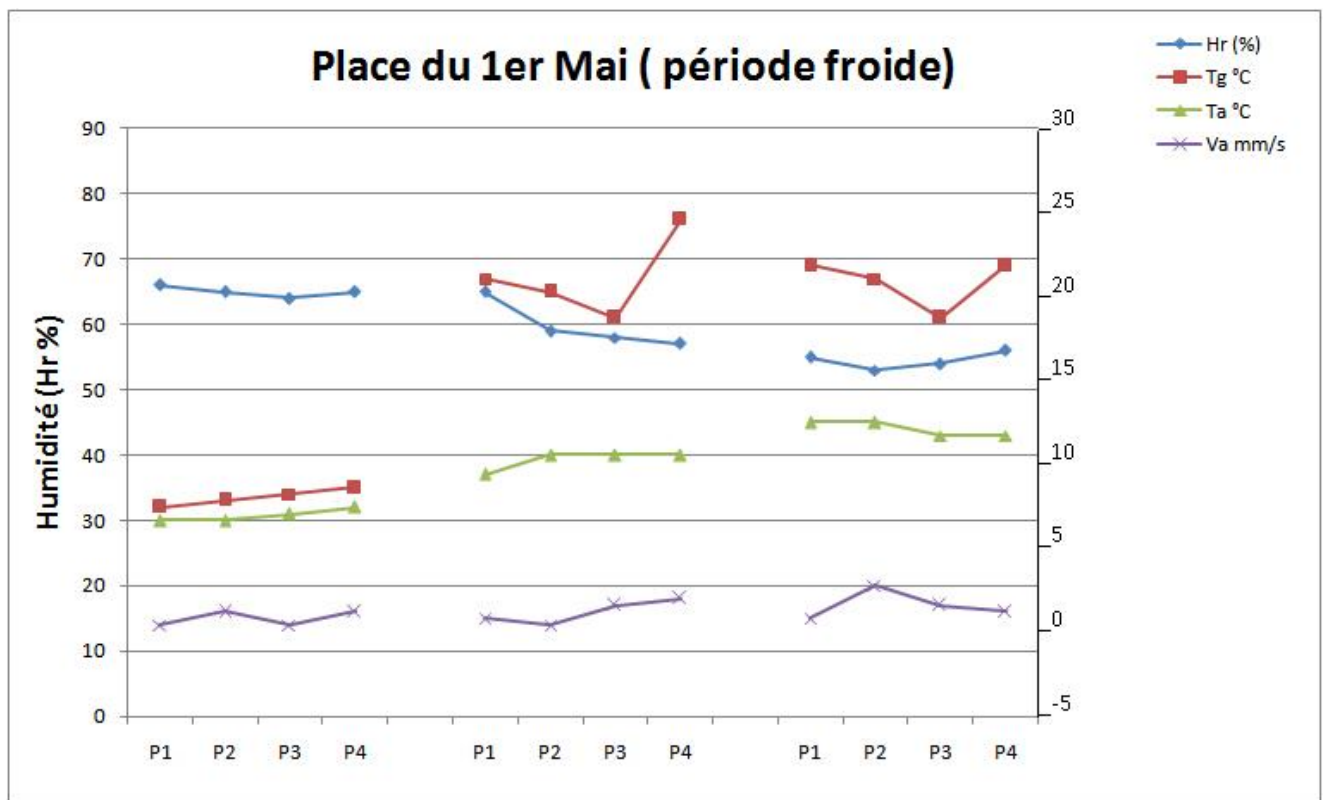
Les valeurs enregistrées du côté ouest sont relativement homogènes. Les valeurs les plus basses sont souvent enregistrées du côté ouest, points (7, 8, 9 et 10).

6.2.3. Place du 1^{er} Mai:

6.2.3.1. Période chaude:

Durant la période chaude, la place du 1^{er} Mai était inaccessible au public à cause des travaux. Nous n'avons donc pu effectuer les mesures et les observations durant cette période.

6.2.3.2. Période froide:



Graphique 6.5 Evolution journalière des paramètres climatiques
(Place du 1^{er} Mai - période froide)

Première session.

Toute la place était à l'ombre au début de la première session des mesures. Le soleil était derrière les brumes matinales. Seules les façades orientées Est étaient au soleil.

L'humidité de l'air est relativement homogène dans toute la place. Cependant, c'est le point 1 qui affiche la valeur la plus élevée durant la première session. La valeur la plus élevée de température globe a été enregistrée au point 4. C'est le point le plus dégagé et le plus exposé au soleil, malgré le fait que le soleil soit voilé.

Les deux points 1 et 3 semblent être protégés contre les courants d'air par rapport aux points 2 et 4.

Deuxième session.

Durant la deuxième session, tous les points étaient au soleil sauf le point n° 3 qui était à l'ombre des bâtiments, ce qui explique la basse valeur de température globe enregistrée en ce point. La température de l'air est relativement homogène dans tous les points y compris le point n° 3.

La valeur la plus élevée d'humidité est toujours enregistrée au point 1. Par contre, ce sont les deux points 3 et 4 qui affichent les valeurs les plus élevées de vitesse de l'air, autrement dit, c'est la partie ouest de la place.

Troisième session.

Durant cette session, tous les points étaient au soleil à part le point n° 3. Il était à l'ombre des feuillages des arbres. A part l'ombre des trois arbres, très allongée vers le côté ouest de la place, toute la place était au soleil.

Concernant le vent, ce sont les deux points 2 et 3 qui affichent les valeurs les plus élevées durant cette session de mesure.

La courbe de la température de l'air est par contre aplatie. Les valeurs de température de l'air sont relativement homogènes dans tous les points. Seul le point n° 2 fait exception. Il affiche une valeur relativement plus élevée que les autres.

Synthèse.

Les valeurs enregistrées sont relativement homogènes dans toute la place, cependant :

- C'est au point 1 que l'humidité était la plus élevée. Bien que, l'après-midi, c'était le point 4 qui a affiché la valeur la plus élevée.
- C'est au point 4 que nous avons enregistré les valeurs les plus élevées de température globe. C'est le point le plus dégagé vers le ciel et le plus exposé au soleil.

- C'est au point 3 les valeurs les plus faibles de température globe et de vitesse d'air ont été enregistrées. C'est le seul endroit où il y a des arbres et des bancs sur la place.

6.2.4. Synthèse et discussion:

A travers l'analyse des caractéristiques microclimatiques des trois places nous avons confirmé le caractère fluctuant des paramètres du climat surtout la température sèche, ainsi que la vitesse de l'air. Ce sont les deux mesures de la température globe et d'humidité de l'air qui traduisent le plus l'impact du cadre bâti sur les mesures microclimatiques.

Nous avons constaté que l'apparition du soleil et la durée d'ensoleillement au cours de la journée jouent un grand rôle dans la création de dissemblances microclimatiques entre les différents espaces d'une place.

Nous retenons également que les différences microclimatiques sont dues en grande partie aux différences d'aménagement urbain spécialement les arbres et la végétation et l'orientation et la durée d'exposition des façades au soleil. La nature des matériaux joue également un rôle important. Nous retenons également que l'ombre des arbres participe à l'homogénéité des conditions climatiques sur la place.

Place de l'Indépendance, nous pouvons au moins distinguer deux grandes « zones ». Si nous prenons le bassin d'eau dans le sens de la longueur comme repère, ça serait de part et d'autre du bassin. Ce qui fait la différence ici, c'est plutôt la variation de l'ensoleillement. Une zone est ensoleillée le matin, l'autre l'après-midi.

- Durant la période chaude, l'humidité relative est plus élevée le matin et à midi du côté des points les plus proches du bassin (points : 5, 6, 7 et 8). En début d'après-midi, c'est la partie à proximité de la façade nord-ouest (points : 1, 3 et 7) qui affiche les valeurs les plus élevées. Ces points sont restés à l'ombre toute la matinée. Par contre, en fin de journée, c'est les points à proximité de la façade sud-est (les points : 2, 4, 6 et 8) qui affichent une humidité plus élevée. Ces points se situent de l'autre côté de la place qui est à l'ombre tout l'après-midi.

- Durant la période froide, peu de variations ont été enregistrées durant la journée de mesure. Le soleil était voilé, durant toute la première moitié de la journée. Nous avons relevé une certaine homogénéité dans les différentes valeurs de l'ensemble des paramètres mesurés.

Les valeurs des températures sèches de l'air et des températures du globe sont restées assez proches les unes des autres. Seuls aux points 7 et 8, exposés au soleil relativement plus longtemps que les autres points, des valeurs élevées de températures globe ont été enregistrées. Dès que le ciel s'est dégagé, au milieu de la journée une différence remarquable entre la température globe et la température de l'air a été relevée entre les points à proximité de la façade nord-est (points : 1, 3, 5 et 7) et les points de l'autre côté de la place à proximité de la façade sud-ouest (points : 2, 4, 6 et 8). C'est du côté de la façade sud-ouest (points : 2, 4, 6 et 8) que nous avons enregistré les valeurs de température globe et d'humidité relative les plus élevées.

Place de la Liberté, quatre zones peuvent être délimitées. Si nous prenons le jet d'eau comme repère : nous pouvons constituer deux parties de part et d'autre, une partie vers l'est (blocs : 1, 2, 3, 4, 5 et 6) et l'autre vers l'ouest (blocs 7, 8, 9 et 10). Chacune des deux parties, à son tour est partagée en deux : une partie nord à proximité de la façade où il y a des haies et broussailles et une autre partie au sud de la place, autrement dit, la partie centrale de la place, limitée de part et d'autre par les deux rangées d'arbres.

Ces différences dans la configuration de l'espace, dans l'aménagement, dans le traitement au sol et de la façade et dans l'orientation des façades, ont impliqué une différence microclimatique.

- Durant la période chaude, à cause de l'ombre des arbres, une certaine homogénéité dans la température de l'air a été relevée. C'est l'exposition ou non des points au soleil qui a fait la différence. L'ombre des arbres rendait toutes les zones (blocs) homogènes. L'humidité est plus élevée du côté des points à proximité de la façade nord le matin et à midi. Par contre, l'après-midi, elle était plus élevée de l'autre côté de la place. La vitesse de l'air est fluctuante.
- Durant la période froide, la distinction entre le côté nord et le côté sud est plus nette. Du côté nord de la place, vers les points (2, 4, 6, 8 et 10), le matin et à midi, nous avons enregistré des valeurs d'humidité plus faibles que celles enregistrées de l'autre côté.

L'après-midi, c'est du côté sud que nous avons relevé les valeurs les plus élevées. Concernant la température globe, le matin et à midi, c'est la partie nord (à proximité de la façade) qui a affiché les valeurs les plus élevées. Ceci est certainement dû au fait que la façade a été ensoleillée toute la matinée. Cette façade est également construite avec un matériau

réfléchissant et de couleur blanche. Nous avons également remarqué une différence entre le côté est (points : 1, 2, 3, 4, 5 et 6) et le côté ouest de la place (points : 7, 8, 9 et 10). C'est du côté est que nous avons le plus de différence entre les points à proximité de la façade et ceux sur l'allée. Les valeurs enregistrées du côté ouest sont relativement homogènes. Les valeurs les plus basses sont souvent enregistrées du côté ouest.

Place du 1^{er} Mai, nous rappelons que nous n'avons pas fait de mesures durant la période chaude. Seules les mesures en période froide ont été effectuées. Nous n'avons pas pu identifier des «zones» microclimatiques distinctes. Les valeurs enregistrées étaient relativement homogènes dans toute la place. Ceci est peut-être dû au fait que cette place manque d'aménagement urbain diversifié. Cependant, le seul endroit aménagé avec des bancs et des arbres se démarque clairement en hiver par une faible température globe associée à une faible vitesse de l'air également, par rapport aux autres points. Ceci est peut-être dû à la présence d'arbres, qui occultent les rayons solaires.

6.3. Analyse des discours des usagers « Questionnaire » :

Rappelons-le, notre deuxième technique consiste à faire des questionnaires auprès des usagers des trois places publiques dans l'objectif de comprendre et vérifier la présence et l'importance des paramètres climatiques dans leurs perceptions et dans leurs évaluations de l'espace. Nous ne cherchons pas dans cette étude à mener une recherche sur les pratiques, les activités et les usages en espace public en général mais nous cherchons à mesurer l'importance accordée aux conditions et aux paramètres climatiques dans l'usage et les activités dans l'espace.

Nous avons donc interrogé 103 personnes sur les trois places. Nous avons retranscrit tous les questionnaires. Nous avons procédé à une lecture flottante de chaque questionnaire afin de prendre connaissance de l'ensemble du corpus et afin d'identifier les thèmes et les dimensions qui apparaissent. Nous avons passé en revue les thèmes abordés dans chaque questionnaire séparément pour en faire ensuite la synthèse.

A partir de chaque questionnaire, nous avons identifié les énoncés correspondant aux sous-thèmes. Ces énoncés sont extraits de phrases.

6.3.1. Perception du microclimat et caractéristiques personnelles des usagers:

Nous avons recueilli des informations à propos de l'interviewé, sa fréquence d'utilisation de l'espace et le degré de connaissance des lieux, afin de vérifier l'influence du degré de familiarité avec le lieu sur la perception qu'en ont les usagers. Nous récapitulons dans le tableau suivant le nombre de personnes interrogées par site :

		1 ^{er} Mai		L'Indépendance				Liberté				3 places
		Hiver	Total	Hiver	Eté	Total		Hiver	Eté	Total		Total
Total		20	19,4%	18	20	38	36,9%	21	24	45	43,7	103
Genre	Masc	09	8,7%	07	07	14	13,6%	11	12	23	22,3	46
	Fém	11	10,7%	11	13	24	23,3%	09	11	22	21,3	57
Tranche d'âge	-15 ans	02	1,9%	01	03	04	3,9%	05	04	09	8,7	15
	15-25 ans	03	2,9%	04	06	10	9,7%	04	03	07	6,8	20
	25-40 ans	07	6,8%	09	06	15	14,6%	01	06	12	11,6	34
	40-55 ans	04	3,9%	01	02	03	2,9%	03	04	07	6,8	14
	+50 ans	04	3,9%	02	04	06	5,8%	05	05	10	9,7	20
Fréquentation	Plusieurs fois/jour	05	05	05	10	15		06	12	18		38
	Une fois Par jour	05	05	01	00	01		03	03	06		12
	Qlqfois Par semaine	05	05	06	04	01		04	07	11		26
	Occasionnellement	05	05	04	05	09		01	03	10		24
	1 ^{er} fois	00	00	01	00	01		00	00	00		01
Connaissance de la place	Très bien	14	14	10	06	16		11	14	25		55
	Bien	04	04	03	03	06		05	04	09		19
	Moyen	02	02	03	03	15		04	03	11		28
	Pas du tout	00	00	00	00	01		00	00	00		01

Tableau 6.3. Tableau récapitulatif des caractéristiques personnelles des usagers interrogés sur les trois places

Le traitement des discours recueillis nous a permis d'observer l'influence de ces caractéristiques personnelles sur la perception du climat, la préférence et la satisfaction envers l'espace et l'environnement immédiat. Nous présentons ci-dessous les plus significatifs vis-à-vis de la sensibilité et la perception climatiques.

- L'âge : la majorité des individus sensibles aux paramètres du climat sont des personnes ayant plus de 55 ans ou moins de 15 ans. Les plus jeunes et les plus âgés sont ceux qui évoquent le plus les paramètres climatiques dans leurs discours. Ceci s'explique peut-être du fait que les plus jeunes et les plus âgés sont les plus disponibles pour explorer ou profiter de leur environnement.

- La « familiarité » avec l'espace : nous estimons le degré de familiarité avec l'espace à partir du degré de connaissance de l'espace et le taux de fréquentation. Nous avons constaté deux cas :

1. Si les usagers sont familiers avec l'espace, les conditions climatiques sont rarement évoquées dans leurs discours, les conditions climatiques font partie de leur milieu environnant, ils sont acceptés telles qu'elles. Pour ses individus habitués aux lieux, les conditions climatiques sont des éléments qui on ne peut pas modifier et sur lesquels on ne peut pas agir.

2. Si les individus ne sont pas familiers avec l'espace et si leur présence dans l'espace ne s'est pas faite par obligation mais par choix, ils sont plus attentifs aux conditions climatiques. Le climat est évoqué dans leur description de l'espace. Ils le qualifient ou le disqualifient par ses caractéristiques climatiques propres. Les conditions climatiques conditionnent leur fréquentation ainsi que leurs appréciations des lieux.

- Type de fréquentation : les personnes qui fréquentent le lieu par choix et non par nécessité, ont une appréciation positive du site et abordent plus les paramètres du climat.

Dans ce chapitre, nous avons considéré que les conditions climatiques représentent des indicateurs de confort perçu lorsqu'ils sont perçus comme agréables. Ainsi les plus forts pourcentages d'individus satisfaits des éléments décrits, renseignent sur les aspects participant au bien-être.

6.3.2. Caractéristiques microclimatiques dans les discours des usagers :

Nous analysons, dans cette partie, comment les paramètres climatiques interviennent dans la perception de l'espace et dans quelle mesure les perceptions subjectives telles qu'elles sont décrites par les usagers correspondent à des éléments d'aménagement urbain et aux caractéristiques morphologiques. Nous observons des moments d'apparition des paramètres climatiques dans le discours des sujets. Nous vérifions l'importance qu'ils accordent aux éléments du climat dans leur fréquentation et appréciation des lieux. Nous verrons également les conditions climatiques qui risquent de limiter leurs activités dans l'espace public.

6.3.2.1. Eléments de découpage spatial de l'espace :

Seulement six personnes, ce qui représente 5,8% de l'ensemble des sujets interrogés, dont deux sur la place du 1^{er} Mai, trois sur la place de l'Indépendance et une sur la place de la Liberté ont évoqué spontanément les conditions climatiques comme paramètre permettant de définir soit l'ensemble de l'espace ou une zone bien précise par ses caractéristiques climatiques. C'est place du 1^{er} Mai que les éléments du climat apparaissent d'une façon très significative dans le découpage spatial de la place. Ceci est dû au contraste existant dans son aménagement. Le fait qu'il y a un seul « coin » avec des bancs et des arbres en contraste avec le reste de la place qui est presque entièrement vide de tout aménagement, (voir plan et vues de la place du 1^{er} Mai). Ceci a fait que la différence même au niveau des caractéristiques climatiques entre cette partie aménagée et le reste de la place sans aménagement est apparue dans le discours des usagers d'une façon nette :

- Exemples de perception d'une partition spatiale : « Y a ce coin où il y a ces bancs et trois petits arbres, et sinon le reste de la place au soleil, en été c'est infernal, là il fait bon c'est pour ça nous sommes venues nous réfugier ici discuter un peu, et ça me permet de surveiller ma petite fille.»
- Exemples de perception d'espace unitaire : « C'est le pavage au sol qui fait qu'elle soit une seule unité. Elle manque de verdure, c'est bien en hiver, elle est bien exposée au soleil, mais en été.

Place de l'Indépendance, le fait qu'il y ait des arbres du type « pins parasols » gardent leurs feuillages même en hiver suffisamment proche les uns des autres pour constituer une couverture continue a fait que les interviewés distinguent plusieurs parties : une « ombrée » au centre de la place encadrée de part et d'autre de deux parties « éclairées et ensoleillées ».

- Exemple de perception d'une partition spatiale : « Les deux passages de part et d'autre et la place centrale avec le bassin, définie par les arbres qui forment un carré ... On dirait des parasols qui font un passage couvert protégé contre le soleil et deux passages découverts de part et d'autre. »

- Exemple de perception d'espace unitaire : « Elle est sympa, homogène, malheureusement ses arbres cachent le soleil,... c'est pour cela je préfère partir au jardin public quand il fait beau. »

Place de la Liberté, l'homogénéité de l'aménagement, spatialement la répartition régulière des arbres tout au long de la place, a fait que majoritairement les usagers la perçoivent comme déséquilibres concernant l'aménagement de la place, spécialement les bancs publics qui sont d'un côté de la place et pas de l'autre.

- Exemple de perception d'espace unitaire : « ... elle est unitaire, agréable,... elle est bien ... »

7.3.2.2. **Éléments importants intervenant dans la fréquentation des lieux :**

Trente-deux personnes (6 à la place du 1^{er} Mai, 12 à la place de l'Indépendance et 14 à la place de la Liberté) soit 31% des personnes interrogées ont évoqué les conditions climatiques comme éléments principaux les conduisant à fréquenter les lieux. Les éléments qui ressortent le plus dans le discours des usagers sont « le soleil » et « le beau temps ».

La place du 1^{er} Mai, bien que nous ayons fait les campagnes en période froide, l'élément climatique le plus évoqué, encore une fois, est « le soleil ». En hiver, dans la majorité des cas, le soleil a été associé au « beau temps » permettant de « sortir se promener » et de « profiter de l'extérieur ». Il a été également associé aux éléments d'aménagement urbain « bancs, bord du muret » dont l'utilisation a été largement liée au « beau temps » ou de « profiter du soleil ». Une seule personne parmi les six a évoqué le soleil comme élément causant un désagrément « Toute la place est au soleil et c'est insupportable » La place n'est pas investie de la même façon en été qu'en hiver. Le fait qu'elle soit ouverte, dégagée et plutôt minérale, la rend agréable en hiver quand le soleil est recherché, et la rend désagréable en été puisqu'elle est très exposée au soleil.

Place de l'Indépendance, la présence des arbres semble être très remarquée et joue un rôle assez important dans la définition du type d'usage de l'espace. Les usagers font souvent des associations entre arbres, ombre et bancs (s'asseoir).

Le plus souvent, cette association a été exprimée comme conditions agréables en été, sans vraiment dire pourquoi, et désagréable en hiver « l'ombre des arbres rend la place sombre ».

Le concept « beau temps » a été prononcé seulement deux fois. C'était pour parler de quelques activités (manger, prendre un café, ...) à la terrasse du café, en endroit dégagé vers le ciel, avec absence d'arbres. Encore une fois, c'est le côté visuel qui prime. C'est le contraste « ensoleillé/ombré (sombre) » qui ressort ici.

Place de la Liberté, un nouvel aspect apparaît. L'équilibre que les usagers font entre l'utilisation des lieux en été et en hiver. Ils associent les bancs, les arbres, le soleil en hiver et l'ombre en été. Ceci est certainement dû au fait qu'il y a une bonne répartition des bancs et des arbres dans l'espace, ce qui leur offre le choix de l'emplacement dans l'espace. En hiver c'est le soleil qui est cherché et en été c'est l'ombre sous les arbres, ce que l'aménagement de cette place permet et satisfait largement.

6.3.2.3. Eléments participant aux appréciations et aux choix des lieux :

La troisième question portait sur l'endroit que la personne préfère et apprécie le plus et pourquoi. 32% des interviewés (33 personnes) ont évoqué le climat comme élément participant à la définition d'un endroit désigné comme le plus apprécié. Nous avons pu constater qu'ils associent souvent cette appréciation à une pratique ou à une activité quelconque ou alors à du mobilier urbain.

Place du 1^{er} Mai par exemple, à l'unanimité, l'endroit préféré est celui où se trouvent les bancs et les arbres. Ceci a été lié au fait que cela permet de profiter du soleil, de l'ombre, de s'asseoir, de discuter et de se reposer... Autrement dit, ce type de configuration offrirait la possibilité de développer beaucoup d'activités récréatives dans la place. A part ce coin aménagé avec des bancs et des arbres, le reste de la place n'offre pas d'opportunités d'usage autres que le « passage et la circulation ».

Place de l'Indépendance, en hiver, cet endroit est exposé au soleil, et en été, il y a l'ombre des arbres. En plus de cela, l'aménagement de la place offre la possibilité d'une ouverture visuelle vers le reste de la place et les rues aux alentours.

Place de la Liberté, c'est la terrasse du café qui capte la totalité des préférences des usagers. Ils font tous la liaison avec « le beau temps, le soleil ». Là aussi, nous nous rendons compte que c'est parce que c'est un lieu qui, par son aménagement et sa fonction leur permet de s'asseoir, de discuter, de prendre un café ou de manger, en étant bien au soleil en hiver. A aucun moment, la terrasse du café n'a été évoquée en association avec l'été et l'ombre. Les bancs sur cette place viennent en deuxième position. Contrairement à la place de l'Indépendance, la présence et la nature des arbres ont fait que les bancs sont appréciés l'été parce qu'ils sont à l'ombre, mais pas en hiver car ils n'offrent pas la possibilité de se mettre au soleil. C'est la raison pour laquelle, en hiver, les usagers préfèrent aller ailleurs, notamment au jardin public qui se trouve juste à côté.

D'autres éléments apparaissent également. Le contraste entre parties éclairées et sombres. Pour la première fois, un élément climatique autre que le soleil et l'ombre, a été évoqué. Il s'agit du vent, désigné comme élément empêchant l'utilisation de l'espace et le rendant désagréable.

6.3.2.4. Eléments « gênants » limitant l'usage de l'espace :

Nous avons abordé la question de la gêne climatique directement avec les usagers en fin du questionnaire, en leur posant comme question qu'est ce qui limite leurs activités (cf. § annexe 3).

Le vent fort et le fort ensoleillement sont les deux facteurs qui ressortent dans le discours des usagers comme facteurs gênants. Souvent, les usagers ont fait une liaison entre fort ensoleillement et l'été.

39 personnes (37,8%) ont déclaré que le vent est le premier élément gênant et limitant leurs activités divertissantes, surtout place de l'Indépendance, 25 personnes (24,2%) ont évoqué le vent fort comme élément gênant. Alors qu'auparavant, cet élément n'a pas été abordé.

Le fort ensoleillement vient en deuxième position, 16 personnes (15,5%) ont déclaré que le fort ensoleillement les gêne dont 9 (8,7%) d'entre elles ont été interrogées place du 1^{er} Mai. Malgré le fait que l'enquête ait été faite en hiver cela n'a pas empêché que le fort ensoleillement soit évoqué comme élément gênant et limitant la fréquentation et les activités sur cette place. La majorité des personnes interviewées relie cette gêne au fait que la place manque de verdure et au fait que le sol soit réfléchissant. La température basse apparaît en troisième position, seulement 12 personnes (11,6%) ont dit que c'est le premier élément. C'est la place de la Liberté que la température basse a été la plus évoquée comme élément gênant.

Huit personnes semblent être gênées par le ciel couvert, dont quatre sur la place de l'Indépendance et trois sur la place de la Liberté.

L'humidité, par contre, semble ne pas être un paramètre gênant pour les usagers.

Nous avons également pu constater que si la personne se désintéresse des lieux, ne faisant qu'y passer, aucune condition climatique n'est gênante pour elle dans l'accomplissement de ses activités. Par exemple « Ce n'est pas mon coin, rien ne me gêne ici, je ne sais pas ... ». Par contre, si la personne investit les lieux et qu'elle le trouve agréable en général, toutes les conditions extrêmes que nous proposons sont gênantes. Ceci l'empêche de profiter des lieux, exemple « toutes ces conditions sont gênantes, ... On ne peut pas s'attabler dehors » ou alors « une basse température, je ne peux pas m'asseoir comme aujourd'hui et lire mon journal c'est sûr, je serai resté au bureau ».

Nous avons remarqué que les usagers qui ont une appréciation positive de l'espace directement liée à des paramètres comme l'aménagement urbain adéquat, la disponibilité des services et l'accessibilité du terrain évoquent le climat positivement dans la qualification des lieux. Si les usagers de l'espace ont une appréciation négative de l'espace, les conditions climatiques ne sont pas évoquées du tout dans leurs discours et si elles le sont c'est plutôt d'une façon négative.

6.3.3. Synthèse et discussion :

A la différence des aspects typo-morphologiques, les aspects climatiques ne sont pas perçus comme éléments pouvant être modifiés dans le but d'une amélioration de l'ambiance

des espaces publics. Les paramètres climatiques sont changeants et perçus comme tels.

Si, parfois, ils sont désagréables (trop froid, trop chaud ...), c'est le rythme naturel des saisons qui est évoqué. Les paramètres climatiques les plus évoqués, sont ceux liés à l'ensoleillement « le soleil, l'ombre, la chaleur ». Souvent c'est l'expression « beau temps » qui est citée pour indiquer des situations agréables. Si l'aspect climatique n'apparaît pas en premier lieu dans les discours individuels, il est reconnu ensuite comme l'un des éléments participant aux choix de l'emplacement (lorsque les usagers souhaitent s'arrêter) ou des cheminements parcourus.

Les évaluations faites par les usagers envers l'environnement ne diffèrent pas l'été et l'hiver. Cependant l'été est plus propice à l'expression des sensations. Globalement, les usagers ont tendance à s'exprimer davantage sur le climat des sites en été qu'en hiver. L'été, le climat est agréable grâce à la lumière naturelle (du soleil) et l'ombre. Cependant, l'air ou le vent, s'il est plutôt perçu comme agréable l'été, ne l'est jamais l'hiver, et les usagers qui en parlent, le font toujours en termes négatifs : il est ressenti comme gênant. L'hiver, c'est le soleil qui est perçu le plus souvent comme l'élément climatique participant le plus à rendre le lieu agréable. Le manque de lumière est gênant. Cependant, la gêne est fortement liée aux types d'usage que la personne fait de l'espace.

Les plus jeunes et les plus âgés sont ceux qui évoquent le plus les paramètres climatiques. Ceci s'explique peut-être par le fait que les plus jeunes et les plus âgés sont les plus disponibles pour explorer ou profiter de leur environnement. Ce sont les personnes qui fréquentent le site de façon régulière (hebdomadaire ou quotidienne) et qui connaissent bien l'espace qui sont les plus positifs envers leur environnement. Si les usagers sont familiers avec l'espace, les conditions climatiques sont rarement évoquées dans leurs discours. Les conditions climatiques font parties de leur milieu environnant, elles sont acceptées telles qu'elles.

Si les individus ne sont pas familiers avec l'espace et si leur présence dans l'espace n'est pour une nécessité fonctionnelle mais par choix, ils sont plus attentifs aux conditions climatiques et ils ont une appréciation positive du site. Le climat est évoqué dans leur description de l'espace. Ils le qualifient ou le disqualifient par ses caractéristiques climatiques propres. Les conditions climatiques conditionnent leur fréquentation ainsi que leurs

appréciations des lieux.

Nous avons également constaté qu'il y avait une perception des variations microclimatiques par les usagers, cependant, il n'y a pas de lien perçu entre les critères typomorphologiques et microclimatiques. Ils sont indépendants aux yeux des usagers. Le lien entre le climat et le bien-être est fait par les usagers dans l'expression des sensations telles que la chaleur (du cœur) ou la froideur (des relations).

Dans l'appréciation du climat, lorsqu'on dit aimer le temps qu'il fait, c'est qu'on se sent bien dans l'endroit dans lequel on se trouve. Le climat seul ne suffit pas pour rendre un lieu agréable, il participe à valoriser ou dévaloriser les caractéristiques physiques du site.

Cet ensemble de résultats souligne que c'est dans l'usage récréatif des espaces publics que leurs caractéristiques climatiques sont perçues comme importantes par les usagers. La perception d'une ambiance agréable passe d'abord par l'aspect « construit visuel » avant l'aspect « ressenti climatique ». C'est parce qu'on aime un lieu pour ses caractéristiques physiques, que l'on va chercher à l'investir. C'est là qu'intervient le climat : en second lieu, dans la perception de l'ambiance. Il devient alors un élément de micro-environnement, et les conditions climatiques sont alors liées aux types d'aménagements en place. C'est seulement par la présence d'aménagements que les usagers perçoivent la possibilité d'améliorer le bien-être climatique. Par exemple « à l'ombre des arbres, sur un banc,... ». Tout se passe comme si après une appréciation globale, les usagers procédaient à une évaluation détaillée ou morcelée du site, déterminant ensuite les pratiques de fréquentation (choix des emplacements, durée de fréquentation ou d'exposition, fréquence des visites).

6.4. Analyse des observations : modes d'utilisation de l'espace :

Dans cette partie, nous définissons les différents modes d'utilisation des espaces observés. Nous cherchons à savoir si la place est un simple espace de circulation ou si elle est utilisée pour la promenade. Nous voulons établir un seuil au-delà duquel nous pouvons parler d'une utilisation de l'espace, mais pas comme un simple espace de circulation ; une utilisation dans le sens de ralentir le pas, passer un moment sur la place ou marquer un arrêt.

Pour cela, nous nous sommes basés sur l'ensemble des données des observations que nous avons codées. Bien que ce soit la « tâche du » codage a nécessité beaucoup de temps

pour être mise en œuvre et ensuite réalisée, cependant son point fort c'est qu'elle nous a permis de « quantifier » l'usage, de simplifier les paramètres relatifs à l'individu généralement difficiles à analyser et approcher. Ainsi, la mise en liaison et le croisement avec les autres données physiques s'avère possible.

Rappelons-le, l'opération du codage s'est déroulée en deux étapes, (cf. § 5.5.3.). La première étape a consisté à enregistrer le moment exact de l'entrée de la personne à la place, sa tranche d'âge, son genre et le moment exact de sa sortie de la place. La deuxième étape a consisté à relever toutes les 5 secondes, les coordonnées de la case de la trame dans laquelle la personne se trouve, si elle est seule ou accompagnée, sa posture corporelle, la nature de son mouvement, si elle utilise ou non un élément structurel de la place, un mobilier, un équipement mobile. Nous rappelons également que toute personne passant devant notre champ de vision a été observée et donc codée. En tout, sur l'ensemble des trois sites, nous avons observé 811 personnes.

Nous avons jugé utile et nécessaire de catégoriser l'usage en fonction de la durée de présence sur place, autrement dit la durée d'utilisation de l'espace. En utilisant l'ensemble des fichiers de codage comportemental et grâce au logiciel Visual Dbase, nous avons calculé la durée de présence, de station et de déplacement de chaque personne observée. Nous avons considéré qu'il s'agit d'une station si l'individu est relevé trois fois successivement dans la même case, autrement dit plus de 15 secondes. C'est l'intervalle de temps pour parcourir une distance allant jusqu'à 15 mètres. Parmi ces stations, nous différencions par la suite une station courte d'une station prolongée.

Nous présentons dans le tableau (7.....), les trois grandes catégories de durée de présence dans les trois places que nous avons retenues. Ces catégories ont été définies en croisant deux critères la durée de déplacement et la durée de station.

Pour les définir, nous avons effectué quelques pré-observations où nous avons chronométré le temps mis par 25 personnes, que nous qualifions comme adultes ordinaires, qui traversent les trois places. Nous avons chronométré des adultes prenant comme chemin la diagonale de chacune des places choisies et se déplaçant seuls ou en groupe. Nous avons calculé un écart type entre les temps de traversées recueillis pour chacune des places. Nous présentons dans le tableau (6.4), le temps de traversée moyen pour chaque site.

Place	1 ^{er} Mai	Liberté	Indépendance
Valeur moyenne (N=25 personnes)	20,60	54,40	50,80
Ecart type	3,90	12,40	8,90
Moyenne + 1 écart type	24,50	66,80	59,70

Tableau 6.4. Durée moyenne de déplacement sur les trois places (pré-observations).

Ces pré-observations nous ont aidés à constituer des intervalles de temps de présence sur place, sur lesquelles nous avons fait un travail d'analyse qualitative. Suite à cela, nous avons retenu les trois grandes catégories présentées dans le tableau (9.4). A partir de ces trois catégories, nous avons défini cinq modes d'utilisation de l'espace. Pour cela, nous avons fait un croisement entre la durée de déplacement et de station avec la durée de présence sur place. Nous avons calculé les moyennes de durée de présence, de déplacement et de station pour l'ensemble des personnes fréquentant l'espace dans chacune des situations. Ces modes d'utilisation se différencient essentiellement par la durée et par le type de l'usage.

		Eté			Hiver				Total
		Place de la Liberté	Place de l'Indépendance	Total	Place du 1 ^{er} Mai	Place de la Liberté	Place de l'Indépendance	Total	
< 60 secondes	Nombre de sujets observés	187	166	353 (60%)	21	156	55	232 (39%)	585 (72%)
	Durée moyenne de la séquence (sec)	37	38	37	28	35	39	35	36
	Durée moyenne de station (sec)	00	01	01	02	00	02	01	01
	Durée de station/durée de présence	00%	02%	02%	01%	00%	05%	02%	02%
	Durée moyenne de déplacement (sec)	37	37	36	26	35	37	34	35
60 et ≤ 120 secondes	Nombre de sujets observés	48	54	102 (12%)	03	21	21	45 (05%)	147 (18%)
	Durée moyenne de la séquence (sec)	74	76	75	76	68	75	72	74
	Durée moyenne de station (sec)	11	14	12	58	06	22	17	74
	Durée de station/durée de présence (sec)	14%	18%	16%	76%	08%	29%	23%	18%
	Durée moyenne de déplacement (sec)	63	62	63	18	62	53	55	6070
Supérieure à deux minutes	Nombre de sujets observés	19	38	57 (72%)	03	12	07	22 (27%)	79 (9%)
	Durée moyenne de la séquence (sec)	552	343	404	1200	488	170	484	426
	Durée moyenne de station (sec)	482	279	347	1200	434	158	453	376
	Durée de station/durée de présence (sec)	87%	81%	85%	100%	88%	92%	93%	88%
	Durée moyenne de déplacement (sec)	70	64	57	00	54	12	31	50
	Total des sujets observés	245	258	512 (63%)	27	189	83	299 (36%)	811 (100%)

Tableau 6.5. Trois classes de durée de présence sur les trois places - deux périodes.

Nous présentons, brièvement, ces trois catégories de durée de présence sur place, ainsi que les modes d'utilisations qui en découlent.

* Présence de courte durée (moins d'une minute) : sur l'ensemble des personnes observées, 72% restent moins d'une minute sur les places. Ils n'effectuent pas de station de très courtes durées, qui n'excèdent pas 2% du temps de présence sur la place. Ce rapport est du même ordre en été et en hiver. Les usagers traversent les places à la même vitesse en hiver comme en été. Dans ce cas, nous pouvons parler de :

1. Déplacement « sans station » sont des passages rapides effectués essentiellement par des personnes seules.

2. Déplacement « avec une courte station » sont de simples traversées de la place avec un bref arrêt fonctionnel.

* Présence entre «une et deux minutes» dans les trois sites confrontés, 18% seulement de l'ensemble des sujets observés sont restés entre une et deux minutes. Cependant, la durée moyenne de la station augmente et passe à 14 secondes, ce qui représente 18% de la durée de la présence sur place. Ce rapport est un peu plus élevé en hiver (23%) qu'en été (16%) car les stations sont légèrement plus longues en hiver. Le déplacement est plus rapide en hiver avec 55 secondes en moyenne contre 63 secondes en été.

Il s'agit ici d'un autre type d'utilisation de l'espace :

1. Déplacement de longue durée «sans station» sont soit des personnes qui se promènent seules ou qui se déplacent en groupe.

2. Déplacement de longue durée « avec une courte station » sont des déplacements lents avec de petits arrêts fonctionnels.

* Présence de plus de deux minutes : nous pouvons parler d'usage prolongé de la place. Bien que seulement 9% de l'ensemble des personnes observées soient restées plus de deux minutes sur place, la durée moyenne de station est de 88% avec une remarque hausse en hiver 93% contre 85% en été. Un autre type d'utilisation peut-être défini :

1. Déplacement « sans station » : ce sont des déplacements très lents ou un usage multiple de la place.

2. Déplacement « avec station de moyenne durée » (1 à 5 minutes)

3. Déplacement « avec station de longue durée » (plus de 5 minutes)

Nous développerons ces trois catégories en avec plus de détails dans les sections qui suivent. Nous verrons, pour quel type d'usage, les stations sont effectuées. Nous cherchons à vérifier s'il y a variation dans les modes d'utilisation de l'espace au cours de la journée ou d'une saison à une autre. Mais avant cela, nous présentons à travers le tableau suivant la population observée.

			Place du 1 ^{er} Mai	Place de la Liberté	Place de l'Indépendance	Total
Période chaude	Sexe	Hommes	-	101	112	213(41%)
		Femmes	-	130	130	260(50%)
	Tranche d'âge	Bébés	-	11	09	20(3%)
		Petite enfance	-	13	12	25(4%)
		Enfants	-	43	33	65(12%)
		Adolescents	-	23	26	49(9%)
		Adultes	-	172	169	314(61%)
		Personnes âgées	-	01	08	09(1%)
		Total	-	254	258	512(100%)
Période froide	Sexe	Hommes	10	92	47	149(49%)
		Femmes	16	89	34	139(46%)
	Tranche d'âge	Bébés	01	05	02	08(2%)
		Petites enfance	00	07	00	07(2%)
		Enfants	00	09	05	14(4%)
		Adolescents	04	07	05	16(5%)
		Adultes	20	154	70	244(81%)
		Personnes âgées	02	06	01	09(3%)
		Total	27	189	83	299(100%)
Total			27	443	341	811

Tableau 6.6. Population observée dans les trois places, durant les deux périodes.

En étant, nous avons observé 811 personnes sur l'ensemble des trois sites dont 63% durant la période chaude et 36% durant la période froide. Nous avons relevé une proportion un peu plus élevée de femmes, d'enfants et d'adolescents en été et une proportion plus élevée d'adultes en hiver.

6.4.1. Présence de courte durée :

Nous avons constaté que 72% (585 sujets) de l'ensemble des personnes observées sont restées sur place moins d'une minute. Le tableau suivant montre que 94% d'entre eux n'ont pas effectué d'arrêts. Seulement 5% ont effectué une station d'une durée moyenne de 20 secondes. Nous pouvons dire qu'il s'agit de sujets en déplacement rapide sans station ou avec très peu et très courts arrêts.

			Période chaude			Période froide				Total
			Place de la Liberté	Place de l'Indépendance	Total	Lace du 1 ^{er} Mai	Place de la Liberté	Place de l'Indépendance	Total	
Durée de présence dans la place de moins d'une minute	Sans station	Nombre des sujets observés	182	153	335	19	151	50	220	555 (94%)
		Durée moyenne présence sur site (sec)	37	37	37	26	35	38	34	36
	Avec station	Nombre de sujets observés	05	13	18	02	05	05	12	30 (5%)
		Durée moyenne présence sur site (sec)	44	51	49	47	44	47	45	48
		Durée moyenne de stations (sec)	19	19	19	25	18	27	22	20
		Durée de station/Durée de présence	43	37	38%	53%	40%	57%	48%	41%
		Durée moyenne de déplacement (sec)	25	32	30	22	26	21	23	28
		Nombre total des sujets	187 31%	166 28%	353 60%	21 3%	156 26%	55 9%	232 39%	585 100%

Tableau 6.7. Durée de présence de moins d'une minute.

6.4.1.1. Passage rapide sans station :

Ce sont des déplacements rapides, de simples traversées dans les places, effectués d'avantage par des adultes sans difficulté de déplacement. 76% des personnes dont la durée de présence est moins d'une minute et qui n'effectuent aucune station sont adultes, 10% sont des enfants, 5% des adolescents et 2% sont des petits enfants de moins de 5 ans.

Ce sont essentiellement des déplacements individuels dans 70% du temps, sans utilisation d'aucun support dans les 67% du temps. Un déplacement en utilisation un support apporté seulement dans 17% du temps (en vélo, accompagné ou en portant un objet à la main tel qu'un panier, courses, cartable, etc.). La durée moyenne de ces passages rapides dans les places est presque similaire en hiver et en été.

6.4.1.2. Passage rapide avec station de courte durée :

Seulement 5% des sujets qui sont restés moins d'une minute ont effectué une station de courte durée d'une durée moyenne de 20 secondes. Ce sont essentiellement des personnes adultes (76%) et des adolescents (16%).

Concernant ces déplacements, le pourcentage du temps passé en activité individuelle est 55%. 44% du temps a été passé en activité sociale.

Concernant les déplacements individuels, en hiver comme en été, le pourcentage du temps qui a été passé en activités individuelles sans utilisation d'aucun support telles qu'un petit moment d'hésitation avant de continuer le chemin, ranger quelque chose dans le sac est 54%, le pourcentage du temps passé en activités individuelles utilisant un support apporté telle que range quelque chose sur un appareil mobile (vélo ou voiture) est 33% du temps d'utilisation de la place seulement 8% du temps des stations a été passé dans l'utilisation d'un support intégré à la place (vitrine).

- En ce qui concerne les activités sociales, ce sont des déplacements sans utilisation d'aucun support dans 91% du temps. Les déplacements sont interrompus pour des petits arrêts pour des activités telles que discuter ou attendre quelqu'un d'autre.

Dans l'ensemble des trois places, les passages rapides et les simples traversées dans les places ont presque une durée similaire, en été et en hiver. Lors de ces traversées rapides, les stations effectuées sont de très courtes durées.

Ces stations sont effectuées pour les mêmes types d'activités telles que ranger les courses, hésitation avant de continuer le chemin, prendre quelque chose dans le sac, attendre ou discuter avec quelqu'un. Cependant c'est en hiver que nous remarquons les plus hautes durées de station. C'est place de l'Indépendance où la différence a été le plus marquée : 57% du temps de présence sur place a été passé en station en été, contre 37% en hiver.

6.4.2. Présence entre une et deux minutes :

Parmi l'ensemble des sujets qui sont restés entre une et deux minutes dans la place, lors de leurs déplacements 56% n'ont effectué aucune station, 43% ont effectué une station d'une durée moyenne de 33 secondes, ce qui représente 43% du temps de présence sur place. Ainsi, nous distinguons :

- Le déplacement long sans station.
- Le déplacement long avec station de courte durée.

			Période chaude			Période froide				Total
			Place de la Liberté	Place de l'Indépendance	Total	Place du 1 ^{er} Mai	Place de la Liberté	Place de l'Indépendance	Total	
Durée de présence dans la place entre une et deux minutes	Sans station	Nombre des sujets observés	26	32	58	00	16	09	25	83 (56)
		Durée moyenne présence sur site (sec)	74	76	75	00	67	72	69	73
	Avec station	Nombre de sujets observés	22	22	44	03	05	12	20	64 (43)
		Durée moyenne présence sur site (sec)	74	77	76	76	74	76	76	76
		Durée moyenne de stations (sec)	24	35	30	58	28	40	39	33 (43%)
		Durée de station/Durée de présence	32%	45%	39%	76%	37%	52%	51%	43%
		Durée moyenne de déplacement (sec)	50%	42%	46	18	46	36	37	43
	Nombre total des sujets	48	54	102	03	21	21	45	14 7	

Tableau 6.8. Déplacement de longue durée.

6.4.2.1. Déplacement long sans station :

Les personnes qui sont restées entre une et deux minutes et qui n'ont effectué aucune station, sont des adultes à 66% avec 8% de bébés dans des poussettes, 6% sont de petits enfants de moins de 5 ans, 8% sont des enfants et 6% sont des adolescents. Ce sont en majorité des personnes adultes qui traversent la place plus lentement parce qu'elles sont accompagnées de bébés ou d'enfant. La proportion de personnes âgées ayant des difficultés de déplacement est également remarquable 6%.

En été comme en hiver, ce sont autant de déplacements et d'activités individuelles que sociales, telles que flâner dans l'espace, faire des achats, chercher un papier à la wilaya. Ce sont des déplacements utilisant un support apporté tels que traverser la place avec des objets à la main (poussette, courses, panier, cartable) pour 18% du temps.

Le déplacement est légèrement plus long en été qu'en hiver, avec une différence de 6 secondes, et c'est dans la place de l'Indépendance que cette différence est la plus élevée (8 secondes).

6.4.2.2. Déplacement long avec une station de courte durée :

Sur l'ensemble des trois sites, 43% des personnes qui sont restées entre une et deux minutes sur place ont effectué au moins un arrêt lors de leurs déplacements d'une durée moyenne de 33 secondes. Ce sont des adultes à 64%, avec une proportion de 10% d'enfants de moins de 5 ans qui ne peuvent être qu'accompagnés, 10% d'enfants entre 5 et 12 ans et 10% des adolescents.

En été comme en hiver, ce sont des activités sociales dans 59% du temps. Les activités individuelles ont occupé juste 29% du temps. La proportion du temps pour laquelle les stations se sont effectuées pour des activités n'utilisant aucun support telles que la discussion ou l'attente, les hésitations ou alors regarder les vitrines en marchant est 47%. Durant 24% du temps, les stations étaient effectuées pour une activité utilisant un objet ou un équipement mobile (vélo, poussette, trottinette ou motocyclette). L'utilisation d'un élément structurel de la place tel que le bord du bassin d'eau, les bancs a occupé seulement 10% du temps.

Bien que la durée moyenne de la présence sur place soit similaire en été qu'en hiver avec 9 secondes de différence. Ceci peut-être expliqué par le fait qu'en hiver, les usagers sont vêtus plus lourdement et pour des petites stations de réajustement, ils mettent plus temps. Cependant, leurs déplacements sont plus rapides en hiver qu'en été.

Ce que nous pouvons retenir, c'est que l'utilisation de la place en tant qu'élément de la promenade apparaît à partir du moment où la durée de présence sur place dépasse la durée la moyenne de passage rapide plus un écart type comme une marge de sécurité.

6.4.3. Présence de plus de deux minutes :

Sur l'ensemble des personnes observées sur les trois places, 9% sont restées plus de deux minutes. Ils effectuent des stations dont la durée occupe 88% de la durée globale de leur présence sur site. Parmi ces personnes 53% sont des adultes, 8% des bébés dans des poussettes qui ne peuvent être qu'accompagnés, 8% de petits enfants accompagnés également, 18% d'adolescents, 5% d'enfants entre 6 et 12 et 5% de personnes âgées avec difficultés de déplacement.

		Période Chaude			Période froide				Total
		Place de la Liberté	Place de l'Indépendance	Total	Place du 1 ^{er} Mai	Place de la Liberté	Place de l'Indépendance	Total	
Station < 1 minute	Nombre de sujets observés		05	05					5(6%)
	Durée moy. de la séquence (sec)		158	158					158
	Durée moy. de station (sec)		30	30					30
	Durée de station/durée de présence		18%	18%					18%
	Durée moyenne de déplacement (sec)		128	128					128
Station entre 1 et 5 minutes	Nombre de sujets observés	10	16	26		07	07	14	40(51%)
	Durée moyenne de la séquence (sec)	192	183	187		177	177	192	182
	Durée moyenne de station (sec)	161	123	137		120	158	161	138
	Durée de station/durée de présence (sec)	83%	67%	73%		67%	89%	83%	36%
	Durée moyenne de déplacement (sec)	31	46	50		57	19	31	44
	Total des sujets observés	10	21	31		07	07	14	45
Station > 5 minutes	Nombre de sujets observés	09	15	24	03	05		08	32
	Durée moyenne de la séquence (sec)	895	602	712	1200	924		1027	791
	Durée moyenne de station (sec)	669	567	669	1200	883		1001	752
	Durée de station/durée de présence (sec)	74%	94%	94%	100%	95%		97%	95%
	Durée moyenne de déplacement (sec)	226	35	43	00	41		26	39
	Total des sujets observés	19	36	55	03	12	07	73	77 (100%)

Tableau 6.9. Présence plus de deux minutes sur les trois places.

Parmi les personnages qui sont restées plus de deux minutes sur place :

* 2% de ces sujets n'ont pas effectué d'arrêts. Ce sont deux personnes qui ont utilisé l'espace de façon multiple, elles sont sorties de la place et elles sont de la place et elles sont revenues quelques secondes après. Dans le tableau 6.9, nous n'avons pas fait apparaître ce pourcentage des sujets.

* 6% ont effectué une station inférieure à une minute, avec une durée moyenne de 30 secondes, ce qui représente 19% du temps de leur présence sur place. Ce sont des déplacements longs avec de courtes stations. Parmi ces personnages, nous trouvons que 40% sont des personnes âgées se déplaçant très lentement, 40% sont des adolescents et 10% seulement sont des adultes. Ce sont des personnes qui ont fait des va-et-vient dans la place, ils rentrent dans un magasin et ils s'arrêtent pour discuter. Sur l'ensemble du temps de station, 41% du temps a été passé en activités sociales et 38% a été passé en activités individuelles.

* 51% ont effectué une station entre une et cinq minutes. Ces stations représentent 76% de la durée de présence sur place. Parmi ces sujets 50% sont des adultes, 25% sont des adolescents, 10% sont des bébés, 5% sont des enfants de moins de 5 ans. La durée de station occupe les trois tiers du temps global passé dans la place. Nous considérons que ce sont des arrêts de moyennes durées.

* 41% ont effectué une station de plus de 5 minutes, ce qui représente en moyenne 95% du temps de présence dans la place. Nous considérons qu'il s'agit de station de longue durée. Parmi cette proportion de personnes, 59% sont des adultes, 9% sont des bébés, 6% sont de petits enfants qui sont accompagnés, 12% sont des enfants de 6 à 12 ans, 9% sont des adolescents entre 12 et 18 ans et 6% sont des personnes âgées.

Nous développons dans ce qui suit les stations de moyennes et de longues durées.

6.4.3.1. Station de moyenne durée :

Ce sont essentiellement des personnes qui arrivent en groupe ou qui se rencontrent sur la place. Les activités sociales occupent 82% du temps de ces stations. Les stations sont effectuées pour des activités n'utilisant aucun support telles qu'attendre quelqu'un d'autre ou pour discuter ensemble sans utilisation de support de la place pour les 50% du temps. 20% du temps des stations a été passé en activité utilisant un mobilier de la place (s'asseoir sur les bancs), et seulement 2% du temps en utilisant un élément structurel de la place (la « scène » de la place de la Liberté, le bord du bassin). Les activités utilisant un équipement mobile ou un support tel qu'un vélo ou une poussette ont occupé 16% du temps de stations.

Seulement 17% du temps a été passé en activités individuelles. Les stations effectuées sont en grande partie du temps (49%) pour des activités utilisant un support apporté telles que

jouer avec son chien, utiliser un téléphone portable. Les activités n'utilisant aucun support telles que s'arrêter au cours du déplacement ont occupé 35% du temps des stations. Juste 11% du temps des stations a été occupé par des activités prenant comme support un mobilier urbain (des bancs).

La durée de présence sur place est presque similaire en été et en hiver avec juste 5 secondes de différence. Cependant, en hiver, la durée de station est plus longue qu'en été avec 24 secondes de différence, ce qui représente 83% du temps de la présence sur place en hiver contre 73% en été. C'est place de la Liberté que nous avons enregistré une grande différence dans la durée de station entre l'été et l'hiver (41 secondes). Ceci s'explique peut-être par le fait qu'en été, c'est la promenade qui est privilégiée, on ne s'arrête pas longuement. Le déplacement reste toujours plus lent en été qu'en hiver sauf sur la place de la Liberté où il est plus rapide en été qu'en hiver.

C'est un élément situé au fond de la place du côté est, qui sert comme scène pour les fêtes et les manifestations culturelles. Il est surélevé d'un mètre du sol.

6.4.3.2. Station de longue durée :

Concernant les stations de longue durée, le pourcentage du temps passé en activités sociales est 59%. Ces activités sociales ont été effectuées en utilisant un élément structurant la place tels qu'un muret, le bord d'un bassin d'eau durant les 28% du temps des stations, en prenant comme support un mobilier urbain (s'asseoir sur des bancs publics) durant 27% du temps, en n'utilisant aucun support telles que discuter, fumer une cigarette durant 16% du temps des stations, en utilisant un objet ou un équipement mobile (un vélo ou une poussette) durant 14% du temps des stations.

Les activités individuelles ont occupé 39% du temps des stations. Par contre, ces stations avaient comme support un mobilier urbain durant les 89% du temps. Ce sont des personnes qui se sont assises sur un banc, en train de lire un journal, manger un sandwich, regarder le va-et-vient.

Les durées de présence et de station sont plus élevées en hiver qu'en été. Pour les stations, la différence est presque d'une minute et demie. Pour la durée de présence dans la place, la différence est un peu plus de 5 minutes.

6.4.4. Synthèse et discussion :

Nous avons vu dans cette partie les différentes catégories d'usage dans les trois places. Il est important et nécessaire de catégoriser l'usage de l'espace en fonction de la durée et de la nature de son utilisation. Nous pouvons considérer, en effet, qu'il s'agit d'un déplacement rapide si la durée de traversée est plus faible que la durée de traversée moyenne, plus un écart type calculé pour l'ensemble des sujets observés. Si la durée de l'utilisation est plus importante que la durée moyenne de traversée, plus l'écart type, nous pouvons considérer qu'il s'agit d'une promenade.

Concernant les stations, nous pouvons considérer toute station effectuée lors des déplacements rapides ou lors des promenades comme station de courte durée. Nous pouvons également considérer comme station de courte durée toute station dont la durée est plus faible que la durée de déplacement rapide. Pour différencier une station de moyenne durée d'une autre station de longue durée, un seuil tel que la moyenne des stations plus un écart type, calculé pour l'ensemble des usagers observés permet de le faire.

Si la durée de la station est supérieure à la moyenne plus l'écart type, nous pouvons la considérer comme station de longue durée. Si elle est inférieure à la moyenne plus l'écart type, elle pourrait être considérée comme station de moyenne durée.

Dans cette partie, nous avons vu que le déplacement est plus rapide en hiver qu'en été. Les usagers sont plus en promenade en été qu'en hiver. Ils marchent doucement. Les stations sont également d'une plus longue durée en hiver qu'en été. Un résultat qui est entièrement inattendu qui peut être expliqué par le fait qu'en été, c'est la promenade qui est privilégiée par rapport aux stations. Nous pensons que les stations sont plus effectuées dans des espaces publics dont la fonction principale est récréative. Nous pouvons donner l'exemple du jardin public qui est juste à côté de la place de la Liberté. Nous nous référons pour cela aux discours recueillis sur place. Les usagers ont déclaré que c'est au jardin public qu'ils s'arrêtent le plus en été (il y a de la pelouse, de la verdure, de l'ombre, une grande étendue d'eau).

En hiver, par contre, la promenade est moins fréquente. Nous supposons que, même quand il fait beau, des espaces publics comme le jardin restent humides et ombrés du fait de la présence de la pelouse et des arbres, ce qui n'encourage pas les usagers à s'y installer. Dans les places, comme celles où nous avons fait nos observations, si les usagers s'installent

quelque part, c'est soit pour des raisons fonctionnelles du type attendre quelqu'un, manger un sandwich, regarder son enfant jouer sur la place, soit pour profiter du soleil et du « beau temps ». Le caractère minéral et aménagé des places offre plus de possibilités pour des activités récréatives comme pour des activités fonctionnelles.

En effet, nous avons remarqué que les stations, surtout de longue et moyenne durée, s'effectuent en fonction des éléments structurant la place (bord du bassin, vitrine, muret, ...) et du mobilier présent (bancs). En majeure partie, les stations de moyenne et de longue durée sont effectuées pour des activités sociales. Ce sont des groupes qui se déplacent ensemble, qui s'arrêtent pour discuter un moment, qui attendent une autre personne, des mamans qui s'arrêtent pour regarder leurs enfants jouer.

6.5. Caractéristiques microclimatiques et usage de l'espace :

Dans cette partie, nous faisons une analyse plus fine des stations effectuées et des trajectoires. Nous les comparons avec les mesures des paramètres microclimatiques que nous avons enregistrées durant la même session. Nous vérifions s'il y a des variations entre les différents blocs constituant la place au cours de la journée, s'il y a des variations entre les deux périodes chaude et froide pour chacune des trois places.

Nous rappelons que la partition matérialisée par la trame de cases carrées nous a permis de mettre en liaison les différentes données recueillies. Une telle partition a facilité également l'exploitation des différentes données en utilisant les deux logiciels de gestion et de traitement de données « Visual Dbase » et « Map Info ». Nous rappelons également que nous avons fait des groupements de cases pour constituer des blocs. Ces blocs ont été déterminés principalement pour des raisons pratiques (simplification des mesures microclimatiques). Nous avons fait les mesures des paramètres climatiques au centre du bloc. Certains éléments se définissent au niveau des cases élémentaires de la trame, d'autres qu'au niveau des blocs.

Nous avons mis en évidence les blocs où les usagers ont effectué des stations. Nous avons calculé la durée moyenne de station dans chaque bloc. Nous avons mis en parallèle les mesures avec les durées de station dans ces blocs dans l'objectif de les comparer et de vérifier s'il y a une quelconque correspondance ou discordance avec les mesures microclimatiques.

Nous avons utilisé le logiciel « Map Info 4.0 » pour superposer les observations « instantanées » et visualiser graphiquement la répartition d'ensemble des positions occupées.

Nous avons réalisé des cartes représentant les trames de cases carrées en fonction des stations effectuées, le nombre de personnes effectuant une station ainsi que les trajectoires les plus empruntées.

6.5.1. Stations :

Nous rappelons que nous avons considéré qu'il s'agit d'une station si l'individu est relevé trois fois successivement dans la même case, autrement dit plus de 15 secondes. Sur l'ensemble des sujets observés, seulement 21% ont effectué une station de plus 15 secondes. 38% place de la Liberté, 54% place de l'Indépendance et 8% place du 1^{er} Mai.

Nous signalons également que nous considérons (cf. §6.4) :

- Station de courte durée : les arrêts allant de 15 secondes à une minute.
- Station de moyenne durée : les arrêts entre une et cinq minutes.
- Station de longue durée : arrêt de plus de cinq minutes.

Nous signalons que toutes les figures présentant les résultats des observations dans cette partie sont présentées dans l'annexe 5 avec une plus grande échelle et que chaque point dans les graphiques correspondant à un relevé de position. Les positions sont relevées toutes les cinq secondes. Nous présentons nos analyses place par place. Pour chaque place, nous verrons les deux périodes successivement.

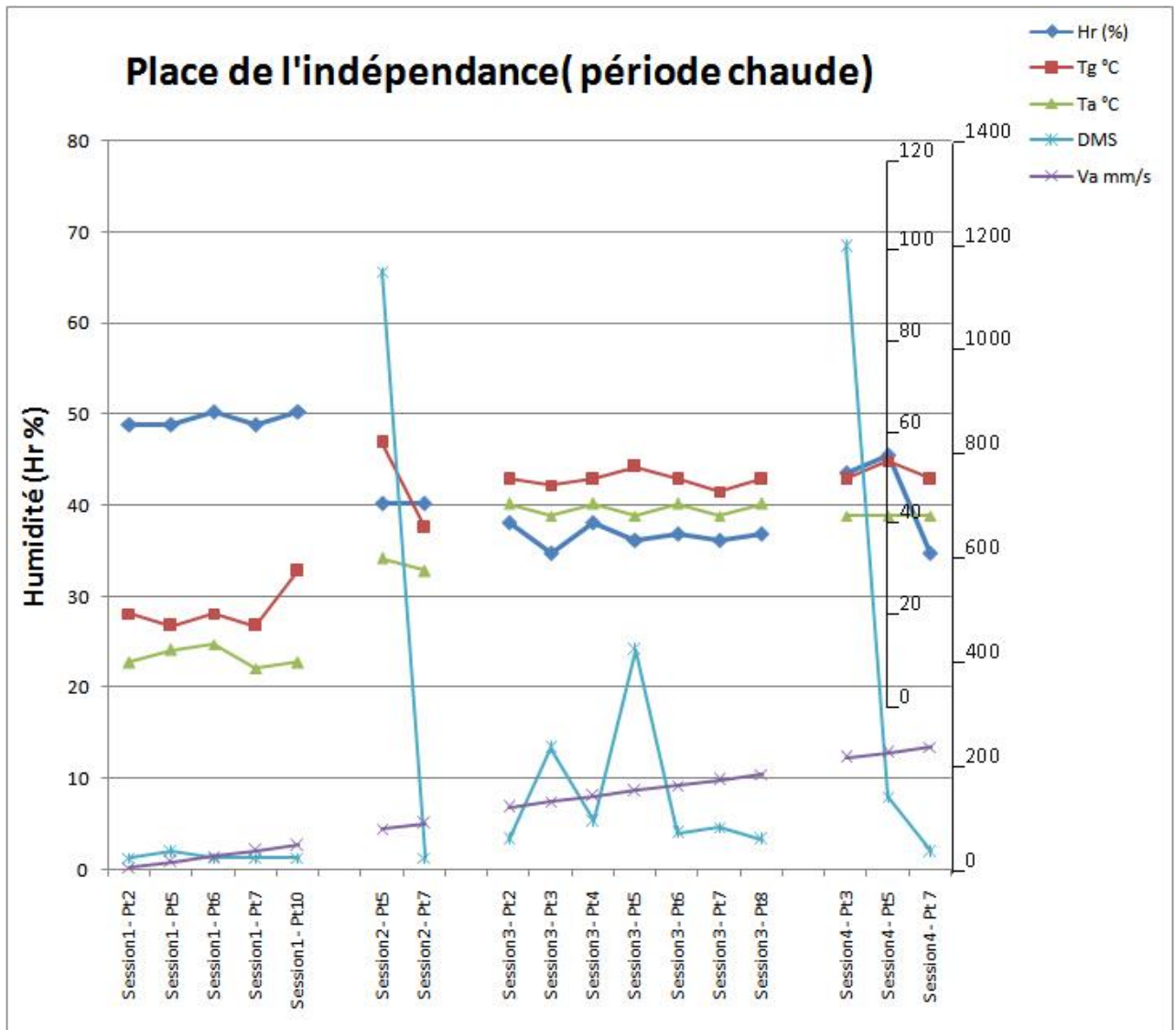
6.5.1.1. Place de l'Indépendance :**Période chaude.**

Le tableau suivant montre les blocs où les stations ont été effectuées, en période chaude sur la place de la Liberté.

	Bloc où il y a eu des stations (point de mesure)	Durée moyenne de stations (secondes)
1 ^{ère} session	02	20
	05	45
	06	25
	07	15
	10	20
2 ^{ème} session	05	1130
	07	15
3 ^{ème} session	02	58
	03	240
	04	87
	05	406
	06	66
	07	90
	08	55
4 ^{ème} session	03	1200
	05	144
	07	20

Tableau 6.10. Les blocs utilisés pour des stations (Place de l'Indépendance - Période chaude)

Dans le graphe suivant, nous avons superposé les durées de station avec les mesures des paramètres climatiques effectuées en centre de ces blocs.



Graph 6.6. Durée de station et paramètres microclimatiques mesurés.
(Place de l'Indépendance – Période chaude)

Durant la première session, toutes les stations effectuées sont de courtes durées. Pour cela, les blocs utilisés sont : 2, 5, 6, 7 et 10 avec une durée de station légèrement plus élevée au bloc 5.

En revenant aux mesures microclimatiques, nous avons enregistré des valeurs de température sèche de l'air, de température globale et d'humidité relativement moins élevées à proximité des façades des locaux de commerce (blocs 1, 3, 5, 7) que celles enregistrées sur l'allée centrale de la place (blocs 2, 4, 6, 8 et 10).

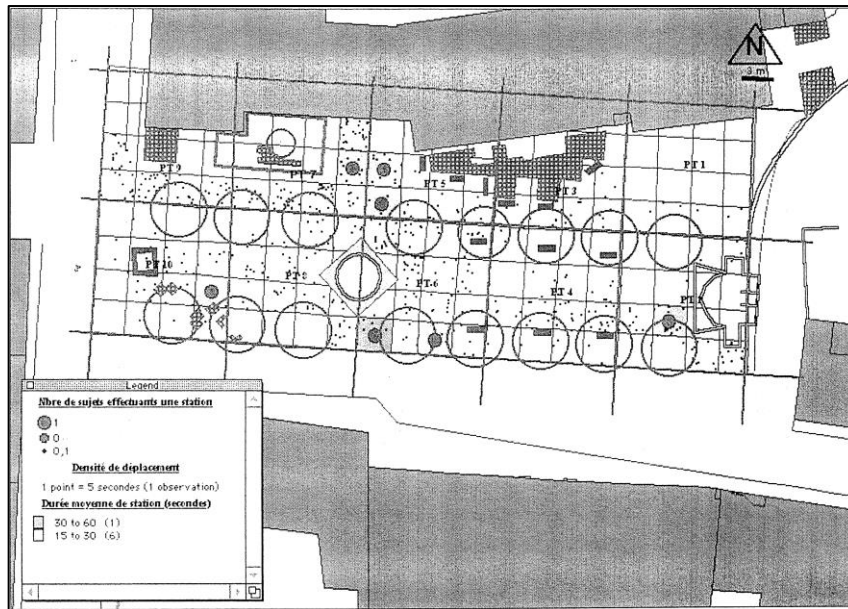


Figure 6.1. Place de l'Indépendance
(Période chaude - Première session)

Durant la deuxième session, les stations ont été effectuées seulement aux blocs 5 et 7. Au bloc 5, c'est une station de longue durée, avec une utilisation d'un bloc, cependant au bloc 7, c'est un arrêt court au cours du déplacement. Nous rappelons que, durant la deuxième session de mesure, toute la place était au soleil sauf les points 7 et 3, et c'est au point 5 que nous avons enregistré la valeur la plus élevée de température globale, de vitesse et d'humidité de l'air.

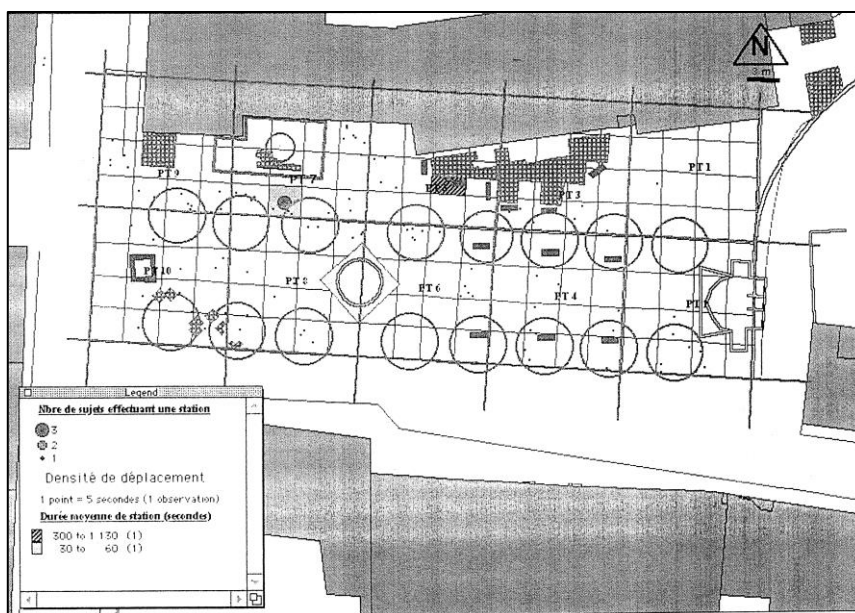
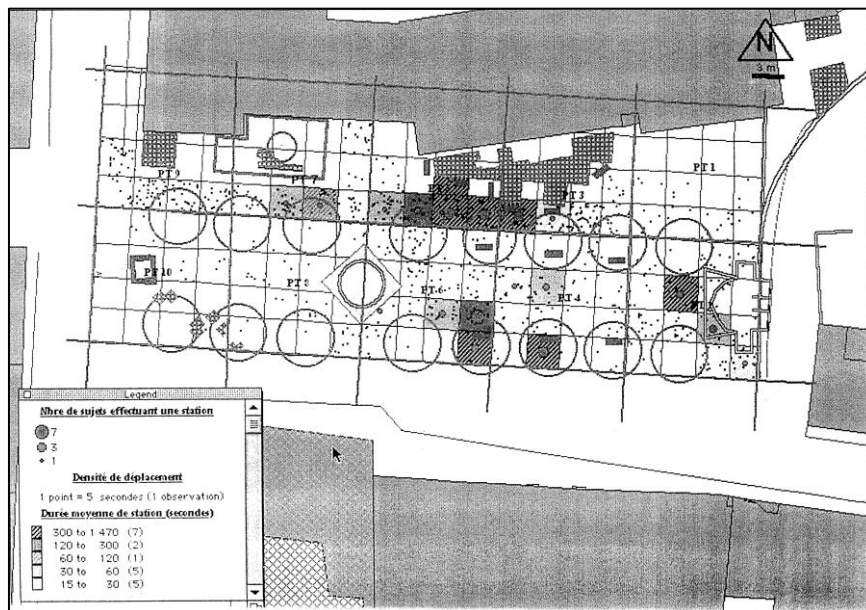


Figure 6.2. Place de l'Indépendance
(Période chaude - Deuxième session)

Durant la troisième session, en début d'après-midi, toute la place était à l'ombre sauf les points 9 et 10 qui étaient au soleil. Presque toute la place était investie par les usagers. Cependant, aucune station n'a été enregistrée du côté des deux blocs ensoleillés (9 et 10).

Aux blocs 3 et 5, ce sont en majorité des stations de longues durées, contrairement aux blocs 2, 4, 6, 7 et 8 où nous avons observé des stations de courtes et de moyennes durées.

Si nous revoions les mesures enregistrées dans ces points, nous trouvons que c'est du côté des façades des locaux (blocs : 1, 3, 5, 7 et 9) que nous avons relevé les valeurs les plus élevées d'humidité relative de l'air.



Durant la dernière session de mesures et d'observations, autrement dit, en fin de journée, ce sont les blocs 3, 5 et 7 qui sont toujours les plus utilisés.

Aux blocs 3 et 5, ce sont des stations de longues durées. C'est aux blocs 3 et 5 que nous avons enregistré les valeurs d'humidité les plus élevées (avec le bloc 9)

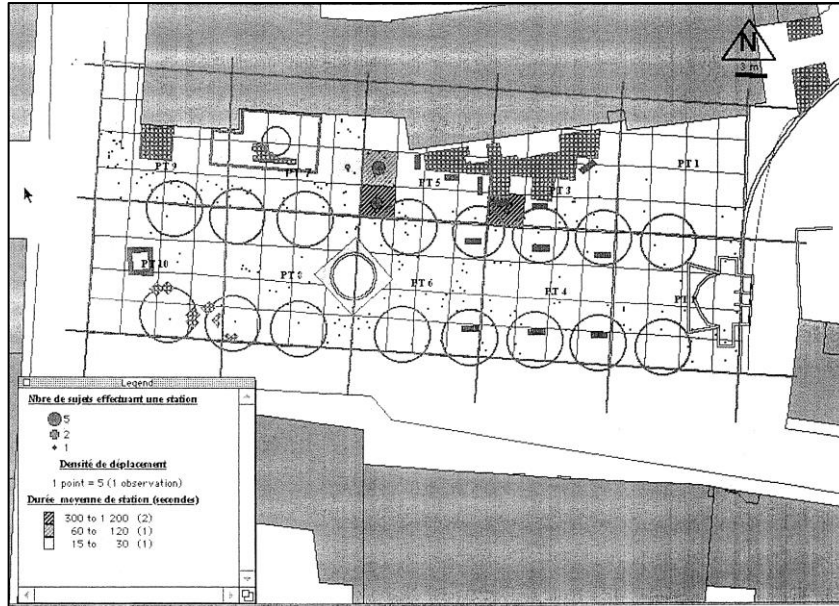
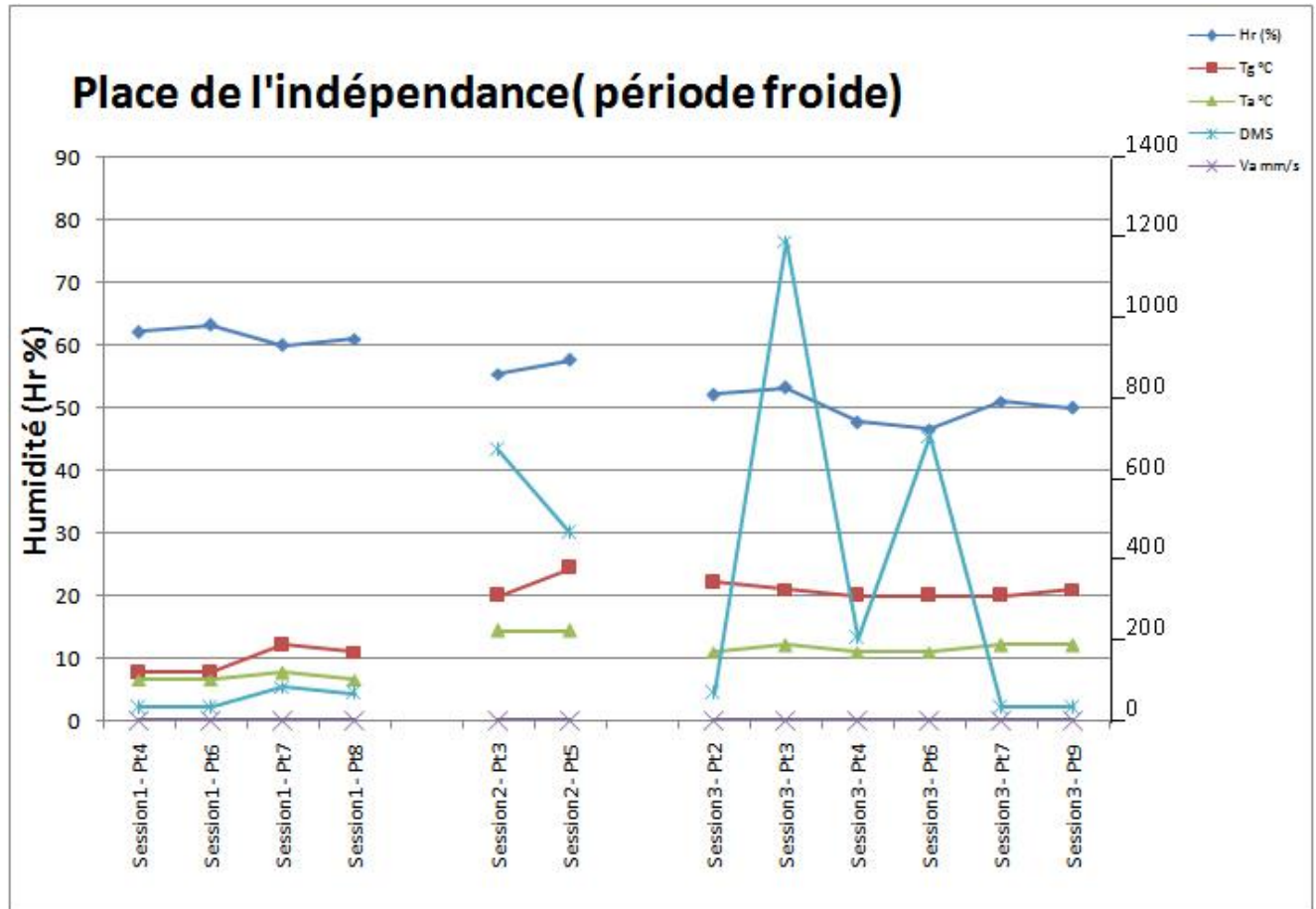


Figure 6.4. Place de l'Indépendance
(Période chaude - Quatrième session)

Période froide.

	Bloc où il y a eu des stations (point de mesure)	Durée moyenne de stations (secondes)
1 ^{ère} session	04	15
	06	20
	07	71
	08	24
2 ^{ème} session	03	678
	05	480
3 ^{ème} session	02	64
	03	1200
	04	205
	06	715
	07	20
	09	15

Tableau 6.11. Blocs utilisés pour les stations (Place de l'Indépendance - Période froide)



Graph 6.7 Durée de station et paramètres microclimatiques mesurés.
(Place de l'indépendance – Période froide)

Le matin, durant la première session, nous constatons que le graphe de la durée de station a la même allure que les autres graphes de la température sèche de l'air et de la température globale. C'est aux blocs 4, 6, 7 et 8 que nous avons relevé des stations, toutes de courtes durées.

Seul le bloc 7 fait exception avec une station de moyenne durée. Si nous revenons aux mesures des paramètres climatiques relevées durant cette même session, les points 4, 6 et 8 affichent des valeurs de température globale, de température sèche de l'air, et d'humidité relative inférieure à celles enregistrées aux points situés de l'autre côté à proximité des façades des locaux. Par contre, la vitesse de l'air est plus basse de ce côté de la place (blocs 4, 6 et 8).

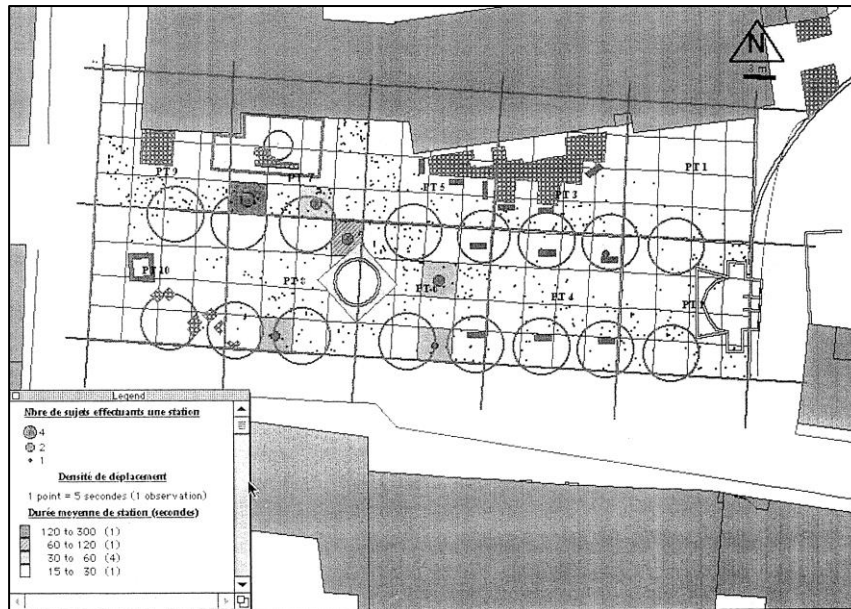


Figure 6.5. Place de l'Indépendance
 (Période froide - Première session)

Durant la deuxième session, c'est aux deux blocs 3 et 5 qu'il y a eu des stations de longues durées. Durant cette session, la différence entre le côté nord à proximité de la façade et le côté sud (l'allée centrale) est toujours très nette.

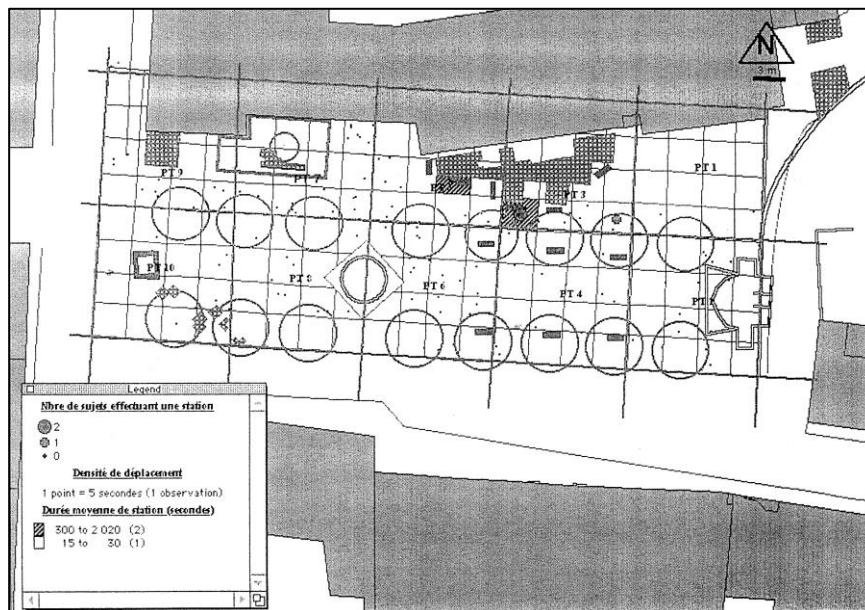


Figure 6.6. Place de l'Indépendance
 (Période froide - Deuxième session)

C'est au bloc 5 que nous avons enregistré la valeur la plus élevée de température globale

Durant la troisième session d'observation, il y a eu des stations dans pratiquement toute la place. Aux blocs 3 et 6 des stations de longues durées, aux blocs 2 et 4 des stations de courtes durées.

C'est la partie sud de la place (l'allée centrale) qui a été la plus utilisée pour des stations de moyenne durée. La partie nord, à proximité des façades des locaux, a été utilisée pour de courtes et de longues stations. La majeure partie des stations ont été effectuées du côté est de la place (blocs 2, 3, 4, 5 et 6).

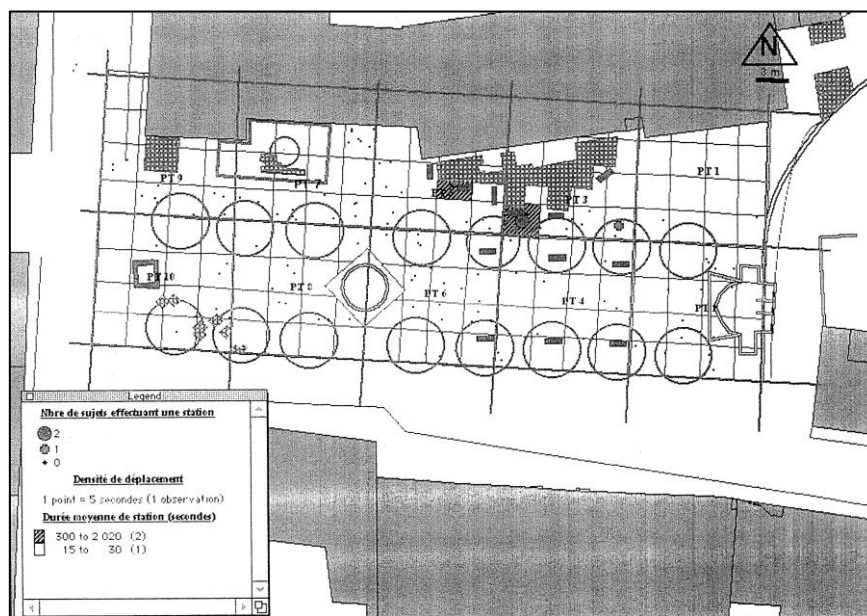


Figure 6.7. Place de l'Indépendance
(Période froide - Troisième session)

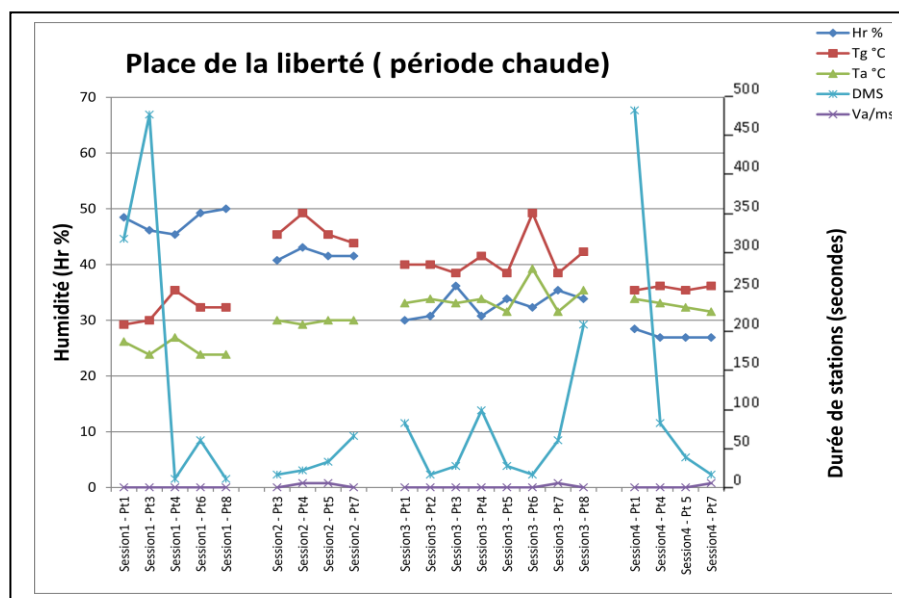
Durant cette session, nous avons relevé des valeurs de température globale et d'humidité relative de l'air plus élevées aux points à proximité des façades des locaux (blocs 1, 3, 5, 7 et 9) que celles enregistrées du côté opposé (blocs 2, 4, 6, 8 et 10). La vitesse de l'air, par contre, est plus élevée vers le côté sud de la place.

6.5.1.2. Place de la Liberté

Période chaude.

	Blocs utilisés (point de mesure)	Durée moyenne de stations (secondes)
1 ^{ère} session	01	308
	03	460
	04	15
	06	55
	08	17
2 ^{ème} session	03	17
	04	22
	05	31
	07	60
3 ^{ème} session	01	77
	02	15
	03	25
	04	91
	05	28
	06	15
	07	55
	08	198
4 ^{ème} session	01	468
	04	80
	05	35
	07	15

Tableau 6.12. Les blocs utilisés pour des stations (Place de la Liberté – Période chaude)



Graph 6.8. Durée de station et paramètres microclimatiques mesures (Place de la Liberté - Période chaude)

Durant les premières sessions, les stations ont été effectuées dans les blocs 1, 3, 4, 6 et 8. Des stations de longues durées, aux blocs 1 et 3 et des stations de courtes durées aux blocs 4, 6 et 8.

Si nous revoyons les mesures microclimatiques enregistrées durant cette session, les points 6 et 8 étaient à l'ombre des arbres et c'est à ces deux points que nous avons les valeurs les plus basses de température globale et les valeurs plus élevées d'humidité relative de l'air. Seul le point 4 était au soleil et c'est au point 4 que nous avons enregistré la température globale la plus élevée.

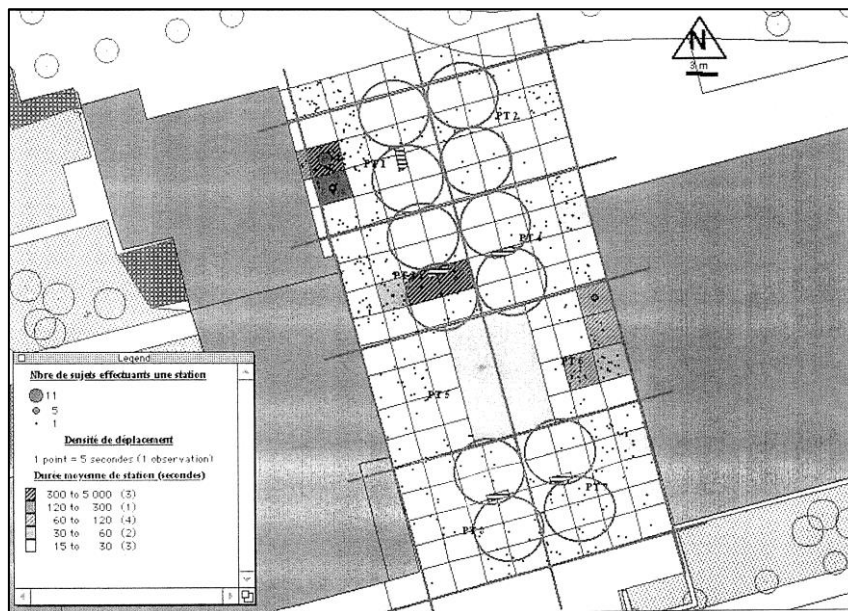


Figure 6.8. Place de Liberté
(Période chaude – Première session)

Durant la deuxième session, toutes les stations étaient de courtes durées. Les blocs utilisés sont 3, 4, 5 et 7.

Le long de cette deuxième session, toute la place était au soleil, à l'exception des points 3 et 7. Ce sont d'ailleurs ces deux points qui affichent les valeurs les plus basses de température globale. Par contre, c'est au point 5 que nous avons relevé la valeur la plus élevée de température globale, de vitesse de l'air et également d'humidité relative.

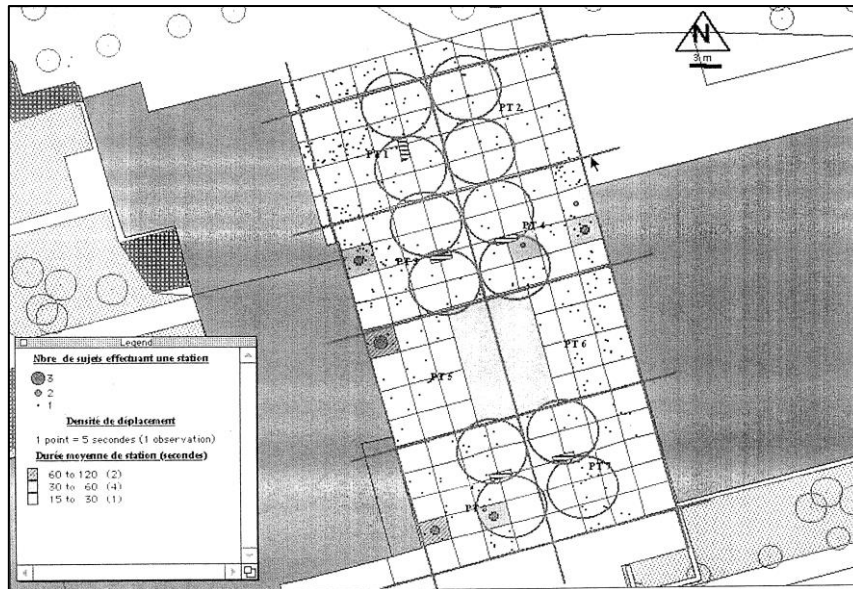


Figure 6.9. Place de la Liberté.
 (Période chaude – Deuxième session)

Pendant la troisième session, toute la place était à l'ombre sauf le point 6. D'ailleurs, c'est au point 6 que nous avons enregistré la valeur la plus importante de température globale. Les stations durant cette session sont essentiellement de courtes et de moyennes durées. Cependant la durée moyenne de station est plus élevée du côté des points 2, 4, 6 et 8 comparée au côté des points 1, 3, 5 et 7. Les températures de l'air dans les points de mesure 2, 4, 6 et 8 étaient légèrement plus élevées que celles enregistrées de l'autre côté de la place (points 1, 3, 5 et 7). Par contre, l'humidité est plus élevée aux points 3, 5 et 7.

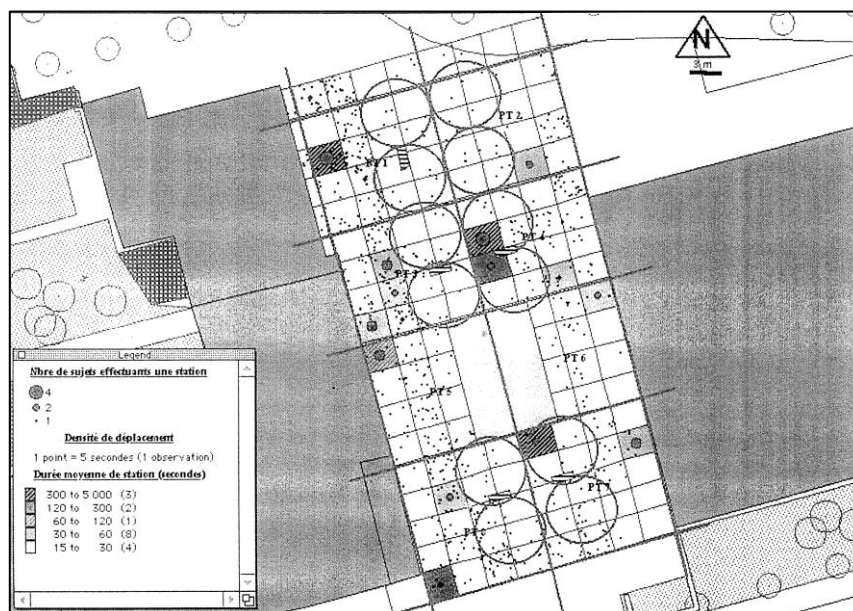


Figure 6.10. Place de la Liberté
 (Période chaude – Troisième session)

Durant la quatrième session, ce sont les blocs 1, 4, 5 et 7 qui étaient investis pour effectuer des stations. Au bloc 4 c'est une station de moyenne durée. C'est également un des points où nous avons relevé une valeur élevée de température globale.

Aux blocs 5 et 7 ce sont de stations de courtes durées. C'est au point 5 que nous avons enregistré la valeur la plus basse de température sèche de l'air.

Durant cette session, toute la place était à l'ombre sauf les deux blocs 6 et 8. Nous remarquons qu'aucune station n'a été enregistrée dans ces deux blocs. L'humidité relative était plus élevée du côté des points 2, 4, 6 et 8.

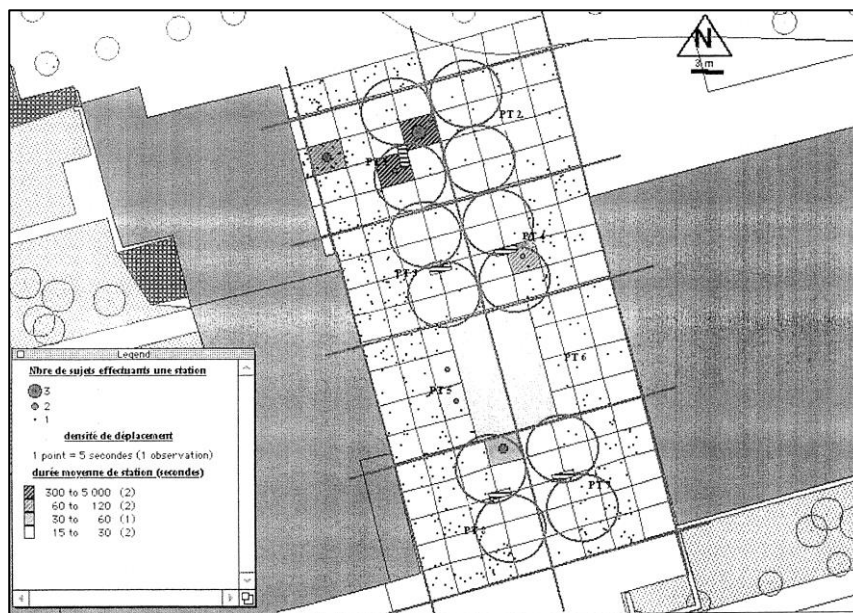
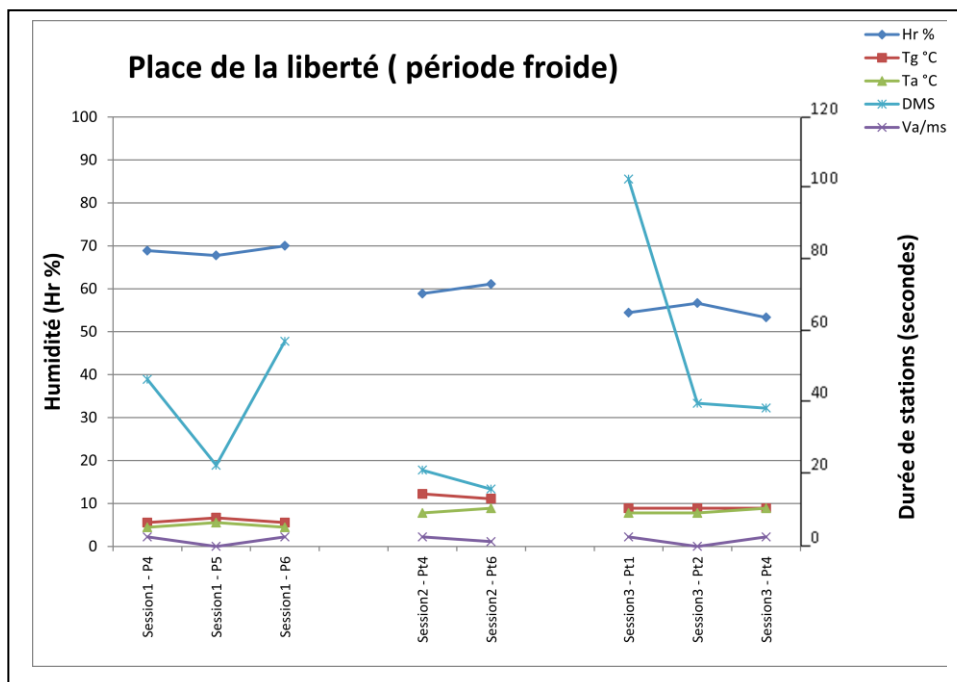


Figure 6.11. Place de la Liberté
(Période chaude – Quatrième session)

Période froide

	Blocs utilisés pour les stations (point de mesure)	Durée moyenne de stations (secondes)
1 ^{ère} session	04	45
	05	20
	06	55
2 ^{ème} session	04	21
	06	15
3 ^{ème} session	01	101
	02	36
	04	35

Tableau 6.13. Durée moyenne de station par bloc
(Place de la Liberté - Période froide)



Graph 6.9. Durées de stations et paramètres climatiques
(Place de la Liberté - Période froide)

Durant la première session, ce sont les blocs 4, 5 et 6 qui ont été utilisés pour des stations de courtes durées. Nous remarquons que la durée de la station évolue à l'inverse de la température sèche de l'air et de température globale. Par contre, elle a le même profil que la courbe de la vitesse et d'humidité relative de l'air.

Aux deux blocs 4 et 6 nous avons enregistré des valeurs de température globale inférieures et des valeurs de vitesse de l'air supérieures aux valeurs enregistrées au bloc 5.

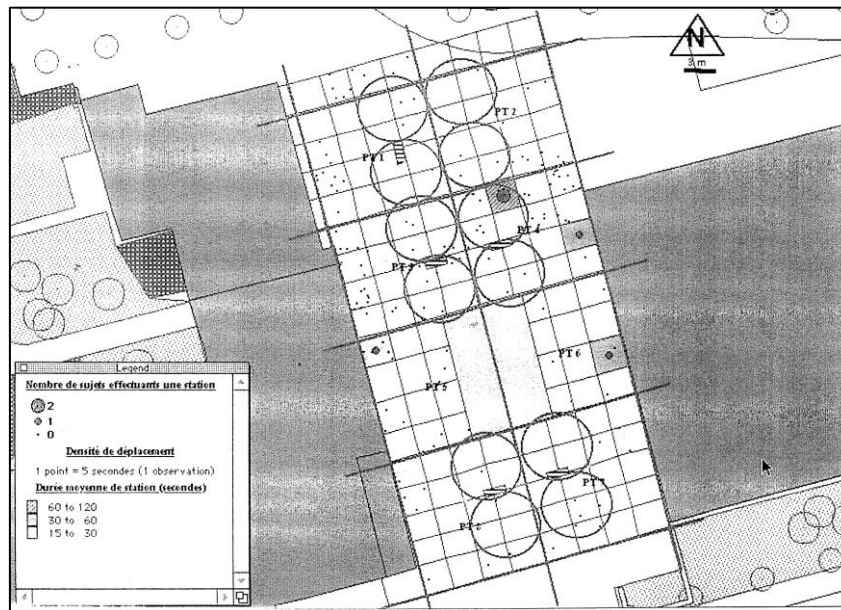


Figure 6.12. Place de la Liberté.

(Période froide – Première session)

Cependant, c'est au bloc 5 que nous avons enregistré la station la plus courte. C'est dans la partie nord-ouest de la place (blocs 1, 2, 3 et 4) de la place, que nous avons les valeurs les plus basses de température globale.

Lors de la deuxième session, c'est uniquement aux blocs 4 et 6 que nous avons enregistré des stations de courtes et de moyennes durées.

Si nous revenons aux mesures microclimatiques, nous trouvons que seule la courbe de température globale montre une différence nette entre le côté des blocs 1, 3, 5 et 7 par rapport au côté des blocs 2, 4, 6 et 8. Elle est plus élevée de côté de la façade orientée sud-ouest. L'humidité par contre, elle a un profil important du côté des blocs 1, 3, 5 et 7.

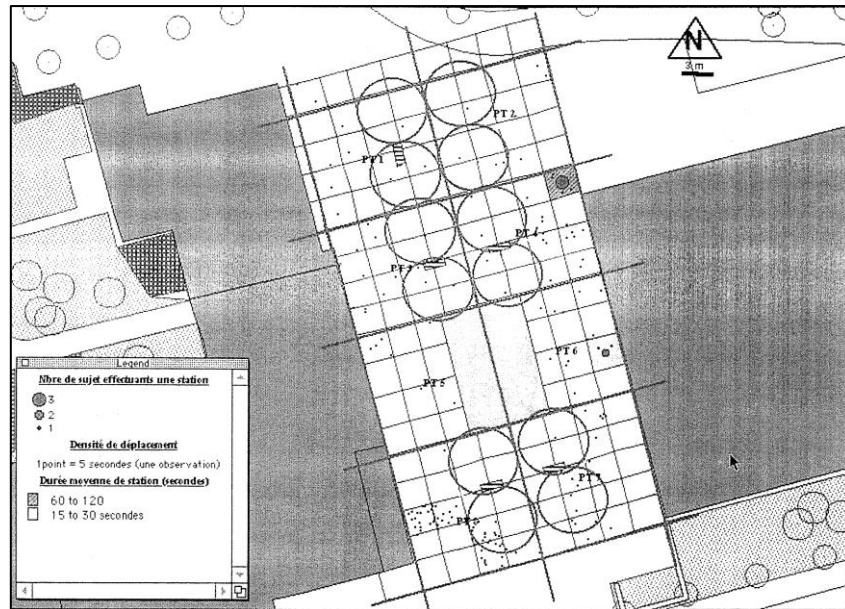


Figure 6.13. Place de la Liberté.
 (Période froide – Deuxième session)

Pendant la dernière session, ce sont les blocs 1, 2 et 4 qui ont été utilisés pour effectuer des stations. Durant cette session, tous les points étaient à l'ombre des arbres. Les températures globales sont restées très homogènes dans toute la place, sauf aux points 7 et 8 qui étaient à l'ombre des arbres et du bassin d'eau, contrairement aux autres qui étaient à uniquement l'ombre des arbres. La température globale et l'humidité sont plus élevées du côté sud de la place (blocs : 6, 7 et 8).

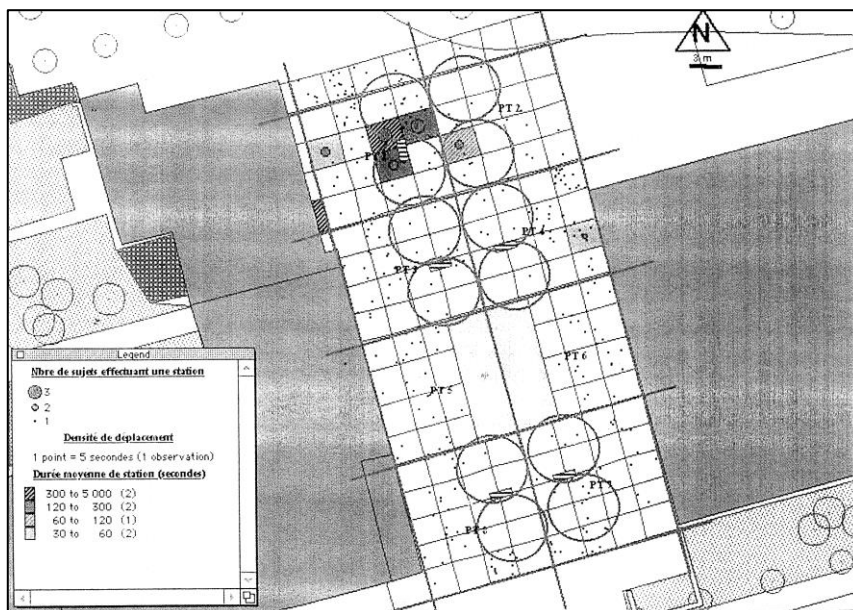
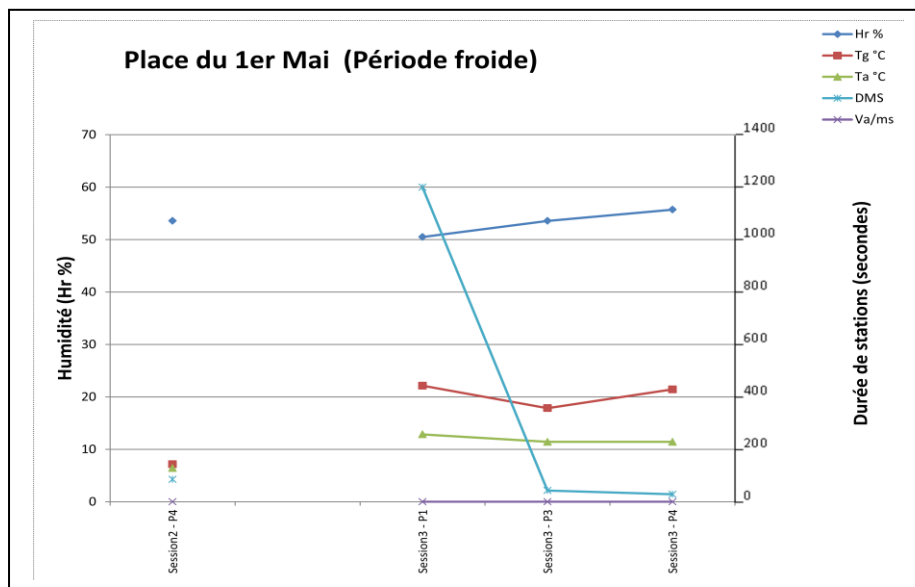


Figure 6.14. Place de la Liberté.
 (Période froide – Troisième session)

6.5.1.3. Place du 1^{er} Mai :

	Blocs utilisés pour les stations (point de mesure)	Durée moyenne de stations (secondes)
2 ^{ème} session	04	85
3 ^{ème} session	01	03
	1200	40

Tableau 6.14. Blocs utilisés pour des stations
(Place du 1^{er} Mai - Période froide)



Graph 6.10. Durée de station et mesures des paramètres climatiques
(Place du 1^{er} Mai - Période froide)

A la place du 1^{er} Mai, aucune station n’a été enregistrée le matin. Les usagers ne faisaient que passer.

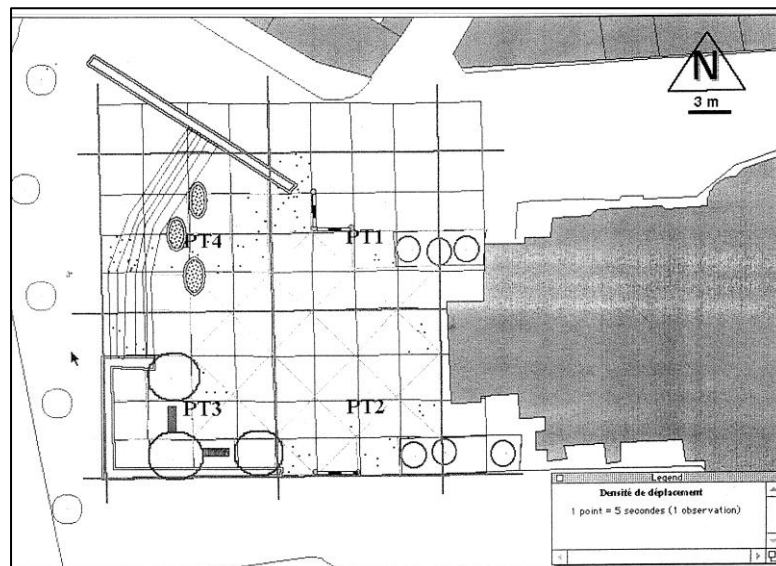


Figure 6.15. Place du 1^{er} Mai.
(Période froide – Première session)

A midi, seul le bloc 4 a été utilisé pour une longue durée. C'est un groupe de jeunes qui se sont assis sur le muret délimitant la place. C'est au bloc 4 que nous avons enregistré les valeurs les plus élevées de température globale.

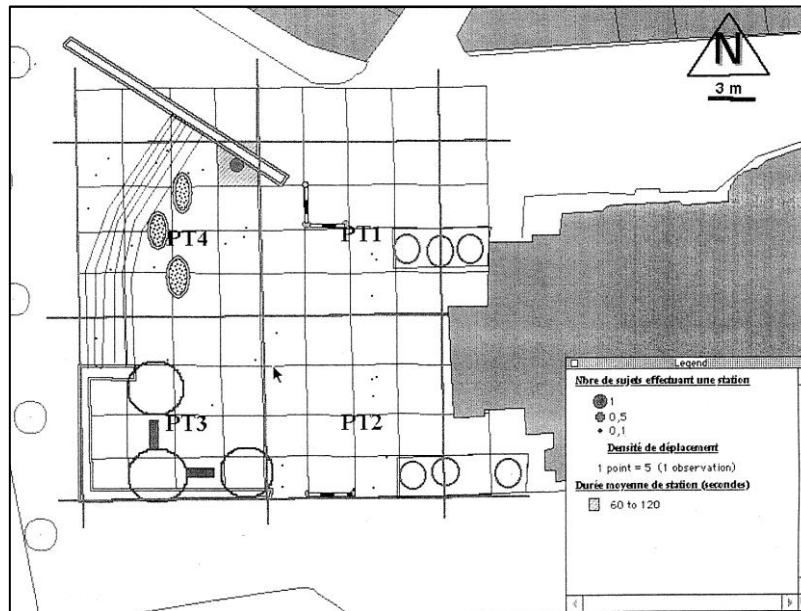


Figure 6.16. Place du 1^{er} Mai.
(Période froide – Deuxième session)

L'après-midi, c'est aux deux blocs 1 et 3 que les stations ont été effectuées. C'est au bloc 3 que nous avons relevé les plus faibles valeurs de température globale et d'humidité.

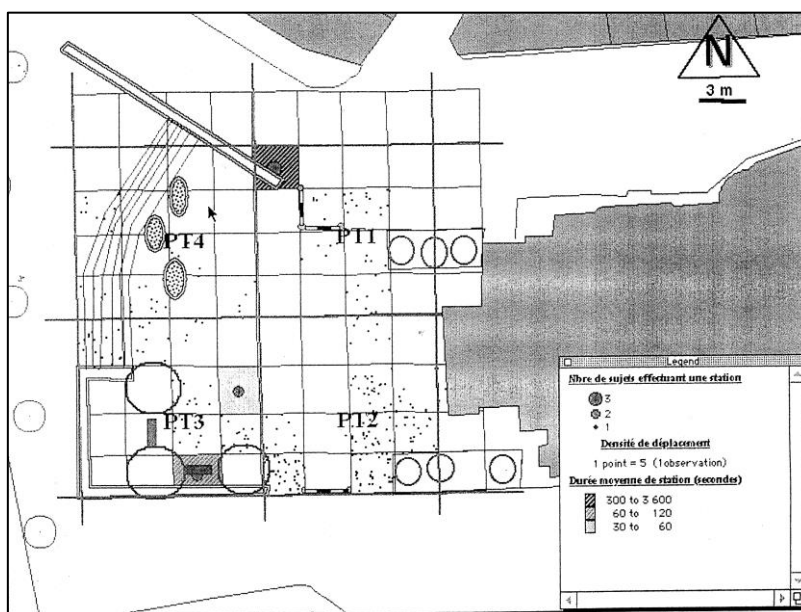


Figure 6.17. Place du 1^{er} Mai.
(Période froide – Troisième session)

6.5.2. Cheminements et trajectoires :

6.5.2.1. Place de l'Indépendance :

Période chaude.

Nous remarquons que les trajectoires ne changent pas au cours de la journée, même si le déplacement est plus intense en début d'après-midi. C'est la diagonale de la place qui est la plus investie par les déplacements. C'est le chemin le plus court, certainement. Cependant, c'est le côté à proximité des arbres qui est le plus investi en début d'après-midi et nous avons déjà vu auparavant que c'est de ce côté qu'on a enregistré les valeurs d'humidité les plus élevées.

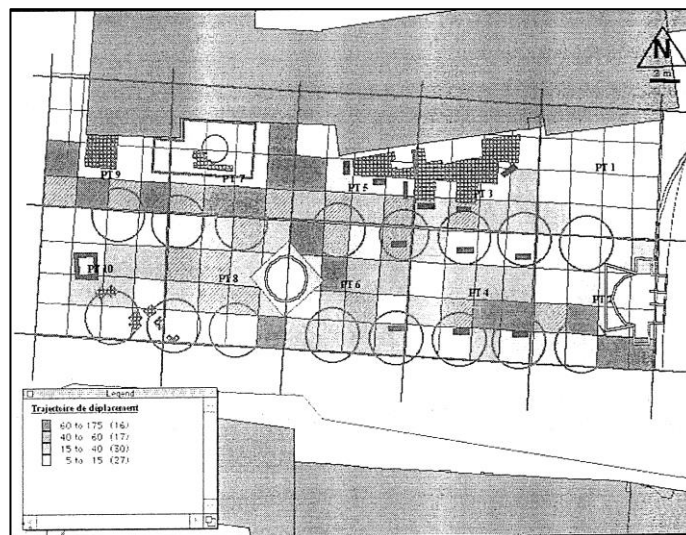


Figure 6.18. Récapitulatif des trajectoires
(Place de l'Indépendance – Période chaude – 1^{ère} session)

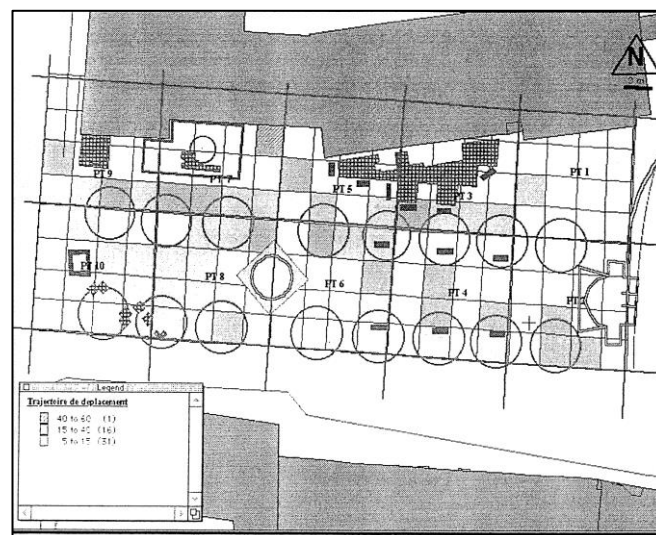


Figure 6.19. Récapitulatif des trajectoires
(Place de l'Indépendance – Période chaude – 2^{ème} session)

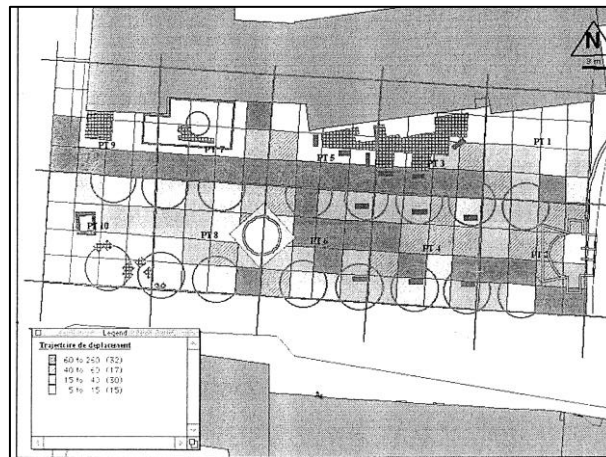


Figure 6.20. Récapitulatif des trajectoires
 (Place de l'Indépendance – Période chaude – 3^{ème} session)

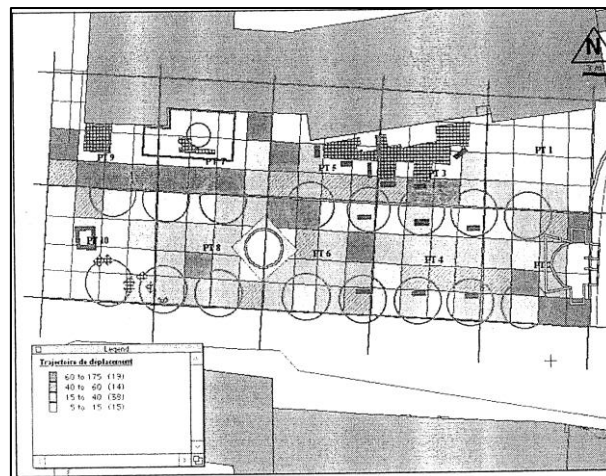


Figure 6.21. Récapitulatif des trajectoires
 (Place de l'Indépendance – Période chaude – 4^{ème} session)

Période froide.

En hiver, la place de la Liberté, les trajectoires empruntées ne changent pas beaucoup par rapport à l'été. C'est toujours dans la partie nord de la place, à proximité de la façade, que nous avons observé le plus de déplacements. C'est de ce même côté que nous avons enregistré les valeurs de température globale les plus élevées associées à de faibles valeurs d'humidité comparées avec le côté sud de la place, surtout à midi.

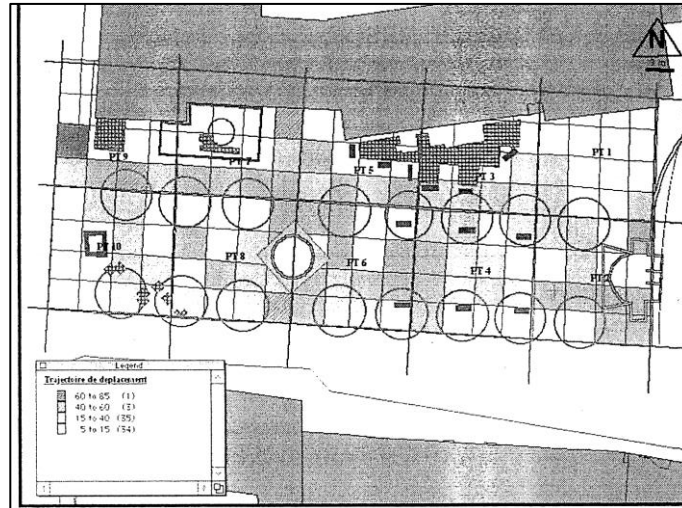


Figure 6.22. Récapitulatif des trajectoires.
(Place de l'Indépendance – Période froide – 1^{ère} session)

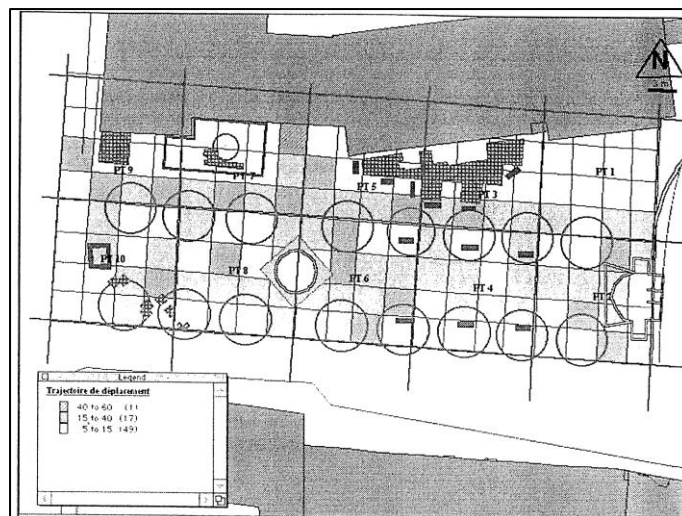


Figure 6.23. Récapitulatif des trajectoires.
(Place de l'Indépendance – Période froide – 2^{ème} session)

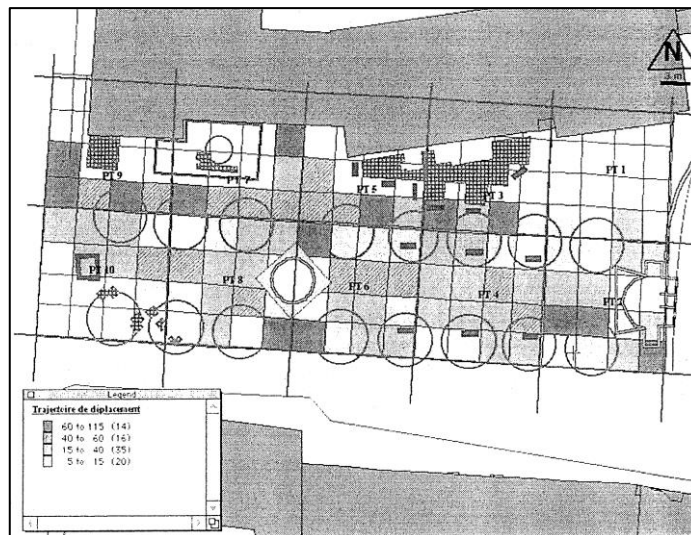


Figure 6.24. Récapitulatif des trajectoires.
 (Place de l'Indépendance – Période froide – 3^{ème} session)

6.5.2.2. Place de la Liberté :

Période chaude.

A la place de l'Indépendance, nous constatons que c'est le côté des points 1, 3, 5 et 7 à proximité de la façade sud-ouest qui est le plus investi par des usagers en déplacement surtout l'après-midi. De ce côté, nous avons enregistré des valeurs d'humidité relative et de température globale plus faibles que celles enregistrées de l'autre côté de la place.

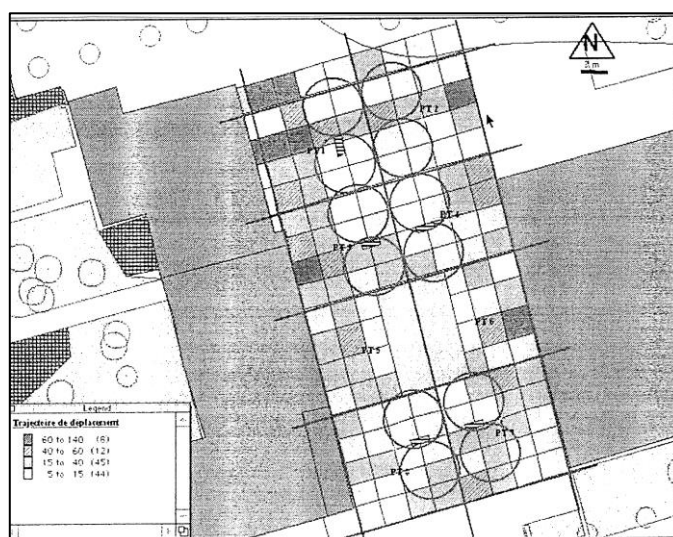


Figure 6.25. Récapitulatif des trajectoires.
 (Place de la Liberté – Période chaude – 1^{ère} session)

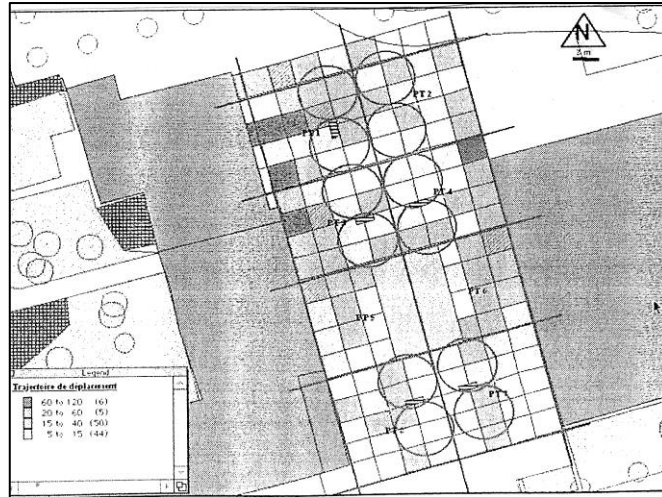


Figure 6.26. Récapitulatif des trajectoires.
(Place de la Liberté – Période chaude – 2^{ème} session)

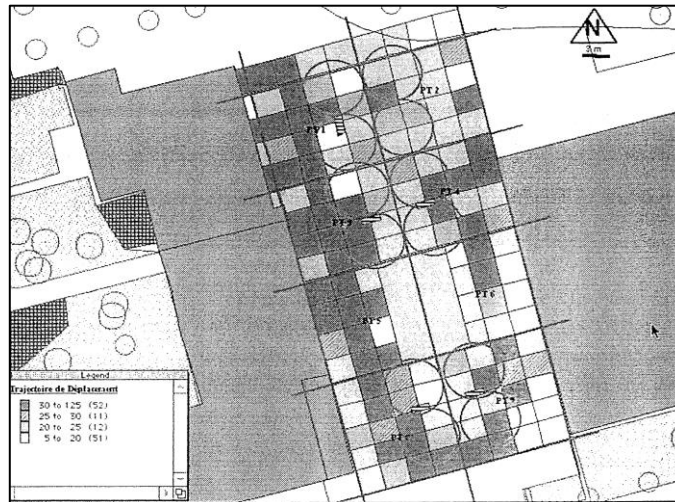


Figure 6.27. Récapitulatif des trajectoires.
(Place de la Liberté – Période chaude – 3^{ème} session)

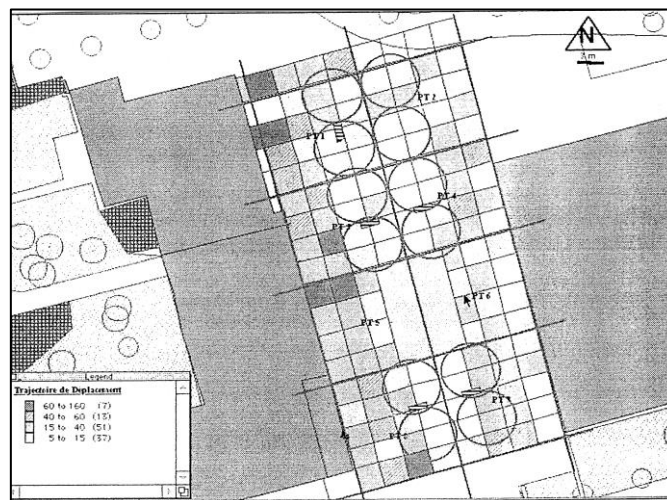


Figure 6.28. Récapitulatif des trajectoires.
(Place de la Liberté – Période chaude – 4^{ème} session)

Période froide.

A la place de l'Indépendance, en hiver, c'est également du côté de la façade orientée nord-est que nous avons relevé le plus de déplacements. Nous constatons également une utilisation plus intense des blocs 6, 7 et 8 en fin de journée par rapport à la session d'observation du matin et celle de midi. C'est à ces trois blocs également que nous avons enregistré les valeurs de température globale les plus élevées.

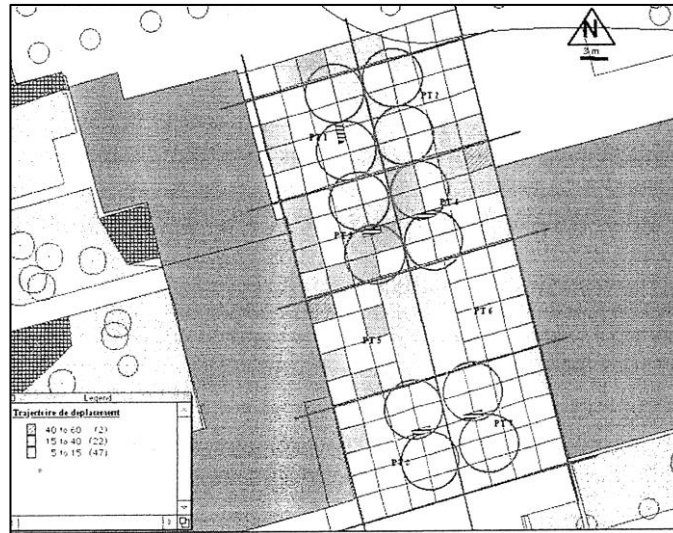


Figure 6.29. Récapitulatif des trajectoires.
 (Place de la Liberté – Période froide – 1^{ère} session)

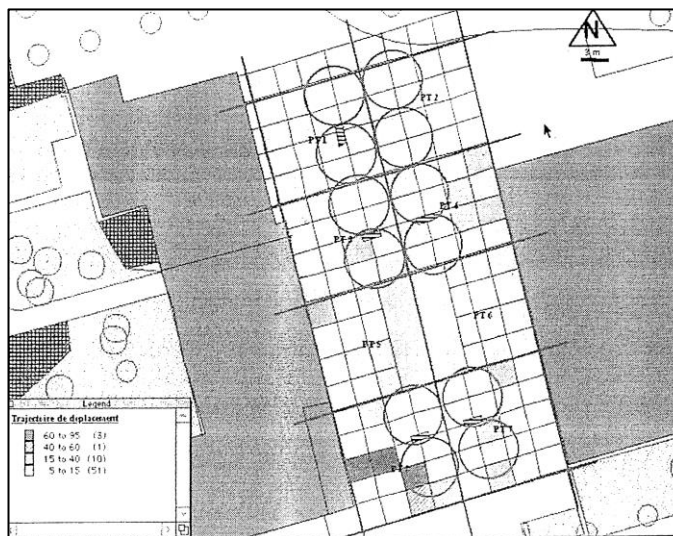


Figure 6.30. Récapitulatif des trajectoires.
 (Place de la Liberté – Période froide – 2^{ème} session)

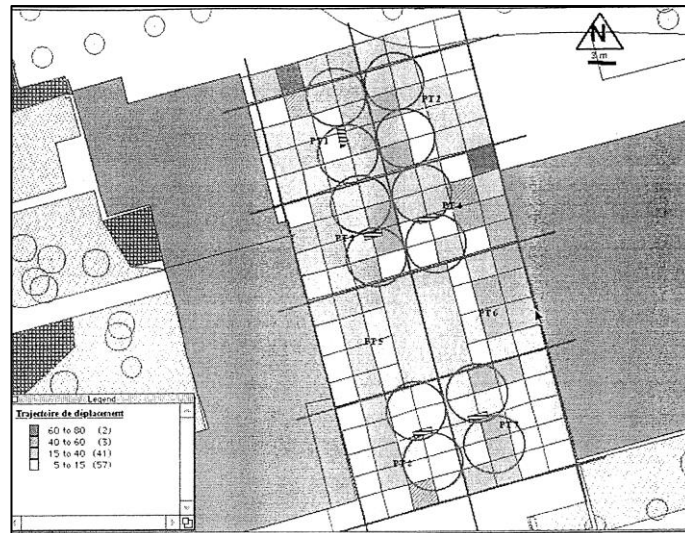


Figure 6.31. Récapitulatif des trajectoires.
(Place de la Liberté – Période froide – 3^{ème} session)

6.5.3. Synthèse et discussion :

L'ensemble des analyses des observations que nous venons de faire, nous permet de retenir qu'il y a plusieurs modes d'utilisation de l'espace :

- Le passage rapide « la simple transition dans l'espace » : ceci correspond à des personnes qui se déplacent seules, en grande partie, dans l'espace sans effectuer de station. Nous n'avons pas constaté de différence entre les moments de la journée, ni entre l'été et l'hiver. Les cheminements, les plus empruntés conduisent par exemple à la cafétéria de la place de la Liberté, et aux accès aux boutiques et entrées d'immeubles et équipement, place de l'Indépendance. D'ailleurs, s'il n'y a pas de différence entre l'été et l'hiver, c'est certainement parce que pour les déplacements rapides, ce sont les caractéristiques fonctionnelles des espaces urbains qui priment.

Cependant, les trajectoires les plus empruntées sont celles qui affichent les valeurs d'humidité les plus élevées en été, c'est-à-dire les plus fraîches et les valeurs de température globale les plus élevées en hiver, autrement dit, les endroits les plus chauds.

- Les déplacements de longue durée « promenade » : Ce sont des personnes qui se promènent, qui utilisent un bâtiment ou un magasin, qui avancent avec un équipement mobile (poussette), avec des proportions similaires de personnes en groupe et de personnes seules. Le déplacement est plus rapide en hiver qu'en été, ce qui nous amène à dire que les usagers sont plus en promenade dans l'espace en été qu'en hiver.

En été, comme en hiver, ce sont davantage des sujets qui se déplacent en groupe. 10% du temps des stations effectuées a été utilisé pour des activités ayant comme support un élément structurel de la place, tels que le bord du bassin d'eau, les bancs. Bien que la durée moyenne de la présence sur place soit similaire en été et en hiver, la durée moyenne de station est toujours plus longue en été qu'en hiver. Ce sont de courtes stations de réajustement.

- Les stations de courtes durées : ce sont les petites stations, effectuées lors des déplacements avec des proportions similaires des sujets qui se déplacent en groupe ou seuls. Elles peuvent occuper plus de la moitié du temps de présence sur place.

En été comme en hiver, les stations de courte durée sont effectuées pour les mêmes types d'activités, pour un réajustement quelconque telles que ranger les courses, hésiter avant de continuer le chemin, prendre quelque chose dans le sac. En hiver comme en été, les stations de courtes durées sont plus fréquentes le matin et à midi. Elles sont légèrement de plus longue durée en hiver qu'en été. Nous avons observé en moyenne 10 secondes de plus en hiver.

Nous émettons l'hypothèse qu'en hiver les usagers sont plus vêtus qu'en été, ce qui rend ces activités de réajustement plus longues.

C'est place de l'Indépendance où la différence été / hiver a été la plus marquée (57% du temps de présence sur place a été passé en station en été contre 37% en hiver). C'est place de l'Indépendance également qu'en hiver le matin, de courtes stations ont été enregistrées là où nous avons enregistré les valeurs les plus basses de températures de l'air et de température globale, c'est-à-dire là où il fait le plus froid. Ceci nous amène à dire qu'il n'y a pas de liaison automatique entre les paramètres microclimatiques et les endroits où les courtes stations sont effectuées.

Cependant, certaines liaisons inattendues ont été enregistrées. En été ; à midi, nous avons observé des stations de courtes durées dans les blocs où la valeur de température globale était la plus élevée, autrement dit là où il fait le plus chaud.

- Les stations de moyenne durée : ce sont des stations effectuées davantage par des personnes qui se déplacent en groupe. En hiver, bien que la durée de la présence sur place soit proche de celle d'été avec seulement 5 secondes de différence, les stations de moyennes durées sont plus longues avec 24 secondes de différence. C'est la place de la Liberté que la plus grande différence a été enregistrée (41 secondes). C'est également cette place qui offre le plus grand choix d'installation, vu la présence des bancs et leur répartition dans la place.

Dans les trois places, c'est en été, en début d'après-midi (troisième session), nous avons enregistré une importante proportion de personnes en déplacement dans les places en effectuant des stations de durée moyenne. L'utilisation de mobilier urbain pour effectuer ces stations est nettement marquée.

- Place de la Liberté, en hiver, à midi et l'après-midi, c'est à proximité de la façade, que nous avons enregistré le plus de stations de moyennes durées, c'est également de ce côté que nous avons enregistré les valeurs les plus élevées de température sèche de l'air, de température globale et également d'humidité relative.

- Place de l'Indépendance, en été, seul le bloc 1 a été utilisé pour une station de moyenne durée. (s'asseoir sur le banc). C'est un banc qui est situé sur une des trajectoires les plus fréquentées de la place. Contrairement aux autres bancs, c'est également un banc qui offre une certaine visibilité vers l'avenue.

- Les stations de longues durées : ce sont des stations effectuées autant par des personnes seules qu'en groupe, avec une légère hausse du nombre de personnes en groupe. Ce sont davantage des stations pour des activités ayant comme support un mobilier urbain ou un élément structurel de la place. Ce sont des personnes qui se sont assises sur un banc, en train de lire un journal, manger un sandwich, regarder le va-et-vient. Les durées de station sont également plus élevées en hiver (plus de cinq minutes). Ce sont des résultats auxquels nous ne nous attendions pas. Nous avons tenté de les expliquer (cf. §9.4.4) par le fait que ce type d'espace public minéral offre plus de possibilités pour les activités récréatives, par rapport à d'autres espaces ayant un caractère végétal. En été, les usagers préfèrent s'installer plus dans ces derniers. C'est plutôt la promenade que nous observons dans des espaces minéraux aménagés d'arbres, de bancs, et de bassins d'eau, comme les trois places qui ont été le support de cette recherche exploratoire. Nous pouvons faire l'hypothèse que le caractère minéral et aménagé des places offre plus de possibilités pour des activités récréatives comme pour des activités fonctionnelles surtout en hiver. Les stations de moyenne ou de longue durée s'effectuent en fonction des éléments structurant la place (bord du bassin, muret, vitrine, tableau d'affichage, ...) et du mobilier urbain (bancs).

Nous avons remarqué qu'en été, aucune station de moyenne ou de longue durée n'a été effectuée dans un endroit ensoleillé. Les endroits où les usagers ont effectué de longues stations sont ceux où nous avons enregistré les valeurs les plus élevées d'humidité relative de l'air.

Autrement dit, là où il fait plus frais là où il y a de l'ombre.

- Place de la Liberté, les blocs 4 et 6 ont été utilisés pour une station de longue durée en hiver et de moyenne durée en été. Les blocs 3, 5 et 7 sont les blocs qui ont été le plus utilisés pour une station prolongée en été. La partie nord de la place a été utilisée pour de courtes et de longues stations. Les points au côté nord de la place affichent des valeurs de température globale et d'humidité plus élevées que celles enregistrées au côté sud. La vitesse de l'air par contre évolue à l'inverse, elle est plus élevée côté sud de la place.

- Place du 1^{er} Mai et place de l'Indépendance, les stations de longue durée sont fonction de l'aménagement et le mobilier urbain, spécialement les bancs publics. Place du 1^{er} Mai, en hiver, le seul endroit aménagé, avec des bancs et des palmiers, se démarque clairement par une faible température globale associée à une faible vitesse de l'air, par rapport aux autres points. Cependant c'est l'endroit qui a été utilisé pour des stations de longue durée.

Il est extrêmement difficile de faire abstraction des aspects fonctionnels des lieux. Cependant, l'ensemble des analyses menées, dans cette section ont montré qu'il y a des différences sensibles dans la fréquentation et dans la nature des activités entre l'été et l'hiver. Les personnes qui fréquentent les places en été, les traversent simplement, en hiver. Sans prétendre confirmer que des changements du microclimat ont un impact sur le nombre de personnes fréquentant l'espace ou sur la réduction du temps de présence sur place, nous pouvons remarquer qu'une grande différence entre l'été et l'hiver a été observée. Le nombre de personnes fréquentant les places en été double pratiquement par rapport à l'hiver. La durée de passage et d'arrêt sont plus importantes en hiver qu'en été.

Il est clair que nous ne pouvons pas confirmer qu'il y ait ou pas une incidence directe des variations microclimatiques sur les pratiques et les usages en espace public extérieur étant donné que notre méthode n'a été appliquée que sur trois places. Cependant, nous pouvons avancer que l'utilisateur effectue ses stations et ses déplacements en fonction de l'aménagement et du mobilier de la place ou en fonction de la raison de sa présence sur place. Le microclimat n'intervient que de façon secondaire. Ceci rejoint les résultats des analyses des questionnaires. Il semble que le climat seul ne suffit pas pour rendre un lieu agréable, il participe à valoriser ou dévaloriser les caractéristiques physiques de l'espace. Par conséquent, le choix d'installation passe d'abord par l'aspect visuel et fonctionnel de l'espace.

Les types de données recueillies offrent plusieurs possibilités d'analyse statistiques, si l'échantillon des sites d'études était plus large, des analyses de corrélation entre les différents paramètres climatiques et la durée des stations, l'analyse de régression multiple permettrait de voir quels paramètres constituent des prédicateurs de la durée des stations. Ils permettraient également de faire une classification des blocs selon leurs caractéristiques microclimatiques. Une telle classification permettrait de tester s'il y a des différences significatives dans la durée des stations effectuées sur les différents types de blocs microclimatiques. Ceci permettrait peut-être d'avoir des résultats « généralisables ». Cependant, étant donné le temps qu'il a fallu pour réaliser le codage des observations vidéo et la limite du temps de cette thèse, nous n'avons pas pu étaler l'étude sur d'autres aspects que ceux développés le long de ce manuscrit.

6.6. Conclusion :

Les études de cas présentés dans ce chapitre nous ont permis non seulement de développer un exemple concret de mise en liaison des données microclimatiques et comportementales, mais ont apporté également un éclairage sur les capacités d'une telle méthode quant à l'analyse de l'impact des caractéristiques microclimatiques sur l'usage et les activités en espace public extérieur. Ainsi, les différentes techniques utilisées ont été illustrées. L'analyse microclimatique nous a permis de déceler que ce sont les deux mesures de la température globale et d'humidité de l'air qui traduisent le plus l'impact du cadre bâti sur les mesures microclimatiques. Nous avons constaté que l'apparition du soleil et la durée d'exposition au cours de la journée, jouent un grand rôle dans la création de différences microclimatiques entre les différents lieux de la place. Nous avons vu également l'importance des différences d'aménagement urbain spécialement les arbres et la végétation et l'orientation des façades au soleil et la nature des matériaux dans la création des zones microclimatiques variées. Nous avons remarqué l'importance de « l'ombre » des arbres et palmiers dans la création d'une certaine homogénéité des conditions climatiques.

L'analyse des questionnaires a révélé que les paramètres climatiques les plus évoqués, sont ceux liés à l'ensoleillement. L'aspect climatique a été reconnu par les usagers comme l'un des éléments participant aux choix de l'emplacement (lorsque les usagers souhaitent s'arrêter), ou des cheminements parcourus. Nous avons également remarqué que les usagers qualifient ou disqualifient l'espace de par ses caractéristiques climatiques propres et que la gêne est fortement liée aux types d'usage que la personne fait de l'espace. Le climat intervient en second lieu, dans la perception de l'ambiance. Il n'y a pas de lien perçu entre les critères typo-morphologiques et microclimatiques. Il est perçu comme un élément du micro environnement, et les conditions climatiques sont alors liées aux types d'aménagements en place. C'est seulement par la présence d'aménagements que les usagers perçoivent la possibilité d'améliorer le bien-être climatique.

Les observations ont montré qu'il y a des différences sensibles dans la fréquentation et dans la nature des activités entre l'été et l'hiver. Les personnes qui fréquentent les places en été, ne font que la traverser en hiver. Nous avons observé que le nombre de personnes fréquentant les places en été double pratiquement en hiver. La durée de passage et d'arrêt sont plus

importantes en hiver qu'en été. Nous pensons que ceci est dû au caractère minéral et aménagé des places qui offre autant de possibilités pour des activités récréatives que pour des activités fonctionnelles. Nous avons également constaté que les stations de moyenne ou de longue durée s'effectuent en fonction des éléments structurant la place (bord du bassin, vitrine, muret, tableau d'affichage, ...) et du mobilier urbain (bancs). Nous avons remarqué qu'en été, aucune station de moyenne ou de longue durée n'a été effectuée dans un endroit ensoleillé et que les endroits où les stations de longues durées ont été effectuées sont ceux où il fait plus frais et où il y a de l'ombre sur place.

Cet ensemble de résultats souligne que c'est dans l'usage récréatif des espaces publics que leurs caractéristiques climatiques sont perçues comme importantes, et pris en compte dans les choix d'installation et des déplacements par les usagers. La perception d'une ambiance agréable et l'utilisation d'un mobilier passe d'abord par l'aspect « visuel et fonctionnel » avant l'aspect « perçu et ressenti climatique ». Si on va chercher à investir un lieu, c'est pour les caractéristiques physiques qu'il présente, pour les possibilités et les choix d'emplacement que son aménagement offre ou parce qu'il y a une attraction fonctionnelle quelconque. Le climat intervient, en deuxième position.

Nous avons montré également que la structure des deux logiciels (Map Info et Visual Dbase) permettent de rajouter d'autres paramètres, de faire de sélections, de développer des programmes de calculs et de mettre en liaison les données.

Nous pensons que cette approche interdisciplinaire peut aboutir à la possibilité de coupler et de mettre en liaison différents types d'indicateurs, non pas pour obtenir une réponse exacte pour une situation de confort en espace extérieur, mais plutôt pour évaluer l'incidence d'une décision d'aménagement sur les usages et les fréquentations.

Nous sommes conscients que ce genre d'approche est délicat car aucune validation ne nous permet d'affirmer de manière définitive, la réalité de l'état de bien-être en espace public.

Cependant, en absence de modèle de « confort » reconnu en espace extérieur, ces techniques nous aident à mieux définir les effets du microclimat sur l'individu. En effet, nous ne prétendons pas apporter des critères absolus de quantification de l'usage en espace public extérieur traduisant un certain état de bien-être de confort : cela nécessiterait un travail de validation qui n'est pas envisagé dans le cadre de cette thèse. Néanmoins, par une comparaison des résultats, par une analyse différentielle des situations, une telle démarche doit permettre

d'apporter des informations pertinentes dans la problématique de l'usage, du confort et du bien en espace extérieur si nous considérons la « qualité climatique » d'un espace dans sa conformité avec l'usage.

Enfin, il est important de rappeler que les appréciations et les perceptions individuelles concernant le microclimat peuvent être très diversifiées et diversement affectées, c'est pourquoi, il est utile d'établir des indices prédictifs de taux, de densité et de stabilité de l'occupation de l'espace.

**CONCLUSION GENERALE
ET PERSPECTIVES**

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

En nous intéressant à l'impact du microclimat sur l'usage et les activités, nous avons voulu contribuer à une réflexion nécessaire sur les moyens d'intégration des éléments concernant l'individu et l'usage qu'il fait de l'espace dans les préoccupations concernant la conception et l'aménagement de l'espace urbain, en cherchant notamment à contribuer au développement des modèles de comportement du piéton ou des modèles estimant le confort en espace extérieur.

Durant ces dernières décennies, la relation et l'interaction entre le climat et la morphologie urbaine est devenue une préoccupation importante. En effet, le climat urbain est fortement perturbé par la structure même de la ville, par les matériaux utilisés, par les surfaces végétales, par les activités anthropogéniques qui s'y développent. La ville en modifiant le climat agit directement sur les problèmes de santé liés aux vagues de chaleurs et de pollution, sur le confort en espace extérieur et sur la consommation d'énergie dans les bâtiments. Parallèlement, des exemples de propositions en accord et en harmonie avec l'environnement démontrent qu'il est possible de réguler certaines nuisances.

Notre contribution a permis le développement d'une méthodologie de mise en liaison des données microclimatiques issues des mesures et données concernant les pratiques des usagers issus de l'observation vidéo et d'enquêtes. Nous avons en effet essayé de montrer que c'est un travail de « quantification » de l'aspect « qualitatif » de l'usage que les individus font de l'espace que nous pouvons accéder à la mise en liaison entre le microclimat et les usagers et les activités en espace public extérieur.

Si nous reprenons la structure du manuscrit, nous rappelons que cette démarche a été effectuée en deux étapes d'intervention :

- la première étape est basée sur une synthèse bibliographique relative aux domaines de la microclimatologie urbaine et la psychologie de l'environnement, notamment la relation que l'individu entretient avec le milieu urbain. Ainsi que le confort thermique en espace de communication extérieur, et également, l'eau et la végétation en milieu urbain.
- la deuxième étape a porté plus spécifiquement sur notre propre contribution dans la mesure où nous avons dû concevoir une méthode à partir de différentes techniques. Pour le traitement des données, nous avons utilisé essentiellement deux logiciels que nous avons interfacés et

utilisés l'un pour compléter l'autre. Ainsi, des développements de programmes de calculs ont été réalisés. Une application sur trois places publiques a permis d'illustrer notre approche.

Dans cette étude, nous avons envisagé l'impact de la ville sur le climat à une échelle que nous avons qualifiée de microclimatique, l'échelle de l'espace public. En nous plaçant au niveau de la rue, du quartier, du parc ou du square, les interactions entre l'environnement bâti et climat sont immédiates et peuvent induire des phénomènes qu'il est nécessaire de bien comprendre de manière à pouvoir faire de propositions constructives pour diminuer, voir supprimer les conséquences néfastes et nuisibles d'un aménagement non réfléchi. Ainsi, nous avons passé en revue les différents phénomènes physiques d'interaction entre le milieu urbain et le climat. Cette connaissance théorique, a permis de définir certaines notions et a mis en exergue la complexité des échanges entre climat et milieu urbain.

En analysant les principaux résultats d'études menées dans le domaine de la climatologie urbaine, nous avons pu mettre en évidence certaines caractéristiques de la morphologie urbaine en vue d'une tentative de les relier directement aux conditions microclimatiques résultantes. Les différentes recherches dans ce domaine s'appuient généralement soit sur des campagnes de mesures, soit sur essais en soufflerie, soit sur des simulations numériques. La technique de mesure nous a paru la plus intéressante comparée à nos objectifs et nos hypothèses. Avant de présenter notre contribution dans la deuxième partie de ce document, nous avons recensé les paramètres microclimatiques les plus significatifs pour caractériser une situation microclimatique en espace public extérieur. Nous nous sommes rendus compte rapidement de la complexité de la question des microclimats étant donné le caractère fluctuant de l'ensemble des paramètres climatiques qui non seulement interagissent avec le milieu bâti mais aussi sont en interaction perpétuelle les uns avec les autres.

Ainsi, pour une caractérisation fiable, la mesure doit être répétée plusieurs fois et nécessite des appareils de mesure permettant une mesure simultanée de l'ensemble des paramètres climatiques. Certaines autres mesures s'avèrent difficiles à réaliser. Nous nous sommes donc limités à quelques paramètres mesurables. Nous nous sommes rendus compte également que pour une meilleure caractérisation microclimatique des lieux, les mesures doivent être effectuées en conditions stables : vents faibles et ciel clair, étant donné que le vent fait fluctuer de façon considérable les autres paramètres du climat ; surtout l'humidité et

la température de l'air. La couverture du ciel contribue également à augmenter les multi réflexions.

Cette introduction à la micro climatologie urbaine a été complétée dans le troisième chapitre de la première partie par les relations qu'entretient l'individu avec son milieu urbain. En guise de préliminaire sur l'impact du milieu bâti sur le comportement et les activités des usagers, nous avons tenu à signaler les différentes approches de l'étude de la relation « personne/environnement ».

Nous nous sommes concentrés sur les différentes approches cherchant à qualifier cette relation et à analyser les comportements des individus. Nous avons vu que la morphologie du milieu bâti, sa structure, ses caractéristiques physiques (éclairage, couleur, largeur, profondeur, ...) agissant sur l'individu, sa perception et son évaluation, ses attitudes, cependant il est quasiment impossible de confirmer que notre environnement détermine nos pratiques, nos perceptions. En milieu urbain et quand il s'agit d'étudier l'utilisateur, il y a une interaction de plusieurs facteurs et paramètres que nous ne pouvons contrôler. Ce qui nous amène à simplifier nos questions, de chercher à traduire l'usage sous forme d'indicateurs simples tels que durée de déplacement (rapidité), durée de station, densité et taux d'occupation de l'espace. De simples indicateurs qui peuvent être mis en relation avec des indicateurs microclimatiques des lieux (température, vitesse du vent, humidité, ...) et des variations journalières ou saisonnières de ces derniers.

Cette accumulation de connaissances, dans ces domaines, était nécessaire et même indispensable pour passer à la troisième partie de ce travail, qui compte trois chapitres. Le premier chapitre se penche plus concrètement sur l'analyse des formes urbaines à travers l'appréciation et la comparaison entre formes urbaines traditionnelles et contemporaines et leur interaction avec le climat.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons en détail la méthode que nous avons élaborée pour mettre en liaison des données d'observation comportementales et les données microclimatiques. Cette méthode a été illustrée sur trois places publiques à la ville de Biskra.

Enfin, dans le troisième chapitre, nous présentons les sites d'étude. Nous traitons successivement les trois techniques que nous avons utilisées (mesures, enquêtes et observations) ainsi que les trois types de données (microclimatiques, morphologiques et comportementales).

Nous terminons en présentant des résultats relatifs à l'ensemble des analyses faites (microclimatique, discours recueillis auprès des usagers, observations).

Pour avoir une caractérisation microclimatique, nous avons collecté des données climatiques. Nous nous sommes focalisés sur seulement deux journées, une journée chaude et une autre froide sous des conditions de vents faibles. Ces deux situations permettent de vérifier l'impact des variations microclimatiques sur l'usage et les activités.

Au-delà des rappels concernant les différentes techniques utilisées (questionnaire, observation et mesures) pour mener à bien l'étude, l'analyse des résultats des questionnaires montre que les paramètres climatiques sont changeants et perçus comme tels. Le climat est reconnu comme l'un des éléments participant aux choix de l'emplacement (lorsque les usagers souhaitent s'arrêter) ou des cheminements parcourus. Globalement, les usagers ont tendance à s'exprimer davantage sur le climat des sites en été qu'en hiver.

Nous avons vu qu'il y a une perception des variations microclimatiques par les usagers, mais il n'y a pas de lien perçu entre les critères typo-morphologiques et microclimatiques. Ils sont indépendants aux yeux des usagers. Le climat seul ne suffit pas à rendre un lieu agréable, il participe à valoriser ou dévaloriser les caractéristiques physiques du site. Par conséquent, la perception d'une ambiance agréable passe d'abord par l'aspect visuel, du milieu construit, avant l'aspect ressenti climatique.

Les observations ont confirmé les résultats obtenus à travers les questionnaires. Elles démontrent des différences sensibles dans la fréquentation et dans la nature des activités entre l'été et l'hiver. Les personnes qui fréquentent les places en été, la traversent simplement pour se rendre quelque part, en hiver. Nous ne pouvons pas confirmer que des changements du microclimat sont conséquents sur le nombre de personnes fréquentant l'espace ou sur la réduction du temps de présence sur place, cependant nous signalons que nous avons enregistré une grande différence entre l'été et l'hiver. Le nombre de personnes fréquentant les places en été double pratiquement par rapport à l'hiver. Les durées de passage et d'arrêt sont plus importantes en hiver qu'en été. Nous ne pouvons pas confirmer qu'il y ait ou non d'influence directe du climat sur les pratiques et les usages en espace public étant donné que nous n'avons appliqué notre méthode que sur trois places. Cependant, bien qu'il semble que les stations se font en fonction des trajectoires empruntées coïncident avec les valeurs de température globe les plus élevées associées à des valeurs d'humidité relative les plus basses.

En été, par contre, seul sur la place de la Liberté, nous avons observé que les trajectoires les plus empruntées coïncident avec les endroits où nous avons relevé les valeurs d'humidité les plus élevées. Place de l'Indépendance, c'est le contraire, bien que ce passage affiche des valeurs élevées de températures globe cela n'a pas empêché que ça soit le passage le plus utilisé pour le déplacement dans la place.

En été, comme en hiver, les stations de moyennes et de longues durées sont effectués davantage l'après-midi et dans les endroits où il y a présence d'éléments d'aménagement urbain, d'un mobilier urbain ou d'un élément structurel de la place (bord du bassin, muret, ...).

En été, nous n'avons enregistré aucune station de longue durée dans les parties ensoleillées des trois places. En été, l'après-midi, place de la Liberté, les endroits les plus utilisés sont ceux où les valeurs les plus élevées d'humidité relative et également de température globe ont été enregistrées.

Les résultats recueillis des observations rejoignent donc ceux de l'analyse des questionnaires. L'utilisateur effectue ses stations et ses déplacements en fonction de l'aménagement et du mobilier de la place ou en fonction de la raison de sa présence. Le microclimat n'intervient que de façon secondaire.

Il faut également le reconnaître dans les trois places choisies, nous n'avons pas de différences très nettes concernant les caractéristiques microclimatiques, entre les différents blocs. Cela nous amène à parler des perspectives possibles de ce travail. Même si de nombreux objectifs de départ sont atteints, de nombreuses améliorations peuvent être apportées de manière à rendre encore plus précise l'analyse de l'impact du microclimat sur l'usage en espace public extérieur. Une recherche sur un sujet aussi vaste que celui abordé ici doit s'envisager sur le long terme et nous pouvons proposer deux types de perspectives principales à ce travail de thèse :

Le premier type de perspective concerne les améliorations liées aux techniques utilisées (l'observation vidéo, les mesures et l'enquête auprès des usagers). Parmi celles envisageables, nous proposons de :

- faire des observations ciblées, aux endroits où des effets climatiques sont remarquables. Pour cela, le choix des sites d'étude doit être basé sur des critères de variabilité et de contraste microclimatique. Il ne faut pas se faire une observation de l'ensemble de l'espace, mais se focaliser sur des lieux bien caractérisés climatiquement (effet aérodynamiques, effets thermiques).

Il serait intéressant également d'appliquer la méthode développée sur d'autres espaces publics.

- varier les conditions climatiques, il sera intéressant de faire des observations durant les deux saisons intermédiaires : le printemps et l'automne. Il serait également intéressant multiplier les observations par condition climatique. Autrement dit, avoir au moins trois jours d'observation pour la même condition climatique afin de vérifier la stabilité des phénomènes observés.

- faire des observations plutôt le week-end. La fréquentation des lieux peut être très significative par rapport aux conditions du climat. Les usagers sont plutôt pour des activités facultatives « récréatives » : tel que se promener, profiter du soleil, ...

- effectuer les enquêtes plutôt en été. L'été est plus propice à s'exprimer sur le climat d'une part et à explorer l'espace d'autre part.

- intégrer des indices de confort tels que le P.M.V, en plus des facteurs climatiques mesurés.

Le deuxième type de perspectives concerne les applications envisageables. Nous pensons que notre contribution donne quelques éléments simples qui peuvent être intégrés à un modèle de calcul de « confort » en espace extérieur si nous considérons la « qualité » d'un espace dans le degré de conformité entre l'usage et les conditions physiques de l'environnement par exemple :

- la durée moyenne de présence sur site, en été et en hiver.

- la durée moyenne du temps de passage (traversée) dans le site, en été et en hiver.

- le nombre de personnes fréquentant les lieux en été et en hiver, et si possible : matin, midi et après-midi.

- le type de stations effectuées (courte, moyenne ou longue) en été et en hiver par rapport au temps de présence total sur place.

- le nombre de personnes effectuant une station de moyenne ou de longue durée par rapport à l'ensemble des personnes traversant simplement l'espace.

A un niveau plus large, celui d'un tissu urbain, par exemple, il serait possible de prendre comme indicateur le temps moyen passé dans un espace. Se basant sur des enquêtes, il serait possible de définir les espaces publics dans lesquels les usagers passent la plus grande partie de leurs temps, ceux qu'ils fréquentent en dehors de leurs temps de travail, ceux qu'ils

ne fréquentent jamais et qu'ils ne connaissent pas, même s'ils sont physiquement proches, combien de temps, ils passent en moyenne dans ces espaces.

Ces types d'indices concernant l'usage de l'espace peuvent nous donner une indication concernant l'usage. Une fois collectés sur site, ils peuvent être corrélés avec d'autres indicateurs soit morphologiques ou climatiques plus complexes. Ces nombreuses perspectives montrent que ce domaine de recherche émergent offre de nombreux développements possibles dont nous défrichons modestement dans ce travail certaines voies interdisciplinaires nouvelles. Il connaîtra, probablement dans les années à venir sous la pression de la montée en puissance des préoccupations environnementales et de la « vague » du développement durable, un essor important.

LISTE DES FIGURES

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1.: Les zones arides dans le monde.	25
Figure 1.2. Le piégeage et les multi-réflexions du rayonnement solaire en fonction de deux types de composantes urbaines au sol.	32
Figure 1.3. Choix des orientations de l'espace pour des besoins de rayonnement solaire.	35
Figure 1.4. Situation d'ensoleillement d'une rue avec une façade orientée Est-Ouest en hiver.	36
Figure 1.5. Exposition solaire par deux profils de rue différents : (a) été et hiver, (b) hiver.	37
Figure 1.6. Diffusion des radiations de faible longueur d'onde.	38
Figure 1.7. Schématisation de l'effet de dièdre.	43
Figure 1.8. Opacité et perméabilité du feuillage en été et en hiver.	45
Figure 1.9. Comparaison de la distribution du rayonnement solaire direct sur une surface homogène et sur une surface végétale.	46
Figure 1.10 : Effet de brise vent sur le rayonnement solaire global et sur les échanges radiants de grandes longueurs d'ondes.	47
Figure 1.11 Profil vertical de vitesse du vent au-dessus d'un couvert végétal élevé.	53
Figure 1.12. Profils verticaux de vent pour différents types de terrains.	54
Figure 1.13. Profil de la circulation de l'air en fonction du rapport de la hauteur moyenne de la rue et de sa largeur.	56
Figure 1.14. Écoulement du vent dans des dispositions en dents de scie et dans des dispositions convexes.	57
Figure 1.15. Canalisation du vent par une direction de rue.	57
Figure 1.16. Ecoulement du vent sur une géométrie simple.	58
Figure 1.17. Quelques effets aérodynamiques du vent.	60
Figure 1.18. Variation de l'humidité relative sous le couvert végétal.	63
Figure 1.19. Comparaison de la température d'une pelouse et d'une allée au soleil et à l'ombre.	63
Figure 1.20. Vue sur le village de Mélika dans la vallée du M'Zab.	71
Figure 1.21. Les trois types de quartiers trouvés dans la ville de Toulouse.	73
Figure 2.1. Interaction entre la température, le vent et la nébulosité sur la fréquentation des espaces extérieurs.	109
Figure 3.1 : Les différents types d'échanges thermiques	128
Figure 3.2 : Zone de confort pour la nouvelle Température Effective	137
Figure 3.3: Diagramme de confort relatif au PMV	142
Figure 3.4 : Conditions de confort pour un piéton au soleil d'après Penwarden	143
Figure 3.5 : Conditions de confort pour un piéton à l'ombre d'après Penwarden	143
Figure 3.6 : Diagramme de Givoni	151
Figure 4-1 : Bassin avec jets à Séville	167
Figure 4-2 : Cascade et brumisateurs à Lisbonne	167
Figure 4-3 : L'Alhambra de Grenade	168
Figure 4-4 : Un arbre à différentes saisons.	169
Figure 4-5 : Ports d'arbre en ville	172
Figure 4.6 : Dimension de neuf arbres communs.	173
Figure 4.7 : Modification de l'espace grâce à l'espacement entre les arbres	174
Figure 4.8 : Modification de l'espace grâce à la forme des arbres	174
Figure 4.9 : Transferts thermiques d'un bassin	179

LISTE DES FIGURES

Figure 4.10 : Brumisation dans la végétation	183
Figure 4.11 : Tour de refroidissement	183
Figure 4.12 : Transmission solaire	187
Figure 4.13 : Zones végétales isothermes à 27, 28 et 29°C	192
Figure 4.14 : Modification des transferts de chaleur autour d'un arbre	196
Figure 4.15 : Economie d'énergie dues aux effets directs et indirects des arbres dans trois villes américaines	197
Figure 4.16 : Impact microclimatique	212
Figure 5.1. Trois places publiques choisies	227
Figure 5.2. Place de la Liberté, plan et vues	228
Figure 5.3. Place de l'Indépendance, plan et vues.	229
Figure 5.4. Place du 1 ^{er} Mai, plan et vues.	230
Figure 5.5. Application de la trame de cases carrées aux trois places publiques choisies.	233
Figure 5.6. Constitution des blocs et des points de mesures dans trois places choisies.	236
Figure 5.7. Présentation des emplacements des caméscopes et leurs champs de visions dans les trois places.	252
Figure 5.8. Matériel utilisé pour la réalisation du codage comportemental.	252
Figure 5.9. Exemple de codage des activités (Place de l'Indépendance, période chaude, première session)	257
Figure 5.10. Exemple de codage des caractéristiques des usagers (Place de l'Indépendance, période chaude, première session)	258
Figure 6.1. Place de l'Indépendance (Période chaude - Première session)	305
Figure 6.2. Place de l'Indépendance (Période chaude - Deuxième session)	305
Figure 6.3. Place de l'Indépendance (Période chaude -Troisième session)	306
Figure 6.4. Place de l'Indépendance (Période chaude - Quatrième session)	307
Figure 6.5. Place de l'Indépendance (Période froide - Première session)	309
Figure 6.6. Place de l'Indépendance (Période froide - Deuxième session)	309
Figure 6.7. Place de l'Indépendance (Période froide - Troisième session)	310
Figure 6.8. Place de Liberté (Période chaude – Première session)	312
Figure 6.9. Place de la Liberté.(Période chaude – Deuxième session)	313
Figure 6.10. Place de la Liberté(Période chaude – Troisième session)	313
Figure 6.11. Place de la Liberté(Période chaude – Quatrième session)	314
Figure 6.12. Place de la Liberté.(Période froide – Première session)	316
Figure 6.13. Place de la Liberté.(Période froide – Deuxième session)	317
Figure 6.14. Place de la Liberté.(Période froide – Troisième session)	317
Figure 6.15. Place du 1 ^{er} Mai.(Période froide – Première session)	318
Figure 6.16. Place du 1 ^{er} Mai.(Période froide – Deuxième session)	319
Figure 6.17. Place du 1 ^{er} Mai.(Période froide – Troisième session)	319
Figure 6.18. Récapitulatif des trajectoires(Place de l'Indépendance – Période chaude – 1 ^{ère} session)	320
Figure 6.19. Récapitulatif des trajectoires(Place de l'Indépendance – Période chaude – 2 ^{ème} session)	320
Figure 6.20. Récapitulatif des trajectoires(Place de l'Indépendance – Période chaude – 3 ^{ème} session)	321

LISTE DES FIGURES

Figure 6.21. Récapitulatif des trajectoires.(Place de l'Indépendance – Période chaude – 4 ^{ème} session)	321
Figure 6.22. Récapitulatif des trajectoires.(Place de l'Indépendance – Période froide – 1 ^{ère} session)	322
Figure 6.23. Récapitulatif des trajectoires.(Place de l'Indépendance – Période froide – 2 ^{ème} session)	322
Figure 6.24. Récapitulatif des trajectoires.(Place de l'Indépendance – Période froide – 3 ^{ème} session)	323
Figure 6.25. Récapitulatif des trajectoires.(Place de la Liberté – Période chaude – 1 ^{ère} session)	323
Figure 6.26. Récapitulatif des trajectoires.(Place de la Liberté – Période chaude – 2 ^{ème} session)	324
Figure 6.27. Récapitulatif des trajectoires.(Place de la Liberté – Période chaude – 3 ^{ème} session)	324
Figure 6.28. Récapitulatif des trajectoires. (Place de la Liberté – Période chaude – 4 ^{ème} session)	324
Figure 6.29. Récapitulatif des trajectoires.(Place de la Liberté – Période froide – 1 ^{ère} session)	325
Figure 6.30. Récapitulatif des trajectoires.(Place de la Liberté – Période froide – 2 ^{ème} session)	325
Figure 6.31. Récapitulatif des trajectoires.(Place de la Liberté – Période froide – 3 ^{ème} session)	326

LISTE DES GRAPHS

LISTE DES GRAPHES

Graphe 1.1. Évolution des différentes composantes du bilan radiatif au cours d'une période de 24 heures à Avignon-Montfavet avec un ciel clair et un ciel couvert.	38
Graphe 1.2. Écart entre la température opérative et la température de l'air, pour des espaces urbains caractérisés par différents taux d'ouverture au ciel.	40
Graphe 1.3. Comparaison de la variation journalière de la température du sol en zone urbaine et en zone rurale, en août 1978.	42
Graphe 1.4 Profil des températures de l'air en ville et à la station météo pour une journée d'été et une journée d'hiver à Aix-en-Provence.	48
Graphe 1.5 : Variation de la température de l'air au niveau du sol entre un centre-ville et des sites périphériques.	49
Graphe 1.6 : Écart entre la température de l'air à l'intérieur d'une rue canyon E-O et au-dessus des toits.	51
Graphe 1.7 : Variation diurne de la température de l'air à 1m du sol et à différentes distances, d'un mur vertical.	51
Graphe 3.1 : Asymétrie du rayonnement et insatisfaction	134
Graphe 3.2 : Correspondance entre le PMV et le PPD.	141
Graphe 6.1. Evolution journalière des paramètres climatiques (Place de la Liberté – période chaude)	264
Graphe 6.2. Evolution journalière des paramètres climatiques (Place de la liberté - période froide)	267
Graphe 6.3. Evolution journalière des paramètres climatiques (Place de l'Indépendance - période chaude)	269
Graphe 6.4. Evolution journalière des paramètres climatiques (Place de l'Indépendance - période froide)	271
Graphe 6.5 Evolution journalière des paramètres climatiques (Place du 1 ^{er} Mai - période froide)	274
Graphe 6.6. Durée de station et paramètres microclimatiques mesurés. (Place de l'Indépendance – Période chaude)	304
Graphe 6.7 Durée de station et paramètres microclimatiques mesurés. (Place de l'indépendance – Période froide)	308
Graphe 6.8. Durée de station et paramètres microclimatiques mesures (Place de la Liberté - Période chaude)	311
Graphe 6.9. Durées de stations et paramètres climatiques (Place de la Liberté - Période froide)	315
Graphe 6.10. Durée de station et mesures des paramètres climatiques (Place du 1 ^{er} Mai - Période froide)	318

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1. Variation de l'albédo et de la température de surface de quelques milieux choisis dans l'agglomération parisienne.	43
Tableau 1.2. Valeurs des longueurs de rugosité pour différents sites.	54
Tableau 1.3. Répartition des fréquences d'inconfort en fonction des paramètres de confort dans la station de Marseille Marignane, toutes les directions de vent confondues.	76
Tableau 2.1. Températures réelles et températures perçues en fonction de l'humidité de l'air.	105
Tableau 2.2. Températures perçues en fonction des vitesses de vent.	110
Tableau 3.1. : Métabolisme thermique et énergie mécanique.	123
Tableau 3.2 : Valeurs des résistances propres I_{cl} de quelques vêtements.	125
Tableau 3.3 : Valeurs moyennes (hommes et femmes) des I_{cl} .	125
Tableau 3.4. : Echange par convection d'après.	130
Tableau 3.5 : Correspondance entre SET sensation et état physiologique.	137
Tableau 3.6 : Débit sudoral, mouillure cutanée et confort.	138
Tableau 3.7 : Indices DISC.	138
Tableau 3.8 : Echelle de Beaufort.	144
Tableau 3.9 : Fréquence de nuisance liée à l'activité.	146
Tableau 3.10 : Coefficient des vêtements de M.C.T.	150
Tableau 3.11 : Coefficients K_{pe} .	150
Tableau 3.12 : Exemples de PET pour différents scénarios.	153
Tableau 4.1 : Relations urbanisme – végétation.	176
Tableau 4.2 : Coefficient d'extinction pour différentes distributions angulaires des feuilles	188
Tableau 4.3 : Coefficients radiatifs pour des arbres en forêt.	189
Tableau 4.4 : Taux de transmission au rayonnement solaire pour différents arbres	190
Tableau 4.5 : Porosité visuelle et aéraulique.	200
Tableau 4.6 : Comparaison des évapotranspirations annuelles cumulées.	208
Tableau 4.7 : Transpiration d'arbres au-dessus de deux surfaces.	210
Tableau 4.8 : Valeurs du coefficient k .	211
Tableau 5.1. Tableau récapitulatif des paramètres retenus.	231
Tableau 5.2. L'organisation des mesures des paramètres climatiques dans « Visual D-base ».	242
Tableau 5.3. Caractéristiques de la configuration spatiale.	243
Tableau 5.4. Thème et objectifs des questions posées aux usagers	248
Tableau 5.5. Tableau récapitulatif schématisant la grille d'analyse du questionnaire.	249
Tableau 5.6. Grille de codage de la « Population » : caractéristiques des usagers.	255
Tableau 5.7. Grille de codage des positions et des activités.	257
Tableau 6.1 : Tableau récapitulatif des mesures climatiques (Les trois places - période froide)	263
Tableau 6.2 : Tableau récapitulatif des mesures climatiques (Les deux places - période chaude)	263
Tableau 6.3. Tableau récapitulatif des caractéristiques personnelles des usagers interrogés sur les trois places	279
Tableau 6.4. Durée moyenne de déplacement sur les trois places (pré-observations).	289
Tableau 6.5. Trois classes de durée de présence sur les trois places - deux périodes.	290
Tableau 6.6. Population observée dans les trois places, durant les deux périodes.	292
Tableau 6.7. Durée de présence de moins d'une minute.	293
Tableau 6.8. Déplacement de longue durée.	295
Tableau 6.9. Présence plus de deux minutes sur les trois places.	297

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 6.10. Les blocs utilisés pour des stations (Place de l'Indépendance - Période chaude)	303
Tableau 6.11. Blocs utilisés pour les stations (Place de l'Indépendance - Période froide)	307
Tableau 6.12. Les blocs utilisés pour des stations (Place de la Liberté – Période chaude)	311
Tableau 6.13. Durée moyenne de station par bloc(Place de la Liberté - Période froide)	315
Tableau 6.14. Blocs utilisés pour des stations (Place du 1 ^{er} Mai - Période froide)	318