

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

UNIVERSITE CONSTANTINE 3
FACULTE D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

N° d'ordre :
Série :

Thèse de doctorat en Sciences

Spécialité : Architecture

Option : Bioclimatique

TITRE DE LA THESE :

Impact de la végétation sur la qualité des ambiances thermiques et visuelles dans les espaces publics urbains

Cas des climats semi aride

présentée par : **Samira LOUAFI ép. BELLARA**

Sous la direction de : **Dr SALIHA ABDOU**, Professeur à l'université Constantine 3.

Membres du jury :

Professeur	HOUARI HACENE	Président	Université Constantine 1
Professeur	BOURBIA FATIHA	Examineur	Université Constantine 3
Docteur	BOUSSOUALIM AICHA	Examineur	Ecole polytechnique d'architecture et urban design (EPEAU) Alger
Docteur	BELAKEHAL Azzedine	Examineur	Université Mohamed Khider de Biskra
Professeur	SIGRID REITER	Invitée	Université Lema de Liège Belgique
Professeur	ABDOU SALIHA	Rapporteur	Université Constantine 3

Juin 2013

A Ma fille
RAYANE YASMINE
QUE DIEU TE PROTEGE
Pour moi

Avant propos

L'ensemble des travaux de thèse ont été réalisés au sein du laboratoire Architecture Bioclimatique et Environnement (ABE) de l'université Constantine3 sous la direction du Professeur Saliha Abdou. Ses idées lumineuses ainsi que les nombreuses discussions scientifiques que nous avons menées resteront à jamais gravées dans ma mémoire. Sa simplicité, sa disponibilité, sa patience, ses encouragements incessants et la confiance continue dont j'ai bénéficié pendant la durée de cette recherche ont été le catalyseur pour la réussite de mon travail de recherche. Un grand MERCI.

J'adresse mes sincères remerciements à la directrice du laboratoire ABE le Professeur Fatiha Bourbia, pour m'avoir accueilli dans son groupe de recherche et m'a permis de réaliser cette thèse. Je remercie également Professeur Yasmina Bouchahm pour ses directives, ses conseils.

Je tiens à remercier le professeur Hacene Houari de l'université Mentouri de Constantine de m'avoir fait l'honneur de présider mon jury de thèse.

Que Madame le Professeur Sigrid Reiter de l'université de Liège Belgique, trouve ici, l'expression de ma gratitude et de mon profond respect de m'avoir accueilli dans son équipe de laboratoire. Qu'elle soit remerciée par ailleurs, de m'avoir fait l'honneur de participer à la commission d'évaluation de cette thèse.

Je tiens également à remercier les membres du jury pour avoir accepté de juger mon travail de thèse : Madame Aicha Boussoualim, Docteur, Université de l'EPEAU d'Alger et je la remercie pour la documentation et son accueil chaleureux pour le démarrage de cette thèse et Monsieur Azzedine Belakhal, Docteur, Université Khiter Lakdar de Biskra. Merci à eux d'avoir bien voulu examiner ce manuscrit avec beaucoup d'intérêt.

Merci à Monsieur le professeur Jacque TELLER pour sa disponibilité, pour ses conseils fructueux, et pour toutes les petites aides efficaces apportées à mes petits problèmes du logiciel. Ton aide a toujours été un réconfort pour moi.

Je voudrais remercier l'équipe du Laboratoire de CERMA de Nantes pour leur aide fructueux pour le démarrage de cette recherche. Merci à Monsieur Pascal Joanne du laboratoire CERMA l'Université de Nantes, pour l'accueil et la documentation

Que soient remerciés également Monsieur S. Abdoune et l'équipe audiovisuelle pour leur aide précieuse dans la réalisation des photos fishe eyes.

Que soit remercié le groupe observateur durant le parcours commenté.

En fin je remercie tout l'équipe du laboratoire ABE.

L'élaboration de cette thèse a été pour moi une expérience riche en questionnements, découvertes, voyages, rencontres et évolutions. Que tous ceux qui y ont contribué de près ou de loin en soient remerciés. Je pense plus particulièrement à ma famille et à mes amis qui m'ont soutenue et encouragée tout au long de son développement.

Note préliminaire

Cette thèse se compose de six chapitres qui possèdent chacun leur propre numérotation. Les références bibliographiques sont mentionnées en bas de page et en fin de document. Pour une lecture plus aisée du document, un index des calculs synthétisés a été ajouté en annexe.

Ce travail a fait l'objet de deux publications dans un journal scientifique national et international et de quatre communications internationales. Une troisième publication est actuellement en cours de soumission.

Publications :

Samira LOUAFI ep BELLARA, Saliha ABDU. Effet de l'ombrage sur le confort thermique et visuel dans les espaces extérieurs : cas de l'esplanade de l'Université Mentouri de Constantine, Est de l'Algérie., Revue « **Nature & Technologie** ». Vol **07**, n° **07**/Juin **2012**. pp 26-37.

Samira LOUAFI ep BELLARA, Saliha ABDU. Benefits and Well-Being Perceived by Pedestrian in Vegetated Urban Space in Periods of Heat Stress. **IACSIT**, International Journal of Engineering and Technology. Volume **5**, Number **1**, February **2013**.pp 20-24

Samira LOUAFI ep BELLARA, Saliha ABDU, Sigrid REITER. Effect Of Vegetation Cover On The Thermal And Visual Comfort Of Pedestrians In Urban Spaces In A Hot-Dry Climate. En cours de soumission.

Communication :

S. LOUAFI, S.ABDU. Impact of Vegetation on the quality of Ambience. **Clima2010** - 10th Rehva World Congress 'Sustainable Energy Use in Buildings'. Antalya, Türkiye, **09-12 May 2010**.

S. LOUAFI, S.ABDOU, Rôle de la végétation urbaine sur la qualité des ambiances climatique dans l'espace extérieur. *V^{1^{ème}} Congrès International sur les Energies Renouvelables et l'Environnement CERE, Sousse, Tunisie, 04-06 Novembre 2010.*

S. LOUAFI, S.BEBHARKAT, La qualité des ambiances urbaines dans les espaces publics, Communication du panel 'planification urbaine en AlgérieII : pratique spatiales dans les villes Algériennes du Nord' Congrès Mondial des études sur le Moyen-Orient et l'Afrique du Nord (**WOCMES**) Barcelona, Espagne, **19-24 Juillet 2010.**

S. LOUAFI, S.ABDOU. Les Bienfaits du végétal dans l'espace public. *Séminaire International Villes & Santé, Constantine, Algérie, 06-07 Avril 2011.*

SOMMAIRE

SOMMAIRE	i
Liste des figures	viii
Liste des tableaux	xvii
Abréviations	xx
Introduction Générale	1
Introduction	1
Etat d'avancement de la recherche	5
Problématique	8
Hypothèses de la recherche	10
Objectifs	10
Méthodologie et structure du travail	11
I. NOTION D'AMBIANCE URBAINE ET QUALITE DE VIE DANS L'ESPACE PUBLIC URBAIN	13
I.1 Introduction :	13
I.2 Notion d'ambiance :	14
I.2.1 Apparition de la notion d'ambiance dans les milieux de l'architecture et de l'urbanisme.	15
I.2.2 Définition	16
I.2.2.1 - approche scientifique	20
I.2.2.2 - approche culturelle	21
I.2.3 -De la nuisance au confort, puis du confort aux ambiances	22
I.2.4 -Apparition de la dynamique dans les disciplines les plus diverses	23
I.2.5 La valeur de l'ambiance physique	24
I.3 Espace public urbain	28
I.3.1 Définition et caractéristiques des espaces publics urbains	29
I.3.2 Qualité environnementale dans l'espace urbain	31
I.3.2.1 La qualité, plusieurs enjeux, plusieurs définitions	31
I.3.2.2 La qualité environnementale, un défi pour un développement urbain durable :	32
I.3.2.3 Elaboration d'une définition d'un espace public urbain durable	33
I.4 Paramètres significatif du climat et milieu construit pour une ambiance	35
I.4.1 Paramètres microclimatiques	37
I.4.1.1 Effet de l'ensoleillement et la température sur le milieu urbain	37
I.4.1.2 Humidité de l'air	39

I.4.1.3	Qualité du ciel _____	39
I.4.1.4	Effet du vent sur le milieu urbain _____	40
I.4.2	Paramètres de la configuration de l'espace _____	41
I.4.2.1	Volumétrie du bâti et proportion de l'espace _____	41
I.4.2.2	Éléments d'aménagement urbain _____	46
I.4.2.3	Orientation cardinales de l'espace _____	49
I.4.2.4	Type des matériaux et de surfaces _____	51
I.4.3	Traitement des surfaces urbaines et Influence de la végétation sur le rayonnement solaire _____	53
I.5	Conclusion : _____	54
II.	METHODE POUR EVALUATION D'UNE AMBIANCE A L'EXTERIEUR _____	57
II.1	Introduction _____	57
II.2	Le confort du piéton : _____	58
II.2.1	Le confort du piéton : _____	58
II.2.2	L'adaptation : _____	59
II.2.2.1	Processus d'adaptation _____	59
II.2.2.2	La transition physique comme mode d'adaptation _____	60
II.3	Critère qualitatifs du confort à l'extérieur : _____	63
II.3.1	Identification d'une ambiance _____	64
II.3.2	Relation au contexte : _____	66
II.3.3	Continuité des conditions environnementales _____	66
II.3.4	La diversité des ambiances _____	68
II.3.5	La variabilité des conditions environnementales _____	72
II.3.6	La perception du contrôle environnemental possible _____	74
II.3.7	La capacité de s'adapter _____	74
II.3.8	La naturalité du lieu _____	75
II.3.9	Caractère signifiant du lieu _____	78
II.3.10	La globalité de la sensation du confort _____	79
II.3.11	Les composantes culturelles et individuelles : _____	79
II.3.12	Critère qualitatifs du confort à l'extérieur et le développement durable _____	80
II.4	Critères quantitatifs du confort à l'extérieur _____	80
II.4.1	Les critères quantitatifs du confort thermique extérieur _____	81
II.4.2	Les critères quantitatifs du confort respiratoire à l'extérieur _____	82
II.4.3	Les critères quantitatifs du confort acoustique à l'extérieur : _____	84
II.4.4	Les critères quantitatifs du confort visuel à l'extérieur : _____	85
II.4.5	Les critères quantitatifs du confort par rapport aux intempéries _____	87

II.5	Méthode d'analyse du confort thermique et visuelle à l'extérieur.	87
II.5.1	Les ambiances thermiques à l'extérieur :	87
II.5.1.1	Paramètres du confort thermique	87
II.5.1.2	Les indices de confort en espace extérieur	91
II.5.2	Les ambiances visuelles à l'extérieur	97
II.5.2.1	Approche physiologique :	98
II.5.2.2	Approche psychologique (cognitive) :	101
II.5.2.3	Le confort visuel	103
II.5.2.4	L'éblouissement :	106
II.5.2.5	Relation entre le niveau d'éclairément et éblouissement dans les espaces public extérieurs	108
II.5.2.6	Appréciation du champ lumineux par les usagers :	109
II.6	Conclusion	111
III.	LA VEGETATION ET LA QUALITE DES AMBIANCES URBAINES (POUR UNE AMBIANCE RAFFINEE)	112
III.1	Introduction	112
III.2	La végétation dans la ville	114
III.2.1	Dimension symbolique et esthétique	114
III.2.2	Qualité associés à la végétation	115
III.2.3	Dimension structurelle et composition urbaine	116
III.2.4	L'utilisation des arbres dans le projet urbain	118
III.3	La végétation en tant qu'élément de régulation du microclimat	119
III.3.1	Importances de la végétation	120
III.3.1.1	Bienfaits économique	121
III.3.1.2	Valeurs de propriété	121
III.3.1.3	Bienfaits sociaux	121
III.3.1.4	Bienfaits environnementaux	122
III.3.1.5	Réduction de bruit	123
III.3.1.6	Autres bienfaits	124
III.3.2	La végétation dans les aménagements urbains	124
III.4	Recherche sur les effets de la végétation	124
III.4.1	Effet de refroidissement de l'air	125
III.4.1.1	Effet modérateur du végétal sur l'îlot de chaleur	125
III.4.1.2	Effet sur les espaces urbains	128
III.4.1.3	Pouvoir réfrigérant de la transpiration des arbres urbains	132
III.4.1.4	Effets thermiques	134

III.4.1.5	Effet sur la température de l'air	135
III.4.2	Effet de l'ombrage des végétaux	141
III.4.2.1	Détermination de l'ombrage des végétaux	144
III.4.2.2	Transmission de l'ensoleillement ou de la lumière selon LAI	146
III.4.2.3	LAI et type de végétation	149
III.4.2.4	Ombre des végétaux et le flux solaire	152
III.4.2.5	Comparaison entre ombre par végétation et ombre par une structure	155
III.4.3	Effet aéraulique	157
III.4.3.1	Effets globaux	157
III.4.3.2	Effet de changement de la rugosité	157
III.4.3.3	Effet de brise vent	158
III.5	Effet de la végétation sur le confort	158
III.5.1	Effet de la végétation sur le confort thermique	158
III.5.2	Effet de la végétation sur le confort visuel	161
III.6	Typologie végétale	165
III.6.1	Critère de classifications des végétaux	165
III.6.2	Végétation caduques ou persistance	166
III.6.3	Végétation urbaine à Constantine	167
III.7	Conclusion	168
IV.	APPROCHE METHODOLOGIQUE DE L'ANALYSE MULTICRITERES D'UNE AMBIANCE ET PROPOSITION D'INDICATEURS.	170
IV.1	Introduction	170
IV.2	Sites d'étude : choix et présentations	171
IV.3	Le mode exploratoire	173
IV.3.1.1	Présentation du questionnaire	174
IV.3.1.2	Les types de questions	175
IV.3.2	L'observation	175
IV.3.3	La mesure	177
IV.3.3.1	Caractérisation microclimatique : mesures des paramètres climatiques	178
IV.3.3.2	Paramètres climatiques mesurés	179
IV.3.3.3	Instrumentation	180
IV.3.4	La simulation	181
IV.3.5	Le choix des paramètres d'ambiances	182
IV.4	L'enquête auprès des usagers	182

IV.4.1	Déroulement de l'enquête _____	182
IV.4.2	Conditions de recueil des données et population interrogée _____	183
IV.4.3	Mise en forme du questionnaire _____	183
IV.4.3.1	Questions sur le profil de l'individu interrogé _____	185
IV.4.3.2	Questions sur le contexte général des lieux _____	185
IV.4.3.3	Questions sur la perception d'un ensemble d'événements composant l'ambiance climatique et l'ambiance issue de la fréquentation et de l'animation urbaine dans l'espace public _____	186
IV.4.4	Protocole d'enquête _____	186
IV.4.5	Technique d'analyse des données _____	187
IV.4.6	Résultats des enquêtes _____	188
IV.4.6.1	Traitements des réponses aux questions ouvertes _____	188
IV.4.6.2	Traitements des réponses aux sensations du confort _____	191
IV.4.6.3	Traitements des réponses aux perceptions du lieu (qualité d'ambiances) _____	193
IV.4.6.4	Analyse des jugements relative à la rue Belouizded-Boudjriou (saint jean) _____	194
IV.4.6.5	Comparaison entre les différents sites d'enquête _____	197
IV.4.7	Synthèse _____	200
IV.5	Choix des indicateurs perceptifs des ambiances environnemental _____	200
IV.6	Conclusion _____	207
V.	PRESENTATION DES RESULTATS DE MESURES ET D'OBSERVATION	
MICROCLIMATIQUES	_____	208
V.1	Introduction _____	208
V.2	Choix des espaces et des points de mesures _____	210
V.2.1	Le parcours urbain et les points de mesures _____	210
V.2.2	Lecture typo-morphologique des points de mesures _____	212
V.2.3	Evaluation des indicateurs de l'espace public _____	217
V.3	Les paramètres climatiques mesurés : résultat des campagnes de mesures _____	219
V.3.1	Analyse microclimatique durant la période de mesures _____	219
V.3.1.1	La température de l'air _____	220
V.3.1.2	L'humidité relative de l'air _____	221
V.3.1.3	La vitesse de l'air _____	223
V.3.2	Synthèse _____	224
V.4	Le parcours urbain (journée type d'été) _____	224
V.4.1	Parcours thermique _____	224
V.4.2	Les écarts relatifs durant le parcours pour les cinq sessions de mesure _____	226

V.4.3	Parcours visuel	229
V.4.4	Evaluer et représenter la diversité environnementale d'un parcours urbain	231
V.4.5	Synthèse	235
V.4.6	Notion d'adaptabilité en milieux urbains	236
V.5	Les scènes d'ambiances	239
V.5.1	Scène1 : place de la pyramide	239
V.5.1.1	Variation des températures de l'air dans la scène1	239
V.5.1.2	Variation des humidités de l'air dans la scène1	241
V.5.1.3	Variation des luminances dans la scène1	241
V.5.1.4	Appréciation des individus des sous scènes	242
V.5.2	Scène2 : Square	243
V.5.2.1	Température de l'air et pourcentage de couverture par la végétation	244
V.5.2.2	Humidité relative de l'air et pourcentage de couverture par la végétation	245
V.5.2.3	Radiation solaire global et pourcentage de couverture par la végétation	246
V.5.2.4	Degré de couverture de l'espace	249
V.5.2.5	Luminance et SVF	250
V.5.2.6	Végétation et Perception du lieu	251
V.6	Conclusion	252
VI.	SIMULATION	254
VI.1	Introduction	254
VI.2	Description du logiciel	255
VI.3	Déroulement de la simulation et paramètres visés	259
VI.3.1	Présentation des scénarios de simulation	259
VI.3.2	Analyse des conditions d'ambiances	262
VI.3.3	Présentation du logiciel RayMan 1.2	263
VI.4	Interprétations des résultats	264
VI.4.1	Validation des résultats de mesures	264
VI.4.2	Interprétations des résultats de l'axe1 (Boudjriou)	265
VI.4.2.1	Radiation solaire totale et directe le 15 Juillet dans l'axe1	265
VI.4.2.1	Radiations solaire et le confort dans le parcours	268
VI.4.2.2	Confort thermique dans le parcours	272
VI.4.2.3	Eclairage énergétique durant le parcours	275
VI.4.2.4	Comparaison Point dénudé de la végétation et avec végétation	276
VI.4.3	Interprétation des résultats de l'axe2 (Belouizded)	287
VI.4.3.1	Radiation solaire totale le 15 Juillet dans l'axe2	287

VI.5	Correlations des parametres	290
VI.5.1	Effet de la présence de la végétation et sa position	290
VI.5.2	Effet de la distance entre arbres	297
VI.5.2.1	Effet de la distance sur l'ambiance thermique	297
VI.5.2.2	Effet de la distance sur l'ambiance visuelle	298
VI.5.3	Effet des dimensions des arbres	300
VI.5.3.1	Effet de la hauteur du tronc de l'arbre	300
VI.5.3.2	Effet de la hauteur de l'arbre	305
VI.5.3.3	Effet de la dimension de la canopée	308
VI.5.3.4	Effet de la densité foliaire (LAD)	310
VI.5.3.5	Effet de la couverture de la rue	312
VI.5.3.6	Effet de l'orientation	316
VI.5.3.7	Effet de la distance et masse végétale	319
VI.6	Conclusion	321
CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS		324
	Conclusion Générale	324
	Recommandations :	328
	Limites de la recherche et difficultés rencontrées pendant les mesures microclimatiques :	331
	Recherches futures :	332
BIBLIOGRAPHIE		333
ANNEXES		354
	ANNEXE 1 ; Analyse climatique et bioclimatique de la ville de constantine	354
	ANNEXE 2 : Grille d'analyse des indicateurs morphologiques et méthode de calcul	361
	ANNEXE 3 Vegetation A Constantine	365
	ANNEXE 4 : Questionnaire	371
	ANNEXE 5 : Grille d'Observation et Roses d'ambiances physiques	373
	ANNEXE 6 : Résultats de sortie des points simuler avec végétation par TownScope3.2	379
	ANNEXE 7 : Résultats de simulation Axe 2	381
	Résumé	383
	Abstract	384
	ملخص	385

Liste des figures

Figure I.1: Epistème de la recherche sur les ambiances architecturales et urbaines.....	16
Figure I.2 : Relations privilégiées d'une ambiance.....	17
Figure I.3 : Éléments constitutifs des ambiances.....	18
Figure I.4 : Le système de filtre.....	21
Figure I.5 : Représentation simplifiée de la notion d'ambiances.....	22
Figure I.6 : Transitions environnementales.....	23
Figure I.7 : La dynamique comme notion transversale aux disciplines et commune aux modalités d'action.....	24
Figure I.8 : a) Rose d'ambiance;b) diagramme en araignée ; et c) diagramme proposée pour la technique développée.....	25
Figure I.9 : Rose des ambiances issues d'une observation durant une journée.....	25
Figure I.10 : Rose de caractérisation d'une ambiance (à gauche) exemple de caractérisation d'une ambiance (à droite).....	26
Figure I.11 : Représentation des ambiances visuelles, thermiques, olfactives et acoustiques selon un graphique à quatre axes de stimulation sensorielle. <i>Illustrations d'Arnaud Bontemps</i>	27
Figure I.12 : Schéma de l'analyse d'un phénomène d'ambiance in situ.....	28
Figure I.13 : Espace public.....	30
Figure I.14 : Champ du développement durable.....	33
Figure I.15 : Définition d'un espace public durable.....	34
Figure I.16 : Les facteurs qui entrent en jeu dans la formation d'un microclimat urbain.....	36
Figure I.17 : Balance énergétique terrestre.....	37
Figure I.18 : Répartition verticale des couches de circulation d'air au-dessus d'une ville.....	40
Figure I.19 : Comportement de l'écoulement du vent en rencontre de plusieurs obstacles (vue en coupe).....	40
Figure I.20 : Le piégeage et les multiréflexions du rayonnement solaire en fonction de deux types de composantes urbaines au sol.....	41
Figure I.21 : Exposition solaire par deux profils de rue différents : (a) été et hiver, (b) hiver.....	42
Figure I.23 : Distribution schématique du rayonnement.....	43
Figure I.22 : Rayonnement solaire et rayonnement infrarouge en ville.....	43
Figure I.24 : Écart entre la température de l'air et la température de météo, pour des espaces urbains caractérisés par différents taux d'ouverture au ciel.....	45
Figure I.25 : Le végétal en ville.....	46
Figure I.26 : Passage couvert de végétation.....	46
Figure I.27: L'Alhambra de Grenade.....	46
Figure I.28 : Présence du végétale.....	47
Figure I.29 : la végétation et l'effet de protection saisonnier.....	47
Figure I.30 : L'eau en ville Source.....	48
Figure I.31 : Différentes surfaces urbaines (dallages, plans d'eau) influencent le climat,.....	48
Figure I.32 : « Le brumisateuse naturel ».....	48
Figure I.33 : La technologie de l'Exposition 92 à Séville.....	49
Figure I.34 : Choix des orientations de l'espace pour des besoins de rayonnement solaire.....	50
Figure I.35 : Orientation et disponibilité de l'ensoleillement.....	50

Figure I.36 : Différents angles de vue du ciel au niveau du sol pour trois types de morphologies. ...	51
Figure I.37 : Photo et thermographies IRT des revêtements testés dans l'étude de Doulos et al. 2004	53
Figure I.38 : Photo revêtement du sol bio	53
Figure I.39 : Un sol naturel écologique stabilisé BLT 0/6 (avec des graviers libres en surface)	53
Figure I.40 : Absorption, transmission et réflexion de feuille	54
Figure II.1: Graphique des différentiels de température équivalente en fonction des patterns de transition environnementale.	62
Figure II.2 : Qualité d'une ambiance à l'extérieur ; A gauche par la présence d'un arbre. À droite par la présence d'eau.	64
Figure II.3 : Espace publics de l'expo '92 à Séville : avenue de l'eau et avenue de l'Europe.	65
Figure II.4: (a) Bassin avec jets à Séville (b) Cascade et brumisateurs à Lisbonne	65
Figure II.5 : Transitions visuelles et thermiques du patio aux lions dans le palais Nasrides de l'Alhambra de Grenade.	67
Figure II.6 : (a)Variation des zones ensoleillé et ombré,(b) Passage ombré et variation des zones ombrées.	69
Figure II.7 : Pourcentage de perception des personnes à l'ombre et au soleil	69
Figure II.8 : Répartitions des profils environnementaux	70
Figure II.9 : Variabilité des conditions environnementales d'un espace extérieur	73
Figure II.10 : Aménagement des espaces extérieurs à Nantes et variabilité des conditions environnementales	73
Figure II.11 : Capacité de s'adapter à un environnement thermique	74
Figure II.12 : Corrélation entre neutralité thermique et température moyenne	75
Figure II.13 : Les fontaines de Trafalgar square à Londres	77
Figure II.14: Exemple d'une mauvaise qualité de l'air à Mexico	83
Figure II.15 : Mode de réflexion de la lumière sur une surface	86
Figure II.16 : Valeur de la lumière par la réflexion des matériaux, à gauche : réflexion du sol et des façades, à droite : réflexion des auvents.	86
Figure II.17 : Echange de chaleur d'un individu avec son environnement.	87
Figure II.18 : Relation entre le rayonnement solaire mesurée <i>in situ</i> et leur perception par les sujets	89
Figure II.19 : Echange énergétique d'un piéton avec son environnement.	89
Figure II.20 : Relation entre l'humidité relative mesurée <i>in situ</i> et leur perception par les sujets	90
Figure II.21 : Distribution de fréquence de pourcentage pour le vote moyen prévisible et la sensation thermique	92
Figure II.22 : Pourcentage des personnes selon leurs sensations de confort selon l'échelle ASV	94
Figure II.23 : Types d'habillement selon la température à Athènes (à gauche) et à Kassel (à droite)	95
Figure II.24 : Structure anatomique de l'œil humain	98
Figure II.25 : Champs de vision horizontale et verticale sans bouger la tête.	99
Figure II.26 : Acuité visuelle: l'angle α	100
Figure II.27 : Sensibilité de l'œil	101
Figure II.28 : Les activités cognitives: boucle « Perception-Cognition-Action »	102
Figure II.29 : Schéma de la perception « visuelle » dans les approches psychologiques.	102

Figure II.30 : Evolution moyenne horaire de l'éclairage lumineux observé sur une surface horizontale, par ciel serein, par ciel clair sans soleil et par ciel couvert, pour quatre mois de l'année.	104
Figure II.31 : La luminance et l'éclairage	105
Figure II.32 : Valeurs de luminances maximales admissibles	107
Figure II.33 : Distribution des niveaux d'éclairage diurnes observés sur deux espaces ouverts situés à Fribourg	109
Figure II.34 : Causes possibles d'éblouissement sur des espaces ouverts urbains (de gauche à droite)	109
Figure II.35 : Corrélations empiriques observées sur deux espaces ouverts situés à Fribourg (CH). Le niveau d'éclairage horizontal (en klux) par rapport à la sensation de luminosité, à la préférence d'ensoleillement.	110
Figure III.1 : Processus de modification des composantes microclimatiques basé sur la théorie de la plantation pour une HQE dans l'espace urbain.	115
Figure III.2 : Différents ports d'arbres.	116
Figure III.4 : Ports d'arbre en ville	116
Figure III.3 : Perspective d'un arbre en cépée "généré" par la méthode de Viennot et al. (1989)	116
Figure III.5 : Modification de l'espace grâce à l'espacement entre les arbres.	117
Figure III.6 : Modification de l'espace grâce à la forme des arbres.	117
Figure III.7 : Les bienfaits écologiques de la présence d'arbres en milieu urbain	120
Figure III.8 : Absorption des rayons solaire par le feuillage.	122
Figure III.9: Diminution de la pollution sonore	123
Figure III.10 : Effet de refroidissement par évapotranspiration en fonction du taux de surfaces évapotranspirantes dans la ville.	125
Figure III.11 : Zones végétales isothermes à 27, 28 et 29°C.	126
Figure III.12 : Température de feuillage des différents types d'arbres urbains.	127
Figure III.13 : Section schématique d'une portion de feuille	128
Figure III.14 : Arbre d'alignement.	130
Figure III.15 : Treille dans l'espace urbain à Freiburg en Allemagne	131
Figure III.16 : Températures sous les pergolas brumisées de Séville	131
Figure III.17 : L'effet de la pelouse sur la température	132
Figure III.18 : Comparaison des profils verticaux de la température d'air entre une rue avec arbres d'alignement et deux rues sans arbre.	134
Figure III.19 : Différentes situations simuler avec et sans arbres d'alignement. Mochida et al,2005	137
Figure III.20 : Distribution horizontale de la température de l'air (à 13h00, le 4 Aout, à une hauteur de 1.5m de hauteur)	137
Figure III.21 : Les effets de refroidissement quotidiens le long de l'avenue de Hayerled	138
Figure III.22 : Caractéristiques géométriques de la rue avec différents caractéristiques d'arbres.	139
Figure III.23 : Simulation de l'effet de refroidissement par les arbres par rapport aux différents rues étudiées.	140
Figure III.24 : Influence de la hauteur et de la forme du houppier sur l'efficacité de l'ombrage, la géométrie de l'arbre de droite est plus avantageuse à la fois en hiver et en été ($Y_2 < Y_1$ et $X_2 > X_1$)	142

Figure III.25 : Comparaison de l'ombre portée par une couronne large et couronne haute	143
Figure III.26: Profils verticaux de densité foliaire a) pour un arbre à feuilles caduques, d'après (Rauner, 1976) ; b) pour un conifère, d'après	145
Figure III.27 : Image fish-eye à axe horizontal des platanes du cours Mirabeau à Aix-en-Provence ; les canopées ont été sélectionnées en noir, SaGacité.....	146
Figure III.28 : Image fish-eye à axe zénithal d'une treille de vigne près d'Aix-en-Provence	147
Figure III.29 : Diagramme montre les procédures de mesure pour la mesure de LAI	148
Figure III.30 : méthode de mesures	150
Figure III.31 : variation de la température de l'air, de l'humidité et l'inconfort index en fonction de la transmissivité de l'arbre	150
Figure III.32 : variation de dRh%, dTair% et Ddi% en fonction de L% calculé par la fonction exponentielle	151
Figure III.33 : Diagramme de la couverture et masque d'ombre d'un arbre pour P. atlantica à 12:00 le 11/9/00.....	151
Figure III.34 : Disque photographique de l'embranchement et des caractéristiques de feuille des six espèces.....	152
Figure III.35 : Ombre et filtration de la radiation par les arbres, réduit la température des surfaces de sols.	153
Figure III.36: Analyse qualitative dans la Rambla Catalunya (A) et le square du campus de l'université polytechnique (B).....	154
Figure III.37 : Réduction du rayonnement solaire.....	155
Figure III.38 : Cours avec pavage et en toile d'ombrage (à gauche), and avec l'herbe et les arbres (à droite).....	155
Figure III.39 : Températures de l'air journalière pour six stratégies pour un point à 1.5m de haut ;	156
Figure III.40 : Effet de brise-vent : distance de protection	158
Figure III.41 : Distribution horizontale de l'indice de confort SET* (Standard Effective Température) à 13h00, 4 Aout, à 1.50m de hauteur.	160
Figure III.42 : Evolutions comparées des conditions dans des espaces urbains de München en été, repérées par la température d'air (en haut), la température de globe (au centre) et l'indice PET (en bas).....	161
Figure III.43 : À gauche traitement des obstructions dues à la végétation ; à droite les coefficients réducteurs proposés par Wilkinson.	162
Figure III.44 : Confort lumineux et effet tampon du végétal	163
Figure III.45 : Profil des niveaux d'éclaircements d'une journée d'été..	164
Figure III.46 : Différentes espèce trouvé dans le centre de la ville de Constantine.	168
Figure IV.1: Position de la rue étudiée entre deux carrefours (A gauche).....	172
Figure IV.2 : Parcours d'investigation et position des différents points d'Enquête	173
Figure IV.3: Thermo-hygromètre numérique.....	180
Figure IV.4: Instrument portable (LM800) à quatre fonctions. (Anémomètre, hygromètre, thermomètre et luxmètre).....	180
Figure IV.5 : Le Photo-radiomètre HD2302.0 est un instrument portatif doté d'un grand écran pour l'affichage ; des données relevées qui mesure à l'aide des sondes: l'éclaircissement lumineux; la luminance; l'éclaircissement énergétique (irradiations solaires global)	181
Figure IV.6 : Facteur principale qui participe à l'inconfort dans l'espace public.	190

Figure IV.7: Appréciation par moment. Auteur	191
Figure IV.8 : Appréciation du soleil. Auteur	192
Figure IV.9 : Appréciation du vent. Auteur	192
Figure IV.10: Appréciation de l'humidité . Auteur	193
Figure IV.11 : Appréciation des usagers au confort	195
Figure IV.12 : comparaison de jugements de l'ouverture du ciel.....	197
Figure IV.13 : comparaison de jugements de l'aération des trois endroits	198
Figure IV.14 : Comparaison de jugements de	198
Figure IV.15 : comparaison de jugements de la lumière.....	198
Figure IV.16 : Comparaison des jugements de la sensation du confort dans les trois endroits	199
Figure IV.17 : Densité du feuillage	205
Figure V.1 : Durées d'insolation de la ville de Constantine Période « 2000-2010 »	211
Figure V.2: Radiations directes pour une surface verticale pour différentes orientations durant un mois chaud de l'année – JUILLET- pour la ville de Constantine.	211
Figure V.3 : Points de meures et le parcours urbain(en haut) et photos des deux axes végétale et minérale (en bas).	213
Figure V.4 Diagramme en plan du parcours et valeur de <i>DoE</i> pour chaque point de mesure.	217
Figure V.5 : Profil des indicateurs en période d'été (degré de l'aménagement végétal des points de mesures).....	218
Figure V.6: Variation des humidités relatives durant la période: 13 au 16 Juillet des trois stations de références (P4,P6 et P11).....	222
Figure V.7 : variation des températures de l'air durant la période de l'investigation pour les trois stations de références (du 13 au 16 Juillet).	222
Figure V.8 : Variation des vents durant la période de mesure (13/07 au 16/07/2009)	223
Figure V.9 : Variation de température dans le parcours pour les différentes sessions de mesures, 16Juillet	225
Figure V.10 : écart type durant le parcours pour les différentes sessions de mesures,.....	226
Figure V.11 : Variation de l'humidité relative durant le parcours pour les différentes sessions de mesures, 16 Juillet,.....	227
Figure V.12 : Variation des températures et des humidités de l'air dans le parcours à midi, 16 Juillet.	228
Figure V.13 : Relation entre radiation solaire reçu et température de l'air dans le parcours à midi, 16 Juillet.	228
Figure V.14 : Variation des luminances dans le parcours.	230
Figure V.15: Relation radiations solaire et luminances durant le parcours, 16 Juillet.....	231
Figure V.16: La diversité environnementale et croisement des données pour le parcours à midi, 16 Juillet 2010.	232
Figure V.17 : Roses des ambiances physiques durant le parcours à midi, Juillet, 2010	233
Figure V.18: Comparaison entre les différentes situations urbaines en termes de perception globale physique, dans le parcours.	236
Figure V.19 : différences de températures et type de transitions physiques à midi.....	236
Figure V.20 : différences de températures et type de transitions physiques le matin à 10h00et 18h00	237
Figure V.21 : Graphiques illustrant la relation entre les indicateurs morphologiques à l'échelle de l'espace public et la température Equivalente (°C) dans le parcours à midi.	238

Figure V.22: Stations de meure dans la scène 1.	239
Figure V.23: Variation de la température de l'air dans les différentes stations de mesure de la scène1.	240
Figure V.24: Variation de taux de l'humidité relative de l'air dans les différentes stations de mesure de le scene1. Juillet 2010.	241
Figure V.25 : Variation des luminances dans les différents points de mesure	242
Figure V.26 : Appréciation du soleil avec et sans végétation et pourcentage d'utilisation des sous scènes.....	243
Figure V.27 : Stations de meure dan la scène 2.	243
Figure V.28: photographie de différentes stations de mesures dans le square. Auteur ; 2010	244
FigureV.29 : Variation de la température de l'air dans les différentes stations de mesure.	245
Figure V.30 : Effet de rafraichissement.....	246
Figure V.31: Corrélacion entre température l'air et la quantité de radiation à 12h00.....	247
Figure V.32: Variation de taux de l'humidité relative de l'air dans les différentes stations de mesure.	248
Figure V.33: Profile vertical des températures de l'air à midi dans les différentes stations du square (12:00)	249
Figure V.34:Corrélacion entre quantité de la radiation solaire reçue et le degré de couverture par la végétation.	249
Figure V.35: Variation des luminances dans les dans les différentes stations.	250
Figure V.36 : Appréciation du lieu sans et avec présence de la végétation et l'ombrage	252
Figure VI.1 : Modélisation 3D de la scène	255
Figure VI.2: Types d'analyse définie par Townscope	256
Figure VI.3: Chemin solaire. Aide de l'application	257
Figure VI.4: Energie reçu sur une paroi.....	257
Figure VI.5 : Polyline résultats en 3D où en axe curviligne.	257
Figure VI.6: Carte d'ensoleillement entre plusieurs bâtis (a gauche : % (Résultats [Scène A] / [Valeurs Site Vierge]), a droite : Résultats [projet A]-Résultats [projet B]).....	258
Figure VI.7: Triangulation du terrain. www.townscope.com.....	258
Figure VI.8 : Modèle MNT du site Boudjriou avec SketchUp 8	259
Figure VI.9 : Modèle MNT de l'axe Belouizded avec SketchUp 8.	260
Figure VI.10: Fenêtre principale de RayMAN lors de la simulation du vcas d'étude.....	263
Figure VI.11 : Les paramètres d'entrée pour le calcul du PMV (Predicted mean vote) et le PET (Physiological equivalent temperature) pour les différentes sensations thermiques et niveau de stress humain.	264
Figure VI.12 : Corrélacion entre les valeurs des radiations solaires mesurée et celles estimées des par TownScope3.1. Source : Auteur.....	264
Figure VI.13 : Variation du SVF dans le site scénario 1	265
Figure VI.14 : Radiation solaire globale totale journée 15Juillet reçue dans l'axe1 sénario1	266
Figure VI.15: Radiation solaire direct totale reçue journée dans l'axe1 sénario2	266
Figure VI.16 : Radiation solaire globale à 12h le 15Juillet reçue dans l'axe1 sénario1	267
Figure VI.17: Radiation solaire globale totale journée 15Juillet reçue dans l'axe1 sénario3	268
Figure VI.18 : Différence de Température de l'air entre sénario3 et sénario1 à12h00 le 15Juillet. Auteur.	268
Figure VI.19 : Ouverture au ciel (SVF) dans le parcours simulée. a- Scénario1 b- Scénario2.....	269

Figure VI.20 : Radiation solaire globale totale journée 15Juillet reçue dans le parcours sans végétation scénario 2.....	270
Figure VI.21 : Radiation solaire globale totale journée 15Juillet reçue dans le parcours avec végétation scénario 3.....	270
Figure VI.22 : Durée d'ensoleillement totale pour une journée d'été 1- sans végétation Scénario1 2-état actuel Scénario 3-avec présence d'arbres Scénario3.....	271
Figure VI.23 : Evaporation de la sueur du corps humain dans le parcours.....	272
Figure VI.24 : Température ressentie dans le parcours.....	273
Figure VI.25 : Corrélations entre SVF et irradiation solaires, température ressentie.....	274
Figure VI.26 : Corrélations entre température ressentie et irradiances solaires	274
Figure VI.27 : Eclairement énergétique direct total journée reçus selon le parcours sans végétation	275
Figure VI.28 : Eclairement énergétique direct total journée reçus selon le parcours avec arbres d'alignement espacé de 8m	275
Figure VI.29 : Eclairement énergétique à 18h00, Hauteur solaire de 12° (parcours sans végétation)	276
Figure VI.30: Eclairement énergétique à 18h00, Hauteur solaire de 12° (parcours avec végétation)	276
Figure VI.31 : Choix des points pour simulation de comparaison selon la configuration de l'espace	277
Figure VI.32 : Variation de la radiation solaire globale transmis et la durée d'ensoleillement du point (P1) simulé sans et avec la végétation	278
Figure VI.33: Variation de la radiation solaire globale transmis et la durée d'ensoleillement du point (P2) simulé sans et avec la végétation	279
Figure VI.34 : Transmission de l'irradiation solaire à travers la couronne.....	280
Figure VI.35: Comparaison du confort du point simulé P1 (sans et avec végétation).....	281
Figure VI.36: Variation de la PET en situation réel et avec la présence de la végétation.....	282
Figure VI.37 : Variation des valeurs de PMV en situation réel et avec la présence de la végétation.....	283
Figure VI.38 : Variation des valeurs de Tmrt en situation réel (sans végétation) et avec la présence de la végétation.....	284
Figure VI.39 : Corrélations entre ouverture au ciel SVF et les indices de confort.....	285
Figure VI.40 : Eclairement énergétique (total et direct) reçu par l'œil du point P1 selon le parcours Boudjriou.....	285
Figure VI.41: Eclairement énergétique direct reçu par l'œil dans le point P1 avec et sans écran végétale.....	286
Figure VI.42: Radiation solaire globale totale dans l'axe2 sans végétation Scénario 1	287
Figure VI.43 : Radiation solaire globale totale dans l'axe2 avec végétation Scénario 2.....	288
Figure VI.44 : Variation de la température de l'air simulée selon la position des arbres d'alignement dans la rue (cas rue H/L=0.6, orientation Nord-Sud)	289
Figure VI.45: Variation de la température ressentie simulée selon la position des arbres d'alignement dans la rue (cas rue H/L=0.6, orientation Nord-Sud).....	289
Figure VI.46 : Zone et point (P1) simulés par TownScope sur le parcours Boudjriou.....	290
Figure VI.47 : Position des arbres sur le trottoir du parcours Boudjriou à simulé	290
Figure VI.48 : Effet de la position de l'arbre sur la quantité de radiation globale reçue pour chaque position d'arbres d'alignement.....	292

Figure VI.49: Variation de l'évaporation de la sueur selon la position de l'arbre.....	294
Figure VI.50 : Variation de la température ressentie selon la position de l'arbre.....	294
Figure VI.51 : Variation de la PET selon la position de l'arbre	295
Figure VI.52: Température de l'air simulée et le ratio H/L selon les différents scénarios.....	296
Figure VI.53 : variation de la PET selon le ratio H/L et le degré d'aménagement de la rue.	296
Figure VI.54 : Effet de l'espacement des arbres sur la quantité d'irradiation totale reçu.....	297
Figure VI.55 : Effet de l'espacement des arbres sur le confort thermique de l'individu (Evaporation de la sueur) du parcours à midi.....	297
Figure VI.56 : Effet de l'espacement des arbres sur le confort thermique de l'individu (Température ressentie par l'individu).....	298
Figure VI.57 : Effet de l'espacement des arbres sur le confort visuel de l'individu (Eclairage énergétique reçu par l'oeil)	298
Figure VI.58 : SVF du point simulé selon la hauteur du tronc de l'arbre	302
Figure VI.59 : Variation de l'évaporation de la sueur selon la hauteur du tronc de l'arbre	302
Figure VI.60: Variation de la température ressentie selon la hauteur du tronc de l'arbre	302
Figure VI.61: Variation de la température de l'air selon la hauteur du tronc de l'arbre.....	303
Figure VI.62 : Variation de l'éclairage énergétique globale selon la hauteur du tronc de l'arbre	304
Figure VI.63 : Position des points de simulation P1 & P2, accès du soleil au point simulé P1 & P2..	306
Figure VI.64 : Effet de la densité foliaire (LAD) sur la quantité d'irradiation globale reçue journée du 15Juil	310
Figure VI.65: Variation de l'irradiation globale reçue sous canopée de différents densité foliaire(LAD) journée d'été.....	311
Figure VI.66 : Corrélation entre LAI et Transmission des radiations solaires, période d'été.....	311
Figure VI.67: Effet de la Densité foliaire d'un bouquet d'arbres dans l'espace ouvert sur la quantité d'irradiation solaire transmis	312
Figure VI.68: Cas 4 « sans végétation H/L=0.6 et 2Da/L= 0»	313
Figure VI.69 : Cas 3 « aménagement d'arbres en alignement avec voûte végétale 2Da/L= 1,33»..	313
Figure VI.70 : Cas 2 « aménagement d'arbres en alignement sans voûte, adjacente aux façades 2Da/L= 0,6 »	313
Figure VI.71 : Cas 1 « aménagement d'arbres en alignement sans voûte, écarté des façades 2Da/L= 0,6».....	313
Figure VI.72 : Comparaison du degré de confort : Evaporation de la sueur en [gr/h] pour les trois cas de couvertures végétale à midi durant le mois de juillet	315
Figure VI.73 : Comparaison du degré de confort : Température ressentie en [°C] pour les trois cas de couvertures végétale à midi durant le mois de juillet	315
Figure VI.74 : Position de la ligne de référence simulée à 1.50m selon la largeur de la rue	316
Figure VI.75 : Effet de l'orientation de l'axe sur la température de l'air	316
Figure VI.76 : Effet de l'orientation sur la température ressentie.....	318
Figure VI.77 : Points de simulation pour chaque cas selon la distance	320
Figure VI.78 : Effet de masse végétale sur la sensation de la température à 12h00.....	320
Figure VI.79 : Effet de masse végétale sur l'évaporation de la sueur de l'individu à 12h00	320
Figure A.1 : Variation climatiques annuelle de la ville de constantine(1995-2010).....	353
Figure A.2 :Diagramme psychométrique de Givoni appliqué à la ville de Constantine.....	355
Figure A.3 : Diagramme psychométrique de S.Szocolay appliqué à la ville de Constantine.....	356

Figure A.4 : Isotherme de Constantine.....	357
Figure A.5 :Diagramme polaire de la ville de Constantine.....	359
Figure A.6 :Point de mesure P8	361
Figure A.7 : Image fish eye des points P4&P1.....	361
Figure A.8 : Photos fish eye verticale du point P5.....	362
Figure A.9 : Photos fish eye verticale des points P10 &P14.....	363
Figure A.10 : Résultats de simulation du parcours selon l'axe2.....	380

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Eléments de définition d'une ambiance.....	20
Tableau I.2 : Paramètres morphologiques.....	44
Tableau I.3 : Valeurs d'albédo de différents matériaux urbains.....	52
Tableau II.1 : Combinaisons entre les conditions du rayonnement solaire et d'exposition au vent..	61
Tableau II.2 : Différentiels de température équivalente quand le sujet se déplace de A vers B en fonction des transitions environnementales.....	61
Tableau II.3 : Evaluation d'un lieu suivant une combinaison environnemental.....	71
Tableau II.4 : Similitude entre critères qualitatifs et qualité globale.....	80
Tableau II.5 : Limite de concentration des polluants dans l'air.....	83
Tableau II.6 : Réduction des gaz toxiques à proximité des arbres.....	84
Tableau II.7 : Caractéristiques du critère 5 m/s. A= Acceptable, I= Inconfortable, TI= Très inconfortable / Dangereux.....	91
Tableau II.8 : Classe de sensation thermique indiquées par le PET.....	95
Tableau II.9 : Valeurs d'éclairement d'une surface horizontale extérieure.....	103
Tableau II.10 : de grandeur de luminances de différents environnements.....	105
Tableau II.11 : Facteur de réflexion de quelques revêtements de sol et de différents matériaux de construction.....	106
Tableau II.12 : valeurs maximales recommandées pour les rapports de luminance.....	108
Tableau III.1: Relation urbanisme végétation.....	118
Tableau III.2: Performance des arbres contre le bruit.....	123
Tableau III.3 : Effets des arbres urbains selon l'échelle de mise en œuvre dans une ville dépassant le million d'habitants.....	124
Tableau III.4 : Evaporation de masses forestières en pourcentage de l'énergie solaire reçue.....	133
Tableau III.5: Evaporation de masse forestière au niveau de la feuille.....	134
Figure III.6 : Littérature review ; Effet des arbres sur la température de l'air et de surfaces.....	135
Tableau III.7 : Caractéristiques des arbres utilisés pour la simulation.....	139
Tableau III.8 : L'effet de refroidissement des trois espèces d'arbres selon la géométries à 15Hdurant le mois d'été à Tel-Aviv.....	140
Tableau III.9: Valeurs du LAI en fonction du type de végétation.....	149
Tableau III.10 : Espèces et transmission du rayonnement solaire.....	153
Tableau III.11 : Humidité absolu en [g.m ⁻³] pour les six stratégies study point d'observation central pour trois hauteurs à 14 :00 5JUIL-AOUT2007.....	156
Tableau III.12: Variation des températures des sols [°C] pour les six stratégies.....	157
Tableau III.13 : Littérature review sur des études de confort thermique et le végétal.....	159
Tableau III.14 : Illuminance des espaces urbains ombragés par la végétation.....	162
Tableau III.15 : Classification des arbres par ordre de grandeur, les espaces verts et qualité de vie.....	165
Tableau III.16 : Arbres urbains à Constantine.....	167
Tableau IV.1 : Grille d'Observation. Auteur.....	176
Tableau IV.2 : Les cinq points psychophysiques utilisés dans le cadre de cette recherche.....	177
Tableau IV.3 : Points retenus pour l'enquête.....	183
Tableau IV.4 : Les thèmes et objectifs des questions posées aux usagers.....	184
Tableau IV.5 : Effectif des individus interrogés par date et par heure.....	186
Tableau IV.6 : caractéristiques personnelles des individus.....	188
Tableau IV.7 : Analyse des jugements des ambiances climatiques dans la rue Belouizded (Saint- Jean).....	194
Tableau IV.8 : Comparaison des jugements de confort dans l'avenue Belouizded.....	195

Tableau IV.9 : Comparaison de ce qui est associé à la sensation du confort	196
Tableau IV.10 : Analyse des jugements pour l’ouverture de ciel des trois endroits	197
Tableau IV.11 : Analyse des jugements pour l’aération des trois endroits	198
Tableau IV.12 : Analyse des jugements pour l’enseillement dans les trois endroits	198
Tableau IV.13 : Analyse des jugements pour la Lumière dans les trois endroits	198
Tableau IV.14 : Jugements dans la réponse de la question fermée Sur la sensation au confort.....	199
Tableau IV.15: Synthèse des indicateurs morphologiques déterminants.	202
Tableau V.1 : Différents stratégies de collecte des données.	209
Tableau V.2: Présentation des points de mesures et lecture typo morphologique	214
Tableau V.3: Indicateurs de L’espace public	217
Tableau VI.1: Présentations des différents scénarios à simuler selon la configuration de l’espace et son aménagement.	261
Tableau VI.2 : Projection stéréographique du point de simulation sans végétation.....	277
Tableau VI.3 : Projection stéréographique du point de simulation avec végétation	278
Tableau VI.4 : Niveau de stress physiologique pour les deux situations sans et avec végétation....	282
Tableau VI.5 : Relation entre température de l’air, Tmrt et la PET à 12h00 et à 14h00	284
Tableau VI.6 : Projection stéréographique du point de simulation P2. a –présence arbres d’alignement sur trottoir. b-Ecran végétal coté Nord.	286
Tableau VI.7 : Irradiation globale reçue durant la journée et selon la position de l’arbre.....	291
Tableau VI.8 : Effet de la position de l’arbre sur la quantité de radiation reçu durant le parcours du matin (9h00), de midi (12h00) et celui de l’après midi (15h00 et 18h00)	292
Tableau VI.9 : Effet de l’espacement entre arbre sur l’éclairement énergétique dans le parcours.	299
Tableau VI.10 : Effet de la hauteur du tronc de l’arbre sur la quantité d’irradiation solaire transmis	300
Tableau VI.11: Effet de la hauteur du tronc de l’arbre sur le confort thermique et la qualité d’ambiance à12h00.....	301
Tableau VI.12: Projection stériographique verticale et horizontale du point simulé selon la hauteur du tronc de l’arbre	303
Tableau VI.13 : Variation du poucentage de pénétration de la lumière selon la hauteur du tronc de l’arbre	304
Tableau VI.14 : Effet de la hauteur de l’arbre sur la radiation solaire reçue	305
Tableau VI.15 : Résultat de confort des points simulés P1 & P2 (Evaporation de la sueur – température ressentie – température de l’air)	307
Tableau VI.16: Variation des quantités d’irradiation globale reçue pour chaque type végétale selon la hauteur de l’arbre	307
Tableau VI.17 : Variation des quantités d’irradiation globale reçue à 12h00 et la durée d’enseillement pour chaque type végétale selon la dimension de la couronne (Houppier).....	308
Tableau VI.18 : Comparaison des températures de l’air à 12h00 pour les trois types de couronnes	309
Tableau VI.19 : Evaporation de la sueur (gr/h) simulé dans les différentes couvertures végétales à 12h00.	314
Tableau VI.20: Température ressentie (°C) simulé pour les différents types de couvertures végétale à12h00.....	314
Tableau VI.21 : Résultat de confort selon la moyenne de la température de l’air à12h00 et type de couverture végétale en rapport à l’occupation de la couronne.	315
Tableau VI.22 : Radiation solaire globale et durée d’enseillement pour les différentes situations simulées selon l’orientation.....	317
Tableau VI.23 : Effet de la végétation selon l’orientation sur la quantité d’irradiation solaire globale reçue à 9h00, 12h00, 15h00 et 18h00.	318
Tableau VI.24 : Effet de l’orientation sur le confort de l’individu. (Evaporation de la sueur gr/h, Température ressentie °C)	319

Tableau VI.25 : Effet de la végétation sur l'environnement immédiat selon la taille de l'espace vert	321
Tableau A.1 : Hauteur et Azimut du soleil à la latitude de Constantine (36°17').....	358
Tableau A.2 : Les indicateurs morphologiques.....	360
Tableau A.3 : Pourcentage d'occupation des matériaux dans le point P5.....	362
Tableau A.4 : Pourcentage d'occupation des matériaux dans le point P10& P14.....	363
Tableau A.5 : Caractéristiques des arbres urbains.....	364
Tableau A.6: Nomenclature des arbres urbains en Algérie.....	369
Tableau A.7: Grille d'observation de la journée du 16/07/2010 DE 9h00à 10h02.....	372
Tableau A.8: Grille d'observation de la journée du 16/07/2010 DE 12h00à 12h56.....	373
Tableau A.9: Grille d'observation de la journée du 16/07/2010 DE 18h00à 18h59.....	374
Tableau A.10: Rose des ambiances physiques durant le parcours de 9h00 à 10h00 du 13 au 16 Juillet.....	375
Tableau A.11: Rose des ambiances physiques durant le parcours de 12h00 à 13h00 du 13 au 16 Juillet.....	376
Tableau A.12: Rose des ambiances physiques durant le parcours de 18h00 à 19h00 du 13 au 16 Juillet.....	377
Tableau A.12: Effet de l'orientation de l'axe sur la température de l'air dans l'axe 2 Belouizded...	381

Abréviations

- a* : Albédo (-)
ASV : Actuel sensation vote
C : Quantité d'eau produite par la combustion et le métabolisme.
CLA : Couche Limite Atmosphérique
CLO : Courte longueur d'onde
CLS : Couche Limite de Surface
CLU : Couche Limite Urbaine
cond : Conduction
conv : Convection
CU : Canopée Urbaine
Da : diamètre de la couronne
D_{min} : Densité minérale d'un espace
DoE : degré of enclosure (degré de fermeture de l'espace)
D_{vg} : Densité végétale d'un espace
E : Débit d'eau évaporée (kg m⁻²s⁻¹)
EP : Évaporation potentielle (kg m⁻²s⁻¹)
*EP** : Évaporation potentielle théorique (kg m⁻²s⁻¹)
E_{rsw} : Taux évaporatif de la sueur regenerer
ET : Évapotranspiration (kg m⁻² s⁻¹)
ETPc : Évapotranspiration potentielle climatique (kg m⁻² s⁻¹)
ETR : Évapotranspiration réelle (kg m⁻² s⁻¹)
ETRm : Évapotranspiration réelle maximale (kg m⁻² s⁻¹)
evap : Évaporation
GLO : Grande longueur d'onde
h : Hauteur (m)
H : Hauteur du soleil (°)
H_m : Hauteur moyenne de l'espace (m)
h_c : Coefficient d'échange convectif (W m⁻²°C⁻¹)
h_e : Coefficient d'évaporation (W m⁻²Pa⁻¹)
HR : Humidité relative (%)
H_{tr} : Hauteur du tronc de l'arbre
I : Rayonnement solaire direct reçu normalement à la direction des rayons (Wm⁻²)
ICT : Indice de contrainte thermique (ITS)
IL : lumière entrante
Im : indice d'aridité.
L : Luminance (cd/m²)
LAD : Densité foliaire totale (m² m⁻³)
LAI : Indice foliaire (m² m⁻²)
LE : Densité de flux de chaleur latente (Wm⁻²)
LF : pourcentage de lumière filtré par plante

L_p : la plus petite largeur de l'espace
 LSV : vote de sensation lumineuse
 M : Métabolisme, (met) (Wm^{-2})
 min : Minérale
 MRT : Température moyenne radiante ($^{\circ}C$)
 MNT : modèle numérique du terrain
 MNS : modèle numérique de surface
 P : Précipitations (mm)
 PET : Température physiologique équivalent ($^{\circ}C$)
 PMV : Vote moyen prévisible
 PPD : Pourcentage prévisible d'insatisfait (%)
 q : Humidité spécifique ($kg\ kg^{-1}$)
 q_a : Humidité spécifique de l'air ($kg\ kg^{-1}$)
 $Q-AC$: Qualité acoustique
 $Q-OF$: Qualité olfactive
 q_{sat} : Humidité spécifique saturante ($kg\ kg^{-1}$)
 $Q-Th$: Qualité thermique
 $Q-VI$: Qualité visuelle
 R_D : Rayonnement solaire diffus (Wm^{-2})
 R_d : Rayonnement solaire direct (Wm^{-2})
 R_g : Rayonnement global ($W\ m^{-2}$)
 R_{GLO} : Rayonnement de grande longueur d'onde ($W\ m^{-2}$)
 R_n : Rayonnement net (Wm^{-2})
 S : Surface (m^2)
 SET^* : Nouvelle température effective standardisée
 SVF : Sky view factor (drégré d'ouverture au ciel)
 T : Température ($^{\circ}C$)
 t : Temps (s)
 T_a : Température de l'air ambiant ($^{\circ}C$)
 TE : Température effective (ET) ($^{\circ}C$)
 TE^* : Nouvelle température effective (ET*) ($^{\circ}C$)
 Te : Température équivalente ($^{\circ}C$)
 T_f : Température de la feuille ($^{\circ}C$)
 T_{mrt} : Température radiante moyenne ($^{\circ}C$)
 T_s : Température de surface ($^{\circ}C$)
 TS : Sensation thermique
 UV : Ultra Violet
 Veg : Végétale
 V_{vent} : Vitesse du vent ($m.s^{-1}$)
 x, y, z : Coordonnées spatiales (m)
 ϵ_{ext} : Émissivité de la surface extérieure
 θ : Angle ($^{\circ}$)
 λ : Conductivité thermique ($W\ m^{-1}C^{-1}$)

- ρ : Masse volumique de l'air (kg m^{-3})
 Φ : Densité de flux de chaleur (W m^{-2})
 ϕ : Densité de flux lumineux
 ϕ_{CLO} : Densité de flux par rayonnement CLO (W.m^{-2})
 ϕ_{cond} : Densité de flux conductif (W.m^{-2})
 ϕ_{conv} : Densité de flux convectif (W.m^{-2})
 ϕ_{evap} : Densité de flux évaporatif (LE) (W.m^{-2})
 ϕ_{GLO} : Densité de flux par rayonnement GLO (W.m^{-2})
 ϕ_{res} : Densité de flux lors de la respiration (W.m^{-2})
 ϕ_{trans} : Densité de flux de rayonnement transmis (W.m^{-2})

Introduction Générale



Introduction Générale

« L'extérieur est un autre dedans » Le Corbusier¹

Introduction

Plusieurs études ont porté sur la caractérisation environnementale des espaces urbains et la qualification de leurs ambiances, et sur la relation entre les phénomènes physiques, les paramètres architecturaux et environnementaux et la qualité des ambiances dans les espaces extérieurs de la ville. Elles ont toute pour but de définir, de comprendre et de maîtriser, les mécanismes qui conduisent à la production d'un environnement spécifique ou d'une ambiance particulière afin de faciliter la conception des ambiances de la ville.

Selon Augoyard, (1998) une ambiance est une globalité perceptive, constituée des interactions que l'utilisateur perçoit entre les phénomènes physiques et les formes de l'environnement construit². La qualité d'ambiance d'un lieu se traduit pour l'occupant en termes de sensation de confort. Créer des ambiances urbaines de qualité assurant le confort des citoyens est donc un des enjeux fondamentaux du développement durable des villes³. Le développement durable des villes dépend en grande partie de la capacité des urbanistes à offrir des espaces extérieurs urbains à haute qualité environnementale.

Parmi les facteurs d'ambiances susceptibles d'avoir des effets sur la perception du piéton, on peut citer les facteurs physiques des ambiances (température de l'air, vitesse et direction du vent, pourcentage de ciel visible, éclairage...). Ces facteurs sont conditionnés, entre autres par la morphologie des espaces urbains et son degré d'aménagement, qui peuvent générer, à l'échelle du piéton, des situations de confort ou d'inconfort^{4,5,6}.

Le microclimat d'un lieu est une clé de conception pour des ambiances architecturales et urbaines de qualité. La réhabilitation d'un espace extérieur existant ou la

¹ - Le Corbusier in « Traitement des espaces externes » site Internet <http://www2.regionpaca.fr>

² - Augoyard Jean-François. "Éléments pour une théorie des ambiances architecturales et urbaines" Les Cahiers de la Recherche Architecturale. Automne 1998, n° 42/43, pp 7-23.

³ - Sigrid Reiter. Elaboration d'outils méthodologiques et techniques d'aide à la conception d'ambiances urbaines de qualité pour favoriser le développement durable des villes. Thèse de doctorat. Faculté des Sciences Appliquées Département AUCE Architecture et Climat 2007.

⁴ - Rotton, J., Shats, M. & Standers R. (1990). Temperature and pedestrian Tempo – Walking without awareness. Environment and Behavior, 22(5), 650-674.

⁵ -Peneau J. P. . *Les ambiances urbaines*. Données Urbaines 3. Paris : Anthropos. 2000. 375-386.

⁶ - Zacharias, J. Pedestrian Behavior and Perception in Urban Walking Environments. Journal of Planning Literature, 16(1) 2001, 3-18.

conception d'un nouvel espace public peuvent offrir la possibilité de créer des ambiances urbaines de qualité. Dans cette optique, plusieurs recherches démontrent que les paramètres microclimatiques sont de prime importance du point de vue des activités et d'usage.^{7,8}

Les espaces publics extérieurs sont des composants fondamentaux de la ville. Le développement de ces premiers est une logique dans la composition, la structuration de la forme urbaine. La qualité des espaces publics urbains présente un intérêt majeur et il est reconnu qu'ils peuvent contribuer à une bonne qualité de vie en milieu urbain tout comme, à l'opposé, accroître l'isolement et l'exclusion sociale. La conception des espaces publics selon un nombre de critères bioclimatiques (microclimat, confort thermique, visuel et acoustique, morphologie urbaine...etc.) est recommandée.⁹

Un « art urbain » maîtrisé doit se donner les moyens de contrôler ces ambiances en fonction des usages programmés, et de ne pas laisser cela au pur hasard.¹⁰ Le taux d'urbanisation accélérée a négligé ces espaces, par conséquent on assiste à leur déclin et leur dégradation. Ainsi la recherche pour réaliser des conditions favorables de confort s'avère nécessaire¹¹.

Dans les villes des zones à climat chaud et sec, l'ensoleillement et l'éclairage sont les dimensions les plus marquantes et les plus importantes dans la qualification de la qualité d'ambiance dans l'espace public extérieur en période de surchauffe¹². Les paramètres microclimatiques varient en fonction de l'espace et du temps, ces variations sont influencées par la configuration de l'espace et son degré d'aménagement, peuvent être plus ou moins appropriées au confort thermique et visuel du piéton et qui génèrent la dynamique environnementale.

- Se sentir bien dans sa ville, c'est l'ensemble des phénomènes physiques qui participe à la perception sensible de l'environnement construit et au confort de l'utilisateur [lumière, chaleur, vent, sons...].
- La pratique quotidienne de l'espace urbain se trouve inévitablement perturbée et déformée (taux de chaleur élevé, manque d'aménagement, pollution...). Les heures de

⁷ - Boussoulim A, Aimé C, Evaluation of the environment and climatic feeling ; Research near users of urban spaces in Marseille and Toulouse within the framework of SAGACité Project Ist Int. Workshop on Architectural and Urban Ambient Environment, Nantes Febrery.6-8, 2002, 12P.

⁸ - Nikolopoulou M., Lykoudis S., Kikira M., Thermal Comfort Models for Open Urban Spaces. In: CEE, Designing Open Spaces in the Urban Environment: a bioclimatic approach, Centre for Renewable Energy Sources. Grèce; 2004.

⁹-Nikolopoulou M « Concevoir des espace extérieur en environnement urbain : Une approche bioclimatique » [in http://alpha.cres.gr/ruros/dg.fr](http://alpha.cres.gr/ruros/dg.fr)

¹⁰ - Groupe abc - <http://www.marseille.archi.fr/~abc/>

¹¹ - Los A. "Bioclimatic approach to urban space system" 1981 pp.478-482.

¹² - Masmoudi S.-Mazouz S « Relation of geometry, vegetation and thermal comfort around buildings in urban settings, the case of hot arid regions" journal of Energy and Building36 (2004) pp69.

fréquentations correspondent aux heures les plus fraîches de la journée en période estivale et la plupart de ces espaces connaissent une fréquentation réduite.

- Le comportement d'un espace public extérieur vis-à-vis du climat d'après J.L.Izard peut en première approche, être subdivisé en :

- la réponse due à la morphologie de l'espace.
- la correction apportée par les éléments contenus par l'espace.

Ce comportement va commander un certain nombre de phénomènes ; la répartition des zones ombrées et ensoleillées, les champs radiatifs solaire et thermique qui en découlent et les écoulements d'air sous l'effet du vent. Le confort de l'utilisateur dans la ville notamment dans l'espace public urbain est conditionné par ces phénomènes, en déterminant les températures des surfaces environnantes, la vitesse d'air en contact avec le corps, la température de l'air résultant de ses échanges et la distribution de la lumière dans l'espace.

- Les éléments contenus par les espaces urbains (végétation ,eau..) peuvent apporter des corrections importantes à cette situation ; en ajoutant des ombres dans les zones ensoleillées, en introduisant des échanges thermiques « latent » (comme l'eau et la végétation) susceptibles de modifier la température de l'air où celle des surfaces, en minimisant la propagation du son, en absorbant une part relativement importante de l'énergie solaire qui est utilisée dans le processus d'évapotranspiration (génération de l'humidité) et contribue alors au refroidissement de l'air. À l'inverse, les espaces bâtis se composent en grande partie de matériaux de construction hydrofuges non réfléchissants.

La minéralisation des villes, en remplaçant la végétation et les zones humides par du béton et de l'asphalte contribue à ces nuisances (stress thermique, les brumes et smog, les pics de pollution et de consommation énergétique ...), qui sont derrière la dégradation de la qualité des ambiances et du confort dans ces espaces urbains. Pour cela la végétalisation des espaces publics est une solution avancée pour lutter contre le réchauffement par l'impact qu'elle pourrait avoir sur les émissions de gaz à effet de serre. La végétation peut avoir plusieurs effets sur la consommation énergétique des bâtiments et sur le confort dans les espaces extérieurs :

- Effet direct grâce au rôle de protection solaire,
- Effet indirect par la modification du microclimat.

Les questions liées à la santé, aux risques et aux pollutions de l'air, au climat urbain, aux ressources et aux énergies, mais aussi celles qui visent à gérer le milieu urbain et créer

un cadre de vie confortable et de qualité amènent à penser la ville au travers d'approches fortement pluridisciplinaires, dans le domaine environnemental et celui des ambiances urbaines. Notre confort, notre bien-être et notre santé sont tributaires du milieu où nous évoluons ; parmi les moyens d'amélioration de ce cadre de vie la présence du végétal, qui représente une composante très importante. Selon Gary Robinette (1972)¹³, August Hechscher (1977)¹⁴, Michael Laurie (1986)¹⁵, et Malcom Emery (1986)¹⁶, la végétation est un élément fondamental dans l'espace extérieur.

En effet, le végétal urbain procure une multitude d'avantages et de bienfaits. Ils remplissent plusieurs rôles et fonctions, outre ses fonctions sanitaires, biologiques et écologiques. La végétation peut être une source de fraîcheur et de satisfaction visuelle, une stimulation intellectuelle.

Les arbres ont naturellement un rôle de climatiseurs passif, puisque à la fois ils génèrent de l'ombre, absorbent les flux radiatifs et la chaleur sensible de l'air par l'évapotranspiration. Par son ombrage, la végétation plantée en milieu urbain modifie les ambiances physiques (lumière, chaleur, structure, vent, son, humidité). Elle influe sur la perception et l'appropriation des espaces urbains par les usagers^{17,18}. Outre la valeur esthétique paysagère et sociologique, la présence des arbres permet de modifier le microclimat et peut améliorer les conditions de confort¹⁹.

La végétation est une composante indispensable dans les projets architecturaux et urbains, elle permet de minimiser et d'intercepter les radiations solaires, un paramètre très important du confort à l'extérieur. Avec l'effet d'ombrage et l'effet de refroidissement par évaporation, elle réduit les températures de l'air. Comme elle peut atténuer le bruit urbain et créer une ambiance plus raffinée.

Récemment, des études ont démontré que la végétation a un effet significatif sur le microclimat urbain. L'effet bioclimatique de la végétation en milieu urbain a été démontré

¹³ - Robinette G. *Plants, People and Environmental Quality*, National Park, Washington, 1972

¹⁴ - Hechscher A. *Open Space, The Life of American Cities*, Harper and Row, New York, 1977

¹⁵ - Laurie M. *An Introduction to Landscape Architecture*, Pitman publishing Ltd, Victoria, Australia, 1986

¹⁶ - Emery M. *Promoting Nature in cities and Towns*, Croom Helm, London, 1986

¹⁷ - Emelianoff C. Les relations villes-nature : Zones d'ombre ou cécité ?, in : C Lévêque, S Van Der Leeuw, *Quelles natures voulonsnous ? Pour une approche socio-écologique du champ de l'environnement*, Elsevier, Paris, pp.47-54.

¹⁸ - Marjory M. Le rôle climatique de la végétation urbaine – *Culture et Recherche* n°113 automne 2007.

¹⁹ - Chatzidimitriou A; Chrissoumallidou N. ; Yannas S. *Ground surface materials and microclimates in urban open spaces* , PLEA, the 23rd conférence , Geneve,Suisse, 6-7 Septembre 2006.

par Dimoudi et al (2003)²⁰. Elle illustre que plus la surface de l'aménagement vert augmente plus le différentiel de température de l'air diminue.

Les résultats de recherches menées par Gómez et al (2001²¹, 2004²²) montrent aussi que les conditions du confort thermique des individus peuvent être améliorées par l'effet bioclimatique de la végétation. La présence des arbres le long des rues, dans les parcs, autour des résidences, a un impact majeur sur la qualité de l'environnement urbain. Ils contribuent à humaniser en quelque sorte la ville. Le rôle des arbres dans le paysage est classifié selon quatre aspects, soit sur le plan environnemental, paysager, économique et socio-psychologique. Sur le plan environnemental, la création de microclimats, l'amélioration de la qualité de l'air, la réduction du bruit et le contrôle de l'érosion sont connus.

La végétation est une des composantes essentielles de la qualité des espaces extérieurs :

- Cadre paysager de qualité
- Protection contre les vents
- Protection contre le rayonnement solaire en été
- Rafraîchissement de l'îlot de chaleur que crée la ville

En Algérie, cette contribution de végétalisation des espaces extérieurs est extrêmement sous-estimée. Le climat urbain peut être modifié à un niveau du microclimat (ombre, refroidissement, obstruction). Malgré le rôle important de la végétation, on la trouve généralement seulement sous forme de taches vertes sur les plans de masses, son implantation est rarement réalisée.

Etat d'avancement de la recherche

Les études pour la qualité des ambiances urbaines mettent l'accent sur les risques environnementaux relatifs à la qualité de l'air et de l'eau, sur les nuisances visuelles, thermiques et sonores et sur les problèmes de sécurité. Plusieurs études ont porté sur la caractérisation environnementale des espaces urbains et la qualification de leurs ambiances, et sur la relation entre les phénomènes physiques, les paramètres architecturaux et

²⁰ - Dimoudi A; Nikolopoulou M., Vgetation in urban environment: microclimatic analysis and benefits. *Energy and Buildings*, 35, 69-76

²¹ - Gómez F, Tamarit N, Jabaloyes J. Green zones, bioclimatics studies and human comfort in the future development of urban planning. *Landscape and Urban Planning* 55(2001) 151-161.

²² - Gómez F, Gil L, Jabaloyes J. Experimental investigation on the thermal comfort in the city: relation- ship with the green areas, interaction with the urban microclimate. *Building and Environment* 39(2004), 1077-1086.

environnementaux et la qualité des ambiances dans les espaces extérieurs de la ville. Elles ont toutes pour but de définir, de comprendre et de maîtriser, les mécanismes qui conduisent à la production d'un environnement spécifique ou d'une ambiance particulière afin de faciliter la conception des ambiances de la ville.

1. L'étude réalisée par C. Sacré du CSTB de Nantes à partir d'un inventaire d'espaces Nantais caractéristiques, proposé par le laboratoire CERMA (D.Manceau, 1981). Cette étude a été effectuée à partir de mesures sur site dans le but d'étudier les mécanismes qui sont à l'origine des microclimats urbains : cette étude a porté principalement sur le confort dans les espaces extérieurs liés aux contraintes climatiques et à la réponse psychologique des individus²³. L'étude démontre également qu'à une échelle globale que certaines variations peuvent être observées comme la température globale qui varie d'un point à un autre. Le fait d'être à l'ombre ou au soleil, sous un arbre ou à proximité d'une façade entraîne des écarts importants dans les apports radiatifs et des différences non négligeables de températures.

2. On trouve des travaux qui ont tenté une validation d'un certain nombre d'indicateurs morphologiques du point de vue de leurs effets microclimatiques. Karima Aît-Ameur [AIT-AMEUR 2002] a présenté dans ce sens, dans son travail de thèse, quatorze indicateurs, appliqués soit à l'espace urbain soit à l'échelle d'un tissu. À l'échelle du tissu urbain, les indicateurs définis étaient : la densité du bâti, le pourcentage de minéralisation, le taux de percement horizontal d'un tissu urbain et sa rugosité. À l'échelle de l'espace urbain elle définissait comme indicateurs: le prospect équivalent d'un espace, la longueur équivalente, les facteurs d'obstruction minérale, le facteur d'ombre portée, la fraction de masque, la densité minérale, la densité végétale, le taux d'emprise des obstacles urbains dans l'espace, le taux de vitrage de la façade et l'albédo des surfaces. Les dimensions et la géométrie urbaines, le mode d'organisation spatiale, le type d'aménagement de l'espace et la nature des surfaces de captage. Ces indicateurs ont été classifiés à la base de ces critères en trois types d'indicateurs proposés: les indicateurs de la forme urbaine, les indicateurs de l'aménagement urbain et les indicateurs des types de matériaux.

3. Le travail d'Aïcha Boussoualim [2002] examine l'influence des éléments climatiques sur les comportements et les activités en espace public. Les résultats montrent l'incidence de l'environnement microclimatique sur les comportements des usagers en espace public extérieur.

²³ - SACRE, C. Le confort dans les espaces extérieurs, analyse microclimatique. Nantes, CSTB, 1981.

4. Le travail de Fouzia boucheriba [2006] au sein du laboratoire ABE examine l'effet de la géométrie de la rue sur le confort thermique des espaces extérieurs. Les résultats montrent que l'ombrage des espaces extérieurs est important. Dans un climat semi aride, la géométrie d'un canyon urbain joue un rôle important dans la réduction de la température des surfaces et de l'air.

5. Le travail de Sigrid Reiter [2007] développe de nouveaux outils méthodologiques et techniques pour concevoir des ambiances urbaines de qualité du point de vue microclimatique et acoustique. Ces outils permettront aux différents acteurs du processus de conception et de réalisation des projets urbains d'identifier dans le tracé de leurs plans masses les zones susceptibles d'être critiques ou clémentes pour les piétons en fonction du microclimat et de l'acoustique. Signalons notamment le développement d'outils graphiques simplifiés pour déterminer les risques d'inconfort au vent autour des bâtiments, à partir de nombreuses simulations numériques CFD (Computational Fluid Dynamics).

Les aspects ambiantaux et énergétiques pouvant intégrer les exigences du développement durable constituent le fil conducteur des études menées. Trois thèses illustrent entre autres ces recherches, l'une traitant des aspects morphologiques et historiques à l'échelle de la ville [Benzerzour, 2004], les deux autres s'appuyant sur la simulation physique pour analyser les variables climatiques de l'espace urbain [Vinet, 2000], [Robitu, 2005]. Ces dernières ont abouti à une modélisation climatique fine des environnements urbains intégrant le comportement d'éléments de l'aménagement comme :

- la végétation (comportement thermo radiatif, hydrique, aéraulique)
- les bassins d'eau (comportement thermo radiatif, hydrique)
- les parois des bâtiments et le sol (comportement thermo radiatif).

1. Les travaux de thèse successifs de Vinet [2000]; Robitu [2005]; Bouyer [2009], modélisent l'effet de la végétation dans des couplages thermo-aéraulique de SOLENE avec des codes CFD. À partir des travaux de Robitu, dans SOLENE, la surface extérieure des couverts végétaux est modélisée comme une surface semi-transparente qui laisse passer une partie du rayonnement solaire et qui est opaque au rayonnement thermique. Les échanges thermiques avec l'air se font dans les cellules périphériques. Sur tout le volume de l'arbre, la résistance stomacale est constante et l'approvisionnement en eau assuré.

Le travail de Bouyer (2009) étudie l'impact de deux modes d'aménagement: un aménagement minéral et un aménagement végétal ; a fait ressortir deux résultats principaux

à savoir l'écart important entre des consommations énergétiques simulées en contexte théorique isolé et simulées en site urbain, puis, l'économie potentielle d'énergie entre deux choix d'aménagement urbain pour un même projet.

2. La végétation au sein du laboratoire ABE a été l'objet de plusieurs travaux de recherche. Les travaux successifs de Habiba Tebbani (2006)²⁴ et Amor Ballot (2010)²⁵ qui focalisent sur l'impact du végétal sur le confort thermique. Les résultats montrent les bienfaits de la végétation et de l'eau dans le rafraîchissement de l'air et dans le confort thermique.

Cet état de l'art a permis de répertorier un nombre important d'indicateurs appliqués au contexte des microclimats urbains et leur importance ainsi que le rôle dans le processus de décision.

Problématique

De nos jours, l'étalement urbain est porteur de nuisances : l'augmentation des surfaces artificielles au détriment des surfaces naturelles a des conséquences sur la qualité de l'environnement urbain (îlot de chaleur urbain, pollution, ...) mais aussi sur les dépenses énergétiques. Cependant, avec l'augmentation de la population urbaine, il est nécessaire de trouver des compromis. La végétation est une des solutions possibles au développement durable des villes. Cette étude se décline en domaines de questions sur les rôles climatiques, énergétiques et ambiants du végétal urbain.

Dans les villes à climat aride et semi aride, l'objectif est toujours d'éviter les rayons solaires directs et de rechercher l'ombre et la fraîcheur durant l'été. Cependant, dans les tissus urbains récents, les espaces urbains sont généralement très ouverts assaillis de toutes parts et à toute heure par un soleil chaud et ardent. Il s'avère que parmi l'ensemble des espaces urbains les rues et les places sont les plus touchées par la dégradation du degré de confort.

La végétation intervient dans l'espace public de différentes manières. Elle peut constituer un simple élément décoratif ou un élément d'amélioration de l'espace public (rue,

²⁴ - TEBBANI Habiba. Impact de la végétation sur le microclimat et le confort thermique des espaces urbains publics « cas de cours de la révolution d'Annaba ». Thèse de magistère, université Mentouri Constantine, 2006.

²⁵ - BELLOT Amor. Le rôle de la végétation et l'eau dans la création d'un microclimat urbain. Cas de la place d'Ain El Fouara à Setif. Thèse de magistère, université Mentouri Constantine, 2010.

avenue, place). Il y a une grande variabilité de facteurs qui contribuent à la surchauffe de l'air en milieu urbain. La gestion des apports solaires conditionne le confort thermique et visuel des occupants. Pour cela, la présente recherche s'est focalisée sur l'effet de la végétation sur la qualité des ambiances.

D'un point de vue thermique, la problématique consiste à se protéger des surchauffes estivales. L'éblouissement, reste un facteur important d'amélioration du confort visuel; il s'agit donc d'offrir une ambiance climatique favorable pour les déplacements piétonniers et dans les espaces de vie extérieurs en veillant à l'adéquation entre leurs usages et leurs conditions d'ensoleillement.

À partir des éléments que nous venons de citer, deux questions peuvent être posées:

Peut-on obtenir des améliorations réellement quantifiables des caractéristiques microclimatiques des villes, en situation climatique chaude, par l'introduction ou la multiplication de la végétation ?

Les conséquences induites par cette modification du microclimat, sont-elles significatives en termes de pratiques urbaines, de confort, voire d'ambiances ?

Le but est de démontrer l'effet de cette dynamique environnementale sur la perception des ambiances thermiques et visuelles d'un piéton, et d'identifier pour les usagers les opportunités d'adaptations aux conditions changeantes de l'environnement thermique. Ainsi, comprendre la diversité environnementale en milieu urbain et son implication en termes de conditions du confort thermique pour un piéton permettra aux architectes et urbanistes de mieux concevoir les espaces publics extérieurs.

Trois dimensions majeures des ambiances sont retenues par le chercheur :

3. La dimension physique (des composantes physiques et climatiques: ensoleillement, vent, humidité ambiante, temps ambiant, la lumière et le son...)
4. La dimension spatiale (morphologie, fonctionnalité, matériaux et textures...)
5. La dimension humaine (usages et comportement : pratique spatiale, attitudes physiques vestimentaires)

Les environnements thermique et visuel des tissus urbains vont être mesurés en mouvement à l'aide d'appareils portatifs de mesure des ambiances physiques. Le croisement des données permettra de :

- (1) démontrer la dynamique de l'environnement thermique et visuel d'un parcours urbain avec et sans végétation ;

- (2) d'analyser les conditions du confort thermique ;
- (3) d'identifier les différents niveaux d'adaptation caractérisant un parcours urbain et des scènes pendant des journées typiques d'été ;
- (4) démontrer l'effet de la masse et type de feuillage (ou LAD) sur la quantité d'énergie incidente absorbée de l'espèce durant la période d'été.

Dans cette recherche on détermine les valeurs des paramètres suivants : l'espèce, la hauteur de l'arbre, largeur du (feuillage) masse foliaire, température de l'air, humidité relative et l'intensité des radiations solaire.

Le contexte urbain offre un environnement riche et varié qui influence, d'une part la manière avec laquelle nous utilisons les espaces urbains (mouvement, séquence et activité) et d'autre part, notre perception aux stimuli thermiques, acoustiques et olfactifs²⁶. Cette recherche vise à étudier et analyser l'apport de la végétation urbaine sur les microclimats et le confort thermique, visuel dans les espaces publics extérieurs par des mesures dynamiques in situ.

Hypothèses de la recherche

Les mesures climatiques urbaines permettent de comprendre les relations existant entre végétation et ambiance urbaine.

- Il est possible de démontrer quantitativement et visuellement la dynamique de l'environnement thermique caractérisant un parcours urbain à travers les mesures in situ et la densité de fréquentation.
- La végétation joue le rôle dans l'amortissement des excès de chaleur, et la modération du microclimat, par l'interception des radiations solaires et le processus d'évaporation l'arbre joue un rôle dans la diminution des températures.
- la présence de végétations modifie l'impact du rayonnement solaire, la température et l'humidité de l'air.

Objectifs

Cette recherche a pour objectif d'évaluer objectivement et subjectivement la qualité des ambiances thermiques et visuelles sous l'effet de la végétation plantée dans l'espace

²⁶ - Steemers K. A., Ramos M.C., Sinou M., Urban morphology, In: CEE, Designing Open Spaces in the Urban Environment: a bioclimatic approach, Centre for Renewable Energy Sources. Grèce; 2004.

public sous un climat semi aride. De déterminer l'impact de la végétation sur la qualité de vie environnementale et la création d'ambiances urbaines et sur les situations de confort thermique et visuel ressentis par un individu.

- démontrer l'importance de la végétation dans l'amélioration des ambiances thermiques et visuelles et dans la modération du microclimat.
- démontrer l'importance de la végétation dans l'atténuation des radiations solaires, la diminution dans la température ambiante de l'air et la diminution de l'éclairement de l'espace.
- L'aboutissement à des recommandations pour l'intégration de la végétation dans la conception urbaine pour mieux contrôler les ambiances urbaines et afin d'améliorer la qualité de l'espace urbain et la valorisation des parcours urbains.
- Rechercher des typologies de végétation adéquate pour un tel climat.
- Proposer un indice de couverture végétale propre à la ville de Constantine.

Cette recherche vise donc à étudier et analyser l'apport de la végétation urbaine sur les microclimats et le confort thermique et visuel dans les espaces publics extérieurs.

Méthodologie et structure du travail

Afin de répondre aux objectifs assignés au préalable, l'étude est scindée en deux parties distinctes : une partie théorique qui se fonde sur l'approche conceptuelle et une deuxième partie analytique qui permet la vérification de l'hypothèse de l'étude.

Dans la première partie, une importante synthèse bibliographique permet de faire le point sur des domaines aussi variés que la notion des ambiances urbaines, la micro climatologie urbaine, des divers aspects théoriques de l'espace public et sa relation à la notion de qualité environnementale et de vie. Nous soulignerons particulièrement les méthodes d'observation et de représentation des perceptions sensibles d'une ambiance, qui fait l'objet du premier chapitre. Le deuxième chapitre, abordera, une méthode pour évaluation d'une ambiance dans les espaces publics urbains réunissant les approches physiologiques et psychologiques, à l'aide de critères quantitatifs et de critères qualitatifs. Le troisième chapitre, traitera le fonctionnement micro climatique du végétal urbain sous

toutes ses formes, en s'appuyant sur une bibliographie compilée sur le sujet. Ces informations permettent l'interprétation des investigations et des simulations envisagées.

Une deuxième partie qui concerne le volet pratique, présente notre démarche empirique. Dans cette partie, le quatrième chapitre permet de présenter les aspects méthodologiques de la recherche, et le positionnement épistémologique. Nous faisons apparaître quelques paramètres ou descripteurs permettant la mise en liaison entre l'usager et le microclimat en espace public par les enquêtes relatives au travail de terrain. Une observation selon un parcours commentée pour une lecture subjective des différents espaces du parcours et des enregistrements vidéo pour observer les déplacements et les activités des usagers dans les espaces étudiés (selon une approche dynamique); et un système d'acquisition basée sur le relevé des paramètres microclimatiques en mouvement à travers un parcours urbain et des scènes explorées par l'enquêteur fait l'objet du cinquième chapitre. Cette approche est réalisée à l'aide d'appareils portatifs de mesure des ambiances physiques (selon une approche statique) et cela le long du parcours. Les mesures seront effectuées sur un parcours de plusieurs points et des stations choisies allons d'une rue avec végétation et d'autres sans végétation, une large rue avec arbres et d'autres sans arbres à une place sans végétation et un square dense de végétation. Le sixième chapitre consiste en une simulation basée sur un programme numérique tridimensionnel appelé « Townscope²⁷ » qui permet d'évaluer le confort thermique et visuel au niveau des espaces extérieurs avec et sans végétation ainsi que beaucoup d'autres paramètres. Le confort thermique est calculé par le logiciel RayMan 1.2²⁸ ayant pour indicateur l'indice PET et l'indice PMV pour comparer le degré de confort des différents espaces.

La mise en commun de ces deux parties de recherche de cette thèse analyse la thématique des ambiances de manière globale et promeut une architecture qui enrichit la vie humaine et son confort. Elles constitueront une base pour établir des recommandations quant aux choix des stratégies adéquates concernant la végétation comme matériaux urbains pour une qualité des ambiances thermiques et visuelles des parcours et espaces publics durant l'été et dans de futurs projets d'espace publics urbains.

²⁷ - Azard S, teller J. Townscope 3.1, logiciel d'un groupe de consultance multidisciplinaire pour la conception urbaine durable. Structure,Homepage <<http://www.townscope.com>

²⁸ -Matzarakis. RayMan .2.1, Modeling the Mean Radiation Temperature and Thermal Indices in Urban Structure,Homepage <<http://www.mif.uni-freiburg.de/rayman>> .

Partie I
Partie I
Approche Théorique
Approche Théorique

Chapitre I



NOTION D'AMBIANCE URBAINE ET QUALITE DE VIE DANS L'ESPACE PUBLIC URBAIN

I. NOTION D'AMBIANCE URBAINE ET QUALITE DE VIE DANS L'ESPACE PUBLIC URBAIN

« Mieux comprendre les ambiances existantes de la ville pour mieux concevoir les ambiances à créer Une des caractéristiques majeures des ambiances de la ville est le caractère spontané, dynamique, éphémère des manifestations d'ambiances tant des occupations de l'espace que des manifestations climatiques. »²⁹

I.1 Introduction :

« L'espace dans lequel nous vivons n'est pas uniquement un objet pour le regard en trois dimensions. C'est un milieu complexe. Nous y entendons des sons, nous y ressentons le vent, la chaleur du soleil, la température de l'air, nous le "marchons", nous le touchons, nous le frôlons... Bref, nous l'éprouvons grâce à nos sens. »³⁰

Pour qualifier le confort des environnements architecturaux et urbains on se réfère à la notion d'ambiances architecturales et urbaines. Les ambiances, ou l'ambiance, résultent de la perception et de l'interprétation humaine de l'état physique de l'espace architecturale et urbaine³¹. Cet état physique naît de l'interaction de nombreux facteurs parmi lesquels ; la morphologie de la ville, la nature de ses composants (matériaux, végétation...), les phénomènes naturels (vent, ensoleillement, humidité, lumière...) et les activités humaines (trafic routier, travaux, bruit...).

L'ambiance n'a pas de forme, elle n'a qu'une dynamique³². L'étude des phénomènes sensibles, qu'ils soient sonores, visuels, tactiles, etc...ou de façon générale multisensorielle, implique de tenir compte de leurs dimensions physiques, spatiale, et sociale. Cette complexité nous conduit à rechercher des outils et des notions, autant pour l'analyse que pour la conception, qui soient transversaux aux différentes disciplines et aux différentes modalités sensorielles : il s'agit là tout autant d'une règle que l'on peut se donner à appliquer, que d'un objectif que l'on chercherait.

²⁹ - Le Corre Y; « Pattern Ambient » : une entité opératoire de caractérisation et de conception des ambiances urbaines. Thèse de doctorat. Université de Nantes 2007, 524p

³⁰ - TIXIER N., « Morpho dynamique des ambiances construites », thèse de doctorat, sciences pour l'ingénieur Option architecture Ecole Polytechnique de l'Université de Nantes, Laboratoires CRESSON et ACROE, 2001.

³¹ - Premier workshop international sur les « Ambiances architecturales et urbaines » 6-7-8 février 2002 Nantes, France. [in http://www.cerma.archi.fr](http://www.cerma.archi.fr)

³² - Amphoux Pascal. (1992.b), La valse des ambiances, In : Autrement, revue n° spécial sur le confort, Paris, Novembre 92, 9 p.

On parle habituellement d'ambiances architecturales et urbaines pour se situer soit à l'échelle du bâtiment, soit à l'échelle de l'espace urbain. Dans ce travail, elle est considérée dans sa dimension urbaine où l'on constate la convergence de deux notions, l'espace public et la théorie des ambiances. Toutes fois pour concevoir et projeter des espaces et des ambiances, il est nécessaire d'appréhender dans les ambiances des espaces construits, le jeu complexe des interrelations entre leurs différentes dimensions et l'ensemble de leurs facteurs qui induisent une diversité des qualités environnementales et d'ambiances.

Ce chapitre se développe selon cette structure. Une première partie traitera des divers aspects théoriques des ambiances et aux fondements théoriques de la problématique des ambiances urbaines. La deuxième partie du chapitre sera consacrée aux divers aspects théoriques de l'espace public et sa relation a la notion da qualité environnementale et de vie. Cette partie du chapitre examinera les possibilités qu'offre un espace public pour qu'il soit durable et aller à la définition d'un espace public durable.

La troisième partie du chapitre met en valeur la relation entre le climat et le milieu construit.

I.2 Notion d'ambiance :

« Une ambiance architecturale ou urbaine est la synthèse, pour un individu et à un moment donné, des perceptions multiples que lui suggère le lieu qui l'entoure. En ce sens, cette ambiance est unique. L'élaboration de ce lieu architectural ou urbain cumule des savoirs et des savoirs-faires provenant de registres variés : arts plastiques, sciences et techniques, sciences sociales... Elle est plurielle. »³³

Les ambiances représentent un ensemble de phénomènes physiques et sensibles dans un environnement spatial construit qui met en relation la perception, l'action et les représentations sociales et culturelles d'un individu³⁴.

Augoyard mentionne que parmi les qualités perceptibles de l'environnement, trois aspects se sont particulièrement développés selon des besoins liés à la demande sociale, soient : la lumière, la thermique et l'acoustique.³⁵

L'ambiance d'un lieu est donc créée par les caractéristiques du lieu qui sont perçues par celui qui le traverse.

³³ - Adolphe Luc, 1998 (Les cahiers de la recherche architecturale, p. 7)

³⁴ - Ben slama H « Parcours urbains quotidiens » l'habitude dans la perception des ambiances. Thèse de doctorat, Université Pierre Mendès France 2007 PP10

³⁵ - Augoyard J-F. (1995), L'environnement sensible et les ambiances architecturales, In : L'espace géographique, N° 4, pp. 302-318.

Cette perception comprend une part d'objectivité face aux conditions physiologiques et une part de subjectivité, liée à la perception, à l'expérience sensible ou à l'usage.³⁶

La difficulté à évaluer une ambiance vient du fait qu'elle implique nécessairement à la fois du quantitatif et du qualitatif, de l'objectif, et du subjectif, du conçu et du vécu, du théorique et de la pratique.

I.2.1 Apparition de la notion d'ambiance dans les milieux de l'architecture et de l'urbanisme.

Le domaine des ambiances architecturales et urbaines n'a cessé de se développer depuis plus d'une quinzaine d'années domaine aujourd'hui en plein essor interdisciplinaire.³⁷

Il est parfaitement défini et délimité, il est traversé par de nombreuses démarches et de multiples apports qui ont fond sa richesse.

Le terme "ambiance" est utilisé depuis plusieurs années dans le domaine architectural et urbain pour désigner une certaine qualité des lieux. Sans remonter plus en amont, on trouve déjà une définition quasi matérialiste, dans un numéro spécial de *Science et Vie* sur l'habitat, en mars 1951³⁸.

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

La notion d'ambiance dans l'architecture et l'urbanisme est un champ de recherche ouvert et infini qui s'enrichit des nombreux travaux (Voir figure I.1) de modélisation et de caractérisation physique du sensible, des recherches en esthétique, en science cognitives, ou encore des apports de la sociologie et de l'anthropologie des espaces habités.³⁹

Les grands traits des chemins qui mènent à la notion d'ambiance et les mouvements qui accompagnent son évolution d'après J.P.Thibaud :

* la détermination qui consiste à clarifier et expliciter la notion d'ambiance ;

*la différenciation qui consiste à proposer des approches de l'environnement sensible urbain.

³⁶ - Reiter Sigrid cours in: <http://www.orbi.ulg.ac.be> & <http://www.lema.ulg.ac.be/urba/Cours/Espbatis>.

³⁷ - Thibaud.J.P. L'ambiance, chemin faisant : vers une perspective internationale. In www.

³⁸ - Texier N., « Morpho dynamique des ambiances construites », thèse de doctorat, sciences pour l'ingénieur Option architecture Ecole Polytechnique de l'Université de Nantes, Laboratoires CRESSON et ACROE, 2001.

³⁹ - müller Lars. Une approche différente de l'urbanisme, édition Parenthèses, 1998.

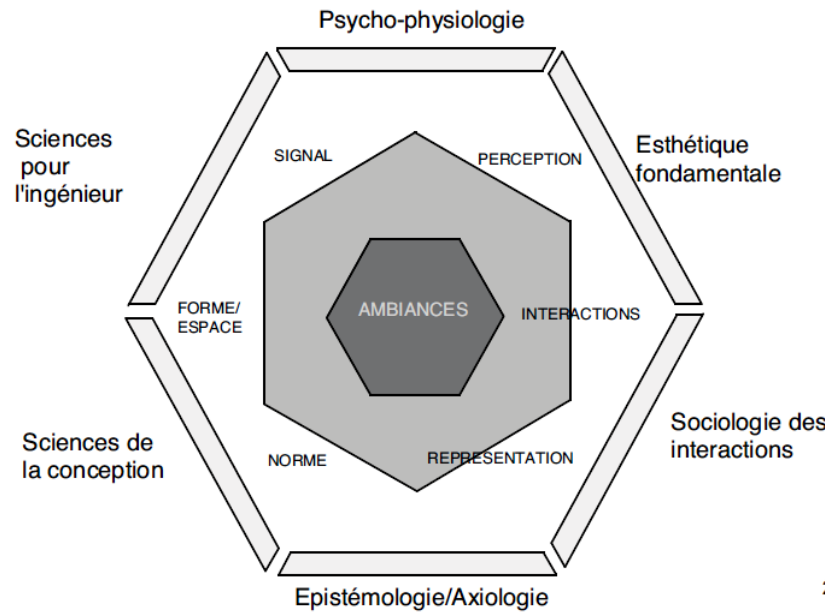


Figure I.1: Epistème de la recherche sur les ambiances architecturales et urbaines. Augoyard.J.F

I.2.2 Définition

Étymologiquement le terme "ambiance" est dérivé de "ambient", du latin *ambiens*, participe présent du verbe *ambire* " entourer, aller autour"⁴⁰. Une recherche, à partir de plusieurs dictionnaires francophones des synonymes et des analogies sémantiques possibles, permet de se rendre compte de l'importance de certains termes : **atmosphère** (6 occurrences), **milieu** (5), **environnement** (3), **entourage** (2), **climat** (2). Cette rapide recherche, effectuée grâce à un modèle numérique mis en ligne par l'Institut des Sciences Cognitives⁴¹ de Lyon I, permet à partir de ces résultats de tracer le réseau des relations sémantiques du mot "ambiance "

En tant que perception sensible de l'environnement urbain et architectural, l'ambiance est une expérience partagée par tout le monde mais le plus souvent difficilement communicable et explicable⁴². Les définitions les plus courantes du terme « ambiance » sont les suivantes :

- « Éléments et dispositifs physiques qui font une ambiance. »

Elle présente l'avantage de mettre à disposition des méthodes ou outils de simulation et d'analyse prédictifs très utiles en phase de conception qui permet de répondre à la

⁴⁰ - Le Robert - Dictionnaire de la langue française (1985). Paris : Éd. Dictionnaires le Robert, p. 296, tome 1, et le Dictionnaire étymologique de la langue française (1975). Paris : Éd. Des Presses Universitaires de France, sous la direction d'O. Bloch et de W. Von Wartburg, p. 22.

⁴¹ - Le dictionnaire a été développé et mis au point à l'Institut des Sciences Cognitives, unité CNRS – Université Lyon I n° UMR 5015 et au laboratoire Étude Linguistique de la Signification à travers l'Ambiguïté et la Paraphrase (ESALP) de Caen, maintenant dénommé Centre de Recherche Inter langues sur la Signification du Contexte (CRISCO). Sur le site : www.isc.cnrs.fr

⁴² - Hégron Gérard, Torgue Henry « Ambiances architecturales et urbaines » *De l'environnement urbain à la ville sensible sept2007* in http://www.pirve.fr/wp-content/uploads/2010/10/HegronTorgueAmbiances_PIRVE.pdf

question: comment la forme projetée et les matériaux pressentis affectent-ils les ambiances physiques ?

- « Atmosphère matérielle et morale qui environne un lieu, une personne ». Complète la dimension objective (physique et environnementale) en introduisant une dimension subjective (sensible, esthétique).

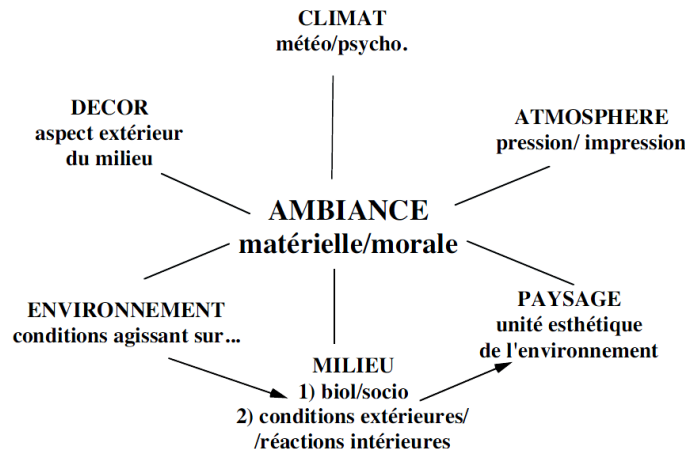


Figure I.2 : Relations privilégies d'une ambiance, Augoyard, 1995

L'usage du terme "ambiance" dans la définition donnée précédemment renvoie uniquement au sens d'"atmosphère matérielle"(Figure I.2). Il s'agit de caractériser l'interaction entre le cadre bâti (l'enceinte) et les données sensibles d'un lieu (le milieu : l'air, avec ses propriétés pour la lumière, la vue, les flux, la chaleur, les sons, etc.). Ce croisement amène plus à une caractérisation quantitative (par des valeurs physiques) qu'à une caractérisation qualitative (par l'expression du ressenti)⁴³.

La notion d'ambiance est de plus en plus mobilisée à la fois par les opérateurs urbains et par les chercheurs, car elle permet de faire appel aux dimensions multisensorielle et interdisciplinaire dans la représentation de la ville et du projet. Cette notion peut être reliée au débat sur l'ambiance (en tant que perception globale) et les ambiances (thermique, sonore, lumineuse, olfactive, etc.), Cela concerne trois niveaux de perception :

- **Le phénomène physique** : la lumière, le son, la température, les odeurs, la circulation de l'air, etc.... ;
- **La perception sensible** : la dimension physiologique et psychologique, l'interprétation des sensations ;
- **Les pratiques culturelles et sociales** : usages, comportements, imaginaires...

⁴³ - TIXIER N., « Morpho dynamique des ambiances construites », thèse de doctorat, sciences pour l'ingénieur Option architecture Ecole Polytechnique de l'Université de Nantes, Laboratoires CRESSON et ACROE, 2001.

L'ambiance engage donc des notions comme la sensibilité, l'altérité ou la temporalité, ainsi qu'un rapport sensible d'un ensemble de sujets percevant⁴⁴.

Les ambiances physiques réfèrent aussi bien aux aspects quantitatifs (énergie, matière) que qualitatifs (perception du confort, bien être) de l'environnement construit.

Il est en effet possible d'isoler la dimension physique des phénomènes d'ambiance de leur perception sensible et esthétique ou d'associer à l'ambiance générale d'un lieu les différents phénomènes physiques et sensibles qui se rattachent aux ambiances lumineuses, sonores, thermiques, olfactives, etc.

La compréhension et la production des qualités sensibles dans le projet passent par conséquent par l'étude du rapport entre les différents facteurs d'ambiance (lumière, son, chaleur, aéraulique, odeur, ...) et des liens qui existent entre le quantitatif et le qualitatif, le physique et l'humain, le conçu et le vécu, le théorique et la pratique. La notion d'ambiance articule la connaissance des phénomènes physiques (figure I.3) en présence, leurs interactions avec la forme construite, les usagers des espaces architecturaux et urbains, la perception de l'utilisateur et ses différentes représentations⁴⁵.

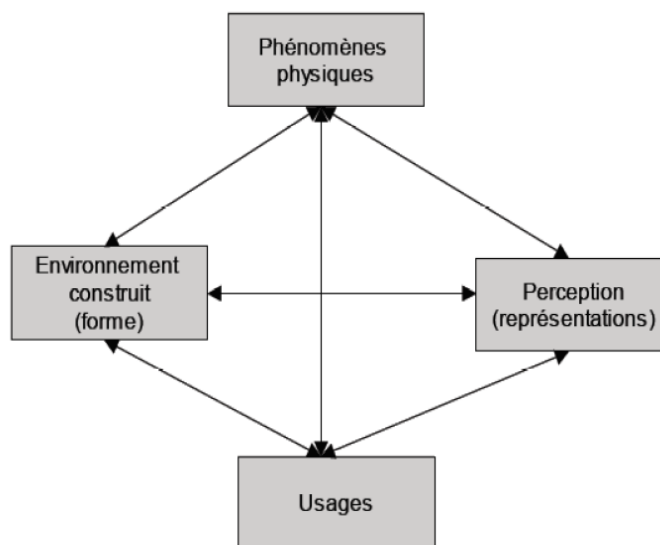


Figure I.3 : Éléments constitutifs des ambiances. (Gérard Hégron, Henri Torgue, 2007)

⁴⁴ - Rouag-Saffidine Dj.; Les ambiances environnementales vers des caractérisations plus tangibles. The third architecture and sustainability conference in Biskra Algeria. BASC 2008.

⁴⁵ - Hégron Gérard, Torgue Henry « Ambiances architecturales et urbaines » *De l'environnement urbain à la ville sensible*. sept2007 in http://www.pirve.fr/wp-content/uploads/2010/10/HegronTorgueAmbiances_PIRVE.pdf

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

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

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

Le projet : l'enjeu est de concevoir un projet urbain ou architectural qui respecte les intentions d'ambiance du concepteur (architecte, urbaniste).

En se basant sur les définitions données par Jean-François Augoyard, nous avons cherché à identifier les éléments de base d'une ambiance. Un ensemble de phénomènes localisés peuvent exister comme ambiance lorsqu'il répond à quatre conditions⁴⁶:

- Les signaux physiques sont repérables et décomposables dans l'espace concret qui les conforme (son, lumière, climat, usagers...) ;
- Ces signaux informés interagissent avec la perception, l'affectivité et l'action des sujets (dans le déroulement du parcours, ou utilisation d'un espace) ainsi qu'avec les représentations sociales et culturelles ;
- Ces phénomènes composent une organisation spatiale construite (construction architectonique et perceptive, mobilier urbain...) ;
- Le complexe : signaux – percepts – représentations, est exprimable ce qui permet d'accéder à la représentation experte et usagère.

Pour élaborer un peu plus précisément cette notion qui devient fédératrice d'un ensemble de travaux, Jean-François Augoyard propose des éléments de définition formelle (voir tableau I.1)⁴⁷

⁴⁶ - Augoyard J.-F. A comme Ambiance(s), « L'espace anthropologique ». Les cahiers de la recherche architecturale et urbaine, n° 20/21, 2007, pp 33-3

⁴⁷ - Augoyard Jean-François. "Éléments pour une théorie des ambiances architecturales et urbaines" 1998, Op. Cit. p. 18.

Les recherches engagées depuis quelques décennies sur les ambiances se sont focalisées sur deux champs séparés⁴⁸:

- L'un se concentrant davantage sur la maîtrise des flux ambiants (lumière, son, chaleur, aéraulique, odeur, ...) s'appuyant sur les sciences de l'ingénieur et la connaissance des formes urbaines et architecturales, la plupart du temps par des études spécialisées mono disciplinaires, par l'étude des phénomènes physiques, des modélisations, des simulations numériques,....
- L'autre explorant l'analyse de l'expérience sensible *in situ* et mobilisant les savoirs sur les usages et les représentations, s'appuyant sur les sciences humaines et sociales, par des enquêtes, des observations des pratiques sociales, le recueil des perceptions et des représentations ...etc

Tableau I.1 : Eléments de définition d'une ambiance, J.F.Augoyard 1998

Un ensemble de phénomènes localisés peut exister comme ambiance lorsqu'il répond à quatre conditions :	
Physique	Les signaux physiques de la situation sont repérables et décomposables
Psycho-sociologie	Ces signaux interagissent avec : <ul style="list-style-type: none"> - La perception et l'action des sujets ; - Les représentations sociales et culturelles.
Architecture	Ces phénomènes composent une organisation spatiale construite (construction architectonique et/ou construction perceptive).
Interdisciplinarité	Le complexe [signaux/percepts/représentation] est exprimable (possibilité d'accéder à la représentation experte et /ou usagère).

Pour cela les travaux portant sur les ambiances, initie dans différents disciplines suivant deux approches :

I.2.2.1 - approche scientifique

L'approche scientifique a souvent abouti à des normes sectorielles et des recommandations quantitatives par rapport à l'environnement sensible.

⁴⁸ - Reiter Sigrid. « Elaboration d'outils méthodologiques et techniques d'aide à la conception d'ambiances urbaines de qualité pour favoriser le developpement durable des villes » Thèse de doctorat ULC Université catholique de Louvain 2007.

L'analyse d'une ambiance dans sa globalité nécessite l'étude des différentes composantes constitutives d'un lieu : ambiance lumineuse, ambiance sonore, ambiance thermique, etc.

I.2.2.2 - approche culturelle

Le contexte socioculturel influence la perception, la réflexion et la communication de tout individu. L'observateur n'est jamais neutre, il est fondamentalement subjectif. Il utilise un certain nombre de filtres pour percevoir et analyser une ambiance (figure I.4).

L'approche culturelle des ambiances urbaines intègre d'une part toute la subjectivité de l'observateur, d'autre part toute celle des acteurs urbains (concepteurs, décideurs, utilisateurs,...) lorsqu'il s'agit de l'interpréter.

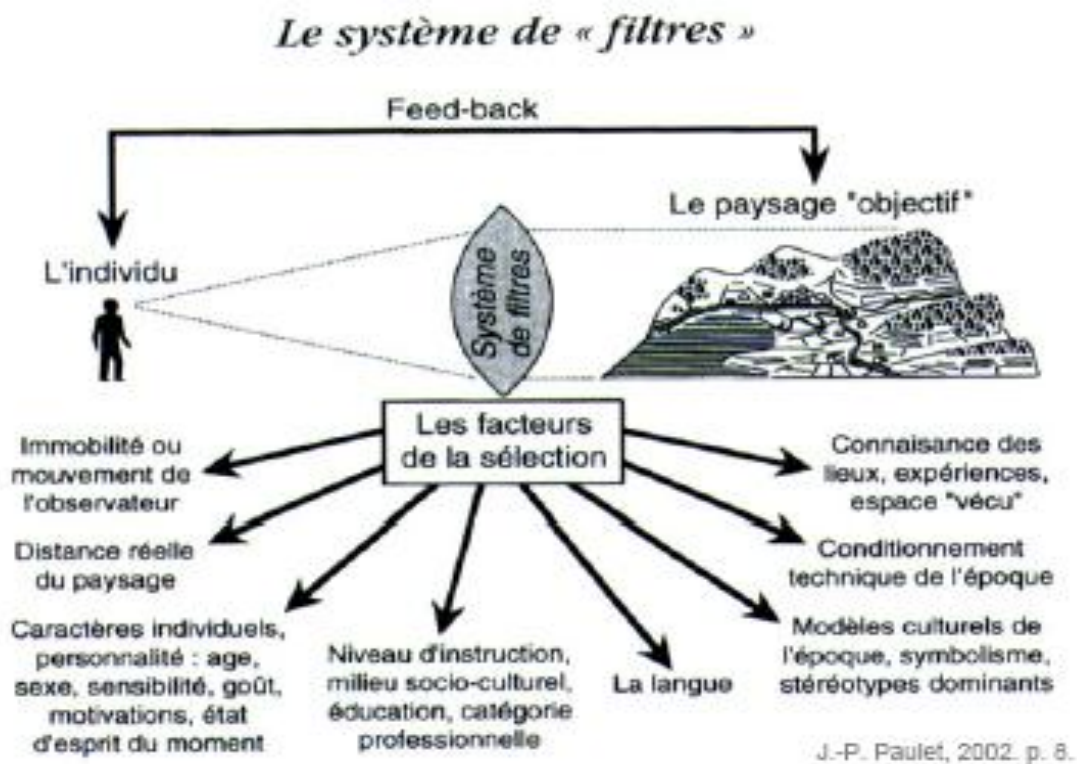


Figure I.4 : Le système de filtre, J.P.PAULET, 2002

L'ambiance a donc un profil caractéristique dans sa « géométrie » particulière, une typologie qui permet de la comparer à d'autres ambiances dans le temps (à différents moments de la journée par exemple), et dans l'espace (des lieux ou une séquence de lieux différents). La notion d'ambiance est celle qui lui s'apparente le mieux de par son association à un cadre construit spécifié⁴⁹.

⁴⁹ - Belakehal A. « Etude des Aspects Qualitatifs de l' Eclairage Naturel dans les Espaces Architecturaux. Cas des milieux Arides à Climat Chaud et Sec ». Thèse de Doctorat en Architecture, Université de Biskra, janvier 2007.

I.2.3 -De la nuisance au confort, puis du confort aux ambiances

À partir d'approches pluridisciplinaires et *in situ*, le Cresson a contribué à montrer la nécessité de passer de la notion de nuisance, à celle de confort puis à celle d'ambiance pour étudier les phénomènes sensibles dans l'espace construit⁵⁰.

Les années 70 ont vu le rôle prépondérant des ingénieurs, des techniciens, des médecins pour travailler à la lutte contre les nuisances. Puis dans les années, disons 85 à 95, il y a eu l'émergence de la notion de confort comme nouveau paradigme.

Cette évolution est en partie le fait des travaux des historiens (travaux sur les modes d'habiter⁵¹, les techniques domestiques, etc.) et des chercheurs en sciences sociales.

Plus récemment, les travaux sur les nouvelles technologies continuent de penser le confort (commande à distance, nouvelles technologies de l'information et de la communication, domotique, etc.). Après avoir commencé par l'environnement sonore, aujourd'hui le champ des phénomènes sensibles étudiés comprend le lumineux, le visuel, l'olfactif et tout ce qui concerne la dimension tactile et proprioceptive⁵².

Aujourd'hui, on peut présenter la notion d'ambiance comme étant un minimum la résultante interdisciplinaire (Figure I.5) de formes construites et physiques, de formes perçues et de formes représentées. On peut en donner une représentation très simplifiée de la façon suivante :

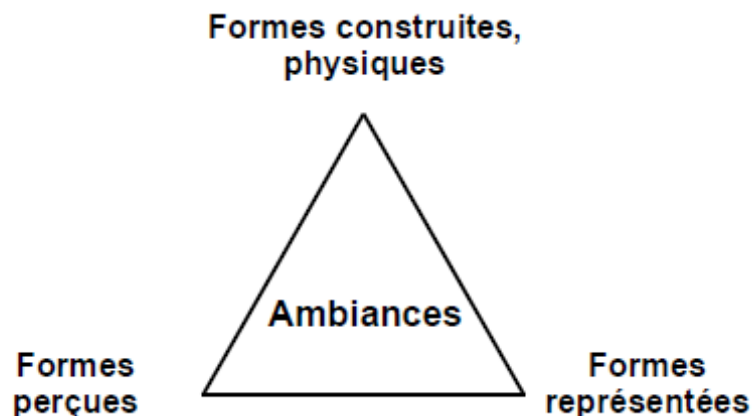


Figure I.5 : Représentation simplifiée de la notion d'ambiances,

⁵⁰ -Augoyard Jean-François. "L'environnement sensible et les ambiances architecturales", 1995, In : L'espace géographique, N° 4, pp. 302-318.

⁵¹ - Goubert Jean-Pierre. *Du luxe au confort*, Paris (1988): Éd. Belin.

⁵² -Balez Suzel *Ambiances olfactives et espace construit*. Thèse de doctorat (École Polytechnique de l'Université de Nantes) (2001).

- Couic Marie-Christine. *La dimension intersensorielle dans la pratique de l'espace urbain*. Thèses de doctorat (École Polytechnique de l'Université de Nantes) (2000)

I.2.4 -Apparition de la dynamique dans les disciplines les plus diverses

L'expérience d'un lieu est un processus qui se produit dans le mouvement. L'utilisateur vit l'expérience de l'architecture pièce par pièce, mais l'expérience du trajet est dynamique⁵³. Elle est d'autant plus dynamique si le bâtiment propose une grande diversité environnementale. En effet, les occupants peuvent se sentir confortable en ajustant leur position⁵⁴. Dans ce sens, les bâtiments traditionnels offrent généralement une grande diversité d'échelles d'adaptation. Le passage entre ses différents types d'environnements peut se faire de façon continue ou contraster, rendant la transition plus ou moins confortable. L'expérience architecturale est un processus dynamique puisqu'elle se déroule dans l'espace et le temps à travers une succession de lieux possédant chacun ses propres conditions environnementales, dans lesquelles l'être humain tente de s'adapter (figure I.6), générant dans le parcours des zones de confort ou d'inconfort.

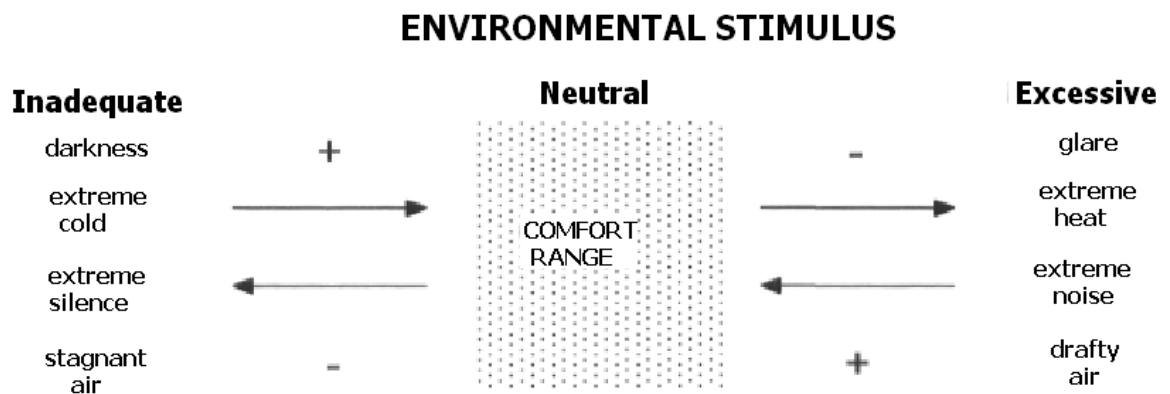


Figure I.6 : Transitions environnementales ; Potvin, 1997 P.6 (d'après Flynn et al, 1992.P110)

Une pensée de la dynamique semble bien être soit déjà présent, soit suffisamment émergent dans les différentes disciplines nécessaires à l'étude des ambiances.

⁵³ - POTVIN, André (1997), Movement in the architecture of the City - A study on environmental diversity, thèse de Doctorat non publiée, Cambridge (UK), University of Cambridge. p.33

⁵⁴ - MERGHANI, Adubakr (2004), dans Koen Steemers et Mary Ann Steane (ed), Environmental diversity in architecture, London, New York, Spon Press, pages 195-213.

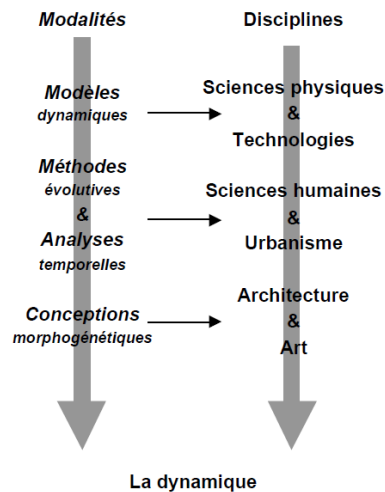


Figure I.7 : La dynamique comme notion transversale aux disciplines et commune aux modalités d'action
Tixier, 2000

1.2.5 La valeur de l'ambiance physique

L'ambiance d'un lieu peut être mesurée en tant qu'une seule entité, si l'on considère que les sensations sont le produit de plusieurs systèmes sensoriels en interaction.

Représenter l'ambiance physique d'un lieu dans l'espace et le temps est une tâche difficile, puisque celle-ci définit une entité regroupant une multitude d'éléments complexes en interaction. Afin d'en cerner toutes ses dimensions, il est primordial de comprendre de quoi il s'agit lorsque l'on parle d'une ambiance physique, qu'est-ce que l'on peut relever dans une ambiance, en d'autres termes qu'est-ce que l'on peut mesurer et représenter.

Selon Augoyard⁵⁵ une ambiance est une globalité perceptive rassemblant des éléments objectifs et représentés comme atmosphère, climat, milieu physique et humain. C'est aussi un dispositif technique lié aux formes construites. Mesurer et représenter l'ambiance physique d'un lieu, c'est donc révéler les perceptions multiples que sa forme physique engendre dans l'espace et dans le temps.

L'ambiance est représentée par un diagramme (voir figure I.8 et figure I.9), avant de la traiter en séquences pour la superposer à la vidéo. Le choix se porte sur un mode de représentation permettant d'associer l'évolution de toutes les données, visuelles, olfactives, acoustiques, et thermiques, en une même forme.

⁵⁵ - Augoyard Jean-François. "Éléments pour une théorie des ambiances architecturales et urbaines"1998 (1998, p.22)

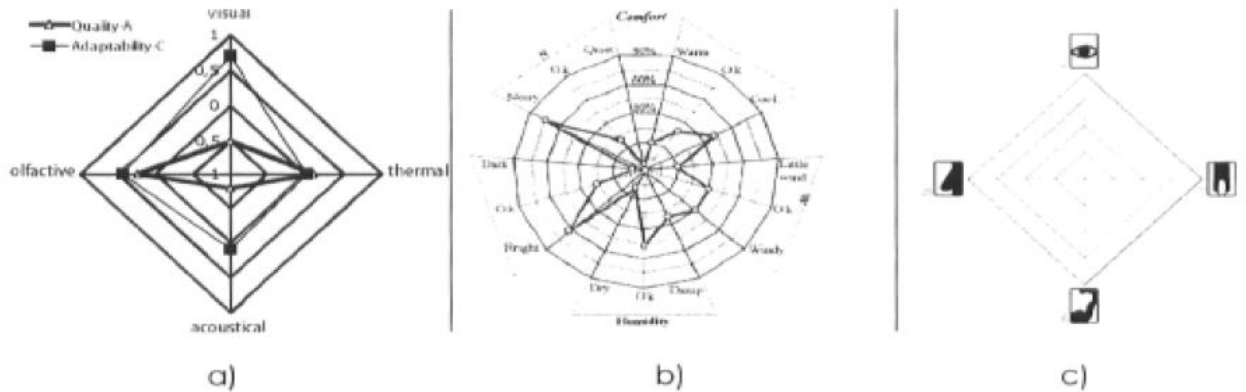


Figure I.8 : a) Rose d'ambiance (Source : GRAP, 2004); b) diagramme en araignée (Source : Chrisomalidou et al. 2002); et c) diagramme proposée pour la technique développée. (Arnauld Bontemps, 2007)⁵⁶

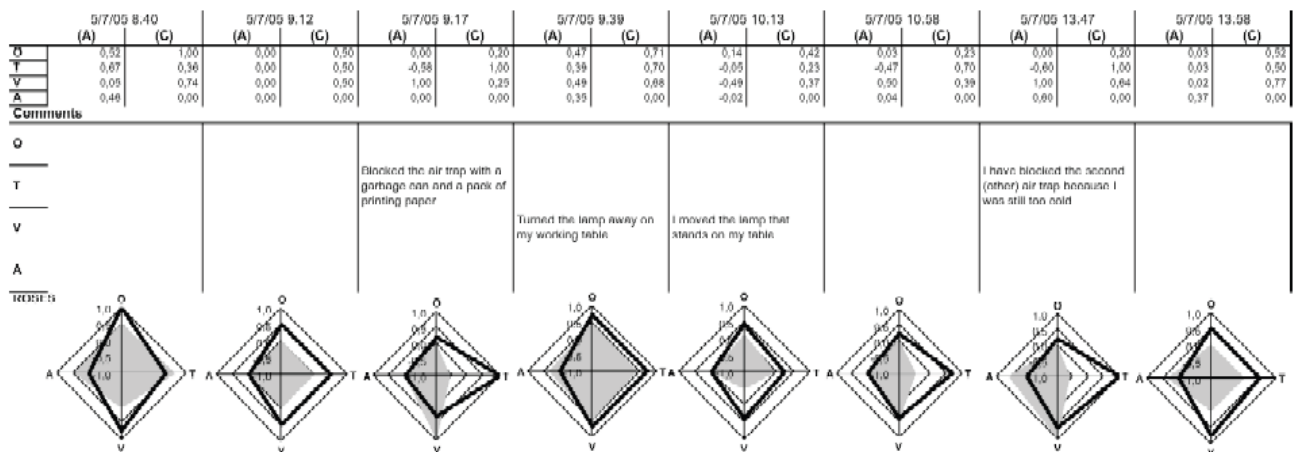


Figure I.9 : Rose des ambiances issues d'une observation durant une journée. Claude Mh Demers et al, 2009⁵⁷

Les roses d'ambiances développées à l'origine pour l'évaluation de l'adaptabilité environnementale⁵⁸, sont réinterprétées dans la représentation des données environnementales. Ce mode de représentation, déjà utilisé dans d'autres recherches

⁵⁶ - Bontemps Arnauld, LA DYNAMIQUE DES AMBIANCES PHYSIQUES, Développement d'une technique de représentation par une approche filmique et sensorielle ; Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval 2007.

⁵⁷ - Demers Claude Mh, Potvin André, Dubois Marie-Claude. *Environmental Satisfaction and Adaptability: The Physical Ambience Rose as a global comfort representation*. PLEA2009 - 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Quebec City, Canada, 22-24 June 2009

⁵⁸ - André Potvin, Deniers Claude, Dubois Marie-Claude, Environmental Adaptability in architecture, Proceeding of closing the loop 2004, Windsor (UK).

(GRAP⁵⁹, 2004 ; Chrisomalidou, et al, 2002⁶⁰ ; Le Corre, 2007), est favorable pour représenter la relation entre chacune des valeurs du diagramme, thermique, olfactif, acoustique et visuel. Ce mode de représentation est utilisé de façon dynamique, pour pouvoir l'associer à la séquence vidéo.

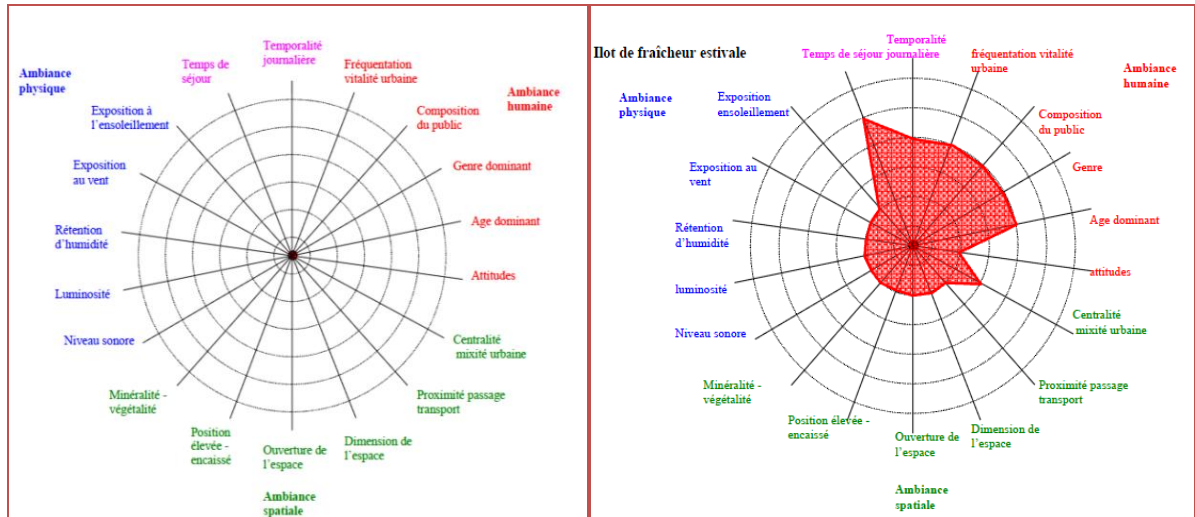


Figure I.10 : Rose de caractérisation d'une ambiance (à gauche), exemple de caractérisation d'une ambiance (à droite). Le Corre, 2007.

La rose est dérivée d'un questionnaire particulier qui, contrairement à la plupart des questionnaires existant en sciences environnementales, ne vise pas à évaluer la nuisance des stimuli environnementale mais bien la qualité de ceux-ci. L'échelle de satisfaction varie donc de "Très agréable", à "Neutre", et à "Très désagréable" en fonction de la qualité, échelle et durée des stimuli thermiques, lumineux, visuels et olfactifs⁶¹. L'échelle varie de (-1 à +1) pour chaque stimuli où de (0 à 100). Le -1 ou bien le 0 correspond à une appréciation de « intolérable » / « très désagréable » à +1 ou bien le 100 correspond à une appréciation de « very pleasant » / « très agréable ». L'environnement neutre est attribué à la valeur 0 ou bien la valeur 50. Cette évaluation reste subjective et qui doit inclure un grand nombre de sujets.

Une rose illustre dans un seul graphique la satisfaction des occupants (voir figure I.11) face aux conditions environnementales (thermique, lumineuse, acoustique et olfactive) en fonction de leurs opportunités d'adaptation.

⁵⁹ - GRAP (Groupe de recherche en ambiances physiques) école d'architecture, université Laval, Québec, Canada. Site internet : www.grap.ulaval.ca

⁶⁰ - Chrisomalidou, Niobe, Tsikaloudaki, Katerina, Theodosiou, Théodore Quality of life and open spaces : a survey of microclimate and comfort in outdoor urban area, PLEA 2002, (Design with the environment), page 345-351.

⁶¹ - Potvin.A , Demmers.C, Dubois.M.C. ENVIRONMENTAL ADAPTABILITY IN ARCHITECTURE. Towards a dynamic multi-sensory approach integrating user behaviour. Proceeding of closing the loop 2004, Windsor, UK, 29 April-2 May 2004 .

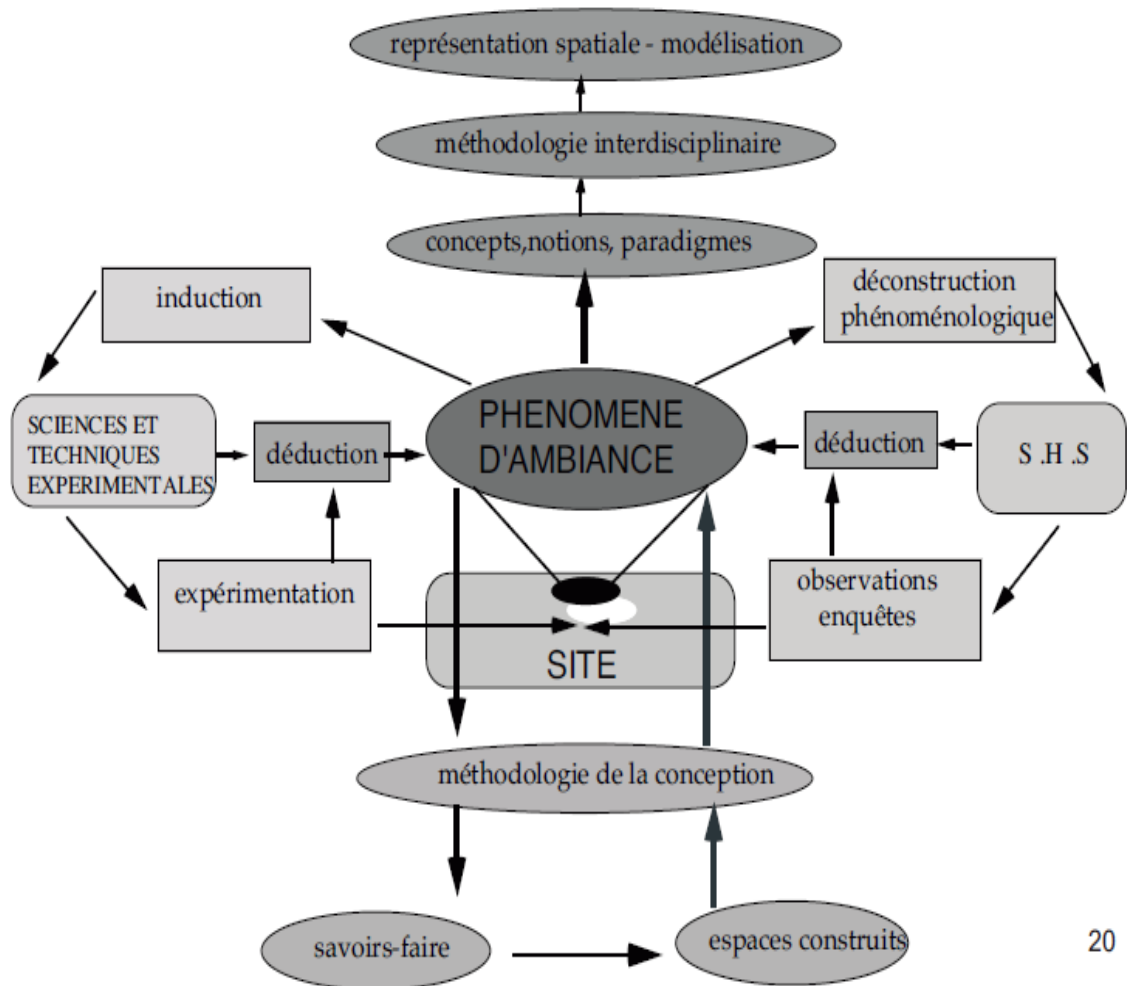


Figure I.11 : Représentation des ambiances visuelles, thermiques, olfactives et acoustiques selon un graphique à quatre axes de stimulation sensorielle. *Illustrations d'Arnaud Bontemps ; www.grap.ulaval.ca.*

Un mode de représentation des données environnementales de l'espace (acoustique, visuel, olfactif et thermique) évoluant en temps réel (Figure I.9). Ces données sont représentées suivant une succession de roses d'ambiances, associées à chacune des séquences du parcours. À chacune de ces roses sont associés des pointes possédant des longueurs différentes, suivant la valeur de l'ambiance.

Le parcours est en relation étroite avec la notion d'ambiance dans la mesure où il suppose de prendre en compte et intégrer la dimension pluri sensorielle des espaces publics traversés. Cette approche graphique reste une tentative de schématiser graphiquement un phénomène complexe dans un but de visualisation globale et rapide d'une représentation d'ambiances, selon Augoyard⁶² (Figure I.12).

⁶² - Augoyard Jean-François. Les Modèles D'intelligibilité Des Ambiances Situées- Les ambiances : concepts fondamentaux et problématiques interdisciplinaires D.R.CNRS CRESSON - Ecole d'Architecture de Grenoble – cours2 *in* <http://www.cresson.archi.fr/ENS/ensDEA7-pdf/AMB2-Augoyard.pdf>



20

Figure I.12 : Schéma de l'analyse d'un phénomène d'ambiance in situ, Augoyard Cresson ; www.cresson.archi.

1.3 Espace public urbain

L'espace public fait aujourd'hui l'objet de sollicitations nombreuses et pressantes. C'est le lieu des innombrables pratiques de la vie urbaine : commerce, détente, rencontre... où l'espace public exprime son rôle social et économique. C'est aussi une vitrine où la ville forge son image et son identité. C'est encore le lieu où s'exercent les fonctionnalités de la ville : déplacements, réseaux techniques... La notion d'« espace public » en tant qu'espaces libres urbains dans lesquels se passe la vie publique semble aujourd'hui partagée par tous. Pourtant, cette terminologie récente en urbanisme est souvent mal définie et recouvre des typologies d'espaces très diverses. Qu'il soit minéral, végétal ou planté, l'espace public est avant tout le squelette de la ville, structure de son territoire et nécessaire à

son développement. Il est également le seuil de nombreuses activités, d'échanges et de conflits⁶³.

L'espace public est d'abord considéré comme un espace de visibilité : "le mot public [...] signifie d'abord que tout ce qui paraît en public peut être vu et entendu de tous, jouit de la plus grande publicité possible. Pour nous l'apparence - ce qui peut être vu et entendu par autrui comme par nous-mêmes - constitue la réalité"⁶⁴. L'espace public est essentiel dans la qualification de l'espace urbain, la composition urbaine fait de celui-ci un composant fondamental de la ville, les rues et les places sont les lieux où s'expose l'architecture et où se déroule la vie quotidienne des citoyens⁶⁵.

Dans le cadre des travaux de la COST-UCE⁶⁶, 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 sol⁶⁷. 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 construites d'édifices à différentes échelles, permettent de déterminer ce volume urbain particulier. Pleins et vides sont ainsi, reliés par des relations réciproques et par une perception commune.

I.3.1 Définition et caractéristiques des espaces publics urbains

Qu'est-ce que l'espace public ?

C'est un espace partagé ; est un espace ouvert que l'ensemble de la collectivité a en partage. Il est accessible à tous, sans aucune discrimination. Espace partagé, lieu de rencontre par excellence, il est le théâtre du libre va et vient des individus.

C'est un espace que s'approprient les individus par leurs activités

Il est souvent considéré comme la partie du domaine public non bâti et affecté à des usages publics. Il s'agit d'un espace dédié à des activités variées de passage, de détente ou de loisir.

⁶³ - Cycle Espaces publics - La ville pour tous Séminaire 2 / Dossier de formation CAUE de Paris, en partenariat avec le CIDEFE http://caue75.archi.fr/fileadmin/user_upload/Formation/Espaces_publics_2009/SE2_Dossier-formation.pdf CAUE. Espaces Publics Enjeux Environnementaux Jeudi 4 Et Vendredi 5 Juin 2009 (www.caue75.com)

⁶⁴ - Arendt Hanna (1961). *La condition de l'homme moderne*, Paris : Éd. Calmann-Levy, p. 89.

⁶⁵ - Saidouni Maouia, *Elément d'introduction à l'urbanisme* « Histoire, Méthodologie, Réglementation » édition CASBAH Alger 2000. PP66-67

⁶⁶ - COST-UCE / *Co-Operation in Science and technology – Urban Civil Engineering*.

⁶⁷ - Dupagne A., Doutrépoint R., Italiano P., Teller J., « *Identification de l'impact d'un éclairage public sur l'amélioration de la convivialité et de la sécurité des espaces publics* », in : COST-UCE International conférence, Living and walking in cities - Going to school(1996), Brescia.

C'est un espace ouvert

L'espace public est un espace ouvert c'est-à-dire où la circulation se fait sans entraves, composé aussi bien d'édifices que d'espaces verts que peuvent être les parcs et les jardins. L'espace public est aussi ouvert au sens où il est libre d'accès, gratuit et fréquentable par tous⁶⁸.

L'espace public est un lieu où se construisent le « vivre ensemble » et l'intérêt général. Il doit permettre, dans toutes ses formes, l'animation, la mixité et l'implication citoyenne ou artistique. Cet espace commun touche tous les citoyens. Chargé en symboles culturels, historiques ou éphémères, il reflète une identité partagée, l'espace public est à la fois un lieu où s'exercent les fonctionnalités de la ville – circulation, déplacements, réseaux techniques– et où se développent les innombrables pratiques de la vie urbaine –commerce, services, détente, loisir, rencontre...



Figure I.13 : Espace public. *Camille DELPEY AMTER/PDM, 2005*

L'espace public doit permettre d'embellir la ville d'aujourd'hui, tout en prévoyant d'accueillir les besoins et les évolutions d'usages de demain. Composante majeure du domaine public de la collectivité, il est par essence le patrimoine commun à tous ses habitants, ou partie de l'espace public (non bâti), qu'il soit sociologique (espace collectif, de voisinage, d'accompagnement, espace libre ou résiduel), ou qu'il soit typologique (avenue, boulevard, rue, trottoir, place, square, parvis, carrefour, esplanade, mail, allée, jardin, parc...), devient révélateur de la fonction de cet espace, des usages qui lui sont affectés et de sa force symbolique dans la ville. Il regroupe plusieurs fonctions comme la circulation, transport, commerce, etc. c'est le cadre pour la mise en scène de la vie urbaine qui est aussi l'espace par lequel respire la ville. Il permet la jonction entre les différents espaces de la

⁶⁸ - *Dictionnaire de l'Urbanisme et de l'Aménagement, Pierre Merlin et Françoise Choay / Publications du CNRS 1 C Delpey - décembre 2005. 110106*

ville. Donc il structure et oriente la ville selon un mode d'organisation. Les espaces publics extérieurs sont des lieux de rencontre et d'échange social entre les habitants, moyen d'équilibre physique et psychologique.

Les espaces publics extérieurs concernés par cette recherche sont les rues, les places et les squares. La qualité de ces dernières présentes un intérêt majeur pour contribuer à la bonne qualité de vie en milieu urbain, dépendamment de l'environnement physique qui les constitue. Dans cette optique, plusieurs recherches démontrent que les paramètres microclimatiques sont de prime importance du point de vue des activités qui ont lieu sur le site et jusqu'à un certain point, déterminent l'usage que l'on en fait (Boussoulim *et al*, 2002⁶⁹; et Nikolopoulou *et al*, 2004⁷⁰). La qualité des espaces publics contribue fortement à l'embellissement de la ville. L'espace public constitue un élément déterminant du paysage urbain en agissant sur les ambiances, les repères, les perspectives, les couleurs... Il permet de rendre la ville plus belle, plus attractive, plus habitable. Il s'agit d'une part de créer un cadre de vie agréable pour les habitants des villes et d'autre part de communiquer et faire connaître les qualités globales de ce cadre de vie au travers des qualités spatiales, esthétiques et environnementale des espaces publics.

1.3.2 Qualité environnementale dans l'espace urbain

1.3.2.1 La qualité, plusieurs enjeux, plusieurs définitions

La qualité de la vie s'inscrit dans la continuité du courant hygiéniste du XIXème siècle dont un aboutissement est la stratégie de la santé pour tout porté. Elle est reprise de façon plus globale, en ce début du XXIème siècle, par la notion de développement durable. Aujourd'hui, la qualité de vie est un vocable qui fait partie du langage commun. Elle est utilisée aussi bien par les associations d'habitants et des conditions de vie que par la sphère politique comme élément fédérateur de communication ou par les institutions internationales comme objectifs d'action.

Le terme de qualité dans les recherches urbaines est souvent associé à d'autres termes (qualité de l'air, qualité de vie, ...etc.). Afin de mieux comprendre la signification de la

⁶⁹ - Boussoulim A, Aimé C. Evaluation of the environment and climatic feeling ; Research near users of urban spaces in Marseille and Toulouse within the framework of SAGACité Project Ist Int. Workshop on Architectural and Urban Ambient Environment, Nantes Febrery.6-8, 2002, 12P.

⁷⁰ - Nikolopoulou M., Lykoudis S., Kikira M., Thermal Comfort Models for Open Urban Spaces. In: CEE, Designing Open Spaces in the Urban Environment: a bioclimatic approach, Centre for Renewable Energy Sources. Grèce; 2004.

qualité de l'environnement nous avons jugé nécessaire de voir quelques significations de la qualité (seules ou associées à d'autres termes).

La qualité désigne tout ce qui contribue au bien de la chose, état caractéristique.

Selon le dictionnaire Larousse : « Qualité de la vie : tout ce qui contribue à créer des conditions de vie plus harmonieuses ; ces conditions elles-mêmes » (Larousse, 1996).

La qualité de vie urbaine signifie pouvoir mener une vie convenable dans un environnement sain, ce qui est très important et nécessaire pour l'épanouissement de l'être humain.

Selon André. B : « les indicateurs objectifs de bien être étaient insuffisants pour prévoir la qualité de vie puisqu'ils ne tiennent pas compte de ce que ressent la population... Les critères de la qualité de vie dépendent de la subjectivité de chaque groupe social qui établit sa propre hiérarchie de critères, selon ses préférences, ses traditions et son mode de vie ». ⁷¹

La qualité environnementale regroupe les qualités d'architecture (esthétique, usages et performance techniques) dans des conditions telles que les impacts sur l'environnement sont minimisés. Ainsi on retrouve les préoccupations de la santé, du confort et plus généralement de la qualité de vie.

La qualité de l'environnement urbain regroupe les qualités d'architecture (esthétique, usages et performance techniques), ainsi que l'aptitude à préserver la cohérence des éléments physiques, chimiques biologiques, culturels et sociaux.

Elle doit satisfaire aux exigences de santé et de qualité de vie des individus. Comme elle doit également assurer les conditions qui permettent la maîtrise des impacts sur l'environnement (minimiser les impacts négatifs, renforcer les impacts positifs).

I.3.2.2 La qualité environnementale, un défi pour un développement urbain durable :

Le développement durable est un processus de développement qui concilie l'écologique, l'économique et le social. Il établit un cercle vertueux entre ces trois sphères tout en respectant les dynamiques des écosystèmes.

Le terme développement durable est souvent associé à celui de l'environnement; point de croiser des deux se manifeste dans un défi d'une meilleure qualité de l'environnement.

Dans le rapport "Brundtland" intitulé "notre avenir à tous" on trouve que le développement durable est défini de la manière suivante: « le développement durable est le développement

⁷¹ - André B, Qualité de la vie. Revue : l'action Nationale, 2001

qui satisfait les besoins de la génération actuelle sans priver les générations futures de la possibilité de satisfaire leurs propres besoins »⁷²

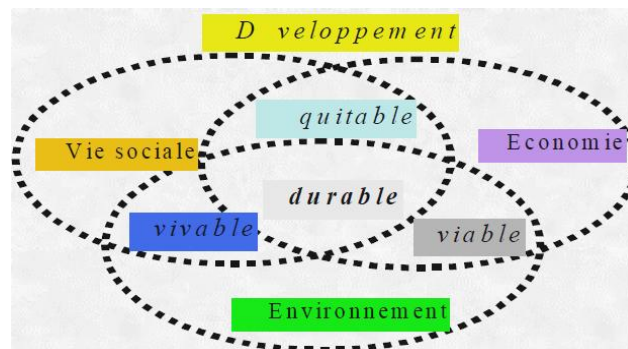


Figure I.14 : Champ du développement durable

L'idée du développement durable se fonde sur une notion d'éco- développement, c'est-à-dire sur un développement qui vise à améliorer le niveau de vie de l'homme, sans compromettre l'environnement naturel, sans en épuiser les ressources.

Le livre vert⁷³ sur l'environnement urbain reconnaît le rôle des villes dans la résolution des problèmes environnementaux. Il préconise une vision holistique de la problématique urbaine et une approche pour la résoudre. L'activité économique, la santé des citoyens et plus particulièrement la qualité de vie est considérée comme des attributs essentiels de la ville.

I.3.2.3 Elaboration d'une définition d'un espace public urbain durable

Créer des ambiances urbaines de qualité assurant le confort des individus est donc un des enjeux fondamentaux du développement durable des villes.⁷⁴

L'ambiance réinvente les modalités d'une écologie urbaine en croisant les différentes notions de l'environnement qu'il s'agisse des conditions de la vie, de sa pérennisation et des modalités comportementales conformes aux capacités physiques de la ville, ou de ses aspects humains, sociaux et culturels. En d'autres termes, elle subsume les problématiques environnementales et les courants qui s'y rattachent comme la haute qualité environnementale et le développement durable⁷⁵

⁷² - Commission mondiale sur l'environnement et le développement, 1988

⁷³ - Livre Vert sur l'environnement urbain. Publié par la Commission des communautés européennes. Bruxelles 1990.

⁷⁴ - Reiter Sigrid. « Elaboration d'outils méthodologiques et techniques d'aide à la conception d'ambiances urbaines de qualité pour favoriser le développement durable des villes » Thèse de doctorat ULC Université catholique de Louvain 2007.

⁷⁵ - Hégron Gérard, Torgue Henry « Ambiances architecturales et urbaines *De l'environnement urbain à la ville sensible* » 2007 *in* site internet : http://www.pirve.fr/wp-content/uploads/2010/10/HegronTorgueAmbiances_PIRVE.pdf page consultée juin 2009.

Un espace public durable d'après Sigrit Reiter (2007) est basé sur trois qualités fondamentales :

La contextualité, la coexistence et la cohérence. La définition d'un espace public durable nécessite donc de ses trois composants de base suivant la figure I.15 : l'environnement naturel, l'environnement construit et l'environnement humain ainsi que leurs relations mutuelles. Cette mise en relation de l'homme et son environnement à travers un espace public est de nature spatio-temporelle d'après Bernard Reichen (2007)⁷⁶.

Il y a donc deux types d'échelles à prendre en considération :

- L'échelle spatiale
- L'échelle temporelle

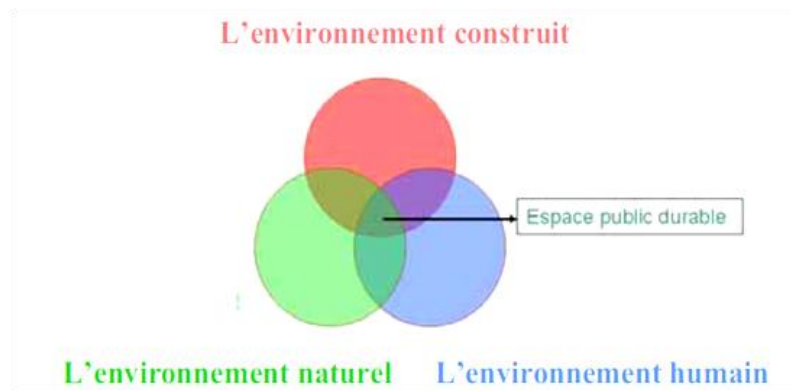


Figure I.15 : Définition d'un espace public durable.

La qualité d'ambiance d'un lieu se traduit pour l'occupant en termes de sensations de confort.⁷⁷

L'espace public urbain apparaît ainsi comme un enjeu primordial de l'équilibre social, environnemental et économique des villes. En cohérence avec les trois piliers du développement durable, ce triple équilibre fonde l'urbanisme durable et soutenable. Par ailleurs, s'il n'existe pas de définition générale de la « ville durable », plusieurs principes dont l'amélioration du cadre de vie urbain est néanmoins concomitamment évoquée par divers auteurs. L'espace public joue un rôle essentiel dans les échanges sociaux et l'épanouissement de ceux-ci. Il a des effets indéniables sur le bien-être, confort et la santé des populations (nuisances sonores, accidents, criminalité, ...), sur la qualité de l'environnement (qualité de l'air, de la nature, ...) ainsi que sur le bilan économique

⁷⁶ - Reichen Bernard. Le grand prix de l'urbanisme. 2005 Edition Parenthèses 2007

⁷⁷ - Reiter Sigrid. « Elaboration d'outils méthodologiques et techniques d'aide à la conception d'ambiances urbaines de qualité pour favoriser le développement durable des villes » Thèse de doctorat ULC Université catholique de Louvain 2007. p.147

(consommation d'énergie, de matériaux de construction, présence de chandals, ...). Concevoir des espaces publics urbains de qualité apparaît donc comme un des fondements de la création d'un urbanisme durable et soutenable⁷⁸.

L'approche des espaces publics urbains est réalisée au travers les thématiques à savoir :

- les **usagers** (perception, utilisation, appropriation, participation),
- le **microclimat** (végétation, eau, matériau)

1.4 Paramètres significatif du climat et milieu construit pour une ambiance

Le climat agit sur l'espace extérieur par l'ensoleillement et la nébulosité, l'humidité et les courants aériens ayant une influence sur la température, sur les ambiances des espaces publics et d'une manière générale sur les conditions de qualité environnementale. C'est à cette échelle que le microclimat se définit. Des changements sensibles d'insolation, de température, d'humidité et de vitesse de l'air peuvent apparaître sur un rayon urbain réduit. Ils varient d'un espace à un autre en fonction de la structure géométrique et des aménagements urbains de cet espace, mais aussi de son animation sociale (vie domestique, activités industrielles et urbaines... etc.). Ce qui crée des ambiances différentes. À ce niveau, trois caractéristiques physiques liées à la forme de l'espace urbain paraissent importantes :

- le type de construction et sa morphologie,
- l'intégration du bâti dans l'environnement urbain (la géométrie et la typologie de la trame urbaine),
- l'influence des espaces verts et des plans d'eau qui constituent l'environnement proche.

Nous abordons dans cette partie du premier chapitre, l'ensemble des paramètres microclimatiques et les paramètres de la configuration de l'espace essentiel dans la variation des ambiances au niveau l'espace public.

⁷⁸ - De Herde A., Vermeir G., Godart M.F., Hanin Y., Boland P., Reiter S., Rychtáriková M., Castiau E., Pons T., Martin N., Meuris C., Moreau A., Xanthoulis S., *Design and Renovation of Urban Public Spaces for Sustainable Cities*. Final Report Phase 1. Brussels : Belgian Science Policy 2009 – 75 p. (Research Programme Science for a Sustainable Development)

Les facteurs qui entrent en jeu dans la formation d'un microclimat urbain (figure I.16) ainsi que les conséquences négatives au niveau local d'une urbanisation et densification des bâtiments (voire annexe) participent à:

- Augmenter l'émission de la chaleur ;
- Diminuer l'albédo moyen des surfaces ;
- Augmenter l'émission des polluants ;
- Augmenter la rugosité du sol ;
- Augmenter le nombre de bâtiments élevé ;
- Augmenter la minéralisation des sols ;
- Réduire la végétation.

Tous ces facteurs influencent la qualité des ambiances architecturale et urbaine et le niveau d'appréciation du confort.

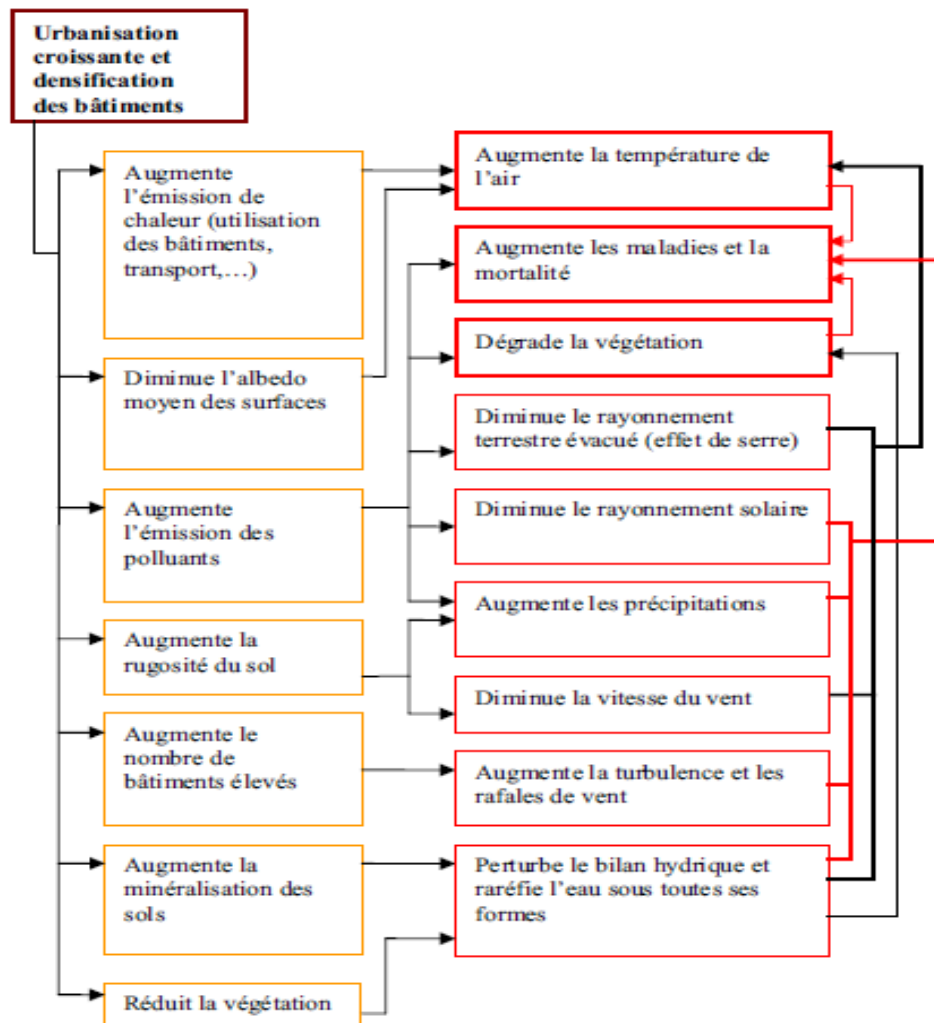


Figure I.16 : Les facteurs qui entrent en jeu dans la formation d'un microclimat urbain.

(Sigrid Reiter, 2007)

I.4.1 Paramètres microclimatiques

Le microclimat définit les conditions climatiques locales d'un site particulier. Il se réfère à des espaces de petites dimensions telles qu'un terrain, une rue ou une place. Il est influencé par le volume des constructions voisines mais aussi par la nature, l'orientation et l'inclinaison des surfaces, la présence d'arbres, etc. Chaque site est donc caractérisé par son microclimat.

Au niveau local, les paramètres climatiques dépendent de:

- la topographie du site et de ses environs,
- la nature du sol sur le site et ses environs (mer, forêt, ville,...),
- l'aménagement du site et de ses environs (bâtiments, arbres, ...).

I.4.1.1 Effet de l'ensoleillement et la température sur le milieu urbain

L'ensoleillement est l'un des facteurs le plus influent sur le phénomène d'îlot de chaleur urbain, surtout en période estivale avec un vent dominant faible. L'impact du rayonnement solaire peut être minimisé par le traitement des surfaces urbaines, et notamment la végétalisation.

Rayonnement solaire en milieu urbain

L'énergie solaire absorbée par le globe terrestre doit être globalement réémise vers l'espace, sinon un déséquilibre de ce bilan énergétique, schématisé à la Figure I.17, correspondrait à une augmentation ou diminution de la température terrestre.

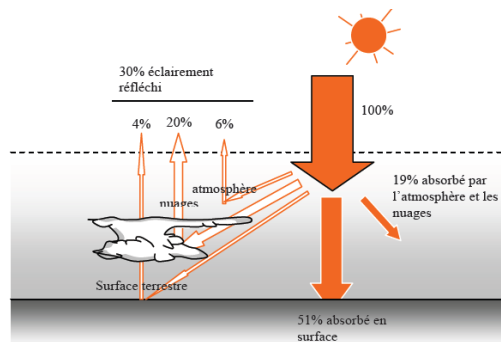


Figure I.17 : Balance énergétique terrestre, d'après (Belarbi 2000)⁷⁹.

⁷⁹ - Belarbi, R. (2000). *Development of strategies for efficient use of solar passive ventilation in urban buildings*, Solvent Report, Université de La Rochelle, LEPTAB, April 2000.

Près de la moitié de l'énergie solaire incidente est absorbée par la surface terrestre et environ un tiers de cette énergie est réfléchi vers l'espace, le reste étant absorbé par l'atmosphère. Ce bilan est cependant variable en fonction des conditions climatiques, et notamment de la couverture nuageuse. En milieu urbain, la concentration en polluant, gazeux et particuliers, dans la sous-couche atmosphérique urbaine peut entraîner une diminution de l'énergie solaire incidente⁸⁰.

L'éclairement perpendiculairement au rayonnement solaire aux limites de l'atmosphère terrestre, dont une constante solaire de l'ordre de **1370 W/m²**, varie au cours de l'année à cause de la variation de la distance terre/soleil. Le rayonnement traverse ensuite la couche atmosphérique dont l'épaisseur est caractérisée par un coefficient appelé masse atmosphérique.

Au niveau du sol, le rayonnement solaire incident se décompose en une partie directe normale aux rayons solaires, et une partie diffusée par le ciel définie par l'éclairement d'une surface horizontale. La partie diffuse de l'ensoleillement peut constituer de 15 % à 100 % du flux total selon que le ciel est clair ou complètement couvert⁸¹.

La projection des rayonnements solaires sur les supports physiques de l'espace urbain définit une partition visuelle et sensible de l'espace. L'ensoleillement intervient donc auprès de deux modalités sensorielles :

- **le sens visuel** qui peut être évoqué comme un paramètre climatique spécifique (intensité de la lumière émise, du niveau de l'éclairement ou de la lumière réfléchi, du niveau de la luminance).

- **la sensibilité thermique**, traduite par la température et l'effet de rayonnement perçu

La température de l'air suit principalement la distribution du rayonnement solaire. L'effet du rayonnement solaire est d'autant plus grand que la vitesse du vent est faible et qu'en l'absence de rayonnement solaire, ce sont les interactions entre le vent et la température qui deviennent essentiels.

La prise en compte de l'ensoleillement dans la conception peut se faire à différentes échelles et avoir plusieurs objectifs :

⁸⁰ - Landsberg, H. E. (1981). *The urban climate*, Academic Press. International geophysics series, ISSN0074-6142, 28, New-York, Edited by J. Van Mieghem, H. L. Hales and W. L. Donn. 275 pp. A Subsidiary of Harcourt Brace Jovanovich, Publishers, ISBN 0-12-435960-4.

⁸¹ - Samaali, M.. *Évaluation d'un modèle de couche limite atmosphérique 3D dans un cas homogène: application à une parcelle agricole de soja*, École Polytechnique Universitaire de Marseille, Université de Provence. 2002.

- l'intégration de l'énergie solaire dans le projet urbain,
- la réduction de l'îlot de chaleur,
- le confort des espaces extérieurs et la jouissance de l'ensoleillement,
- le confort intérieur.

I.4.1.2 Humidité de l'air

L'humidité de l'air intervient peu dans la perception microclimatique, elle est largement associée à la pluie. Les études du confort en espace interne ont fait apparaître que, pour les hautes températures, l'humidité est un paramètre très important. L'humidité relative ne doit pas être inférieure à 20%-30 % serait une limite en dessous de laquelle on augmente sensiblement la fréquence des allergies dues à la mise en circulation des poussières sèches. Elle ne doit pas être supérieure à 80 %. Ceci peut causer un problème de condensation sur les parois avec une possibilité de gêne respiratoire, en condition chaude à l'intérieur et froide à l'extérieur.

I.4.1.3 Qualité du ciel

La nébulosité est un paramètre climatique qui conditionne largement la qualité de l'éclairage naturel. La nébulosité est définie comme étant la proportion de la surface de la couverture nuageuse par rapport à la surface d'une portion de ciel. Autrement dit, elle exprime le degré de couverture du ciel (0 = ciel clair, 8 = ciel couvert)⁸². Cette information à caractère objectif, disponible à la station météo, est d'ordre quantitatif plus que qualitatif.

Ce paramètre climatique intervient dans la caractérisation thermique et visuelle des espaces publics, qui est lié à la condition du ciel. Les influences solaires peuvent être accentuées ou atténuées suivant les conditions générales du ciel. Ces derniers dépendent de la nature du climat local et des facteurs météorologiques, qui déterminent le type de couverture nuageuse et sa fréquence annuelle.

Par ciel clair, le rayonnement solaire prédomine et la distribution des températures suit la distribution de ce dernier. Par ciel couvert, l'éclairage énergétique est déterminé par les multi-réflexions des surfaces.

⁸² - Boussoualim Aïcha, « Contribution à la caractérisation de l'impact et de l'incidence du microclimat sur l'usage et les activités en espace public extérieur. Étude de cas à Blagnac », GRECO, 2001.

I.4.1.4 Effet du vent sur le milieu urbain

Pour l'étude des mouvements d'air, trois échelles peuvent être définies : régionale (de l'ordre de centaine de km), l'échelle méso (dizaine de km), et l'échelle microclimatique (quelques centaines de m). Pour cette dernière échelle, l'écoulement d'air peut être modifié non seulement par la présence de petits obstacles, mais aussi par des phénomènes thermiques liés notamment à l'ensoleillement.

La zone d'écoulement perturbée (Figure I.18), ou couche limite de surface, s'étend sur plusieurs dizaines de mètres au-dessus des bâtiments.

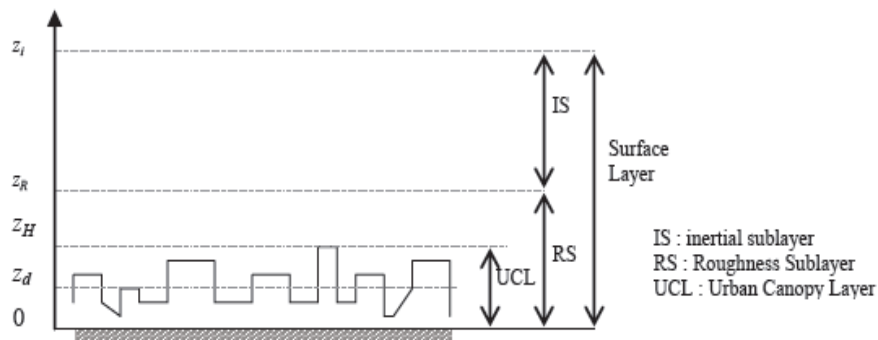


Figure I.18 : Répartition verticale des couches de circulation d'air au-dessus d'une ville.

Rotach, 1999⁸³.

Différents éléments influencent l'écoulement du vent au niveau microclimatique Figure I.19 : La localisation, la rugosité du terrain, la hauteur, la topographie et l'aménagement du site (bâtiments, arbres...)

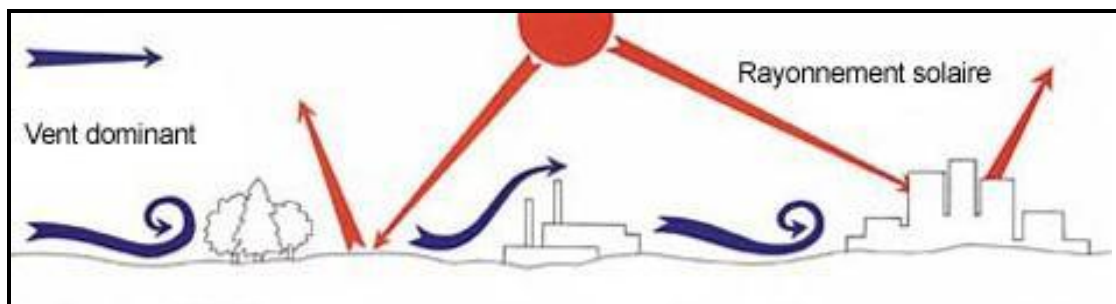


Figure I.19 : Comportement de l'écoulement du vent en rencontre de plusieurs obstacles (vue en coupe) Source : [http:// www.partnairsinaire.org](http://www.partnairsinaire.org).

Le vent est une valeur variable. Il varie d'un point à autre. Il suffit de se déplacer au sein d'un ensemble de grande hauteur pour se rendre compte combien des zones très calmes et à écoulement rapide ou encore fortement tourbillonnaires, peuvent être adjacentes. Le vent

⁸³ - Rotach, M.W. 1999. On the influence of the urban roughness sublayer on turbulence and dispersion. *Atmos. Environ.* vol. 33, n° 24-25. p. 4001-4008.

varie également avec le temps. À l'arrêt, le piéton peut être soumis à un écoulement variable en intensité et direction d'un moment à un autre. Ce caractère instable oblige constamment le piéton à s'adapter à un nouvel état et cause la principale gêne pour la marche et le maintien de l'équilibre, sans oublier le dérangement des cheveux et l'agitation des vêtements. Le niveau de turbulence d'un écoulement caractérise la notion de variabilité du vent dans le temps.

1.4.2 Paramètres de la configuration de l'espace

À l'échelle de l'espace public le rapport de la largeur de l'espace à la hauteur du bâti commande à la fois la capacité de refroidissement nocturne par rayonnement vers le ciel et les apports solaires diurnes qui l'échauffent ou le surchauffent. Cette configuration dépend de la géométrie de l'espace, son orientation, les différents matériaux qui la constitue et son aménagement.

1.4.2.1 Volumétrie du bâti et proportion de l'espace

Les distances entre surfaces en espace public interviennent dans la détermination des facteurs de forme et l'angle solaire sous le ciel est vu à partir d'un point dans l'espace. L'orientation, la disposition verticale, horizontale ou inclinée des surfaces, le rapport hauteur largeur et profondeur du bâti ont des influences certaines sur les effets thermiques et lumineux et les effets dynamiques d'écoulements de l'air.⁸⁴ L'effet thermique le plus connu qui a été étudié surtout dans le cas de la rue canyon est l'effet de piégeage thermique (voir figureI.20)

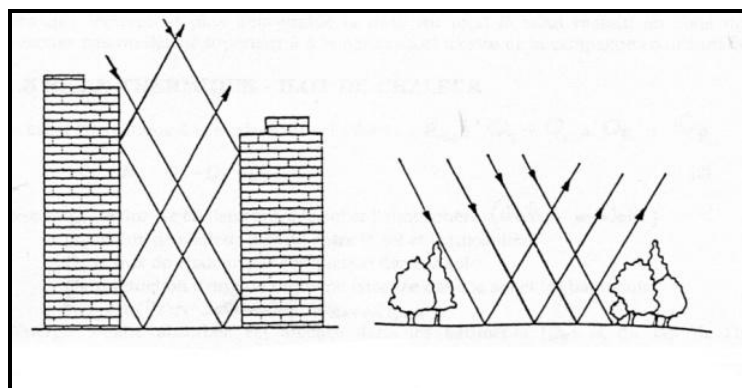


Figure I.20 : Le piégeage et les multiréflexions du rayonnement solaire en fonction de deux types de composantes urbaines au sol (CSTB, 1996).

⁸⁴ - Boussoulim Aïcha, « Contribution à la caractérisation de l'impact et de l'incidence du microclimat sur l'usage et les activités en espace public extérieur. Étude de cas à Blagnac », GRECO, 2001.

Trois composantes du rayonnement solaire, distribuées selon des proportions variées, sont retrouvées :

1. *le rayonnement direct* (R_d): provient directement du disque solaire. Il peut être nul par ciel couvert, et atteindre son maximum par ciel clair,
2. *le rayonnement diffus* (R_D): 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* (R_{refl}): provient de la réflexion sur l'environnement et par l'environnement, des deux rayonnements directs et diffus. Sa valeur dépend donc de ces deux rayonnements mais aussi, des propriétés réfléchives des particules.

D'autres effets thermiques ont été mis en évidence par le groupe ABC ; l'effet de dièdre, caractérisé par l'échauffement des parois au niveau des angles de par un renforcement des échanges par multi-réflexion et réémission thermique et extérieure, caractérisant les éléments en saillie.

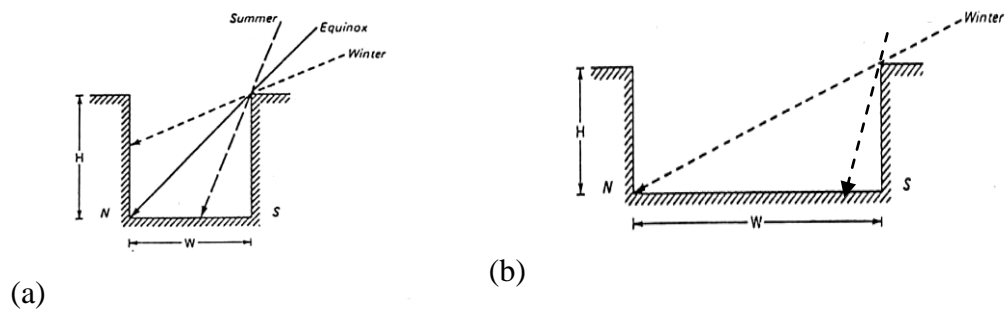


Figure I.21 : Exposition solaire par deux profils de rue différents : (a) été et hiver, (b) hiver (Oke, 1988).

Les dimensions horizontales de l'espace (distances entre bâtis) interagissent avec les possibilités de pénétration du rayonnement dans les creux urbains. L'effet lumineux le plus connu est l'effet de masque et d'ombre portée⁸⁵ (Grouleau D & Marenne C, 1996- Siret D, 1997).

Le rapport entre la hauteur moyenne de l'espace et sa plus petite largeur permet d'évaluer la plus petite distance entre façades susceptibles d'être exposées ou non aux rayonnements solaires. Il permet ainsi de quantifier le rapport entre les surfaces verticales et horizontales pouvant être impliquées dans les échanges énergétiques de l'espace (figure 23 et figure 24).

⁸⁵ - Grouleau D & Marenne C, Environmental specificities of the urban built forms in: Rebuilt-Rebuilding the European City. Integration of renewable Energies in Established Urban Structures, Corfou, 29-30 Jul 1996

- Siret D, Proposition pour une approche déclarative des ambiances dans le projet architectural. Application à l'ensoleillement /Nantes Université de NANTES 323p these en science pour l'ingénieur : Option Architecture 1997

L'ensoleillement direct est réduit en zone urbaine du fait de l'absorption des couches atmosphériques urbaines, absorption liée à la pollution, mais aussi de la morphologie urbaine. En effet, au niveau du sol, en zone piétonne et pour un site urbain dense, l'ensoleillement est souvent réduit par les bâtiments. Du point de vue des usagers à l'extérieur des bâtiments, mais aussi pour les occupants à l'intérieur, cette diminution de lumière naturelle peut devenir un facteur de stress et d'inconfort. Aussi la définition de solutions architecturales respectant un « droit au soleil »⁸⁶ est abordée par les urbanistes.

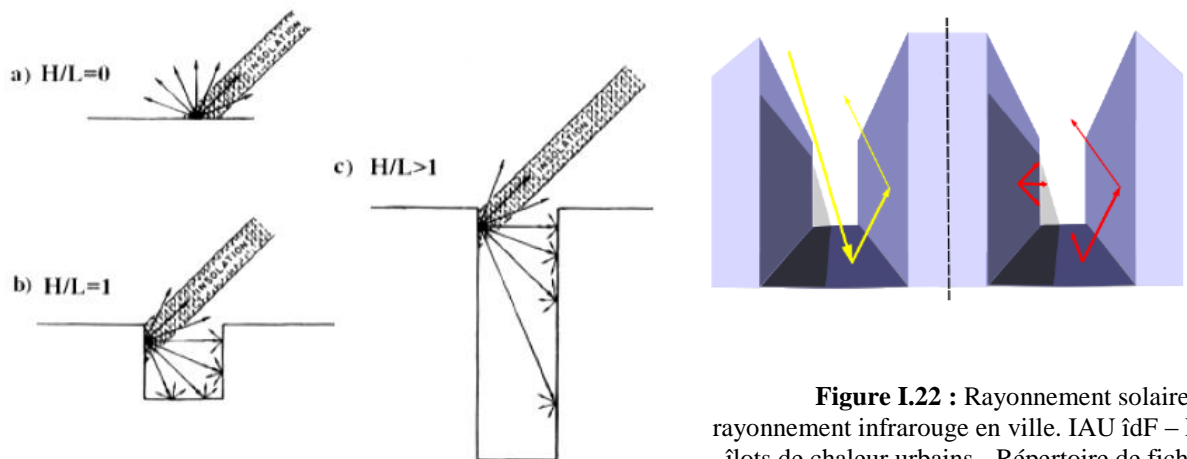


Figure I.22 : Rayonnement solaire et rayonnement infrarouge en ville. IAU îdF – Les îlots de chaleur urbains - Répertoire de fiches connaissance, Novembre 2010

Figure I.23 : Distribution schématique du rayonnement solaire incident dans différents scénarios de H/L (D'après Givoni, 1998, p. 248).

Le ratio H/W peut modifier aussi l'écoulement initial du vent, c'est-à-dire son écoulement avant d'atteindre l'espace. Une fois dans l'espace (lorsque les dimensions urbaines le permettent), les façades environnantes peuvent canaliser le vent, le freiner et entraîner des mouvements tourbillonnaires au pied des constructions. En 2002, Aït-Ameur a mené une étude paramétrique à Toulouse et Blagnac (France) où plusieurs échantillons urbains (rues, places,...etc.) ont été analysés. Les résultats de cette recherche illustrent les différents indicateurs morphologiques (voir tableau synthèse annexe I) responsables des variations microclimatiques près du sol. Des paramètres morphologiques permettant de caractériser les formes urbaines sont récapitulés dans le tableau I.3 et corrélés aux flux étudiés précédemment⁸⁷.

⁸⁶ - Capeluto, I. G., A. Yezioro et E. Shaviv (2003). "Climatic aspects in urban design--a case study." *Building and Environment* 38(6), pp. 827-835.

⁸⁷ - Bozonnet E., Musy M., Allard F., Guarracino G., Chazelas M.. Concevoir et construire en milieu urbain du bâtiment à la ville, du microclimat à la demande énergétique. Manuscrit publié dans « Futur de l'habitat, Jac Fol(Ed.) 2008 pp138-154.

Tableau I.2 : Paramètres morphologiques. E.Bozonnet et al ,2008

Paramètres	Ensoleillement	Vent	Température	Acoustique
Densité	x	X		
Rugosité		x		
Sinuosité		x		
Ratio d'enveloppe	x			
Rapport d'aspect de la rue (H/W)	x	x	X	X
Ratio d'espacement (Distance entre bâtiment /largeur bâtiments)	x			
Orientation	x			
Facteur de vue du ciel(SVF)	x		X	
Poucentage de sol couvert par les Batiments	x			
Rose des orientations (surface des bâtiments pondéré du SVF)	x			

Plusieurs recherches ont mis en évidence que la forme urbaine répondait à des partis pris symboliques, d'esthétique, de stratégie militaire, d'hygiène, de circulation... Le lien entre forme urbaine et climat n'a été analysé que récemment par différents auteurs :

G.Bardet (1943) pour l'ensoleillement⁸⁸, G.S.Golany (1996) rappelle des règles simples de conception⁸⁹, N.V.Baker (1995) propose une caractérisation assimilant la ville à un milieu poreux⁹⁰, D.Groleau (1995) caractérise la morphologie de quartiers par un coefficient de réduction de durée d'ensoleillement⁹¹, L.Adolphe (2001) propose l'utilisation d'un SIG pour l'analyse des caractéristiques morphologiques urbaines en lien avec des phénomènes environnementaux⁹².

Les variations radiatives sont largement proportionnelles aux taux d'ouverture de l'espace au ciel⁹³. La figure I.24 indique que pour des espaces à grandes ouvertures « minéral large », les

⁸⁸ - Bardet, G. 1943. Le facteur soleil en urbanisme. *Technique et Architecture* n° 7-8. p. 200-206.

⁸⁹ - Golany, G.S. 1996. Urban design morphology and thermal performance. *Atmos. Environ.* vol.30, n° 3. p. 455-465.

⁹⁰ - Baker, N.V; Steemers, K; Crowther, D. *et al.* 1995.Can simplified urban parameters indicate environmental performance ? in : Bernard Lachal; Franco Romerio; Jacques Royer & Willi Weber, (ed.).*Energie et climat urbain, actes de la journée du CUEPE, Conches-1 déc.* CUEPE. p. 85-90

⁹¹ - Groleau, D. & Marenne, C. 1995.Environmental specificities of the urban built forms. in :*Rebuilt-rebuilding in the European City-Integration, Corfou, 29-30 juin, 1 juillet 1995.* p. 8

⁹² - Adolphe, L. 2001. A simplified model of urban morphology: application to an analysis of the environmental performance of cities. *Environ. Plann. B.* vol. 28, n° 2. p. 183-200.

⁹³ - Hwang Ruey-Lung, Lin Tzu-Ping, Matzarakis Andreas. Seasonal effects of urban street shading on long-term outdoor thermal comfort. *Building and Environment* 46 (2011) 863-870

apports solaires, évalués par l'écart entre la température de l'air et la température météo⁹⁴, 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.

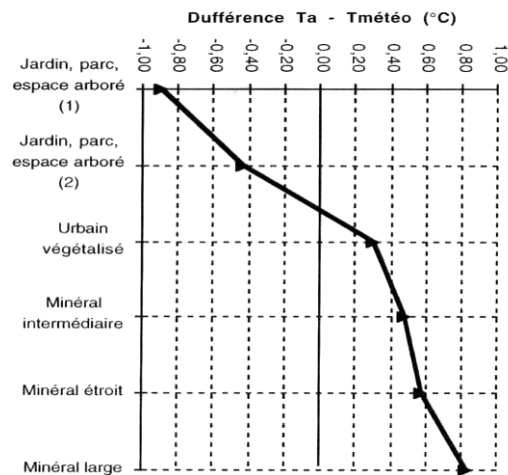


Figure I.24 : Écart entre la température de l'air et la température de météo, pour des espaces urbains caractérisés par différents taux d'ouverture au ciel (Izard, 1997)

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 solaires et thermiques, permettent de définir des surfaces caractérisées par des températures variées.

Ces températures dépendent de :

- 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, la rugosité de la surface et l'émissivité de la surface.

⁹⁴ - 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.

I.4.2.2 Eléments d'aménagement urbain

Deux dispositifs importants dans le changement du facteur climatique qui peuvent influencer le microclimat de l'espace public ce sont le végétal et l'eau.

La Végétation :



Figure I.25 : Le végétal en ville. Source : Garrido (Marion), IAU ÎdF

La présence d'arbres d'alignement et d'un couvert végétal épais de manière générale joue non seulement le rôle mécanique de protection solaire, mais aussi celui de réfrigérant annulant les effets radiatifs du rayonnement solaire pour les usagers de la ville (ABC, 1997). Les arbres agissent contre la stratification des températures en brassant l'air. De plus l'ombrage et l'évaporation issue des arbres et filtre les poussières en suspension, voir Figure 26, Figure 27 et Figure 28.



Figure I.27: L'Alhambra de Grenade.
Jérôme Vinet, 2000

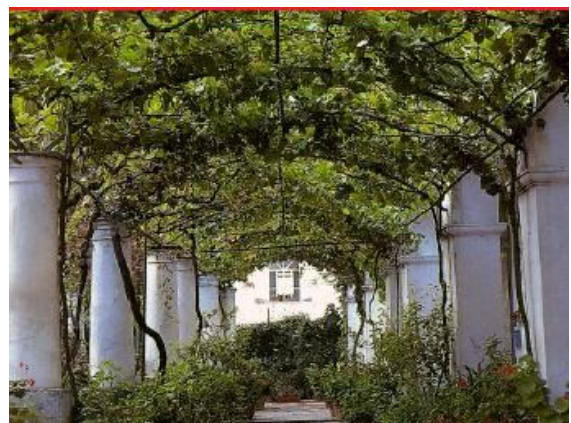


Figure I.26 : Passage couvert de végétation,
A.Liebard ; 2003



Figure I.28 : Présence du végétale. RUROS, 2002

Par ailleurs, elle n'offre qu'une protection partielle : elle filtre la radiation plutôt qu'elle ne l'arrête (figure I.29)

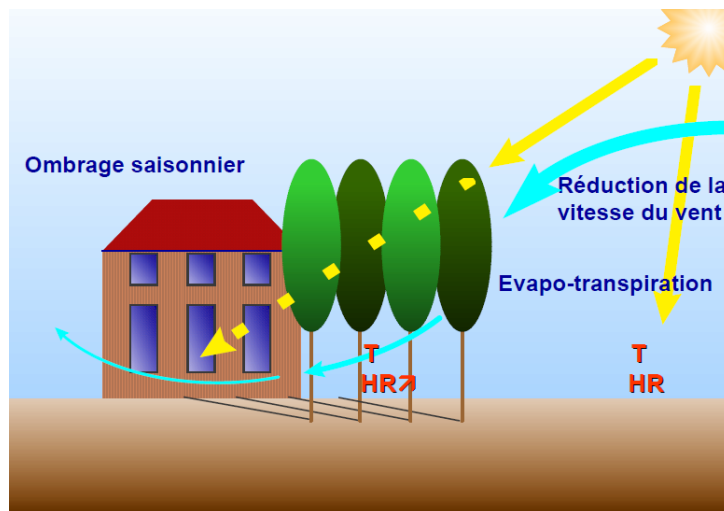


Figure I.29 : la végétation et l'effet de protection saisonnier. Alain Liébard, André De Herde 2006

Les arbres sont également capables de filtrer ou de fixer les poussières, et d'absorber ou de produire la vapeur d'eau (voir chapitre II). La végétation offre aussi une protection contre les vents forts (par des haies, alignements, essences grimpantes), augmente la rugosité de l'écoulement de l'air et réduit les déperditions par convection. Les arbres agissent comme masque au soleil et au vent et la végétation influence la balance énergétique par l'apport de chaleur latente.

Plan d'eau

Les masses d'eau influencent considérablement le climat. À l'échelle du microclimat, les étendues d'eau tempèrent les fluctuations de température, jouent le rôle de tampons thermiques.



Figure I.30 : L'eau en ville Source : Source : Castano (Sylvie), IAU ÎdF

Les plans d'eau réfléchissent une partie du rayonnement et l'eau est évaporée à la surface, en refroidissant la masse d'eau. Dans le même temps, l'eau stocke une grande quantité d'énergie calorifique à cause de sa bonne capacité thermique. Il en résulte que les étendues d'eau ont un effet modérateur sur le climat local et même sur des zones plus grandes quand elles agissent en conjonction avec d'autres facteurs (par exemple le vent).figure I.31



Figure I.31 : Différentes surfaces urbaines (dallages, plans d'eau) influencent le climat,

Les gouttelettes des jets d'eau sont alors transportées sous l'action du vent provoquant ainsi un effet «brumisateur».



Figure I.32 : « Le brumisateur naturel »Source : Lo Giudice, Marquet, 2008

Pour les climats chaud et sec, des techniques de micronisation ont été mises à l'essai pour rafraîchir localement les températures, exemple de l'Exposition universelle de 1992 à

Séville. Des fontaines et des jets d'eau ont été répartis dans tout le site (figure I.33) l'application d'un tel dispositif a permis de réduire la température de l'air de quelque degré.



Figure I.33 : La technologie de l'Exposition 92 à Séville. Sigrid Reiter, 2000.

I.4.2.3 Orientation cardinales de l'espace

L'orientation du bâti par rapport à l'ensoleillement et aux vents détermine en grande partie les variations microclimatiques d'un lieu à l'autre. Ceci s'explique par les effets thermiques tels que les effets de masques et d'ombre portée. 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 $0,5^{\circ}\text{C}$ ⁹⁵.

Dans les régions à climats chauds, 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 I.34).

⁹⁵ - Penicau H. (1978), Microclimats Urbains : étudiés sous l'angle du confort à l'extérieur des bâtiments, Plan Construction R.A.U.C, CSTB de Nantes.

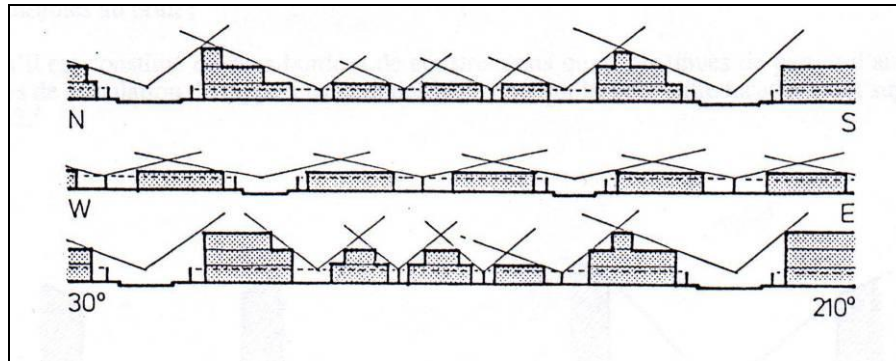


Figure I.34 : Choix des orientations de l'espace pour des besoins de rayonnement solaire
Casabianca et al, 1991.

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, présente 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 I.34).

L'orientation d'un espace public est également essentielle pour déterminer sa disponibilité à l'ensoleillement. Pour les places rectangulaires, l'orientation du grand axe peut jouer un rôle important dans la pénétration des rayons solaires. Si la place est longue et étroite, le soleil d'hiver va la pénétrer plus profondément pour une orientation nord-sud

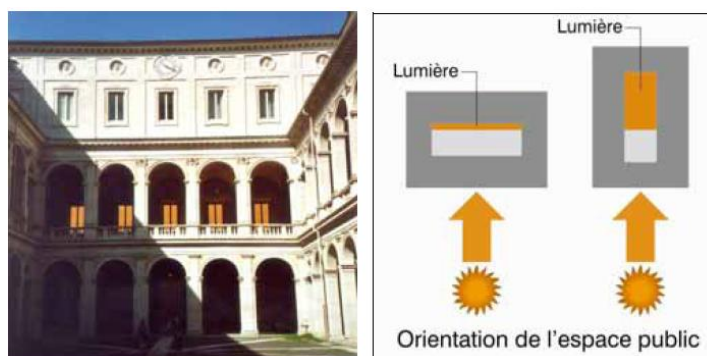


Figure I.35 : Orientation et disponibilité de l'ensoleillement. Sigrid Reiter, 2007

Par ciel couvert, l'orientation de l'espace public n'a pas d'influence sur son ambiance lumineuse. C'est uniquement l'angle de vue du ciel qui définit la possibilité de pénétration du rayonnement solaire diffus et donc la disponibilité sous ciel couvert de la lumière naturelle. Une rue dont la hauteur est faible sera toujours mieux éclairée au niveau du sol

qu'une rue de même largeur mais dont les bâtiments sont plus élevés. Le graphe ci-dessous de la figure 36 montre les différents angles de vue du ciel au niveau du sol pour trois types de morphologies urbaines différentes.



Figure I.36 : Différents angles de vue du ciel au niveau du sol pour trois types de morphologies.

Le facteur de vue du ciel (sky view factor – SVF) de 1 signifie que la vue du ciel est dépourvue de toute obstruction – par exemple depuis un champ isolé. Un SVF de 0 signifie que la vue du ciel est totalement obstruée. Ainsi, dans une ville traditionnelle avec des rues étroites on s'attend à un SVF faible – autour de 0.2 – alors que dans un environnement urbain plus ouvert avec des rues et des espaces larges, le SVF sera plus près de 0.8. Dans une ville donnée, il peut y avoir des valeurs de SVF typiques d'une zone urbaine mais il peut aussi y avoir des variations significatives du SVF à l'intérieur du tissu urbain. Bourbia.F et al (1999 et 2004) a démontré que le SVF et l'orientation de la rue ont une importance dans la création des microclimats plus agréable⁹⁶.

Les facteurs de réflexion des surfaces ont également un impact sur l'ambiance lumineuse d'un lieu. En plus les facteurs de réflexion des matériaux de construction, du sol et du mobilier urbain sont élevés, au plus l'ambiance sera lumineuse. Ainsi, l'eau, en réfléchissant le ciel et l'environnement, intensifie l'impression lumineuse d'un lieu.

I.4.2.4 Type des matériaux et de surfaces

Chaque matériau présente des caractéristiques qui lui sont propres : un albédo, une conduction, une absorption et notamment une inertie thermique. Ces caractéristiques

⁹⁶ - Bourbia F et Awbi H.B, Building cluster and shading in urban canyon for hot dry climate. Part I: air and surface temperature measurements", Renewable Energy 29, 2004, 249-262.

- Bourbia F et Awbi H.B, Building cluster and shading in urban canyon for hot dry climate. Part II: Shading simulation, Renewable Energy 29, 2004, 291-301.

influencent fortement les échanges thermiques et énergétiques entre les surfaces et donc la nature des surfaces joue un rôle considérable dans les modifications des facteurs climatiques. Les propriétés optiques des surfaces naturelles peuvent être différentes selon le domaine spectral considéré. Ainsi l'albédo des sols varie dans d'assez larges proportions en fonction de leur humidité de surface. Les matériaux exposés au rayonnement incident solaire, les surfaces deviennent source d'émission du rayonnement de grandes longueurs d'onde. L'albédo des matériaux est l'un des paramètres physiques influant sur l'apport de chaleur en milieu urbain. Il définit la fraction de flux renvoyée par la surface réceptrice dans toutes directions par réflexion et diffusion. Le tableau illustre les différentes valeurs d'albédo pour chaque matériau urbain d'après Santamouris⁹⁷.

Tableau I.3 : Valeurs d'albédo de différents matériaux urbains (Santamouris, 2001)

Surface	Albedo	Surface	Albedo
Streets		Paints	
Asphalt (fresh 0.05, aged 0.2)	0.05-0.2	White, whitewash	0.50-0.90
Walls		Red, brown, green	0.20-0.35
Concrete	0.10-0.35	Black	0.02-0.15
Brick/Stone	0.20-0.40	Urban areas	
Whitewashed stone	0.80	Range	0.10-0.27
White marble chips	0.55	Average	0.15
Light-coloured brick	0.30-0.50	Other	
Red brick	0.20-0.30	Light-coloured sand	0.40-0.60
Dark brick and slate	0.20	Dry grass	0.30
Limestone	0.30-0.45	Average soil	0.30
Roofs		Dry sand	0.20-0.30
Smooth-surface asphalt (weathered)	0.07	Deciduous plants	0.20-0.30
Asphalt	0.10-0.15	Deciduous forests	0.15-0.20
Tar and gravel	0.08-0.18	Cultivated soil	0.20
Tile	0.10-0.35	Wet sand	0.10-0.20
Slate	0.10	Coniferous forests	0.10-0.15
Thatch	0.15-0.20	Wood (oak)	0.10
Corrugated iron	0.10-0.16	Dark cultivated soils	0.07-0.10
Highly reflective roof after weathering	0.6-0.7	Artificial turf	0.50-0.10
		Grass and leaf mulch	0.05

Pourtant, du fait des inters-réflexions et de la surface développée importante, l'énergie absorbée est plus élevée en milieu urbain qu'en milieu rural. Ce phénomène accentué par les particularités d'inertie thermique des matériaux de construction participe à l'effet d'îlot de chaleur urbain⁹⁸.

L'albédo solaire de surface est un autre paramètre important par rapport aux spécificités microclimatiques urbaines. L'urbanisation s'accompagne généralement d'une diminution de l'albédo de surface, liée notamment à la diminution de surfaces végétalisées, en particulier pour le cas de l'asphalte.

⁹⁷ - Santamouris M, 2001, Energy climate in the urban built environment, James & James, London.pp. 162.

⁹⁸ - Santamouris M., Synnefa A., Karlessi T.. Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. Solar Energy, Volume 85, Issue 12, December 2011, Pages 3085-3102.



Figure I.37 : Photo et thermographies IRT des revêtements testés dans l'étude de [Doulos et al. 2004]⁹⁹



Figure I.38 : Photo revêtement du sol bio



Figure I.39 : Un sol naturel écologique stabilisé BLT 0/6 (avec des graviers libres en surface), <http://www.permeaway.fr/>

I.4.3 Traitement des surfaces urbaines et Influence de la végétation sur le rayonnement solaire

Les arbres et leur feuillage produisent un effet de masque bénéfique en période estivale qui est l'objet du présent travail de recherche, et laissent passer les rayons solaires en hiver dans le cas d'arbres à feuilles caduques. Les feuilles se comportent différemment en fonction de la bande de longueur d'onde considérée, et trois cas sont généralement retenus¹⁰⁰: le visible (0,4 à 0,7 μm), le proche infrarouge (0,7 à 1,3 μm) et l'infrarouge (1,3 à 100 μm) voire figure I.40.

Dans le domaine du visible, les feuilles ont un coefficient de réflexion et de transmission faible, l'absorption étant principalement due à la chlorophylle dans le bleu et le rouge et la

⁹⁹ - Doulos, L; Santamouris, M. & Livada, I. 2004. Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials. *Sol. Energy*. vol. 77, n° 2. p. 231-249.

¹⁰⁰ - Samaali, M. (2002). *Évaluation d'un modèle de couche limite atmosphérique 3D dans un cas homogène: application à une parcelle agricole de soja*, École Polytechnique Universitaire de Marseille, Université de Provence.

réflexion dans le jaune vert. Dans le domaine du proche infrarouge par contre l'absorption est faible, de l'ordre de 10 %, et le flux solaire est transmis et réfléchi, chaque part représentant de l'ordre de 40 % du flux incident. Dans le domaine du moyen infrarouge, l'absorption des feuilles est similaire au cas du rayonnement visible, avec des variations dues à la teneur en eau.

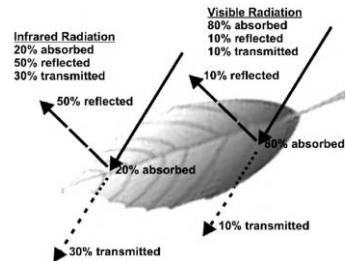


Figure I.40 : Absorption, transmission et réflexion de feuille. Mohd.F. Shahidan et al ,2010

Cependant, L'influence du feuillage sur le rayonnement solaire incident ne dépend pas que des caractéristiques individuelles des feuilles, mais aussi de l'implantation et de l'orientation du feuillage (voir chapitre III). La distribution des feuilles est aussi un facteur important, car elle détermine leur orientation moyenne par rapport au rayonnement solaire, et donc le flux solaire total incident sur le feuillage.

1.5 Conclusion :

Le climat a toujours été considéré comme un des éléments majeurs de la dynamique et de l'ambiance d'une ville. Dans les villes à climat aride et semi aride, l'objectif est toujours d'éviter les rayons solaires directs et de rechercher l'ombre et la fraîcheur. Cependant, dans les tissus urbains récents, les espaces extérieurs urbains sont généralement très ouverts assaillis de toutes parts et à toute heure par un soleil chaud et ardent.

Concernant les conditions climatiques, le fait d'être à l'ombre ou au soleil, sous un ciel clair ou dégagé, dans un lieu sec ou humide, venté ou abrité influence directement la qualité d'ambiance, de confort et de bien être de l'individu en espace extérieur. Nous avons cherché à extraire l'ensemble des paramètres climatiques qui risquent d'influencer le bilan énergétique et l'ambiance (thermique, visuel, mécanique...) chez l'individu en milieu extérieur.

L'étude a retenu que quelques paramètres jugés les plus significatifs, dans la création de variations microclimatiques entre différents espaces urbains.

- **L'enseulement** qui intervient auprès de deux sens de la perception, le sens visuel et le sens tactile. Au niveau de la vision, l'enseulement se traduit par l'intensité de la lumière émise, le niveau de l'éclairage ou de la lumière réfléchi, le niveau de la luminance. Le rayonnement est perçu indépendamment de la température de l'air.
- **La température** constitue un élément de confort thermique de l'utilisateur de l'espace et conditionne en partie ses attitudes comportementales et vestimentaires.
- **L'humidité de l'air** est un paramètre qui intervient d'une façon directe dans la perception de la température ambiante.
- **Le vent** est une composante essentielle du climat. Il est fréquemment associé aux autres paramètres, tels que la pluie et la température de l'air, qu'il fait fluctuer par son caractère instable et turbulent. Son incidence sur l'attitude physique des piétons est également à mentionner.
- **La nébulosité** : la qualité de l'éclairage naturel est largement conditionnée par cette dernière. La lumière est dépendante de la qualité nuageuse du ciel, entre ciel dégagé et ciel couvert. Cette information à caractère objectif est disponible à la station météo. Par ciel clair, le rayonnement solaire prédomine et la distribution des températures suit la distribution de ce dernier. Par ciel couvert, l'éclairage énergétique est déterminé par les multi-réflexions des surfaces.

Pour ce travail, l'analyse a retenu quelques paramètres qui sont simples mais, à notre avis, pertinents par rapport à la variation climatique au niveau de l'espace public. Qui peuvent être récapitulés ici brièvement :

- les proportions de l'espace que nous pouvons résumer dans des indicateurs tels que le rapport hauteur / largeur ou profondeur du bâti. Les distances entre surfaces en espace public interviennent dans la détermination des facteurs de forme et l'angle solide sous lequel le ciel est vu à partir d'un point dans l'espace.
- les orientations cardinales de l'espace : l'orientation, la disposition verticale, horizontale ou inclinée des surfaces, ont des influences certaines sur les effets thermiques et lumineux et les effets dynamiques d'écoulements de l'air.
- la disposition et le type de la végétation dans l'espace. Une couverture végétale exerce une action considérable sur le climat par le fait de sa rugosité, sa capacité à stocker ou à restituer l'eau et par son pouvoir d'absorption ou de réflexion de la radiation solaire.

- la nature des matériaux aux façades et au sol : chaque matériau présente des caractéristiques qui lui sont propres : un albédo, une conduction, une absorption et notamment une inertie thermique. Ces caractéristiques influencent fortement les échanges thermiques et énergétiques entre les surfaces et donc la nature des surfaces joue un rôle considérable dans la modification des facteurs climatiques.

Nous avons constaté que les caractéristiques architecturales et urbaines de l'environnement construit sont déterminantes dans la création de variations microclimatiques d'un espace à un autre ou au sein du même espace d'un moment à un autre.

L'étude a identifié deux approches :

- ✓ L'approche physique de la climatologie urbaine qui rend compte de l'interaction entre les facteurs climatiques et les caractéristiques architecturales et urbaines de l'espace.
- ✓ L'approche physiologique qui rend compte de l'interaction des caractéristiques psychologiques et sensorielles de l'être humain avec les facteurs physiques du climat.

La question de l'influence des conditions microclimatiques sur les usages et les activités en espace public extérieur reste un domaine peu exploré. C'est à cette question que nous nous intéressons plus précisément dans le prochain chapitre.

Le deuxième chapitre développera les différentes méthodes utilisées pour étudier la relation entre l'homme et son environnement physique ; plus précisément l'environnement climatique. Évaluer une ambiance à l'extérieur suivant les réponses physiologiques sera l'objet du deuxième chapitre .

Chapitre II



METHODE POUR EVALUATION D'UNE AMBIANCE A L'EXTERIEUR

II. METHODE POUR EVALUATION D'UNE AMBIANCE A L'EXTERIEUR

« ... aucun corps n'a jamais senti et seulement senti l'odeur unique d'une rose. (...) Le corps sent une rose et mille odeurs alentour en même temps qu'il touche de la laine, voit un paysage multiple et frémit sous les vagues du son, en même temps qu'il refuse tout ce bariolage sensible pour imaginer à son aise, se recueillir abstraitement ou tomber en extase, travailler activement ou interpréter de dix manières son état sans cesser de l'éprouver. »¹ (Serres 1985)

II.1 Introduction

« Les climats, les saisons, les sons, les couleurs, l'obscurité, la lumière, les éléments, les aliments, le bruit, le silence, le mouvement, le repos, tout agit sur notre mécanique, et sur notre âme. » Jean-Jacques Rousseau.

Le confort est une sensation provenant d'une perception globale de notre environnement. L'ambiance ressentie en découvrant un espace provoque généralement chez l'individu une réaction immédiate pouvant aller de l'attraction à la répulsion. Cette impression générale provient d'une synthèse d'éléments objectifs et subjectifs.

Les personnes ne recherchent pas les emplacements qui procurent l'équilibre physiologique optimal mais elles fuient les situations ressenties comme inconfortables. De plus, lorsqu'on atteint certaines conditions de climat extrêmes (canicules,...), le microclimat devient l'élément primordial pour l'utilisation d'un espace².

La majorité des études réalisées sur le confort portent surtout sur les conditions intérieures. Il est toutefois évident qu'on ne peut pas aborder de manière identique le confort à l'intérieur et à l'extérieur. Tout d'abord, les deux paramètres climatiques principaux à l'extérieur sont le vent et le rayonnement solaire direct (voir chapitre I), à l'extérieur, les surfaces (ombragées, ensoleillées, voutes célestes, ...) offrent des températures variées.

Ce chapitre constitue une investigation spécifique sur la méthode pour évaluation d'une ambiance à l'extérieur et les réponses physiologiques. La globalité de la sensation de confort est un élément primordial. Il y a lieu de tenir compte de l'ensemble des critères quantitatifs et qualitatifs du confort extérieur ainsi que leurs interactions pour assurer la situation la plus profitable pour les utilisateurs de l'espace.

¹ - Serres Michel. les cinq sens, Grasset, Paris, 1985.

² - Nikolopoulou M., Steemers K., Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. In Proceedings of PLEA 2000. Cambridge, 2000.

II.2 Le confort du piéton :

II.2.1 Le confort du piéton :

Etudier les ambiances urbaines a notamment pour but de répondre aux exigences de confort des piétons à l'extérieur. Le mode d'utilisation d'un espace public dépend en partie des propriétés physiques microclimatiques qui peuvent accroître, limiter, modifier ou diriger son usage. Une expérience spécialement intéressante est celle que Nikolopoulou a réalisée sur 1431 personnes. Elle porte sur la question de savoir si les conditions de confort thermique affectent l'utilisation d'un espace par ses usagers. Cette étude réalisée sur des places publiques en Angleterre prouve que l'utilisation des espaces urbains varie en fonction des conditions climatiques^{3&4}. Cette étude a démontré que les conditions de confort affectent l'utilisation de l'espace extérieur urbain par les individus. Le nombre d'utilisateurs de l'espace public dépend des conditions microclimatiques.

La qualité d'ambiance d'un lieu se traduit pour l'occupant en termes de sensations de confort. D'autre part, les personnes situées à l'extérieur portent généralement des habits différents en fonction de la saison, adaptés aux conditions climatiques du moment. D'autres éléments, tels que le type d'activité effectuée, peuvent aussi marquer une différence physiologique importante du point de vue du confort.

Créer des ambiances urbaines de qualité assurant le confort des individus est donc un des enjeux fondamentaux du développement durable des villes.⁵

À partir d'interviews de piétons à l'extérieur, différentes études ont montré qu'à l'extérieur les individus acceptent des conditions climatiques nettement plus éloignées de l'équilibre qu'à l'intérieur⁶ et ⁷. Les personnes acceptent globalement les conditions climatiques extérieures auxquelles elles sont acclimatées et adaptent donc leurs exigences de confort en fonction de la saison et des moyennes climatiques habituelles de leur lieu de résidence.

Nous abordons la problématique du confort à l'extérieur par son aspect qualitatif, ensuite, les aspects quantitatifs du confort extérieur. L'étude analyse successivement les critères

³ - Nikolopoulou M., Baker N., Steemers K., Thermal comfort in outdoor urban spaces. In Proceedings PLEA 1998: Environmentally Friendly Cities. James&James. 1998.

⁴ - Nikolopoulou M., Baker N., Steemers K., Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter. Solar Energy 70 (3): 227-235. 2001.

⁵ - Reiter Sigrid. Elaboration d'outils méthodologiques et techniques d'aide à la conception d'ambiances urbaines de qualité pour favoriser le développement durable des villes. Thèse de doctorat. Faculté des Sciences Appliquées Département AUCE Architecture et Climat 2007

⁶ - Nikolopoulou M., Baker N., Steemers K., Thermal comfort in outdoor urban spaces. In Proceedings PLEA 1998: Environmentally Friendly Cities. James&James. 1998.

⁷ - Hoppe Peter, Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort. Energy and Buildings 34, 2002.

physiologiques du confort thermique, du confort par rapport au vent, du confort respiratoire, du confort acoustique et du confort visuel.

II.2.2 L'adaptation :

II.2.2.1 Processus d'adaptation

La définition de la qualité des espaces publics d'après Sigrid Reiter, du point de vue de la perception et du comportement des citoyens part de l'hypothèse que la qualité des espaces publics ne peut jamais induire les comportements espérés par un lien direct de cause à effet mais qu'en revanche elle peut favoriser ou limiter certains comportements et certains types d'usage et ainsi aider les citoyens à s'approprier l'espace public urbain, grâce à la prise en compte des paramètres humains de perception et de participation.

La sensation de confort est l'expression du bien être d'un individu en rapport avec son environnement. L'espace perçu est toujours une réduction de l'espace réel.

Pour un même environnement urbain, le confort peut varier selon les personnes en fonction d'une combinaison de facteurs physiques, physiologiques, psychologiques, sociologiques et culturels.⁸

Dans le contexte du confort thermique, le bilan thermique est une des composantes qui influence la sensation de confort thermique extérieur⁹ et ¹⁰. L'adaptation psychologique semble être un élément tout aussi essentiel¹¹. Les critères influençant l'adaptabilité psychologique des personnes doivent être intégrés dans toute méthode d'évaluation du confort thermique à l'extérieur.

L'adaptation thermique humaine se fait à l'aide de trois processus distincts d'après Baker, De Dear¹² et al et Nikolopoulou et al¹³ :

❖ L'adaptation comportementale (ou physique)

⁸ - Hégron G., CERMA, Proceedings of the First International Workshop on Architectural and Urban Ambient Environment, Nantes, 2002.

⁹ - Nikolopoulou M., Baker N., Steemers K., Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter. Solar Energy 70 (3): 227-235. 2001.

¹⁰ - Höpfe Peter, Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort. Energy and Buildings 34, 2002.

¹¹ - Nikolopoulou M., Steemers K., Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. In Proceedings of PLEA 2000. Cambridge, 2000.

¹² - Baker Nick, We are all outdoor animals. In Koen Steemers and Simos Yannas, Architecture City Environment, Proceedings of PLEA 2000. London: James and James. 2000. ,

- DE DEAR Richard, BRAGER Gail, COOPER Donna, Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference, Final Report. ASHRAE RP- 884. 1997.

¹³ - Nikolopoulou M., Baker N., Steemers K., Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter. Solar Energy 70 (3): 227-235. 2001.

- ❖ L'adaptation physiologique
- ❖ L'adaptation psychologique.

- 1- **L'adaptation comportementale (physique)** : comprend toutes les modifications qu'une personne peut réaliser consciemment ou inconsciemment pour modifier son équilibre thermique corporel. Cependant, on distingue deux modes d'adaptation physique : réactif et interactif. Le premier concerne l'ajustement par le changement d'habillement ou de position dans l'espace, quant au second, il concerne l'ajustement par le changement de l'environnement, par exemple, ouvrir une fenêtre, activer un ventilateur ou ouvrir un parasol en milieu urbain.

- 2- **L'adaptation physiologique** : est une réponse physiologique du corps qui tend à diminuer le stress lié à une exposition inconfortable. Dans le contexte de l'environnement thermique, il s'agit d'acclimatation physiologique.

- 3- **L'adaptation psychologique** : est une modification de la perception d'une information sensorielle. Ce type d'adaptation est souvent relié à la notion d'« habitude » en psychophysique qui correspond à la diminution de l'intensité de la sensation liée à l'exposition répétée au même stress environnemental. L'adaptation psychologique dépend de tous les aspects subjectifs et contextuels de notre perception. Elle est difficile à quantifier mais nous essayerons dans ce chapitre de définir les critères qualitatifs.

II.2.2.2 La transition physique comme mode d'adaptation

L'expérience d'un lieu se produit dans la dynamique, en particulier à travers le mouvement. En milieu urbain, l'usager vit cette expérience constamment d'un lieu à l'autre (séquence), mais également dynamiquement à travers la transition physique (mouvement). Cette dernière permet à l'usager d'améliorer les conditions de son confort en s'ajustant à de nouveaux environnements plus appropriés offerts par la structure physique de la ville. Cette dynamique est plus importante lorsque la ville offre une grande diversité environnementale. La transition environnementale s'accomplit lorsque ces facteurs varient à travers le temps et l'espace. Cette variation peut impliquer des sensations agréables ou inconfortables. Elle peut également être subliminale impliquant une sensation de neutralité et de continuité dans l'espace. Le tableau II.1 montre les différentes combinaisons entre les conditions du rayonnement solaire et d'exposition au vent.

Tableau II.1 : Combinaisons entre les conditions du rayonnement solaire et d'exposition au vent (d'après Potvin, 1997)

		Rayonnement solaire		
		Faible (0)	Moyen (1)	Fort (2)
Exposition au vent	Faible (0)	(00)	(01)	(02)
	Moyen (1)	(10)	(11)	(12)
	Fort (2)	(20)	(21)	(22)

Ces neuf combinaisons d'après A. Potvin peuvent être jumelées pour créer 36 possibilités de transition environnementale. Par exemple, (01-21) signifie une transition d'un espace avec un vent faible et un rayonnement solaire moyen vers un espace avec un vent fort et un rayonnement solaire moyen. L'une des transitions les plus difficiles est (02-20). Elle exprime le passage d'un espace avec un vent faible et un rayonnement solaire important vers un espace avec un vent fort et un rayonnement solaire faible.

Tableau II.2 : Différentiels de température équivalente quand le sujet se déplace de A vers B en fonction des transitions environnementales (d'après Potvin, 1997).

		B								
		(00)	(01)	(02)	(10)	(11)	(12)	(20)	(21)	(22)
A	(00)	0.0	2.5	7.5	-4.5	-3.5	-1.5	-5.5	-5.0	-3.0
	(01)			5.0	-7.0	-6.0	-4.0	-8.0	-7.5	-5.5
	(02)				-12.0	-11.0	-9.0	-13.0	-12.5	-10.5
	(10)									
	(11)					1.0	3.0	-1.0	-0.5	1.5
	(12)						2.0	-2.0	-1.5	0.5
	(20)								-4.0	-3.5
	(21)									-1.5
	(22)									0.5
										-3.0
										0.0

Les résultats des calculs sont illustrés au tableau II.2 Ce dernier, montre les différentiels de température équivalente en fonction des 36 transitions environnementales. Ces valeurs indiquent le passage d'un espace A vers B. Potvin (1997) propose également un graphique dans lequel 3 niveaux d'adaptation ont été exposés : subliminale, consciente et difficile¹⁴. Le graphique regroupe les différentiels de température équivalente (C'est une température

¹⁴ - Potvin, A . *Movement in the architecture of the city: a study in environmental diversity*, Unpublished PhD Thesis, 1997 University of Cambridge, Cambridge.

« indicative » d'une enceinte équivalente qui détermine la même somme des flux de chaleur par convection et par rayonnement que l'ambiance réelle en fonction des patterns de transition environnementale¹⁵. (Figure II.1).

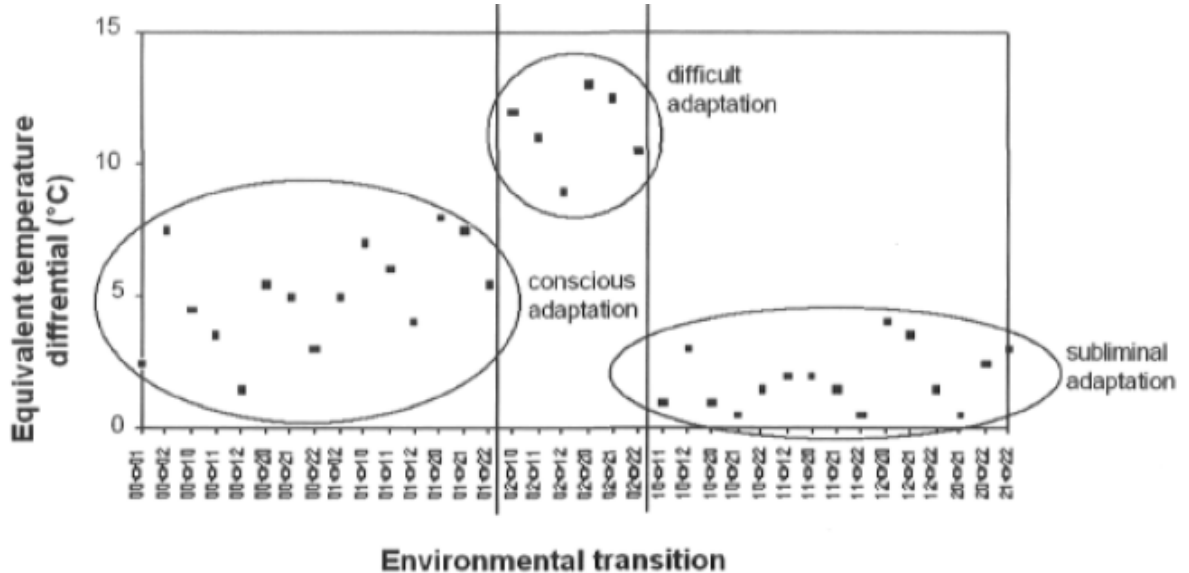


Figure II.1: Graphique des différentiels de température équivalente en fonction des patterns de transition environnementale (d'après Potvin, 1997, p. 98).

Le confort thermique est l'état satisfaction vis-à-vis de l'environnement thermique établi par échange thermique entre le corps et son environnement (Steemers *et al*, 2004)¹⁶. Dans ce contexte, plusieurs études révèlent que le confort thermique est influencé conjointement par des variables climatiques, physiques et psychologiques^{17, 18,19}.

Le confort thermique extérieur est l'un des facteurs qui influencent les activités dans les rues, parc, terrain de jeux et les places²⁰. La quantité et l'intensité de chaque activité sont affectées par le niveau d'inconfort éprouvé par les individus lorsqu'ils sont exposés aux conditions

¹⁵ - Miller-Chagas P. & Vogt J.J., « Confort thermo-hygrothermique, définition physiologique et détermination pratique de zones de confort thermique », In : *Supplément aux Annales de l'institut technique du bâtiment et des travaux publics*, vingt troisième année, juillet-août 1970, 271-272, série : Equipe technique (85), Paris, pp. 142-153.

¹⁶ - Steemers K. A., RAMOS M.C., SINOUE M., Urban morphology, In: CEE, *Designing Open Spaces in the Urban Environment: a bioclimatic approach*, Centre for Renewable Energy Sources. Grèce; 2004.

¹⁷ - Chrisomallidou, N, Tsikaloudaki, K. et Theodosiou, T. Quality of life and open spaces: a survey of microclimate and comfort in outdoor urban areas, *Design with the Environment*, 2002. Proceedings of PLEA (Passive Low Energy Architecture), pp. 345-350.

¹⁸ - Nagara, K, Shmoda, Y et Mizuno, M . Evaluation of thermal environment in an outdoor pedestrian space, *Atmospheric Environment*, 1999 Vol. 30, pp. 497-505.

¹⁹ -Nikolopoulou M., Baker N., Steemers K., Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter. *Solar Energy* 70 (3): 227-235. 2001.

²⁰ - Givoni, B , Noguchi M, Saaroni H, Pochter O, Yaacov Y, Feller N,Becker S Outdoor comfort research issues, *Energy and Buildings*, 2003 Vol. 35, pp. 77-86.

climatiques dans ces espaces extérieurs. Des recherches montrent que l'usage des espaces publics et le comportement des individus sont fonction des conditions climatiques^{21;22}.

Dans le contexte du confort acoustique, il est reconnu qu'on ne peut pas traiter le bruit de manière purement objective, parce que s'il est facile de mesurer la puissance physique des sons, il est plus difficile d'évaluer la façon dont ils sont perçus. Il est intéressant d'étudier les phénomènes qualitatifs qui interviennent dans notre appréciation d'une ambiance sonore.

Du point de vue visuel, l'œil est un organe sensoriel qui possède des capacités d'adaptation extraordinaire. Le contrôle de la quantité de lumière admise sur la rétine est possible grâce à la pupille, ce diaphragme d'ouverture variable. La réaction de l'œil face au flux de lumière se manifeste également influencer par adaptation de la sensibilité de la rétine. Notre vision est également influencée par des facteurs d'ordre psychologique.

Il est important d'évaluer quantitativement l'équilibre physiologique des piétons et qualitativement les critères qui influencent leur adaptabilité psychologique et de tirer les conclusions de cet ensemble de paramètres pour améliorer les possibilités de confort dans les espaces publics extérieurs.

II.3 Critère qualitatifs du confort à l'extérieur :

L'adaptation psychologique est un des éléments essentiels de la définition du confort à l'extérieur. Les facteurs qui influencent cette adaptation psychologique ne sont toutefois pas totalement subjectifs. Nous pouvons citer les paramètres qui influencent de manière significative l'évaluation qualitative du confort des personnes à l'extérieur d'après Sigrid Reiter, au delà des composantes culturelles et individuelles²³ :

- a. L'identification d'une ambiance,
- b. La relation au contexte,
- c. La continuité des conditions environnementales,
- d. La diversité des ambiances,
- e. La perception du contrôle possible,
- f. La capacité de s'adapter,
- g. La naturalité du lieu,

²¹ - Boussoulim A, Aimé C, Evaluation of the environment and climatic feeling ; Research near users of urban spaces in Marseille and Toulouse within the framework of SAGACité Project 1st Int. Workshop on Architectural and Urban Ambient Environment, Nantes Febrery.6-8, 2002, 12P.

²² - Nikolopoulou M., Lykoudis S., Kikira M., Thermal Comfort Models for Open Urban Spaces. In: CEE, Designing Open Spaces in the Urban Environment: a bioclimatic approach, Centre for Renewable Energy Sources. Grèce; 2004.

²³ - Reiter Sigrid. Elaboration d'outils méthodologiques et techniques d'aide à la conception d'ambiances urbaines de qualité pour favoriser le développement durable des villes. Thèse de doctorat. Faculté des Sciences Appliquées Département AUCE Architecture et Climat 2007

- h. La variabilité des conditions environnementales,
- i. Le caractère signifiant du lieu,
- j. La globalité de la sensation de confort.



Figure II.2 : Qualité d'une ambiance à l'extérieur ; A gauche par la présence d'un arbre. À droite par la présence d'eau. Sigrid, 2007

II.3.1 Identification d'une ambiance

Offrir des ambiances spécifiques c'est concevoir et aménager des espaces publics clairement identifiables. Tout élément climatique, visuel ou acoustique qui permet au piéton de se situer est généralement perçu comme facteur positif.

La perception d'un espace reste relativement constante, tant que l'ambiance n'est pas modifiée. Par exemple, si le niveau d'éclairage reste homogène, l'espace perçu reste le même. Cela est vrai au-delà des possibilités d'adaptation de l'œil. L'espace sera plus clair ou plus sombre mais pas fondamentalement différent. La perception d'un même espace et le confort ressenti changeront, lorsqu'on fera varier la luminance ou l'éclairage de certaines surfaces. Et on pourra parler de « changement d'ambiance », ce qui dénote bien une mutation qualitative dans laquelle la quantité de lumière n'est qu'un facteur parmi les autres. Les couleurs et les matériaux choisis ont également une influence considérable sur notre perception visuelle de l'espace et l'identification d'une ambiance visuelle spécifique.

L'identification d'une ambiance est un critère qui favorise le confort des personnes.²⁴

²⁴ - Reiter Sigrid. Elaboration d'outils méthodologiques et techniques d'aide à la conception d'ambiances urbaines de qualité pour favoriser le développement durable des villes. Thèse de doctorat. Faculté des Sciences Appliquées Département AUCE Architecture et Climat 2007

Les stratégies de contrôle du microclimat utilisées comprennent ; la végétation, l'ombrage, la ventilation naturelle, l'évaporation de l'eau, l'inertie thermique du sol et des aménagements paysagers²⁵. Les espaces publics de l'expo '92 à Séville ont fait l'objet de recherches scientifiques pour favoriser le confort des piétons voire figure II.3



Figure II.3 : Espace publics de l'expo '92 à Séville : avenue de l'eau et avenue de l'Europe.
Grupo de termotecnia ; 1994

Ainsi, l'exemple de l'avenue de l'eau est une allée qui assure le confort thermique des visiteurs par la présence de bassins et de fontaines associés à une couverture végétale. Par contre l'avenue de l'Europe est marquée par la présence de toiles tendues créant un ombrage léger et de tours à vent qui apporte de l'air frais.

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 1992²⁶ (Figure II.4 (a)) et pendant l'exposition mondiale de Lisbonne de 1998 (Figure II.4 (b))

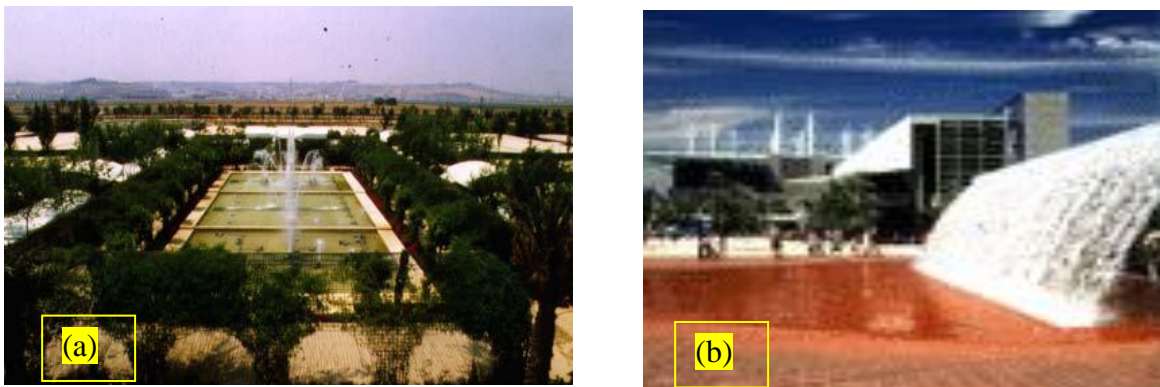


Figure II.4: (a) Bassin avec jets à Séville, Alvarez et al. 1992 (b) Cascade et brumisateur à Lisbonne, Jérôme Vinet, 2000.

²⁵ - Grupo De Termotecnia, Universidad De Sevilla, Control climatico en espacios abiertos, proyecto EXPO'92, Cimat, Séville, 1994.

²⁶ - Alvarez D.S, Cejudo.L.J.M, Guerra M.J.J. Control climático en espacios, El proyecto Expo'92 . Sevilla : cimat 1992

Carles & al. (1999) montrent que la perception d'une identité acoustique améliore l'évaluation subjective du lieu²⁷. Yang & Kang. (2005) ont constaté que les utilisateurs de l'espace évaluaient de manière subjective le niveau sonore de l'espace comme nettement plus élevé. Cette étude montre que le fait d'identifier clairement un type de son, ici la musique, augmente la perception du niveau sonore engendré mais que par contre elle améliore la sensation de confort acoustique²⁸.

Il faut donc introduire une piste de recherche d'après Sigrid Reiter concernant les ambiances urbaines : essayer par la conception urbaine de « conserver des ambiances visuelles, sonores et climatiques qui traduisent le vécu sensible d'un lieu et participent à la perception de leur cohérence et à la formation de repères perceptifs afin de favoriser l'identification du lieu ».

II.3.2 Relation au contexte :

Le confort thermique dépend du contexte d'après Oseland²⁹, il a montré que, pour les mêmes conditions physiologiques, le même groupe de personnes éprouvait une sensation de confort différent dans trois contextes différents.

Le confort par rapport au climat d'un espace public dépend de son insertion par rapport au milieu. La résolution du problème se trouve dans l'étude des différents contextes (environnementaux, construit et humain), selon la localisation, le moment de l'année, les activités prévues,... Pour cela aucune solution n'est valable dans toutes les situations. Chaque projet doit d'abord s'inscrire dans son contexte.

II.3.3 Continuité des conditions environnementales

Assurer une relative continuité des conditions environnementales, c'est éviter les contrastes trop fort, spatialement et temporellement. Le changement abrupt dans l'environnement est difficile à accepter.

²⁷ - Carles José Luis, BARRIO Isabel Lopez, DE LUCIO José Vicente, Sound influence on landscape values, Landscape and urban planning 43 :191-200, 1999.

²⁸ - Yang W., Kang J., Acoustic comfort evaluation in urban open public spaces, Applied Acoustics: vol 66 n°2, p. 211-229, 2005.

²⁹ - Oseland N.A., A within-groups comparison of predicted and reported thermal sensation votes in climate chambers, offices and homes. In Healthy Buildings 1, 1994.

Au niveau thermique par exemple, la tendance à l'équilibre des températures des parois est favorable à un accroissement du niveau de confort des occupants. La présence de deux niveaux de luminance très différents, adjacents dans le champ visuel, est une source d'inconfort et diminue l'acuité visuelle³⁰. Au niveau acoustique, l'apparition de bruits dérangeants est moins bien tolérée dans un environnement calme qu'en présence d'un bruit de fond plus élevé³¹. Ainsi l'être humain peut supporter les vitesses de vent élevées lorsque les vitesses de vent se fond de manière continue, alors que les variations de vitesses engendrent des niveaux d'inconfort inacceptables³².

Fanger a étudié l'impact des changements de température sur le confort thermique en chambre climatique, il démontre que la vitesse d'adaptation à un nouvel environnement est différente selon que le changement va dans la direction à un nouvel environnement plus neutre ou plus extrême. Il nous faut un long temps d'adaptation (au moins 20 minutes) pour un changement qui va dans la direction de neutralité.

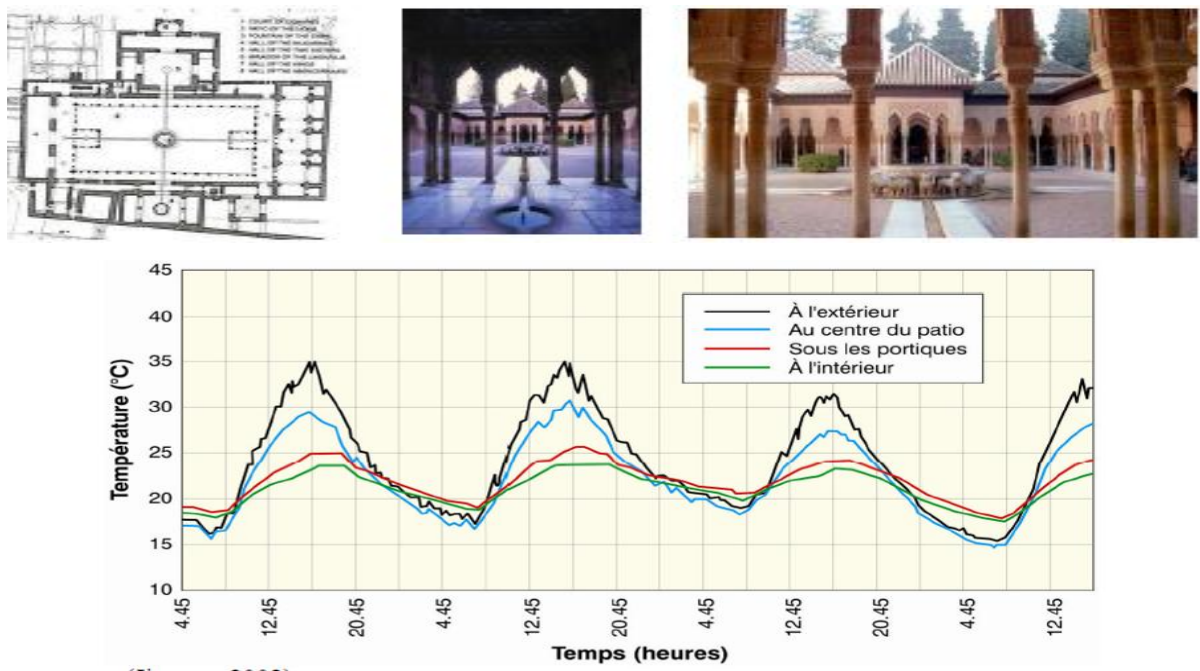


Figure II.5 : Transitions visuelles et thermiques du patio aux lions dans le palais Nasrides de l'Alhambra de Grenade. Sigrid R, 2007

³⁰ - Reiter Sigrid, De Herde André, L'éclairage naturel des bâtiments. Belgique : Ministère de la Région Wallonne, 2001.

³¹ - Blasco M., Cours UCL Acoustique 2001-2002: Partie théorique (AMCO 2361 : partie acoustique).

³² - Melbourne W. H., Joubert P. N., Problems of wind flow at the base of tall buildings. Proceedings of the International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures, Tokyo, 1971.

- Bottema Marcel, A. Method for optimization of wind discomfort criteria, Building and Environment 35 : 1-18, 2000.

Le corps humain s'adapte plus facilement à un environnement trop chaud que trop froid. La sensibilité humaine est donc plus grande au froid qu'à la chaleur³³.

De même, le phénomène d'adaptation de l'œil dépend des luminances de départ et d'arrivée et de tout changement de brillance. L'adaptation à l'obscurité prend plus de temps qu'à la lumière. L'œil nécessite environ 30 minutes pour s'adapter aux conditions extérieures d'obscurité en sortant d'une ambiance lumineuse alors qu'il ne nécessite que quelques secondes pour s'adapter aux conditions extérieures d'obscurité en sortant d'une ambiance lumineuse alors qu'il ne nécessite que quelques secondes pour s'adapter à la lumière en quittant un environnement obscur.³⁴

Il faut éviter les contrastes trop forts, spatialement et temporellement. Un changement abrupt dans l'environnement est toujours difficile à accepter.

II.3.4 La diversité des ambiances

Un parcours piéton ou une place sont d'autant plus attractifs qu'ils présentent de la variété à différents niveaux. Ainsi, analyser les paysages séquentiels qui s'offrent aux piétons quand ils circulent et y introduire une dynamique et une richesse basée sur la diversité des ambiances, il est important de limiter le sentiment de monotonie.

Les espaces qui offrent des zones à l'ombre et au soleil sont utilisés sur une plus longue durée d'occupation que ceux qui ne présentent qu'un seul type d'ambiance³⁵. En fonction du climat local et de la saison, quelqu'un peut préférer être assis au soleil ou à l'ombre d'un bâtiment, être frôlé par une brise ou être protégé du vent, être en contact avec le ciel ou profiter de la couverture d'une arcade. Les villes ont été et peuvent être conçues pour fournir ces choix.

La variation des zones ensoleillées et des zones d'ombre dans un espace public est une source importante de diversité et de variabilité pour cet espace. Une règle générale à appliquer dans tous les espaces publics pour assurer cette variété de conditions environnementales dont la proportion ensoleillée de l'espace ouvert doit couvrir entre 20% et 80% de la surface du site. Ce critère de diversité par rapport à l'ensoleillement est un critère

³³ - Nikolopoulou M., Lykoudis S., Thermal comfort in outdoor urban spaces: analysis across different European countries. *Building and Environment*, vol. 41 (11), p. 1455-1470, 2006.

³⁴ - Reiter Sigrid, De Herde André, *L'éclairage naturel des bâtiments*. Belgique : Ministère de la Région Wallonne, 2001.

³⁵ - Nikolopoulou M., Steemers K., Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. In *Proceedings of PLEA 2000*. Cambridge, 2000.

qualitatif du confort qui correspond à des données quantitatives au niveau thermique³⁶ et au niveau visuel³⁷



Figure II.6 : (a)Variation des zones ensoleillé et ombré,(b) Passage ombré et variation des zones ombrées. Sigrid Reiter, 2007

Les graphes ci-dessous montrent les résultats d'interviews sur terrain concernant le confort thermique au soleil et à l'ombre à Athènes (37.5°N) et Milan (45°N).

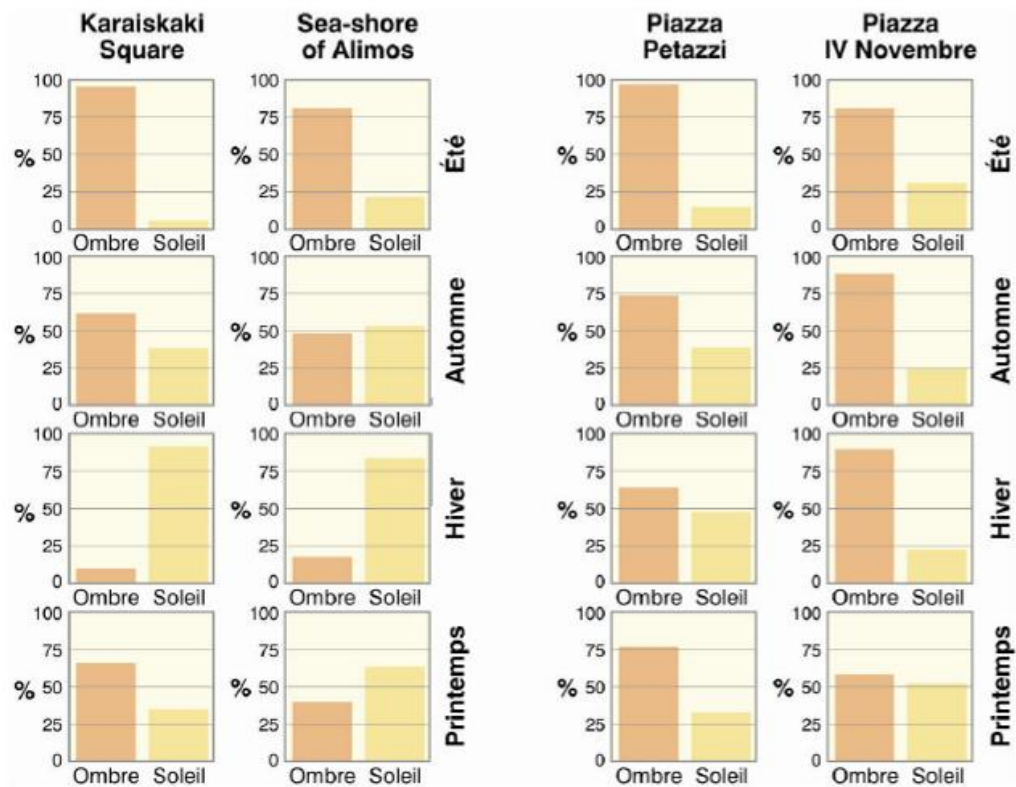


Figure II.7 : Pourcentage de perception des personnes à l'ombre et au soleil ; Nikolopoulou et al , 2004

³⁶ - Nikolopoulou M., Lykoudis S., Kikira M., Thermal Comfort Models for Open Urban Spaces. In: CEE, Designing Open Spaces in the Urban Environment: a bioclimatic approach, Centre for Renewable Energy Sources. Grèce; 2004.

³⁷ - Compagnon R., Goyette-Pernot J., Visual Comfort in Urban Spaces. In: CEE, Designing Open Spaces in the Urban Environment: a bioclimatic approach, Centre for Renewable Energy Sources. Grèce; 2004.

On voit bien que même dans un climat chaud en été, 10 à 20% des personnes choisissent de s'installer au soleil. Qui souligne l'importance de la diversité des conditions environnementales pour le confort des piétons. De même, en hiver à Athènes, 10 à 20% des personnes s'installent à l'ombre alors que la majorité de la population recherche le soleil. Il est donc bon de créer une variété plus équilibrée d'ambiances ensoleillées et ombragées.

Pour le confort visuel, est amélioré quand le champ visuel offre suffisamment de diversité sur un plan horizontal, là où les activités humaines ont lieu. Cette importance de la variété dans le champ visuel est soutenue par plusieurs recherches³⁸. Ce critère de diversité du point de vue visuel est également amélioré si la proportion ensoleillée de l'espace ouvert couvre 20% à 80% de la surface du site³⁹.

Stemers & al, propose d'étudier le microclimat d'un espace public à partir de cartes représentant la diversité des conditions microclimatiques présentes dans cet espace. Le but principal de ce type de carte est d'indiquer le degré relatif de diversité environnementale en fonction de la forme urbaine

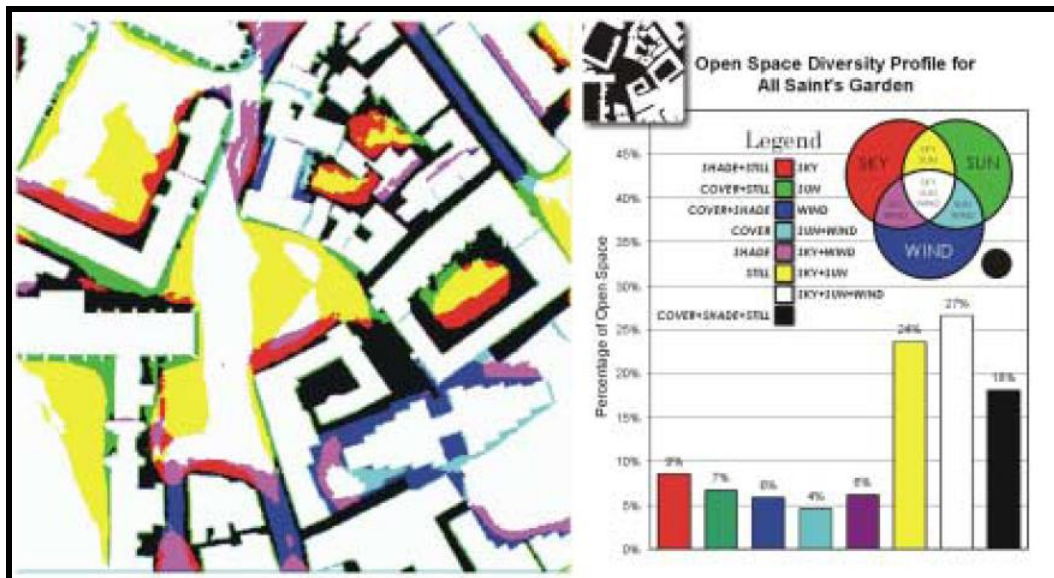


Figure II.8 : Répartitions des profils environnementaux. Steemers & al, 2004

Le graphique ci dessus montre un exemple de ce type de carte de diversité environnementale pour l'All Saint's Garden à Cambridge. L'image de gauche montre la superposition des cartes de seuils de facteurs de vue du ciel, d'ombrage solaire et d'obstruction du vent. Le

³⁸ - Lozano E.E., Visual needs in the urban environment, Town Planning review, vol.45, n°4, 1974

³⁹ - Compagnon R., Goyette-Pernot J., Visual Comfort in Urban Spaces. In: CEE, Designing Open Spaces in the Urban Environment: a bioclimatic approach, Centre for Renewable Energy Sources. Grèce; 2004.

graphique à droite montre la distribution des différentes combinaisons environnementales présentes sur ce site⁴⁰.

Une méthodologie proposée par Brown et Dekay⁴¹ par un classement de différentes combinaisons environnementales produites en fonction de la zone climatique. Dans ce livre, un ensemble de valeurs ont été identifiées par climat et par saison. Afin d'attribuer des points aux différentes combinaisons entre ensoleillé/ombragé et calme/venteux. On peut adapter ce tableau pour ajouter l'ouverture vers le ciel ou la couverture (protections). Le tableau II.3 présente l'évaluation d'un lieu par une échelle qui varie de 1 pour les conditions les moins désirées et 5 pour les conditions préférées.

Tableau II.3 : Evaluation d'un lieu suivant une combinaison environnemental (Brown & de Kay 2001)

Conditions environnementales	Hiver	Printemps Automne	Eté
Ombre, calme et ciel	1	2	2
Soleil, calme et couverture	5	4	2
Ombre, vent et couverture	2	1	4
Soleil, vent et couverture	4	3	3
Ombre, vent et ciel	1	1	3
Soleil, calme et ciel	4	4	1
Soleil, vent et ciel	3	3	2
Ombre, calme et couverture	3	2	3

Il est important de se rappeler qu'il est préférable de créer une variété de conditions environnementales car c'est la façon naturelle dont les choses se présentent dans les espaces extérieurs. L'interaction entre les différents paramètres de la morphologie urbaine crée un profil de diversité unique sur chaque site. La diversité des ambiances peut être introduite par une différence d'orientation, une différence de morphologie du bâti, une différence de fermeture de l'espace ou encore la présence d'éléments d'aménagement (végétation, fontaines).

⁴⁰ - Steemers K. A., Ramos M.C., Sinou M., Urban morphology, In: CEE, Designing Open Spaces in the Urban Environment: a bioclimatic approach, Centre for Renewable Energy Sources. Grèce; 2004.

⁴¹ - Brown G.Z., Dekay M., Sun, Wind & Light: Architectural Design Strategies, 2d edition, John Wiley & Sons, New York, 400 p., 2001.

Un environnement urbain riche et varié, offre aux piétons des possibilités de choix multiples. Il est conseillé d'introduire de la diversité au niveau des ambiances proposées dans un même lieu ainsi qu'entre différents espaces de rencontre situés à proximité les uns des autres⁴².

II.3.5 La variabilité des conditions environnementales

La variabilité de la lumière naturelle a un impact positif sur l'être humain. Elle nous relie au monde naturel et nous permet de nous situer spatialement et temporellement. Son caractère cyclique est un facteur important pour notre équilibre psychique⁴³.

Les conditions confortables sont souvent regardées théoriquement comme celles où les personnes se trouvent dans un état neutre thermiquement. Cependant, la stimulation environnementale est un des buts pour lesquels les gens vont à l'extérieur⁴⁴.

Une ville sans bruit serait une ville morte, une ville sans hommes. Le bruit est une composante inévitable de la vie. Fort heureusement, l'univers sonore d'une ville ne comprend pas que des bruits désagréables. Un grand nombre de sons servent d'horloge sociale du quotidien : par exemple, le calme des dimanches contraste avec l'agitation des jours de semaine, la présence du marché est un repère dans la vie du quartier, etc. Beaucoup d'éléments sonores sont des stimuli positifs qui introduisent de la variété dans notre environnement. Il faut s'efforcer de les préserver parce qu'ils sont indispensables à l'homme. Les sons émis par une fontaine sont attrayants pour la plupart des gens mais que si le niveau sonore reste constant en permanence.

Pour que le bruit de l'eau reste attrayant, il est recommandé de faire varier le débit de l'écoulement d'eau des fontaines⁴⁵. Donc l'intérêt de la variabilité environnementale est encore une fois démontré.

Les arbres à feuilles caduques, par exemple, induisent une variabilité naturelle: en fonction de leur feuillage, ils laissent largement passer la lumière en hiver tandis qu'ils créent un ombrage bienvenu pendant l'été. La photo de droite ci-dessous montre l'exemple d'un

⁴² - Reiter Sigrid. Elaboration d'outils méthodologiques et techniques d'aide à la conception d'ambiances urbaines de qualité pour favoriser le développement durable des villes. Thèse de doctorat. Faculté des Sciences Appliquées Département AUCE Architecture et Climat 2007

⁴³ - Reiter Sigrid, De Herde André, L'éclairage naturel des bâtiments. Belgique : Ministère de la Région Wallonne, 2001.

⁴⁴ - Nikolopoulou Marialena, Steemers Koen, *Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces*. Energy and Buildings 35 (1):95-101. 2003.

⁴⁵ - Kang J., Yang W., Zhang M., *Sound Environment and Acoustic Comfort in Urban Spaces*. In: CEE, Designing Open Spaces in the Urban Environment: a bioclimatic approach, Centre for Renewable Energy Sources. Grèce; 2004.

élément d'aménagement de l'espace public amovible : il s'agit de protections solaires mobiles qui ombragent cet espace extérieur à Séville pendant les mois d'été mais qui sont retirées de l'automne au printemps pour bénéficier du rayonnement solaire quand il n'est pas trop fort.



Figure II.9 : Variabilité des conditions environnementales d'un espace extérieur, <http://www.certu.fr>



Figure II.10 : Aménagement des espaces extérieurs à Nantes et variabilité des conditions environnementales, Le Corre, 2007

Il faut donc valoriser les caractéristiques de variabilité d'un espace public de manière à ce que cet espace s'adapte naturellement aux variations cycliques de ce lieu (climat, usages,...). Il y a différentes échelles temporelles et différentes échelles spatiales possibles pour créer cette variabilité.

II.3.6 La perception du contrôle environnemental possible

La perception du contrôle environnemental possible est un des éléments les plus essentiels du confort thermique. Paciuk (1990) affirme que les stimuli désagréables sont moins irritants lorsqu'ils sont perçus par des sujets capables de les contrôler⁴⁶.

L'ensemble du mobilier urbain (bancs, abribus, poubelles, panneaux indicateurs,...) pourraient être travaillé pour être adaptables à l'occasion. De même, les surfaces où cloisons de séparation entre différentes parties de l'espace public peuvent servir à y instaurer un certain contrôle environnemental local.

Les possibilités d'adaptation des éléments d'aménagement d'un espace public permettent d'offrir aux utilisateurs de l'espace un certain contrôle qui accroît leur sensation de confort.

II.3.7 La capacité de s'adapter

Le confort ressenti dans un espace public extérieur dépend également de la capacité (réelle ou perçue) des utilisateurs à s'adapter à leur environnement. Par capacité d'adaptation réelle, nous pouvons signaler, la possibilité de mettre un manteau quand on a froid, de prendre une boisson rafraîchissante s'il fait trop chaud, d'ouvrir un parapluie s'il pleut, ... Mais il existe aussi de nombreux éléments qui influencent la perception humaine de ses capacités d'adaptation. Nous citerons l'influence des prévisions des piétons, leur motivation à se trouver dans ce lieu, une durée courte d'exposition et leur sentiment d'être en sécurité. La possibilité de se déplacer vers un autre type d'ambiance est aussi perçue comme une capacité à s'adapter à notre environnement.



Figure II.11 : Capacité de s'adapter à un environnement thermique, Sigrid Reiter.

⁴⁶ - Paciuk M., The role of personal control of the environment in thermal comfort and satisfaction in workplace. In Coming of age. USA: EDRA. 1990.

Les conditions de confort thermique extérieures ont été évaluées à travers des enquêtes sur terrain (près de 10 000 personnes montrent que la neutralité thermique moyenne, c'est-à-dire la sensation thermique pour laquelle les personnes ne ressentent ni le chaud ni le froid, est très proche de la température météorologique de l'air (°C), pour tous les questionnaires effectués en Europe. De manière plus précise, on relève que les variations de la température désirée en fonction de la température expérimentée restent en général dans un intervalle de -5°C à +5°C, sauf aux températures les plus basses (-5 à 10°C) où la température neutre peut aller jusqu'à 10°C au-dessus de la température réelle et aux températures les plus élevées (25 à 35 °C) où la température neutre peut varier entre -10°C et +5°C. Ce phénomène provient de l'influence de l'expérience récente de piétons et de leurs prévisions sur leur capacité à s'y adapter. Le graphe ci-dessous montre la corrélation entre la neutralité thermique et la température moyenne pour l'ensemble des 28 espaces publics européens testés.

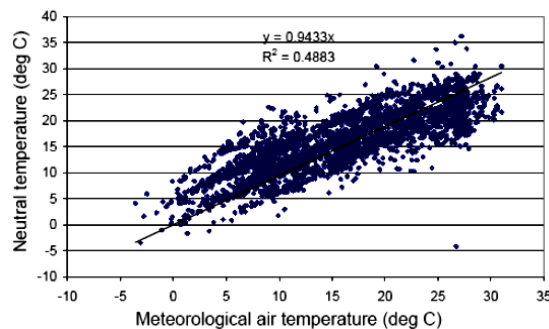


Figure II.12 : Corrélation entre neutralité thermique et température moyenne ;
Nikolopoulou & al, 2004

Les conditions environnementales variées dans un même espace ou entre des lieux rapprochés offrent aux citoyens le choix de s'adapter en se déplaçant vers une zone plus confortable. Ainsi, la présence d'une distribution de zones ensoleillées et ombragées sur un même espace permet aux utilisateurs de choisir les conditions qui leur correspondent. De même, si un même lieu peut être atteint par deux itinéraires, dont les conditions environnementales sont différentes (soleil/ombre, animation sonore/calme, ...), les piétons ont la possibilité de choisir le parcours qui leur convient.

II.3.8 La naturalité du lieu

De nombreuses études ont montré que les éléments naturels sont bénéfiques pour l'être humain. Ainsi, la lumière naturelle est mieux adaptée à l'œil humain que la lumière

artificielle. L'adaptation complète de l'oeil passant de la lumière du soleil à des luminances intérieures cent fois plus faibles fournie par l'éclairage artificiel demande environ 15 minutes.

Ulrich a découvert que des malades retrouvaient plus rapidement la santé lorsqu'ils étaient capables de voir un paysage naturel à une distance moyenne à la place de voir un mur blanc⁴⁷. Une étude en Norvège compare deux groupes de personnes travaillant dans des bureaux, l'un agrémenté de belles plantes et l'autre sans végétation. Fatigue, mal de tête et problèmes de concentration étaient diminués de 23% dans le cas du bureau qui présentait une végétation agréable⁴⁸. Ces études prouvent que la végétation est un élément essentiel pour le confort des êtres humains.

De plus, les êtres humains préfèrent les éléments naturels aux éléments artificiels.

A partir d'études sur le terrain à travers toute l'Europe, Compagnon et Goyette-Pernot arrivent à la conclusion que, du point de vue de l'appréciation du champ lumineux par les usagers, les personnes qui utilisent les espaces ouverts apprécient toujours plus de lumière naturelle et particulièrement celle du soleil. De plus, la sensation de "confort visuel" est accrue dans les zones où le ciel occupe une plus grande partie du champ visuel que les bâtiments environnants⁴⁹.

De même, du point de vue acoustique, les sons naturels sont préférés aux sons artificiels (Carles & al. 1999⁵⁰ ; Kang & al. 2004⁵¹). Les gens partagent généralement une opinion commune en préférant des sons naturels et culturels plutôt que des sons artificiels. Les sons provenant des véhicules et de la construction sont considérés comme très impopulaires, tandis que les sons générés par des activités humaines (parole, jeux d'enfants,...) sont normalement estimés comme plaisants ou neutres selon les cas.

Le bruit engendré par le trafic autoroutier est perçu comme inconfortable alors qu'un même niveau sonore est agréable lorsqu'il s'agit de l'ambiance sonore créée par la présence d'une fontaine. L'utilisation de fontaines est donc un moyen intéressant à créer un masque sonore par rapport à d'autres bruits urbains moins appréciés. La photo ci-dessous (Figure II.13)

⁴⁷ - Ulrich R.S., View through a Window may influence Recovery from Surgery, Science 224. 1984.

⁴⁸ - Fjeld T., The Effect of Indoor foliage plants on the Health and Discomfort Symptoms among Office Workers. Indoor Built Environment 7. 1998.

⁴⁹ - Compagnon R., Goyette-Pernot J., Visual Comfort in Urban Spaces. In: CEE, Designing Open Spaces in the Urban Environment: a bioclimatic approach, Centre for Renewable Energy Sources. Grèce; 2004.

⁵⁰ - Carles José Luis, Barrio Isabel Lopez, DE LUCIO José Vicente, Sound influence on landscape values, Landscape and urban planning 43 :191-200, 1999.

⁵¹ - Kang J., Yang W., Zhang M., Sound Environment and Acoustic Comfort in Urban Spaces. In: CEE, Designing Open Spaces in the Urban Environment: a bioclimatic approach, Centre for Renewable Energy Sources. Grèce; 2004.

montre les fontaines de Trafalgar square à Londres qui masquent le bruit des autobus et des voitures longeant la place.



Figure II.13 : Les fontaines de Trafalgar square à Londres.

Une étude de Yang et Kang a porté sur la comparaison de la perception subjective du niveau sonore engendré par trois sources de bruits différentes, situées dans un même lieu public et pour un même niveau sonore mesuré⁵².

Les sources de bruit comparées étaient : la démolition d'un immeuble, une fontaine à débits importants et le mélange du bruit de la démolition et de la fontaine. Les sons de démolition étaient perçus comme les plus forts, puis le mélange des sons et enfin le bruit de fontaine était sous évalué. Par ailleurs, cette étude a permis de constater que :

- dans le cas de la démolition de l'immeuble, l'inconfort est croissant avec le niveau sonore.
- dans le cas de la fontaine toute seule, une augmentation du niveau sonore n'a pratiquement aucun impact sur l'évaluation du confort acoustique, ce qui souligne encore une fois l'importance de la naturalité des éléments utilisés dans les ambiances urbaines.
- dans le cas des deux bruits superposés, le confort semble davantage lié à la perception de la fontaine quand le niveau sonore général reste en-dessous de 70 dBA mais devient fort influencé par la démolition au-dessus de cette valeur-limite. Ce comportement est vraisemblablement lié à l'effet du masque acoustique généré par la fontaine jusqu'à un niveau sonore de 70 dBA. Ainsi, cette étude montre que l'utilisation de masques sonores en milieu urbain est une technique efficace pour

⁵² - Yang W., Kang J., Acoustic comfort evaluation in urban open public spaces, Applied Acoustics: vol 66 n°2, p. 211-229, 2005.

améliorer le confort acoustique et que le niveau sonore de ce masque peut aller jusqu'à 70dBA.

Des enquêtes du projet européen RUROS, une grande partie des personnes qui éprouvent une sensation de confort dans un environnement inconfortable sont justes là pour « faire une pause » dans leur travail. Cet exemple montre bien que de nombreuses personnes sortent dans des conditions d'inconfort uniquement pour profiter d'un environnement naturel. Le bénéfice qu'ils tirent d'une expérience de naturalité (par rapport aux ambiances artificielles intérieures) est donc supérieur au désagrément lié à l'inconfort thermique⁵³.

La naturalité d'un lieu est un caractère essentiel pour le confort des personnes⁵⁴. La vie moderne nous isole de plus en plus du monde naturel et ces questions devraient devenir critiques vus la croissance de l'urbanisation. Il y a deux corollaires à cette assertion:

- Augmenter les éléments naturels dans les villes ;
- Concevoir des espaces qui offrent des caractéristiques similaires à celles que le monde naturel peut nous offrir.

II.3.9 Caractère signifiant du lieu

Tout élément perçu dans un espace est porteur de sens (beauté, signal, appartenance, histoire...). Cette perception de l'élément se matérialise soit par le corps, soit à travers l'esprit, par la symbolique, le langage, l'imaginaire. Le caractère signifiant influence le confort des individus.

Une expérience visuelle positive peut être générée par des vues dégagées vers le paysage ou les bâtiments environnants, une belle végétation, des façades spectaculaires, un mobilier urbain de qualité (Reiter & De Herde 2001⁵⁵, Compagnon & Goyette-Pernot 2004⁵⁶). Ces facteurs qui sont sources « d'agrément visuel » relèvent de l'esthétique et correspondent au caractère signifiant du lieu.

⁵³ -Nikolopoulou M., Lykoudis S., Thermal comfort in outdoor urban spaces: analysis across different European countries. Building and Environment, vol. 41 (11), p. 1455-1470, 2006.

⁵⁴ - Reiter Sigrid. Elaboration d'outils méthodologiques et techniques d'aide à la conception d'ambiances urbaines de qualité pour favoriser le développement durable des villes. Thèse de doctorat. Faculté des Sciences Appliquées Département AUCE Architecture et Climat 2007

⁵⁵ - Reiter Sigrid, De Herde André, L'éclairage naturel des bâtiments. Belgique : Ministère de la Région Wallonne, 2001.

⁵⁶ - Compagnon R., Goyette-Pernot J., Visual Comfort in Urban Spaces. In: CEE, Designing Open Spaces in the Urban Environment: a bioclimatic approach, Centre for Renewable Energy Sources. Grèce; 2004.

II.3.10 La globalité de la sensation du confort

Les êtres humains ressentent le confort de manière globale, ce qui implique qu'ils mettent beaucoup de temps à percevoir la cause de leur insatisfaction. Cependant, les personnes sont très sensibles à des situations qu'elles perçoivent comme inconfortables. Le confort est une sensation provenant d'une **perception globale** de notre environnement.

Une étude européenne réalisée sur des places réparties dans toute l'Europe a tenté de relier l'évaluation quantitative des principaux paramètres d'ambiances (température, ensoleillement, luminosité, vent, niveau sonore et humidité) avec l'évaluation globale du confort des personnes à l'extérieur. L'ensemble de ces facteurs ne couvrait que 55% de l'évaluation du confort extérieur⁵⁷ (Yang & Kang 2005), ce qui prouve bien la grande complexité de l'étude du confort dans les espaces extérieurs et la nécessité de prendre en compte des éléments socioculturels tels que la sécurité, les éléments signifiants ou naturels d'un lieu.

La globalité de la sensation de confort est un élément primordial. Il y a lieu de tenir compte de l'ensemble des critères quantitatifs et qualitatifs du confort extérieur ainsi que leurs interactions pour assurer la situation la plus profitable pour les utilisateurs de l'espace.

II.3.11 Les composantes culturelles et individuelles :

La notion de gêne contient un jugement de valeur, qui peut varier considérablement suivant les individus. L'inconfort suscité par un bruit identique peut varier suivant la sensibilité propre des personnes, leur état de santé individuel, leur état affectif et émotionnel en relation avec le bruit et sa source, ou encore leur profil socio-économique et culturel.

Des études sur le confort humain se basent en général sur des interviews de personnes qui n'ont pas toutes forcément le même vocabulaire. Il est important de signaler les difficultés de termes que présentent les connotations liées aux mots «froid» et «chaud»: dans les climats froids, les gens décrivent leur état de préférence comme chaud parce que pour eux le mot froid implique la sensation désagréable qu'ils veulent à tout prix éviter ; par contre, dans les climats chauds, la fraîcheur est l'état désiré⁵⁸.

⁵⁷ - Yang W., Kang J., Acoustic comfort evaluation in urban open public spaces, Applied Acoustics: vol 66 n°2, p. 211-229, 2005.

⁵⁸ - Baker Nick, We are all outdoor animals. In Koen Steemers and Simos Yannas, Architecture City Environment, Proceedings of PLEA 2000. London: James and James. 2000.

II.3.12 Critère qualitatifs du confort à l'extérieur et le développement durable

La comparaison entre les critères de conception d'espaces publics durables et les critères qualitatifs du confort des piétons à l'extérieur est stupéfiante (voir tableau II.4): « il existe des similitudes frappantes entre les critères qualitatifs du confort humain et les qualités globales de conception des espaces publics. »⁵⁹

Tableau II.4 : Similitude entre critères qualitatifs et qualité globale. Sigrid Reiter ; 2007.

Stratégie	Lieu public	Environnement confortable
Contextualité	Intégration	Relation au contexte et continuité des conditions environnementales.
	Participation	Perception du contrôle environnemental possible
	Adaptation	Capacité de s'adapter
Coexistence	Rassemblement	Plusieurs choix d'ambiances microclimatiques sur une même place
	Diversité	Diversité des ambiances situées à proximité
	Ouverture à l'altérité	Variabilité des conditions environnementales
Cohérence	Identité	Identification d'une ambiance et globalité de la sensation de confort
	Sens	Caractère signifiant du lieu
	Naturalité	Naturalité du lieu

La question du confort dans les espaces publics extérieurs est une question autant architecturale que technique. On peut donc y répondre par une méthode de conception adaptée, basée sur les trois principes que sont la contextualité, la coexistence et la cohérence. La découverte de ces similitudes nous permet d'affirmer que notre stratégie de développement durable des espaces publics est aussi un outil qui favorise le confort des piétons en ville.

II.4 Critères quantitatifs du confort à l'extérieur

Trois besoins humains sont identifiés comme très importants pour la conception des espaces publics urbains ; le confort physique, psychologique et activités sociales ; qui nous

⁵⁹ - Reiter Sigrid. Elaboration d'outils méthodologiques et techniques d'aide à la conception d'ambiances urbaines de qualité pour favoriser le développement durable des ville. Thèse de doctorat. Faculté des Sciences Appliquées Département AUCE Architecture et Climat 2007

permettent d'apprécier des scènes d'ambiances ainsi que les activités offertes par l'espace public.

Assurer le confort des piétons c'est profiter des paramètres positifs de l'environnement et se protéger de ses contraintes négatives.

II.4.1 Les critères quantitatifs du confort thermique extérieur

Le confort thermique est défini « comme un état de satisfaction vis-à-vis de l'environnement thermique. Il est déterminé par l'équilibre dynamique établi par échange thermique entre le corps et son environnement ». ⁶⁰ La sensation du confort thermique est généralement approché à travers la connaissance des différents paramètres du confort thermique ainsi que les échanges thermiques entre l'individu et son environnement.

La définition du confort thermique est très complexe en raison de l'interaction de plusieurs variables environnementales et personnelles. Pour Givoni (1978), le maintien de l'équilibre thermique entre le corps humain et son environnement est l'une des principales exigences pour la santé, le bien-être et le confort ⁶¹. Il affirme que les conditions dans lesquelles on obtient cet équilibre sont l'état du corps lorsqu'il atteint l'équilibre avec son environnement, dépendant de la conjugaison de nombreux facteurs. Certains de ces facteurs sont d'ordre personnel (l'activité physique, le niveau d'habillement, etc.) et d'autres sont des facteurs de l'environnement immédiat tel que la température de l'air, le rayonnement solaire, l'humidité relative et le mouvement de l'air.

Donc, théoriquement et quantitativement, il est possible de prédire les conditions du confort thermique en fonction des paramètres environnementaux et des variables personnelles à savoir, le niveau d'habillement et le taux métabolique.

Les méthodes quantitatives existant actuellement pour évaluer le confort thermique extérieur peuvent être classifiées en cinq groupes :

1. Les méthodes résolvant l'équation de bilan thermique basé sur un modèle complexe du corps humain et sur l'évaluation des paramètres climatiques. Ces méthodes couplent généralement une équation de bilan de chaleur avec un modèle simplifié d'évaluation de la température radiante moyenne. Ces modèles ont été élaborés pour évaluer différents

⁶⁰ - Liébard A., De Herde A., Guide de l'architecture bioclimatique, édition. Système solaire, Observer, Paris 1996. PP

⁶¹ - Givoni.B . L'Homme, l'Architecture et le Climat. Edition 1978.

scénarios climatiques pour des activités et un habillement standard. Les indices les plus fréquents sont :

Physiological Equivalent Temperature PET (Höppe. 1999), New Effective Temperature ET new (Gagge et al. 1971), Standard Effective Temperature SET et OUT_SET intégrés à un modèle de température rayonnante extérieure OUT_MRT (J. Pickup, R. de Dear, 2000).

2. **Les méthodes résolvant l'équation de bilan énergétique** basée sur un modèle simplifié du corps humain : perceived Temperature (PT), un modèle qui correspond au modèle de Fanger associé à un modèle d'évaluation du rayonnement extérieur mais qui ne tient pas compte du vent (Vinet.2000, Jendrintzky.), COMfort Formula - COMFA (Brown et Gillespie.2000) : un modèle simplifié intégrant l'ensemble des paramètres climatiques et urbains bien qu'il ait été initialement développé à partir d'interviews dans des paysages ruraux.

3. **Des modèles graphiques** très simplifiés mais d'usage très rapide regroupant les différents paramètres climatiques. Citons la charte bioclimatique d'Olgyay.

4. **Les indices climatiques empiriques** qui créent des corrélations entre quelques paramètres climatiques spécifiques. Ils sont généralement élaborés pour certains climats particuliers. Citons par exemple le Wind-chill index ou le Discomfort Index (Sacré).

5. **Les indices psycho-socio-climatiques**, élaborés à partir d'interviews réalisées dans des espaces publics urbains. Ils créent une corrélation entre une perception subjective et des variables microclimatiques (Actual Sensation Vote, satisfaction indexes,...) ou un indice de confort (Nikolopoulou, SAGAcité).

II.4.2 Les critères quantitatifs du confort respiratoire à l'extérieur

La qualité de l'air est importante pour le confort et la santé des citoyens. Les polluants globaux, tels que les émissions de gaz à effet de serre (CO₂, CH₄, O₃), inquiètent par leurs conséquences néfastes sur l'équilibre climatique de la planète. Les pollutions régionales et locales (SO₂, NO₂, PM) constituent des menaces directes sur la santé et le bien-être, en particulier dans les grandes agglomérations. Pour diminuer la pollution atmosphérique, il faut limiter les consommations d'énergie et réduire les sources de pollution en ville.

Une partie de la pollution atmosphérique est créée au niveau des toits: elle correspond aux émissions des cheminées des bâtiments (habitations + industrie), et celui crée par les automobiles.

Les nouvelles normes européennes qui doivent être appliquées en 2005-2010 donnent les limites suivantes (tableau II.5) de concentration des polluants dans l'air. Ces limites ont été établies sur base de l'impact des polluants sur la santé humaine (IBGE 2002).

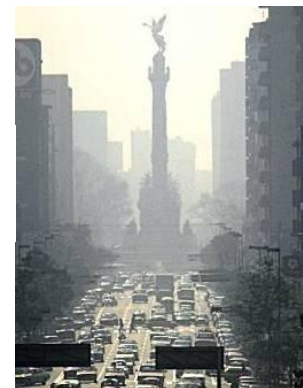
Tableau II.5 : Limite de concentration des polluants dans l'air. IBGE 2002

Polluant	Type de concentration	Valeur de la norme
SO ₂	Horaire	350 µg/m ³
	Journalière	125 µg/m ³
NO ₂	Horaire	200 µg/m ³
	Annuelle	40 µg/m ³
PM10	Journalière	50 µg/m ³
	Annuelle	20 µg/m ³
Pb	Annuelle	0.5 µg/m ³
O ₃	8h-max	120 µg/m ³
CO	8h	10 µg/m ³
Benzène	Annuelle	5 µg/m ³

La circulation automobile est une des principales sources de ces polluants atmosphériques et le responsable principal de la qualité de l'air urbain⁶².

Figure II.14: Exemple d'une mauvaise qualité de l'air à Mexico.

Encarta, 2006



Les effets des espaces boisés urbains sur le climat local, la consommation énergétique et la qualité de l'air sont connus.⁶³ Le réchauffement des villes a des conséquences dans l'accroissement des émissions de dioxyde de carbone, la plantation d'arbres seront des solutions moins coûteuses que d'autres méthodes (par exemple surfaces peintes en couleurs claires ou modification de la géométrie urbaine)⁶⁴.

⁶² - CEE, Vers une stratégie thématique pour l'environnement urbain, Communication de la Commission au conseil, au parlement européen, au comité économique et social européen et au comité des régions, Bruxelles, 2004

⁶³ - Akbari et al, 1992 Akbari et Al, 2001 in <http://www.cust.univ-bpclermont.fr>

⁶⁴ - McPherson, E.G. and D.J. Nowak. 1993. Value of urban green space for air quality improvement: Lincoln Park, Chicago. Arborist News 2(6):30-32.

Les arbres en milieu urbain contribuent à améliorer la qualité de l'air en présentant une large surface qui peut retenir les polluants particulaires (tableau 6) ; les polluants gazeux peuvent s'y fixer ou s'y dissoudre, surtout lorsqu'ils sont mouillés, et les polluants gazeux peuvent être absorbés pendant l'échange de gaz au niveau des stomates foliaires. Les données sur le rythme auquel les divers polluants se déposent sur les surfaces dans les zones urbaines et notamment sur les arbres, sont très limitées.

Tableau II.6 : Réduction des gaz toxiques à proximité des arbres. www.mybestlife.com/bio-architecture.htm

MONOXIDE DE CARBONE (CO)	2500	M g/mq par heure
CHLORE (Cl)	2000	M g/mq par heure
FLUORE	100	M g/mq par heure
OXIDE D'AZOTE (NO)	2000	M g/mq par heure
OZONE (O3)	80000	M g/mq par heure
PAN	2000	M g/mq par heure
DIOXIDE DE SOUFRE (SO2)	500	M g/mq par heure
HAMMONIUM (H2 NO4)	400	M g/mq par heure

Une étude de (Cardelino et Chameides, 1990)⁶⁵ indique que la réduction de 20% des espaces boisés porterait les concentrations maximales d'ozone de 123 ppm à 140ppm, en raison surtout des hausses de la température de 2°C.

Les arbres, par leur processus de croissance, agissent comme un puits pour le dioxyde de carbone atmosphérique. En augmentant donc la quantité des arbres, on devrait pouvoir ralentir l'accumulation de CO₂ atmosphérique.

II.4.3 Les critères quantitatifs du confort acoustique à l'extérieur :

Le confort acoustique est influencé par le niveau sonore et la qualité des ambiances sonores. L'environnement acoustique nous procure une sensation de confort quand nous pouvons entendre les sons de l'environnement qui nous entoure, nettement et sans fatigue, dans une ambiance sonore agréable.

Ainsi, une augmentation de 3 décibels correspond au doublement de la puissance d'un bruit. Cette mise en garde est autant plus nécessaire que les sonomètres, qui sont les instruments de mesure utilisés pour évaluer les niveaux sonores, convertissent automatiquement la puissance des sons en décibels, sans qu'apparaisse la nature logarithmique des chiffres obtenus.

⁶⁵ - Cardelino et Chameides, 1990 In [site internet] www.mybestlife.com/bio-architecture.htm page consulter juin 2010

II.4.4 Les critères quantitatifs du confort visuel à l'extérieur :

La lumière, tant naturelle de jour qu'artificielle de nuit, est une des qualités qui influencent l'ambiance d'une ville ou d'un espace public et le confort visuel des personnes à l'extérieur. L'apport de soleil dans l'espace public influence également le confort thermique des personnes qui le fréquentent. L'environnement visuel nous procure une sensation de confort quand nous pouvons voir les choses et les personnes, nettement et sans fatigue, dans une ambiance agréable. Un bon éclairage doit garantir à l'utilisateur qu'il puisse exercer ses activités le plus efficacement possible, en assurant son bien-être et en lui apportant un certain agrément visuel. Le confort visuel est influencé par la quantité, la distribution et la qualité de la lumière. Le confort visuel relève, en outre, de facteurs physiologiques et psychologiques liés à l'individu tel que son acuité visuelle ou son état d'esprit.

La quantité de rayonnement solaire reçue par une surface en ville est généralement nettement inférieure à celle captée par une surface équivalente en zone rurale à cause de l'effet d'obstruction des bâtiments. La géométrie solaire résumée sous forme de diagramme détermine l'ombrage créé par les masques solaires.

La lumière naturelle ne se limite pas à ses apports directs, sa part diffuse, principalement liée à la capacité de vue du ciel, est loin d'être négligeable. La vue du ciel est tant un critère de confort psychologique pour l'occupant de l'espace public ou d'un bâtiment qu'un facteur influençant le rayonnement solaire diffus reçu au point pris en considération. Un facteur vu du ciel suffisant est non seulement garant d'un confort visuel diurne dans les espaces extérieurs mais aussi d'un facteur lumière du jour à maximiser à l'interface des façades des immeubles afin d'en diminuer les besoins en éclairage artificiel et donc en énergie. Les usagers des espaces ouverts apprécient spécialement les zones où le ciel occupe une plus grande partie du champ visuel que les bâtiments environnants.

Dès que le rapport hauteur/largeur d'un canyon urbain dépasse la valeur de 0.5, son noyau disparaît dans les espaces extérieurs, outre la vision directe du soleil, les problèmes d'éblouissement les plus courants proviennent de surfaces très réfléchissantes, le plus souvent orientées au sud, ou d'un contraste de luminance excessive entre des surfaces adjacentes. Nous devons dès lors faire attention à l'orientation des surfaces à réflexion spéculaire. Les facteurs de réflexion des surfaces (figure II .15) ont également un impact sur

l'ambiance lumineuse d'un lieu. Plus les facteurs de réflexion des matériaux de construction, du sol et du mobilier urbain sont élevés, plus l'ambiance ne sera pas lumineuse.

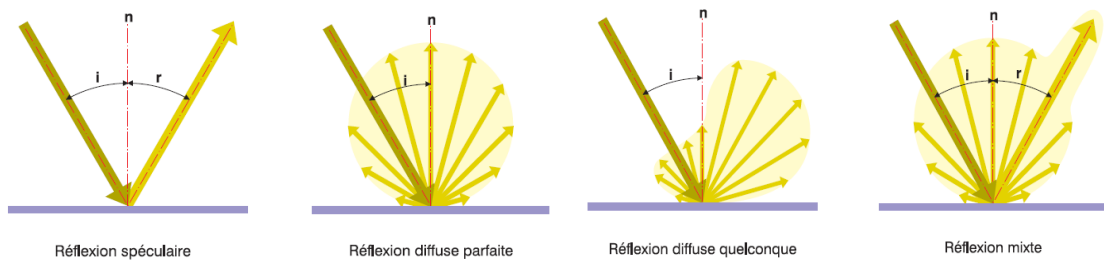


Figure II.15 : Mode de réflexion de la lumière sur une surface. Alain Liébard, 2003

Les photos ci-dessous (figure II.16) présentent deux exemples d'architecture contemporaine dont les coefficients de réflexion du sol et des façades dans le premier cas et les coefficients de réflexion du sol et des auvents dans le second cas sont élevés mettant en valeur la lumière naturelle.



Figure II.16 : Valeur de la lumière par la réflexion des matériaux, a gauche : réflexion du sol et des façades, a droite : réflexion des auvents. S.Reiter ,2007

Le confort visuel dépend d'une combinaison de paramètres physiques: l'éclairément, la luminance, le contraste et l'éblouissement, auquel s'ajoutent des caractéristiques propres à l'environnement et à la tâche visuelle à accomplir, comme la taille des éléments à observer, le temps disponible pour la vision, la mise en valeur du relief et du modelé des objets.

II.4.5 Les critères quantitatifs du confort par rapport aux intempéries

Le confort par rapport aux précipitations est un élément essentiel du confort des piétons. C'est malheureusement un paramètre qui est toujours négligé. Nous n'avons pu trouver aucune référence donnant des limites quantitatives par rapport à la quantité d'eau tombant par mois au-delà de laquelle des protections contre les intempéries dans les espaces publics deviennent indispensables pour un bon confort des piétons.

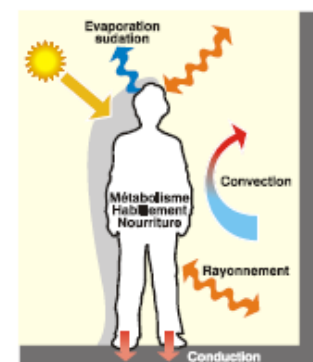
II.5 Méthode d'analyse du confort thermique et visuelle à l'extérieur.

II.5.1 Les ambiances thermiques à l'extérieur :

Le confort thermique de l'individu dépend de plusieurs paramètres qui peuvent être divisés :

- Paramètres relatifs à l'individu ;
- Paramètres relatifs à l'environnement.

Figure II.17 : Echange de chaleur d'un individu avec son environnement. Alain Liébard, 2003



II.5.1.1 Paramètres du confort thermique

II.5.1.1.1- Paramètres relatifs à l'individu

Ce paramètre est lié au métabolisme (charge thermique interne) et l'habillement

II.5.1.1.2- Paramètres relatifs à l'environnement

Les paramètres microclimatiques sont importants et jouent un rôle prépondérant, dans ce type d'échanges thermiques (charge thermique externe) ; quatre paramètres

microclimatiques importants : la température de l'air, la température moyenne radiante (des surfaces environnantes), humidité de l'air et vitesse de l'air.

Dans l'espace extérieur, en plus de tous ces paramètres, il faut prendre en compte les apports solaires (directs, indirects et diffus), le vent, la pluie... En extérieur, il est indispensable d'insister sur l'importance des rayonnements solaires réellement reçus par l'individu.

Le Rayonnement solaire

Pour le confort à l'extérieur, on peut distinguer le rayonnement de courtes longueurs d'onde (CLO) et le rayonnement de grandes longueurs d'onde (GLO)

Le rayonnement de courtes longueurs d'onde : correspond aux apports solaires (directs, indirects diffus et réfléchis) qui dépendent de la surface du corps soumis au rayonnement solaire plus importante pour la position debout qu'assise⁶⁶. La quantité du rayonnement est fonction de l'albédo du terrain et des surfaces environnantes.

Le rayonnement de grandes longueurs d'onde : correspond aux rayonnements des surfaces

1. Convection

Echange qui se produit entre le corps et l'air en mouvement ou l'eau exprimé (w/m²)
donnée par la relation :

$$C = h_c \Delta T \dots\dots\dots \text{Équation II.1}$$

h_c : le coefficient de transfert (W /m² °C)

ΔT : la différence moyenne entre la température de surface du corps T_s, considéré constante à 35°C et la température de l'air environnant T

2. Conduction

Echange qui se produit entre le corps et la surface, qui est négligeable de par la grande résistance des chaussures et la faible densité de l'air pour un individu debout.

Stathopolous et al (2004) démontre que la perception du confort thermique est fonction de l'intensité du rayonnement solaire (Figure II.18)

⁶⁶ - GIVONI B., L'homme l'architecture et le climat, édition, Le Moniteur, paris 1978.

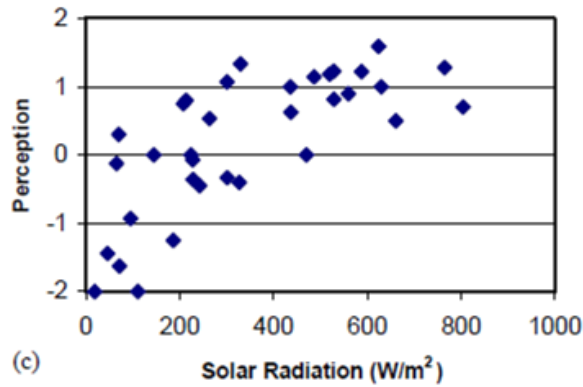


Figure II.18 : Relation entre le rayonnement solaire mesurée *in situ* et leur perception par les sujets (d'après Stathopoulos *et al*, 2004)

La température de l'air

La température moyenne radiante (MRT ou T_{mrt})

Quantité de chaleur englobant plusieurs modes d'échanges thermiques entre l'individu et son environnement par rayonnement de grande et courte longueur d'onde.

C'est le paramètre d'entrée météorologique le plus important pour le bilan énergétique humain par temps ensoleillé d'été. Elle a la plus forte influence sur les indices thermo physiologiques significatifs tels que la PET (température physiologique équivalente) ou le PMV (vote moyen prévisible)⁶⁷.

La MRT est une valeur moyenne des températures des surfaces solides (murs et sol) ou fictives (voute céleste) pondérées par des facteurs de forme⁶⁸.

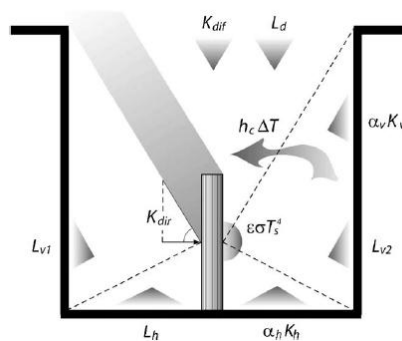


Figure II.19 : Echange énergétique d'un piéton avec son environnement. Pearlmutter.D et al, 2006

⁶⁷ - Matzrakis A., Rutz F. et Mayer H., Estimation and calculation of the mean radiant temperature within urban structures, 2006

⁶⁸ - RUROS Rediscovering the urban realm and open spaces, 2004. P63
- Pearlmutter D., Berlinera P., Shaviv E., Physical modeling of pedestrian energy exchange within the urban canopy. Building and Environment 41, 2006, pp.783-795.

L'humidité

L'effet de l'humidité relative comparativement à la température de l'air et la MRT est négligeable lorsqu'elle est comprise entre (30 % et 50 %) ⁶⁹. Mais dans les situations de transition d'un espace à l'autre, l'effet thermique résultant de différents niveaux d'humidité peut être deux à trois fois plus haut (Goulding et al, 1993⁷⁰, cité par Potvin, 1997). Une étude réalisée au centre ville de Montréal par Stathopoulos (2004) avait pour but d'étudier la perception et la préférence des paramètres microclimatiques définissant les conditions du confort thermique pour les usagers des espaces publics. Les résultats de cette recherche affirment que l'humidité relative influence la perception du confort thermique, et ce lorsque la température atteint des valeurs très élevées. La figure II.20 montre la relation entre les valeurs d'humidité relative mesurées *in situ* et leur perception par les sujets.

D'après le graphique, les sujets perçoivent l'air humide à partir de 38 % dans. Donc les valeurs moins élevées de l'humidité relative (inférieures à 38 %) n'influencent pas la perception du confort thermique⁷¹. Il est important de connaître la valeur d'humidité relative à partir de laquelle les usagers des espaces publics perçoivent l'air humide. Ces informations permettent de fixer l'étendue d'humidité relative qui doit être considérée dans l'analyse du confort thermique.

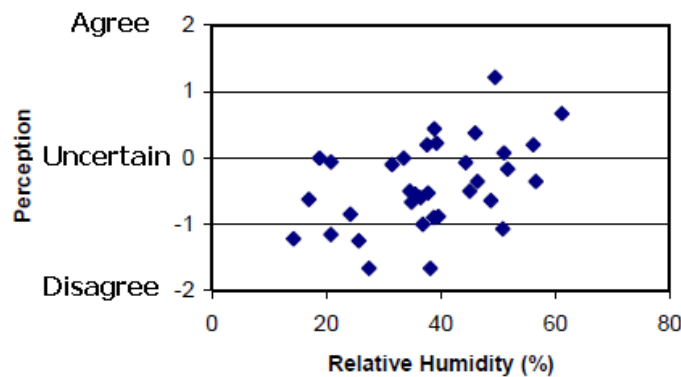


Figure II.20 : Relation entre l'humidité relative mesurée *in situ* et leur perception par les sujets, (Stathopoulos et al, 2004)

⁶⁹ - Szokzlay, S.V. *Introduction to architectural science: the basis of sustainable design*, 2004. Elsevier, Great Britain.

⁷⁰ - Goulding, J.R et Owen Lewis, J. *Energy in architecture: the European passive solar handbook*, A Batsford Book, (1992). London.

⁷¹ - Stathopoulos, T, Wu, H et Zacharias, J. *Outdoor human comfort in an urban climate*, *Building and Environment*, 2004 Vol. 39, pp.297-305.

Vitesse de l'air

Les effets directs du vent peuvent être divisés en deux catégories principales ; effets mécaniques et effets thermiques⁷²

Les effets mécaniques, selon les recommandations pour les piétons établies par l'échelle de Beaufort et Penwarden⁷³ Divise les vitesses urbaines du vent en trois catégories :

- Vitesse de vent acceptable qui est de moins de 5,4m /s ;
- Vitesse de vent désagréable plus de 7,5 m /s (marche difficile, vent siffle dans les oreilles);
- Vitesse de vent dangereuse au-delà de 14,6m/s (marche très difficile et dangereuse, risque de chute par terre).

Les effets thermiques, le critère de confort de 5 m/s du tableau II.7 peut être utilisé, si nous présumons que les gens adaptent leur comportement et leurs vêtements selon la saison et pour une température dépassant 10°C⁷⁴.

Tableau II.7 : Caractéristiques du critère 5 m/s. A= Acceptable, I= Inconfortable, TI= Très inconfortable / Dangereux .RUROS,2003

Activité	Emplacement	Caractéristiques		
		A	I	TI
Marche rapide	Chaussée, chemins	43%	50%	53%
Déambuler	Parcs, rues marchandes	23%	34%	53%
Debout / assis pour une courte période	Parcs, espaces urbains	6%	15%	53%
Debout / assis pour une longue période	Restaurants extérieurs	0.1%	3%	53%

II.5.1.2 Les indices de confort en espace extérieur

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

⁷² - Penwarden, A.D. and Wise, A.F.E. *Wind environment around buildings*. Department of the Environment BRE, Her Majesty's Stationery Office, London. 1975.

⁷³ - Mathai A., Rabadi N., Grosland N., Digital human modeling and virtual reality for FCS. Technical report N°.VSR-04.02, Chapter12. 2004.

⁷⁴ - Davenport, A.G. *An Approach to Human Comfort Criteria for Environmental Wind Conditions*, Swedish National Building Research Institute, Stockholm. 1972.

II.5.1.2.1- Le modele Klima Michel-PMV

Est un indice de confort purement physiologique qui a été remis en cause par plusieurs recherches expérimentales, par ce qu'il ne peut pas analyser l'exposition passagère⁷⁵, et d'une autre part il ne prend pas en considération la subjectivité du confort thermique. Nikolopoulou et al ont démontré l'écart entre sensations thermiques exprimées par les personnes, et la sensation thermique évaluée avec le PMV⁷⁶, voir figure II.21

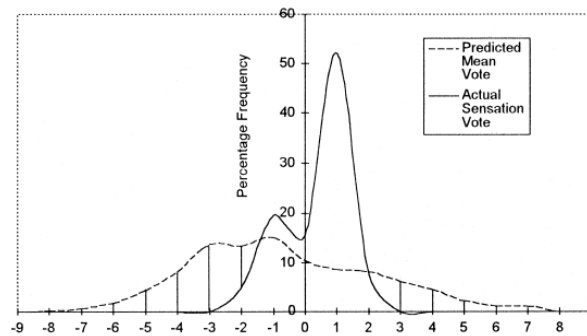


Figure II.21 : Distribution de fréquence de pourcentage pour le vote moyen prévisible et la sensation thermique. Nikolopoulou &al, 2001

II.5.1.2.2- Méthode Actual Sensation Vote (ASV)

L'analyse de la méthode « Actual Sensation Vote ». Dans le contexte du projet européen RUROS, les conditions de confort thermique extérieures ont été évaluées à travers des enquêtes sur terrain dans 14 villes européennes afin d'élaborer une nouvelle méthode simplifiée pour l'évaluation du confort thermique extérieur. Cet indice de confort thermique extérieur est basé sur près de 10 000 interviews réalisées dans les espaces publics de centres urbains⁷⁷. La sensation thermique effective d'un individu y est considérée égale à son choix sur une échelle de cinq niveaux allant de « très froid » à « très chaud ». L'échelle ASV (Actual Sensation Vote) utilisée comporte les cinq niveaux suivants⁷⁸:

- < -1,5 = très froid,
- 1,5 ~ -0,5 = froid,
- 0,5 ~ 0,5 = neutre,
- 0,5 ~ 1,5 = chaud,
- > 1,5 = très chaud.

⁷⁵ - Thorsson S., Lindqvist M., Lindqvist S., thermal bioclimatic conditions and patterns of behaviour in an urban park in Göteborg, Sweden, international journal of biometeorology, Berlin, 2006

⁷⁶ - Nikolopoulou M., Baker N., Steemers K., Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter. Solar Energy 70 (3): 227-235. 2001.

⁷⁷ - Nikolopoulou M., Lykoudis S., Kikira M., Thermal Comfort Models for Open Urban Spaces. In: CEE, Designing Open Spaces in the Urban Environment: a bioclimatic approach, Centre for Renewable Energy Sources. Grèce; 2004

⁷⁸ - Montéiro L.M., Alicci M.P., Calibration of outdoor thermal comfort models. PLEA, the 23rd conférence, Genève, Suisse, Septembre 2006.

Les paramètres microclimatiques mesurés pendant les interviews et utilisés dans l'élaboration d'un indice de confort sont : la température de l'air ($T_{air}, ^\circ C$), le rayonnement solaire global ($Sol, W/m^2$), la vitesse du vent ($V, m/s$) et l'humidité relative ($RH, \%$). Différents modèles ont été établis pour déterminer les valeurs de l'ASV à partir de ces paramètres microclimatiques, pour différentes villes correspondant à différentes zones climatiques. Ces modèles spécifiques sont donnés ci-dessous pour sept villes différentes:

- Athènes (Grèce):

$$ASV = 0.034 T_{air} + 0.0001 Sol - 0.086 V - 0.001 RH - 0.412 \quad (r = 0.27)$$

- Thessalonique (Grèce):

$$ASV = 0.036 T_{air} + 0.0013 Sol - 0.038 V + 0.011 RH - 2.197 \quad (r = 0.51)$$

- Milan (Italie):

$$ASV = 0.049 T_{air} - 0.0002 Sol + 0.006 V + 0.002 RH - 0.920 \quad (r = 0.44)$$

- Fribourg (Suisse):

$$ASV = 0.068 T_{air} + 0.0006 Sol - 0.107 V - 0.002 RH - 0.69 \quad (r = 0.68)$$

- Kassel (Allemagne)

$$ASV = 0.043 T_{air} + 0.0005 Sol - 0.077 V + 0.001 RH - 0.876 \quad (r = 0.48)$$

- Cambridge (Grande Bretagne):

$$ASV = 0.113 T_{air} + 0.0001 Sol - 0.05 V - 0.003 RH - 1.74 \quad (r = 0.57)$$

- Sheffield (Grande Bretagne):

$$ASV = 0.07 T_{air} + 0.0012 Sol - 0.057 V - 0.003 RH - 0.855 \quad (r = 0.58)$$

La disparité des formules obtenues pour des villes situées dans une même région climatique montre bien que la sensation thermique effective (ASV) dépend d'autres facteurs que la seule position géographique. En outre, les très faibles valeurs de corrélation des résultats obtenus pour chacune de ces villes suppriment tout intérêt à utiliser ces résultats spécifiques. Cette étude a abouti à l'élaboration d'un modèle de calcul général pour les espaces publics européens reprenant l'ensemble de leurs données :

$$ASV = 0.049 T_{air} + 0.001 Sol - 0.051 V + 0.014 RH - 2.079 \quad (r=0.78) \dots \dots \dots \text{Équation II.2}$$

T : température ($^\circ C$), Sol : rayonnement solaire globale ($w .m^{-2}$), V : vitesse vent (m/s) et HR : humidité relative (%)

Les résultats de cette recherche présentent également une impossibilité à interpréter les valeurs moyennes de l'ASV en terme de confort/inconfort. Dans ce projet, les chercheurs ont établi des courbes pour obtenir le pourcentage de personnes se sentant dans une situation confortable en fonction de cette échelle ASV pour chacune des villes étudiées et pour chaque saison. Ces courbes sont reproduites ci-dessous.

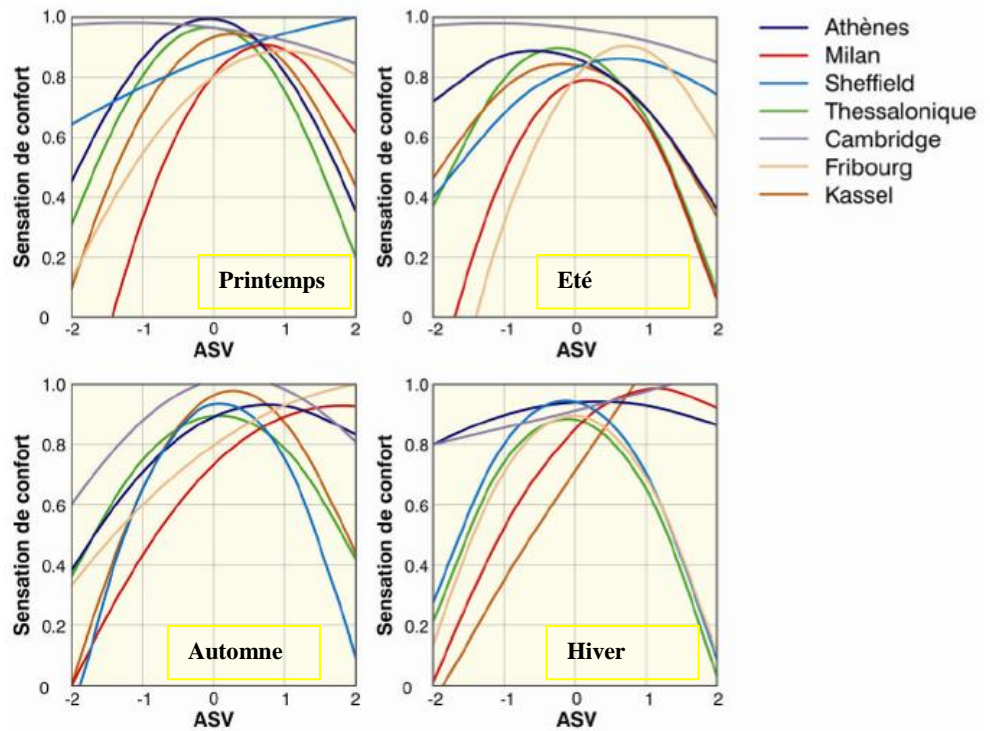


Figure II.22 : Pourcentage des personnes selon leurs sensations de confort selon l'échelle ASV (Nikolopoulou & al 2004)

Cette méthode ASV est basée sur l'hypothèse que toutes les caractéristiques d'adaptation des personnes sont prises en compte si on les interroge dans les espaces publics qu'ils fréquentent habituellement et selon leurs modes de vie.

D'après les auteurs du modèle Actual Sensation Vote, cet indice tient compte des effets psychologiques de l'adaptation des personnes puisqu'il est basé sur des interviews in situ avec des personnes qui sont là par leur propre choix, qui peuvent modifier leur habillement comme elles le souhaitent, rester ou quitter le lieu,...

Bien que la méthode Actual Sensation Vote prétend que les effets de l'adaptation physique et psychologique sont intrinsèques dans le modèle qu'ils ont développé, nous estimons en revanche qu'ils ont fait une erreur évidente : leur modèle n'évalue quantitativement que les paramètres donc pas de faire varier les paramètres humains physiques (habillement, activité) et psychologiques, pour lesquels des variables supplémentaires auraient été nécessaires.

Les graphes ci-dessous (figure II.22) représentent la variation saisonnière de l'habillement (en Clo) en fonction de la température (en °C), ils montrent que les personnes ont des comportements vestimentaires très différents d'une zone climatique à une autre pour une même saison et pour une même température de l'air.

Pour une température de l'air de 20°C, les personnes portent des habits de 0.6 à 1.2 Clo à Athènes mais seulement de 0.1 à 0.8 Clo à Kassel (voir graphe de la figure II.22).

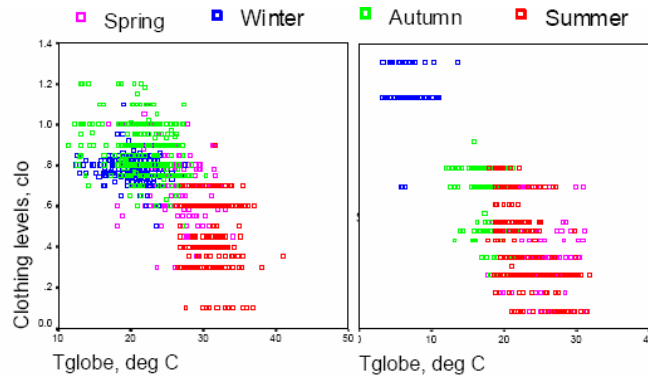


Figure II.23 : Types d'habillement selon la température à Athènes (à gauche) et à Kassel (à droite) (Nikolopoulou & al 2004).

II.5.1.2.3- L'indice PET -Température Physiologique Equivalente-

L'indice PET est la température d'un environnement avec ou sans rayonnement solaire, à laquelle, dans un environnement de référence, l'équilibre thermique de la peau et la température centrale sont les mêmes que ceux trouvés dans l'environnement donné⁷⁹. Cet indice est basé sur le modèle de bilan d'énergie MEMI (Munich Energy balance Model for Individuals), l'environnement de référence est déterminé par :

- La température moyenne radiante est égale à la température de l'air ($T_{mrt}=T_{air}$)
- Vitesse d'air (V)= 0.1m/s
- Pression de vapeur d'eau est fixée à 12hPa (HR=50% à $T_{air}=20^{\circ}C$)

Le tableau donne les classes de sensation indiquées par la PET

Tableau II.8 : Classe de sensation thermique indiquées par le PET ; Matzarkakis et al, 2006.

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

⁷⁹ - Höppe.P . The physiological Equivalent Temperature PET. In Proc of proceedings of the 15th International Congress of Biometeorology & International conference on urban Climatology,1999.

II.5.1.2.4- Température équivalente

L'étude réalisée par T.Stathopoulos et al (2004)⁸⁰ avait pour objectif de développer un indice climatique (Index Climat) et de définir les critères du confort thermique. Ces derniers sont basés sur la combinaison de l'impact dynamique, thermique, acclimatation (adaptation au climat local à travers le changement d'activités ou bien par le niveau d'habillement) et la perception subjective de l'environnement urbain. À cet effet une température équivalente a été définie comme indice de confort regroupant plusieurs paramètres climatiques tels que la température de l'air, le rayonnement solaire, l'humidité relative et la vitesse du vent. Cette température est exprimée par l'équation suivante :

$$T_e = (T_a - c_1V + c_2R_s) \times [1 + 0.03e^{0.07T_a}(RH - 50\%)] \dots\dots\dots \text{Equation II. 3}$$

Où:

- T_e* = Température équivalente (°C);
- T_a* = Température de l'air (°C);
- RH* = Humidité relative (%);
- R_s* = Radiation solaire (W/m);
- V* = Vitesse du vent (m/s); et
- c₁* = 4; *c₂* = 0.028; *e_r* = 0.5 (*c₁*, *c₂* et *a* sont des constantes).

II.5.1.2.5- La sensation thermique TS

La sensation thermique était mesurée sur une échelle de 1 (Très froid) à 7 (très chaud), et la sensation de confort est évaluée de (Très inconfortable à Très confortable) où la valeur 4 présente la sensation neutre⁸¹. Selon cette étude expérimentale, l'équation II.4 a été proposée :

$$TS = 1.7 + 0.118t_a + 0.0019I_H - 0.322v - 0.0073Hr + 0.0054t_s \dots\dots\dots \text{Équation II.4}$$

t_a : température de l'air, °C ; *I_H* : rayonnement solaire incident .m⁻² ; *v* : vitesse de l'air, m/s ; *Hr* : humidité relative de l'air, % ; *t_{s.ent}* : température moyenne de l'air superficielle de l'environnement, °C.

II.5.1.2.6- Le taux d'évaporation de la sueur régulatrice (E_{rsw})

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

⁸⁰ - Stathopoulos Theodore, Wu Hanqing, Zacharias John. Outdoor human comfort in an urban climate. Building and Environment 39 (2004) 297 – 305

⁸¹ - Givoni B., Noguchi M., Issues and problems in outdoor comfort research, in: Proceedings of the PLEA'2000 Conference, Cambridge, UK, July 2000.

prévue⁸². 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 zone⁸³. 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 (Equation II.5):

$$E_{rsw} = M - (\phi_{res} + E_{res}) - (\phi_{conv} + \phi_{GLO} + E_{dif}) + \phi_{CLO} \dots\dots\dots \text{Équation II.5}$$

II.5.2 Les ambiances visuelles à l'extérieur

Afin de mieux comprendre la complexité de la perception visuelle, nous allons rappeler ce qu'est le système visuel selon deux approches :

- une approche physiologique ;
- une approche psychologique ou cognitive.

⁸² - 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.

⁸³ - Vinet J. « Contribution à la modélisation thermo-aéraulique du microclimat urbain. Caractérisation de l'impact de l'eau et de la végétation sur les conditions de confort en espaces extérieurs. » Thèse de doctorat, Université de Nantes 2000, p. 245.

II.5.2.1 Approche physiologique :

Le système visuel est composé des deux yeux qui en sont les récepteurs et qui participent à l'observation de l'espace. Les nerfs optiques transmettent l'information visuelle de l'œil vers le cortex pour l'interprétation de ces informations⁸⁴ (Papin & Fuchs 2003).

L'œil reçoit la lumière émise ou réfléchiée par les objets dans l'espace et crée une image inversée des objets sur la rétine. Les rayons lumineux, avant d'atteindre la rétine, traversent les milieux transparents de l'œil, tels que la cornée, le cristallin, etc. qui jouent le rôle d'une lentille (Figure II.24).

Le cristallin permet de situer l'image perçue sur la rétine. La forme du cristallin peut varier afin d'assurer une image nette des objets proches ou éloignés. Ce phénomène s'appelle l'accommodation. Grâce à la convergence, les muscles des globes orbitaux permettent d'orienter les yeux vers l'objet observé dans l'espace afin de créer l'image sur la rétine. Ces deux phénomènes d'accommodation et de convergence sont liés et favorisent la perception de la profondeur de la scène observée.

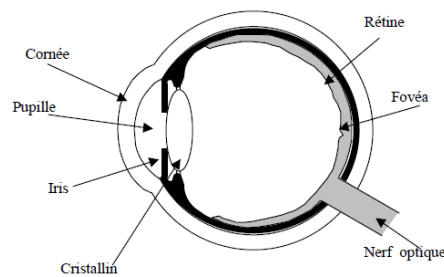


Figure II.24 : Structure anatomique de l'œil humain.

L'information de la rétine passe par trois niveaux rétiniens : les photorécepteurs, les cellules bipolaires et les cellules ganglionnaires. Le nombre de photorécepteurs est d'environ 100 millions distribués différemment sur la rétine selon deux types :

- Les cônes, concentrés au centre de l'œil (à la fovéa) sont moins sensibles à la lumière, mais distinguent les différentes longueurs d'onde (la couleur) ;

⁸⁴ - PAPIN J.P, FUCHS P. Les sens et les réponses motrices de l'homme. In : FUCHS P. (dir.) MOREAU G. (coord.). Le traité de la réalité virtuelle. 2e éd. Paris : Les Presses de l'Ecole des Mines. 2003. 2 tomes, 1:123-180.

- Les bâtonnets sont sensibles à la lumière et donnent une information en noir et blanc. Ils sont présents partout dans la rétine mais sont absents dans la fovéa.

Grâce aux cônes et aux bâtonnets, le système visuel peut s'adapter à l'intensité lumineuse. Les bâtonnets sont sensibles aux très faibles éclaircissements. En revanche, les cônes permettent d'augmenter la surface du détecteur de photons offrant une vision précise et éventuellement colorée avec une bonne luminosité.

La capacité de l'œil à saisir une information visuelle dépend de sa position relative dans le champ visuel. Le champ de vision est l'espace délimité par un œil, sans bouger la tête, est légèrement différent d'une personne à l'autre. La zone couverte par le champ de vision de deux yeux varie selon la position de la tête. Nous distinguons deux champs de vision:

- sans tourner la tête mais en tenant compte du mouvement de l'œil (15° pour chaque œil) : le champ de vision horizontal (90° côté temple et 50° côté nez) et le vertical (145° : 45° haut, 70° bas) (Figure II.25) ;
- en tournant la tête (un champ de vision total) : horizontal (360°) et vertical (140° haut, 170° bas).

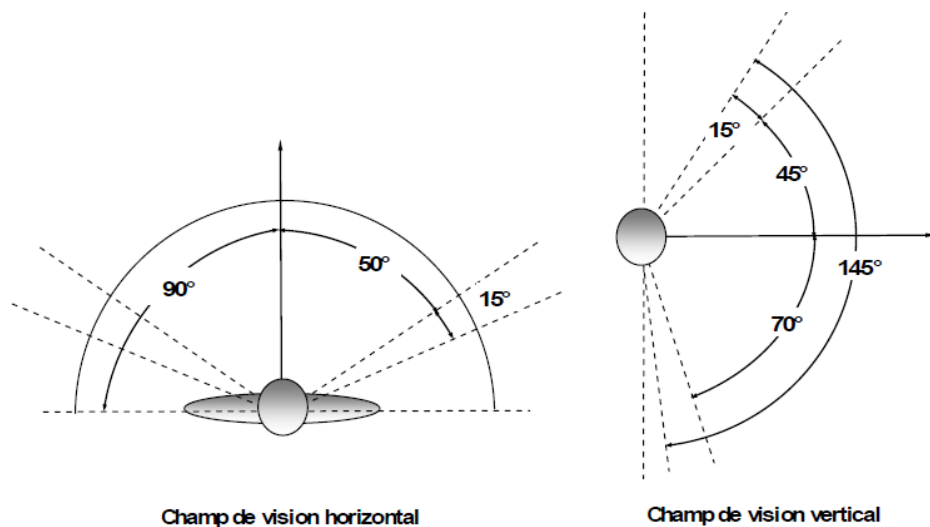


Figure II.25 : Champs de vision horizontale et verticale sans bouger la tête.

La capacité de l'œil à distinguer les détails des objets situés dans le champ de vision est indiquée par l'acuité visuelle : c'est le plus petit angle sous lequel deux points sont perçus, mais elle n'est pas homogène dans tout le champ de vision. L'angle de l'acuité visuelle varie selon l'éclairage et le contraste entre l'objet perçu et son environnement. Sa valeur moyenne est de ($1'$), et elle atteint sa valeur maximale autour de l'axe du regard

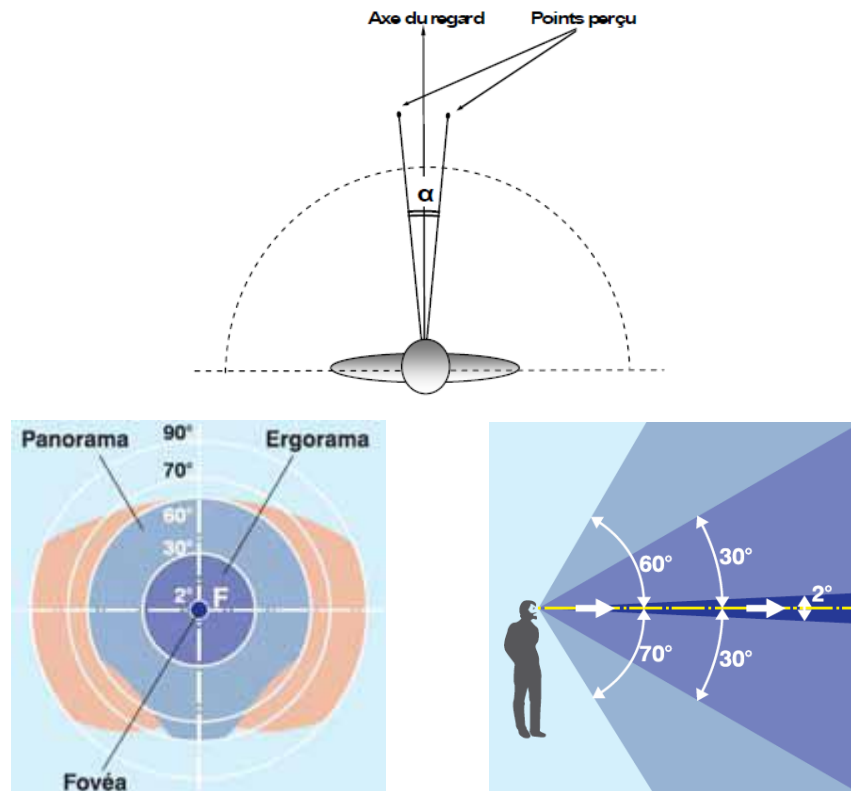


Figure II.26 : Acuité visuelle: l'angle α

Bien que le système visuel ait un rôle essentiel dans la réception et l'interprétation des informations visuelles (grâce à la sensibilité de la rétine, l'adaptation de l'iris au niveau d'éclairement, l'angle et la précision de vue, etc.), il existe d'autres facteurs qui influent sur la perception visuelle. Ce sont les facteurs subjectifs liés au vécu de l'homme. Arnheim (1976) confirme que les sens permettant de comprendre la réalité externe ne sont pas de simples instruments mécaniques, mais plutôt des instances actives de la perception. Ils sont comme des « ponts de la pensée visuelle ». L'esprit est enrichi au moyen des perceptions sensorielles qui servent à créer la connaissance.

Sensibilité de l'œil : si on compare la répartition spectrale de la lumière naturelle à la courbe de sensibilité de l'œil, il apparaît que l'œil humain est naturellement adapté à la lumière naturelle (figure II.27). La capacité de l'œil à saisir une information visuelle dépend de sa position relative dans le champ visuel (figure II.25).

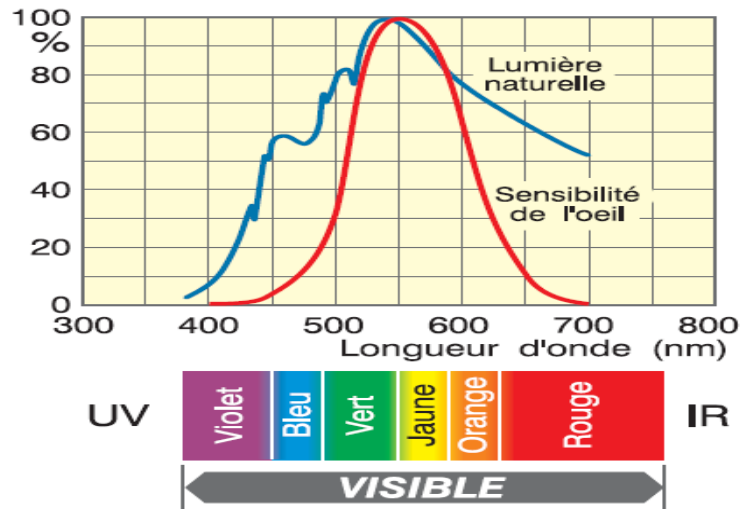


Figure II.27 : Sensibilité de l'œil, André De Herde, 2003

II.5.2.2 Approche psychologique (cognitive) :

L'œil est le capteur majeur d'information que possède l'homme. Mais c'est la vision, voire la perception visuelle, qui permet l'interprétation de cette information et la constitution des impressions sensorielles de natures variées tels que la forme, les couleurs, la distance et le mouvement. En effet, l'ensemble des processus mentaux (dont la perception fait partie) transforment les données sensorielles en représentation pour ensuite les mémoriser ; c'est ce que nous appelons la cognition. Le processus cognitif constitue donc un échange permanent entre l'homme et son environnement, cet échange peut être représenté par la boucle «*perception-cognition-action* » : l'homme perçoit ce qui se passe autour de lui, il décide de son action en fonction de sa perception et ses représentations, pour qu'il agisse enfin sur son environnement⁸⁵ (Figure II.28). En ce sens, la perception visuelle est admise comme une activité cognitive⁸⁶ qui construit une interprétation à partir de l'apport sensoriel. Autrement dit, elle est un processus de traitement de l'information visuelle.

⁸⁵ - Weil-Barais A. L'homme cognitif. Paris : Presse Universitaire de France. 1993. 600p.

⁸⁶ - Arnheim R. La pensée visuelle. Paris : Flammarion. 1976. 354p.

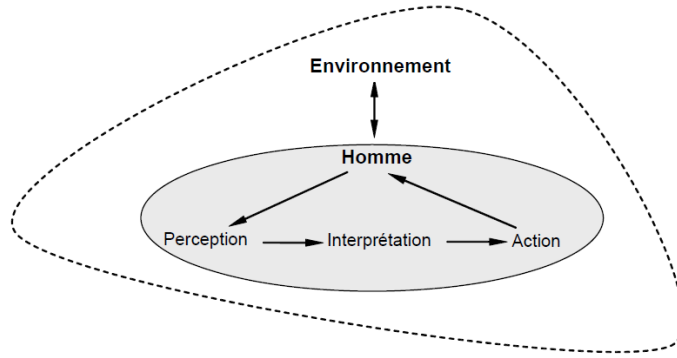


Figure II.28 : Les activités cognitives: boucle « Perception-Cognition-Action » ; Souha Tahrani, 2007

L'approche cognitive d'après Tahrani .S ,(2007) dans laquelle la perception est appréhendée comme le produit final d'une séquence mentale qui passe par trois niveaux : le premier est sensoriel (l'œil capte l'information), le second est perceptif (traitement d'informations, organisation des données) et enfin le troisième est cognitif (interprétation, représentation)⁸⁷. L'idée est synthétisée d'après S.Tahrani (2007) dans le schéma suivant (Figure II.29) :

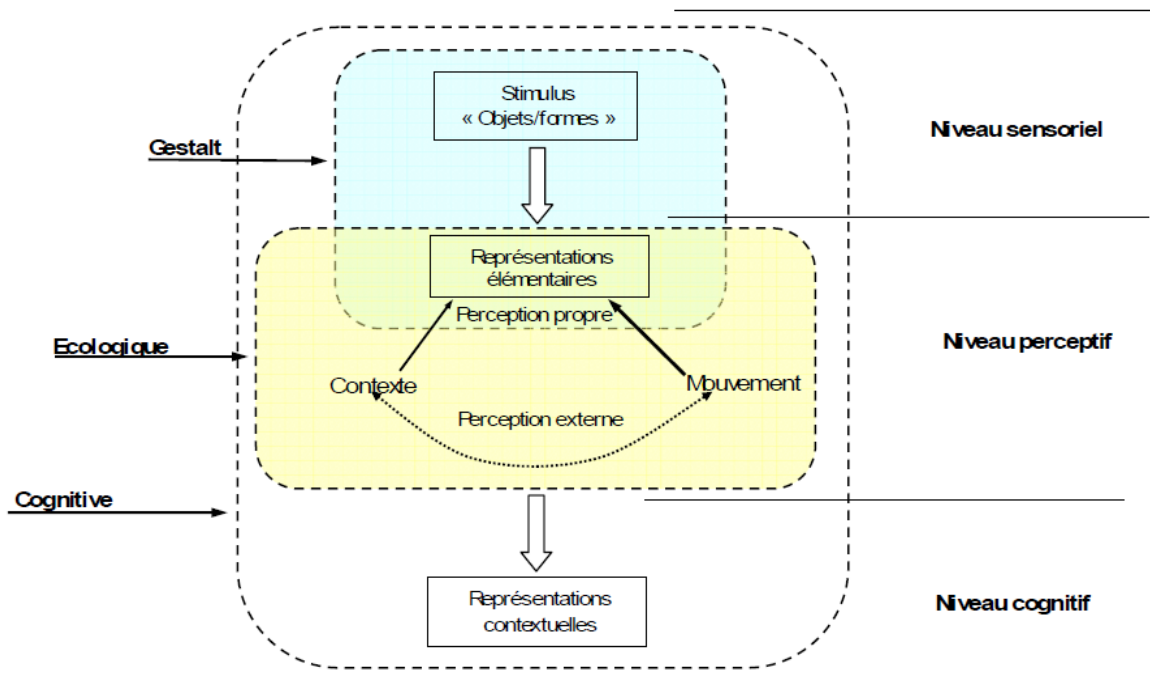


Figure II.29 : Schéma de la perception « visuelle » dans les approches psychologiques. Souha Tahrani, 2007

⁸⁷ - Tahrani Souha, *Vers un outil de réalité virtuelle pour l'analyse et la communication des ambiances lumineuses dans le projet urbain*, thèse de doctorat, Laboratoire CERMA, Université de Nantes, France, 2007.

II.5.2.3 Le confort visuel

Le confort visuel dépend d'une combinaison de paramètres physiques: l'éclairement, la luminance, le contraste et l'éblouissement, auquel s'ajoutent des caractéristiques propres à l'environnement et à la tâche visuelle à accomplir, comme la taille des éléments à observer, le temps disponible pour la vision, la mise en valeur du relief et du modelé des objets. Le confort visuel relève, en outre, des facteurs physiologiques et psychologiques liés à l'individu tel que son acuité visuelle ou son état d'esprit.

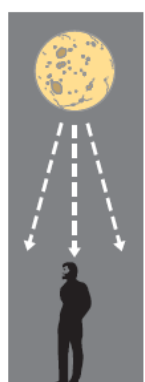


L'éclairement (E) d'une surface est le rapport du flux lumineux reçu à l'aire de cette surface. Son unité est le lux, équivalant à 1 lm/m².

$$E = \Phi / S \text{ (lx)} \dots\dots\dots \text{Équation II.6}$$

L'éclairement caractérise donc la quantité de lumière reçue par une surface. Cependant, cette grandeur est très difficilement perceptible par l'œil humain. De par ses facultés d'adaptation, celui-ci évalue en réalité des différences d'éclairement dans l'espace ou dans le temps. L'échelle des niveaux d'éclairement disponibles naturellement est très étendue: elle varie de 0.2 à 100 000 lx.

Le tableau et le dessin ci-dessous donnent quelques valeurs d'éclairement d'une surface horizontale extérieure⁸⁸.

Tableau II.9 : Valeurs d'éclairement d'une surface horizontale extérieure. (Reiter & De Herde 2001)

Source lumineuse	Eclairement (lx)	0,2 lux	5 000 - 20 000 lux	100 000 lux
Pleine lune	0.2			
Ciel couvert	5 000 à 20 000			
Ciel clair (sans soleil)	7 000 à 24 000			
Plein soleil d'été	100 000			

88 - Reiter Sigrid, De Herde André, L'éclairage naturel des bâtiments. Belgique : Ministère de la Région Wallonne, 2001.

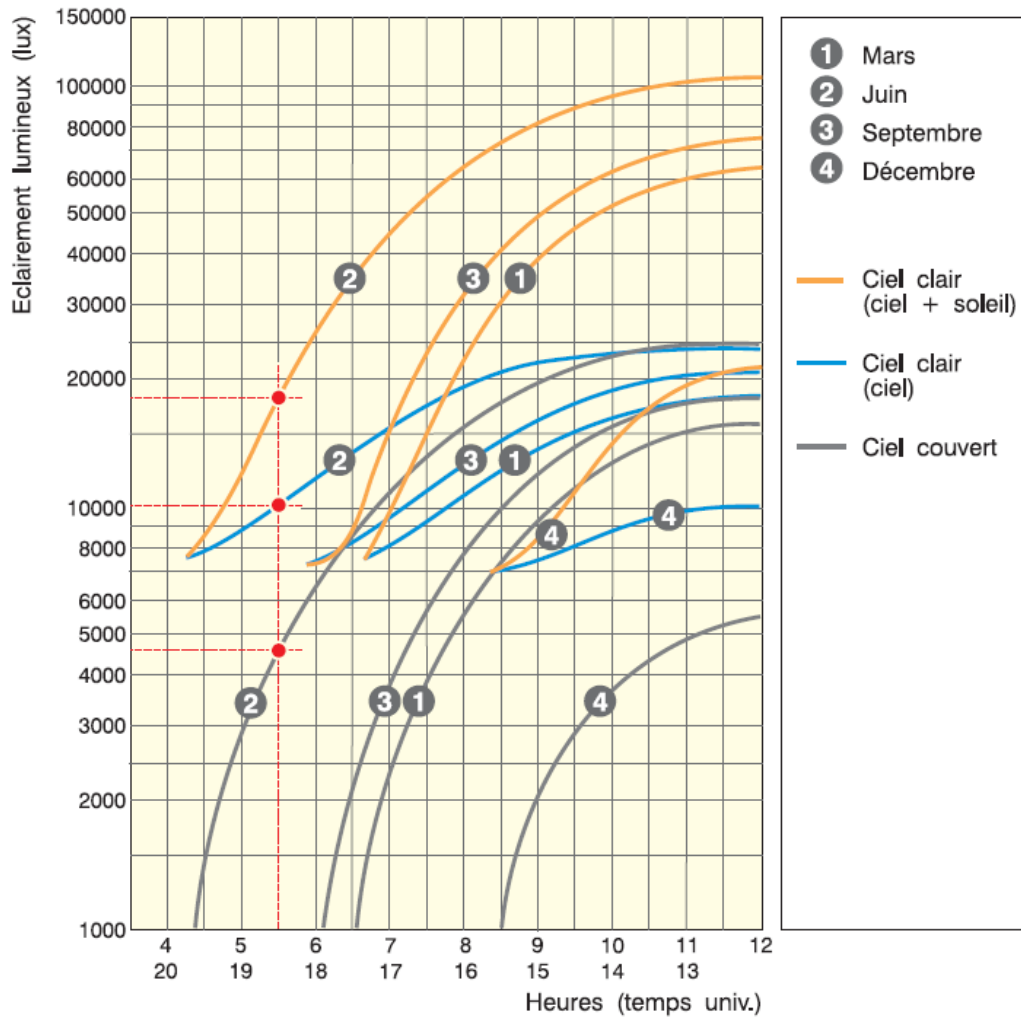


Figure II.30 : Evolution moyenne horaire de l'éclairement lumineux observé sur une surface horizontale, par ciel serein, par ciel clair sans soleil et par ciel couvert, pour quatre mois de l'année.

La figure II.30 donne l'évolution moyenne horaire de l'éclairement lumineux observé sur une surface horizontale, par ciel serein, par ciel clair sans soleil et par ciel couvert, pour quatre mois de l'année.

La **luminance** (L) d'une source est le rapport entre l'intensité lumineuse émise dans une direction et la surface apparente de la source lumineuse dans la direction considérée. La luminance s'exprime en candélas par mètre carré (cd/m²).

$$L = I / S_{apparente} \text{ (cd/ m}^2\text{)} \dots\dots\dots \text{Équation II.7}$$

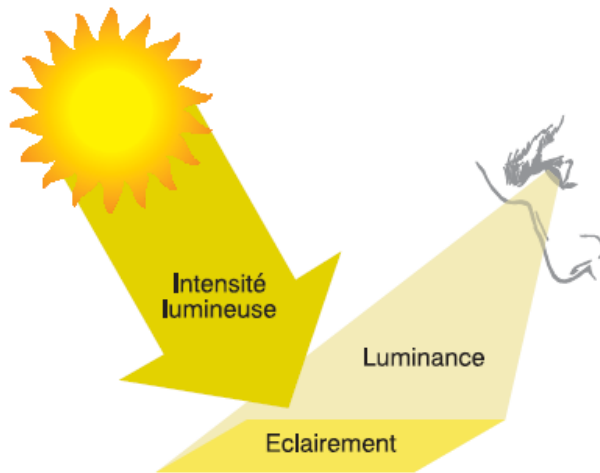


Figure II.31 : La luminance et l'éclairage, (Reiter & De Herdre 2004)

La luminance caractérise donc le flux lumineux quittant une surface vers l'œil de l'observateur. Elle s'exprime en candelas par m². La luminance est la grandeur photométrique qui correspond le mieux à la sensation visuelle de luminosité d'une surface. L'œil humain perçoit des niveaux de luminance allant de 0.001 cd/m² (vision nocturne où la perception des couleurs est impossible) à 100 000 cd/m². Par contre, l'œil n'est pas sensible à des variations de luminances inférieures à 20 % : il ne peut que comparer et non mesurer des sensations lumineuses. Le tableau ci-dessous donne des ordres de grandeur de luminances de différents environnements.

Tableau II.10 : de grandeur de luminances de différents environnements.
(Reiter & De Herde 2001)

<i>Environnement</i>	<i>Luminances (Cd/m²)</i>
Paysage nocturne (limite de la visibilité)	0.001
Paysage par pleine lune	0.01 à 0.1
Surface noir mate éclairée par 100lux	1.5
Parois intérieures éclairées	25 à 250
Surface blanche mate éclairée par 100lux	30
Paysage par ciel couvert	300 à 5 000
Paysage par ciel clair	500 à 25 000
Lune	2500
Surface blanche au soleil	25 000
Soleil	1.5 x 10 ⁹

La luminance d'une surface dépend de l'éclairement de cette surface, de son coefficient de réflexion et de sa brillance. Dans le cas d'une surface parfaitement diffusante, éclairée de façon uniforme, la luminance est proportionnelle au facteur de réflexion de cette surface et à l'éclairement qu'elle reçoit.

Le **facteur de réflexion** (α) d'une surface est la quantité d'énergie lumineuse qu'elle réfléchit par rapport à celle qu'elle reçoit. Une surface dont le facteur de réflexion est élevé réfléchit beaucoup la lumière et apparaît clair.

Tableau II.11 : Facteur de réflexion de quelques revêtements de sol et de différents matériaux de construction ;(Reiter & De Herde, 2001)

Revêtements de sol		Matériaux de construction	
Type	Facteur de réflexion	Type	Facteur de réflexion
Pelouse	0.18 à 0.23	Vitrage	0.08 à 0.4
Herbe sèche	0.28 à 0.32	Brique rouge	0.05 à 0.2
Sable	0.09 à 0.55	Béton neuf	0.4 à 0.5
Plan d'eau ($h_{\text{soleil}} = 40$ à 10°)	0.1 à 0.47	Béton vieux	0.005 à 0.15
		Ciment	0.2 à 0.4
Prairie	0.14 à 0.18	Ardoises	0.1 à 0.15
Arbre feuillu	0.15	Aluminium	0.55 à 0.75
Conifère	0.05	Tôles de zinc	0.08 à 0.2
Terre	0.26	Asphalte	0.08 à 0.12
Macadam	0.18	Nickel	0.48 à 0.63
Gravier	0.15 à 0.35	Cuivre	0.48 à 0.5
Neige	0.8 à 0.9	Chrome	0.52 à 0.7

Une surface dont le facteur de réflexion est faible réfléchit peu la lumière et apparaît sombre. Les tableaux ci-dessus donnent les valeurs du facteur de réflexion de quelques revêtements de sol et de différents matériaux de construction⁸⁹.

II.5.2.4 L'éblouissement :

L'éblouissement résulte de conditions de vision dans lesquelles l'individu est moins apte à percevoir les objets, suite à des luminances ou à des contrastes de luminances excessives dans l'espace et dans le temps. Nous distinguons l'éblouissement direct et l'éblouissement indirect:

- L'éblouissement direct est causé par la présence d'une source lumineuse intense au centre du champ de vision.

⁸⁹ - Reiter & De Herde, L'éclairage naturel des bâtiments. Belgique : Ministère de la Région Wallonne, 2001.

- L'éblouissement indirect provient d'une réflexion perturbatrice des sources lumineuses sur des surfaces spéculaires ou brillantes.

L'éblouissement est dû à une luminosité trop intense de surfaces placées dans la direction de la vision ou à un contraste lumineux trop important entre surfaces contiguës. Il place l'individu dans des situations de grands inconforts visuels.

La limite supérieure généralement admise pour la valeur de la luminance absolue d'une surface est de **1500 cd/m²**⁹⁰. Les valeurs de luminances maximales admissibles sont données dans la figure II.31 ci-dessous en fonction de l'angle de vision: plus l'angle formé par l'horizontale et la droite qui relie l'œil à la source lumineuse augmente, plus la valeur de luminance admissible croît, qu'il s'agisse d'éblouissement direct ou indirect.

Les arbres dans le champ de la vision peuvent constituer un écran efficace pour atténuer ou bloquer les lumières. L'efficacité de l'écran dépend de la hauteur, de la densité ainsi que de la situation de la végétation utilisée

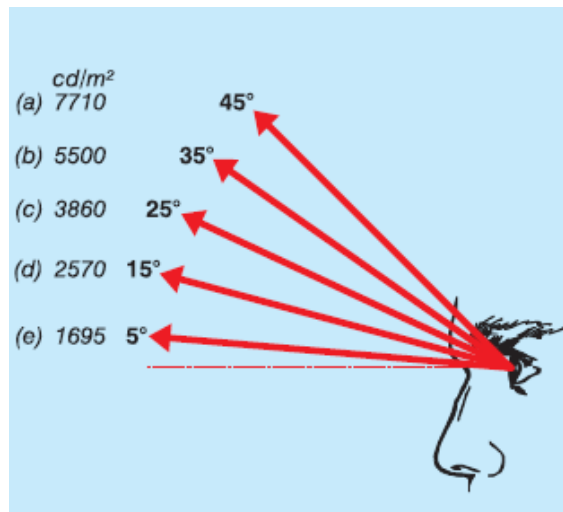


Figure II.32 : Valeurs de luminances maximales admissibles, Reiter&Liebard , 2001

Pour éviter de telles fatigues inutiles, il convient de ne pas dépasser certaines valeurs de contraste entre les différentes zones du champ visuel. Les valeurs maximales recommandées pour les rapports de luminance sont les suivantes (Tableau II.12):

⁹⁰ - Reiter S., De Herde A. (2004), L'éclairage naturel des bâtiments. Presses universitaires de Louvain, Louvain-la-Neuve (Belgium), p. 265.

Tableau II.12 : valeurs maximales recommandées pour les rapports de luminance, Ruros ,2004

Zones du champ visuel	Rapport de luminance maximal
Arrière-fond de la tâche visuelle /entourage	3/1
Arrière fond de la tache visuelle/champ périphérique	10/1
Source lumineuses/surfaces contiguës	20/1
Ensemble de l'espace	40/1

Les sources d'éblouissement dans un espace public urbain sont:

- la vision directe du soleil,
- la réflexion du soleil sur des surfaces spéculaires ou brillantes,
- un contraste de luminance excessive entre des surfaces adjacentes.

II.5.2.5 Relation entre le niveau d'éclairément et éblouissement dans les espaces public extérieurs

Il est communément admis que pour des tâches visuelles usuelles, les niveaux d'éclairément requis pour une perception visuelle confortable vont de 100 à 1000 klux selon la taille des détails géométriques qui doivent être discriminés (niveaux d'éclairément plus élevés pour des détails plus fins). Comme montré à la Figure II.32, les niveaux diurnes d'éclairément horizontal enregistrés sur des espaces ouverts dépassent presque toujours 1000 lux, même à l'ombre. Ceci permet d'accomplir aisément n'importe quelle tâche visuelle courante. Les niveaux d'éclairément peuvent devenir insuffisants à l'aurore ou au crépuscule, ou sur des zones très denses dans des canyons urbains profonds. La figure II.33 montre quatre causes possibles d'éblouissement sur des espaces ouverts urbains. Pour chaque image, des valeurs de luminances mesurées en certains points clés sont listées au Tableau II.10. Ces valeurs résultent à la fois des réflectances des matériaux et de l'éclairément naturel par les rayons solaires directs ainsi que la lumière diffuse provenant du ciel, du sol et des bâtiments environnants. Les contrastes de luminances observés dans ces situations présumées.

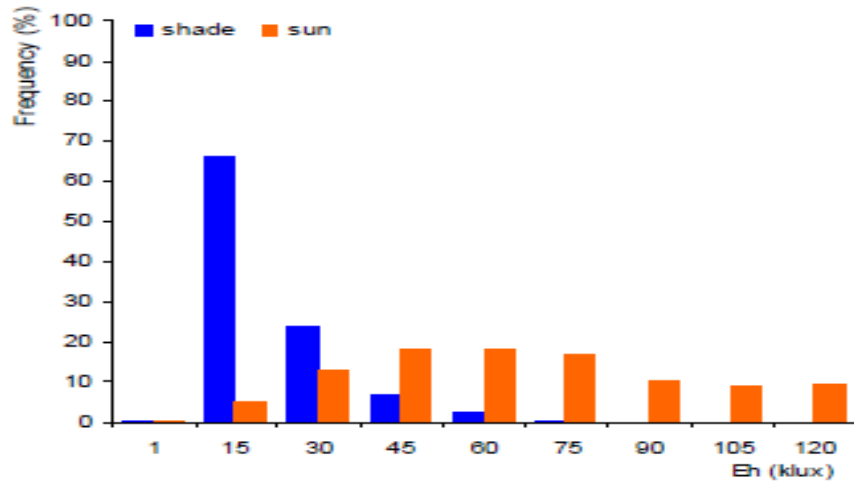


Figure II.33 : Distribution des niveaux d'éclairage diurnes observés sur deux espaces ouverts situés à Fribourg , (Compagnon & Goyette-Pernot, 2004)



Figure II.34 : Causes possibles d'éblouissement sur des espaces ouverts urbains (de gauche à droite):

- façades exceptionnellement claires
- façades exceptionnellement sombres
- mobilier urbain clair
- couverture translucide

(Compagnon & Goyette-Pernot, 2004)

II.5.2.6 Appréciation du champ lumineux par les usagers :

Pour évaluer l'appréciation du champ visuel par les gens, des questions spécifiques ont été posées :

- l'apparence lumineuse de l'espace, définie par un Vote de Sensation Lumineuse (LSV) évalué sur une échelle à 5 points allant de "très sombre" à "très clair",
- les conditions d'ensoleillement, évaluées sur une échelle à 3 points allant de "trop de soleil" à "je préférerais plus de soleil", et
- l'éblouissement par les surfaces environnantes.

Simultanément, quelques observations ont été faites pour étudier le comportement des gens en relation avec le champ lumineux.

La Figure II.34 montre les corrélations observées entre l'éclairage horizontal mesuré au même endroit où les personnes étaient interrogées et les réponses ou observations enregistrées. Chaque point des graphiques a été obtenu en moyennant les résultats de 30 interviews.

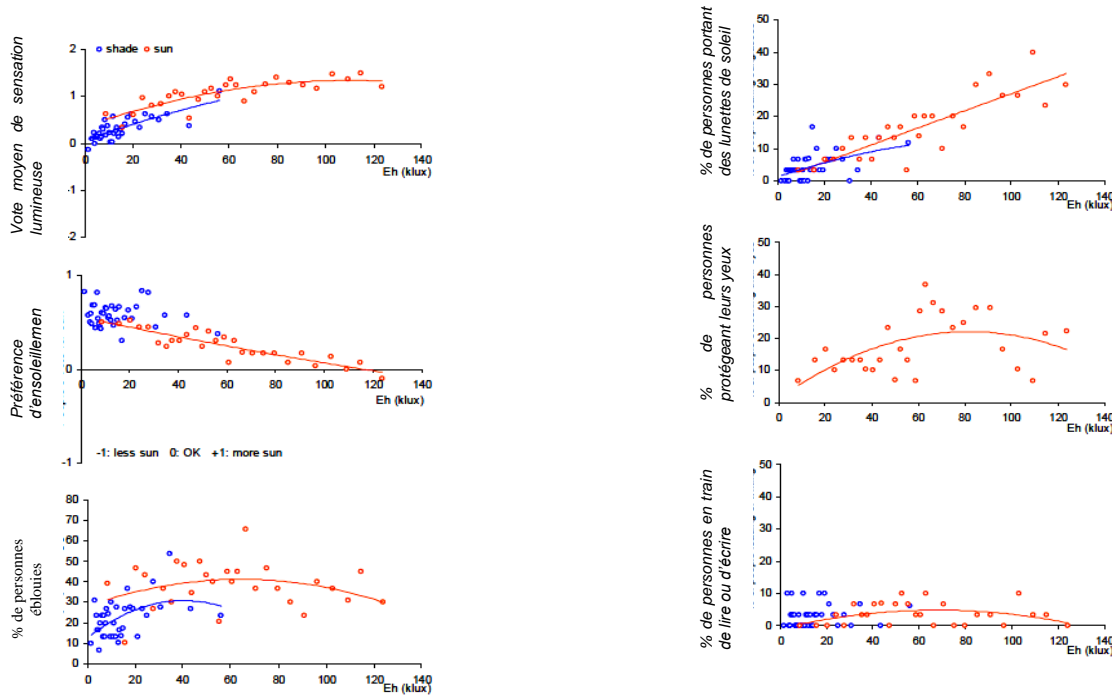


Figure II.35 : Corrélations empiriques observées sur deux espaces ouverts situés à Fribourg (CH). Le niveau d'éclairage horizontal (en klux) par rapport à la sensation de luminosité, à la préférence d'enseiement. (Compagnon & Goyette-Pernot, 2004)

Le premier graphique montre comment les gens jugent leur sensation de clarté. Etonnamment, même avec de très faibles niveaux d'éclairage, très peu de votes négatifs (côté sombre de l'échelle LSV) ont été enregistrés. Se tenir à l'extérieur semble être suffisant pour que les gens évaluent la clarté de l'environnement avec $LSV \geq 0$. La courbe de régression s'élève régulièrement jusqu'à $LSV = +1$ (signifiant "clair") pour des niveaux d'éclairage autour de 50 klux. Le LSV est aussi décalé vers le haut ou le bas par la présence ou l'absence d'enseiement à l'emplacement de l'utilisateur: pour un même niveau d'éclairage, le LSV est augmenté d'environ +0.2 unités à un emplacement enseiement par rapport à un emplacement ombré. Pour des niveaux plus élevés typiques de ciels clairs, la régression semble rapidement atteindre une valeur maximale constante autour de $LSV = 1.2$. Ceci dénote l'effet très efficace d'adaptation du système visuel. Bien que le

LSV moyen semble suivre une courbe lisse, les votes individuels sont en fait largement dispersés.

Une majorité de personnes jugent le champ lumineux comme "clair". Cependant, il y a toujours 40% ou plus de personnes votant autrement. C'est là un signe clair montrant que la perception de la clarté varie significativement selon les individus.

II.6 Conclusion

Ce chapitre a traité la notion du confort d'une manière générale. Ont été définis les facteurs de confort thermique et du confort visuel, ainsi que les mécanismes régulateurs de l'être humain en mettant la lumière sur les éléments déterminant son équilibre thermique. La présentation des indices de confort nous a éclairci la spécificité de chacun.

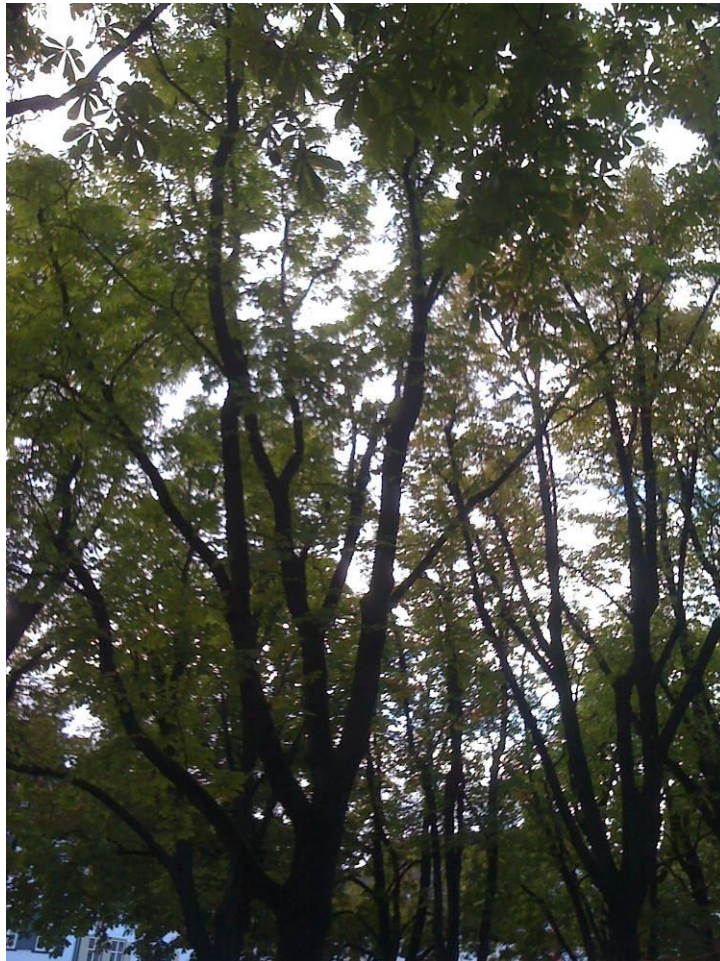
Cette étude nous a permis de constater que les critères physiologiques du confort des piétons doivent être définis séparément en fonction des différents types de confort : confort thermique, confort mécanique lié au vent, confort acoustique, confort visuel et confort lié aux intempéries. En revanche, les aspects qualitatifs du confort humain sont identiques pour ses différents types de confort physique.

En effet, les conditions microclimatiques peuvent varier significativement à partir d'une situation à une autre dans le même espace urbain et progressivement avec le temps. Pour cela l'évaluation globale d'une ambiance par des critères qualitatifs du confort, tels que la diversité des ambiances, la naturalité du lieu,etc., et des critères quantitatifs est nécessaire.

Une présentation d'indices de confort à l'extérieur nous a renseignés sur les spécificités de chaque indice. L'expression du bilan en fonction de la sueur est intéressante car les problèmes de confort que nous aurons à traiter dans les simulations seront liés à l'inconfort chaud. Ce chapitre nous a permis de recueillir des paramètres qu'on pourra utiliser pour évaluer une ambiance en espace extérieur (qualitativement et quantitativement), par rapport à certains facteurs tels que la température, l'humidité, le vent et le rayonnement solaire.

L'interaction entre espace public et facteur climatique, nous amène à réfléchir sur la question de la contribution effective de l'espace extérieur au confort microclimatique. Pour cela l'introduction des paramètres passifs tels que l'ensoleillement, la végétation, l'eau, la biomasse est souhaitable dans la conception.

Chapitre III



LA VEGETATION ET LA QUALITE DES AMBIANCES URBAINES
(Pour une ambiance raffinée)

III. LA VEGETATION ET LA QUALITE DES AMBIANCES URBAINES (POUR UNE AMBIANCE RAFFINEE)

« Le fond de l'âme est nature et la nature est vie créatrice. La nature, il est vrai, abat ce qu'elle a construit, mais c'est pour le reconstruire. »¹

« L'ombre la plus agréable est celle que nous donne la nature : La projection des arbres. Parce que les feuilles sont souples et qu'elles captent le moindre courant d'air, parce qu'elles laissent passer des interstices de lumière. Et parce que l'ombre de ces feuilles sur le sol est un domestiquée n'offre que rarement des abris généreux contre le soleil. L'ombre d'un bâtiment remplace celle des arbres c'est une ombre limitée, figée. »²

III.1 Introduction

La minéralisation des villes, en remplaçant la végétation et les zones humides par du béton et de l'asphalte contribue à l'apparition des nuisances à l'environnement et au bien être humain. Les grandes villes, en période estivale, développent de plus en plus fréquemment des problèmes microclimatiques tels que le stress thermique, les brumes et smogs, les pics de pollution et des consommations d'électricité pour la climatisation, lié au phénomène d'îlot de chaleur³. L'arborisation urbaine peut atténuer les effets de ce phénomène, comme cela a déjà été prouvé par de nombreux travaux de recherche menés qui démontrent l'incidence de la végétation sur divers phénomènes tels que la température ambiante, l'humidité ou les écoulements du vent, le bruit, la pollution de l'air, l'activité sociale...

L'urbanisation est responsable de la minéralisation des villes, et le manque de végétation modifie les conditions du microclimat locales.

La présence de végétations en milieu urbain est un facteur très important car les effets induits sont nombreux et concernent aussi bien des problématiques de confort et d'ambiance. Les éléments végétaux ont naturellement un rôle de climatiseurs passifs, puisque à la fois ils génèrent de l'ombre, absorbent les flux radiatifs et absorbent la chaleur sensible de l'air pour évaporer et transpirer de l'eau contenue dans leurs feuilles.

La végétation est l'ensemble des plantes sauvages ou cultivées qui poussent sur une surface donnée de sol ou dans un milieu aquatique. On parle aussi de « couverture végétale » dont les arbres font partie. Ils sont définis comme des végétaux ligneux ayant un tronc unique,

¹ - Jung Carl Gustav, Commentaire sur le mystère de la fleur d'or, spiritualités vivantes, Ed. Albin Michel, 1994.

² - Pascaline de Glo de Besses, Sandra Villet . Habiter la ville ombres, projets urbains. 2006 in www.designmarseille.org

³ - Robitu, M. Etude de l'interaction entre le bâtiment et son environnement urbain : influence sur les conditions de confort en espaces extérieurs. Thèse de doctorat, 2005. Ecole polytechnique de l'université de Nantes.

capable de se ramifier en branches, et dont la hauteur dépasse 6 à 7 mètres⁴. Diverses études ont montré qu'en milieu urbain les arbres portent plusieurs bienfaits à l'environnement et à la santé humaine, dont ce chapitre va parler.

La question du végétal urbain, fait appel à des connaissances provenant de diverses disciplines : climatologie, hydrologie, pédologie, agronomie et physiologie végétale. C'est dire la variété des préoccupations et les difficultés pour adapter ces connaissances aux besoins spécifiques du champ de l'urbanisme, par le biais du microclimat urbain, où le végétal est appelé à jouer un rôle important.

Dans les publications rassemblées, différentes recherches trouvent à propos du végétal urbain les problématiques suivantes :

- le rôle des arbres et des espaces verts dans le microclimat urbain général et notamment le rôle de ce dernier comme modérateur de l'îlot de chaleur ;
- le rôle des végétaux sur le microclimat des espaces urbains ;
- les effets en retour des conditions urbaines sur le développement des végétaux.

L'objectif du chapitre est de présenter le fonctionnement microclimatique du végétal urbain sous toutes ses formes, en s'appuyant sur une bibliographie compilée sur le sujet. Outre la valeur esthétique, la fonction paysagère, voire sociologique largement abordées⁵, l'utilisation des arbres permet de modifier le climat local et peut en améliorer les conditions de confort, et raffine la qualité d'une ambiance d'un lieu. Individuellement, les arbres agissent comme des masques solaires et des brises-vent, modifient les champs de rayonnement et les écoulements d'air autour des bâtiments. Cette partie du travail examine les effets des arbres à l'échelle qui nous intéresse celle du microclimat, aussi la possibilité de modifier l'environnement thermique et visuel d'un espace. Le rôle de la végétation dans le microclimat urbain et l'appropriation de l'espace à travers différentes études de cas réalisés à travers des recherches va être abordé. L'effet d'ombrage apporté par la végétation, cumulé avec le phénomène d'évapotranspiration dans la création des ambiances spécifique influence la perception et l'appropriation des espaces urbains par les usagers^{6&7}.

⁴ - CREAM, 2007 In: Lizeth Rodriguez Potes « Les effets des arbres sur les écoulements de vents en milieu urbain » master science et techniques des environnements urbains, CERMA 2007.pp11.

⁵ - Hastie, C. The benefits of urban trees: A summary of the benefits of urban trees accompanied by a selection of research papers and pamphlet, 2003. Warwick District Council.

⁶ - Emelianoff C. Les relations villes-nature : Zones d'ombre ou cécité 2003 ?, in- L évêque C, Van Der Leeuw S, Quelles natures voulons-nous ? Pour une approche socio-écologique du champ de l'environnement, Elsevier, Paris, pp.47-54.

⁷ -Marjory M.: Le rôle climatique de la végétation urbaine – Culture et Recherche n°113 automne 2007.

III.2 La végétation dans la ville

La végétation intervient dans l'espace public de différentes manières. Elle peut constituer un simple élément décoratif ou un élément d'amélioration de l'espace public (rue, avenue, place). Dans le cas des parcs, jardins et squares, elle devient le plus souvent l'argument central de l'aménagement. La diversité des espèces végétales utilisées et la diversité de leurs exigences offrent de multiples possibilités de combinaison et d'usage.

Diverses études prouvent que la végétation présente de nombreuses aménités réelles et perçues dans les espaces extérieurs urbains. Il est important de souligner l'importance de la végétation en ville pour le développement durable d'un quartier. La végétation dans les espaces publics assure de nombreux rôles quelles que soit le type de plantation (gazon, parterres, buissons, arbustes ou arbres) :

- amélioration de la biodiversité, en servant d'abri et de nourriture pour les animaux et plantes ainsi que par la création de corridors écologiques.
- amélioration de la qualité de vie, grâce à sa régulation bioclimatique, à l'embellissement des lieux qu'elle génère, au rappel du cycle des saisons et à une légère atténuation du bruit.
- amélioration du cycle de l'eau en absorbant l'eau de pluie, ce qui limite les eaux de ruissellement.
- limitation de la pollution de l'air, par son rôle de filtre à poussière et son absorption de CO₂.
- amélioration des fonctions sociales et récréatives.
- participation aux éléments structurants des projets urbains....

III.2.1 Dimension symbolique et esthétique

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 de vie, il évoque des concepts comme la liberté et la justice⁸. L'arbre est donc un élément de référence et un symbole historique. Certains courants idéologiques ont mis en avant, parfois de manière excessive, les qualités de la végétation en ville. La végétation représente « l'aspirine de la ville » d'après les « rousseauistes » pour lutter contre les traumatismes psychologiques et esthétiques. Pour les défenseurs de « l'hygiénisme » la végétation est le filtre naturel qui supprime la

⁸ - Larus. D. L'arbre dans la ville. Paris. Edition Sang de la terre et foncier Conseil, 1996.

pollution.⁹ Les variations de couleurs, de formes, de textures et de densités sont des éléments qui enrichissent le cadre de vie urbain et renvoient aux notions de paysage et de nature. La diversité de formes permet de sculpter l'espace public, et la densité de la masse foliaire intéresse plutôt la notion de transparence vis-à-vis de la lumière. Aussi, 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'ombres et en assurant des transitions entre différentes zones.

III.2.2 Qualité associés à la végétation

Les qualités de la végétation sur le milieu urbain sont nombreuses, d'ordre esthétique, perceptives par les qualités visuelles et psychologique, microclimatique..... En effet, la présence de végétations modifie l'impact du rayonnement solaire, la température et l'humidité de l'air (Figure.1). Les feuilles absorbent une grande quantité du rayonnement solaire incident et ont une faible transmissivité à l'égard de ce rayonnement (10%). Elles en utilisent une petite partie pour la réaction chimique de photosynthèse, et la plus grande part pour l'évaporation de l'eau des feuilles exposées au soleil.

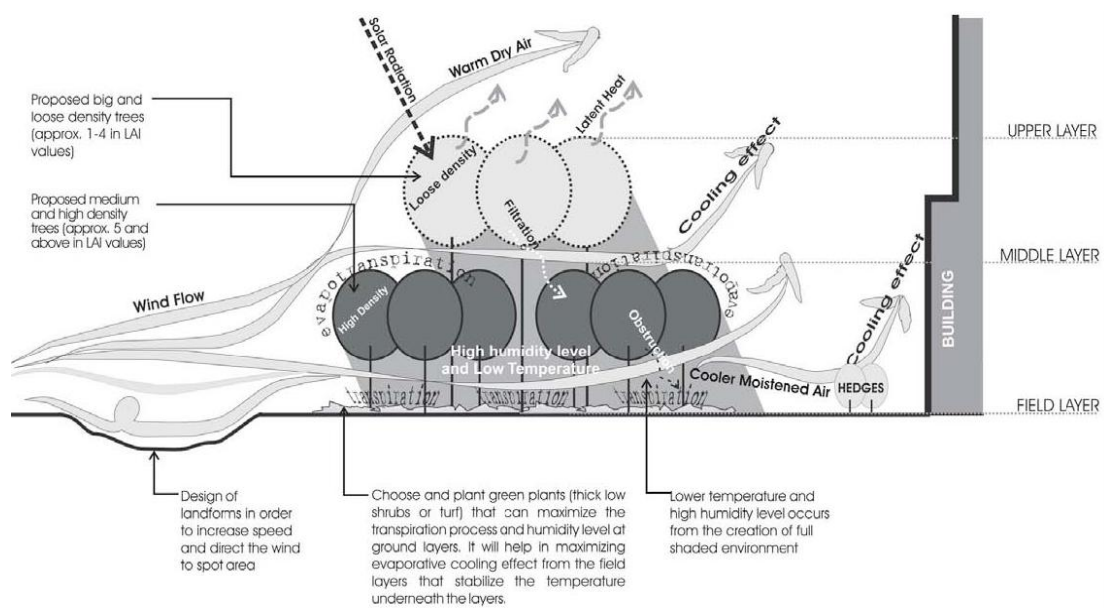


Figure III.1 : Processus de modification des composantes microclimatiques basé sur la théorie de la plantation pour une HQE dans l'espace urbain. M.Sreetheran, E.Philip, M.Siti Zakiah ; 2006¹⁰

⁹ - Vinet. J. Contribution à la modélisation thermo-aéroluque du microclimat urbain. Caractérisation de l'impact de l'eau et de la végétation sur les conditions de confort en espace extérieurs. Thèse de doctorat, Nante:Université de Nantes, novembre 2000, 245p

¹⁰ - Sreetheran M., Philip E., Zakiah M.Siti. A historical perspective of urban tree planting in Malaysia. Unasylyva 223 Vol 57 pp 28-3 2006

III.2.3 Dimension structurelle et composition urbaine

Les arbres peuvent constituer des volumes comparables aux structures architecturales¹¹. Une grande variété d'arbre existe. Larue¹² propose neuf types de formes (Figure III.2) et (Figure III.4). Les dimensions des arbres sont des paramètres importants à contrôler, aussi bien par son occupation au sol que sur l'ombre qu'elle génère (annexe IV). A partir des indications dimensionnelles, le profil des arbres peut être modélisé dans les logiciels de simulation ayant une interface graphique telle que Solène et Townscope.

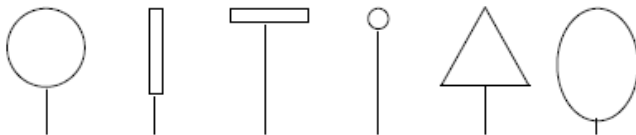


Figure III.2 : Différents ports d'arbres. J. Teller¹³

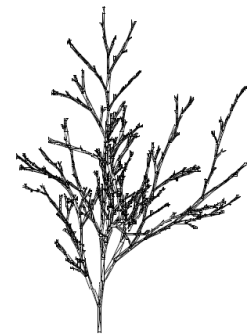


Figure III.3 : Perspective d'un arbre en cépée "généralisé" par la méthode de Viennot et al. (1989)

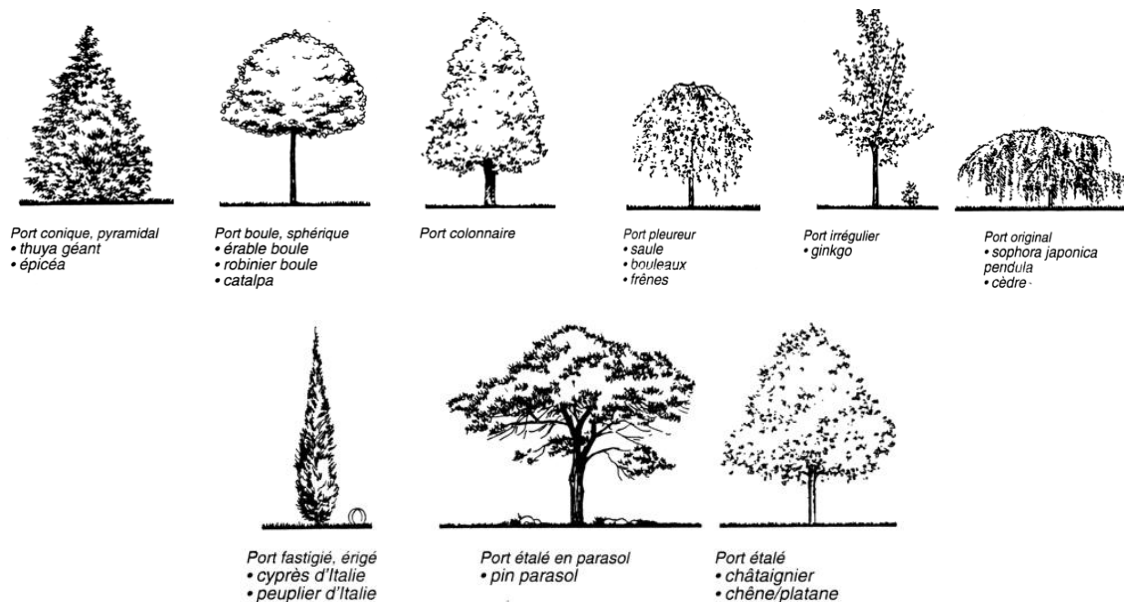


Figure III.4 : Ports d'arbre en ville [Larue 1996]

¹¹ - Cabanel, J., Stufulesco, C. L'urbanisme végétal. I.D.F diffusion, 1993.

¹² - Larus, D. L'arbre dans la ville. Paris. Edition Sang de la terre et foncier Conseil, 1996.

¹³ - Teller, J. Evaluation de l'impact de la végétation sur le Rayonnement énergétique (aide à la conception architecturale et urbanistique) <http://www.orbi.ulg.ac.be/bitstream/2268/28982/1/Végétation.pdf>.

Le groupement et la composition des arbres entre eux ont parfois pour fonction de créer des effets spatiaux, grâce à l'espace entre arbres (figure 5) et à la forme des arbres (figure 6)

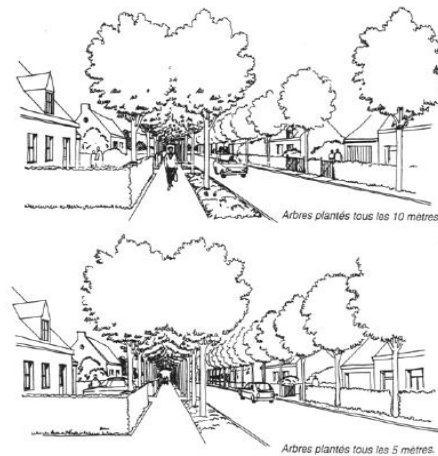


Figure III.5 : Modification de l'espace grâce à l'espace entre les arbres. Larue 1996

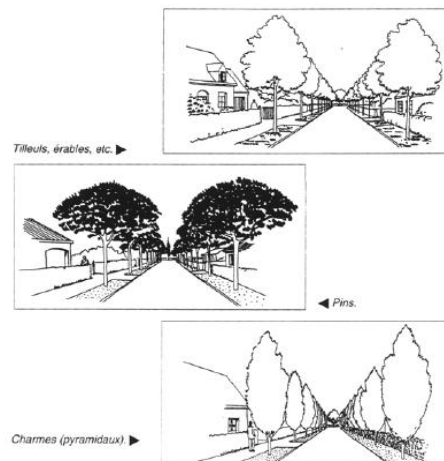


Figure III.6 : Modification de l'espace grâce à la forme des arbres. Larue 1996

Les arbres 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 de repérages¹⁴. Pour l'urbaniste, l'architecte ou le paysagiste, le choix du type de végétal et la disposition de celui-ci se justifient par des qualités ; élément structurant, composition crée une continuité, variation de couleurs de formes et de textures et de densités enrichissent le cadre de vie urbain et renvoient aux notions de paysage et de nature, joue le rôle psychologique et esthétique, met en valeur en créant des jeux d'ombre et en assurant des transitions entre différentes zones.

¹⁴ - Vinet. J. *Contribution à la modélisation thermo-aéraulique du microclimat urbain. Caractérisation de l'impact de l'eau et de la végétation sur les conditions de confort en espace extérieurs*. Thèse de doctorat, Nante:Université de Nantes, novembre 2000, 245p

III.2.4 L'utilisation des arbres dans le projet urbain

Pour l'urbaniste, l'architecte ou le paysagiste, le choix du type de végétal et la disposition de celui-ci se justifient par les qualités précédemment décrites. Nous pouvons citer ; les plantations d'arbres, le long des avenues et les boulevards, suivant un modèle de grille et une structure en alignement (tableau III.1)

Tableau III.1: Relation urbanisme végétation. Stefulesco, 1993

Dispositifs urbains	Type ou caractéristique	Végétation
Places	Anciennes	Peu ou pas plantées Arbres monumentaux
	Classiques	Dépourvues de végétation à l'origine puis plantées
	A ordonnancement végétal	Plantation en trame régulière
	Places-jardins square	Ambiance de nature, lieux de dépaysement et de tranquillité
Rues	Voies de circulation d'une largeur inférieure à 20m	Plantation latérale (espace privé). Végétation d'emprunt. Traitement des clôtures, haies
Ruelles, cours, sentes	Réseau d'accès aux quartiers de faible densité	Végétation plus ou moins décidée, pergolas, plantes décoratives
Ceintures vertes	Promenades associées aux enceintes	Ligne 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	Ligne 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 30m de hauteur, symétries longitudinale
Quais, rives	Espaces à proximité de l'eau (rivière, fleuve, lac, océan)	Plantation d'alignement. Arbres isolés ou bosquet
Esplanades	Composition monumentales liées à un paysage exceptionnel	La végétation a un rôle d'accompagnement en cadrant la vue
Jardins	Classiques	Plantation régulière, symétrique
	Pittoresques	Rappel de la nature et de la campagne
Espaces vert	Formes d'occupations du sol qui s'accompagnent de présence végétale	Surfaces plantées, espaces libres, ambiances végétales isolées de la circulation et la ville, terre-plein, engazonnés, airs de jeux

III.3 La végétation en tant qu'élément de régulation du microclimat

La minéralisation du sol et donc la diminution de la présence végétale est considérée comme une des principales causes de l'îlot de chaleur urbain. La modification du microclimat urbain par la présence de parc a été mise en évidence à partir d'imagerie satellite, de thermographie, de simulation. Les modèles "green CTTC"¹⁵ ou "ENVI-met"¹⁶ ont notamment été développés dans cette optique.

De nombreuses études utilisent des modélisations climatiques des milieux urbains pour étudier l'effet de la présence de parcs et d'arbres en ville afin de calculer les effets indirects sur la consommation énergétique des bâtiments [Akbari et al.]¹⁷; [Giridharan et al.]¹⁸, ou encore pour évaluer l'efficacité de politiques de réduction de l'îlot de chaleur urbain [Akbari et Konopacki]¹⁹.

Les travaux de thèse successives de Vinet [2000]; Robitu [2005]; Bouyer [2009], modélisent l'effet de la végétation dans des couplages thermo-aérodynamique de SOLENE avec des codes CFD. À partir des travaux de Robitu, dans SOLENE, la surface extérieure des toits végétalisés est modélisée comme une surface semi-transparente qui laisse passer une partie du rayonnement solaire et qui est opaque au rayonnement thermique. Les échanges thermiques avec l'air se font dans les cellules périphériques. Sur tout le volume de l'arbre, la résistance stomacale est constante et l'approvisionnement en eau assuré.

Au niveau des écoulements d'air, les cellules incluses dans le volume de l'arbre sont des puits ou des sources pour les grandeurs aérodynamiques. La spécificité du couplage SOLENE/CFD est de prendre en compte les interactions entre les effets thermiques et aérodynamiques par une approche itérative.

Les effets de la végétation sur le microclimat peuvent être résumés :

- l'effet d'ombrage ;
- la réduction du rayonnement absorbé par les surfaces minérales ;
- l'évapotranspiration ;
- la modification de l'écoulement d'air ;

¹⁵ - Shashua-Bar and Hoffman, 2002. The Green CTTC model for predicting the air temperature in small urban wooded sites. *Building and Environment* 37 (2002) 1279 – 1288

¹⁶ - ENVI-met

¹⁷ - H. Akbari, M. Pomerantz and H. Taha . Cool Surfaces And Shade Trees To Reduce Energy Use And Improve Air Quality In Urban Areas. *Solar Energy* Vol. 70, No. 3, pp. 295–310, 2001

¹⁸ - Giridharan R., Lau S.S.Y., Ganesan S., Givoni B.. Lowering the outdoor temperature in high-rise high-density residential developments of coastal Hong Kong: The vegetation influence. *Building and Environment* 43 (2008) 1583–1595.

¹⁹ - Akbari H., Konopacki S.. Calculating energy-saving potentials of heat-island reduction strategies. *Energy Policy* 33 (2005) 721–756

Parmi les qualités qui peuvent être attribuées aux végétaux, nous retiendrons le rôle de régulation des excès climatiques (ombrage d'été, protection contre les vents forts, humidification de l'air...) pour le confort thermique le rôle microclimatique du végétal dans les espaces extérieurs et à son impact sur les ambiances microclimatiques. On peut dès lors dénombrer un certain nombre d'effets intéressants:

- Effet d'oxygénation de l'air ambiant
- Effet de fixation des poussières transportées par le vent
- Effet d'humidification de l'air ambiant
- Effet de régulation hygrothermique en période chaude
- Effet de dosage de la lumière
- Effet d'écran thermique

III.3.1 Importances de la végétation

Plusieurs études ont montré qu'en milieu urbain le végétal joue un rôle primordial dans l'équilibre des écosystèmes (Figure III.7). Il porte plusieurs bienfaits à l'environnement et à la santé humaine, dont on peut citer les suivants :

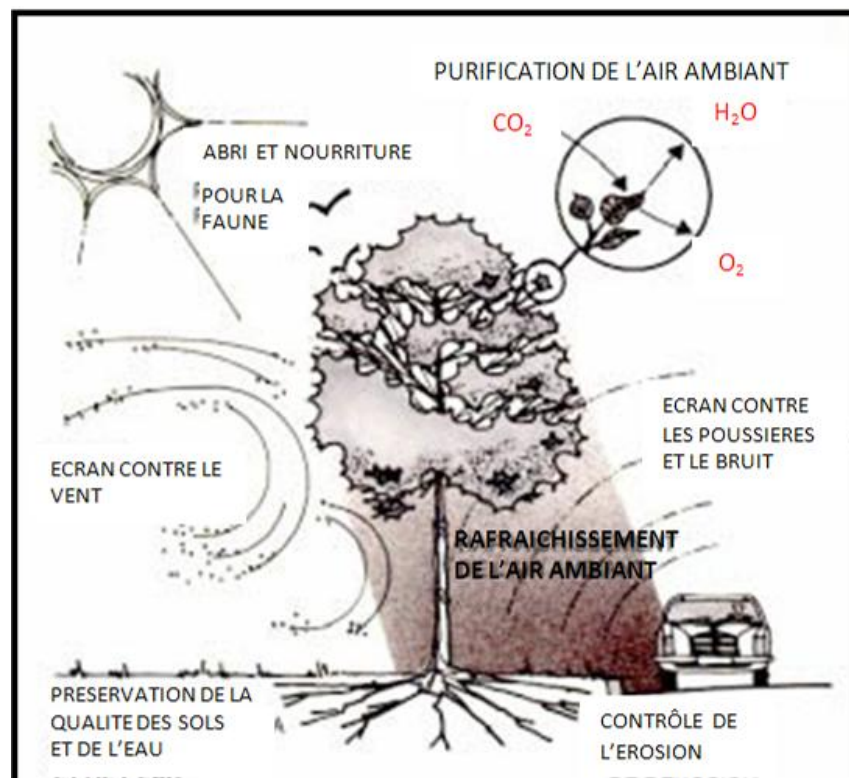


Figure III.7 : Les bienfaits écologiques de la présence d'arbres en milieu urbain ;
Source : www.sodaq.qc.ca/lectures/bienfaits-arbres.html

III.3.1.1 Bienfaits économique

Une étude faite par l'université de Washington a établi un certain nombre de bienfaits en termes des usages zones d'affaires avec arbres (Wolf, 1998, Wolf, 1999 et Wolf, 2003). Ils ont reporté une volonté pour payer plus pour se garer en parkings aménagés. L'étude a rapporté la volonté de payer une moyenne d'environ 11% plus pour des marchandises dans une zone aménagée en parc d'affaires qu'une zone non aménagée en parc. En plus, l'attraction d'un environnement est un facteur important en attirant l'investissement. Les consommateurs et les entreprises se sont avérés pour favoriser des zones avec haute couverture arborée.

III.3.1.2 Valeurs de propriété

Diverses études à l'État uni ont analysé l'effet de la couverture arboré sur le prix de vente des maisons. Ils ont constaté que les valeurs des propriétés dans des secteurs aménagés avec arbre, peuvent être jusqu'à 6% supérieurs à celles dans les secteurs similaires mais sans arbres²⁰.

III.3.1.3 Bienfaits sociaux

La végétation et les espaces verts jouent un rôle d'importance sur la santé mentale des individus. En fait, ils peuvent être des lieux de rencontre, de repos, d'activités physiques et de plein air. Ils représentent (*une certaine proportion d'éléments naturels indispensables à l'équilibre psychique des individus ... En effet, chaque individu a besoin d'un espace vital, d'un espace d'air libre autour de lui pour ne pas sentir envahi*)²¹. De plus, il a été démontré que la présence d'arbres et de boisés urbains permet de réduire le stress et d'améliorer la santé physique des individus²².

Une recherche dans un secteur privé au centre de Chicago, a suggéré qu'une couverture appropriée de végétation peut mener à réduire les taux de crimes²³. Ils ont aménagé un des secteurs avec une architecture et une population relativement homogène mais avec différentes couvertures de végétation. Ils ont remarqué que dans les aires de haute couverture

²⁰ - Wolf, 1998 in.POTES L.R, 2007 ; « Les effets des arbres sur les écoulements de vents en milieu urbain »Master STEU NANTES

²¹ - MENV, Les espaces verts : protection des arbres et des espaces boisés en milieu bâti, Direction des communications et de l'éducation, Division de l'éducation, 1987, Québec, pp22.

²² - Ulrich, R.S., View through a window may influence recovery from surgery, Science, 224 ; 1984: 420-421

²³ - Kuo Frances E et Sullivan William C, The role of arboriculture in a healthy social ecology. Social aspect of urban forestry ;2001

-Kuo, Frances E. / Sullivan, William C. Environment and crime in the inner city. Does vegetation reduce crime ? [Environnement et criminalité dans les cités. La végétation réduit-elle la criminalité ?]. Environment and Behavior, mai 2001, vol. 33, n° 3, p. 343-367 (25 p.).

de végétation, les taux de crime étaient plus bas. Ils ont déterminé deux raisons : premièrement l'accroissement de la surveillance, parce que les espaces publics ouverts avec des arbres tendent à être utilisés beaucoup plus que les espaces où il n'y en a pas. Deuxièmement l'effet de détente produit par la végétation a un impact positif sur la fatigue mentale, la colère et en conséquence la violence²⁴. Plusieurs recherches effectuées dans le laboratoire de recherche humaine et environnementale de l'université d'Illinois, ont identifié un grand nombre d'effets bénéfiques des arbres sur la société. Beaucoup de ces effets encouragent les gens à sortir de chez eux ce qui permet de créer de relations sociales plus fortes. Aussi a été démontré que les personnes qui peuvent regarder la nature de leurs bureaux montrent une plus grande satisfaction dans leur travail que ceux qui ne le font pas²⁵.

III.3.1.4 Bienfaits environnementaux

Des recherches faites dans l'université de Lancaster à West Midlands ont établi que les arbres peuvent masser des polluants dans l'atmosphère incluant l'ozone et le dioxyde de nitrogène. En prenant des statistiques ils ont fait des prédictions qui expriment qu'en doublant la quantité d'arbres on peut réduire au dessus de 140 morts par années dues aux particules polluantes.

Les arbres absorbent aussi le dioxyde de carbone (figure III.8) et le convertit en oxygène pendant le procès de photosynthèse. La quantité totale de dioxyde de carbone absorbée par des arbres dans une agglomération représente en valeur de l'équivalent d'environ trois semaines des émissions de CO₂.

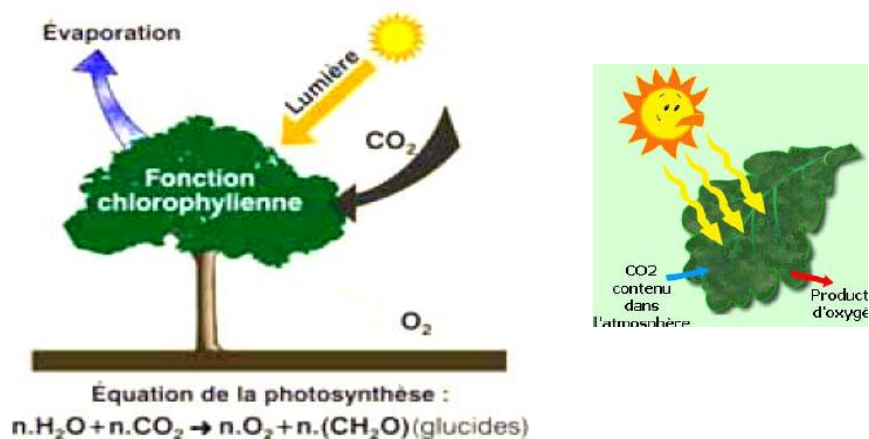


Figure III.8 : Absorption des rayons solaire par le feuillage.

²⁴ - Kuo F E, The role of arboriculture in a healthy social ecology. Journal of Arboriculture. Mai 2003, Vol.29, n°3, pp.148-155.

²⁵ - Wolf, 1998 _in POTES L.R., 2007 ; « Les effets des arbres sur les écoulements de vents en milieu urbain »Master STEU NANTES

Bien localisés, les arbres peuvent aussi réduire la quantité de combustible utilisé pour chauffer ou climatiser les bâtiments. Grâce à l'effet refroidissement et l'ombre portée pendant l'été, et dans l'hiver en laissant passer le rayonnement solaire à travers les branches dépourvues de feuilles, en réduisant la vitesse du vent comme « brise vent »

Les arbres réduisent l'érosion et permettent une amélioration de la qualité de l'eau par l'interception de la pollution. Coder, 1996 a aussi estimé que pour chaque 5% d'accroissement de la couverture arboré, les écoulements est réduits de 2%.

Les arbres fournissent des sites de reproduction pour les oiseaux et une vaste réserve d'insectes qui sont une source importante de nourriture pour des oiseaux et toute autre faune.

III.3.1.5 Réduction de bruit

Les arbres et la végétation peuvent jouer un rôle important dans l'atténuation du bruit. La végétation par ses feuilles plus ou moins poreuses peut réduire le taux d'énergie sonore (figure III.9). Coder, 1996 a estimé une réduction de 7 dB de bruit pour chaque 33m de forêt. Cette réduction peut être obtenue grâce aux arbres avec larges feuilles²⁶. La réduction du brut est liée à la densité et la forme du feuillage (tableau III.2).

Tableau III.2: Performance des arbres contre le bruit. Bernatzky, 1982

Groupe de réduction de 4 à 6Db	Groupe de réduction de 6 à 8Db	Groupe de réduction de 8 à 10Db	Groupe de réduction de 10 à 12dB
Le genévrier Le bouleau verruqueux Mimosa Chèvre feuille de maak Peuplier Noisetier Tilleul à feuille en cœur	Charmille Lilas vulgaire Hêtre Houx Chêne pédonculé	Peuplier de Berlin Viorne Tilleul à grande feuille	Erable

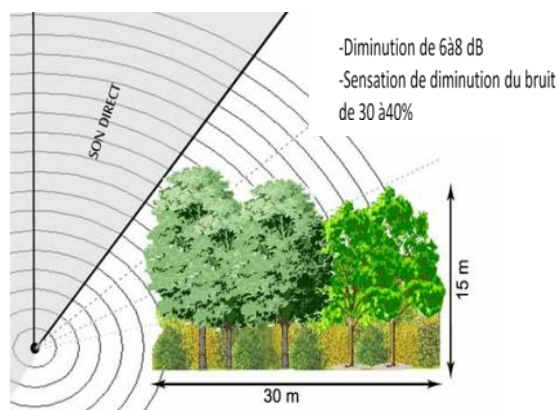


Figure III.9: Diminution de la pollution sonore,

²⁶ - Bernatzky. The contribution of trees and green spaces to town climate, Edition :Edition Elsevier squio,1982

III.3.1.6 Autres bienfaits

Les arbres longeant les rues donnent l'impression de comprimer la rue et encouragent les conducteurs à rouler plus lentement en améliorant l'attention des conducteurs²⁷.

III.3.2 La végétation dans les aménagements urbains

Le végétal urbain peut se présenter essentiellement sous trois formes, qui correspondent aussi à trois échelles spatiales :

- l'arbre urbain
- le végétal grim pant
- la pelouse et les végétaux couvrants.

L'arbre urbain peut à son tour être subdivisé en deux catégories :

- l'arbre en parc ou jardin
- l'arbre d'alignement

III.4 Recherche sur les effets de la végétation

Linacre²⁸ propose un tableau (Tableau III.3) des divers effets de l'arbre urbain selon les échelles où il est utilisé :

Tableau III.3 : Effets des arbres urbains selon l'échelle de mise en œuvre dans une ville dépassant le million d'habitants (E. Linacre, 1997)

Unité/ Echelle	Forme construite	Situation arbre	Phénomène climatique Concerné	Haut. (m)	Larg. (m)	Long. (m)
Bâtiment	Jardin	Arbre isolé	Sillage, aéraulique, ombre	10	10	10
Canyon	Rue	Arbre d'alignement sur avenue, mail.	Tourbillon, ombre, Température	10	30	300
Quartier	Ilot urbain, Usine	Parc urbain, bois	Brise locale		500	5000
Zone urbaine	Centre ville résidentiel, industriel	Ceinture verte, forêt Suburbaine	Qualité de l'air, topoclimat		5000	5000
Ville	.	Forêt urbaine	Modification chaleur, humidité, brise urbaine, dôme pollution, précipitations		25km	25km

²⁷ - Kuo et Sullivan, The role of arboriculture in a healthy social ecology. Social aspect of urban forestry ;2001

²⁸ - Linacre E.T., City trees and the urban climate, on the web, 10/1997 [in](#) SAGA CITE 2001

Les effets des végétaux d'après Jean-Louis Izard et Khrofa Lehtihet peuvent se subdiviser en trois grands effets²⁹ :

- l'effet de refroidissement de l'air par échanges gazeux (vapeur d'eau),
- l'effet d'ombrage des espaces urbains,
- l'effet aéraulique des végétaux urbains.

C'est cette distinction dans les effets qui nous paraît la plus pertinente pour structurer ce travail :

III.4.1 Effet de refroidissement de l'air

III.4.1.1 Effet modérateur du végétal sur l'îlot de chaleur

L'îlot de chaleur urbain est le résultat de la densité des constructions, l'absorption de la chaleur par les surfaces.

Température de l'air ; L'effet de refroidissement du végétal a été simulé pour le cas de Montréal par Oke³⁰. Le refroidissement dû à l'évapotranspiration croît (jusqu'à -6°C) avec le taux de surface évapo transpirantes (c'est à dire vertes) de l'ensemble de la ville, mais, la loi n'étant pas linéaire, ce sont les premiers 20 à 30% de ces surfaces qui sont les plus efficaces (-3°C).

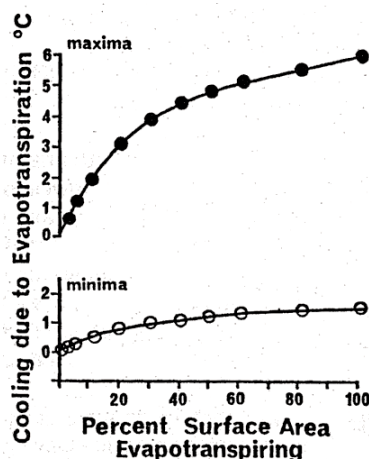


Figure III.10 : Effet de refroidissement par évapotranspiration en fonction du taux de surfaces évapotranspirantes dans la ville (d'après Oke).

²⁹ - SAGACités Vers un Système d'Aide à la Gestion des Ambiances urbaines, 2002

³⁰ - OKE, T. 1988, Street design and urban canopy layer climate, Energy and buildings, vol. 11, p. 103-113.

Le rôle modérateur de l'îlot de chaleur joue essentiellement pour les grandes surfaces d'espaces verts à l'intérieur d'une grande zone urbaine : le Grosser Tiergarten (Grand Jardin zoologique) à Berlin est l'un des exemples étudiés (M. Horbert et A. Kirchgeorg)³¹. Le profil thermique transversal de Berlin par une belle journée du mois d'août accuse une chute de -4°C lorsqu'il traverse le Tiergarten, et retrouve, à $+1^{\circ}\text{C}$ près, le profil en rase campagne. Cet effet se maintient la nuit, avec des écarts moindres ($-1,5$ à 2°C).

En situation de faible vent, les températures d'air moyennes, mesurées au moyen d'une station mobile, sont en diminution de $3,3^{\circ}\text{C}$. Un vent plus fort, favorisant les échanges entre zones, rend cette différence négligeable.

Les effets d'un refroidissement efficace par évapotranspiration sont influencés par :

La taille de l'espace végétale

La densité des plantes

Le rayonnement solaire net ;

Températures de surface des végétaux ; La différence de températures entre les feuilles et l'air dépend en grande partie de la valeur de leurs diffusivités et l'encart entre le flux de grandes longueurs d'onde, aussi le flux du rayonnement solaire et le flux de la chaleur latente.

En effet, on peut relever des différences de températures des feuilles, pour un apport solaire de $465 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ de 1°C . La thermographie de l'arbre ensoleillé (figure III.11) montre que la température moyenne des feuillages de l'arbre varie de 27 à 29°C , alors que la température de l'air est de 28°C .

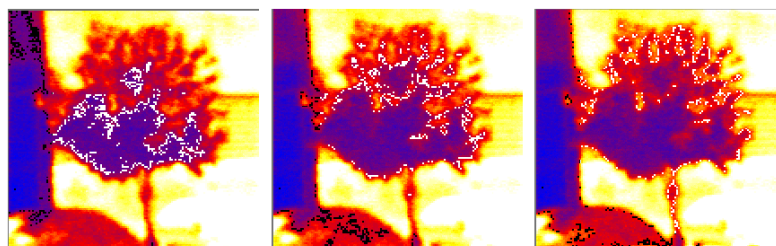


Figure III.11 : Zones végétales isothermes à 27 , 28 et 29°C ³²[Alvarez *et al.* 2000]

L'équipe du groupe ABC de Marseille est arrivée à la conclusion que la masse foliaire des arbres, en jardin comme en alignement, a tendance de conserver une température voisine de

³¹ - Horbert M. and Kirchgeorg A., Climatic and air-hygienic aspects in the planning of inner-city open spaces : Berlin Grosser Tiergarten, Proceedings of an international symposium "The impact of climate on planning and building", Herzliya-on-sea, Israel ; Elsevier Sequoia, Lausanne 1980. in Sagacite 2002

³² - 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 planning and strategic surfacing. ALTENER

la température de l'air sous abri et souvent même une valeur inférieure³³ & ³⁴. Cet effet est très intéressant sur les allées urbaines avec arbre d'alignement. Cela entraîne non seulement une réduction de la température du sol, mais aussi une diminution de la radiation réfléchi.

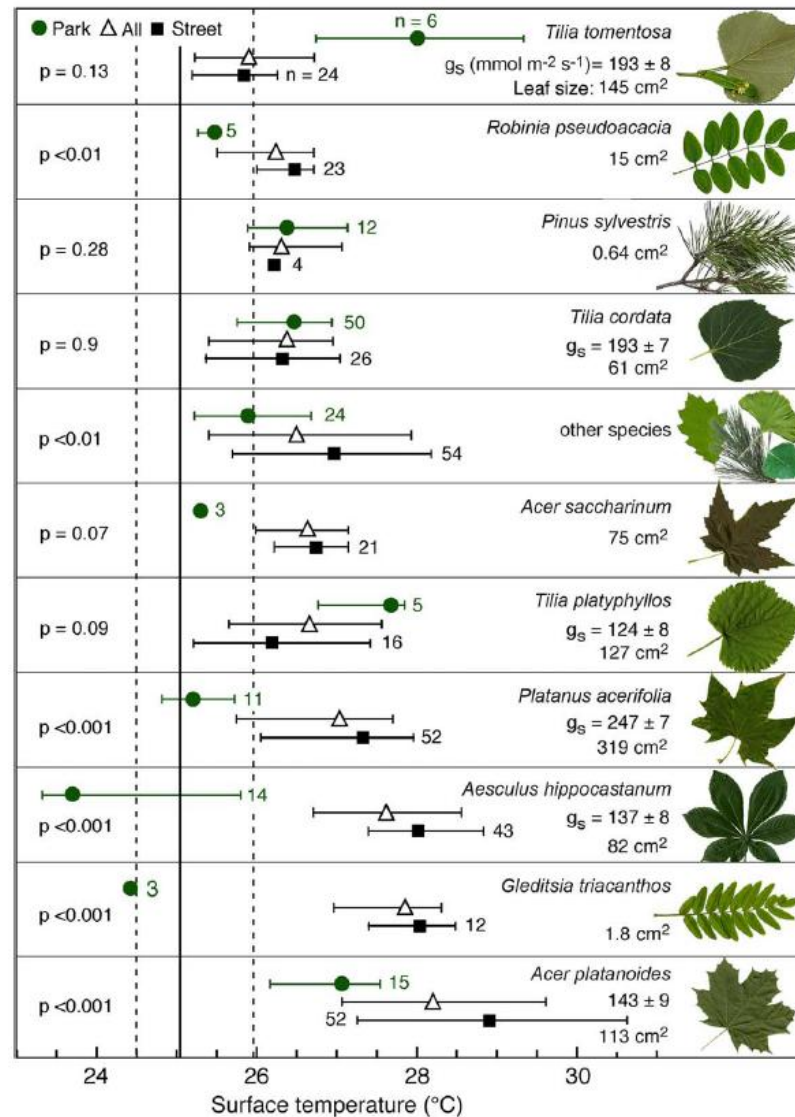


Figure III.12 : Température de feuillage des différents types d'arbres urbains.
(Sebastian Leuzinger et al 2010)

Les espèces avec les plus grandes feuilles, acerifolia de Platanus, ont montré la plus petite augmentation de températures comme échauffements.

Les températures d'arbres urbains sont spécifiques d'espèce et dépendent de l'emplacement de l'arbre, sa taille de feuille, stomatal. L'espèce petite feuilles reste relativement le

³³ - Group ABC. Morphologie végétal et microclimats urbains. Plan urbain, ministère de l'équipement, 1997

³⁴ - POTES Lizeth Melissa RODRIGUEZ, HANROT Stéphane, DABAT Marc-André et IZARD Jean-Louis. Variation Des paramètres de plantation des arbres d'alignement dans un milieu urbain et son influence sur la température de l'air Cas d'Aix-en-Provence, France. 2nd International Congress on Ambiances, Montreal 2012

refroidisseur à la haute température ambiante. *Gleditsia triacanthos* semble pouvoir maintenir la température de feuillage relativement constante, même aux températures extrêmes.³⁵

La vitesse du vent ; Le taux de transpiration le plus élevé se produit pour des températures de l'air variant entre 25 à 30°C et pour des vitesses de vent les plus importants par contre au dessus de 25°C le phénomène s'inverse.³⁶ Ce qui illustre l'effet du vent dans l'ouverture et la fermeture des stomates.

III.4.1.2 Effet sur les espaces urbains

L'évapotranspiration

L'évapotranspiration (*ET*) est le phénomène combiné de perte en eau par évaporation directe et par transpiration³⁷. L'évaporation est le processus par lequel l'eau liquide des surfaces d'eau, des trottoirs, du sol et de la végétation humide est converti en vapeur d'eau (vaporisation) et enlevée à la surface. Quant à la transpiration, elle comprend la vaporisation de l'eau liquide contenue dans les tissus végétaux et l'extraction de vapeur vers l'atmosphère. Ressource indispensable à la croissance des plantes, l'eau est un élément constitutif majeur de la matière végétale ainsi qu'une source d'hydrogène et d'oxygène pour la plante.

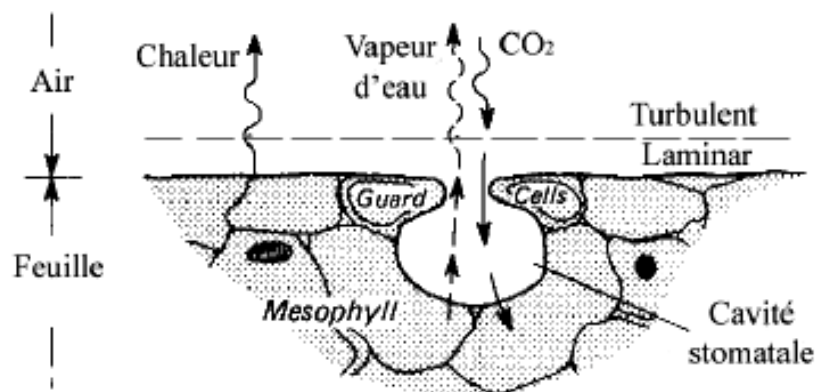


Figure III.13 : Section schématique d'une portion de feuille (Oke, 1987)

³⁵ - Leuzinger Sebastian, Vogt Roland, Körner Christian. "Tree surface temperature in an urban environment" Agricultural and Forest Meteorology 150 (2010) 56-62

³⁶ - Vinet J. « Contribution à la modélisation thermo-aéroluque du microclimat urbain. Caractérisation de l'impact de l'eau et de la végétation sur les conditions de confort en espaces extérieurs. »Thèse de doctorat.: Université de Nantes 2000, p.245.

³⁷ - Guyot G., Climatologie de l'environnement : cours et exercices corrigé. 2eme Edition.Paris ; Dunod, 1999

L'eau, ainsi que quelques aliments, est prise par les racines et transportée par la plante; la vaporisation se produit dans la feuille, à savoir dans les espaces intercellulaires, et l'échange de vapeur avec l'atmosphère est commandé par l'ouverture du stomate³⁸ (figure III.13).

En période estivale, une feuille saturée en eau et exposée au rayonnement solaire peut transpirer une quantité d'eau égale à plusieurs fois son propre poids³⁹. L'évaporation rapide est soutenue par un approvisionnement en chaleur de l'atmosphère et par un mouvement d'eau au sein de la plante qui empêche la dessiccation du tissu de la feuille.

Cas de l'arbre urbain

L'arbre dans la ville se trouve dans une situation particulière si on le compare aux arbres pris dans une masse forestière. Les principales différences sont :

- Le rayonnement solaire net est souvent plus grand, selon les expositions (effets de dièdre), et à cause des albédos des surfaces environnantes ;
- la température d'air est en général plus élevée sous la double influence de l'effet de l'îlot de chaleur et des effets de dièdres ;
- L'eau est en général moins disponible dans le sous-sol compte tenu des revêtements étanches, et les arrosages peuvent être soit insuffisants soit inexistantes.

Pour cela, il faut distinguer deux types d'arbre urbain : l'arbre d'alignement et l'arbre en parc ou en jardin.

Arbre d'alignement

Du fait de l'influence de l'environnement (pavage, murs...) sur les échanges avec l'arbre⁴⁰, la dimension (et par conséquent l'âge) de l'arbre d'alignement est un paramètre important.

Lorsqu'il est jeune, l'arbre d'alignement est en situation isolée, et donc soumis à des conditions défavorables : flux radiatifs solaires et thermiques accrus (effets de dièdre), air plus chaud par convection naturelle si la surface est minérale et absorbante, ce qui est

³⁸ - Oke T R. Boundary layer climates. Edition Methuen, 1987

³⁹ - MONTEITH J.L. and UNSWORTH M.H. (1991). Principles of environmental physics. New York : Edward Arnold, 291 p.

⁴⁰ - Kjelgren R K ; Montague T Urban tree transpiration over turf and asphalt surfaces; atmospheric Environment. Volume32 N°1, Elsevier Science ltd, pp,35-41

souvent le cas en ville. Tous ces facteurs augmentent le stress thermique de l'arbre, et diminuent l'évapotranspiration par fermeture des stomates, augmentant donc encore plus la température de son feuillage.

Lorsque l'arbre d'alignement est adulte et qu'il forme avec ses voisins une voûte végétale continue (canopée) (Figure III.14), ces effets jouent dans la création des ambiances différentes⁴¹.

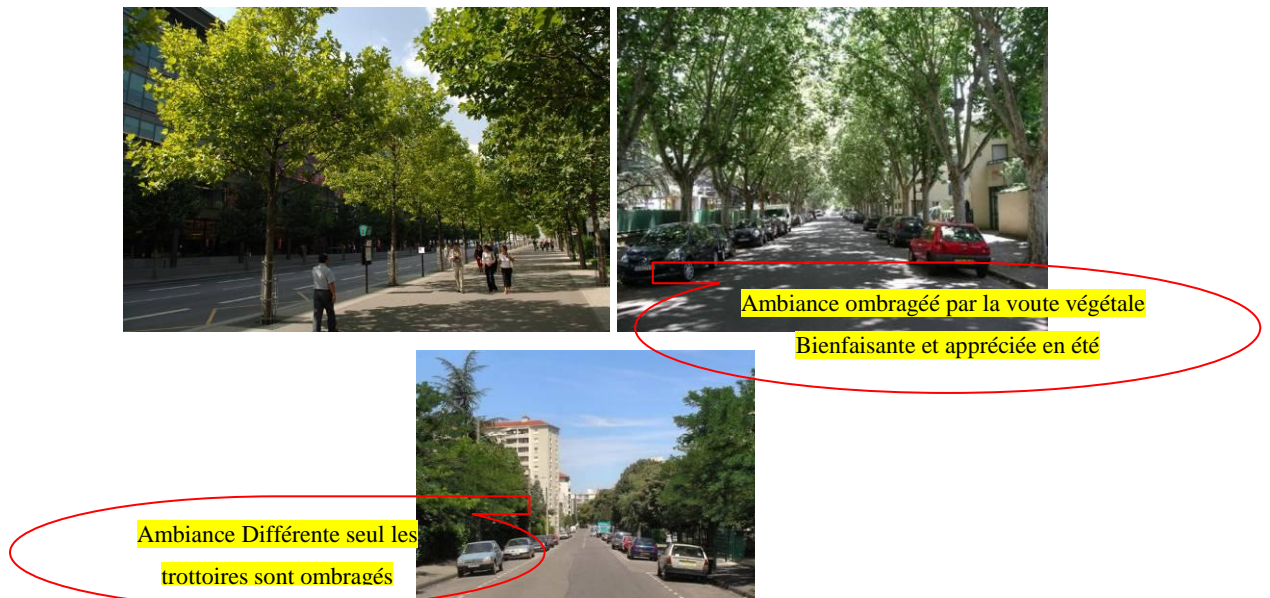


Figure III.14 : Arbre d'alignement. E Boutefeu et P Viatte ,2009

Arbre en parc ou jardin

Cet arbre se trouve dans une situation favorable, les arbres sont souvent implantés sur des pelouses à distance de façade. Aussi il se trouve que le bilan hydrique du jardin, s'il est arrosé fait ressortir des débits d'évapotranspiration qui maintiennent les températures du feuillage au dessous de la température de l'air durant la journée ; la température des feuillages est un indicateur de l'évapotranspiration.

Cas des treilles

Les treilles sont associées aux végétaux grimpants tels que la vigne, la vigne vierge, ou la glycine. Si elles sont employées de préférence comme prolongement privatif de

⁴¹ - Izard J-L., Mevy J-P., Destobbeleire G., Chantant M., Morphologie, végétal et microclimats urbains ; cas d'Aix-en-Provence et Nîmes, Tome 2 : les mesures, Rapport final de recherche Programme Ecologie Urbaine, 1997.
- Boutefeu E et Viatte P (2009) http://www.certu.fr/fr/_Ville_et_environment-n29/Nature_en_ville-n140/Les_arbres_en_ville-a1719-s_article_theme.html

l'habitation, les treilles sont parfois mises en œuvre aussi sur des espaces urbains, soit dans des parcs urbains, soit dans la rue ou sur une place.



Figure III.15 : Treille dans l'espace urbain à Freiburg en Allemagne,
Source : Auteur, Septembre 2012

La brumisation a été largement exploitée lors de l'exposition universelle Expo'92 à Séville. Certaines pergolas ont été mesurées par Alvarez Dominguez et al (1992). En milieu de journée et en absence du vent, la température sous une pergola brumisée peut descendre de 6°C (Figure III.16) par rapport à la température donnée par la météo⁴².

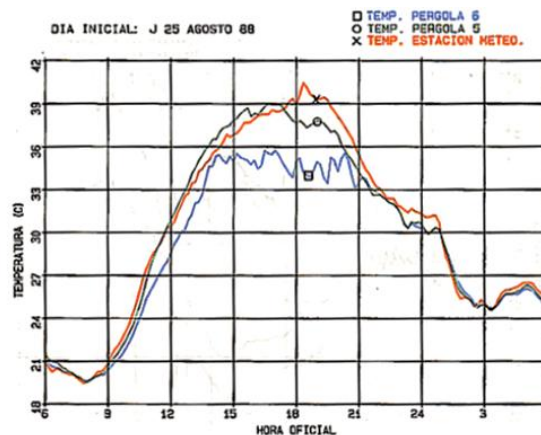


Figure III.16 : Températures sous les pergolas brumisées de Séville
(Alvarez Dominguez et al. 1992)

Cas des pelouses

Comme on l'a vu à propos de la nature des revêtements de sols accueillant des arbres urbains, les pelouses urbaines, en diminuant les températures de surface du sol et en favorisant l'évapotranspiration des arbres urbains, présentent un intérêt certain.

⁴² - Alvarez Dominguez S., Cejudo Lopez J.M., et al. ; Control climatico en espacios abiertos ; proyecto expo'92, Dpto de Ingenieria Energetica y Mecanica de Fluidos, Universidad de Seville, 195p, 1992.

L'effet thermique de la pelouse est lisible surtout lorsque celle-ci est exposée au rayonnement solaire, elle s'échauffe moins comparée à une surface minérale. Le schéma (Figure III.17) montre qu'à l'ombre stabilisée, la pelouse et l'allée minérale ont presque la même température à 1°C près, mais la pelouse reste un peu plus fraîche à cause de son humidité due à l'arrosage et à la rosée matinale, par contre au soleil stabilisé l'allée s'échauffe beaucoup plus que la pelouse, environ 11°C de plus.

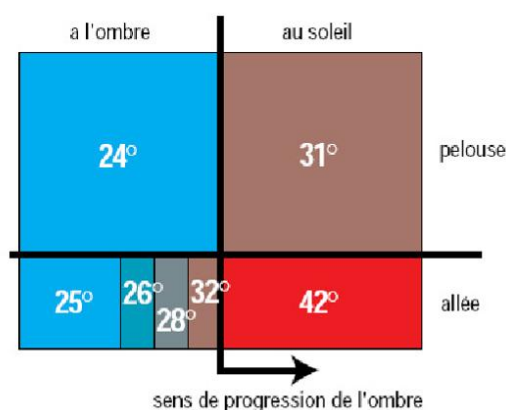


Figure III.17 : L'effet de la pelouse sur la température, Alain Liébard et André De Herde, 2006

III.4.1.3 Pouvoir réfrigérant de la transpiration des arbres urbains

La perte journalière d'eau pouvait se chiffrer en millimètres. La quantité totale d'eau perdue dépend donc de la surface sur laquelle la transpiration va se produire (sachant que 1 mm d'eau/m² = 1 litre)⁴³

La puissance équivalente de réfrigération peut être estimée si l'on dispose du débit d'évaporation à partir de l'arbre urbain. Divers auteurs donnent des chiffres pour diverses situations géographiques (Saga Cité 2000):

- Bernatzky⁴⁴, à propos d'une étude faite à Francfort et au sujet d'un arbre adulte, *Fagus sylvatica*, d'une hauteur de 25 m, avec une surface projetée au sol de 160 m², une surface d'enveloppe extérieure de canopée de 1 600 m², une surface développée du feuillage de 160 000 m², donne une quantité annuelle de vapeur d'eau transpirée de 10 m³.

⁴³ - SAGACités Vers un Système d'Aide à la Gestion des Ambiances urbaines, 2002

⁴⁴ - Bernatzky A., The contribution of trees and green spaces to a town climate, Proceedings of an international symposium "The impact of climate on planning and building", Herzliya-on-sea, Israel ; Elsevier Sequoia, Lausanne 1980.

- Pour Clark et Kjelgren un arbre de 11m de haut perd 123 litres d'eau par jour en été à New York⁴⁵.

Un square de 100x100 m planté d'arbres d'alignement peut perdre 50 000 litres/jour, ce qui emprunte à l'air sur place près de 31 650 000 calories.

La transpiration d'une plante de grandes dimensions produit un effet de refroidissement équivalent à celui de cinq petits systèmes réfrigérants fonctionnants pendant 20 heures.

Un hêtre de 14m de couronne peut offrir une puissance de 680 Watts de refroidissement évaporatif.

Le pouvoir réfrigérant de la transpiration des plantes est basé sur le fait que l'évaporation d'un kilogramme d'eau (soit 1 litre) nécessite une puissance de 680W et consomme en une heure une énergie égale à 2450 kJ. S'il n'y a pas de vent, cette énergie est prélevée dans l'environnement feuilles, ce qui a pour effet d'abaisser la température du feuillage et de l'air qui l'environne.

La puissance de refroidissement de l'évapotranspiration est à comparer au bilan radiatif net. Damagnez⁴⁶ rapporte que l'évapotranspiration potentielle peut représenter en phase de croissance (stomates ouverts) 75 à 85 % de ce bilan net.

Kiese⁴⁷, rapporté par Benatzky⁴⁸, exprime l'évaporation de masses forestières en pourcentage de l'énergie solaire reçue (pour l'Allemagne) Tableau III.4:

Tableau III.4 : Evaporation de masses forestières en pourcentage de l'énergie solaire reçue.
A.Benatzky, 1980

	% de l'énergie solaire reçue	
	Evaporation	Albédo + Echauffement air
Forêt épicéas	66,5	33,4
Forêt pins	64,8	35,2
Chênes mélangés	70	30
Hêtres	83,8	16,2
Pelouses	78,8	21,2
Ville (estimation)	15	85

⁴⁵ - Kjelgren R.K. and Clark J.R., Urban microclimates and growth of sweetgum street trees, Arboricultural Journal, Vol18, pp401-417, AB Academic Publishers 1994.

⁴⁶ - Damagnez J., L'utilisation de l'énergie solaire dans les échanges énergétiques au niveau du couvert végétal, Bulletin de la COMPLES n°18, pp55-62, Avril 1970.

⁴⁷ - Kiese O., Bestandmeteorologische Untersuchungen zur Bestimmung des Wärmehaushaltes eines Buchenwaldes, Ber. Institut Meteorologie Klimatologie der Techn. Univ. Hannover, N°6, 1972

⁴⁸ - Bernatzky A., The contribution of trees and green spaces to a town climate, Proceedings of an international symposium "The impact of climate on planning and building", Herzliya-on-sea, Israel ; Elsevier Sequoia, Lausanne 1980.

Au niveau de la feuille, Holm⁴⁹ fait état des travaux de Minke et Witter qui donnent les valeurs moyennes du bilan énergétique tableau III.5. Il s'agit bien d'un bilan énergétique: transpiration, réflexion, émission, transmission et photosynthèse correspondent à des pertes d'énergie qui compensent des apports solaires et thermiques reçus.

Tableau III.5: Evaporation de masse forestière au niveau de la feuille. Sagacité, 2002

Mode des déperditions	Quantité d'énergie perdue
Transpiration	30%
Réflexion	18%
Emission	30%
Transmission	18%
Photosynthèse	4%
TOTALE	100%

III.4.1.4 Effets thermiques

Escourrou et Rousselont mesuré à Paris le profil vertical dans un espace urbain avec platanes (Bd Saint Michel) et sans arbres d'alignement (Bd Raspail et rue de Rivoli). La température sous les arbres est en diminution de 3°C⁵⁰.

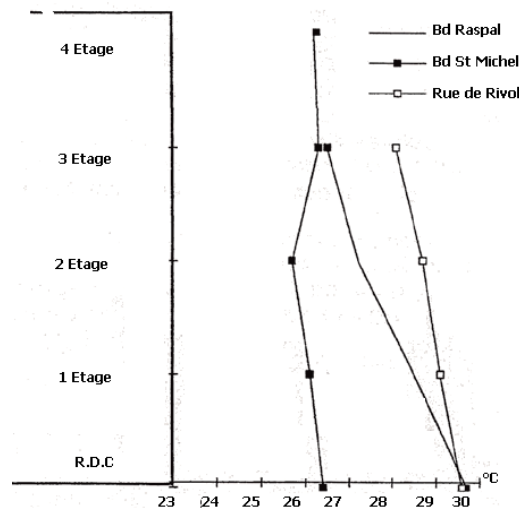


Figure III.18 : Comparaison des profils verticaux de la température d'air entre une rue avec arbres d'alignement et deux rues sans arbre, Escourrou.G,1995.

⁴⁹ - Holm D., Thermal improvement by means of bleaf cover on external walls - a simulation model, Energy and Buildings, 14, pp19-30, Elsevier Sequoia, 1989.

⁵⁰ - Escourrou G., Roussel I., Climat et microclimat urbains, pollutions atmosphériques et nuisances météorologiques, IAURIF, 1995.

III.4.1.5 Effet sur la température de l'air

Plusieurs études ont comparé la température dans les emplacements d'un arbre ou plusieurs arbres à ceux d'un emplacement déboisé voisin (voir tableau III.6). Les températures sous des voûtes se sont avérées inférieures aux températures dans l'espace ouvert, au moins pendant le jour. Des résultats similaires ont été obtenus qui ont étudié les effets des arbres simples (Souch et Souch, 1993 ; Bueno-Bartholomei et Labaki, 2003 ; Georgi et Zafiriadis, 2006 ; D'or *et autres*, 2007 ; de Kauffman *et autres*, 2002). Ces études s'étendent dans le nombre d'arbres mesurés d'un à 294 et ont été conduites dans plusieurs pays : Le Brésil, le Venezuela, la Grèce, la Hongrie et les Etats-Unis. Bien que, dans une étude avec laquelle ont comparé les températures dans différentes sections de rue avec et sans arbres, il yait une différence claire des températures de l'air (Gulyas *et autres*, 2006).

Figure III.6 : Littérature review ; Effet des arbres sur la température de l'air et de surfaces.

Citation	zone urbaine	comparaison	données collecte	principaux résultats
Georgi, N. J. and K. Zafiriadis (2006) The impact of park trees on microclimate in urban areas. Urban Ecosystems 9, 195-209.	Thessalonique Grèce Climat tempéré	294 arbres (21 espèces) - sous et à proximité	Températures mesurées au cours le jour entre Juillet et Août.	Les températures ont été inférieures en dessous les arbres et la différence varie entre les différentes espèces.
Gill, S. E. (2006). "Climate change and urban green space." Ph.D. Manchester 56 10571(B1e).	Manchester Royaume-Uni Climat tempéré	3 canopées d'arbres - sous et à proximité à l'air libre même zone	Mesures prises sur un jour en Septembre entre 13:00 et 15:30.	Température de surface inférieure à l'ombre d'un des arbres.
Golden, J. S., J. Carlson, et al. (2007). "A comparative study of the thermal and radiative impacts of photovoltaic canopies on pavement surface temperatures." Solar Energy 81(7): 872-883.	Phoenix USA Climat tempéré	1 arbre - sous les arbres et à proximité	Surface et température de l'air mesurée sur une période de 24h à un jour en Juin.	Les résultats présentés ont indiqué qu'il était refroidisseur sous l'arbre au cours de la journée mais pas la nuit. informations sur température de surface de souligner l'effet de l'orientation arbre.

<p>Gulyas, A., J. Unger, et al. (2006). "Assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: Modelling and measurements." Building and Environment 41(12): 1713-1722.</p>	<p>Szeged Hongrie Climat tempéré</p>	<p>3 arbres - sous et à proximité</p>	<p>Les mesures prises au jour 1 en Août de 05h00 à 21:00.</p>	<p>Basé sur le graphique présenté, températures sont similaires.</p>
<p>Souch, C.A. & Souch, C. (1993). The effect of trees on summertime below canopy urban climates: a case study Bloomington, Indiana. Journal of Arboriculture 19(5): 303-312</p>	<p>Bloomington USA</p>	<p>44 arbres - 5 catégories (espèces / environnement / nombre).</p>	<p>Les mesures prises pendant le jour sur une période de 15 j sous arbres et à une référence ouverte à 8 km du site</p>	<p>Températures sont plus fraîches sous les arbres à midi, mais pas dans le matin, et ont tendance à être plus chaud dessous dans la soirée. effets de l'environnement d'arbres. peu d'effet sur les espèces.</p>
<p>Shashua-Bar, L. and M. E. Hoffman (2000). "Vegetation as a climatic component in the design of an urban street - An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees." Energy and Buildings 31(3): 221-235. Voir aussi Shashua-Bar, L. and M. E. Hoffman(2002). Quantitative evaluation of the effects of built-up geometry and trees on diurnal air temperature in canyon type courtyards. Advances in Building Technology, Vols I and II, Proceedings. M. Anson, J. M. Ko and E. S. S. Lam. Amsterdam, Elsevier Science Bv: 1493-1500</p>	<p>Tel Aviv, Israël Climat tempéré</p>	<p>11 sites avec des arbres (jardins, cours, avenues et rues) et à proximité dénudée d'arbres</p>	<p>Températures mesurées à 06:00, 09:00, 15:00, 18:00 et 24:00 entre Juillet et Août (2 à 5 jours par site) en utilisant un hygromètre à fronde.</p>	<p>Pendant la journée, les températures étaient plus fraîches dans les sites avec des arbres, mais pas la nuit ou tôt le matin. effets de l'zone d'ombre arbre, fond la température et la distance de arbres</p>
<p>Streiling, S. and A. Matzarakis (2003). "Influence of single and small clusters of trees on the bioclimate of a city: A case study." Journal of Arboriculture 29(6): 309-316.</p>	<p>Freiburg Allemagne 2 Climat tempéré</p>	<p>arbres / clusters - sous et à proximité</p>	<p>Températures mesurées sur 2 jours en Septembre de 07h00 à 18:00. Seulement un jour présenté.</p>	<p>Des données limitées présentées</p>
<p>Bueno-Bartholomei, C. L. and L. Labaki (2003) How much does the change of species of trees affect their solar radiation attenuation? Proceeding of the International Conference on Urban Climate, L odz, v.1, p.1-4</p>	<p>Campinas au Brésil Climat tropical</p>	<p>14 arbres (12 espèces) - En dessous et proche</p>	<p>Températures mesurées plus de 5 jours, à partir de 07:00 jusqu'à ce 17:30.</p>	<p>Les températures ont été inférieures en dessous l'arbre, mais le montant dépendait sur l'heure du jour et de la présence des feuilles sur les arbres.</p>

L'effet des arbres d'alignements sur l'ambiance thermique et sur la pollution a été étudié par A.MOCHIDA et al (2005). De différentes situations d'implantation ont été simulées, ainsi que la situation sans arbres plantés a été aussi simulée pour la comparaison (figure III.19). Les résultats montrent que le cas sans arbres plantés, une grande recirculation de l'air chauffé a été trouvée dans le canyon de la rue et la surface de l'asphalte de la rue augmente la température au-dessus des trottoirs (figure III.20). Le cas avec présence des arbres d'alignement montre clairement la baisse de température de l'air de 7°C sur le trottoir.⁵¹

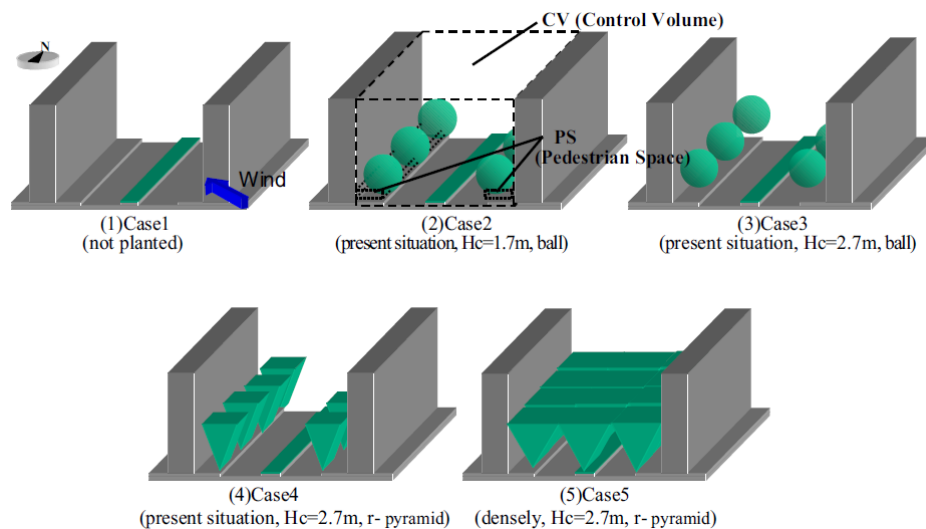


Figure III.19 : Différentes situations simuler avec et sans arbres d'alignement. Mochida et al,2005

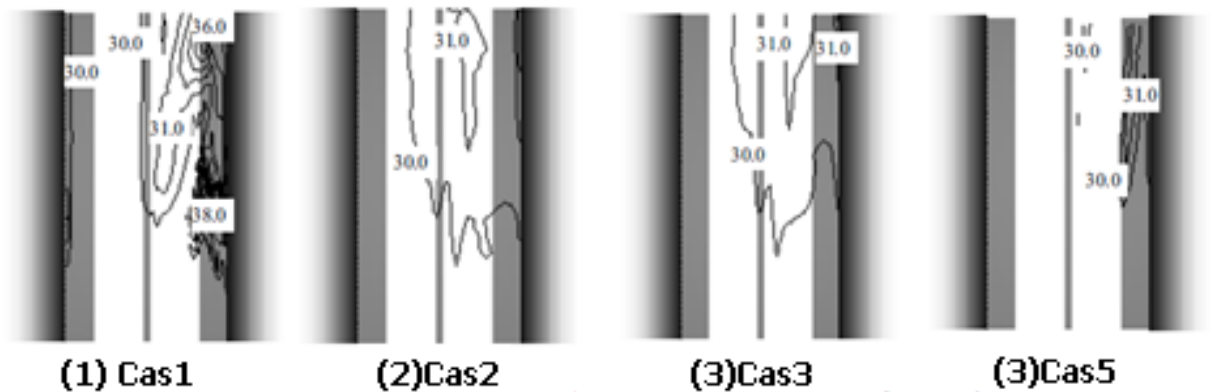


Figure III.20 : Distribution horizontale de la température de l'air (à 13h00, le 4 Aout, à une hauteur de 1.5m de hauteur), Mochida et al, 2005

⁵¹ - Mochida A., Sasaki K.,Iwata T.,Hataya N, Yoshino H.. Effects of roadside trees on thermal environment and pollutant diffusion in street canyon. EACWE4- The Forth European & Africa Conference on wind engineer J. Naprstek&C.Fischer (eds); ITAM AS CR, Prague, 11-15 July, 2005, PAPER #309

Les causes de la variabilité des températures de l'air dans les rues urbaines avec des arbres ont été étudiées par L. Shashua-Bar et al. (2000, 2010) à Athènes, à partir des mesures prises dans des lieux au centre-ville. Les résultats modèles ont indiqué que l'effet d'atténuation des radiations solaires réduit les températures de l'air à l'intérieur des rues. La réduction peut atteindre moins de 5 K à midi avec un refroidissement de moyenne quotidienne de 3 K à 15h⁵². De plus, l'étude démontre l'utilisation potentielle du microclimat modelant en évaluant les mérites des stratégies de refroidissement passifs proposées dans des rues urbaines.

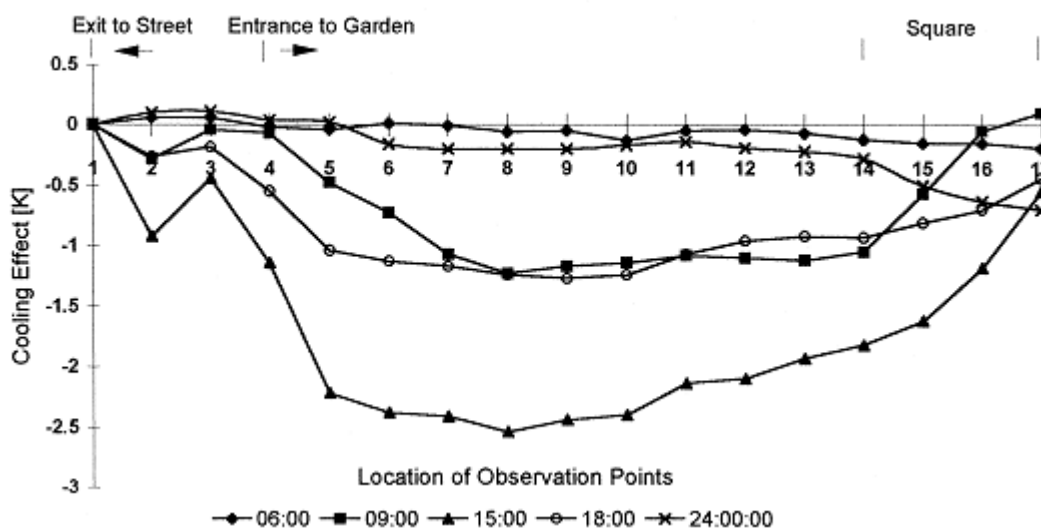


Figure III.21 : Les effets de refroidissement quotidiens le long de l'avenue de Hayeled ;
(L. Shashua-Bar et al, 2000)

Les espaces les plus petits bénéficient d'un plus grand refroidissement, cependant l'effet de refroidissement dépend de la température de l'air des espaces adjacents, plus il est chaud meilleur et le refroidissement des espaces.

Ces études accentuent également un certain nombre de facteurs qui peuvent modérer l'effet de refroidissement d'un arbre (caractéristiques des arbres, degré de couverture de l'espace, nombre d'arbres, moment et distance):

Caractéristiques des arbres

Différentes espèces d'arbres ont été investigués pour tester leurs capacités de réduire la température de l'air, par exemple, dans une étude comparant 21 espèces (294 arbres) à

⁵² - Shashua-Bar L, Hoffman ME; Vegetation as a climatic component in design of an urban street: an empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. Energy Build 31_2000.: 221-235.

- Shashua-Bar Limor, X Ioannis. Tsiros , Hoffman Milo E.. A modeling study for evaluating passive cooling scenarios in urban streets with trees. Case study: Athens, Greece. Building and Environment 45 (2010) 2798e2807.

Salonique Grèce (Georgi et Zafiriadis, 2006) à une évidence plus limitée dans une autre étude au Brésil (Bueno-Bartholomei et Labaki, 2003). Ceci peut être dû à un certain nombre de facteurs tels que la taille d'arbre et les caractéristiques de voûte. Cependant, Souch et Souch (1993) ont étudié 44 arbres sur une période de 15 jours en Indiana, Etats-Unis et ont constaté que les facteurs tels que l'index, le diamètre et la taille de secteur de feuille n'ont pas expliqué la variation de leurs effets de refroidissement.

Les caractéristiques des espèces d'arbres utilisés selon le tableau III.7, dans trois configurations de rue commerçante urbaine typique de largeur de 27m , avec 4,6et8 étages

Tableau III.7 : Caractéristiques des arbres utilisés pour la simulation. (Shashua-Bar.L et al, 2006)

Espèce d'arbre	Da (diamètre des couronnes et caractéristiques)	D Distance entre arbres (m)	H Hauteur de la couronne (m)	Pourcentage de couverture de la rue par la canopées (%)
Ficus retusa (figier)	20 Dense et large	12	20	90
Tipuana Tipu	20 Taille modérée	12	10	70
Palmier	8 Clairsemée et étroite	7	15	20

Pour les trois géométries étudiées les résultats montrent l'effet de refroidissement maximum sous l'arbre *ficus restusa* pour toutes les configurations des rues et le refroidissement est maximal (tableau III.8).

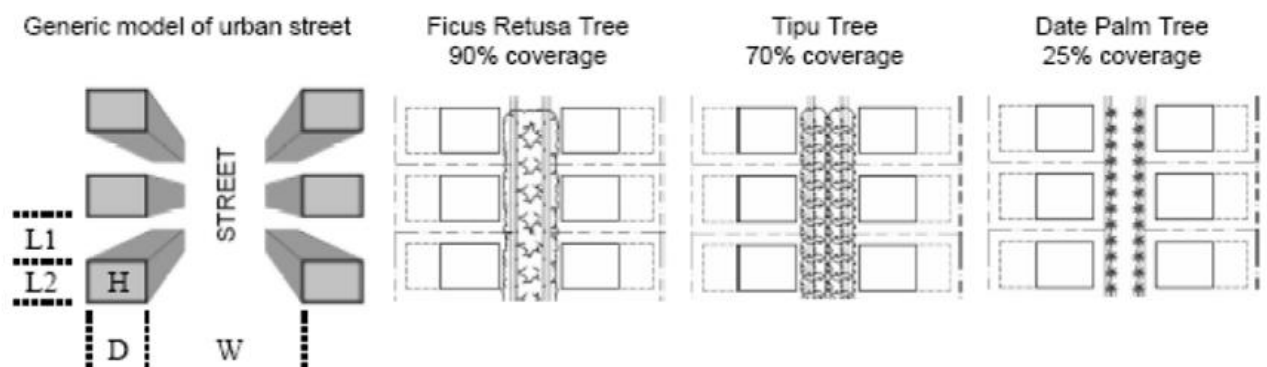


Figure III.22 : Caractéristiques géométriques de la rue avec différents caractéristiques d'arbres.
Shashua-Bar.L et al, 2006

L'effet de refroidissement de l'arbre dépend principalement des caractéristiques de l'arbre (niveau de couverture de l'espace par la couronne) et cet effet est fortement lié à la géométrie urbaine de l'espace ouvert.

Tableau III.8 : L'effet de refroidissement des trois espèces d'arbres selon la géométries à 15Hdurant le mois d'été à Tel-Aviv .(Shashua-Bar.L et al, 2006)

Espèce d'arbre	Pourcentage de couverture	$\Delta T1(^{\circ}C)$ différence de températures entre la rue avec et sans arbres			$\Delta T2(^{\circ}C)$ différence de températures entre la rue et station météo de référence		
		H/W			H/W		
		0.6	0.8	1	0.6	0.8	1
Rue sans arbres	0				+3.08	+2.05	+1.48
Ficus Retusa (figuier)	90	-3.44	-2.99	+2.69	-0.35	-0.93	-1.20
Tipuana Tipu	70	-2.06	-1.79	-1.61	+1.02	+0.26	-0.13
Palmier	25	-0.46	-0.40	-0.36	+2.63	+1.66	+1.13

Degré de couverture

L'effet de refroidissement entre arbres et le degré de couverture par les arbres des rues étudiées par L. Shashua-Bar et al (2010) indique d'après la figure III.23, s'est avérée fort avec un coefficient de corrélation de 0.92. Plus niveau de couverture des arbres est haut, plus l'effet de refroidissement est haut. Elle montre l'effet de refroidissement d'arbres à 15h00 d'heure (quand l'effet atteint au maximum). Cette relation, cependant, n'est pas uniforme puisque les effets sont partiellement dus au niveau de couverture de l'arbre dans la rue (également liée l'espèce de l'arbre et les propriétés thermiques de la couverture) et partiellement dus à la géométrie de la rue. Une étude précédente a prouvé également que l'effet de refroidissement d'arbres est lié à la géométrie de ces rues.

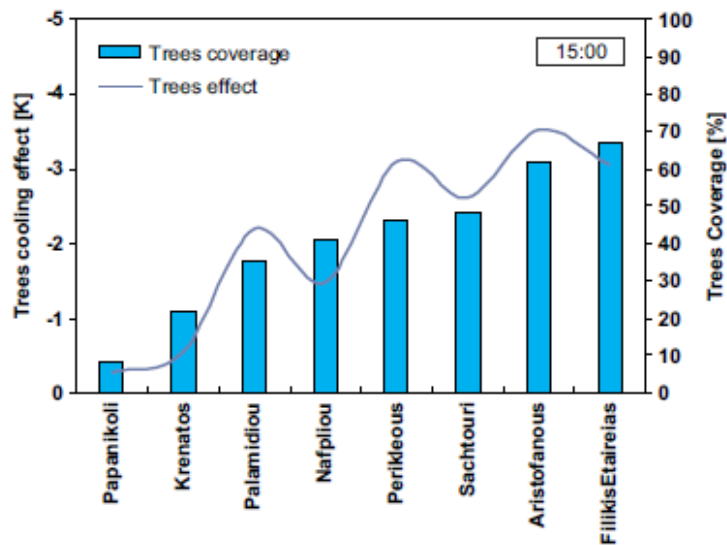


Figure III.23 : Simulation de l'effet de refroidissement par les arbres par rapport aux différents rues étudiées (L. Shashua-Bar et al, 2010)

Nombre d'arbres :

Il serait important de comprendre le rapport entre le nombre d'arbres et l'effet de refroidissement pour concevoir un programme « greening » urbain. Deux études ont explicitement comparé les effets d'un simple contre un bouquet d'arbres sur la température de l'air. Les résultats de comparaisons à Freiburg, Allemagne trouvent les températures sont marginalement plus élevées sous l'arbre simple que le bouquet d'arbres (Streiling et Matzarakis, 2003). Dans une étude repliée en Indiana, Souch et Souch (1993) n'ont trouvé aucune différence entre simples arbre ou les blocs (de 3 ou 4 arbres) de l'érable à sucre, *saccharum d'Acer*. Cependant, la variation des températures entre les mesures a suggéré que les bouquets d'arbres peuvent être plus efficaces que les arbres simples (Shashua-Barre et Hoffman, 2000 ; voir également la Shashua-Barre et le Hoffman ; 2002).

Moment de la journée:

Des études ont comparé les effets des arbres durant le jour et la nuit, montrent que le refroidissement de l'arbre est apparent la journée (Souch & Souch 1993 ; Shashua-Bar & Hoffman, 2000; Golden et al., 2007; voir aussi Huang et al., 2008).

Cela explique la notion de refroidissement est due à l'effet d'ombrage et lui a été présumé que les arbres peuvent gêner l'échange thermique à la nuit.

Distance des arbres :

Shashua-Barre et Hoffman (2000) ont étudié 11 emplacements différents avec des arbres à Tel Aviv et ont étudié le déclin dans l'effet de refroidissement de ces emplacements avec la distance pendant juillet et août. Les données ont suggéré que la réduction de la température par des arbres ait été perceptible jusqu'à 80m de l'arbre.

III.4.2 Effet de l'ombrage des végétaux

L'ombre est en général l'effet principal recherché lorsque l'on plante des arbres ou lorsque l'on fait pousser des plantes grimpantes sur treille ou pergola. Les caractéristiques des plantes qui peuvent significativement affecter leur contribution à l'ombrage sont :

- le temps mis pour atteindre une taille suffisante ;

- son diamètre et sa hauteur, qui influencent la distance entre arbres ou entre un arbre et un bâtiment ;
- la durée de la feuillaison ;
- la résistance à la pollution: des espèces durables sont nécessaires en zones urbaines pour éviter la mort prématurée des plantes.

L'ombre obtenue est fonction donc de la distance entre la plantation et l'élément à ombrer, de la hauteur de la tige et de la hauteur de l'arbre.

Les ombres réduisent l'apport de chaleur dans les bâtiments en réduisant les températures de surface de leur environnement. La nuit, les arbres bloquent l'échange de chaleur entre le bâtiment, le ciel et l'environnement qui sont plus frais⁵³. L'ombre produite par les arbres atténue également l'effet d'éblouissement et de réverbération car elle bloque la lumière diffuse réfléchi du ciel et des surfaces environnantes. Les effets d'ombrage des arbres ont été étudiés par Rosenfeld (1995)⁵⁴. Akbari et al.(1997)⁵⁵. Ils ont quantifié une diminution de l'ordre de 30 à 35% de l'utilisation de l'énergie de climatisation pour deux maisons à Sacramento grâce à l'ombre des arbres.

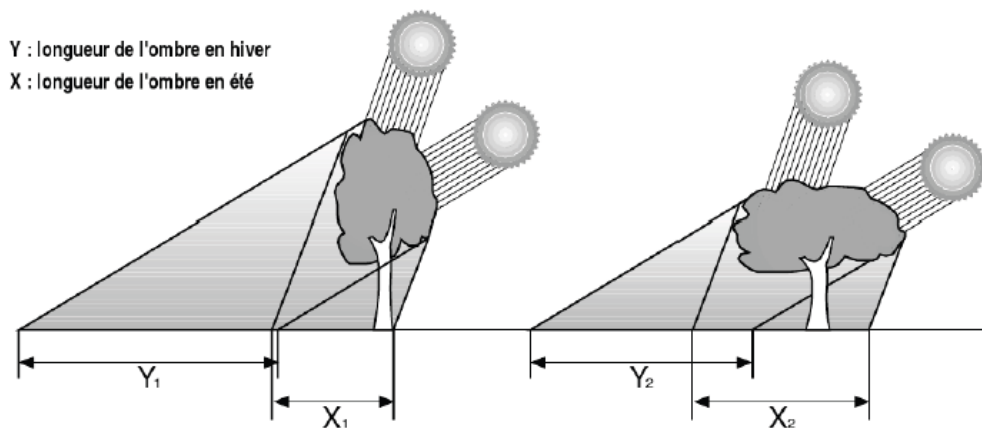


Figure III.24 : Influence de la hauteur et de la forme du houppier sur l'efficacité de l'ombrage, la géométrie de l'arbre de droite est plus avantageuse à la fois en hiver et en été ($Y_2 < Y_1$ et $X_2 > X_1$) ; J.Bouyer, 2009.

⁵³ - Akbari H., 2002, *Shade trees reduce building energy use and CO2 emissions from power plants*. Environmental Pollution n°116, p. 119-126.

⁵⁴ - Rosenfeld A.H., *Mitigation of urban heat islands materials*, utility programs, updates, Energy and buildings n°22 (3), 255-265, 1995.

⁵⁵ - Akbari, H., Kurn, D.M., Bretz, S.E., Hanford, J.W., 1997. *Peak power and cooling energy savings of shade tree*. Energy and Buildings 25, 139-148.

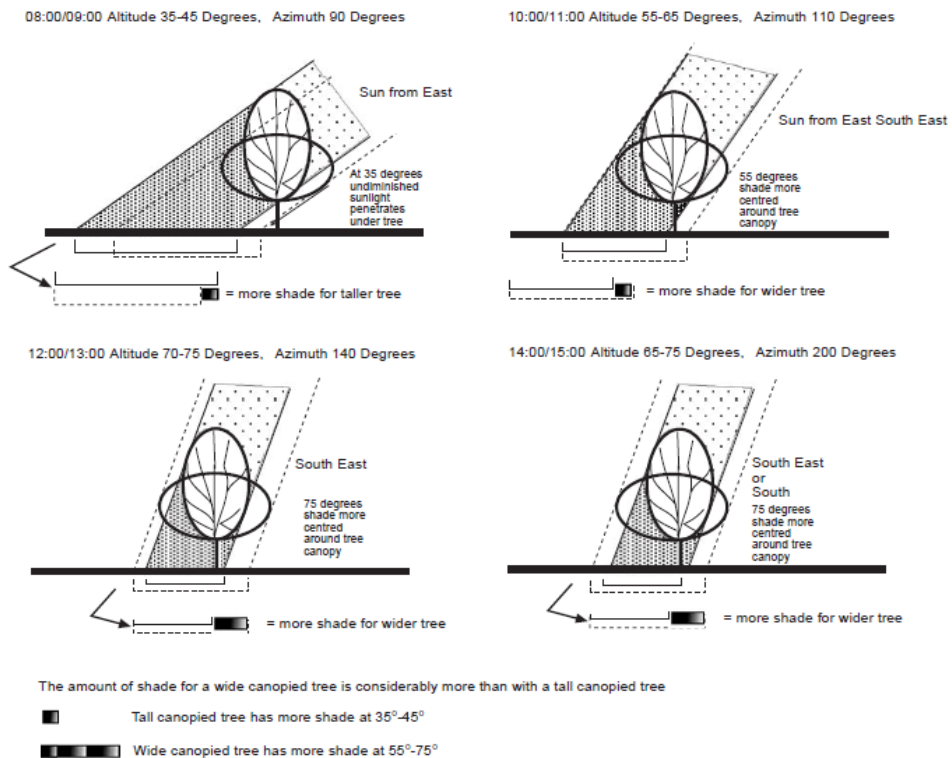
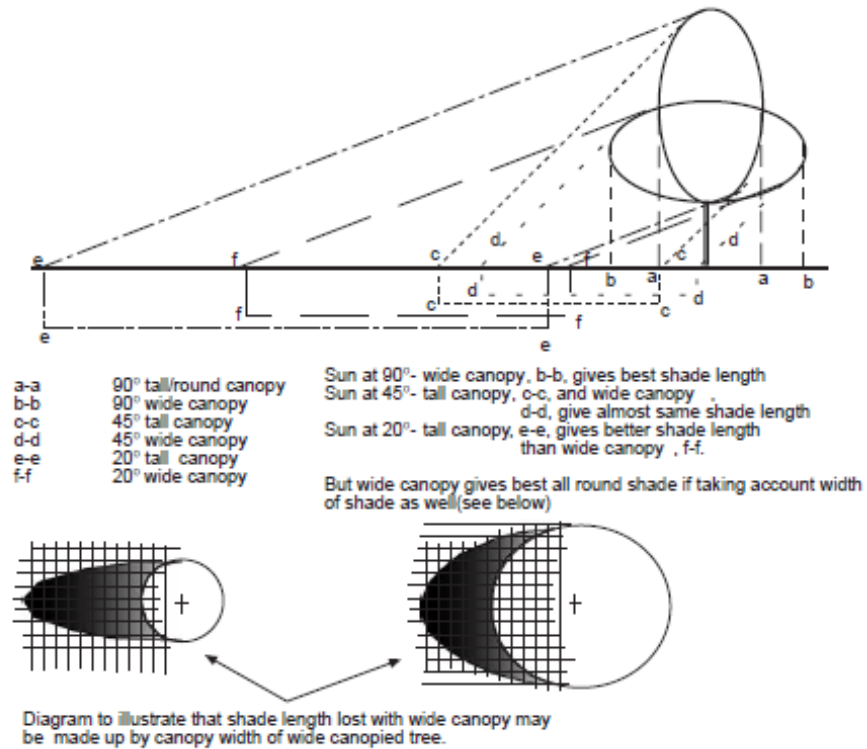


Figure III.25 : Comparaison de l'ombre portée par une couronne large et couronne haute, B .kotzen, 2003

III.4.2.1 Détermination de l'ombrage des végétaux

L'ombre effective des arbres sur le sol ou sur les façades environnantes dépend de deux phénomènes:

- l'ombre portée par la forme de la canopée entière supposée opaque;
- la transmission solaire de la canopée elle-même.

Le premier phénomène permet de déterminer les surfaces du sol ou des façades de bâtiments soumises à l'ombre d'un arbre pendant une journée particulière de l'année.

Le second phénomène permet d'évaluer le taux d'ombrage obtenu dans les zones sous influence de l'ombre de la canopée.

La canopée architecturale du végétal

L'architecture de la canopée est le facteur le plus important qui détermine les caractéristiques du régime de radiation dans la canopée. L'architecture végétale d'un arbre dépend de la forme, de la dimension et de la distribution dans l'espace des éléments qui le compose. Les variables les plus souvent utilisées pour caractériser cette architecture sont d'après Guyot⁵⁶ :

- La hauteur h_0 du couvert,
- la densité foliaire, *LAD* (Leaf Area Density),
- l'indice foliaire, *LAI* (Leaf Area Index),
- et l'inclinaison moyenne de feuilles.

Il s'agit de résoudre la projection du volume sur un ou plusieurs plans selon les angles d'incidence des rayons solaires.

L'indice LAD

Le LAD (Leaf Area Density) est un paramètre objectif décrivant l'architecture du couvert et la densité foliaire, *LAD*. Elle correspond à la surface totale des feuilles par unité de volume et elle s'exprime en m^2m^{-3} . En raison de la structure tridimensionnelle d'un arbre, ce paramètre est une fonction de l'espace et il détermine le degré de perméabilité à la lumière et aux rayonnements de grandes longueurs d'onde. La densité foliaire varie suivant l'espèce considérée, l'architecture et la saison.

⁵⁶ - Guyot A, 1988. L'arbre élément du confort vivant. In Vivre dehors, confort des espaces publics. Monosque : acts de colloques, pp. 71-80.

Dans les arbres à feuilles caduques, la majorité de la masse foliaire se trouve dans la partie la plus élevée de la couronne ; elle diminue rapidement vers le bas (voir Figure III.26 a). Pour des conifères, le maximum de *LAD* se trouve dans la partie inférieure de la couronne (voir Figure III.26 b).

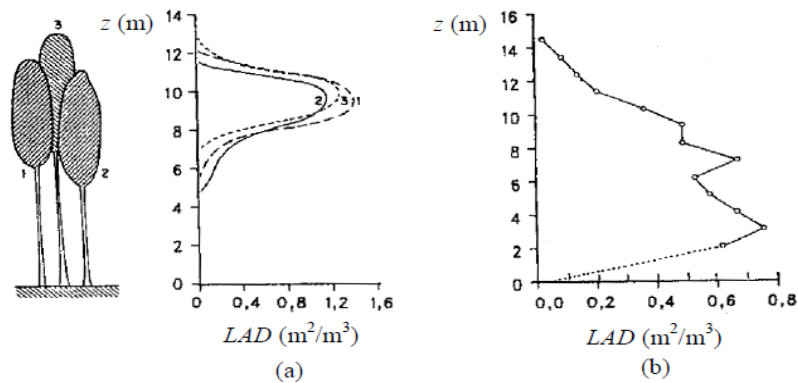


Figure III.26: Profils verticaux de densité foliaire a) pour un arbre à feuilles caduques, d'après (Rauner, 1976) ; b) pour un conifère, d'après (Hicks et al. 1975)

Indicateur du végétale : LAI

La transmission solaire de la canopée dépend logiquement de la densité du feuillage. La densité du feuillage s'exprime au moyen d'un indice universel appelé "Leaf Area Index". Le "Leaf Area Index", LAI, (que l'on peut traduire par « indice de surface foliaire, ISF ») est un indicateur très utilisé par les agronomes. Il est défini comme le rapport de la surface totale de toutes les feuilles d'une plante et de la surface du sol couverte par la plante.

La grandeur de cet indice dépend donc de l'âge, de la taille et de la forme de la plante, ainsi que de la saison pour les plantes à feuilles caduques. Par exemple, une plante qui aurait une seule couche de feuilles placées les unes contre les autres aurait un LAI égal à 1 du fait que la surface totale des feuilles serait égale à la surface du sol couverte par la couche.

La mesure directe du LAI présente une grande difficulté. Le prélèvement de feuilles est à éviter, pour éviter des traumatismes, aussi a-t-il fallu trouver des systèmes de mesures indirectes pour approcher le LAI. il peut être calculé par l'équation :

$$LAI = \int_{z=0}^{z=h_0} A_f(z) dz \dots\dots\dots \text{Équation III.8}$$

Le LAI est une des variables principales qui détermine le champ de rayonnement au sein du couvert. En général, la réflectance du couvert, dans le visible et le moyen infrarouge,

diminue lorsque l'indice foliaire augmente ; en revanche, elle augmente dans le proche infrarouge. La variation de la réflectance en fonction de l'indice foliaire atteint un seuil dépendant du domaine spectral considéré : le palier est atteint pour un *LAI* voisin de 3 dans le visible et le moyen infrarouge, et pour un *LAI* de l'ordre de 5 à 6 dans le proche infrarouge.

III.4.2.2 Transmission de l'ensoleillement ou de la lumière selon LAI

Les méthodes indirectes de mesure du LAI sont souvent basées sur l'analyse du taux de trous dans la canopée (« gap fraction »). L'aire de ces trous peut être mesurée à partir de photographies de la canopée, ou des tâches solaires projetées au sol, ou encore à partir du rayonnement solaire transmis par la canopée.

La photographie hémisphérique traitée par un logiciel de traitement d'images (type Photoshop) constitue encore un moyen efficace et facile à réaliser⁵⁷. Izard et Mevy ont proposé une méthode d'analyse de la transmission lumineuse du ciel basé sur la photographie fish-eye et le comptage de pixels sous Photoshop (Figure III.27) & (Figure III.28).



Figure III.27 : Image fish-eye à axe horizontal des platanes du cours Mirabeau à Aix-en-Provence ; les canopées ont été sélectionnées en noir, SaGacité.

⁵⁷ - Izard J-L, Destobbeleire G., Mevy J-P., Analysis tools of urban environment, thermography and angular studies, Proceedings PLEA 98 "Environmentally Friendly Cities", Lisbonne, Juin 1998



Figure III.28 : Image fish-eye à axe zénithal d'une treille de vigne près d'Aix-en-Provence; le feuillage a été mis en noir ; le nombre de pixels noirs ramené au nombre de pixels de la zone sélectionnée donne le facteur de vision du ciel à travers la treille, que l'on peut assimiler à un facteur de transmission.

Le LAI peut aussi se mesurer indirectement pour des aires végétales homogènes en observant à partir de satellites le rayonnement dans le domaine de longueur d'onde située entre 400 et 700 nm que la canopée absorbe pour la photosynthèse. Mais il existe d'autres moyens indirects pour approcher le LAI.

Filtration de rayonnement thermique

L'équation suivante a été appliquée dans l'étude de Mohd.F. Shahidan et al. 2010⁵⁸:

$$\text{Pourcentage de filtration de rayonnement} = (OT - UT) / OT \dots\dots\dots \text{Équation III.9}$$

Où:

OT = lecture moyenne du rayonnement solaire en dehors de la voûte (W.m⁻²);

UT = lecture moyenne du rayonnement solaire sous la voûte (W.m⁻²).

⁵⁸ - Shahidan Mohd. F., Shariff Mustafa K.M., Jones Phillip, Salleh Elias, Abdullah Ahmad M.; "A comparison of Mesua ferrea L. and Hura crepitans L. for shade creation and radiation modification in improving thermal comfort" Landscape and Urban Planning 97 (2010) 168–181

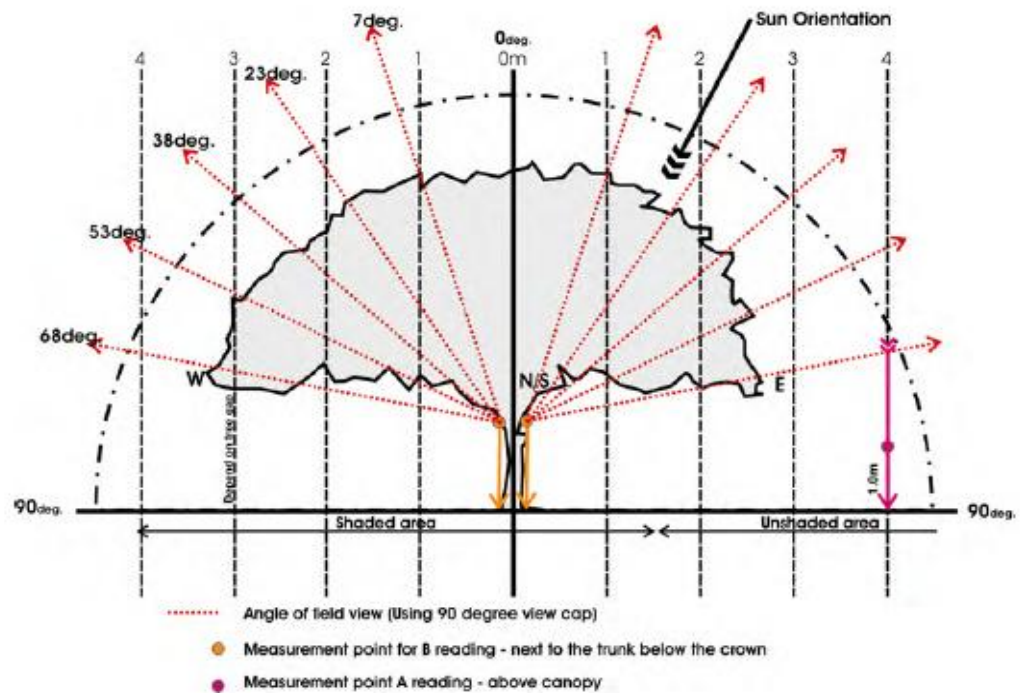


Figure III.29 : Diagramme montre les procédures de mesure pour la mesure de LAI (vue d'élévation) ; Mohd.F. Shahidan et al. 2010

Filtration de la lumière

L'équation suivante a été appliquée dans cette étude ;

$$\text{Pourcentage de filtration de la lumière} = (OT - UT) / OT \dots\dots\dots \text{Équation III.10}$$

Où:

- OT = lecture moyenne de la lumière en dehors de la voûte (lx)
- UT = lecture moyenne de la lumière sous la voûte (lx).

Selon Brown et Gillespie (1995), la valeur de la lumière transmise sous la couverture végétale est considérée la valeur de transmissivité spécifique des usines. Par conséquent, la valeur peut être calculée comme suit :

$$\text{Transmissivité de la plante} = 100\% IL - X\% LF \dots\dots\dots \text{Équation III.11}$$

Où:

- IL = lumière entrante;
- X% LF = pourcentage de lumière filtré par la plante

III.4.2.3 LAI et type de végétation

La densité des feuillages exprimée par le LAI, dépend de la nature de la végétation. R. E. Dickinson et al⁵⁹ proposent le tableau suivant pour différents types de végétations:

Tableau III.9: Valeurs du LAI en fonction du type de végétation ; SagaCités 2001.

Type Végétation		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ratio Bois /feuilles*		0	0	30	30	30	30	0	30	0	0	30	0	30	30	30
Coeff. Respiration feuille**		35	35	5	5	15	5	35	15	15	35	15	25	5	15	20
LAI Spécifique		25	25	16	16	40	20	26	5	20	26	10	26	20	40	30
LEGENDE	1	plantes cultivées	4	aiguille caduques	7	herbe haute	10	culture irriguées	13	arbuste à feuilles persistantes						
	2	herbe rase	5	large feuilles caduque	8	désertique	11	semi désertique	14	arbuste à feuilles caduques						
	3	aiguilles persistantes	6	large feuille persistantes	9	toundra	12	Marécageuses	15	boisement mélangé						

La valeur la plus grande du LAI spécifique (40 m²/kg) concerne les types 5 et 14, c'est à dire les plantes avec de grandes feuilles caduques. Les conifères (cas 3 et 4) se tiennent bien en dessous (16 m²/kg).

Les arbres dans l'espace urbain ont une importance positive sur les conditions de vie des individus d'après la recherche de N. J. Georgi · K. Zafiriadis⁶⁰. Un effet positif pour l'amélioration du microclimat. Cette recherche a pour objectif de corrélérer les différents paramètres qui affectent le microclimat durant la période estivale. Des mesures ont été effectuées sur le site (température de l'air, humidité relative et radiations solaires à l'ombre des arbres dans un parc urbain et au soleil (voir figure III.30)

⁵⁹ - Dickinson R. E. et Graumlich L J., "Interactive Vegetation for Climate Models over the seasonal Cycle", University of Arizona, Western Regional Center Director's Report:
<http://nigec.ucdavis.edu/publications/annual94/westgec/project07.html>.

⁶⁰ - Georgi N. J. · Zafiriadis K.; The impact of park trees on microclimate in urban areas. Urban Ecosyst (2006) 9: 195-209 DOI 10.1007/s11252-006-8590-9

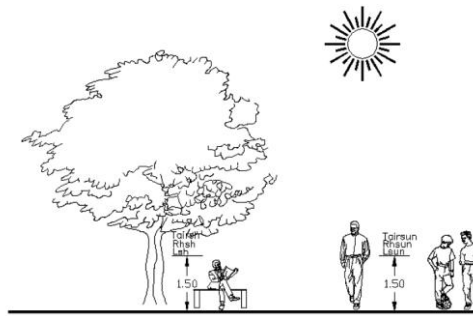


Figure III.30 : méthode de mesures ; N. J. Georgi et al, 2006

Les résultats indiquent que : le pourcentage de réduction de température de l'air (a) (dTair%), l'augmentation d'hygrométrie (dTRh%), le pourcentage de réduction d'index de discomfort (DI%) (Effet de refroidissement) et le pourcentage du rayonnement solaire (l) sous le feuillage des arbres crée une fonction exponentielle de :

$$dA\% = a.e^{-bL} \dots\dots\dots \text{Équation III.12}$$

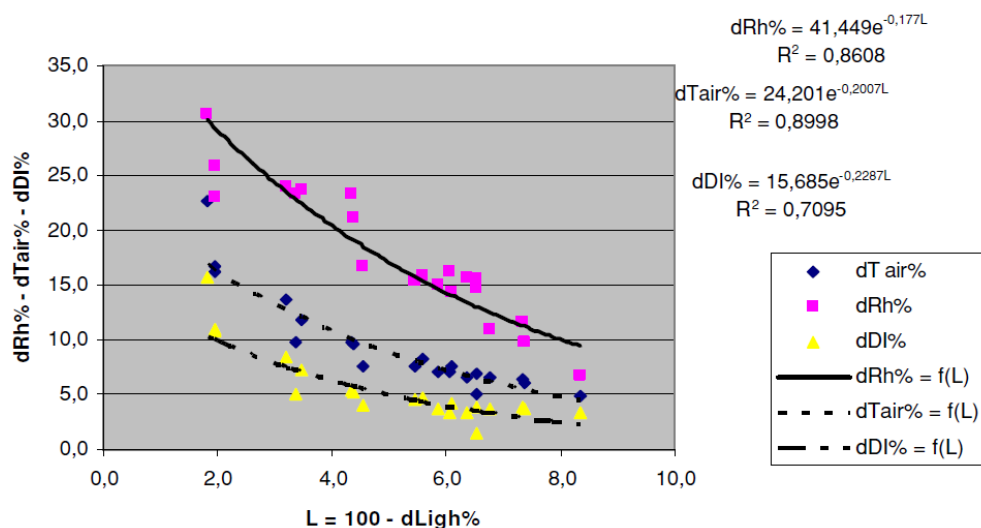


Figure III.31 : variation de la température de l'air, de l'humidité et l'inconfort index en fonction de la transmissivité de l'arbre ; N. J. Georgi et al, 2006

Ces fonctions s'appliquent également aux valeurs de variation des paramètres environnementaux.

Si nous employons $L = 0$ (signification Lightsh = 0, qui correspond à la valeur pour un arbre extrêmement dense), puis les valeurs que nous attendons de ce paramètre particulier sont le maximum possible. Les valeurs maximum ont une caractéristique de la variation de paramètres pour ce domaine de recherche particulier. Ces valeurs maximum pour les arbres en parcs de Thessaloniki en Grèce sont : $\approx 24\%$, $\approx 41\%$ et $\text{maxdDI}\% \approx 16\%$ de $\text{maxdTair}\%$ de $\text{maxdRh}\%$.

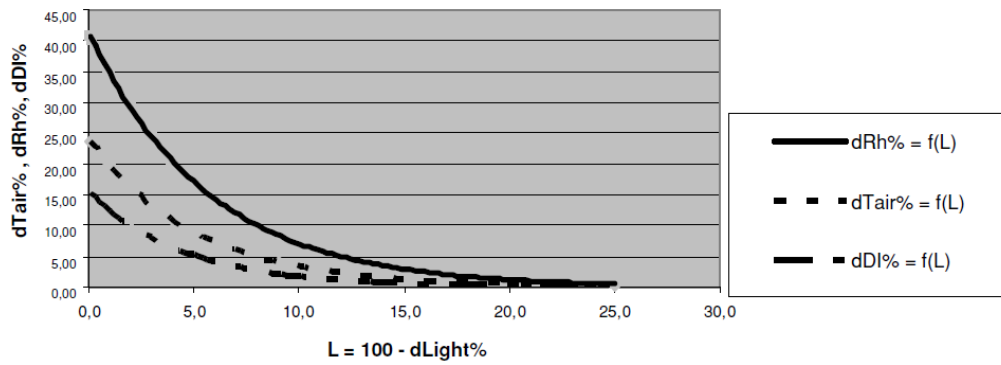


Figure III.32 : variation de dRh%, dTair% et dDI% en fonction de L% calculé par la fonction exponentielle ; N. J. Georgi et al, 2006

L'effet de la végétation sur la température de l'air et la qualité de l'ombre a été prouvé par de nombreux chercheurs dans le monde et qui dépendent de l'espèce. B.Kotzen (2003) trouve une différence des températures et justifie cette différence suivant les espèces. Ces écarts varient entre 2°C et 7°C .

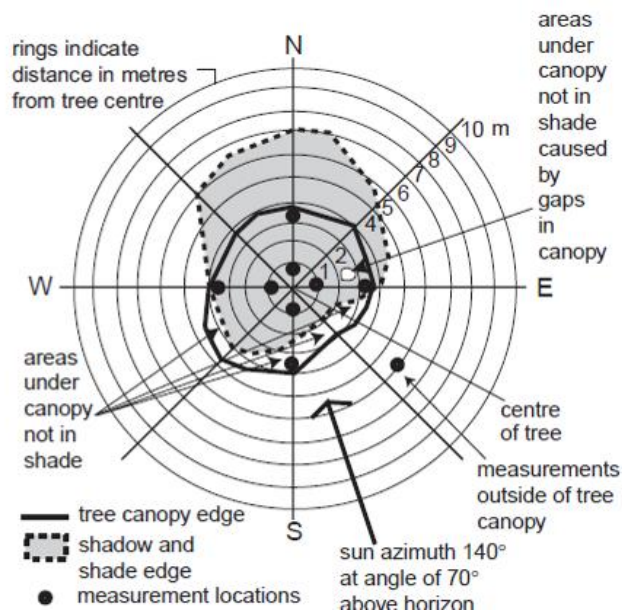


Figure III.33 : Diagramme de la couverture et masque d'ombre d'un arbre pour *P. atlantica* à 12:00 le 11/9/00.(B.KOTZEN,2003)⁶¹

Les caractéristiques d'ombre de chaque arbre dépendent de la forme de la canopée et de l'embranchement des espèces, aussi bien que les différentes caractéristiques de l'arbre dans les espèces, la quantité de couverture de feuille et l'angle du soleil (figure III.43)

⁶¹ - Kotzen B , 2003 An Investigation of Shade Under Six Different tree Species of Negev Desert Towards Their Potential Use for Enhancing Microclimatic Conditions in Landscape. Architectural development. Journal of Arid Environments, 55,231-274.

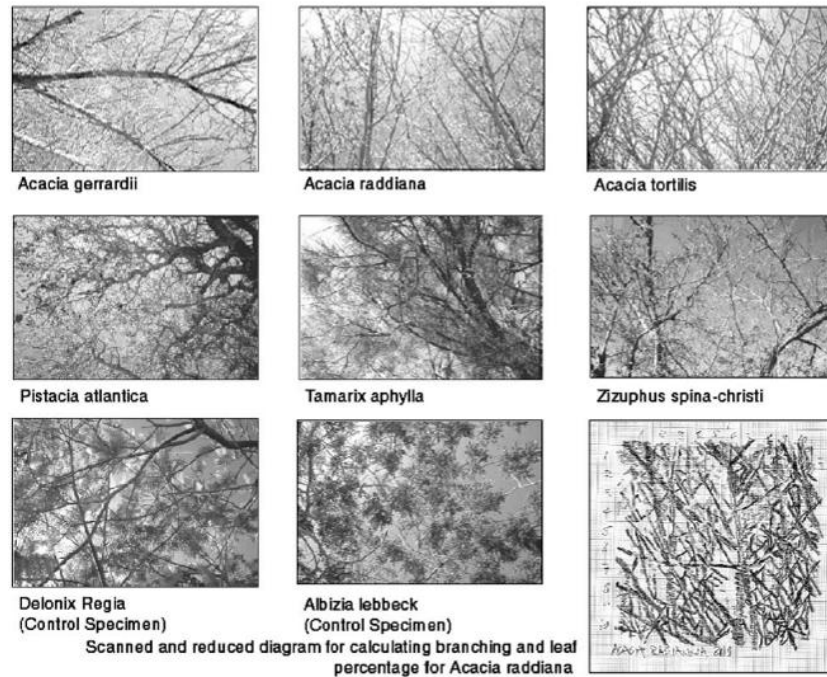


Figure III.34 : Disque photographique de l'embranchement et des caractéristiques de feuille des six espèces (B.Kotzen, 2003)

III.4.2.4 Ombre des végétaux et le flux solaire

L'ombre des arbres et des végétaux n'a pas un effet très marqué sur la température d'air. Par contre, cette ombre réduit considérablement les flux solaires et, en limitant les échauffements des surfaces qui normalement devraient être ensoleillées, réduit aussi les flux radiatifs thermiques.

L'Ecole d'Architecture de l'Université Polytechnique de Valence⁶² a mené une étude dans le but de trouver les espaces les plus confortables dans la ville de Valence, une étude a été faite sur les principales interactions entre les espaces verts et les paramètres environnementaux urbains.

Des prises de mesures de rayonnement solaire ont été effectuées au dessous des arbres, donc il était possible de calculer un pourcentage d'absorption pour chaque espèce par rapport aux valeurs totales mesurées dans la ville (tableau 9).

En mesurant la température d'air et l'humidité relative sur les allées dégagées et sur les zones vertes, un écart de température de **2,5 °C** a été trouvé entre les surfaces au sol à l'ombre couvertes de végétal et les rues entourées de bâtiments.

⁶² - F. Gomez et al. The green zones in bioclimatic studies of the mediterranean city. PLEA'98, pp 207-210

Cet écart est dû au rafraîchissement apporté par évapotranspiration du végétal.

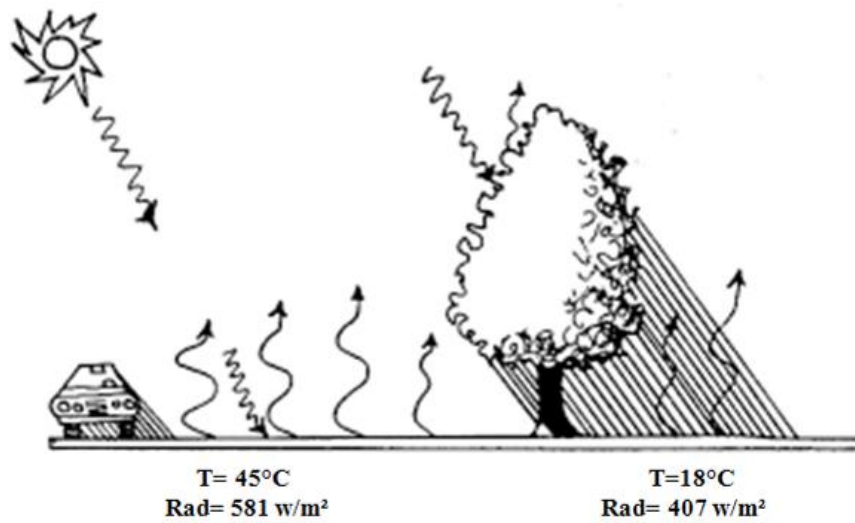


Figure III.35 : Ombre et filtration de la radiation par les arbres, réduit la température des surfaces de sols.

Source: Brown and Gillespie, 1995

Les mesures ont été faites du mois de juin au mois d'octobre sur 5 zones caractéristiques incluant 25 espèces d'arbres et 4 pelouses

Tableau III.10 : Espèces et transmission du rayonnement solaire. F. Gomez et al, 1998

Espèces	Pourcentage du rayonnement global transmis (%)	Rayonnement mesurés au dessous des arbres (W/m ²)
Acer Negundo	15,2	88,6
Catpa Bignoïdoïdes	1,5	85,8
Geltis Australis	0,6	91
Ceratonïa Silicua	0,8	83,6
Cercis Siliquastrum	2,2	90,1
Citrus Aurantium	4,5	87
Ficus Macrophiïa	0,3	93,8
Gleditsïa Triacanthos	0,9	89
Ligustrum Japonicum	9,8	89
Meliïa Azedarach	12,6	89,1
Mioporum Pictum	0,7	91,4
Morus Alba	5,2	77,5
Nerium oleander	0,8	91,6
Olea Europea	0,2	89,8
Phoenis Dactilifera	1,9	90,6
Pinus Alepensis	1,2	85,8
Platanus Acerofilia	8,6	85,8
Populus Alba Bolleana	5,1	94,3
Robinia Pseudoacacia	7,7	86
Sophora Japonica	3,4	93,2

Le *Pinus Alepensis* est l'espèce la plus efficace avec ses potentiels de fixation de gaz carbonique (matérialisé par sa production de matériau organique) dans les conditions écologiques spécifiques de l'environnement urbain de Valence.

En Espagne l'équipe du Département de la Technologie Architecturale, de l'École d'Architecture de Barcelone⁶³ a étudié deux types de configurations spatiales : la Rambla Catalunya qui présente deux voies avec une chaussée étroite, séparées par un pavage central orné d'une double rangée d'arbres (caduques, Tilla européenne) et le campus Nord d'UPC'S Université Polytechnique de Catalunya représenté par un square entouré de bâtiments, où la végétation est constituée d'arbres à feuilles caduques (*Robinia pseudoacacia*) et un pavage en pierre artificielle (figure III.36).

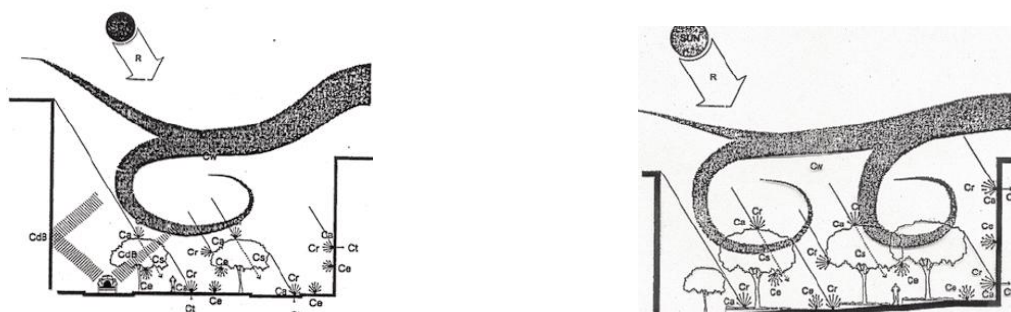


Figure III.36: Analyse qualitative dans la Rambla Catalunya (A) et le square du campus de l'université polytechnique (B).

Les résultats des mesures montrent que les surfaces à l'ombre ont une température égale à la température d'air alors que les surfaces au soleil ont une température supérieure à celle de l'air, les couronnes des arbres par contre ont la même température que celle de l'air.

L'orientation de la rue, le rapport largeur / hauteur et la hauteur des bâtiments permettent la pénétration du rayonnement solaire presque toutes les matinées.

L'humidité relative est plus influencée par la direction du vent que par les couches végétales, ces dernières n'ont pas beaucoup d'effet sur la direction et la vitesse du vent.

Les allées de pelouse au soleil ont des températures plus élevées que celles de l'air extérieur (+14°C) alors que les températures du pavage et des murs sont encore plus élevées (+25 °C).

Par contre, la température d'air dans la cour et dans les allées ombragées est égale à la tem

On peut affirmer, en conclusion, que l'effet le plus important du végétal sur le microclimat urbain s'exerce sur le rayonnement solaire : le végétal absorbe et reflète un plus grand

⁶³ - J. Manuel Ochoa De la torre and Rafael Serra. Microclimatic analysis of some urban scenarios. PLEA'98

pourcentage du rayonnement solaire, le reste traversant le végétal et atteignant les surfaces au sol.

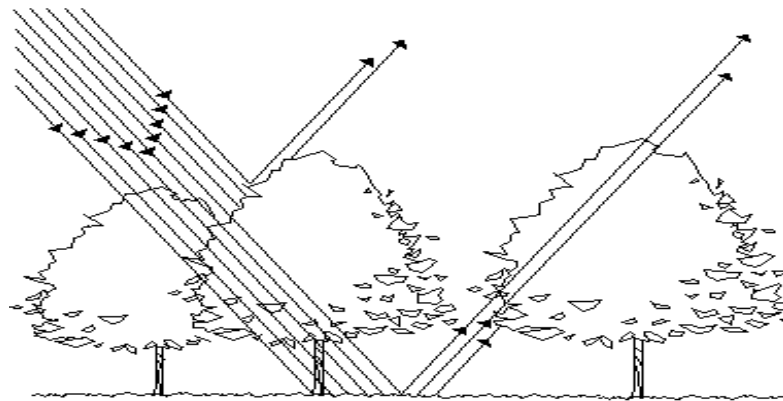


Figure III.37 : Réduction du rayonnement solaire. www.mybestlife.com/bio-architecture.htm

Par contre, le végétal est insensible à la température environnante et à l'humidité relative, mais joue un rôle prépondérant dans le contrôle de la température radiante en obstruant un grand pourcentage du rayonnement solaire, ce qui empêche leurs surchauffes et l'émission du rayonnement longues ondes.

III.4.2.5 Comparaison entre ombre par végétation et ombre par une structure

L'étude de Limor Shashua-Bar et al (2009) décrit une analyse climatique des stratégies de refroidissement extérieur dans une région chaud-aride, vu l'efficacité de l'utilisation de l'eau. Six stratégies ont été étudiées, utilisant différentes combinaisons des arbres, de la pelouse, et d'une maille aérienne d'ombre (figure III.39).



Figure III.38 : Cours avec pavage et en toile d'ombrage (à gauche), and avec l'herbe et les arbres (à droite).
L. Shashua-Bar et al, 2009⁶⁴

⁶⁴ - Shashua-Bar Limor, Pearlmutter David, Erell Evyatar. The cooling efficiency of urban landscape strategies in a hot dry climate. *Landscape and Urban Planning* 92 (2009) 179–186

Les effets de ces traitements ont été examinés pendant la saison d'été dans deux cours partiellement enfermés. Une comparaison entre une cour exposée non-végétalisée, qui en moyenne a atteint une température de l'air maximum du 34°C dans l'après midi, et une cour semblable traitée avec des arbres et l'herbe. Une diminution de la température jusqu'à de 2.5 K, tout en ombrageant la cour avec une maille en toile de tissu, les résultats montrent une augmentation relative presque de 1K par rapport au traitement du sol (figure III.30). Cependant quand l'herbe est ombragée, par les arbres ou par la maille en toile, un effet synergique produit un refroidissement de plus de 50%.

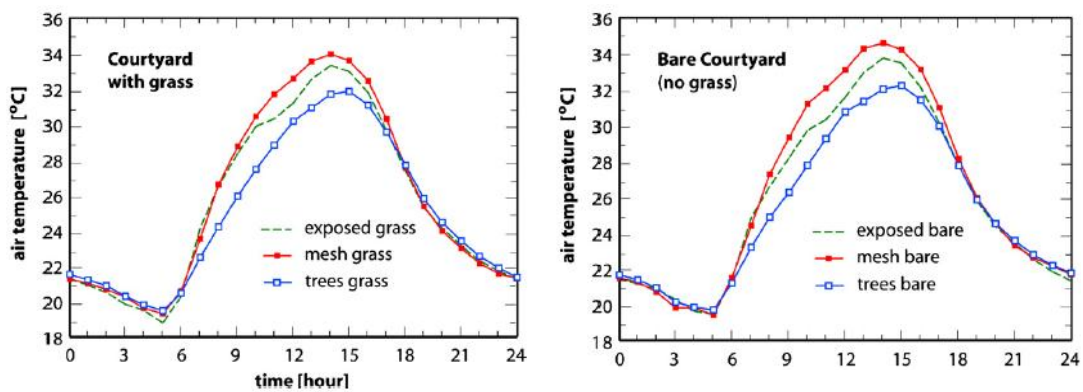


Figure III.39 : Températures de l'air journalière pour six stratégies pour un point à 1.5m de haut ;
L. Shashua-Bar et al, 2009

Pour l'humidité en g.m^{-3} à trois hauteurs de 0.5, de 1.5 et de 2.5m dans les six cas étudiés. Des différences s'étendent entre 12.0 et 14.0 g.m^{-3} . (tableau III.11)

L'humidité tend à augmenter légèrement quand les lectures sont faites près de la végétation, à la hauteur de 0.5m au-dessus de l'herbe ou à la taille de 2.5m, près d'arbres. La petite importance des différences dans l'humidité renforce les observations précédentes (Oke, 1989) les effets de la transpiration des arbres sont ressentis la plupart du temps immédiatement au-dessus de la masse foliaire plutôt qu'en volume.

Tableau III.11 : Humidité absolue en $[\text{g.m}^{-3}]$ pour les six stratégies study point d'observation central pour trois hauteurs à 14 :00 5JUIL-AOÛT2007 ; L. Shashua-Bar et al, 2009

Case	Height 0.5 m	Height 1.5 m	Height 2.5 m
Bare ground cases			
Exposed bare	11.7	13.2	13.4
Shade bare	12.1	13.8	13.9
Trees bare	13.7	13.1	14.5
Grass cases			
Exposed grass	13.4	13.2	13.2
Shade grass	13.8	13.3	13.2
Trees grass	12.6	12.1	14.1

Un élément important affectant la température de l'air et le confort thermique humain est la température radiante des surfaces pleines dans la cour. Le tableau III.12 récapitule les températures de surface au sol pour les différentes stratégies. La question principale à la notification dans ce tableau, est la température élevée de midi du trottoir dans la cour nue exposée (atteignant un maximum de 55°C), comparé à la température de l'air maximum de 33.5 °C. Les températures de trottoir sous la maille en toile et sous les arbres sont réduites sensiblement, atteignant des maximums du 39° C et 37°C respectivement, alors que ceux pour l'herbe exposée et ombragée sous la maille sont plus ou moins comme la température de l'air. L'herbe sous les arbres était beaucoup plus refroidie-seulement 27 °C.

Tableau III.12: Variation des températures des sols [°C] pour les six stratégies ;
L. Shashua-Bar et al, 2009

Case	600	1200	1400	2400
Exposed bare	21.6	53.4	54.9	23.7
Exposed grass	18.3	36.7	34.9	18.0
Mesh bare	23.0	35.7	38.9	25.1
Mesh grass	21.6	30.9	32.2	20.5
Trees bare	22.8	32.1	36.4	24.5
Trees grass	21.0	26.4	27.0	20.7

III.4.3 Effet aéraulique

Le végétal et le vent interagissent pour définir des ambiances urbaines, en particulier dans le domaine de l'aéraulique. Il a été déjà cité que le vent, en accélérant les échanges thermiques avec l'air environnant, avait pour effet de refroidissements dus à l'évapotranspiration.

III.4.3.1 Effets globaux

Par la porosité géométrique qui est défini comme apport : Surfaces des trous /surfaces totales. Le feuillage d'un arbre se laisse traverser par le flux d'air ce qui a pour effet en général d'en réduire la vitesse.

Beaucoup de défenseurs de la cause de végétal urbain placent cet effet de réduction des vitesses d'air au crédit des arbres urbain.

III.4.3.2 Effet de changement de la rugosité

Les arbres apportent une rugosité au sol qui influe sur les écoulements d'air et notamment sur les vitesses d'air. Dans une forêt, les vitesses d'air sont donc globalement diminuées par

rapport à un terrain découvert. Les coupes d'arbres où les clairières provoquent donc une variation brutale de la rugosité qui se traduit par des changements microclimatiques et, en particulier, par une variation de la vitesse d'air.

III.4.3.3 Effet de brise vent

La disposition de végétaux en haies permet de protéger des espaces au sol sur une distance qui peut s'exprimer en multiples de la hauteur. Cet effet est recherché à l'origine pour la protection des espaces en zones de vent. D. Soltner a proposé différentes solutions en donnant la distance de protection (figure.40).

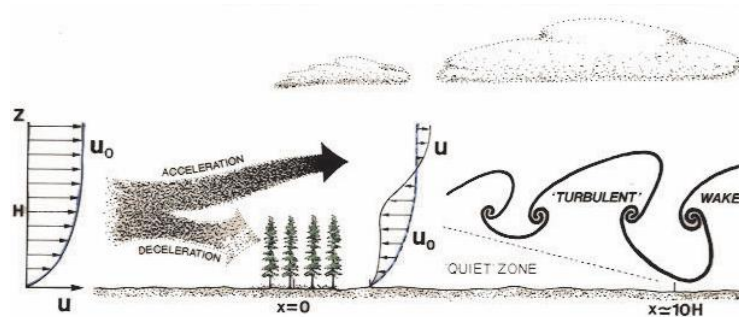


Figure III.40 : Effet de brise-vent : distance de protection (d'après John D. Wilson)

Dans des conditions climatiques plus chaudes, celles de la ville de Montpellier, Jérôme Vinet et al. (5) ont exploré la même problématique avec le même type d'outil de simulation. Les effets d'un vent perpendiculaire à une rue large (proportion $L = 2H$, notablement plus large que le cas étudié par Michael Bruse proche de $H = L$) ont été comparés entre la version d'origine sans arbres, une avec des arbres jeunes et une avec des arbres adultes formant voûte. Cette fois-ci, la vitesse d'air décroît de 1,4 à 0,6m/s en présence d'arbres.

III.5 Effet de la végétation sur le confort

Le végétal a un rôle primordial sur le refroidissement et la qualité de l'air ; ce qui implique sur la sensation et le confort dans l'espace soit l'ambiance environnementale.

III.5.1 Effet de la végétation sur le confort thermique

Plusieurs études discutent les effets de la végétation sur le niveau de confort physiologique humain utilisant un index de confort thermique (la température physiologique équivalente par exemple, PET). Un certain nombre d'index différents ont été présentés, combinant surtout la température et l'humidité et certains ont aussi incorporé d'autres

variables comme la vitesse de vent. Se concentrant sur le sous-ensemble de ces études (inscrit dans le tableau III.13) qui fait une des comparaisons simples entre un espace avec végétation et un autre sans végétation, sont largement dans l'accord que les espaces végétalisés peuvent potentiellement être des environnements plus confortables dans le temps chaud, mais aussi moins confortables dans le temps plus froid par suite de la réduction de la température⁶⁵.

Tableau III.13 : Littérature review sur des études de confort thermique et le végétal, Source : Auteur

Auteurs	Espace urbain	Ville	Confort thermique mesuré	Végétation intervention
Bacci, L. and M. Morabito (2003)	Florence	Italie	Discomfort Index Values	Arbres
Mao, L. S., Y. Gao, et al. (1993)..	Nanjing	Chine	Discomfort values	Arbres
Mayer, H. and P. Hoppe (1987).	Munich	Allemagne	PET, PMV	Espace vert
Potchter, O., P. Cohen, et al. (2006).	Tel Aviv	Israël	PET	Parc
Streiling, S. and A. Matzarakis (2003).	Fribourg	Allemagne	PET	Arbres
Thorsson, S., T. Honjo, et al. (2007).	Matsudo	Japan	Thermal perception; PET	Parc
Gulyas, A., J. Unger, et al. (2006).	Szeged	Hungary	PET	Arbres
Harlan, S. L., A. J. Brazel, et al. (2006).	Phoenix	USA	Human thermal comfort index	Soil-Adjusted Végétation Index

⁶⁵ -Bacci, L. and M. Morabito (2003) Thermohygro-metric conditions of some city parks of Florence (Italy) and their effects on human well-being. Proc. of Fifth International Conference on Urban Climate, Lodz (Poland), 1-5 September

- Mao, L. S., Y. Gao, et al. (1993). "Influences of street tree systems on summer micro-climate and noise attenuation in Nanjing City, China." *Arboricultural Journal* 17(3): 239-251.

- Mayer, H. and P. Hoppe (1987). "Thermal comfort of man in different urban environments." *Theoretical & Applied Climatology* 38(1): 43-49.

- Potchter, O., P. Cohen, et al. (2006). "Climatic behavior of various urban parks during hot and humid summer in the Mediterranean city of Tel Aviv, Israel." *International Journal of Climatology* 26(12): 1695-1711

- Streiling, S. and A. Matzarakis (2003). "Influence of single and small clusters of trees on the bioclimate of a city: A case study." *Journal of Arboriculture* 29(6): 309-316.

- Thorsson, S., T. Honjo, et al. (2007). "Thermal comfort and outdoor activity in Japanese urban public places." *Environment and Behavior* 39(5): 660-684.

- Gulyas, A., J. Unger, et al. (2006). "Assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: Modelling and measurements." *Building and Environment* 41(12): 1713-1722.

- Harlan, S. L., A. J. Brazel, et al. (2006). "Neighborhood microclimates and vulnerability to heat stress." *Soc Sci Med* 63(11): 2847-63.

- Toy, S., S. Yilmaz, et al. (2007). "Determination of bioclimatic comfort in three different land uses in the city of Erzurum, Turkey." *Building and Environment* 42(3): 1315-1318

- Sun, B., T. Wu, et al. (2006). "A preliminary study on effects of four urban greenbelt types on human comfort in Shenzhen, P.R. China." *Chinese Forestry Science and Technology* 5(2): 84-92.

- Mochida A., Sasaki K., Iwata T., Hataya N., Yoshino H.. Effects of roadside trees on thermal environment and pollutant diffusion in street canyon. EACWE4- The Forth European & Africa Conference on wind engineer J. Naprstek & C. Fischer (eds); ITAM AS CR, Prague, 11-15 July, 2005, PAPER #309

Sun, B., T. Wu, et al. (2006).	Schenzen	Chine	Human thermal comfort index	Arbres
Toy, S., S. Yilmaz, et al. (2007 & 2011).	Erzurum,	Turkey	comfort index	Arbres
Mochida et al (2005)			SET* [Standard Effective Température]	Arbres
Echave et Cuchi (2004)	Madrid	Espagne	Comfa	Arbres , pelouse

L'étude de Echave et Cuchi (2004) en Espagne, montre une amélioration de l'équilibre des personnes quand les surfaces sont protégées des rayons solaire directs soit la réduction du SVF. La présence simple des arbres le long d'une rue cause une augmentation entre 76et 78% du nombre d'heures utiles de confort par jour ; tout en passant de 4.80 UCH/JOUR à 8.80 UCH/JOUR. L'introduction des surfaces végétalisées a causé une augmentation du nombre d'heures soit 10.80 UCH/JOUR. L'état de confort s'est amélioré par l'effet d'ombre des arbres.

L'étude de Mochida et al (2005) montre que la plantation d'arbres cause un confort naissant dans l'environnement thermique extérieur, l'environnement thermique extérieur est amélioré par l'introduction des arbres (FigureIII.19). L'effet de l'ombre par les arbres est plus important dans le cas5 (voute végétale). Les valeurs du SET* dans le cas 5 (de 25°C à27°C) sont plus basses par rapport le cas2 et cas3 (de 30°C et 34°C) (figure III.41)

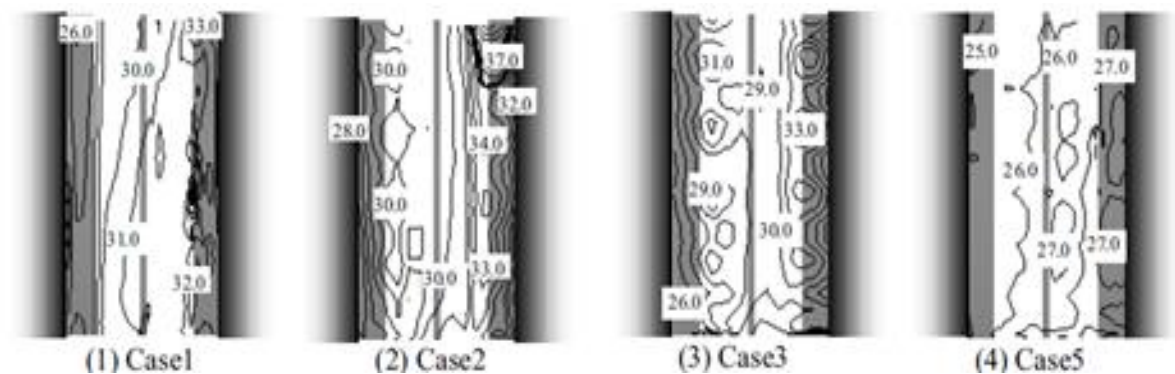


Figure III.41 : Distribution horizontale de l'indice de confort SET* (Standard Effective Température) à 13h00, 4 Aout, à 1.50m de hauteur. Mochida et al ; 2005

L'influence de formes urbaines avec et sans arbres d'alignement de la ville de Munich a été apparant sur la température d'air, la température de globe ou radiante et sur un indice de confort, le P.E.T. (Physiological Equivalent Température), dérivé du PMV a été étudié par Mayer et Matzarakis⁶⁶.(figure III.42).

⁶⁶ - Mayer H. et Matzarakis A., The urban heat island seen from the angle of human-biometeorology, Proceedings of International Symposium on monitoring and management of urban heat island, Fujisawa, November 1997.

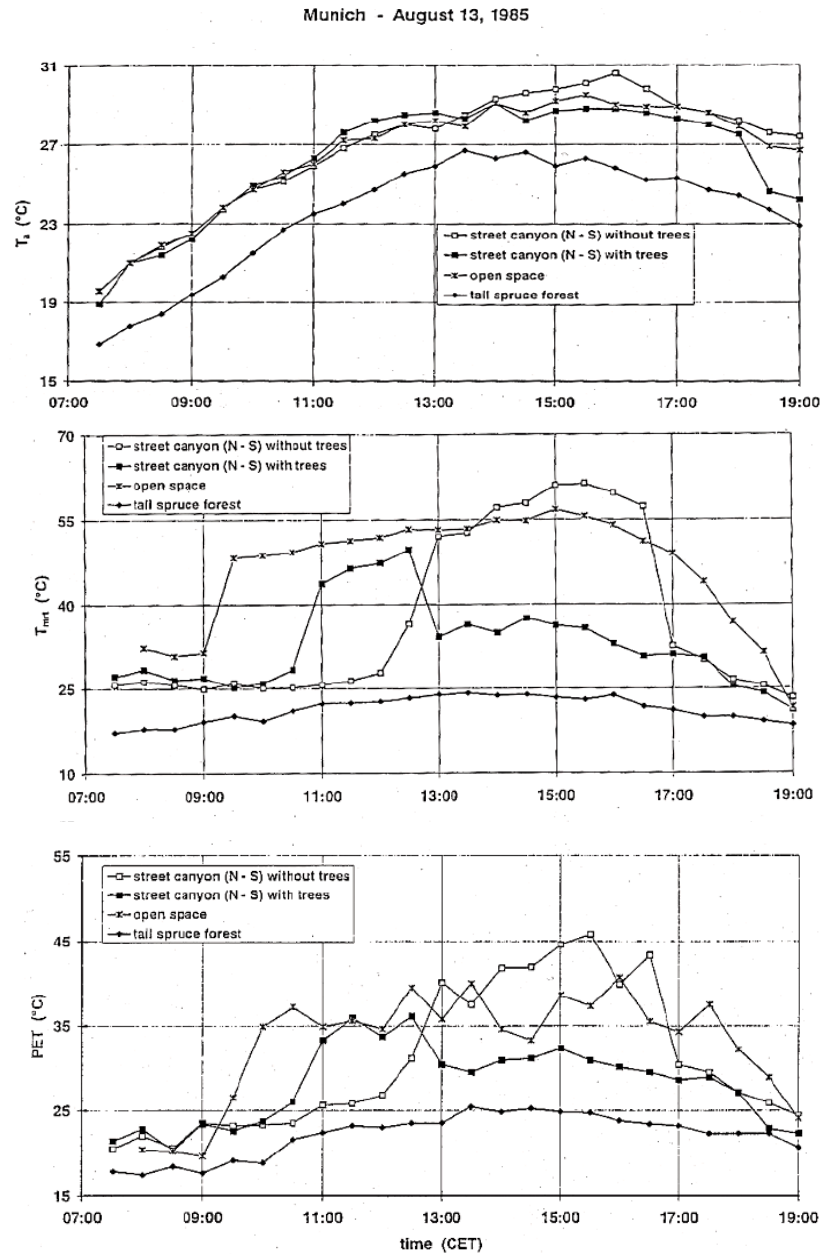


Figure III.42 : Evolutions comparées des conditions dans des espaces urbains de München en été, repérées par la température d'air (en haut), la température de globe (au centre) et l'indice PET (en bas). Mayer et Matzarakis

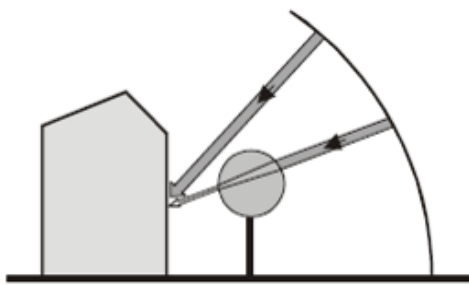
III.5.2 Effet de la végétation sur le confort visuel

La lumière diffuse en milieu urbain ne peut pas éviter le traitement des masques dus à la végétation (arbres principalement), occultations variables de manière périodique (saisonnière).

Quelques pistes ont d'ores et déjà été envisagées à partir des travaux de Wilkinson⁶⁷, mais peu d'études concernant la végétation et le confort visuel ont été abordés.

Le feuillage des arbres masquant partiellement le ciel, leur luminance lumineuse est fonction de l'éclairement lumineux reçu par le feuillage, de son facteur de réflexion, de la « quantité de ciel » visible à travers l'enveloppe de ce feuillage, et finalement de la luminance de la voûte céleste (Fig. 229.).

Wilkinson donne quelques valeurs typiques de cette fraction pour des feuillages de diverses essences d'arbres adultes (Fig.229.).



essence	%ciel (été)	%ciel (hiver)
chêne	0,17	0,50
érable	0,18	0,54
bouleau	0,24	0,54
peuplier	0,13	0,50
hêtre	0,19	0,47
aubépine	0,22	0,44
aulne	0,24	0,49
pin écossais	0,27	0,30
frêne	0,22	0,53
marronnier	0,19	0,52

Figure III.43 : À gauche traitement des obstructions dues à la végétation ; à droite les coefficients réducteurs proposés par Wilkinson.

L'effet de la végétation sur l'éclairement dans l'espace urbain dépend des saisons essentiellement pour les arbres caducs. La luminance du jour dépend aussi des radiations diffuses et la quantité variable de l'ensoleillement direct, elle est évaluée en fonction du pourcentage relatif à la lumière naturelle transmise à travers la végétation, influencée par la hauteur, l'âge, le feuillage et la disposition des arbres.

On distingue trois groupements influant la transmission de la lumière (tableau III.14)

Tableau III.14 : Illuminance des espaces urbains ombragés par la végétation. Lucia mascaro, 1996

Type de groupement	Eclairement au dessous des arbres exposés aux radiations solaires (Lux), latitude 30°			
	ETE	HIVER	AUTOMNE	PRINTEMPS
Arbre isolé	2700 -7700	1500-23000	2500-14000	6500-20000
Hétérogène	1500-4700	2600-3800	1400-4400	
Homogène	9900-10000	600-800	400	390-1000

⁶⁷ - Wilkinson D. M., *Modelling light attenuation by urban trees*, PhD thesis, Manchester Metropolitan University, 1992.

Plus denses et plus homogènes moins est l'intensité de la transmission⁶⁸. En été le meilleur éclairage est dans le groupement homogène d'arbres. La lumière au dessus des arbres est aussi meilleure pendant les journées nuageuses, dû à la grande capacité des feuilles de transmettre les radiations solaires diffuses que directes.

Le confort lumineux exige des espaces de transition entre l'ombre et la pleine lumière afin d'éviter les phénomènes d'éblouissement⁶⁹ (Figure III.44)



Figure III.44 : Confort lumineux et effet tampon du végétal, (A .Guyot, 1998)

Les effets d'éblouissement liés à des contrastes lumineux soudains dans le temps et dans l'espace peuvent être modulés par le couvert végétal d'après Alain GUYOT. Les plantations d'alignement dans les espaces urbains (malls de Platanes, Micocouliers, Tilleuls...) ou encore sous des espaces végétalisés comme les treilles et pergolas (vignes, vignes vierges, volubilis, chèvrefeuilles...) peuvent favoriser le confort visuel.

La qualité de la lumière varie avec l'essence concernée, là aussi, les facteurs de forme, de structure, de dimension et de couleur des feuilles sont autant de variables pour définir une ambiance lumineuse; le micocoulier aura une ombre moins épaisse que celle du tilleul, mais aussi moins légère que celle de l'albizzia julibrissin⁷⁰. Sur le plan de la couleur, le phénomène de réflexion lumineuse est lié à l'albédo du feuillage qui différencie la qualité de l'éclairage.

Une variation sensible entre les points de la même rue (ceux qui se trouvent dans les extrémités sont souvent ceux qui ont des niveaux d'éclairage élevés)⁷¹. Il est aussi

⁶⁸ - Mascaro Lucia. Urban environment, Edition Porto A Legere, 1996

⁶⁹ - Guot A., l'arbre urbain... une composante du confort pour l'architecture et l'espace public, [en ligne] <http://www.marseille.archi.fr/~imagine/pedagogie/vegetal/coursveg.html> consulter juin 2010.

⁷⁰ - A.Lüscher, A.Guyot, G.Destobbeleire "Végétation et effet d'écran", communication de Verone 1986.

⁷¹ - GUEDOUH M S, ZEMMOURI N. Effet de la morphologie urbaine sur l'environnement lumineux extérieur. Cas des zones arides et chaudes. ISUF 2011 - The 18th International Seminar on Urban Form. Montréal, Canada, 26 – 29 August 2011.

intéressant de noter les différences substantielles du niveau d'éclairément dans des rues du même quartier dues essentiellement aux caractéristiques morphologiques et photométriques de la rue.

Cette superposition traduit et explique les variations des niveaux d'éclairément entre les différents points de la rue, influencée par le degré de réfléchissement de la surface verticale (les façades), nous observons clairement les effets d'ombres, qui arrive de différentes sources (bâtiments et végétation), diminue le degré de réfléchissement.

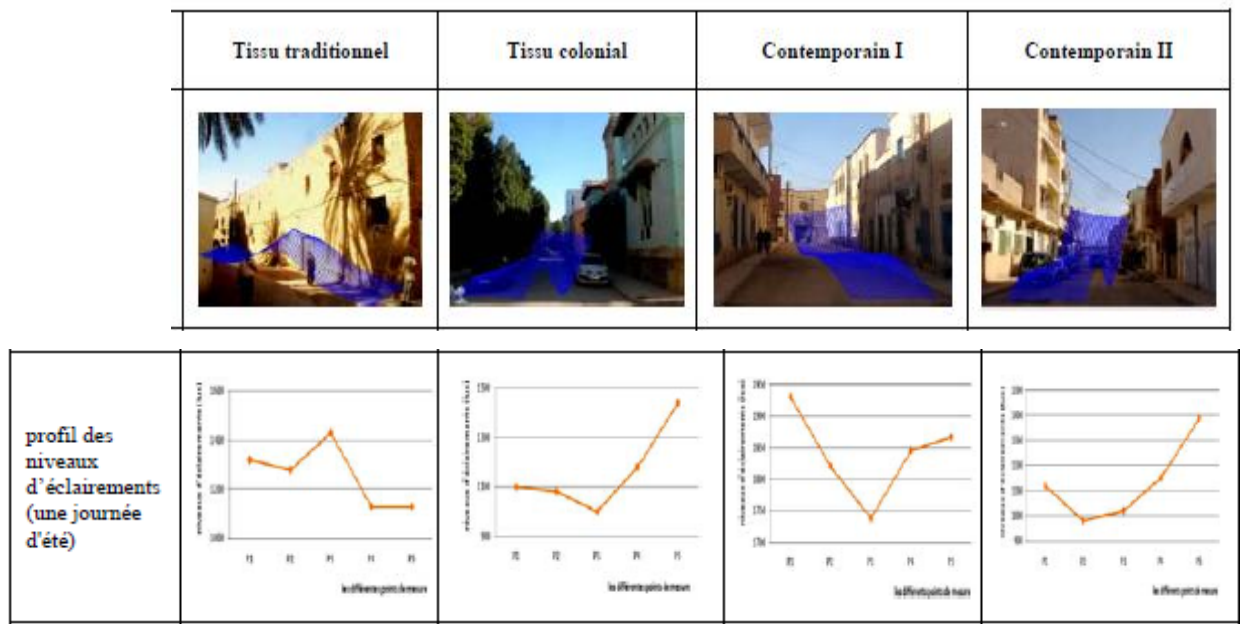


Figure III.45 : Profil des niveaux d'éclairéments d'une journée d'été. GUEDOUH M S, ZEMMOURI N, 2011.

Il est clair que l'augmentation des niveaux d'éclairément est due essentiellement aux caractéristiques morphologiques et dimensionnelles de la rue, en référence des photographies de la figure III.45 , la pénétration des grandes quantités de lumière est due à des hauteurs très basses des hauteurs des constructions, en plus des pénombres qui réduit le réfléchissement maximum d'une manière significative, ce dernier augmente les valeurs de l'éclairément urbain. « Améliorer les ambiances lumineuses ce n'est pas de donner des quantités moyennes d'éclairéments, mais de concevoir des espaces extérieurs, en maîtrisant les éléments qui les constituent. »⁷²

⁷² - GUEDOUH M S, ZEMMOURI N. Effet de la morphologie urbaine sur l'environnement lumineux extérieur. Cas des zones arides et chaudes. ISUF 2011 - The 18th International Seminar on Urban Form. Montréal, Canada, 26 – 29 August 2011

III.6 Typologie végétale

III.6.1 Critère de classifications des végétaux

Les différents types de végétaux peuvent se distinguer grâce à la dimension, la densité et la forme de l'arbre (Tableau III.15):

Tableau III.15 : Classification des arbres par ordre de grandeur, les espaces verts et qualité de vie, 1980. P 135

LES ARBRES A FEUILLES PERSISTANTES						
Au dessus de 30m		20 à 30m		10 à 20m	5 à 10m	
1 ^{ere} grandeur				2 ^{eme} grandeur	3 ^{eme} grandeur	
<ul style="list-style-type: none"> • Cèdre du Liban • Pin Laricio 	<ul style="list-style-type: none"> • Epicéa commun • Epicéa Serbie • Sapin Douglas • Séquoia géant • Thuya géant 	<ul style="list-style-type: none"> • Libocèdre • Cyprès Lawson • Eucalyptus • Pin sylvestre 	<ul style="list-style-type: none"> • Chêne vert • If 	<ul style="list-style-type: none"> • Arbousier • Houx 		
LES ARBRES A FEUILLES CADUQUES						
Au dessus de 30m		20 à 30m		15 à 20m	10 à 15m	5 à 10m
1 ^{ere} grandeur				2 ^{eme} grandeur		3 ^{eme} grandeur
<ul style="list-style-type: none"> • Tulipier Virginie • Mélèze d'Europe • Peuplier noir d'italie • Peuplier blanc • Chêne pédonculé • Cyprès chauve • Orme gallois 	<ul style="list-style-type: none"> • Erable sycomore • Erable argenté • Marronnier d'inde • Aulne • Châtaignier • Charme • Ptérocarya • Sophora du japon • Hêtre • Arbre aux 40écus • Févier • Noyer commun • Peuplier noir • Fictane • Chêne rouge • Cocciné • Chêne chevelu • Robinier faux acacia • Tilleul de hollande • Orme champêtre • Orme d'angletterre • Orme de montagne 	<ul style="list-style-type: none"> • Ailante • Bouleau • Acajou de chine • Frêne • Merisier des bois • Saule blanc • Saule pleureur 	<ul style="list-style-type: none"> • Marronnier rouge • catalpa • Paulownia • Alisier • Sorbier des oiseleurs 	<ul style="list-style-type: none"> • Erable champêtre • Arbre de Judée • Aubépine • Aubour • Magnolia • Amandier • Prunellier • Cerisier du Japon • Poirier à feuilles de saule • Pommier • Orme tabulaire 		

- **La dimension** : La taille d'un arbre s'évalue selon trois ordres de grandeur ; la première est de plus de 20 m, la seconde est de 10 à 20m et la troisième est de 5 à 10m.
- **La densité** : la densité est déterminée par son feuillage. La morphologie de leurs feuilles (forme, types et disposition des feuilles)⁷³. La densité varie selon l'espèce considérée, la condition de son développement et la saison. Ces trois paramètres peuvent constituer trois types d'écrans : un écran opaque, un écran semi transparent, et un écran transparent.
- **La forme** : critère qui détermine la différence des espèces qui modulent l'espace urbain. Cette forme est déterminée par la silhouette générale de l'arbre et la configuration des branches.

III.6.2 Végétation caduques ou persistance

Un arbre caduc est un arbre qui perd ses feuilles en hiver. Le persistant lui les garde hiver comme été. Les résineux sont presque tous des persistants. Les feuillus sont plutôt des caduques. Certains feuillus comme l'olivier, le chêne vert.. sont des persistants. Parmi les caduques on trouve les chênes dans leur grosse majorité, le frêne, le tilleul, le noyer, le marronnier d'inde, le hêtre, l'érable, le charme, etc.. Les plantes utilisées pour protéger les espaces publics et les bâtiments des rayons du soleil, en été, doivent être bien choisies. D'une part, elles doivent perdre leurs feuilles en automne. D'autre part, elles doivent avoir peu de branchages, pour réduire l'ombre au minimum pendant les autres saisons. En hiver, on souhaite avoir le plus de soleil possible. Le choix des arbres à planter en ville doit tenir compte de plusieurs facteurs D'après Alix Audurier-Cros, Alain Guyot ⁷⁴ :

- **Le feuillage** : il faut choisir des arbres avec un feuillage bien dense. Ainsi, lorsque l'arbre sera mature, il devrait pouvoir bloquer au moins 60 % des rayons du soleil;
- **Le smog** : Il faut éviter les espèces d'arbres qui émettent des composés organiques entrant dans la composition du smog (comme le sapin);
- **Les allergies** : Les espèces à l'origine d'allergies doivent également être laissées de côté (par exemple, le bouleau et le chêne);

⁷³ - Benhalilou Karima. Impact de la végétation grimpante sur le confort hygrothermique estivale di bâtiment. These de magistere , universite mentouri Constantine 2008.

⁷⁴ - Audurier-Cros Alix, Guyot Alain. La palette végétale méditerranéenne et les ambiances bioclimatiques dans le projet d'architecture. Mapped Monde 88/1 Groupe ABC, Ecole d'Architecture de Marseille Luminy in (<http://www.mgm.fr/PUB/Mappedmonde/M188/p10-12>)

- **L'espace** : Il est essentiel de choisir des arbres qui conviennent à l'espace disponible. Les lignes électriques sont souvent des éléments à considérer;
- **La rusticité** : Il est bon de privilégier les espèces qui poussent naturellement et qui tolèrent la pollution urbaine.

III.6.3 Végétation urbaine à Constantine

Les espèces plantées dans la wilaya de Constantine varient entre arbres forestiers, plantes à hautes tiges et plantes d'ornements. La liste des espèces est la suivante : Acacia(cyanophilla et horrida)-Micocoulier- Sophora- Caroubier- Mélia- Frêne- Faux poivrier Cyprés- Févier d'Amérique- Casuarina- Eucalyptus- Troène arbre- Myoporum- Ailante- Mûrier- Genevrier- Robinier pseudo Acacia- Pin d'Alep – Pin pignon- Peuplier- Saule pleureur- Lierre- Troène (japon et orientale)- Laurier rose- Romarin- Iris- Généra- Palmier washingtonia- Canna- Bigaradier- Troène haie- Jasmin jaune- Jasmin blanc- Ambre- Fusin- Agave- Galant de nuit- Passiflore- Vigne vierge –Lavande- Géranium- Spirée- Chrysanthème- Souci- Biota- Pyracanthe- Seringa- Rosier- OEillet d'Inde- Plante grasse- Belle de nuit- Hibiscus- Lantana- Ricin- Spire- Chèvrefeuille- Abutilon- Ciste- Verveine- Absinthes- Hibiscus R/ chène- Justicia- Girofle-Maryolaine- Yocca- Pyttos sporom- Margueritte- Clou des girofle (Conservation des foretsde Constantine ;2010) .

Le choix des espèces joue un très grand rôle dans la conception des espaces urbain. A Constantine différents espèces de plantation d'alignement urbain d'après la conservation des forets de Constantine (2010) selon le tableau III.16 :

Tableau III.16 : Abres urbains à Constantine, Auteur

Espèce	Nom scientifique	Caractéristiques
FRENE	<i>Fraxinus oxyphille</i> (Dardar)	2eme grandeur (15-20m), caduque, Couronne ronde
MELIA	<i>Melia azedarach</i>	1ere grandeur (20-30m), caduque
PLATANE	<i>Platanus occidentalis</i>	3eme grandeur (25-35m), caduque
SOPHORA	<i>Sophora japonica</i>	1ere grandeur (20-30m), caduque
ERABLE	<i>Acer griseum</i>	1ere grandeur & 3eme grandeur (20-30m) et (5-10m), caduque Large couronnes (8-25m)
TROENE JAPONICA	<i>Troène Lygustrum</i>	2eme grandeur (15-20m), feuilles persistantes,

FEVIER d'Amérique	<i>Gleditsia triacanthos</i>	Arbre épineux à feuillage caduc,
ORME	<i>Ulmus</i>	1ere grandeur (>30m / 20-30m), caduque
CAROUBIER	<i>Ceratonia siliqua</i> (kharroube)	(10-15m), caducque
PEUPLIER	<i>Populus alba</i>	1ere grandeur (> 30m / 20-30m), largeur (3 - 5m)caduque
MURIER	<i>Morus alba</i>	(10-15m), caducque Couronne globuleuse Plus marge que haut
AULNE	<i>Alnus glutinosa</i>	1ere grandeur (20-30m), caduque



Figure III.46 : Différentes espèce trouvé dans le centre de la ville de Constantine. Souece : Auteur

III.7 Conclusion

Les effets de la végétation dans les espaces publics extérieurs sont nombreux et affectent la qualité des ambiances. La conception ou la réhabilitation des espaces de vie extérieurs doit prendre en compte les évolutions saisonnières et les fluctuations journalières de l'ambiance extérieure.

A travers cette étude bibliographique, nous avons essayé de souligner l'importance de la végétation en espace public dans la création des ambiances qualitative plus raffinée, après avoir rappelé les dimensions symboliques, les qualités esthétiques et multi-sensorielles mises en œuvre, nous avons cherché à définir certaines relations entre la ville et la végétation. Ainsi, nous avons pu constater que l'utilisation des arbres et des espaces verts dans des projets urbains ou architecturaux ne pouvait être qu'un élément favorable à l'amélioration du cadre de vie.

Afin d'analyser l'influence à un niveau microclimatique, nous avons adopté une approche multi critères des phénomènes physiques, dans un cadre urbain, à une échelle perceptible par l'homme.

La végétation permet l'ombrage, filtre la poussière en suspension, fait écran aux vents tout en favorisant la ventilation, oxygène et le rafraîchissement par évapotranspiration.

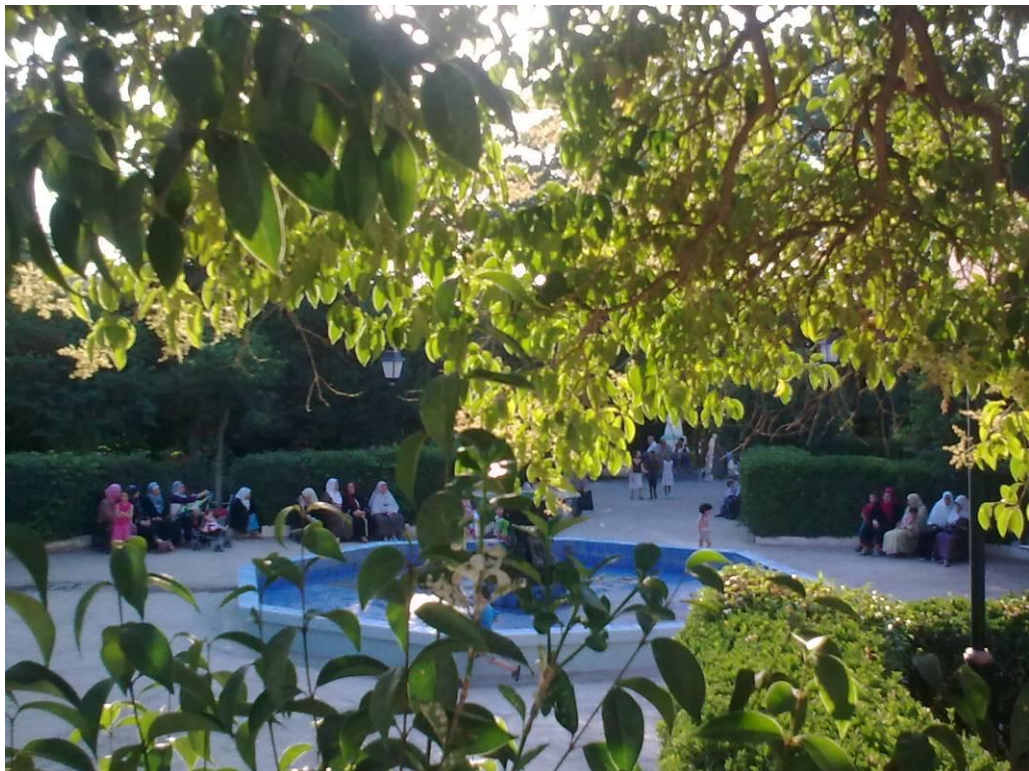
Les surfaces végétalisées ont plus de capacités d'abaisser les températures de l'air et des surfaces, de filtrer la radiation solaire ce qui crée un jeu d'ombres important pour le confort thermique et visuel. La présence des arbres, réduit le facteur de vue du ciel et par conséquent le rayonnement absorbé par le corps humain et les bâtiments, et provoque des échanges convectifs. Les effets principaux de la végétation dans l'espace extérieur sont sur le rayonnement solaire et le vent.

Cette analyse de travaux démontre, que l'investigation que nous souhaitons développer sur les effets de la végétation correspond à des préoccupations qui motivent un grand nombre d'équipes de recherche. Une analyse plus synthétique est maintenant à mettre en place. Les modalités d'étude sont diverses et se retrouvent réparties en majorité entre la mesure et la simulation. Les informations recueillies sur le rayonnement solaire en période de surchauffe nous intéressent car même si notre démarche a pour but la mise au point va à une investigation sur terrain et une simulation, les comparaisons possibles avec certains résultats expérimentaux apportent des éléments de validation.

Des éléments méthodologiques ont pu être apportés pour les principaux phénomènes que nous désirons explorer. Dans ce chapitre nous avons souhaité apporter les résultats d'expériences ou de mesures. Grâce au travail de synthèse effectué, le comportement global de la végétation est mieux appréhendé et il est désormais possible de passer à la phase expérimentale que nous discutons dans la deuxième partie de cette étude. Le chapitre prochain va entamer la méthode d'investigation sur terrain par une enquête.

Partie II
Partie II
Experimentale
Experimentale

Chapitre IV
Chapitre IV



APPROCHE METHODOLOGIQUE

IV. APPROCHE METHODOLOGIQUE DE L'ANALYSE MULTICRITERES D'UNE AMBIANCE ET PROPOSITION D'INDICATEURS.

« Chaque expérience est multi sensorielle, la qualité de la matière l'espace et l'échelle sont mesurées également par l'œil, le oreilles, le nez, la langue, le squelette et les muscles. »¹

IV.1 Introduction

Percevoir un espace pour un individu, c'est éprouver les sensations que celui-ci génère. Que ce soit temporellement, spatio-fonctionnellement ou autres, l'environnement bâti ne peut être ni figé, ni statique, ni uniforme. Comme dit J.P.THIBEAUD « *une ambiance n'est jamais donnée une fois pour toute : elle est toujours en cours de production* »². La perception et le vécu de l'utilisateur de cet environnement constituent l'atmosphère ou l'ambiance urbaine.

Le volet de ce travail a pour objectif de traiter la qualité des ambiances environnementale et leurs caractérisations. Rappelons que la relation entre le comportement des usagers et les paramètres environnementaux (hygrométriques, sonores, visuels, aérauliques et d'autres) sont étroitement liés.

Un espace public n'est jamais isolé, il est toujours en contact avec un certain nombre d'autres espaces publics qui sont eux même liés à d'autres espaces. L'enchaînement de ces espaces publics peut être envisagé sous forme de parcours urbains ; le parcours est à comprendre dans le sens de cette recherche comme un élément de cohérence de notre espace échantillon.

Un parcours urbain public recouvre plusieurs typologies préalablement définies et reliant des points stratégiques des lieux. Ce parcours contient une notion de temps, inscrivant l'espace public dans une logique globale d'utilisation et de fréquentation.

Pour cette recherche exploratoire trois types d'instruments sont utilisés pour recueillir les données :

- un questionnaire pour recueillir la perception des usagers sur les espaces et leurs conditions microclimatiques, et pour faire sortir les indicateurs d'analyse ;

¹ - Pallasmaa Juhani. *The Eyes Of The Sk in: Architecture And The Senses*. London : Academy Editions, 1996, p.28

² - THIBAUD Jean-Paul, *From situated perception to urban ambiances*, Laboratoire CRESSON, Nantes

- une observation selon un parcours commenté pour une lecture subjective des différents espaces du parcours et des enregistrements vidéo pour observer les déplacements et les activités des usagers dans les espaces étudiés. (Approche dynamique) ;
- un système d'acquisition basée sur le relevé des paramètres microclimatiques en mouvement à travers un parcours urbain exploré par l'enquêteur. Cette approche est réalisée à l'aide d'appareils portatifs de mesure des ambiances physiques (approche statique), le long du parcours et des scènes observées (approche dynamique).

Ces trois types de données vont être mises en liaison « spatiale » et « temporelle ». Comme nous avons vu dans le chapitre 1, la « qualité de vie urbaine » peut être approchée tant d'un point de vue subjectif qu'objectif, selon que l'on considère les aspects de la satisfaction ressentie par les individus ou objet matériel qui cause ou qui est en relation avec cette satisfaction³. Selon André B « les indicateurs objectifs de bien être étaient insuffisants pour prévoir la qualité de vie puisqu'ils ne tiennent pas compte de ce que ressent la population ... Les critères de la qualité de vie dépendent de la subjectivité »⁴.

Ce chapitre présente 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. L'approche de l'enquête est destinée à dégager les différents indicateurs qui participe à la qualité d'ambiance dans un point ou une situation donnée. L'intérêt de mettre en œuvre des indicateurs à l'échelle de l'espace public se résume dans les possibilités de recenser l'implication de chaque typologie « micro-urbaine » de l'espace et de chaque caractéristique urbaine de ces typologies (hauteur, largeur, ouverture, végétation,etc.), dans la distribution des paramètres physiques de confort⁵.

IV.2 Sites d'étude : choix et présentations

La dynamique d'une agglomération ne se limite pas simplement aux quantités de flux de déplacements. Le site d'exploration est pris dans le centre ville de Constantine, La rue Belouizded-Boudjeriou résulte d'une création urbaine coloniale. En effet, cette voie comparée à celle qui l'entoure se trouve plus fréquentée et possède de ce fait des qualités

³ - Pacione, M. The use of objective and subjective measures of life quality in human geography. Edition Progress in human geography, 1982

⁴ - André B. Qualité de la vie. Revue l'action Nationale, 2001.

⁵ - Benbeghila Razika. Qualification et évaluation des ambiances d'espaces urbains de type « place et placette »- aspect méthodologique- Ambiance Architecturales et urbaines »-2005-2006, laboratoires CERMA et CRESSON.

particulières qui la distinguent des autres rues. Elle semble être davantage appréciée pour son animation que pour l'usage, cet axe représente une situation plus aisée et mieux appréciée par la population. La position du tronçon choisi au sein de l'armature urbaine est renforcée par sa situation stratégique comprise entre deux carrefours : celui de la place de la brèche et celui de la place de la pyramide. Ces deux carrefours se trouvent en réalité liés par deux voies ; La rue Abane Ramdane, étant la distance la plus courte entre ces deux pôles qui joue le rôle fonctionnel de desserte des déplacements. À côté de cette configuration rectiligne, la rue belouizded- Boudjriou dont le tracé est découpé en plusieurs segments (figure IV.1), devient un chemin « touristique » plus allongé et également plus agrémenté, cette dernière concentre les flux des déplacements de façon remarquable⁶. La fréquentation de la rue Belouizded-Boudjeriou reste appréciée pour son animation. Elle intervient pour procurer à la population de Constantine un espace de détente bien particulier. Ceci a lieu au moment où la ville marque un sérieux manque pour ce qui concerne les espaces publics de qualité.

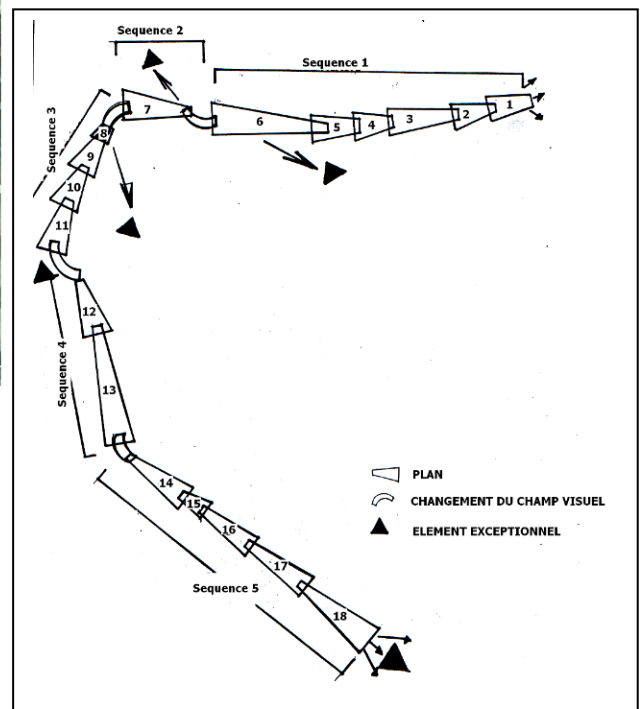


Figure IV.1: Position de la rue étudiée entre deux carrefours (A gauche)

Découpage de la rue étudiée en plans de séquences (A droite)
(source : Bensaad Nadia,2000)

⁶Bensaad nadia « La rue, forme urbaines et pratiques sociales : cas de la rue Belouizdad-Boudjeriou à Constantine » thèse de magistère option urbanisme Université Mentouri Constantine ,2000. Pp100-106

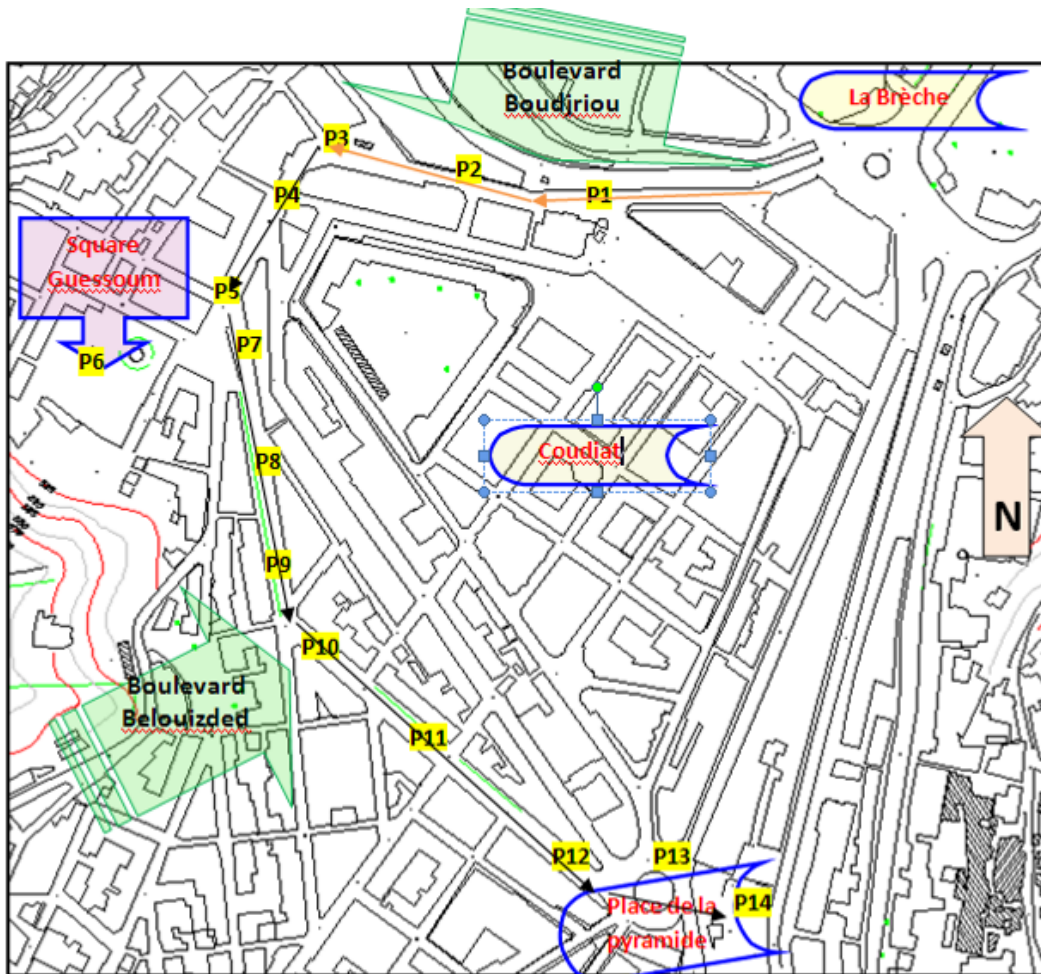


Figure IV.2 : Parcours d'investigation et position des différents points d'Enquête

IV.3 Le mode exploratoire

L'investigation du travail va suivre une démarche à la fois subjective et objective, l'analyse s'intéresse a priori à la vision des usagers des espaces publics sur les ambiances urbaines à travers les enquêtes sur sites. Des mesures et des observations vont être prises pour voir la variation microclimatique et la qualité des ambiances relatives à l'espace et ses caractéristiques.

Les outils numériques de simulation, dans ce cas, seront des outils de vérification et des moyens pour corréliser entre la vision des usagers et celles des experts sur les ambiances urbaines de ces espaces extérieurs.

IV.3.1 l'enquête

La perception in situ de l'environnement et la qualification des ambiances physiques liées au contexte urbain, aux caractéristiques environnementales, à l'usage et à la fréquentation du lieu seront appréhendés à travers les enquêtes sur sites afin de mettre le point sur la vision des usagers sur les ambiances urbaines dans ces espaces et de connaître les causes réelles de la sensation de confort et du « bien être » chez les individus dans un espace public.

A partir des points de vue des usagers de ces espaces, nous essayerons de qualifier leurs ambiances et de les caractériser à l'aide des indicateurs physiques et des simulations. Les indicateurs et les paramètres physiques à simuler seront sélectionnés suivant les réponses et les résultats des questionnaires.

Les enquêtes visent à appréhender la satisfaction environnementale d'usagers d'espaces publics urbains. La perception du microclimat par un questionnaire auprès des individus est utilisée pour saisir les phénomènes tels que les attitudes, les opinions, les préférences, les représentations ...⁷ qui ne sont pratiquement accessibles que par le langage. Un questionnaire a été réalisé pour que les personnes puissent s'exprimer sur le caractère agréable et désagréable du lieu. Les éléments énoncés par les usagers vont constituer la base des traitements. Les réactions des individus aux paramètres climatiques sont abordées directement en fin de questionnaire. Les données sont interprétées et mises en relation avec les données objectives recueillies sur site. Cependant la technique du questionnaire présente la difficulté de s'appuyer exclusivement sur le langage, celui du chercheur et ceux des diverses catégories d'enquêtés. Le recueil des données a été effectué durant le mois de juillet 2010 selon des points végétaux et d'autres minérales.

IV.3.1.1 Présentation du questionnaire

Le questionnaire est établi sous forme d'un tableau 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, dont les questions seront mises d'un côté et les réponses seront reportés de l'autre côté.

⁷ - Boussoualim, A Towards a method of characterisation of the link between climate, urban morphology and user's behaviour in external public space, *Architecture City Environment*, Proceedings of PLEA 2000. (Passive Low Energy Architecture), pp. 459-465.

Les plans de l'entretien est l'ensemble des thèmes et sous thèmes explorés, sont guidés par des indicateurs que nous puisons de la recherche théorique.

Le questionnaire est composé de différentes questions dont quatre fermées, quatre ouvertes et une partie signalétique. Nous présentons dans l'annexe 3 le texte du questionnaire tel qu'il a été proposé aux interviewés.

IV.3.1.2 Les types de questions

- 1- Question ouverte : dont l'objectif est de recueillir des appréciations globales du site investigué. À 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 de l'espace.
- 2- Question fermée : dans cette partie le thème de la question est imposé aux interviewés, pour la qualification directe, tout en laissant la possibilité de nuancer leurs réponses, de les justifier ou les commenter.
- 3- Question signalétique : cette partie nous renseigne sur les tranches d'âge, le sexe, la date, l'heure et emplacement de l'enquête.

IV.3.2 L'observation

L'observation destinée à qualifier les phénomènes d'ambiances (homme-espace-climat). L'observation permet de porter un regard élargi et global sur un espace et ses différents usages. Cette observation vient en complément à la mesure physique et rend compte des effets microclimatiques dans l'espace comme les effets du vent ou de l'ensoleillement sur les différentes composantes de l'espace : les aménagements, la végétation, les usagers... Mesures *in situ* des paramètres microclimatiques effectués suivant une approche Dynamique, consiste à contrôler certaines variables d'influences à travers une grille d'observation. Cette grille d'observation d'après F .Ouameur (2007)⁸ et A.Potvin

⁸ Ouameur F.. « Morphologie urbaine et confort thermique dans les espaces publics »—mémoire université Laval Québec2007.

(2004)⁹ permet à l'enquêteur de porter un jugement subjectif sur la qualité de l'environnement thermique et visuel caractérisant le parcours commenté. En effet, les données des points de mesure fixes font partie intégrante des relevés dynamiques sauf qu'elles sont récoltées en position statique.

À chaque point de mesure fixe l'enquêteur avec son groupe observateur qui est composé de 20 personnes remplit une ligne sur la grille d'observation (voir Tableau IV.1).

Tableau IV.1 : Grille d'Observation. Auteur

Grille d'observation : #01															
Lieu de l'enquête : avenue Belouizded Constantine..															
Date : le 26/07/2009															
Début d'enquête : 10H300 fin d'enquête : 11H30															
Position	Heure	Ciel			Vent			Rayonnement solaire			Qualité				Observation
											Th	VI	Ac	OI	
P01	10h30	/								en	20	5	45	50	
P02	10h34	/								en	25	20	25	25	
P03	10h38	/						om			60	50	40	40	
P04	10h42	/						om			10	15	15	40	
P05	10h50	/								en	20	15	10	25	
P06	10h55	/						om			50	65	75	75	
P07	11h00	/						om			50	50	45	45	
P08	11h07	/						om			50	54	48	38	
P09	11h14	/						om		/	48	50	45	40	
P10	11h16	/						om			48	50	45	38	
P11	11h20							om			50	50	45	40	
P12	11h24								/		40	45	35	35	
P13	11h26					/				en	25	25	30	30	
P14	11h30					/		om			45	50	35	35	

Légende : Th : qualité thermique ; VI : qualité visuelle ; AC : qualité acoustique ; et Of : qualité olfactive

Cette dernière permet de compléter l'approche dynamique en contrôlant certaines variables d'influences telles que les conditions du ciel, la direction du vent, la position et les conditions

⁹ - Potvin A.. "Intermediate Environments, in environmental Diversit in Architecture" Spon Press 2004. Great Britain, PP.121-142.

auxquelles l'enquêteur est exposé (au soleil, à l'ombre). La grille d'observation permet également de chronométrer le temps de la transition urbaine, et principalement de porter un jugement qualitatif sur les paramètres constituant l'environnement thermique et visuel d'un parcours urbain. Il s'agit ici de porter un jugement subjectif d'un groupe sur la qualité des ambiances thermiques et visuelles à travers une échelle nominale allant de 0 à 100, où le 0 signifie une sensation très inconfortable tandis que 100 exprime la sensation très agréable (voir Tableau IV.2).

Tableau IV.2 : Les cinq points psychophysiques utilisés dans le cadre de cette recherche

<i>Echelle</i>	<i>Q-TH</i>	<i>Q-Vi</i>	<i>Q-Ac</i>	<i>Q-OI</i>
0 Très inconfortable				
25 Inconfortable				
50 Neutre				
75 Agréable				
100 Très agréable				

(**Q-TH** : qualité thermique, **Q-Vi** : qualité visuelle, **Q-Ac**: qualité acoustique et **Q-OI**: qualité de l'air.)

(F. Ouameur, 2007)

L'application de cette échelle mène à la conception de graphique sous forme polaire. Ces graphiques appelés roses des ambiances illustrent la perception des observateurs en position dynamique par rapport aux conditions environnementales locales¹⁰ (Potvin *et al*, 2004). (Voir figure8 ,9 et10 chapitre I)

IV.3.3 La mesure

Comme pour l'observation, notre objectif est de rendre compte de situations complexes mais de nature microclimatique conjuguant dans l'enveloppe de l'espace urbain, des manifestations aussi diversifiées que la température ambiante, l'humidité ambiante, les effets aérauliques, l'ensoleillement et ses zones exposées à l'ombre ou au soleil...Nos mesures ont lieu à différents moments de la journée. Pour tenir compte des variations

¹⁰ - **POTVIN, A, DEMERS, C et DUBOIS, M.C** (2004). Environmental adaptability in architecture: towards a dynamic multi-sensory approach integrating user behaviour, *Post-Occupancy Evaluation*, International Conférence Closing the Loop, Cumberland Lodge, Windsor, UK.

microclimatiques qui peuvent survenir, sous l'influence croisée de la position du soleil (voir annexe I), de la morphologie du bâti et du type d'aménagement, nous avons choisi des périodes de la journée qui, a priori, affichent une densité d'usage importante et qui correspondent également à des moments où l'incidence de la 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, deux sessions de mesures le matin seront indispensables 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, moment où les gens sont 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. Deux sessions de mesures et d'observations seront effectuées.

Les sessions sont réparties comme suit :

- Première session (8h00-9h00)
- Deuxième session (10h00-11h00)
- Troisième session (12h00 – 13h00)
- Quatrième session (14h00- 15h00)
- Cinquième session (18h30-19h30)

IV.3.3.1 Caractérisation microclimatique : mesures des paramètres climatiques

Généralement, les mesures se prennent à une hauteur d'un mètre et demi (1,50m) du sol approximativement, loin de tout flux de sources de la chaleur, d'humidité et des courants d'air, à moins que ce soient les endroits à évaluer. Dans toutes mesures expérimentales, la définition de la période ainsi que la durée du temps pour chaque mesure sera déterminée. 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 ainsi que les paramètres dépendent également en grande partie du matériel de mesure utilisé (Annexe VI), les possibilités qu'il offre et les limites de son usage.

IV.3.3.2 Paramètres climatiques mesurés

Pour la caractérisation physique du microclimat des espaces, l'étude a retenu les mesures des paramètres suivants :

1. La température de l'air : cette mesure s'impose donc à des fins de comparaisons soit au sein du même espace ou entre espaces urbains. Elle constitue un élément du confort thermique de l'utilisateur de l'espace.
2. L'humidité de l'air : c'est un bon indicateur pour mettre en évidence les effets d'humidification de l'air. Nous pouvons également utiliser l'humidité spécifique qui peut se déduire de l'humidité relative au moyen du « diagramme de l'air humide ». Si la température de l'air est connue.
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 l'intensité permet de voir l'influence des parties ombrées et celles ensoleillées, et permet de déceler les éventuels échanges thermiques entre les surfaces. Il intervient auprès de deux sens de la perception¹¹ :
 - le sens visuel traduit par la lumière (évoqué comme paramètre climatique spécifique)
 - le sens tactile (thermique), traduit par l'effet de rayonnement perçu
5. La luminance : cette mesure est beaucoup plus révélatrice de la perception de l'utilisateur de l'espace puisqu'elle informe de la quantité de lumière réfléchie par les objets urbains.

Dans chaque espace public, les mesures sont faites durant des journées types en période chaude de l'année. Ces mesures sont prises en conditions stables ; vents faibles et ciel clair. Il a été procédé à cinq sessions de mesures pour chaque journée, ses paramètres sont répétés plusieurs fois et en plusieurs points de l'espace.

D'autres mesures physiques pourraient être intéressantes dans le cadre de l'évaluation microclimatique. Il serait par exemple intéressant de calculer la durée d'insolation moyenne des sols et des façades des espaces publics choisis. Ceci peut être fait avec une simulation en

¹¹ - Le Corre Y. « Pattern Ambient »: une entité opératoire de caractérisation et de conception des ambiances urbaines. Nantes: Thèse de doctorat . Université de Nantes 2007, 524p

utilisant le logiciel « Townscope »¹² (développé par le laboratoire LEMA, école d'architecture de Liège); permettant de visualiser, à la hauteur de l'utilisateur, les parties ensoleillées de l'espace, ainsi que les parties ombrées. Les simulations d'ensoleillement peuvent également donner une représentation relativement exacte par rapport aux jours de mesures et d'observations in situ.

IV.3.3.3 Instrumentation

Les mesures ont été effectuées à l'aide d'appareils portatifs de mesures des ambiances physiques qui se présentent :

- 1- appareil multifonction (LM800) à quatre fonctions (anémomètre, hygromètre, thermomètre et luxmètre) voir figure IV.3
- 2- appareil de mesure thermo- hygromètre (thermomètre, hygromètre) figure IV.4
- 3- appareil de mesure Photo-radiomètre HD2302.0 à plusieurs sondes (figure IV.5) :
 - a- sonde pour luminance mètre
 - b- sonde pour irradiation solaire globale



Figure IV.4: Instrument portable (LM800) à quatre fonctions. (Anémomètre, hygromètre, thermomètre et luxmètre)



Figure IV.3: Thermo-hygromètre numérique

¹² - Teller, J. and Azar, S. (2001). TOWNSCOPE II - A computer system to support solar access decision-making, In *Solar Energy*, Vol. 70, N° 3? PP. 187-200.

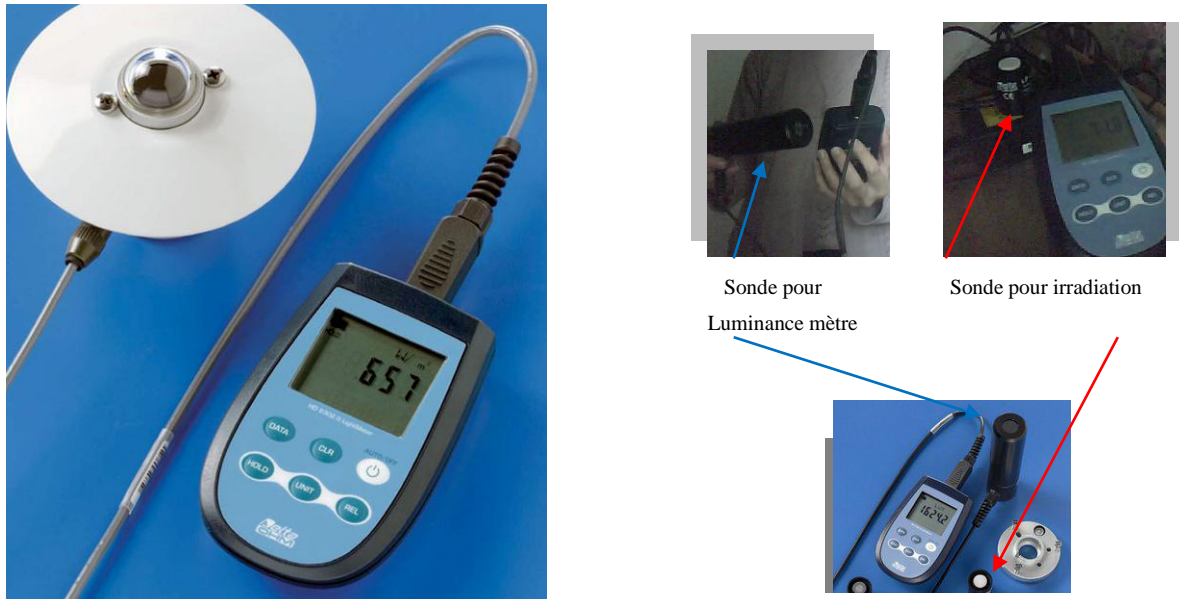


Figure IV.5 : Le Photo-radiomètre HD2302.0 est un instrument portable doté d'un grand écran pour l'affichage ; des données relevées qui mesure à l'aide des sondes: l'éclairement lumineux; la luminance; l'éclairement énergétique (irradiations solaires global)

IV.3.4 La simulation

La réalisation d'un nouveau bâtiment ou le remplacement d'une zone minérale par une plantation d'arbres dans un site urbain peut induire une modification sensible de l'espace, du microclimat, de la dispersion des polluants ou de la consommation énergétique¹³. Cependant, les analyses d'impact demandent une instrumentation appropriée qui passe soit par des campagnes de mesures, soit par des modèles de site placés en soufflerie, soit par l'utilisation de techniques de simulation ; pour approfondir la connaissance des phénomènes.

Il s'agit de varier les paramètres qui rentrent en jeu pour une meilleure amélioration des ambiances, soit par l'emplacement de la végétation, soit par la correction des zones qui reçoivent une forte intensité solaire. L'objectif est de réduire sa chaleur et son échauffement à l'aide du logiciel Townscope3.1.

L'évaluation du confort thermique extérieur sur la base d'un indice de confort qui est le «vote moyen prévisible » (PMV) et l'indice thermo physiologique qui est le « physiological

¹³- Vinet J. « Contribution à la modélisation thermo-aéraulique du microclimat urbain. Caractérisation de l'impact de l'eau et de la végétation sur les conditions de confort en espaces extérieurs. » Thèse de doctorat, : Université de Nantes 2000, p. 245.

Equivalent Température » (PET) ; à été calculé par le logiciel RayMan2.1, afin de comparer les situations sans végétation et d'autres avec présence de végétations.

IV.3.5 Le choix des paramètres d'ambiances

Le choix des paramètres significatifs de la perception des usagers susceptibles d'influencer leurs comportements est fort délicat. Nous avons bien conscience de ne pas avoir recensé l'ensemble des paramètres intervenant dans le système d'interrelations hommes-environnement. Ce choix va être guidé par les réponses des usagers, la nature différente des données (numérique pour le climat, sensibles et subjectives pour le comportement, analytique pour l'architectural) l'analyse comparée des modes d'évaluation pertinente : enquête, observation, mesure et simulation.

IV.4 L'enquête auprès des usagers

IV.4.1 Déroulement de l'enquête

Les enquêtes visent à appréhender la satisfaction environnementale d'usagers d'espaces publics urbains, interrogés sur trois espaces à Constantine (avenue Belouizded-Boudjeriou (Saint-Jean), place de la pyramide et le square), site choisi pour leurs caractéristiques typos morphologiques et microclimatiques par rapport à l'aménagement (présence ou non de la végétation). Pour cela, un entretien semi-ouvert a été élaboré où les personnes rencontrées avaient à s'exprimer sur le caractère agréable et désagréable du lieu (à l'échelle de l'espace public). Les éléments énoncés par les usagers ont constitué la base des traitements. Les réactions aux paramètres climatiques sont abordées directement en fin du questionnaire. Les données sont interprétées et mises en relation avec les données objectives recueillies sur site (mesures climatiques et critères typo morphologique)

IV.4.2 Conditions de recueil des données et population interrogée

Le recueil des données a été effectué sur une période chaude de l'année (juillet 2010) étant considéré comme le mois le plus chaud. Durant l'enquête, nous avons veillé à équilibrer le nombre d'hommes et de femmes. Et pour chaque point, une dizaine d'entretiens ont été effectués. L'enquête a recueilli 350 entretiens au total et a retenu que 250 entretiens. Les points retenus, pour l'enquête du site d'investigation sont les suivants (voir tableau IV.3 et Figure IV.2)

Tableau IV.3 : Points retenus pour l'enquête

Espace d'investigation	Les points de mesures	Effet climatiques correspondant
Avenue Belouizded-Boudriou	N°1.....P1	Effet minérale
	N°2.....P8 –P12	Effet végétal
	N°3.....P7	Effet ouverture/végétale
Square	N°1	Effet végétal dense
	N°2	Effet de l'eau
	N°3	Effet végétal moins dense
Place de la pyramide	N°1.....P14	Effet végétal/ ouverture
	N°2.....P13	Effet minéral
	N°3	Effet ombre bâtiments

IV.4.3 Mise en forme du questionnaire

L'étape exploratoire nous permet de recueillir les différentes sensations de satisfaction ou d'insatisfaction vis-à-vis de la qualité environnementale notamment l'aspect de l'ensoleillement et ses répercussions négatives sur le confort d'une manière générale. Ce questionnaire d'enquêtes est une réponse possible à notre problématique qui est de recueillir essentiellement des interprétations sensibles des individus sur les ambiances climatiques, visuelle et les ambiances issues de la fréquentation et de l'animation urbaine.

Tableau IV.4 : Les thèmes et objectifs des questions posées aux usagers. Source :A .Boussoulim , 2000 adaptée par l'auteur

Questions	Objectifs du questionnaire	Sous thèmes étudiés	Thème principale
<p>Comment trouvez-vous cet espace?</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>Lesquelles ? En quoi sont-ils distincts ou différents?</p>	<p>Elaborer une partition «perceptive» des sites d'investigation. :</p> <p>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 heure 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 que 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 les 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 que vous appréciez le plus dans le site ?</p> <p>Pourquoi ?</p>	<p>- Voir si les paramètres climatiques (sans les évoquer) ressortent comme paramètres qui influencent les choix d'emplacements, les appréciations, les usages des lieux ...</p> <p>- Analyser comment s'élabore le choix, préciser les différents facteurs qui l'influencent. Définir l'attractivité d'un lieu précis</p>	<p>- Relatif aux conditions du climat (positivement et négativement).</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 :</p>	<p>Le choix ou l'appréciation d'un endroit</p>
<p>Parmi ces conditions climatiques (vent température ensoleillement...) quel est le celle qui limite votre activité.</p>	<p>Identifier les conditions climatiques que les usagers qualifient comme « la plus gênante ».</p>	<p>- Paramètre climatique le plus / le moins gênant :</p> <p>liaison avec paramètres de l'aménagement urbain, les activités dans l'espace.</p>	<p>condition climatique gênante.</p>
<p>Si on vous demande d'être plus précis, trouvez- vous Que cet endroit est :</p>	<p>Qualifier l'ambiance issue de la perception de l'utilisateur</p>	<p>-paramètres qui qualifient un espace lié à l'ouverture au ciel, la dimension de l'espace</p> <p>- sensation respiratoire</p> <p>- sensation visuelle -visibilité</p>	<p>Perception qualifiée du lieu</p>

Celui-ci, présenté est volontairement simple et plus ou moins court pour s'adapter à la disponibilité des individus qui répondent in situ et procède en trois temps : définition du profil de l'utilisateur ; questions ouvertes sur les impressions globales des lieux ; puis, questions ouvertes. Ces questions sont détaillées par thématiques. Les thèmes et objectifs des questions posées aux usagers sont résumés sur le Tableau IV.4.

IV.4.3.1 Questions sur le profil de l'individu interrogé

Les questions sur le profil des usagers (voir Annexe) visent à savoir la fréquentation de venue de l'individu et sa relation avec le site

Cette première sollicitation vise à cerner le sujet à travers sa connaissance des lieux et des activités qui l'y amènent. Nous comptons ainsi identifier le rôle de l'utilisateur qui conditionne la mémoire en ces lieux. La fonctionnalité du point de vue de l'utilisateur est une indication intéressante quant à l'interprétation possible (positive ou négative) des phénomènes climatiques présents. Nous estimons le type de relation du sujet au site. L'enquête cherche à comprendre les mécanismes individuels liés à l'expérience sensible.

IV.4.3.2 Questions sur le contexte général des lieux

Les questions sur le contexte général sont présentées par les questions ouvertes. Ces questions visent à constater la présence ou non de la dimension ambiante dans ces lieux. Si les individus parlent spontanément d'un phénomène climatique, visuel ou sonore.... Ceux-ci sont les caractéristiques de l'endroit. Nous visons à comprendre l'importance du contexte multi sensoriel sur les sensations quotidiennes. L'individu garde un point de vue vraisemblablement influencé par ses perceptions immédiates et même du poids relatif visuel, climatique, sonore¹⁴.

¹⁴ - Boussoualim Aïcha, « Contribution à la caractérisation de l'impact et de l'incidence du microclimat sur l'usage et les activités en espace public extérieur. Étude de cas à Blagnac », GRECO, 2001.

IV.4.3.3 Questions sur la perception d'un ensemble d'événements composant l'ambiance climatique et l'ambiance issue de la fréquentation et de l'animation urbaine dans l'espace public

L'utilisation du différentiel sémantique (questions fermées) propose dans une grille restreinte de qualificatifs ce qui permet d'avoir des éléments comparatifs entre les différents lieux ; ces questions permettent de connaître le poids de chacun de ces facteurs qui constituent les composantes de notre problématique dans la sensation de confort dans ces espaces (minérale ou végétale) et leurs poids respectifs. Nous supposons ainsi que les raisons de venue sont liées à la sensation du confort.

IV.4.4 Protocole d'enquête

Le questionnaire d'enquête, dont nous venons d'exposer le contenu, a été présenté à un minimum de vingt cinq personnes sur site entre 10h et 20h par jour. Le recueil des données a été effectué durant la semaine allant du 13 juillet au 21 juillet 2010.

Le tableau suivant présente les effectifs de sujets interrogés par dates et par site.

Tableau IV.5 : Effectif des individus interrogés par date et par heure.

Lieux	Nombre individus interrogés		Référence
	Par date	Totale	
Boulevard Belouizded- Boudjriou	13/07/2010	20	100
	14/07/2010	20	
	15/07/2010	15	
	19/07/2010	15	
	20/07/2010	20	
	21/07/2010	10	
Place de la pyramide	14/07/2010	15	75
	15/07/2010	15	
	19/07/2010	15	
	20/07/2010	15	
	21/07/2010	15	
Square	13/07/2010	15	75
	14/07/2010	15	
	15/07/2010	15	
	20/07/2010	15	
	21/07/2010	15	
Totale des individus		250	

Les individus sont choisis sans préférence d'âge, de sexe ou d'appartenance socioprofessionnelle. L'échantillon des interrogés représente une possible fréquentation journalière des lieux. Nous cherchons aussi à évaluer l'appréciation sensible des personnes interrogées. Une personne sur vingt-cinq n'accepte pas de participer.

Une personne sur quinze ne termine pas le questionnaire. Plusieurs raisons sont apparues lassitude, difficulté à répondre. Enfin, le temps de réponse au questionnaire varie selon les individus entre sept et dix minutes.

Le mode de réponse était varié ; cases à cocher ou expression libre des interrogés. Nous avons recueilli des expressions dont le contenu formel et sémantique est propre au mode oral: phrases courtes, parfois sans verbes, exclamations, moyens d'expression plus libre que le langage écrit. Le plus grand respect est observé dans la transcription du discours et la formulation des réponses. De même, le traitement des données et la saisie de ce questionnaire respectent ces principes. Un regroupement des questions est fait par thème que nous avons présenté dans le tableau VI.4.

IV.4.5 Technique d'analyse des données

Le cheminement dans l'analyse du questionnaire suit les thèmes abordés par le questionnaire pour chaque site :

- L'observation de la relation entre l'activité des individus et leur appréciation de l'ambiance climatique, visuelle et de la fréquentation et l'animation urbaine aide à comprendre les modes de perception sensible ;
- L'analyse des questions fermées vise à situer les facteurs de la fréquentation et de l'animation urbaine, les activités et l'utilisateur du lieu par rapport à d'autres facteurs, dans la création des ambiances urbaines particulières ;
- De qualifier les espaces d'un point de vue de confort et s'intéresse aux poids de chaque facteur dans la création des ambiances et dans la sensation du confort des usagers.

IV.4.6 Résultats des enquêtes

Dans un premier temps, nous présentons les résultats de l'analyse des questions ouvertes du questionnaire puis des réponses verbales, afin de qualifier les ambiances de chaque site, selon la vision de ses usagers.

Dans un deuxième temps, nous présenterons les résultats d'analyse comparative des questionnaires.

IV.4.6.1 Traitements des réponses aux questions ouvertes

Caractéristiques personnelles des usagers

L'influence des caractéristiques personnelles sur la préférence et la satisfaction environnementale a été observée. Par les critères d'âge, de type d'ancrage et de type de fréquentation, associé aux sensations décrites et aux évaluations faites suivant le Tableau IV.6. Les résultats montrent l'influence de caractéristiques personnelles des individus :

Tableau IV.6 : caractéristiques personnelles des individus. Auteur

	Total	Genre		Tranche d'âge					Fréquentation				Degré d'appartenance au site		
		Masculin	Féminin	-18 ans	18-30 ans	30-45 ans	45-55 ans	+55 ans	Une fois par jours	Plusieurs fois/ jours	Quelque fois/semaine	1ere fois	résident	Commerçant	Autres
Avenue Belouized	100	65	35	15	15	30	20	20	15%	60%	21%	4%	30	25	45
Square	75	50	25	17	7	11	10	30	49%	30%	20%	1%	50	0	25
Place pyramide	75	60	15	15	10	10	8	32	25%	56%	16%	3%	25	15	35
Totale	250 100%	175 70 %	75 30%	47	32	51	38	82	30%	49%	19%	3%	105 42%	40 16%	105 42%

- a- L'âge : on remarque que les plus jeunes et les plus âgés sont plus positifs que les tranches d'âge intermédiaire. Les personnes entre 35-45ans sont plus neutres. Cela peut être dû a une disponibilité plus grande ;
- b- L'ancrage : un ancrage fort concerne les habitants et les commerçants, un ancrage faible ou nul concerne les personnes de passage. La familiarité du site augmente la satisfaction.
- c- La régulation de fréquentation : ce sont les personnes qui fréquentent le site de façon hebdomadaire ou quotidienne qui sont les plus positifs envers leur environnement. Les sensations décrites sont également fonction du type de fréquentation. Une fréquentation hebdomadaire est associée aux sentiments de bien être et d'animation.
- d- La fréquentation par choix ou par nécessité : des personnes qui fréquentent le lieu tous les jours car leur lieu de travail se trouve à proximité. Les usagers qui fréquentent les lieux de façon hebdomadaire, le visitent l'après midi. Pour cela la fréquentation du lieu par un choix non pas par nécessité, ce qui explique l'appréciation du site est la plus forte chez eux.
- e- Le sexe : on remarque la prédominance des masculins ce qui explique le mode culturel de la société et de la famille constantinoise.

La satisfaction environnementale

La satisfaction envers les espaces publics se reconnaît dans les éléments de l'environnement perçus comme agréables. Ils portent sur le bâti, les espaces verts, les aménagements, les services sociaux et le climat. De nombreux usagers ont exprimé également des sentiments d'apaisement, certains ont porté un jugement sur l'aspect de l'environnement et ont fait une évaluation globale.

L'évaluation globale de l'environnement a été appréhendée sur l'ensemble du discours, dans les jugements donnés envers l'environnement ou l'un de ses composants. Il se dégage ainsi, pour chaque sujet, une évaluation plutôt positive ou plutôt négative du lieu. Une évaluation neutre correspond aux discours.

Dans la première partie du questionnaire (questions 3,4 et 5), l'aspect climatique était abordé de façon spontanée pour certains. Il apparaît ainsi comme une composante importante de l'environnement.

Les évocations spontanées du climat par les usagers apparaissent avec une fréquence de 59% à travers les discours recueillis.

Une cohérence entre les réponses des interviewés, à la fois entre la perception des ambiances climatiques ; le jugement d'inconfort de l'espace associé le plus souvent au facteur climatique pour l'ensemble de l'enquête (Figure IV.6). Par la question qui traite le facteur qui nuira plus l'ambiance à l'extérieur c'est généralement un fort ensoleillement était enregistré pour un pourcentage de vote de 45% et un pourcentage de vote pour l'appréciation d'une température haute de 30% .D'autres usagers parlent de l'aménagement, manque d'arbres, étroitesse de l'espace ou présence du vent chaud.

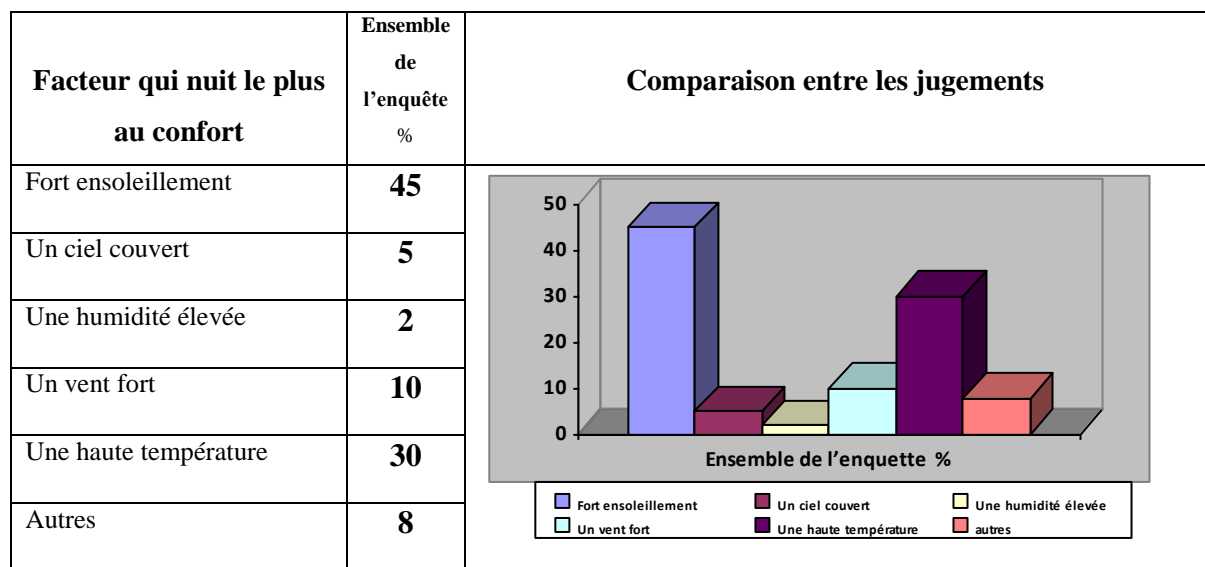


Figure IV.6 : Facteur principale qui participe à l'inconfort dans l'espace public. Auteur

Les endroits où il y a effet végétal connu, la sensation de calme domine, de pureté et de bien être. L'évaluation globale de l'environnement y est aussi particulièrement positive. Le climat est agréable grâce à la lumière naturelle filtrée (du soleil) et l'ombre

Par contre sur les endroits où il y a effet minéral, la sensation d'insatisfaction, de chaleur et d'éblouissement est prononcée. Et l'évaluation globale de l'environnement est négative. Le climat est désagréable grâce à la forte intensité solaire et la chaleur dégagée par le sol et les façades.

IV.4.6.2 Traitements des réponses aux sensations du confort

Appréciation par moment

L'effet végétale présente en général une sensation de neutralité vis-à-vis de l'environnement où se trouve l'individu par contre l'espace minéral et la non-présence de la couverture végétale l'appréciation de chaud et très chaud prédomine avec 48% d'appréciation de chaleur le matin et de 73% à midi (Figure IV.7) ce qui explique l'effet d'ombrage et de fraîcheur dans les endroits végétalisés et cumule de la chaleur dans les espaces ouverts et minéraux.

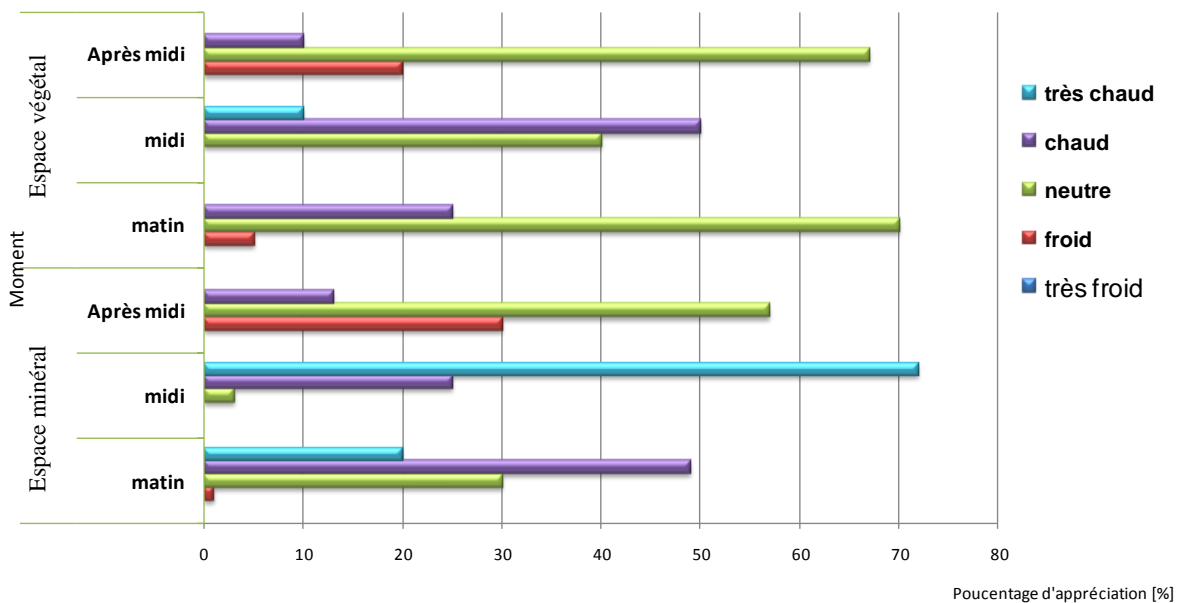


Figure IV.7: Appréciation par moment.
Auteur

Soleil à ce moment

Pour la période estivale le soleil présente une source de chaleur et d'inconfort ; le jugement d'inconfort dans l'espace minéral a été associé le plus souvent soit à la fréquentation, soit au fait que la place est trop ensoleillée et claire.

Cette analyse perceptive des ambiances du boulevard Belouizded permet de la qualifier dans un premier temps selon la vision de ces usagers, comme un espace confortable à 70%, très fréquenté, vivant, agréable, convivial, animé, sympathique, passant, familial, calme et dynamique à la fois, petit et ouvert, moyennement éclairé et peu ensoleillé (toujours à

l'ombre). L'emplacement de cet espace végétale au centre de la ville lui offre encore une certaine richesse dans l'appréciation de ces ambiances.

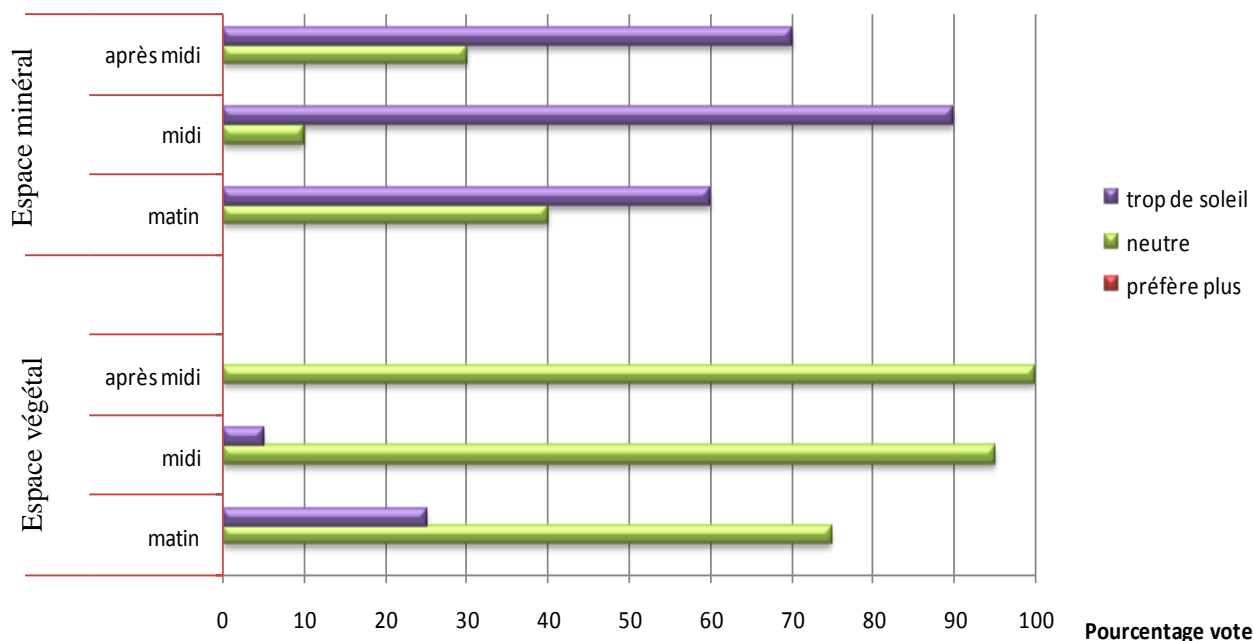


Figure IV.8 : Appréciation du soleil. Auteur

Vent

En ce qui concerne l'appréciation du vent dans les espaces en période d'été, présente en général un vent calme de 67% et 63% dans les deux situations sauf quelques rafales de vent chaud qui viennent du côté remarqué dans les endroits ouverts dénudé de végétations.

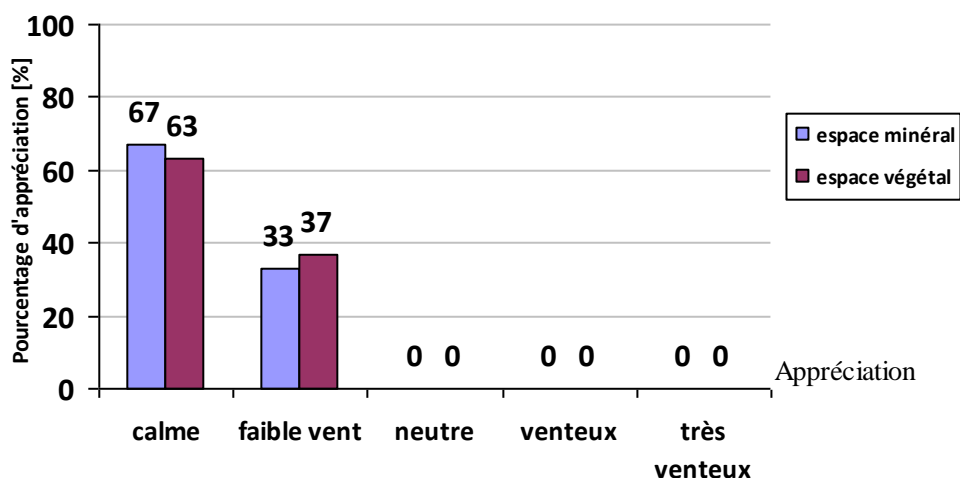


Figure IV.9 : Appréciation du vent. Auteur

Humidité relative

D'après les résultats ci-dessous (figure VI.10) la sensation de l'air humide est plus appréciée dans l'espace végétal, par contre dans l'espace minéral la prédominance de la sensation de l'air sec.

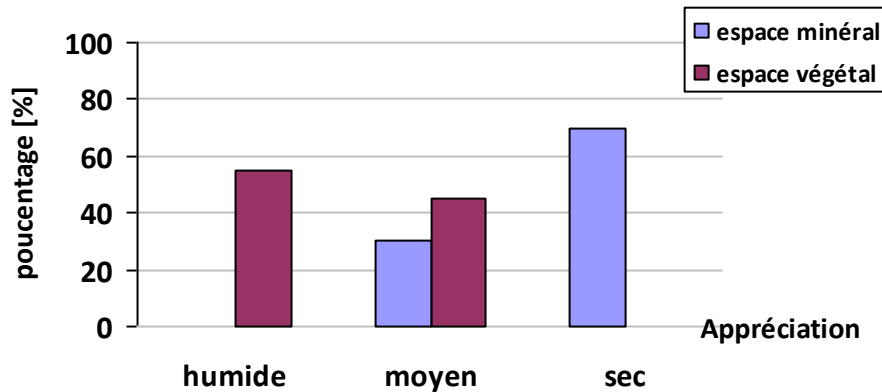


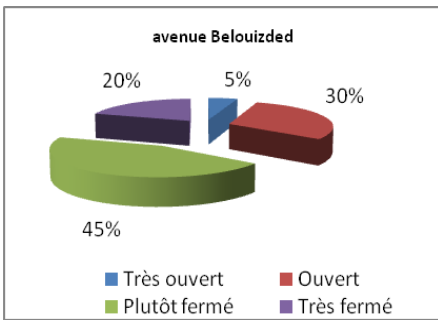
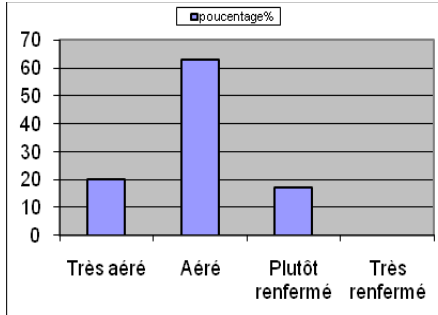
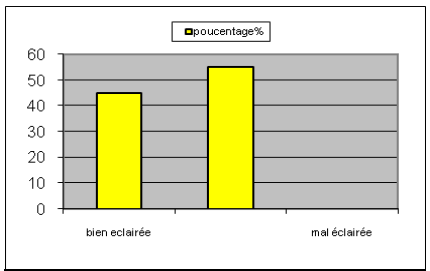
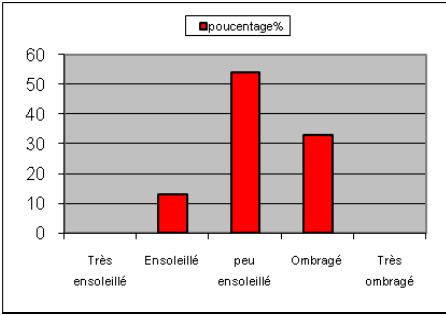
Figure IV.10: Appréciation de l'humidité . Auteur

IV.4.6.3 Traitements des réponses aux perceptions du lieu (qualité d'ambiances)

L'analyse des jugements de l'appréciation des ambiances issues de la fréquentation et de l'animation urbaine est majoritairement positive, 87% des interrogés trouvent que l'espace est très fréquenté dont 74% apprécie bien cette ambiance « ambiance agréable ». La comparaison des réponses sur l'ouverture, l'éclairage et l'ensoleillement de la rue Belouizded (saint jean) indiquent une confusion sur l'ouverture de l'espace ; entre ouvertures de ciel et ouverture par le fait d'existence des percées des ruelles qui l'entourent, 88% des réponses étaient « espace ouvert » alors qu'elle est à 75% moyennement éclairée et à 74% peu ensoleillée. La confrontation de l'ouverture de ciel telle qu'elle est perçue par les interrogés avec les résultats de calcul des indicateurs de visibilité est importante dans ce cas.

IV.4.6.4 Analyse des jugements relative à la rue Belouizded-Boudjriou (saint jean)

Tableau IV.7 : Analyse des jugements des ambiances climatiques dans la rue Belouizded (Saint- Jean)

paramètre physique d'ambiance	Jugement des paramètres physiques	% des réponses	Analyse des jugements des paramètres d'ambiance
Ouverture du ciel	Très ouvert	5	 <p>avenue Belouizded</p> <p>20% 5% 30% 45%</p> <p>■ Très ouvert ■ Ouvert ■ Plutôt fermé ■ Très fermé</p>
	Ouvert	30	
	Plutôt fermé	45	
	Très fermé	20	
Aération	Très aéré	20	 <p>poucentage%</p> <p>70 60 50 40 30 20 10 0</p> <p>Très aéré Aéré Plutôt renfermé Très renfermé</p>
	Aéré	63	
	Plutôt renfermé	17	
	Très renfermé	0	
Eclairage	Bien éclairée	45	 <p>poucentage%</p> <p>60 50 40 30 20 10 0</p> <p>bien éclairée mal éclairée</p>
	Moyennement éclairée	55	
	Mal éclairé	0	
Ensoleillement	Très ensoleillé	0	 <p>poucentage%</p> <p>60 50 40 30 20 10 0</p> <p>Très ensoleillé Ensoleillé peu ensoleillé Ombragé Très ombragé</p>
	Ensoleillé	12	
	Peu ensoleillé	55	
	Ombragé	33	
	Très ombragé	0	

La sensation du confort et la raison de venue des usagers dans l'avenue Belouizded ont été précédées par une question globale qui permet de qualifier l'espace d'un point de vue confort selon la vision de leurs usagers, dont la question avait aussi comme but de connaître les facteurs de confort qui rentrent dans le jugement des interrogés.

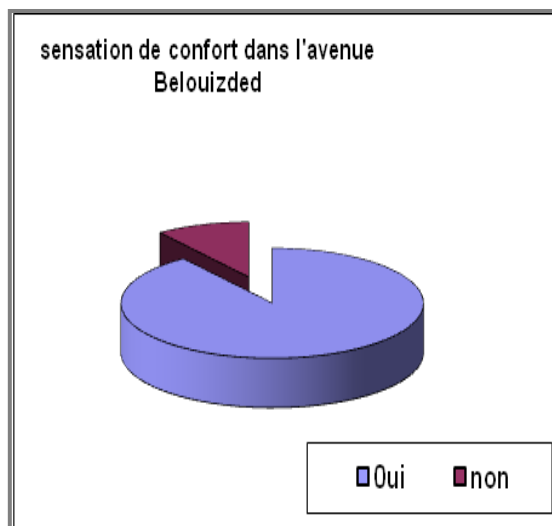


Figure IV.11 : Appréciation des usagers au confort

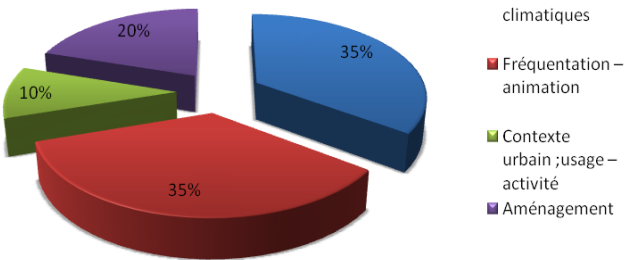
Tableau IV.8 : Comparaison des jugements de confort dans l'avenue Belouizded

Jugement de confort dans l'avenue Belouizded	%	Comparaison entre les jugements
Très confortable	12	
Confortable	60	
Peu confortable	20	
Inconfortable	5	
Très inconfortable	3	

Nous avons remarqué une cohérence entre les réponses des interviewés, quant à la question sur la sensation du confort de 60% et les questions relatives à la perception des ambiances climatiques et urbaines ; le jugement d'inconfort de 8% de l'espace a été associé le plus souvent soit à la fréquentation, soit au fait que la rue est peu ensoleillée.

La comparaison entre les questions sur les impressions globales et de ce qui est associé à ces impressions et la question sur les facteurs de confort (tableau IV.9) montre une cohérence dans les réponses des enquêtés, le caractère de la fréquentation / animation urbaine de 35% et le facteur climatique avec 35% sont les facteurs dominants dans le jugement de l'appréciation globale et dans la sensation du "bien être" .

Tableau IV.9 : Comparaison de ce qui est associé à la sensation du confort

Facteurs de confort	%	Comparaison de ce qui est associé à la sensation du confort
Facteur climatiques	35	<p style="text-align: center;">Facteurs de confort</p>  <ul style="list-style-type: none"> ■ Facteur climatiques ■ Fréquentation – animation ■ Contexte urbain ; usage – activité ■ Aménagement
Fréquentation – animation	35	
Contexte urbain ; usage – activité	10	
Aménagement	20	

Tous les sujets interrogés dans le site avaient une cohérence dans leurs réponses, nous n'avons pas remarqué une grande différence entre les réponses des sujets, ils étaient d'accord à 70% sur la qualification des ambiances climatiques et de la fréquentation et l'animation urbaine.

Cette analyse perceptive des ambiances permet de la qualifier dans un premier temps selon la vision de ces usagers, comme un espace confortable à 60%, très fréquenté, vivant, agréable, convivial, animé, sympathique, passant, familial et dynamique à la fois, petit et ouvert, moyennement éclairé et peu ensoleillé (toujours à l'ombre).

IV.4.6.5 Comparaison entre les différents sites d'enquête

L'analyse des questionnaires de chaque endroit relève un certain nombre de propriétés caractéristiques du lieu, l'appréciation des paramètres physiques est différente entre les lieux; contrairement à la rue Belouizded où nous avons recensé, même dans les réponses aux questions ouvertes, la présence d'ombre dans tout l'axe, nous avons recensé le manque d'ombre dans la place de la pyramide, le caractère d'inconfort dans cette dernière est fortement associé au fait qu'elle est très ensoleillée et qu'il n'y a pas assez d'ombres, ce qui réduit et limite le taux ainsi que le temps de fréquentation à certains moments de la journée. La présence de la verdure dans le square et la rue Belouizded était un des critères positifs d'appréciation des espaces.

Les jugements des ambiances climatiques

Les jugements des ambiances climatiques sont présentés par paramètre physique de façon comparative dans les tableaux suivants :

L'ouverture du ciel :

Jugement de paramètre	Rue Belouiz	Place pyrami	Square
Très ouvert	5	40	43
Ouvert	30	35	50
Plutôt fermée	45	4	17
Très fermée	20	0	0

Tableau IV.10 : Analyse des jugements pour l'ouverture de ciel des trois endroits

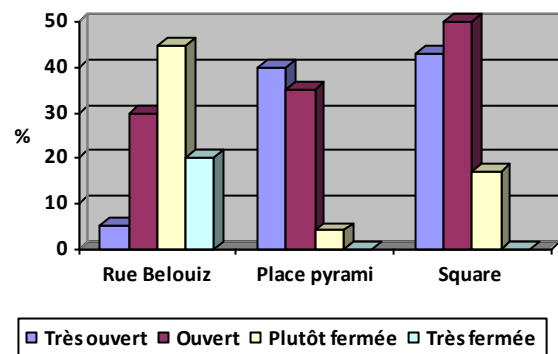


Figure IV.12 : comparaison de jugements de l'ouverture du ciel

L'aération :

Jugement de Paramètre	Rue Belouiz	Place pyrami	Square
Très aéré	20	50	55
Aéré	63	50	45
Plutôt renfermé	17	0	0
Très renfermé	0	0	0

Tableau IV.11 : Analyse des jugements pour l'aération des trois endroits

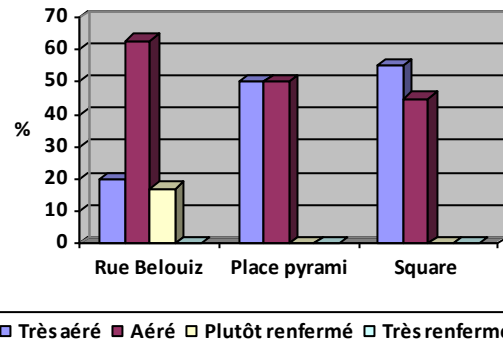


Figure IV.13 : comparaison de jugements de l'aération des trois endroits

L'ensoleillement :

Jugement de Paramètre	Rue Belouiz	Place pyrami	Square
Très ensoleillé	0	38	0
Ensoleillé	13	30	5
Peu ensoleillé	54	14	25
Ombagé	33	18	42
Très ombagé	0	0	28

Tableau IV.12 : Analyse des jugements pour l'ensoleillement dans les trois endroits

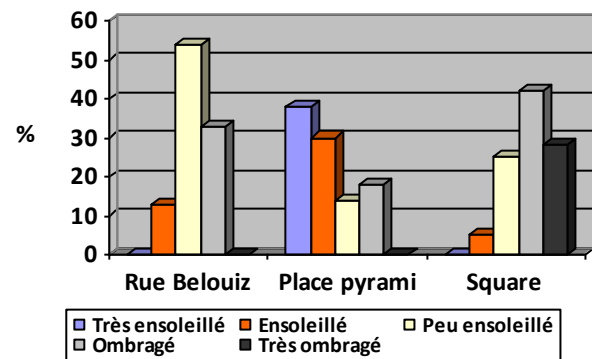


Figure IV.14 : Comparaison de jugements de L'ensoleillement

Lumière :

Jugement de Paramètre	Rue Belouiz	Place pyrami	Square
Très claire	0	50	0
Clair	13	40	15
Peu clair	54	10	53
Sombre	33	0	32
Très sombre	0	0	0

Tableau IV.13 : Analyse des jugements pour la Lumière dans les trois endroits

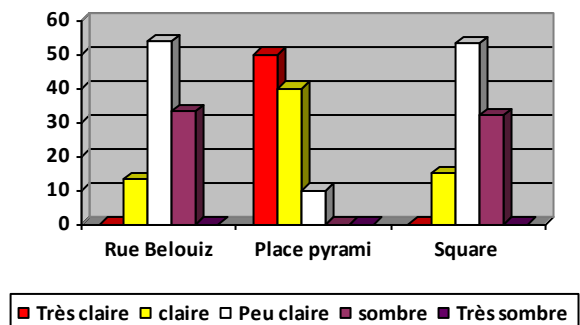


Figure IV.15 : comparaison de jugements de la lumière

Analyse des jugements pour la sensation de confort dans les trois endroits

Facteurs de confort	Rue Belouiz	Place pyrami	Square
Facteur climatiques	38	20	46
Fréquentation – animation	35	55	15
Contexte urbain ; usage – activité	17	8	5
Aménagement	10	17	34

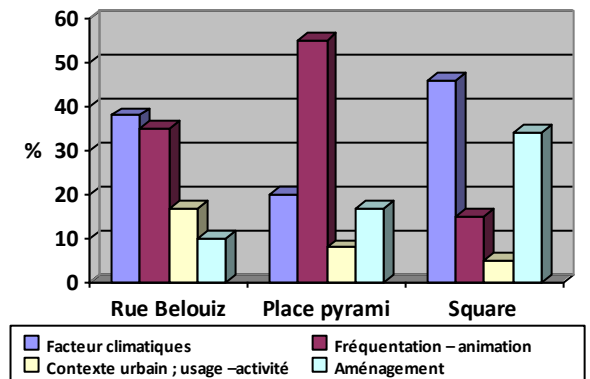


Tableau IV.14 : Jugements dans la réponse de la question fermée Sur la sensation au confort

Figure IV.16 : Comparaison des jugements de la sensation du confort dans les trois endroits

Cette analyse révèle une certaine diversité des critères et une forme de multimodalité dans le jugement de la sensation de confort dans les différents endroits. L'étude des réponses à cette question donne un poids pour chacune des composantes qui constituent notre problématique.

La sensation du "bien-être" qui exprime un état de confort, des personnes associées en premier lieu à la fréquentation et l'animation (35% rue Belouizded (saint jean) et 55% Place de la pyramide) et les facteurs climatiques de (38 % Rue Belouizded et 46% dans le square). La sensation du bien être chez les usagers du site d'étude est associée aux facteurs climatiques, mais la raison de leur venue est fortement associée aux activités, à l'usage et à l'aménagement (présence de la végétation, des jeux d'enfants, des espaces verts, des bancs...). Ces résultats montrent encore une fois l'influence du contexte urbain des espaces publics sur l'appréciation et sur la sensation du bien-être dans ces espaces, les fonctions du bâti environnant, le caractère de l'espace et les activités qu'il offre, participent aussi, dans la révélation de la perception des usagers résultat qui coïncide avec les conclusions de A.H.Mahmoud (2011)¹⁵.

¹⁵ - Mahmoud, A. H. AAnalysis of the microclimatic and human comfort conditions in an urban park in hot and arid regions. Building and Environment, 46(12). 2011, 2641–2656.

IV.4.7 Synthèse

D'après cette analyse, nous avons pu montrer l'utilité de disposer d'un outil d'expérimentation in situ pour mener à bien une démarche de projet d'ambiances destinée à qualifier ou requalifier un espace public urbain. À travers les enquêtes nous avons pu qualifier ces espaces selon le point de vue de leurs usagers. Cependant la pertinence de cet outil réside principalement dans sa précision. Le type de questionnement influence directement le mode des réponses des individus. Par conséquent, les choix linguistiques sont essentiels dans l'élaboration du questionnaire. Pour que les usagers se sentent impliqués et répondent par un ou plusieurs énoncés (phrases) et non par oui ou non, la formulation des questions demande une attention particulière. Toutefois ces explications restent toujours neutres et limitées afin de ne pas influencer leurs réponses.

Malgré des sites différents et des qualifications différentes, nous avons pu repérer des indices ou des critères qui semblent très intéressants dans l'appréciation de ces espaces par leurs usagers ; l'effet d'ouverture de l'espace est un des critères qui s'est répété plusieurs fois dans les réponses des interrogés de tous les espaces. Espace ensoleillé ou à l'ombre, espace minéral ou vert, etc. font aussi partie de ces critères. Le choix des indicateurs physiques a été effectué selon ces résultats d'enquêtes et a concerné principalement les deux critères de Lumière et d'ensoleillement.

IV.5 Choix des indicateurs perceptifs des ambiances environnemental

À partir de l'ensemble des traitements des questionnaires recueillis en période exploratoire (période chaude), nous pouvons dire que les éléments qui constituent des indicateurs de satisfaction environnementale sont :

À l'échelle de l'espace public la représentation physique des caractéristiques typomorphologiques constitue la prise en compte des propriétés de la forme creuse de l'espace et les éléments urbains qui structure cette forme.

Particulièrement dans les espaces publics urbains, sont caractérisés par des surfaces environnementales de types variés. En effet, dans de tels espaces, il est aisé de distinguer les quatre types de surface suivante:

- ✓ *les surfaces minérales* : qui englobent les surfaces construites horizontales et verticales, les revêtements minéraux des sols et le mobilier urbain. L'altération naturelle de ces éléments dépend du temps,
- ✓ *les surfaces végétales* : qui regroupent l'ensemble des étendues végétales verticales (arbres, arbustes, haies...etc.) et horizontales (gazon),
- ✓ *la surface de ciel* : considérée comme source importante de rayonnement de grandes longueurs d'onde,
- ✓ *les surfaces d'eau* : qui regroupent tous les éléments d'eau intégrés dans l'espace public ou dans le tissu urbain (lacs, bassins et jets d'eau).

L'implication de ces surfaces dans la production des microclimats urbains varie en fonction de leur importance spatiale (dimension verticale, étendue horizontale, densité... etc.) et de leur nature thermique, ainsi que de leur fréquence et de leur période d'apparition dans l'espace.

D'un point de vue climatique, l'intérêt de mettre en œuvre des indicateurs à l'échelle de l'espace public se résume dans la possibilité de recenser l'implication de chaque typologie de l'espace (rue, place, bâtiment surface végétale.....etc), et de chaque caractéristique urbaine de ces typologies (hauteur, largeur, ouverture, végétalisationetc), dans la distribution des paramètres physiques de confort. Ce qui permettrait aussi de recenser le rôle de chaque élément urbain dans les échanges énergétiques qui en résultent.

Sur la base de ses critères nous définissons trois types d'indicateurs :

- Les indicateurs de la forme urbaine (forme de l'espace public)
- Les indicateurs de l'aménagement urbain par la végétation
- Les indicateurs de type de matériaux (propriétés physiques des matériaux)

En milieu urbain, les conditions microclimatiques sont des paramètres critiques pour l'usage des espaces extérieurs. Les réponses des individus aux variations microclimatiques sont, pour la plupart du temps, inconscientes. Cependant ces réponses montrent souvent des usages différents associés à des conditions climatiques différentes.

Nous avons constaté, à travers la recherche bibliographique, deux aspects déterminants qui doivent être contrôlés lors de la mesure des paramètres microclimatiques en milieu urbain (voir chapitre I et chapitre II). Il s'agit de la variable spatiale et temporelle. En effet, les conditions microclimatiques peuvent varier significativement à partir d'une situation à une autre dans le même espace urbain et progressivement avec le temps durant la procédure de mesure. Ainsi, l'enquêteur doit prendre en considération ces paramètres durant la période de mesure. Les indicateurs les plus significatifs et valides à l'échelle de l'espace public et à l'échelle du tissu urbain.

Le tableau IV.15 synthèse ci-dessous illustre les paramètres climatiques et les indicateurs morphologiques retenus pour le travail de la partie mesures et investigation.

Tableau IV.15: Synthèse des indicateurs morphologiques déterminants.

Paramètres microclimatiques	Indicateurs morphologique		Auteurs
	Echelle de l'espace public	Echelle du tissu urbain	
Rayonnement solaire	<ul style="list-style-type: none"> • Ratio –Degree of Enclosure (<i>DoE</i>) • Ratio hauteur moyenne des bâtiments/largeur moyenne des rues (H/L) • Albédo moyen des surfaces (α) 	Densité végétal Densité bâtie	Adolphe, 2001; Ait-Ameur, 2002; Arnfield, 1999; Bozonnet, 2006; Brown <i>et al</i> 2000; Dimoudi <i>et al</i> , 2003; Elaïsson, 1995 et Santamouris, 2001
Température de l'air	<ul style="list-style-type: none"> • Facteur de ciel vu • Ratio <i>DoE</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Densité bâtis • Densité végétale 	Givoni, 1998 ; Gômcz <i>et al</i> , 2004; Nagara <i>et al</i> , 1996; Potvin, 1997-2004
Température rayonnante	<ul style="list-style-type: none"> • Ratio <i>DoE</i> • Facteur de ciel vu (SVF) • Albédo moyen des surfaces (α) 	<ul style="list-style-type: none"> • Densité bâtie • Densité végétale • Porosité 	Dimoudi <i>et al</i> , 2003 ; Nikolopoulou <i>et al</i> , 2001;. Santamouris, 2001; et Slcemers <i>cl al</i> , 2004;
Vitesse du vent		<ul style="list-style-type: none"> • rugosité urbaine • densité bâtie • porosité urbaine 	Adolphe, 2001; Ail-Amcur, 2002 et Givoni, 1998,
Humidité relative		<ul style="list-style-type: none"> • densité végétal • densité bâtie 	Ait-Ameur, 2002 et Dimoudi <i>cl al</i> , 2003 et Gômmez <i>et al</i> , 2004

Dans l'état de l'art des travaux menés sur l'espace urbain public et les phénomènes physiques, nous avons repéré un certain nombre de paramètres morphologiques et environnementaux qui semblent identifier des propriétés thermiques, d'ensoleillement et de luminosité d'un espace urbain , en corrélation avec les réponses des interrogés, nous avons

sélectionné les indicateurs les plus significatifs. Ces indicateurs sélectionnés sont relatifs aussi aux paramètres physiques qui vont être simulés et qui sont liés à l'ensoleillement et à la luminosité de l'espace.

Dans ce qui suit, nous proposons de lister ces indicateurs et d'en proposer une définition précise. Ces indicateurs sont classés selon les types de phénomène qu'ils sont sensés représentés

IV.5.1- Les indicateurs de luminosité

Elle est fonction de quatre indicateurs d'après J.Teller¹⁶ : l'ouverture de ciel, les longueurs de vue, la régularité de la découpe et les moments d'inertie, construits à partir des projections sphériques. Ces projections permettent de transformer un espace infini à trois dimensions en un espace fini à deux dimensions ; elles présentent trois intérêts. D'abord, la prise en compte de la composante volumique de l'espace ouvert urbain ne se traduit par aucun compte de la complexité du calcul. Ensuite l'analyse d'un milieu non fermé comme le ciel, par exemple, se projette toujours à l'intérieur du cercle de référence. Enfin la dimension du cercle de référence n'est pas déterminée par les caractéristiques de l'espace, mais toujours imposée arbitrairement par l'utilisateur. Cette dimension de référence va permettre de «normaliser » les différents calculs et donc faciliter ce qu'il appelle les analyses externes, c'est-à-dire les comparaisons entre espaces ouverts appartenant à des systèmes différents : Parmi les indicateurs proposés par Teller nous avons retenu deux indicateurs : l'ouverture du ciel et la longueur de vue caractéristique.

IV.5.2- Les indicateurs de l'ensoleillement :

L'ensoleillement est une symbolique forte dans l'imaginaire collectif et qui présente un facteur déterminant en terme de confort climatique. Représenter par :

La durée d'ensoleillement, l'ombre portée et le facteur de vue du ciel.

La situation d'ombre-soleil s'accompagne de plusieurs effets induits d'après Le Corre(2007)¹⁷ ; Aicha Boussoulim (2000)¹⁸ et Karima Ait ameur (2001)¹⁹

¹⁶ - Teller. J. Effet de masque de la vegetation.Université de Liège, Facultés des sciences Appliquées 1992, 76p

¹⁷ - Le Corre .Y . « Pattern Ambient »: une entité opératoire de caractérisation et de conception des ambiances urbaines. Nantes: Thèse de doctorat . Université de Nantes 2007, 524p

- Les effets lumineux avec l'affaiblissement de la valeur de l'éclairément ;
- Les effets thermiques avec la baisse de la température ambiante plus ou moins marquée ;
- Les effets aérauliques fréquemment associé à des mouvements de convection des masses d'air ;
- Les effets psychologiques avec le perçu de l'environnement. Les ombres portées marquent un rythme, des alternances ainsi qu'une hiérarchie lumineuse des espaces en fonction du degré d'opacité de l'écran (entre paroi pleine et écran végétal filtrant la lumière). Sa projection sur les supports physiques de l'espace public définit une partition visuelle et sensible de l'espace.

IV.5.3 Les indicateurs de l'aménagement urbain

Cet indicateur tient compte de la distribution des surfaces au sol. Il tient en compte trois composantes les plus essentielles dans l'espace public :

- Les surfaces minérales
- Les surfaces végétales

Les facteurs climatiques influencés dans les deux types d'espaces (minérales ou végétales) sont le rayonnement solaire et la température.

Pour la densité minérale permet de déterminer dans l'espace, les propriétés des surfaces émettrices, réfléchissantes et absorbantes des rayonnements de faible et de grandes longueurs d'onde.²⁰

La densité végétale influe sur le rayonnement solaire et sur la température, sur la vitesse de l'air, ainsi que l'humidité relative.

¹⁸ - Boussoualim.A « Contribution à la caractérisation de l'impact et de l'incidence du microclimat sur l'usage et les activités en espace public extérieur. Étude de cas à Blagnac », GRECO, 2001.

¹⁹ - Ait-Ameur, K Vers une méthode multicritère de caractérisation du microclimat dans les espaces publics urbains : validation d'un système d'indicateurs morpho climatique et d'un indicateur de confort, Thèse de Doctorat Ecole Polytechnique de Nantes, France 2000.

²⁰ - Ait-Ameur, K , 2000.

3.1 La densité minérale de l'espace :

Elle est exprimée par le taux de surface minérale (minérale horizontale ou minérale verticale) vue par un individu à partir d'un point considéré de l'espace. Elle traduit les proportions de cette surface et aussi ses capacités à occulter le ciel²¹.

Elle dépend de la proportion des surfaces minérales distribuées dans l'espace

$$D_{min} = \text{Aire du minéral} / \text{Aire totale de l'espace} \dots\dots\dots[13]$$

La densité minérale permet de déterminer dans l'espace, les proportions de surfaces émettrices, réfléchissantes et absorbantes des rayonnements de faibles et de grandes longueurs d'onde.

3.2 La densité végétale de l'espace :

La densité végétale est exprimée par le taux de surfaces végétales (végétale verticale et végétale horizontale) vues d'un point considéré de l'espace²². Elle indique les proportions de la masse foliaire vue de ce point et ses capacités à occulter le ciel. La valeur de la densité végétale de l'espace est fonction des aménagements végétaux, toutes essences confondues (arbres, haies pelouse...)

$$D_{vg} = \text{Aire du végétal} / \text{Aire de l'espace} \dots\dots\dots[14]$$



Figure IV.17 : Densité du feuillage, source : Auteur, 2011

²¹ - Izard J.L. (1997) Morphologie, végétal et microclimat urbain; cas d'Aix en Provence et Nimes. Tome2 : Les mesures. Rapport Final de Recherche Programme Ecologie Urbaine, 110 p.

²² - Izard J.L. (1997)

Parallèlement à la densité végétale de l'espace, nous pouvons aussi définir un taux de transparence du végétal qui permettrait d'évaluer la porosité du feuillage. Il peut être calculé par la proportion de trous dans le feuillage par rapport au volume total de la masse foliaire.

Cet indicateur peut aussi être déduit du « Leaf Area Index » (LAI). Ce dernier exprime le ratio de la surface totale du feuillage d'un arbre ou d'une plante, sur la surface de projection au sol de ce feuillage. Si une plante est composée d'une seule couche de feuilles disposées les unes à côté des autres, le LAI est égal à 1, car la surface du feuillage est égale à la surface de sa projection au sol²³.



Cet index augmente avec l'âge de la plante, il peut atteindre une valeur maximale comprise entre 2 et 5²⁴ correspondants à un taux maximal de feuillage.



La densité végétale influe sur le rayonnement solaire et la température de rayonnement, sur la vitesse de l'air, ainsi que sur l'humidité relative.

IV.5.4 Les indicateurs de type de matériaux (propriétés physique des matériaux)

La diversité des types de matériaux au sol amplifie les échanges entre surfaces thermiques. Exposées au rayonnement incident solaire, les surfaces deviennent sources d'émission du rayonnement de grandes longueurs d'onde. L'albédo des matériaux est l'un des paramètres physiques influant sur l'apport de chaleur en milieu urbain. Il définit la fraction de flux renvoyée par la surface réceptrice dans toutes les directions par réflexion et diffusion.

À l'échelle de l'espace urbain, la réflexion dépend de la nature et de la géométrie des surfaces de captage. Elle se résume dans l'albédo moyen des surfaces.

²³ - **Ait-Ameur, K** (2000). Vers une méthode multicritère de caractérisation du microclimat dans les espaces publics urbains : validation d'un système d'indicateurs morpho climatique et d'un indicateur de confort, Thèse de Doctorat Ecole Polytechnique de Nantes, France.

²⁴ - www.gardenwithinsight.com/help100/00000424.htm

IV.6 Conclusion

L'ambiance des lieux est perçue au travers de la représentation des sites investigués. En période estivale, les évaluations sont plus positives et les sensations de liberté, de sécurité et de calme accompagnent les usagers des points « végétaux ». On a une sensation de dynamisme, de vivant. Le climat intervient peu alors dans les discours. Les usagers y apprécient le soleil, mais évoquent surtout le bâti et les formes de distribution de l'espace. La présence d'arbres est toujours appréciée. Elle valorise l'environnement. Là où il y a des arbres, il y a de l'ombre. L'expression du confort se traduit aussi par la présence d'aménagements et du mobilier urbain. Il y a une recherche d'ambiances diversifiées, ombragées, et animées par le mouvement des piétons, et les couleurs du bâti, égayées par la lumière du soleil. La présence de végétaux a un effet très bénéfique sur le sentiment et l'évaluation du lieu, ainsi que sur les relations sociales, perçues comme conviviales. Pour vérifier les propositions, il faudra tester les résultats obtenus par l'enquête et les indicateurs proposés par l'investigation ; la métrologie (campagnes de mesures et observation, ainsi que par la simulation des modèles). L'analyse des impacts de la végétation et la configuration de l'espace sont nécessaires pour dresser des corrélations assez complètes. Elle fait appel à des champs d'investigations (objectives) et des observations (subjectives).

Chapitre V



PRESENTATION DES RESULTATS DE MESURES ET D'OBSERVATION MICROCLIMATIQUES

V. PRESENTATION DES RESULTATS DE MESURES ET D'OBSERVATION MICROCLIMATIQUES

« L'expérience d'un lieu et un processus qui se produit dans le mouvement, l'usager vit l'expérience de l'architecture pièce par pièce, mais l'expérience du trajet est dynamique »¹

Le microclimat urbain suit une logique propre qui devrait enrichir tout projet urbain.²

V.1 Introduction

La perception d'un lieu est dynamique à travers l'espace et le temps. La perception est le résultat d'un mouvement à travers l'espace ou d'un changement des conditions environnementales. Les variables telles que la chaleur et la lumière peuvent varier en fonction du temps et de l'espace. Ces fluctuations peuvent être plus ou moins appropriées aux conditions de confort et de bien être des individus, dépendantes des paramètres tels que les conditions climatiques. L'environnement thermique et l'environnement lumineux peuvent être plus ou moins stables, mais aussi plus ou moins uniformes dans l'espace. C'est dans cette optique plutôt physiologique que nous avons exploré cette diversité en espace public. Le but est de montrer l'effet de cette dynamique sur la perception des conditions thermiques et visuelles d'un piéton. Les mesures des paramètres microclimatiques (températures, humidité relative et le mouvement de l'air) sont réalisées lors d'un parcours urbain exploré par l'enquêteur à l'aide d'appareils de mesures portatifs de mesure des ambiances physiques, et ce durant la période estivale regroupant quatre jours de relever successifs.

Le (tableau V.1) montre les étapes des différentes méthodes et analyse d'investigation in situ. Une synthèse regroupant les différentes stratégies de collecte des données, l'instrumentation utilisée, les variables de la recherche. Deux procédés méthodologiques sont combinés pour évaluer les paramètres microclimatiques à savoir : la température ambiante, l'humidité relative, le mouvement de l'air, la quantité de l'irradiation solaire et la luminance du lieu, Il s'agit de combiner les relevés dynamiques et statiques pour pouvoir évaluer l'environnement thermique et visuel d'un parcours urbain.

¹ - Potvin, A (1997). *Movement in the architecture of the city: a study in environmental diversity*, Unpublished PhD Thesis, University of Cambridge, Cambridge. P.33

² - Reiter.S « *Elaboration d'outils méthodologiques et techniques d'aide à la conception d'ambiances urbaines de qualité pour favoriser le développement durable des villes* »- thèse de doctorat UCL Université catholique de Louvain 2007.

Tableau V.1 : Différents stratégies de collecte des données.

	Période de l'expérimentation	Juillet 2009	Juillet 2010
		PARCOURS	SCENES
	Date de l'expérimentation		
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Analyse typo morphologique A l'échelle de l'espace public 	<ul style="list-style-type: none"> Facteur de ciel vu Ratio H/L Degré of enclosure DoE Albédo moyen α 	Calculer par le chercheur (calcule voir annexe II)	
		<ul style="list-style-type: none"> Température de l'air (°C) Humidité relative (%) Vitesse de l'air (m/s) Irradiation solaire (w/m²) Luminance (cd/m²) 	<ul style="list-style-type: none">Appareil de mesure portatifs (thermo hygromètre et testo à fonctions LM800)..... ... luminance mètre luminance mètre
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Observation Effectuer à l'aide d'une grille d'observation 	<ul style="list-style-type: none"> Condition du ciel Type et direction du vent Position à l'ombre ou au soleil Qualité thermique, visuel, olfactif et sonore Regroupement des gens 	Enquêtés	

Ce travail tend à analyser les ambiances urbaines des espaces publics à travers la vision de leurs usagers et d'investigation, les principaux objectifs de ce travail sont les suivants :

1. mettre au jour le rôle de la présence de la végétation sur le parcours des usagers dans ces espaces urbains et dans la création des ambiances urbaines particulières ;
2. montrer l'influence réciproque du contexte urbain sur les ambiances issues de la fréquentation et de l'animation urbaine est son poids par rapport aux caractéristiques environnementales et physiques dans l'appréciation des lieux ;
3. analyser l'incidence des facteurs de l'environnement (facteurs climatiques, spatiaux...) à l'échelle locale, sur la qualité des ambiances physiques, sensibles et d'usage dans ces espaces urbains ;
4. montrer l'influence de la présence de la végétation dans la création des ambiances de qualité.

Pour cela un parcours et des scènes ont été choisis.

V.2 Choix des espaces et des points de mesures

Afin de retenir des échantillons urbains représentatifs, le choix a porté sur des critères de définition variée en relation avec la configuration de l'espace et son type d'aménagement urbain. Notre choix a été dicté par les objectifs suivants :

- réunir des espaces publics urbains du type différent (rues, places, squares), et rechercher une diversité morphologique et aménagement végétal.
- réunir des espaces qui occupent une animation et fréquentation importante dans la ville.

Nous avons donc retenu les critères suivants :

1. Critères typologiques :

Afin de diversifier les éléments typologiques dans les échantillons urbains, nous avons opté pour deux catégories d'espaces se distinguant en fonction de leur aménagement spatial :

- Des espaces minéralisés pour ne retenir que l'aménagement du bâti, et sol nu
- Des espaces végétalisés pour quantifier son apport dans l'espace.

2. Critères morphologiques :

Concernant essentiellement le type et la nature de l'espace en tant que référence importante dans le processus d'aménagement urbain des villes. Nous avons ainsi retenu :

- La Rue
- Le Square
- La Place

V.2.1 Le parcours urbain et les points de mesures

Le choix s'est réparti dans la ville de Constantine, une ville à climat semi aride avec un été très chaud et sec, un hiver très froid (voire annexe 1).

À Constantine, la durée d'insolation est très importante durant toute l'année d'une moyenne de 234,5 h avec un minimum de 151h enregistré en décembre et un maximum de 332h enregistré au mois de juillet (figure V.1). Ces valeurs montrent que l'intensité des radiations globale augmente durant la période chaude et sèche et diminue pendant la période froide et

humide. Ce qui explique la forte intensité solaire reçue dans les espaces extérieurs, et ce qui entraîne des valeurs de températures de l'air plus élevées.

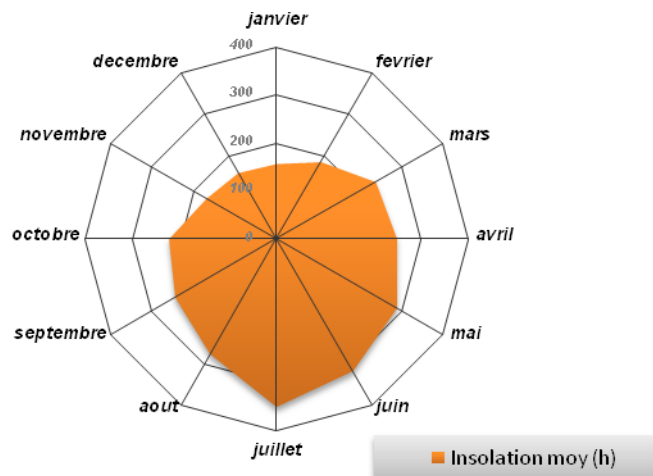


Figure V.1 : Durées d'insolation de la ville de Constantine Période « 2000-2010 »
(Source : ONM Constantine)

L'intensité des radiations solaires varie en fonction des durées d'insolation. Elle augmente durant la période estivale et diminue pendant la période hivernale. Ce qui montre que l'ensoleillement joue un rôle très important dans la variation de la température.

La période chaude se caractérise par des intensités solaires importantes, la figure V.2 montre la quantité de radiations directes durant le mois le plus chaud de l'année (Juillet). Une surface horizontale reçoit une quantité maximale de 685 wh/m² à 12h00.

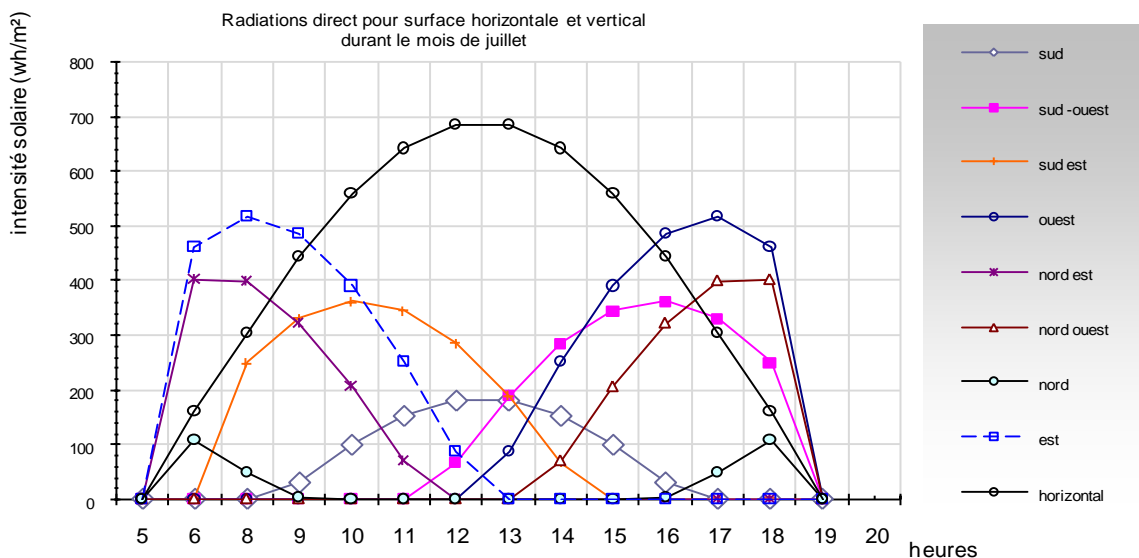


Figure V.2: Radiations directes pour une surface verticale pour différentes orientations durant un mois chaud de l'année - JUILLET - pour la ville de Constantine. Source : CAPDEROU.1988.

La course du soleil dans le ciel est l'une des connaissances de base de l'architecte. Il doit savoir le repérer en fonction de cette course, et par conséquent jouer avec l'ombre et la lumière à l'intérieur et à l'extérieur des espaces à aménager.

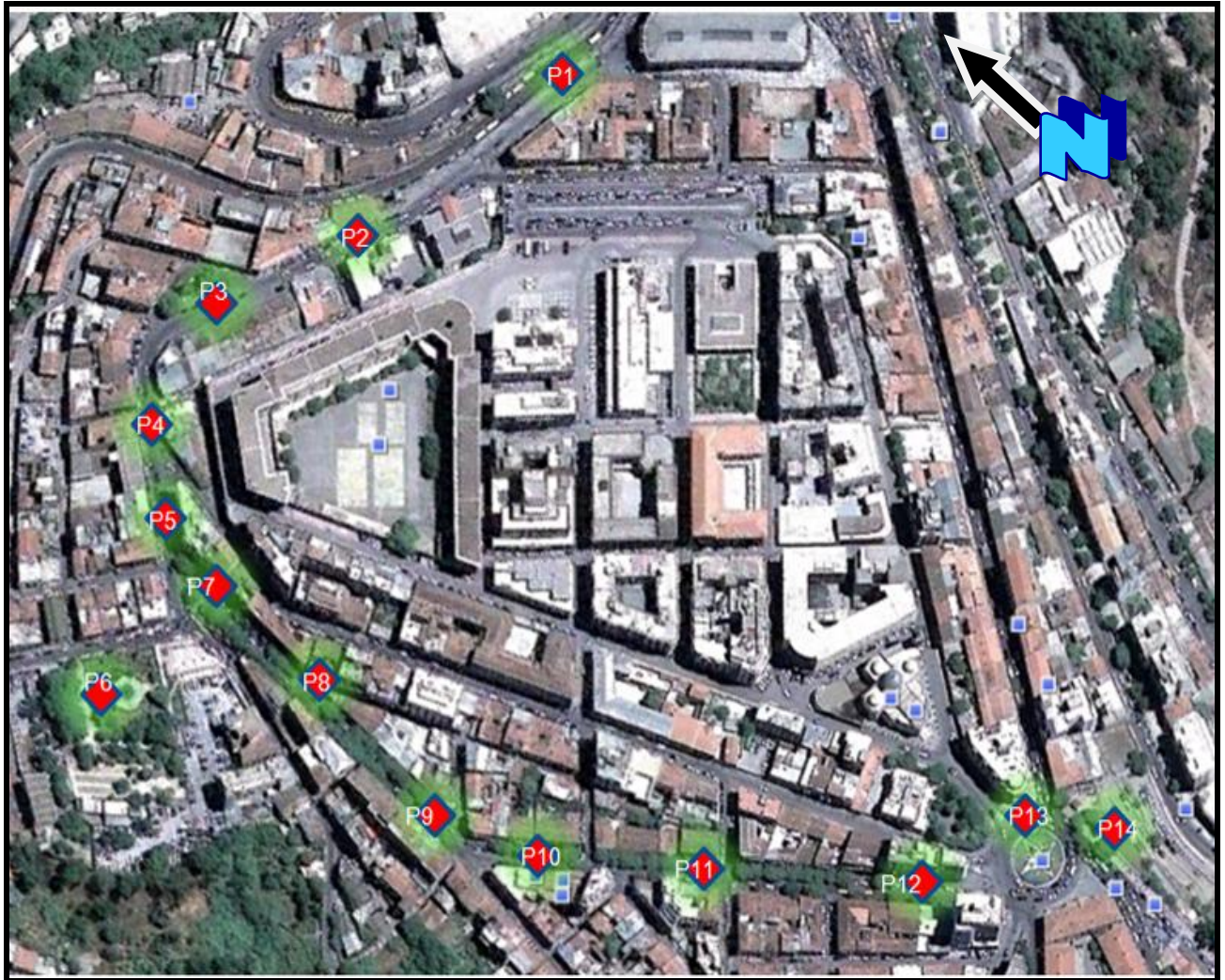
« Si l'image composait une mélodie d'ensemble plutôt qu'une séquence de points séparés, elle serait probablement plus globale et pourtant moins insistante »³

Le choix des points de mesure selon un parcours urbain s'étalant sur une distance de 1,3 km. Une rue dénudée de la végétation, une place avec un arbre isolé une avenue bordée d'arbres créant ainsi une voute végétale, une place avec des points végétalisés, d'autres non et un square comme espace de référence. Ce parcours a été ponctué par 14 points de mesures dont 5 stations dans un espace minéral, une station dans un square, une station sous un arbre isolé, 5 stations dans une rue bordée arbres d'alignement et une station dans un espace ouvert avec présence d'arbres (voir figure V.3).

V.2.2 Lecture typo-morphologique des points de mesures

À l'échelle de l'espace public, chaque point (station) de mesure fixe, se caractérise par une structure morphologique distincte, notamment son exposition au soleil, la nature des matériaux définissant l'espace et la hauteur des bâtiments avoisinants, son ouverture vers le ciel ainsi que son degré d'ouverture verticale. Ce choix varie d'un point à un autre pour objectif de créer une diversité spatiale importante, mais aussi pour démontrer l'effet de cette diversité sur la fluctuation de l'environnement thermique et visuel. Ces différents points de mesures sont présentés et analysés dans le tableau V.2 regroupant les informations de la position du point de mesure, relevé photographique ; et lecture typo-morphologique.

³ - Lynch K.. « voir et planifier, l'aménagement qualitatif de l'espace » trad. Chantal Theroud, ed. Dunod 1982 P46.



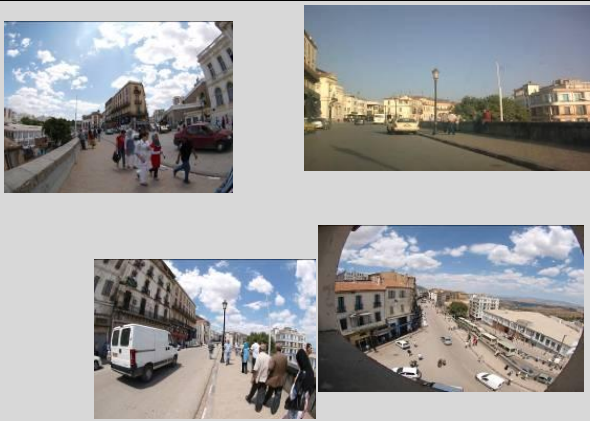

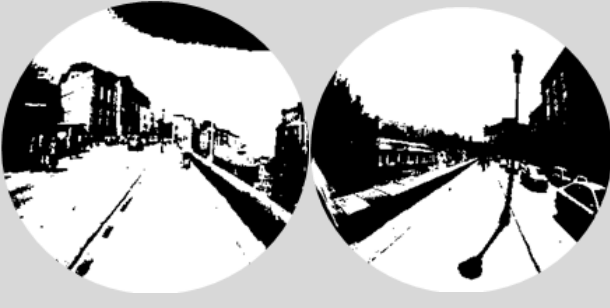








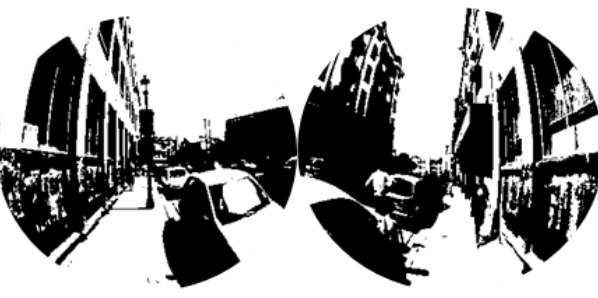
Axe végétal (Belouizded)



Axe minéral (Boudjriou)

Figure V.3 : Points de meures et le parcours urbain(en haut) et photos des deux axes végétale et minérale (en bas)

Tableau V.2: Présentation des points de mesures et lecture typo morphologique

Point de mesure	Photographies	Photo Fish-eye à axe verticale	Photo Fish-eye à axe horizontale	Lecture Typo morphologique
P1 Parcours rue boudjriou				<ul style="list-style-type: none"> -Rue en asphalté situe à l'entrée de Boudjriou axe orienté Est Ouest, longueur de 200m, largeur de 20m, caractère commerciale -immeuble à R+ 3 type coloniale façade en brique (sur un seul coté Sud) -espace minérale (pas de végétation) - une seule façade ,ouverture de l'autre coté
P2 Parcours rue boudriou				<ul style="list-style-type: none"> -Rue en asphalté situe au milieu de Boudjriou axe orienté Nord est-Sud ouest, longueur de 100m, largeur de 12m, caractère commerciale -immeuble R+2, façade en brique, Peinture blanche présence d'une galerie couverte -espace minérale
P3 Place				<ul style="list-style-type: none"> -place situé place ouverte de dimensions 40m x 40m, bâtiment R+2 et R+1 -présence (bouquet d'arbres) Trois grands arbres type Erable, feuillage dense couvre l'espace -espace d'arrêt de taxis
P4 Rue				<ul style="list-style-type: none"> -point situé dans la rue Beouizded dénué de végétation, axe orienté No Se -largeur de 15 m, immeuble R+3

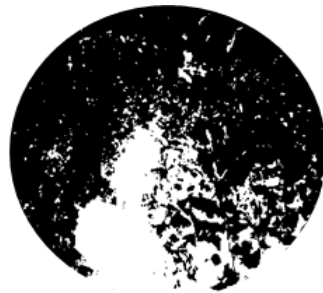
P5
Rue



-situé dans la rue belouizded dénudé
végétation, axe orienté Nord ouest
caractère commerciale

-immeuble R+4 et R+6, façade en brique

P6
Square
Guessoum



-square avec plusieurs types de végétale,
d'une fontaine d'eau et des points d'eau
-essence végétale diversifiés
- (le Platane, le Sophora, le Frêne, le M
Février d'Amérique, le Troène arbre, Palm

P7
Rue veg



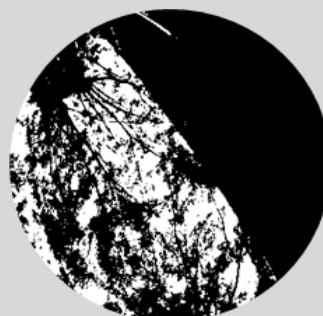
-entrée de l'avenue Belouizdzed (saint jea
dièdre orienté Nord Sud
-ouvert d'un côté, largeur de 20m
-immeuble de R+6
-présence d'arbre d'alignement de deux c
Mélia

P8



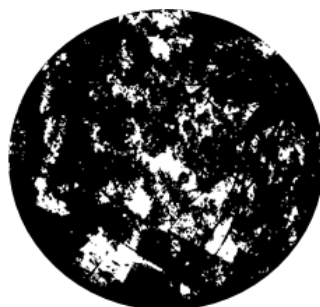
-point au centre de la rue Belouizded,
d'arbre d'alignement type Mélia
-rue orienté Nord-Sud, largeur de
alignement bâtiment de R+1 et R+2

P9



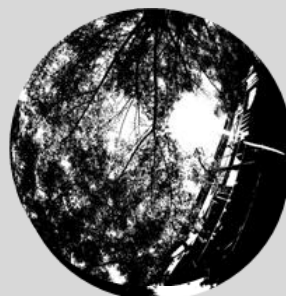
-point à la sortie de la rue Belouizded
Nord Sud
-largeur de 15m, alignement bâtiments d
R+3
- bordée de arbre de deux rangé
d'alignement type Melia (arbre caducque)
une voute végétale

P10



-longueur m et largeur de 15m, aligne
bâtiment résidentiel en majorité à R+2, f
brique et béton
-bordée de arbre de deux rangé d'ar
d'alignement type Melia (arbre caduc
formant une voute végétale

P11



-rue Belouizded, type dièdre orienté No
Sud est
-longueur m et largeur de 15m, aligne
bâtiment résidentiel en majorité à R+2, f
brique et béton
-bordée de arbre de deux rangé
d'alignement type Melia (arbre ca
formant une voute végétale

P12

Rue
belouizded



-rue Belouizded, asphalté, type canyon
Nord ouest Sud est
-longueur m et largeur de 15m, aligne
bâtiment résidentiel en majorité à R+2
façade en béton. Peinte en blanc
-bordée d'arbres de deux rangé
d'alignement type Melia

P13

Place
pyramide
Coin
minérale



-point dans la place de la pyramide, espace

P14

Place
pyramide
Coin
végétale



-point dans la place de la pyramide, espace
-présences de végétation groupée, amén
des bancs type Frêne et mélia

V.2.3 Evaluation des indicateurs de l'espace public

Dans le cadre de cette recherche le calcul des indicateurs de proportion spatiale par la valeur moyenne concernant les distances (verticales ou horizontales) relevées directement dans l'espace particulièrement le rapport H/L et DoE (degree of enclosure) Figure V.4 ; et le calcul des indicateurs par point de mesure qui caractérise un point dans l'espace c'est le facteur de vue de ciel (svf) et l'albédo moyen, le facteur de vu végétal et de vu minéral vertical, ont été calculées à partir des relevés photographiques (les photographies à objectif fish-eye)

Tableau V.3: Indicateurs de L'espace public

Indicateurs de L'espace public						
Point de mesure	Ratio H/L	Facteur de ciel vu	Albédo moyens des surfaces	DoE	Facteur de vu végétale	Facteur de vu minérale vertical
P1	0,35	75	0,28	1,5	0	25
P2	0,77	30	0,26	2	0	70
P3	0,46	1	0,16	2	80	19
P4	0,66	40	0,30	2	0	60
P5	1,34	30	0,29	2	0	70
P6	0,00	15	0,10	1	85	0
P7	1,34	10	0,20	1,5	70	20
P8	0,43	40	0,25	2	20	40
P9	0,37	10	0,21	2	85	5
P10	1,13	5	0,21	2	75	20
P11	0,63	7	0,20	2	75	13
P12	2,001	50	0,22	2	0	50
P13	0,12	75	0,31	1	0	25
P14	0,12	30	0,17	1	70	0

Les résultats de calcul des facteurs de vue du ciel, des surfaces minérales verticales ainsi que du végétal vertical durant la période chaude ; pour évaluer le niveau du degré de l'aménagement végétal. Les résultats de calcul sont illustrés dans les tableaux (tableau V.3) et les graphes (figure V.5). Ces calculs seront intéressants afin d'avoir le rapport entre les différents facteurs de vue et le rayonnement incident sur les surfaces du site.¹ (Voir Annexe3)

Station mesure	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
Diagramme														
DoE	1,5	2	2	2	2	1	1,5	2	2	2	2	2	1	1

Figure V.4 Diagramme en plan du parcours et valeur de DoE pour chaque point de mesure.

¹ - Ait-Ameur Karima, Lehtihet Khrofa. SAGACités Contribution C.6 : Interprétation des photographies Fish-eye, 2002

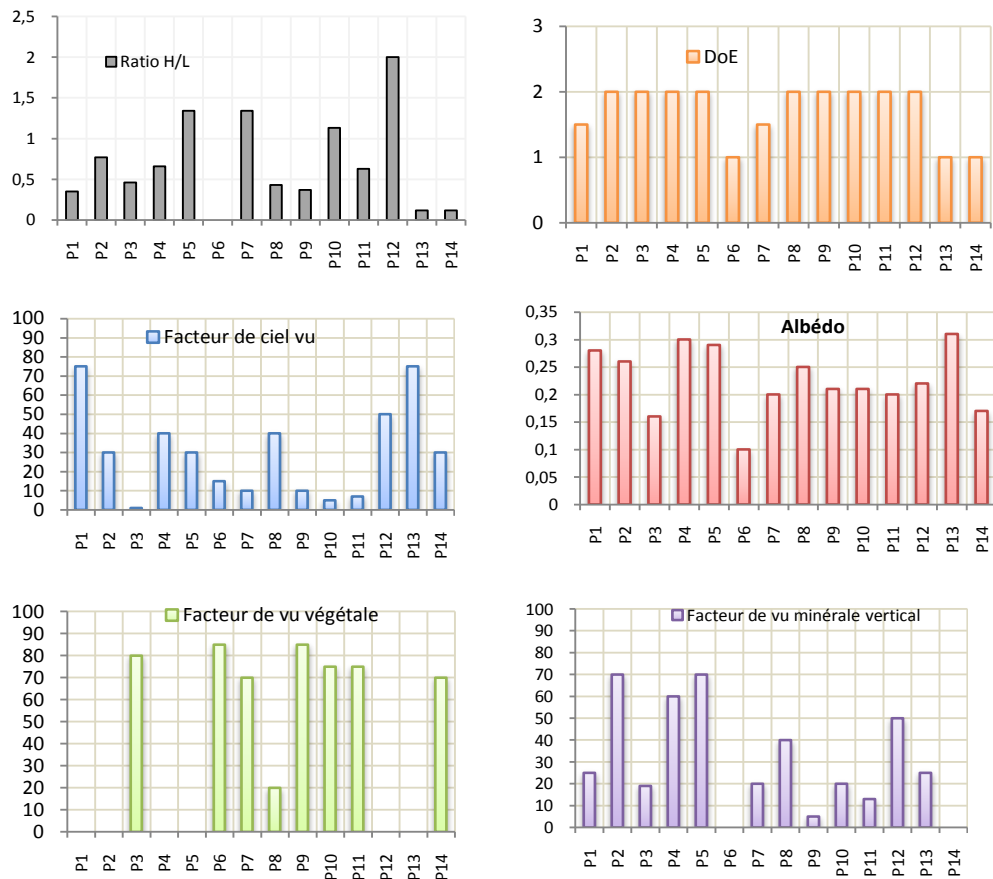


Figure V.5 : Profil des indicateurs en période d'été (degré de l'aménagement végétal des points de mesures)

Nous remarquons quelques variations des facteurs de vue des surfaces entre les différents points étudiés (Figure V.5). Ce phénomène peut être intéressant si on aborde la question de l'influence des surfaces environnementales dans la variation des paramètres climatique, Il serait ainsi, intéressant à procéder simultanément aux tests suivants :

- l'influence de la surface du ciel dans la répartition des températures de rayonnement,
- l'influence des surfaces minérales dans la répartition radiative,
- l'influence de la présence de la végétation dans la répartition des températures de rayonnement, l'intensité de la radiation solaire,
- L'influence de la configuration spatiale dans la répartition des températures et des luminances.

Les indicateurs à l'échelle de l'espace public montrent une variabilité importante entre les points de mesures fixes.

La place et le square présentent des valeurs importantes. En ce qui concerne le ratio H/L, la rue saint jean démontre des valeurs plus importantes comparativement aux autres points concernant le facteur de vu végétal. Pour l'albédo moyen des surfaces, le graphique (figure V.5) montre que les valeurs les plus importantes ont été souvent enregistrées dans les points de la rue minérale (nu). Quant au facteur de ciel vu, la place et les espaces ouverts présentent les plus importantes valeurs.

V.3 Les paramètres climatiques mesurés : résultat des campagnes de mesures

L'interprétation des données climatiques relevées sur les échantillons urbains de mesure a été réalisée à partir de l'analyse des coefficients de recalage². Il donne la variation d'un paramètre climatique (Température, vitesse et humidité de l'air) entre sa valeur relevée sur le site et celle relevée à la station météo.

Avec ses coefficients, nous nous sommes appuyés sur trois types d'analyse :

- L'évolution climatique entre trois points de mesure (dans le square point de référence (ref) [p6] ; dans la rue sans végétation (rue nue)[P4] et dans la rue avec arbres d'alignement (rue veg) [p11]) durant la période d'investigation ;
- Variation climatique selon un parcours qui englobe plusieurs points de mesures selon un sens donné et voir la qualité d'ambiance d'un piéton durant son parcours
- Variation journalière des variations climatiques de scènes choisies.

V.3.1 Analyse microclimatique durant la période de mesures

Les mesures des paramètres microclimatiques (températures, humidité relative et le mouvement du vent) ont été réalisées lors d'un parcours urbain exploré par l'enquêteur muni des appareils portatifs.

² - AIT-AMEUR, K « Vers une méthode multicritère de caractérisation du microclimat dans les espaces publics urbains : validation d'un système d'indicateurs morpho climatique et d'un indicateur de confort », Thèse de Doctorat Ecole Polytechnique de Nantes, France 2002.

V.3.1.1 La température de l'air

Durant la période de l'expérience, il y avait des variations journalières de la température de l'air durant les quatre jours de mesures. La mesure des températures de l'air a permis de mettre en évidence de grandes variations entre les différents points de mesures de différentes stations. Le graphe de la figure V.6 nous montre le profil journalier de la température de l'air dans les trois stations (Réf , rue veg et rue nue) et celle de la station météo, Nous notons que la température enregistrée dans les stations préserve le même chemin. Selon la courbe du graphe V.6, on observe trois périodes distinctes en corrélation directe avec l'énergie solaire reçue, la première débute après le lever du soleil, la deuxième quand le soleil est au zénith, la dernière après le coucher du soleil. La température a augmenté à 10H00 et à 12H00, la courbe de variation s'est ensuite inversée en fin de journée. Un écart variant entre 1°C et 4°C a été remarqué,

La comparaison des températures relevées le long du parcours et celle de la station météo a montré que durant la matinée, tous les espaces sont plus chauds que la station météo en raison de l'effet de l'accumulation thermique nocturne. À midi, seul le point de référence [ref] et le point [rue veg] dans la rue végétale s'est refroidi plus vite que la station météo en raison de l'absence du rayonnement solaire (présence d'ombres). Cependant en fin de journée, l'accumulation thermique dans cet espace a maintenu des températures de l'air élevées mais avec des écarts relativement faibles. Nous pouvons déduire que la végétation a un effet dans l'atténuation des rayonnements solaires, les différences des températures entre point végétalisé et un autre nu varie entre 2°C à 7°C environ, ceci rejoint les conclusions de J,Vinet(2000)³ et celle de B,Kotzenn (2003)⁴

Ces différences sont surtout marquées pour la journée du 13 Juillet et 16 Juillet de mesure des ambiances physiques (Journée à caractère vent faible).

Les résultats en terme de perception thermique, entre 8h00 et 10h00, les températures de l'air sont très proches que ce soit pour les points végétalisés ou minéraux. Par contre à 11h00 et à 13h00 les résultats montrent qu'il ya différence entre les températures enregistrées pour les

³ - Vinet. J « Contribution à la modélisation thermo-aéraulique du microclimat urbain. Caractérisation de l'impact de l'eau et de la végétation sur les conditions de confort en espaces extérieurs. » Thèse de doctorat: Université de Nantes 2000, p.245.

⁴ - Kotzen.B *An Investigation of Shade Under Six Different tree Species of Negev Desert Towards Their Potential Use for Enhancing Microclimatic Conditions in Landscape.* Architectural development. Journal of Arid Environments,55(2003),231-274.

stations ombrées par la couverture végétale et celle ombrée par la structure des bâtiments. Cette différence est de l'ordre de 5,1°C à 7,6°C pour des journées avec ciel clair et vent faible, Ce qui explique l'effet de la végétation dans l'atténuation des radiations solaires. Ces résultats sont en conformité avec ceux de Gianna (2001)⁵ et de Dimoudi et Nikolopoulou (2003)⁶. La réduction de la température de l'air est due à la transpiration de l'arbre en été, par contre cette différence baisse pour des journées qui présentent un ciel semi-clair et en présence des rafales de vent instantané.

V.3.1.2 L'humidité relative de l'air

La variation d'humidité relative de l'air pour chaque deux heures est présentée dans le graphe de la figure V.7. Dans toute l'expérience, les données enregistrées étaient plus élevées dans les points végétalisés que dans le point situé dans la rue nue.

Le taux d'humidité relative le plus élevé du jour est enregistré à 6:00h dans le point de mesure référence (au niveau du square) avec un écart qui varie de 4% à 9% par rapport au point de mesure dans la rue nue (sans végétation) (voire figure V.7).

De 8:00h à 10:00h, le taux d'humidité commence à baisser dans tous les points de mesure.

Au moment du maximum d'énergie de 12:00h à 14:00h, nous avons observé une chute du taux d'humidité avec une augmentation de l'écart (figure V.7)

Au coucher du soleil et après un cumul d'énergie solaire, on enregistre une augmentation du taux de l'humidité avec augmentation de l'écart entre point de référence (Square) et la rue dénudée (sans végétation), cette élévation est expliquée par l'effet de la chaleur latente de vaporisation de la surface herbacée (Givoni et Saaroni, 2000⁷; Hirofumi Sugawara⁸ et autres; 2005).

⁵ - Gianna, S. *Bioclimatic principals of town-planning design in Environmental design of towns and open space*. Patra: Hellenic Open University; 2001. pp. 177-207.

⁶ - Dimoudi A; Nikolopoulou M. "Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits". *Energy and buildings* 2003;59-76

⁷ - Givoni B., Noguchi M., Issues and problems in outdoor comfort research, in: *Proceedings of the PLEA'2000 Conference*, Cambridge, UK, July 2000.

⁸ - Sugawara H., Ji D. W., Tomin K.. « Re-examination of City Air Temperature for Heat Island Intensity Evaluation-Case Study in Seoul, Korea-Tenki" (bulletin journal of the Meteorological Society of Japan), 52, pp. 119-128, 2005

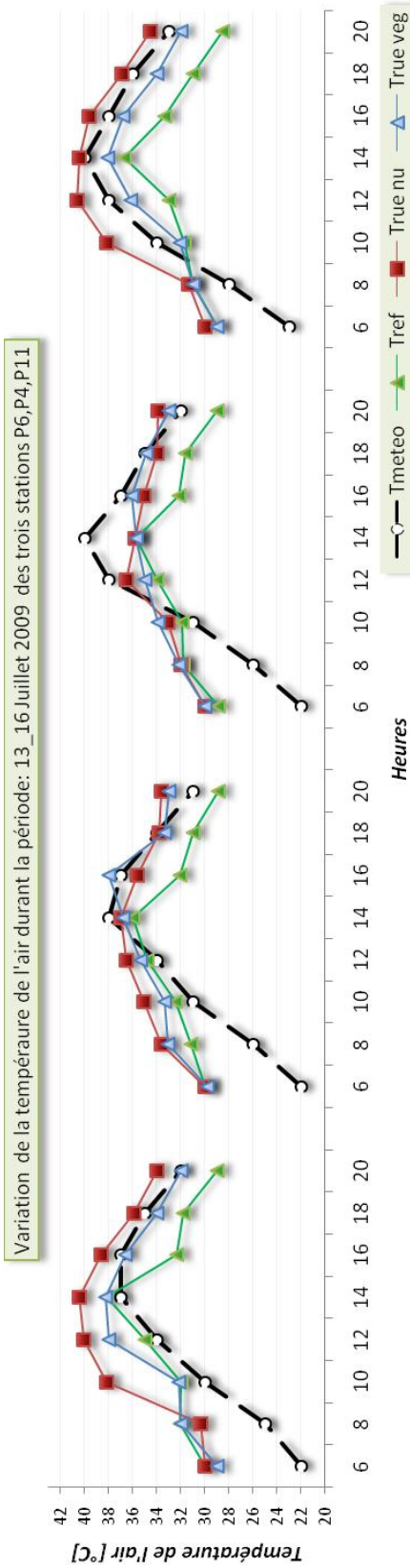


Figure V.7 : variation des températures de l'air durant la période de l'investigation pour les trois stations de références (du 13 au 16 Juillet).
Source : Auteur, 2009

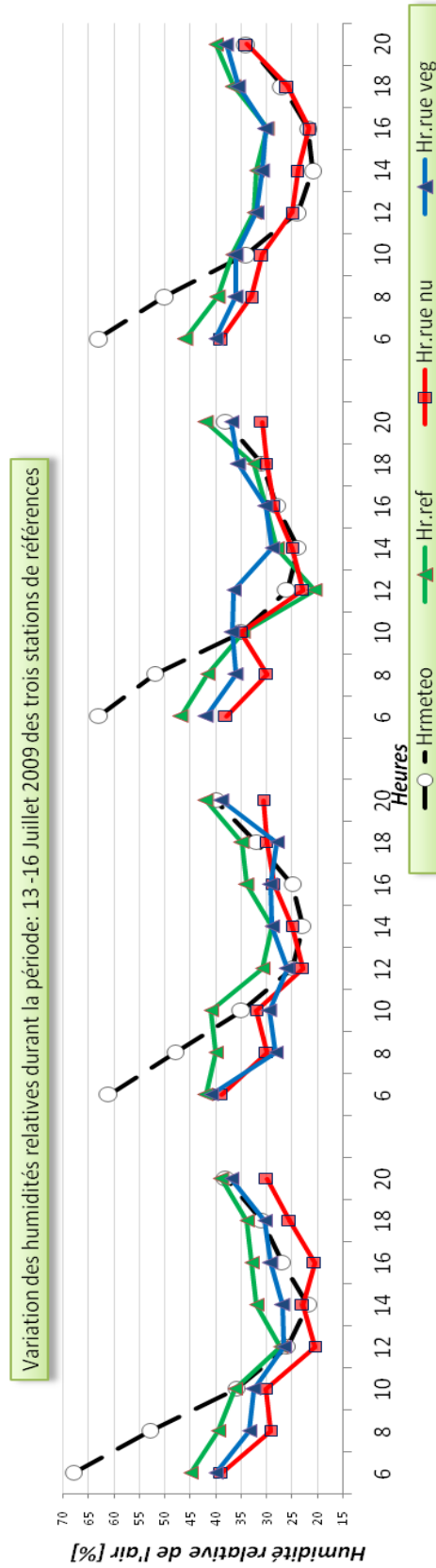


Figure V.6: Variation des humidités relatives durant la période: 13 au 16 Juillet des trois stations de références (P4,P6 et P11).
Source : Auteur, 2009

V.3.1.3 La vitesse de l'air

Le graphe VI.8 montre la courbe du vent pour chaque deux heures dans les différentes stations et durant les quatre jours de mesure. Les vitesses du vent enregistrées sont faibles et parfois calmes, sauf pour les journées du 14 et 15 Juillet qui présentent quelques rafales de vent marquées surtout dans les points ouverts où le degré of enclosure Doe est important. Pour la première journée et troisième journée d'investigation on remarque que le vent prend des valeurs importantes dans la rue végétale marquée par l'orientation nord-sud qui fait obstruction au vent chaud.

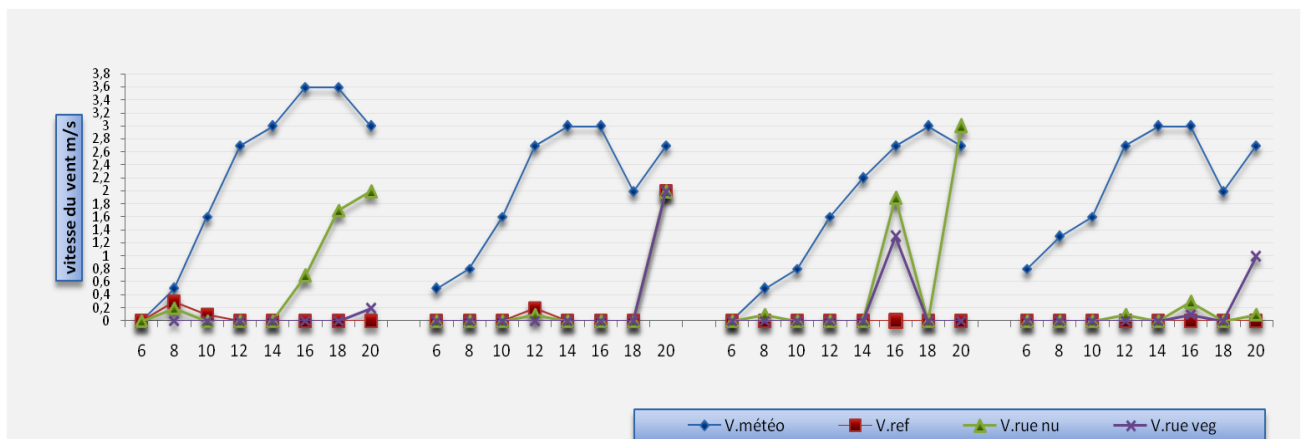


Figure V.8 : Variation des vents durant la période de mesure (13/07 au 16/07/2009)

Le vent atteint sa crête de 1,2 m/s dans le point de mesure sans végétation à 18h00 et pour la journée du 16 Juillet qui présente un vent calme.

De 8h 00 à 14 h 00, la vitesse du vent chaud de direction S-E diminue progressivement dans tous les points (p ref, p rue nue et p rue veg), vu l'orientation des rues protégées des vents chauds d'été.

De 14H00 à 16H00, la vitesse du vent enregistrée est calme dans le point de mesure de référence, en l'interprétant par la capacité de la végétation dense à bloquer et ralentir le vent (Robinette, 1972)¹.

Par contre on remarque quelque rafale de vent dans les autres points de mesure, Vers la fin de l'après midi, à 18 h 00 l'air frais provenant du N-O coule depuis la station P1 avec une faible vitesse vers l'espace nu.

¹ - Robinette G.O. Plants /People/and Environment Quality. Washington,D.C, U.S Department of the interior, 1972

V.3.2 Synthèse

D'après la lecture et l'interprétation des résultats, il ressort : l'effet de la végétation sur l'abaissement des températures de l'air. Son degré d'importance est marqué pour les journées qui présentent un ciel clair et un vent faible, par contre les journées qui présentent des rafales de vent qui viennent du Nord et du nord-ouest marquent des températures plus hautes.

L'interprétation des mesures et observations a retenu les journées qui présentent un ciel clair et un vent faible, et cela dans l'objectif d'évaluer l'effet des radiations solaires dans l'échauffement des espaces et le rôle des masques portés par l'environnement (morphologie) et par la végétation.

V.4 Le parcours urbain (journée type d'été)

Le premier intérêt du parcours effectué dans la ville de Constantine a été de déceler les variations entre les différents échantillons urbains.

Il a été quand même indispensable de rechercher si des variations climatiques pouvaient exister entre chaque échantillon. Nous nous sommes intéressés principalement aux variations des températures, des humidités relatives, des intensités solaires ainsi que des luminances pour pouvoir détecter le niveau d'ambiance thermique et visuelle dans un parcours.

Le dépouillement des valeurs obtenues, seules les données de la journée type qui présente des valeurs de températures de l'air élevées et un vent faible sont retenues et analysées pour le parcours, afin d'évaluer l'effet de la radiation solaire.

V.4.1 Parcours thermique

Considéré comme une journée typique d'été, ce jour des relevés microclimatiques présente un ciel clair et un vent faible du parcours hormis quelques rafales instantanées pouvant atteindre une vitesse moyenne. La figure V.9 montre la variabilité des paramètres climatiques au cours de la période de l'expérimentation (6h00 à 20h00). D'après la figure V.9 les températures ambiantes de l'air présentent une variabilité importante. Le parcours expose des températures plus élevées par rapport au square et à la rue bordée d'arbres

d'alignement. Un maximum de température ambiante de 32,47 °C a été mesuré au soleil sur le côté nord d'une rue type dièdre, Par contre un minimum de 23,16 °C a été remarqué à l'ombre dans le square et la rue végétale soit un ΔT de 9,3 °C, Ce qui explique l'effet de l'ombre sur l'abaissement des températures et dans la création d'ambiances thermiques plus confortable par la réduction de flux solaires et limite l'échauffement des surfaces qui sont supposées être ensoleillées, et la réduction du flux radiatifs thermiques^{2,3, 4}(Cabanel, J, Stefukesco, ; 1993) (Wong Nyuk Hien ; 2006) (Jörg Spangenberg, 2006).

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].

La différence moyenne entre températures de l'air entre les zones à l'ombre et au soleil durant le parcours est de 5,4°C à midi. Cette différence moyenne d'après les recherches effectuées par Scudo et al, (1998) et (2002) est de 2 °C avec un maximum de 4°C pour les quatre squares urbains de Milan⁵.

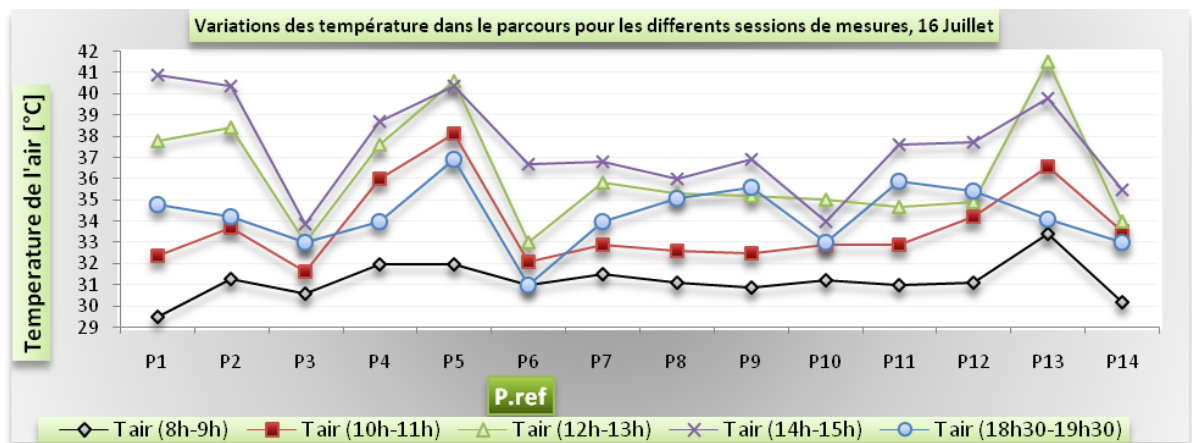


Figure V.9 : Variation de température dans le parcours pour les différentes sessions de mesures, 16Juillet

² - Cabanel, J, Stefukesco L'urbanisme végétale. Edition I.D.F diffusion 1993

³ - Hien Wong Nyuk and Peck T.T.; 2006 The Impact of Vegetation on the Environmental Conditions of Housing Estates in Singapore. International Journal on Architectural Science, 6,31-37.

⁴ - Spangenberg J, Shinzato P, Johansson E, Duarte D. Simulation of Sao Paulo. Rev SBAU Piracicaba 3(2008) (2): 1-19.

⁵ - Scudo Gianni Microclimatic effect of vegetation in urban squares. Case studies in Milan in: Proceedings of Rebuild, Florence 1998.

- Scudo Gianni; "Green structures and urban planning" Built Environment and Technology. Milan, oct 2002

V.4.2 Les écarts relatifs durant le parcours pour les cinq sessions de mesure

La lecture du graphe de la figure V.10 montre que l'écart relatif des températures entre les mesures climatiques enregistrées le long du parcours et la station météorologique est variable dans chaque session de mesure.

A 8h00 l'écart durant tout le parcours reste positif qui est dû aux rayonnements et il est accentué sous la couronne.

Ces écarts surtout durant les sessions de mesure de midi et celle de l'après midi montrent bien l'effet modérateur de chaleur des espaces couverts de végétation, l'effet d'ombrage permanent du végétal se traduit par l'absorption du rayonnement solaire et l'apport en humidité du végétal contrairement au point de mesures qui présentent un effet amplificateur de chaleur constaté est dû au facteur de minéralisation, d'ouverture au ciel importante, à l'absence totale de couverture végétale et la surchauffe des surfaces minérales exposées toute la journée au rayonnement solaire d'où l'effet de « mémoire thermique » (Izard et al, 1998) qui explique le stockage thermique des surfaces minérales⁶.

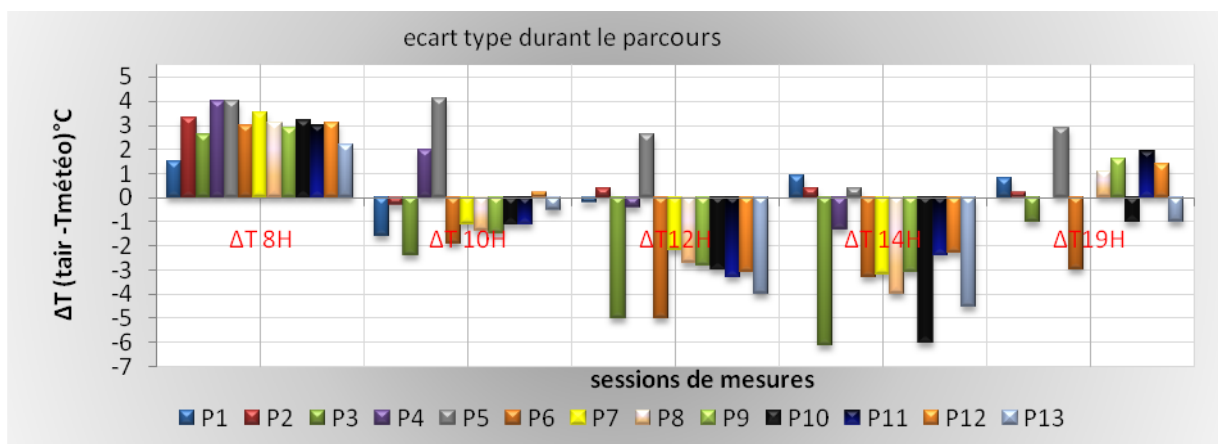


Figure V.10 : écart type durant le parcours pour les différentes sessions de mesures.

Pour cela les végétaux créent des ombrages permanents sur le sol et les parois, permettant ainsi de gérer l'habitabilité des espaces extérieurs à protéger les espaces intérieurs⁷ (Izard, 1997).

La variabilité de l'humidité relative est aussi importante avec une moyenne de 37 % sur l'ensemble des données. Cette valeur est faible comparativement à la moyenne donnée par la

⁶ - Izard J.L et Frusta.F, 1998 "Thermal comfort in atria: thermal stratification and architectural design"; PLEA 98 "Environmentally Friendly Cities", Lisbonne, Juin 1998.

⁷ - Izard J.L. (1997) Morphologie, végétal et microclimat urbain; cas d'Aix en Provence et Nimes. Tome2 : Les mesures. Rapport Final de Recherche Programme Ecologie Urbaine, 110 p.

station météorologique de 60%. D'après la figure V.11, le square présente les plus importantes valeurs, avec un maximum de 44 % dû principalement à l'effet d'évapotranspiration de la végétation.

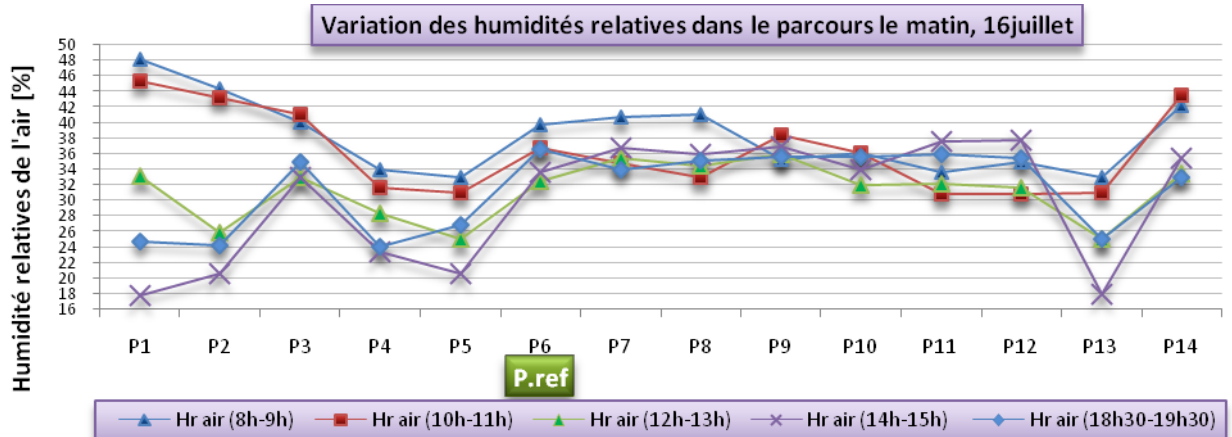


Figure V.11 : Variation de l'humidité relative durant le parcours pour les différentes sessions de mesures, 16 Juillet,

Le parcours de 8h00 et 10h00, présentent les valeurs les plus importantes le taux d'humidité commencent à baisser dans toutes les stations.

Au moment du maximum d'énergie à 12h00 et à 14h00, nous avons observé dans tous les points du parcours de midi une chute du taux d'humidité avec une augmentation de l'écart après un cumul d'énergie solaire, on enregistre une augmentation du taux de l'humidité avec augmentation de l'écart entre les points P1 et P3 aussi entre P5 et P6, cette élévation est expliquée par l'effet de la chaleur latente de vaporisation de la végétation. (Givoni et Saaroni,2000⁸; Hirofumi Sugawara et autres;2005⁹)

L'humidité relative dépend de la température et de la quantité d'eau contenue dans l'air, D'après le graphe de la figure V.12 une corrélation inverse entre les humidités relatives et les températures.

⁸ - Givoni B., Noguchi M., Issues and problems in outdoor comfort research, in: Proceedings of the PLEA'2000 Conference, Cambridge,UK, July 2000.

⁹ - Sugawara Hirofumi et autres;2005

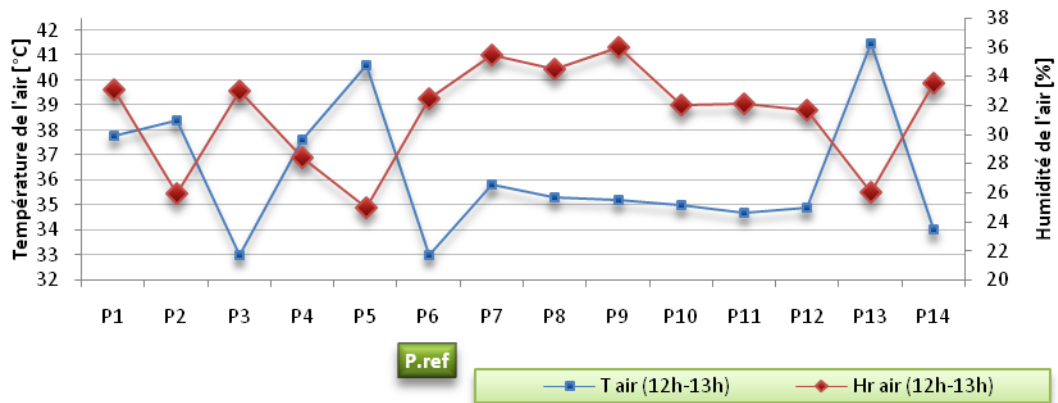


Figure V.12 : Variation des températures et des humidités de l'air dans le parcours à midi, 16 Juillet.

D'après le graphe de la figure V.13 une corrélation entre radiation solaire et température de l'air, la valeur de la température de l'air baisse avec des radiations solaires moindres ; ce qui explique que la réduction du flux solaire fait baisser la température de l'air.

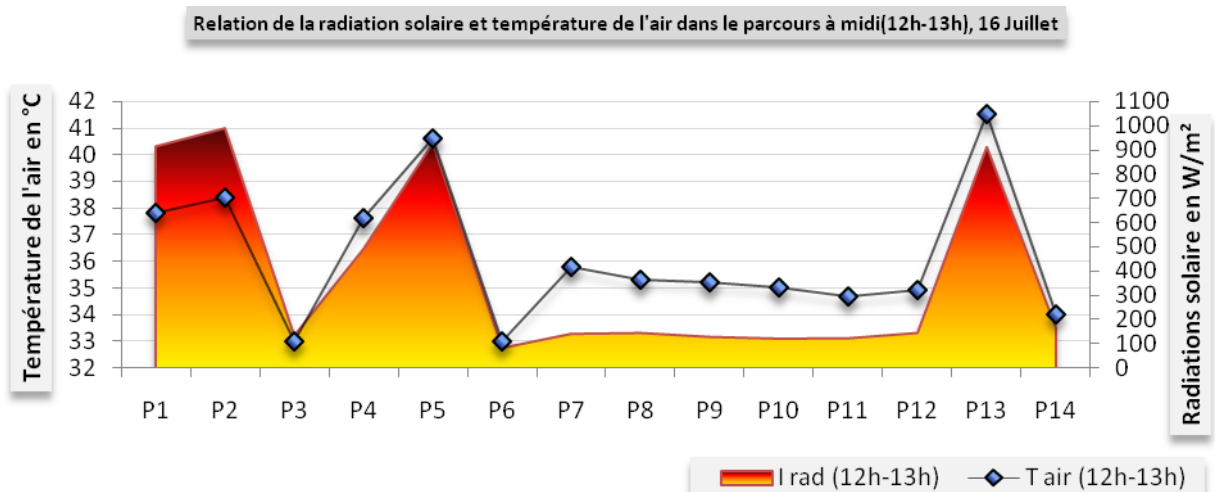


Figure V.13 : Relation entre radiation solaire reçue et température de l'air dans le parcours à midi, 16 Juillet.

Les espaces qui présentent un ciel dégagé et un degré of enclosure ouvert reçoivent plus de flux énergétique. Les espaces où il y a présence de végétations présentent des températures moins importantes par l'effet de masque de la végétation et par l'effet de filtrage et absorption de l'énergie solaire directe. 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 »¹⁰ [Destobbeleire et al, 1998].

Certains travaux apportent une correction à ce constat sur l'équivalence des températures d'air et de surface des végétaux¹¹ [Kjelgren et al, 1998 et 1994].

V.4.3 Parcours visuel

La mesure de la luminance est beaucoup plus révélatrice de la perception de l'utilisateur de l'espace puisqu'elle informe de la qualité de lumière réfléchie par les objets urbains, (Le Corre, 2007) a été effectuée à l'aide d'un luminance-mètre. La luminance d'une surface dépend de l'éclairement de cette surface, de son coefficient de réflexion et de sa brillance. Dans le cas d'une surface parfaitement diffusante, éclairée de façon uniforme, la luminance est proportionnelle au facteur de réflexion de cette surface et à l'éclairement qu'elle reçoit. L'investigation montre que les espaces dénudés présentent des luminances plus élevées que les espaces ombragés (Figure V.14) et cela est dû à la quantité de rayonnement solaire réfléchi par la voûte céleste pour un ciel clair et la réflexion des surfaces du sol et des murs peints en blanc.

La valeur la plus importante est enregistrée dans les points P1, P2, P4, P5 et P13 espaces ouverts et non ombrés avec une valeur maximale de 8930 cd/m² à 14h00 dans le point P1 vu la direction du soleil et l'orientation de la rue Est-Ouest et la valeur la moins élevée enregistrée dans le point P3 avec une valeur de 34,25 cd/m² ce qui explique l'effet du masque de la végétation dans l'absorption de la lumière par le feuillage dense (Stefulesco 1993¹²; Escourrou 1981¹³; Jones, 1992¹⁴; Brown et al, 1995¹⁵; Gomez et al, 1998¹⁶). On remarque une variation importante durant le parcours ce qui fait que l'adaptation de l'œil est variable et contribue à un certain inconfort visuel. Une différence de 8883 cd/m² entre le

¹⁰ - Destobbeleire.G ; Izard .J.L. Rôle de la végétation sans le microclimat urbain. In Proceeding of EPIC , 1998

¹¹ - Kjelgren R. et Montague T., Urban tree transpiration over turf and asphalt surfaces, Atmospheric Environment vol 32 N°1, pp35-41, Elsevier Science ltd, 1998.

- Kjelgren R.K. and Clark J.R., Urban microclimates and growth of sweetgum street trees, Arboricultural Journal, Vol 18, pp401-417, AB Academic Publishers 1994.

¹² - Stefulesco C (1993) L'urbanisme végétal. Paris : I.D.F, 323p.

¹³ - Escourrou G (1981) Climat et environnement, les facteurs locaux du climat. Paris : Msson, 182p

¹⁴ - Jones ,H.G (1992) Plants and Microclimate. Cambridge University Press, 2nd edition

¹⁵ -Brown, R.D. & Gillespie, T.J., Microclimate Landscape Design, creating thermal comfort and energy efficiency. Canada: John Wiley & Sons. 1995.

¹⁶ - Gomez,F et al, (1998) The green zones in bioclimatic studies of the Mediterranean city. In Proceedings of PLEA98, Lisbon, Portugal. Editors: Maldonado, O and Yannis S: James&James, pp.207-210

point P, et qui explique l'effet d'ombre dans la quantité de lumière dans l'espace. Ainsi l'effet de la végétation dans l'atténuation des radiations solaires. Aussi explique l'inconfort ressenti par les individus en transitant l'espace, (voir tableau V.2), par contre dans le parcours de la rue Belouizded avec la végétation qui couvre l'espace marque une variation faible, ce qui explique l'uniformité de la luminance dans cette partie du parcours.

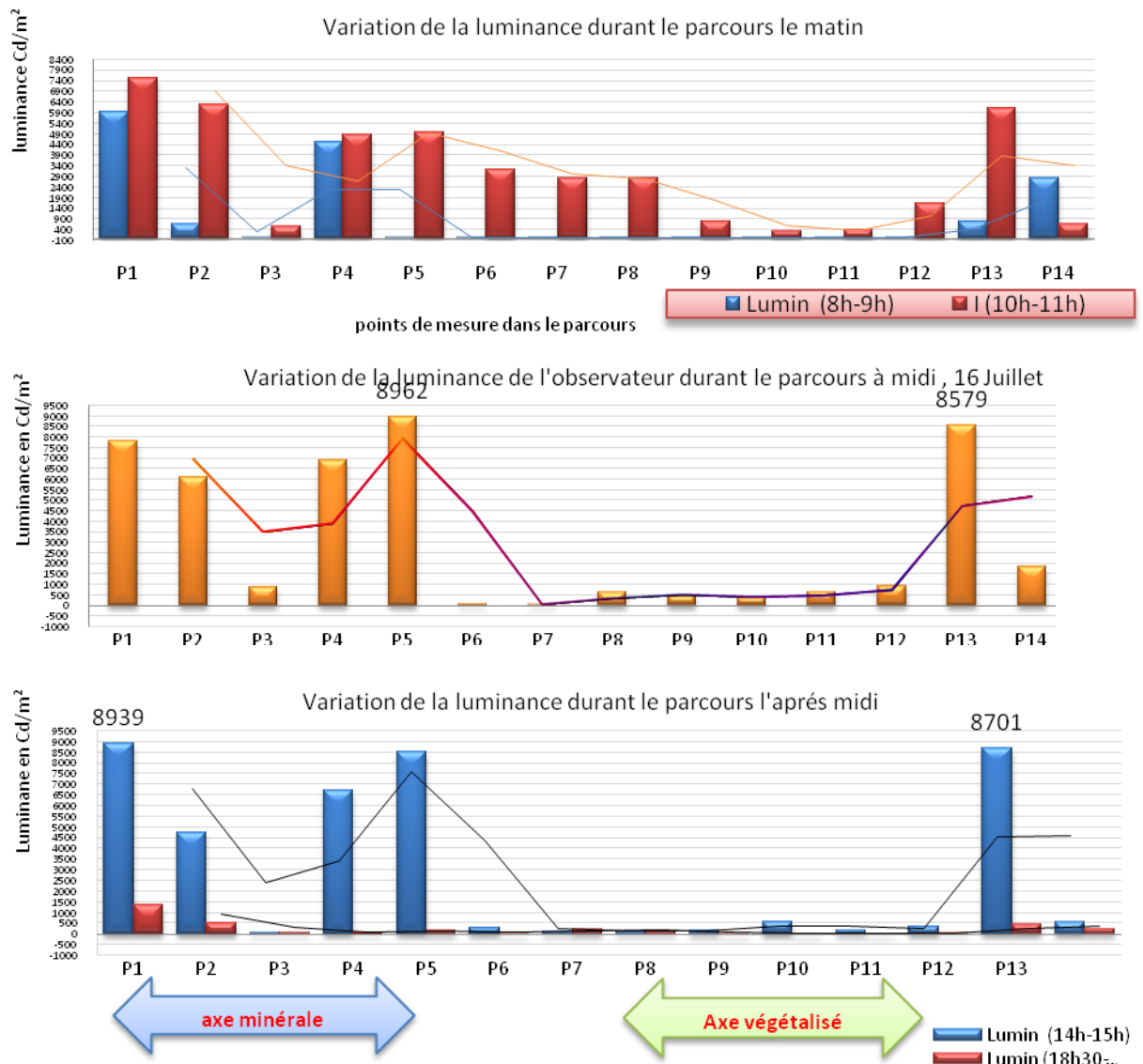


Figure V.14 : Variation des luminances dans le parcours.

Le feuillage des arbres masquant partiellement le ciel, leur luminance lumineuse est fonction de l'éclairage lumineux reçu par le feuillage, de son facteur de réflexion, de la « quantité de ciel » visible à travers l'enveloppe de ce feuillage, et finalement de la luminance de la

voûte céleste¹⁷. La densité d'un feuillage détermine une plus ou moins grande perméabilité à la lumière, et aux rayonnements de grandes longueurs d'onde. Cette densité varie de façon sensible suivant l'espèce considérée, la configuration de son développement¹⁸ Muret et al (1987), Wilkinson(1992).

Le taux d'éclairement varie avec la course du soleil pour atteindre une valeur maximale entre 10h00 et 14h00.

Les luminances suivent les mêmes variations que les températures de rayonnement et sont importantes aux points qui se situent dans des espaces complètement minéraux¹⁹ (SAGAcités, 2002)

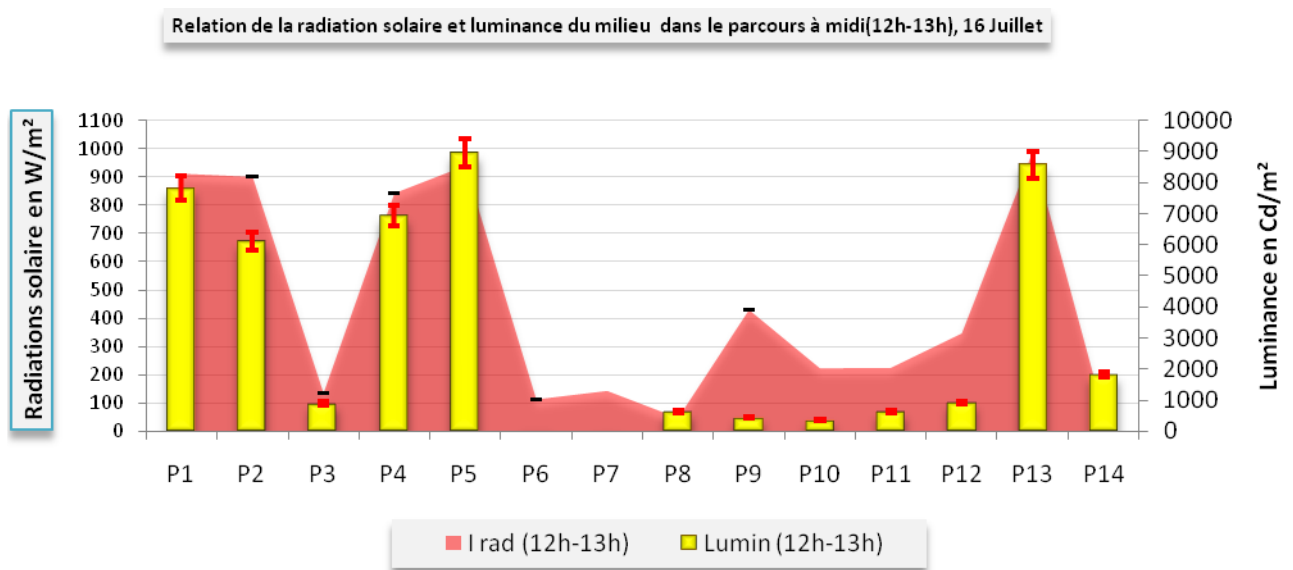


Figure V.15: Relation radiations solaire et luminances durant le parcours, 16 Juillet.

V.4.4 Evaluer et représenter la diversité environnementale d'un parcours urbain

La combinaison de méthodes dans cette recherche permet non seulement de représenter l'aspect physiologique de la diversité environnementale, mais également l'aspect subjectif de cette dernière, c'est-à-dire, l'effet de cette dynamique environnementale sur la perception des ambiances thermiques et visuelles des enquêtés, Il s'agit ici de démontrer

¹⁷ - Miguet Francis. Paramètres physiques des ambiances architecturales : Un modèle numérique pour la simulation de la lumière naturelle dans le projet urbain. Thèse de Doctorat ,2000 Ecole polytechnique de l'université de nantes.

¹⁸ - Muret,J.P et al. Les espaces urbains –Concevoir, Réaliser, Gérer. Paris, 1987:Edtion du Moniteur. 335p
- Wilkinson D. M., *Modelling light attenuation by urban trees*, PhD thesis, Manchester Metropolitan University, 1992.

¹⁹ - SAGAcités, Vers un Système d'Aide à la Gestion des Ambiances urbaines, 2002

cette dynamique environnementale en mouvement à travers un parcours urbain exploré par l'enquêteur.

Toutefois, il est important de rappeler que seulement la dynamique de l'environnement thermique et visuel qui a été pris en considération, dans le cadre de cette recherche,

Le croisement des données objectives (relevées des paramètres environnementaux), subjectives (perception des paramètres environnementaux d'un lieu) et les observations vidéo a permis d'illustrer la diversité de l'environnement thermique et lumineux en milieu urbain sous forme de graphiques synthèses.

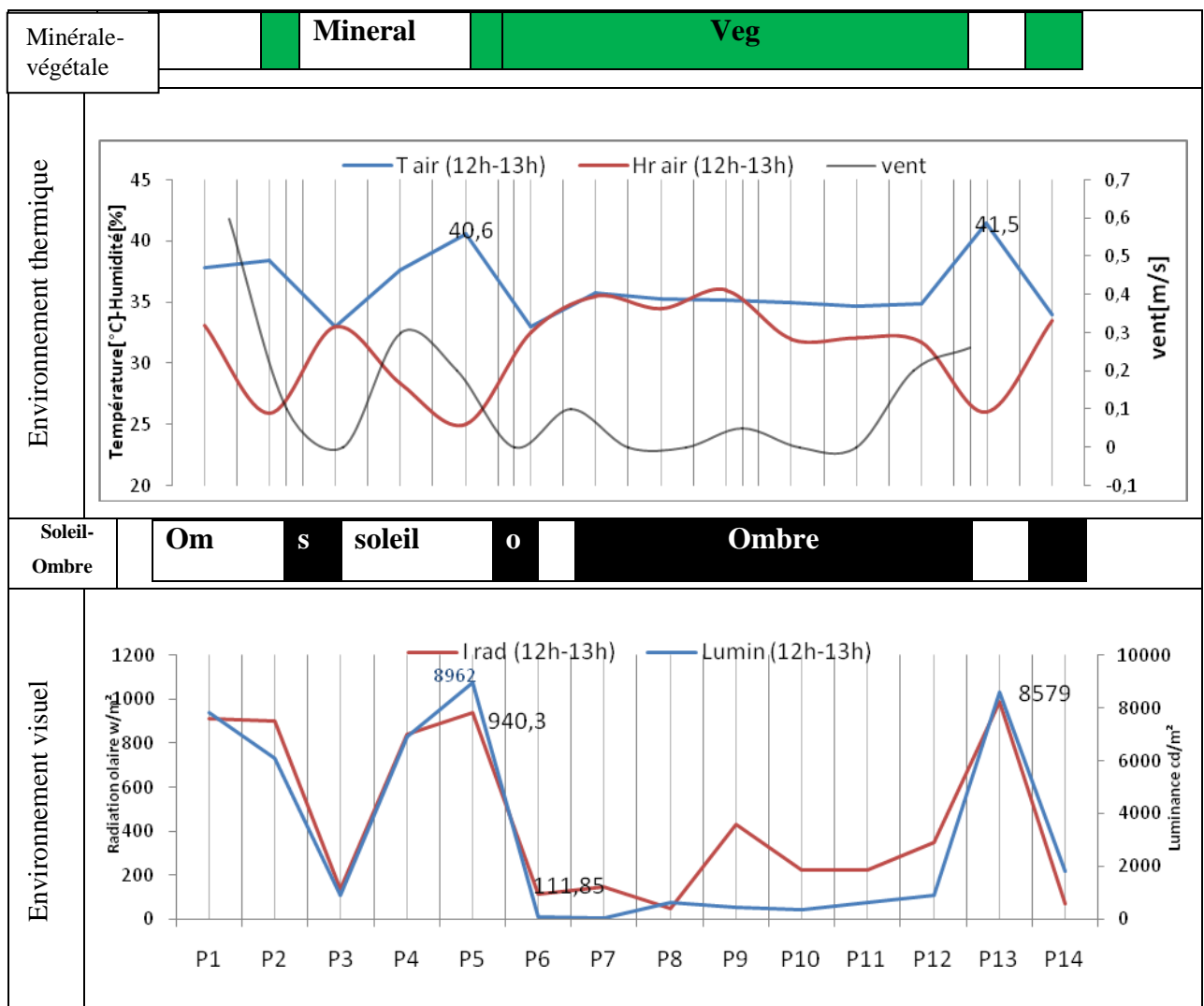


Figure V.16: La diversité environnementale et croisement des données pour le parcours à midi, 16 Juillet 2010.

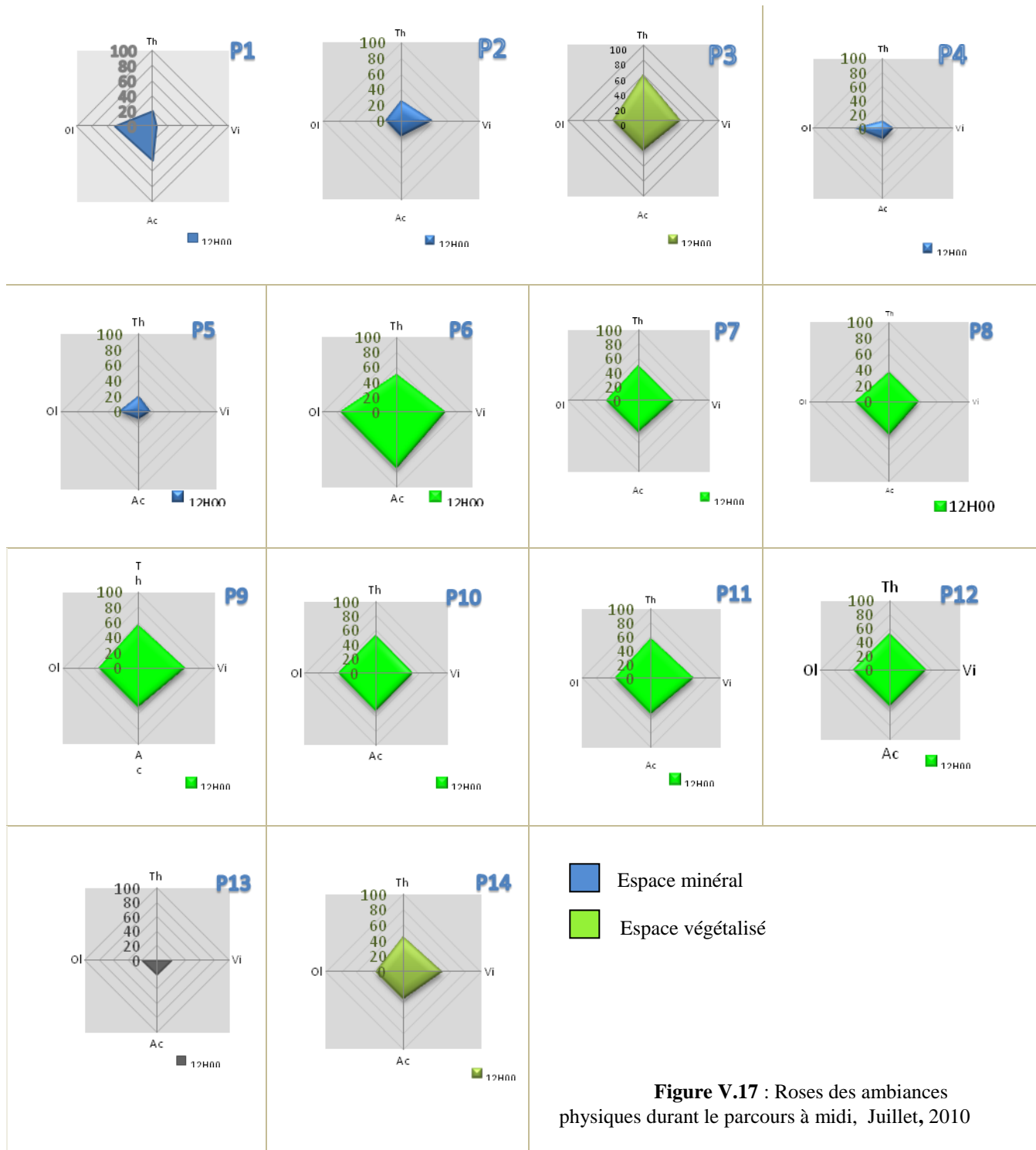


Figure V.17 : Roses des ambiances physiques durant le parcours à midi, Juillet, 2010

La dynamique environnementale d'un parcours urbain durant une journée ensoleillée d'été, constitue des séquences à l'ombre et au soleil. Le parcours urbain expose une diversité environnementale importante en terme d'ambiances thermiques et visuelles, la dynamique de cette diversité environnementale est très liée à la présence ou l'absence de rayonnement solaire (figure V.16). Des valeurs plus élevées de températures et d'intensité lumineuse ont

été enregistrées simultanément au soleil, par contre les moins élevées sont enregistrées à l'ombre. Durant cette journée type d'été, le niveau de cette diversité environnementale est au maximum.

Cependant ce degré de diversité environnementale peut influencer les conditions du confort thermique et visuel, dépendamment de la direction du piéton qui joue un rôle important sur la perception de son environnement. Les roses d'ambiances physiques (Potvin, Demers et Dubois, 2004²⁰ ; F.Ouameur, 2007²¹) ont permis, dans le cadre de cette recherche, de démontrer subjectivement et visuellement l'effet de la diversité environnementale sur la perception du confort thermique et visuel. En se référant à ces roses d'ambiances physiques (figure V.17), le mouvement du piéton a permis d'améliorer les conditions du confort thermique de 40%. C'est le cas de la transition du point de mesure P2 (situé au soleil) présentant un niveau de confort thermique de 20 % (neutre) vers le point de mesure P3 (situé à l'ombre) présentant un degré de confort thermique de 60 % (agréable).

D'après les roses d'ambiances physiques, ce mouvement peut engendrer des sensations d'inconfort thermique durant une journée chaude d'été. Par exemple, lorsque le piéton se déplace du point de mesure P12 (situés à l'ombre) vers le point de mesure P13 (situés au soleil), durant une journée typique d'été une sensation d'inconfort thermique et visuel est ressentie.

Les roses des ambiances physiques (voir figure V.17) montrent une corrélation significative entre le degré du confort thermique et visuel, c'est-à-dire, les plus importantes valeurs de satisfaction thermique et visuelle sont enregistrées simultanément à l'ombre. Par contre, les moins importantes valeurs sont enregistrées au soleil. D'après le graphique de la diversité environnementale (voir figure V.16), ces valeurs sont dues principalement à l'effet du rayonnement solaire qui fait augmenter la température et l'intensité lumineuse.

²⁰ - Potvin, A ; Demers, C et Dubois, M.C (2004). Environmental adaptability in architecture: towards a dynamic multi-sensory approach integrating user behaviour, Post-Occupancy Evaluation, International Conference Closing the Loop, Cumberland Lodge, Windsor, UK.;

²¹ - Ouameur F. « Morphologie urbaine et confort thermique dans les espaces publics »—mémoire université Laval Québec2007.

V.4.5 Synthèse

Le degré de la diversité environnementale, selon le parcours d'été présente une variabilité importante. Ceci est dû à la succession de séquences à l'ombre et au soleil permettant quantitativement d'augmenter ou de réduire la température et l'intensité lumineuse. D'après le graphe de la diversité environnementale (Figure V.16), le parcours présente plus de variation en termes de séquences à l'ombre et au soleil, il montre que 60% de données étaient enregistrés à l'ombre et 40% au soleil.

Cette section vise également à faire une étude comparative entre les différentes séquences urbaines en termes de la perception globale de l'environnement physique (thermique, lumineux, acoustique et olfactif), Les figures V.16 et V.17 illustrent cette comparaison, Il s'agit ici de faire une moyenne des niveaux de satisfaction dans chaque séquence en se basant sur les résultats donnés par les roses des ambiances physiques. D'après la figure V.18, le square présente un environnement agréable par rapport à la la rue végétale.

La voûte formée par le feuillage protège des apports solaires et des éblouissements, Des études ont permis de souligner la potentialité des villes vertes vis-à-vis de la climatisation passive²².

La figure V.18 le square présente un environnement agréable par rapport à la place, et la rue végétale est plus agréable que la rue nue (minérale), dû à l'action directe due à l'ombre des arbres, qui se traduit par une diminution de la température des surfaces et un refroidissement par l'augmentant de la couverture végétale. [Akbari et al, 1992²³, Meerow et al, 1993²⁴, Kanda et al, 1997²⁵].

²² - Belarbi, R et Allard, F. Atlas of natural cooling technique in southern Europe application to evaporative cooling systems. In Proceedings of EPIC'98 ? 2nd European conference on energy performance and indoor climate in buildings and 3rd International conference on indoor air quality, ventilation and conservation in building. November 19-21. Lyon : ENTPE, pp. 763 –768.

²³ - Akbari H, Dosano S, Huang J and Winnett., S (eds.), 1992, Cooling Our Communities: A Guidebook on Tree Planting and Light-Colored Surfacing, United States Environmental Protection Agency, Washington, DC; Also Lawrence Berkeley National Laboratory Report LBL-31587, Berkeley, CA.

²⁴ - MEEROW, A. W. and BLACK R.J. (1993). Enviroscaping to conserve energy: a guide to microclimate modification. Florida: University of Florida, 9 p.

²⁵ - Kanda et al, Environment effect of Meij-Shrine forest as a skin of energy and pollutant- field observation and numerical Simulation by SPAM3. In proceeding of International on monitoring and management on urban heat island 1997. Editor: Toshiaki Ichinose. Fujisawa, pp.69-83.

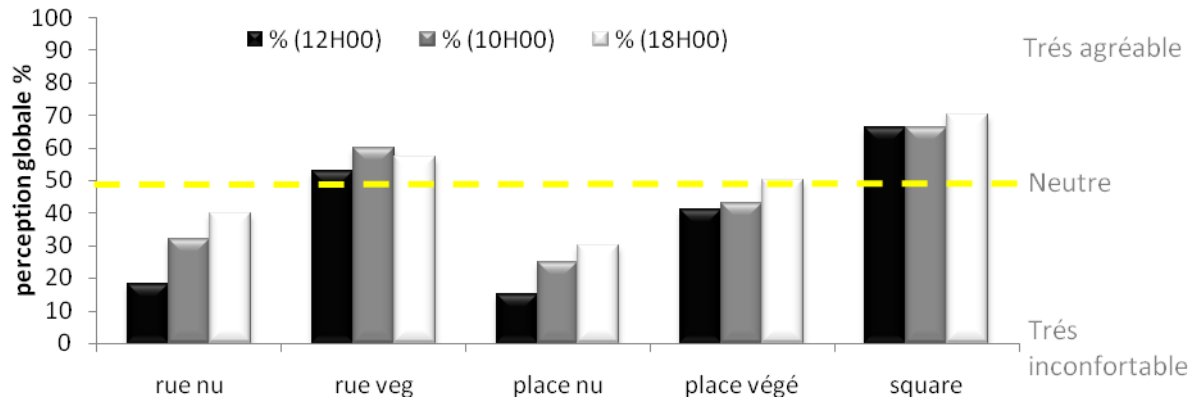


Figure V.18: Comparaison entre les différentes situations urbaines en termes de perception globale physique, dans le parcours.

V.4.6 Notion d'adaptabilité en milieux urbains

Des recherches récentes de Nikolopoulou *et al* (2004) démontrent que la perception du confort thermique dans les espaces publics extérieurs est influencée par l'opportunité d'adaptation ordonnée selon trois catégories différentes: physique, physiologique et psychologique (voir Chapitre II). Le graphique des différentiels de température équivalente et les types de transition physique ont été appliqués par Potvin (1997) ; Stathopoulos et al (2004) et par Ouameur (2007), Il s'agit ici d'analyser l'effet du mouvement de l'enquêteur durant le parcours commenté (déplacement d'un point de mesure à l'autre) sur le niveau d'adaptation par rapport à l'environnement thermique.

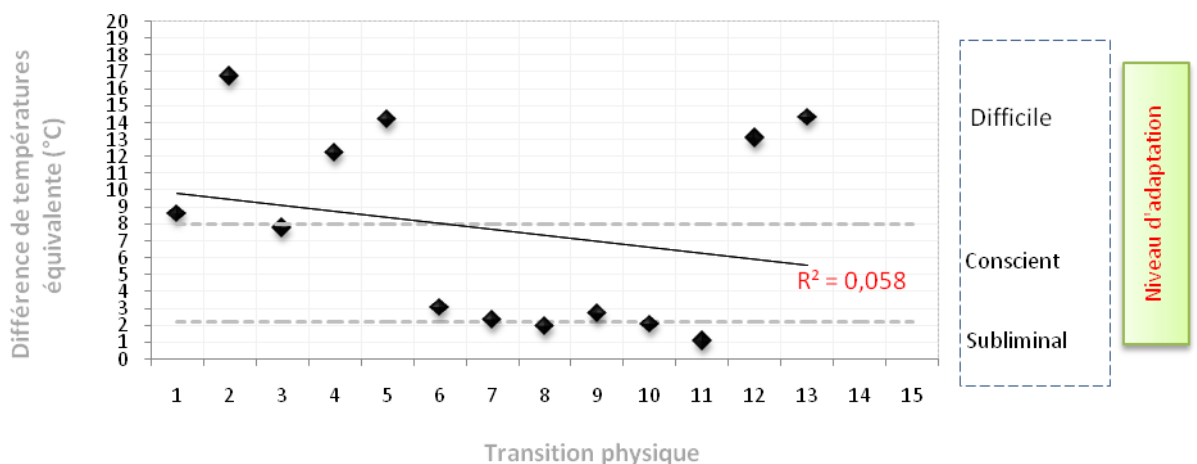


Figure V.19 : différences de températures et type de transitions physiques à midi.

Durant Le parcours de midi, le graphique (voire figure V.19) montre une variabilité importante des différentiels de température équivalente en fonction de la transition environnementale. Par conséquent, différents niveaux d'adaptation ont été constatés dans chaque point. Le graphique montre également que sur 13 transitions environnementales, 38% d'entre elles présentent des différentiels de température équivalente inférieurs à 3 °C exprimant une adaptation subliminale. Par ailleurs, 16 % de transitions environnementales ont enregistré des différentiels de température équivalente comprise entre 3°C et 8°C exprimant ainsi une adaptation consciente. En revanche, au niveau d'adaptation difficile a été constaté 46% durant ce parcours dû à l'absence d'ombre et de vent fort et au degré d'ouverture au ciel de l'espace.

La transition environnementale du point 6 au point 12 présente une adaptation subliminale et consciente, dû à la présence d'une voûte végétale qui fait que cette transition soit à l'ombre à 12h00 et dans toute la journée

Par contre les parcours de 10h00 et de 18h00 , ils présentent des différentiels de temps équivalentes supérieure à 8°C exprimant une adaptation difficile due au vent chaud provenant du Nord surtout dans les transitions au niveau des espaces qui présentent un pourcentage d'ouverture au ciel important et un degré d'ouverture Deo important (voir figure V.20).

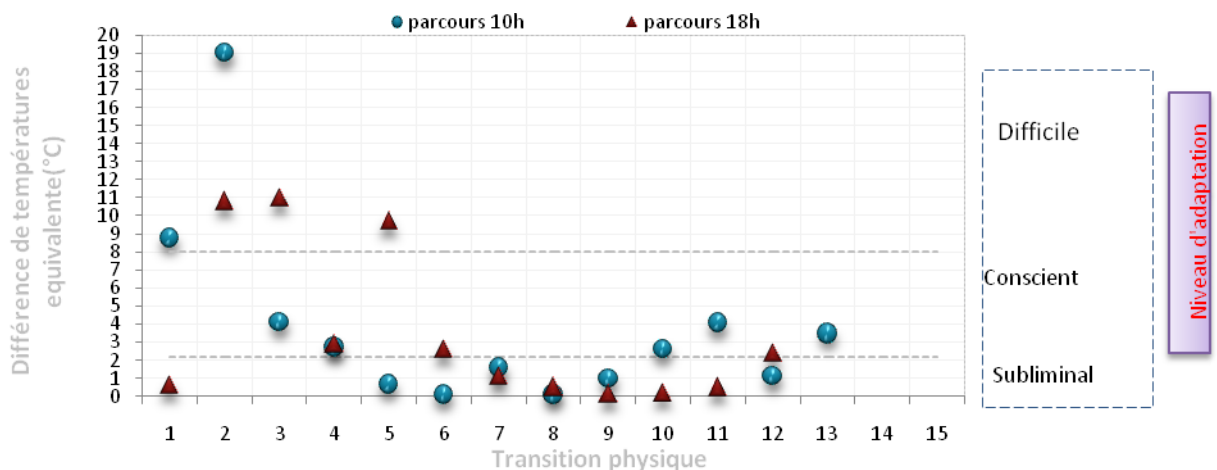


Figure V.20 : différences de températures et type de transitions physiques le matin à 10h00et 18h00

L'étude corrélationnelle est moins significative durant la période d'été (figure V.21). Le croisement des données, durant cette période, montre des corrélations faibles dues éventuellement au niveau de la diversité environnementale du parcours. Cependant, le croisement, révèle un effet de réchauffement de la température équivalente. Cet effet est dû essentiellement à l'absence du facteur de vue végétale et l'accroissement des valeurs des indicateurs morphologiques, notamment l'albédo moyen des surfaces, le degré of enclosure (DoE) de l'espace et le ratio H/L.

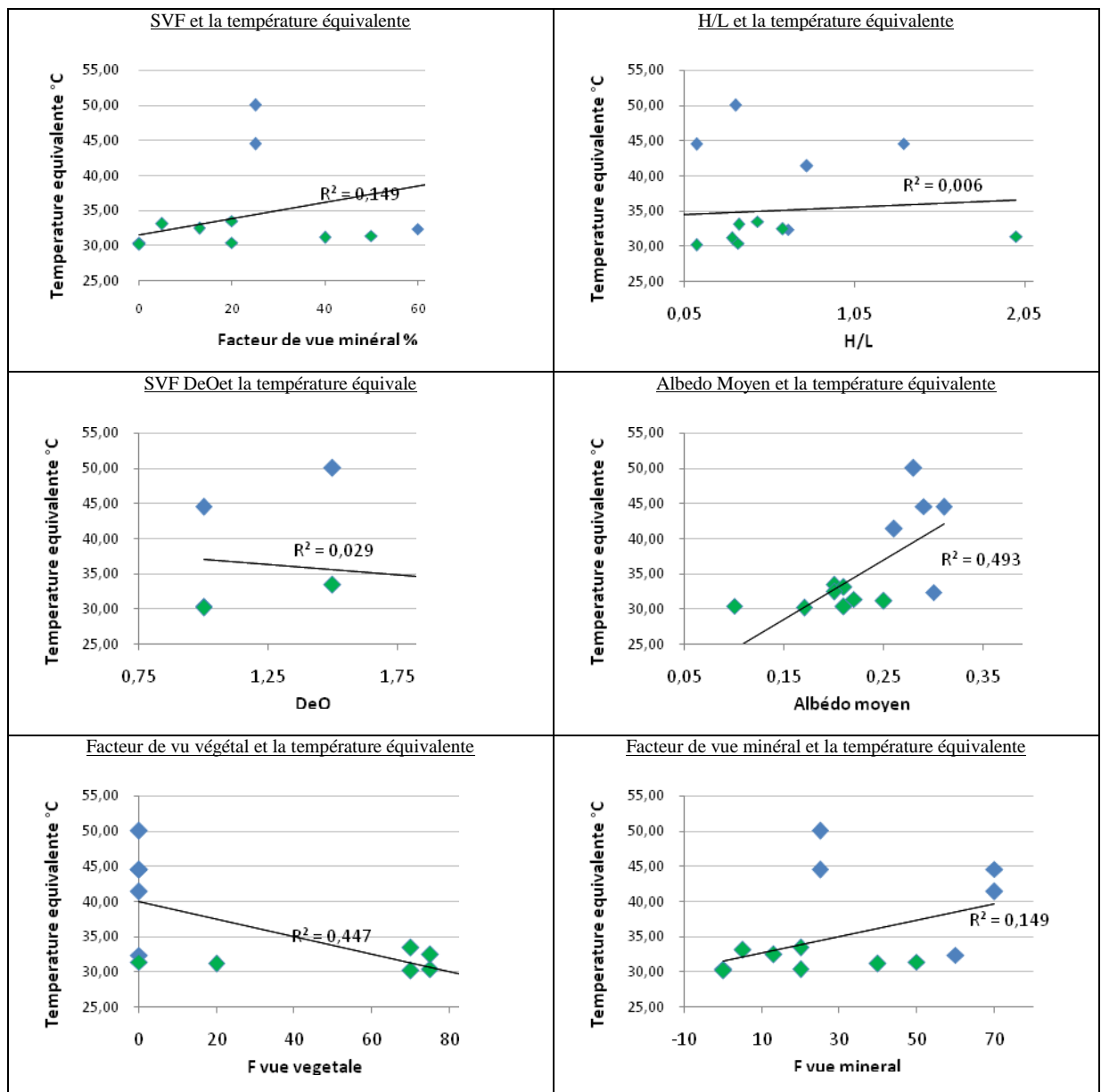


Figure V.21 : Graphiques illustrant la relation entre les indicateurs morphologiques à l'échelle de l'espace public et la température Equivalente (°C) dans le parcours à midi.

V.5 Les scènes d’ambiances

Deux scènes ont été retenues pour évaluer l’effet du végétal sur la qualité des ambiances que ce soit thermique ou visuelle par rapport à la configuration de l’espace et la densité de la végétation.

V.5.1 Scène1 : place de la pyramide

Cette scène présente un espace ouvert, un espace de regroupement et d’animation. L’endroit distingue plusieurs sous-scènes végétale et minérale, dont les points de mesures choisis (voir figure V.22) pour objectifs de démontrer l’effet de masque végétal dans la fréquentation de l’espace, ainsi que dans la création des zones microclimatiques spécifiques suivant l’espace et le temps.

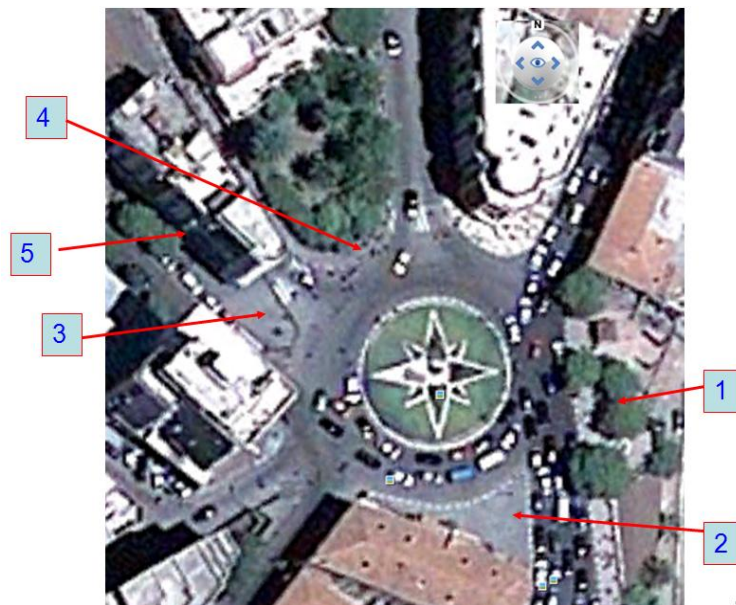


Figure V.22: Stations de mesure dans la scène 1.

V.5.1.1 Variation des températures de l’air dans la scène1

De la figure V.23, la température de l’air dans la place de la pyramide sans arbres dans les stations Sta2 et Sta3 est toujours plus haute que d’autres environnements avec présence de végétation et l’ombre dans les stations Sta1, Sta4 et Sta5. Ce qui crée des sous-espaces d’ambiances différentes selon le degré de l’aménagement et d’ouverture de l’espace. Les arbres dans l’espace public contribuent habituellement à une température de l’air plus fraîche d’été, leur présence contribue à la valorisation de ces sous espaces.

Ces résultats prouvent que l’espace ouvert sans ombre est plus chaud que les environnements couverts par les couronnes d’arbres, Nowak (1995) a déclaré que les arbres ont un effet sur

la température de l'air, l'absorption de rayonnement et le stockage de chaleur, vitesse du vent, hygrométrie et l'albédo extérieur. L'effet de la végétation sur la température a été étudié en détail pendant une période très longue dans diverses régions du monde (Givoni, 1972), (Bernatzky 1979), (Oke, 1989), (Honjo and Takakura 1991); (Bruse and fleer 1998); (Scot et al 1999); (Shashua-Bar et Hoffman 2000); (Streiling and Matzarakis 2003); (Ali-Toudert and Mayer 2007);(Toy et al 2007); (Spangenberg et al 2008)

A 12h00 la température de l'air est de 2.4°C à 11.1°C moindres dans les espaces avec de la végétation que d'autres sans végétation (Moh F,Shahidan, 2008_ T.-P. Lin et al, 2012)²⁶. Cette différence s'explique par la configuration de l'espace et son degré d'aménagement et de couverture. Le graphe de la figure V.22 montre une différence des températures de l'air de 1.5°C à 4°C entre la Sta1 et la Sta5 à 10h00 et à 12h00 respectivement, dont la Sta1 ouverte et ombragée par un groupe d'arbres et la Sta5 de l'axe Belouizded (saint-jean) rue diedre et présence de couvertures végétales. Une différence de températures de l'air de 0.5% à 18h00 entre les stations; et cela confirme la conclusion de S.Toy et S. Yilmaz (2011)²⁷ et A. Mochida et al (2005 & 2008)²⁸ que la présence d'une couverture végétale fait abaisser les températures de l'air.

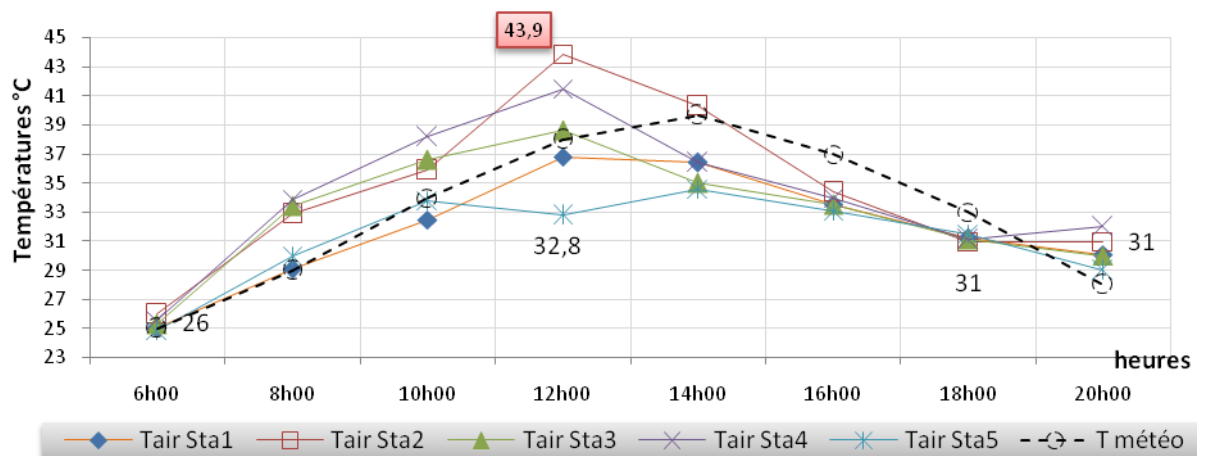


Figure V.23: Variation de la température de l'air dans les différentes stations de mesure de la scène 1.

²⁶ - Shahidan M F, Jones Ph. Plant canopy design in modifying urban thermal environment: Theory and guidelines. PLEA 2008-25th Conference on passive and low energy architecture, Dublin, 22nd to 24th October 2008.

- Lin T.-P., Tsai K.T, Huwang R.L., Matzarakis A., "Quantification of the effect of thermal indices and sky view factor on park attendance" Landscape and Urban Planning, vol 107 n° 2 pp. 137-146, August 2012

²⁷ - Toy S, Yilmaz S. Thermal sensation of people performing recreational activities in shadowy environment: case study from Turkey. revue/ theatrical and applied climatology vol.101(2011), n°3-4, pp329-343.

²⁸ - Mochida A., Sasaki K. Iwata T., Hataya.N., Yosshino H. Effects of roadside trees on thermal environment and pollutant diffusion in street canyon. EACW4- The Fourth European & African Conference on wind Engineering. J.Náprstek& C.Fischer (eds); ITAM AS CR , Prague, 11-15 July, 2005, Paper#309.

- Mochida A., et al, 2008. Examining the tree canopy model for CFD prediction at pedestrian level, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 96, 1667-1677.

V.5.1.2 Variation des humidités de l'air dans la scène1

De la figure V.24, les humidités relatives sont moindres dans les espaces végétalisés et à l'ombre, cela est provoqué par la transpiration des arbres. Cette humidité est de 3.6% à 18.6% moins dans les espaces avec des végétations que d'autres sans végétation (Moh F,Shahidan, 2008)²⁹, Il montre une différence de 18.6% entre point2 et point5 à 12h00 et une différence de 3.6% à 18H00; et cela confirme la conclusion de (Streiling and Matzarakis, 2003³⁰, Echave and Cuchi; 2004³¹).

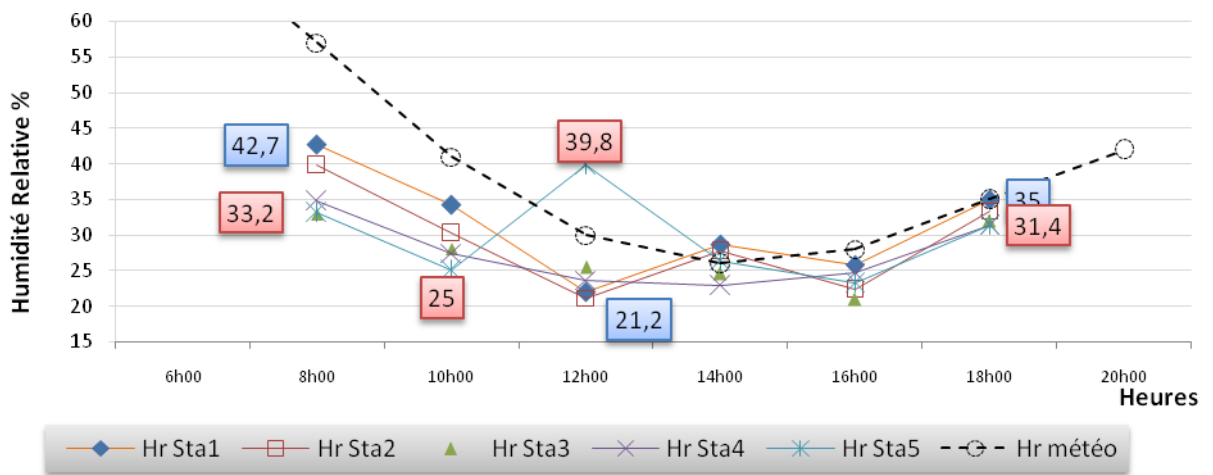


Figure V.24: Variation de taux de l'humidité relative de l'air dans les différentes stations de mesure de la scène1. Juillet 2010.

V.5.1.3 Variation des luminances dans la scène1

La luminance d'une surface dépend de l'éclairement de cette surface, de son coefficient de réflexion et de sa brillance³².

L'investigation montre que les espaces dénudés présentent des luminances plus élevées que les espaces ombragés (Figure V.25) et cela est dû à la quantité de rayonnement solaire réfléchi par la voûte céleste pour un ciel clair, à la réflexion des surfaces du sol (béton) et aux murs peints en blanc.

²⁹ - Shahidan M F, Jones Ph. Plant canopy design in modifying urban thermal environment: Theory and guidelines. PLEA 2008-25th Conference on passive and low energy architecture, Dublin, 22nd to 24th October 2008.

³⁰ - Streiling S, Matzarakis A (2003); Influence of single and small clusters of trees on the bioclimate of a city: a case study. J Arboric 29 (6): 309-316.

³¹ - Echave C, Cuchi A. Habitability method analysis in urban spaces; PLEA 2004-21th congrés international, sustainable architecture de passive and low energy architecture", Eindhoven 19-22 September 2004.

³² - Budi Purnomo A. The influence of building and vegetation shade on human activities in an outdoor space: The case of outdoor space in the compus of Trisakti. University in Jakarta, Indonesia. Trisakti University research institue 2003.

La valeur de la luminosité la plus importante est enregistrée dans la station Sta2 et Sta3, un espace ouvert et non ombré Sta2 avec une valeur de 7110 cd/m² à 12h00 et la valeur la moins élevée enregistrée dans le point Sta5 avec une valeur de 300cd/m² une différence de 6810 cd/m²(soit 95%), et une différence entre un ombrage par la végétation de la station Sta1et Sta5, est de 6400 cd/m² (soit90%) ce qui confirme l'effet d'ombre sur la quantité de lumière dans l'espace, ainsi que l'effet de la végétation dans l'atténuation des radiations solaires et la satisfaction ressentie par les individus.

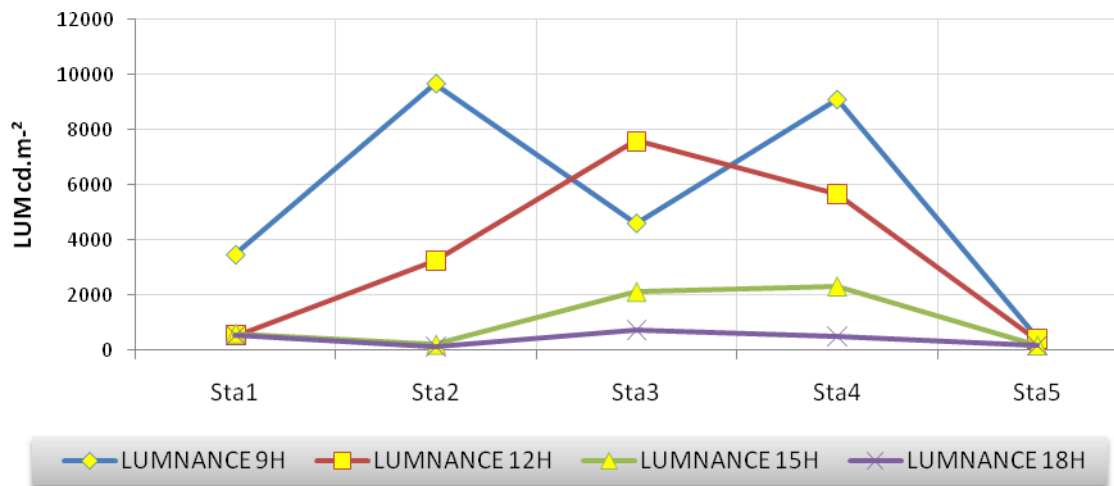


Figure V.25 : Variation des luminances dans les différents points de mesure

V.5.1.4 Appréciation des individus des sous scènes

Nous pouvons avancer que l'utilisateur utilise les espaces en fonction de l'aménagement et du mobilier de l'espace. La présence d'aménagements que les usagers perçoivent la possibilité d'améliorer le bien-être climatique.

La perception de l'ambiance est perçue comme un élément du micro environnement, et les conditions climatiques sont alors liées aux types d'aménagements en place.

Le graphe V.26 montre l'appréciation des individus de la radiation solaire avec et sans présence d'arbres. La radiation solaire est responsable de la perception du confort thermique et visuel. Les résultats d'enquête montrent qu'avec la présence d'arbres dans l'espace ouvert, la radiation solaire est perçue comme neutre de 75 % à 100 %, tandis que sans présence d'arbres, 60 % à 90 % pensent qu'il y a trop de soleil. De plus, cette appréciation semble liée à l'utilisation de l'espace public extérieur, comme il y a plus de personnes dans les sous zones végétales. Les stations les plus utilisées sont les sous scènes Sta1 et Sta2 à 12h00. Les sous-scènes qui sont moins utilisées sont Sta2 et Sta3 des espaces minérales où il n'y a

aucune couverture végétale. Par contre à 18h00 le pourcentage d'utilisation de l'espace est de 50% pour les différents sous zones dues à l'abaissement de la température et la radiation solaire bas dans le ciel.

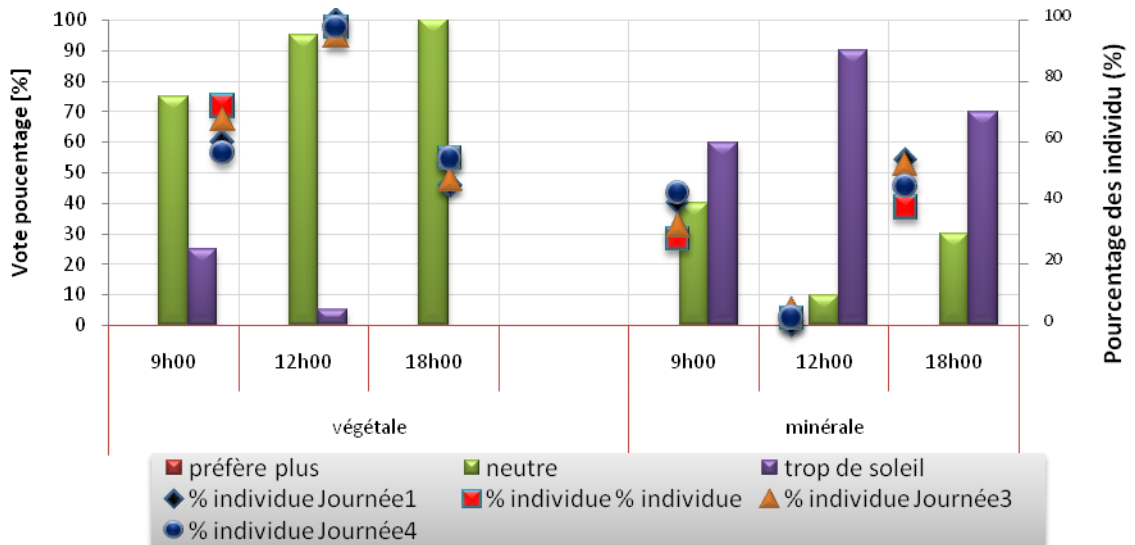


Figure V.26 : Appréciation du soleil avec et sans végétation et pourcentage d'utilisation des sous scènes.

V.5.2 Scène2 : Square

Cette scène présente un espace vert « square » qui présente plusieurs sous espaces distingués selon la densité foliaire et le pourcentage de couverture végétale (Figure V.27 et Figure V.28). L'objectif est de monter l'effet de la densité de la végétation sur la qualité de l'ambiance thermique et visuelle.

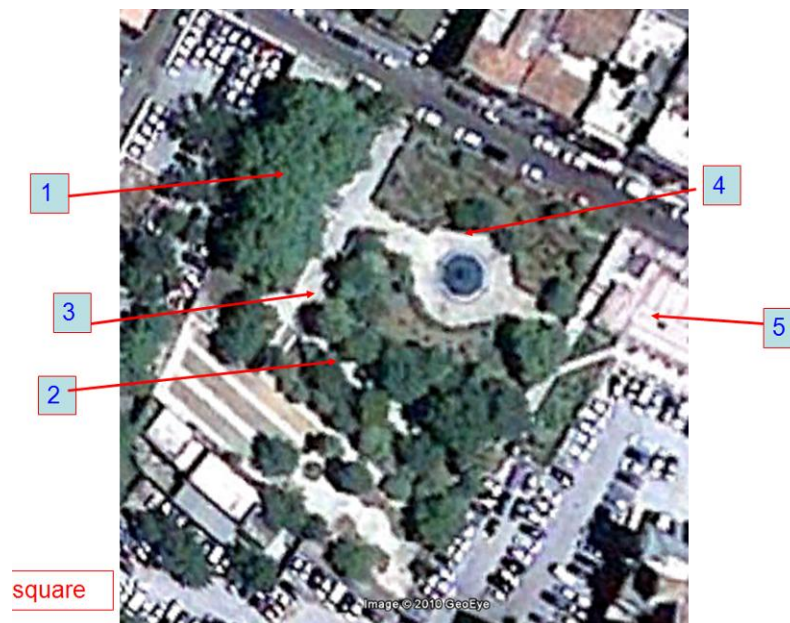


Figure V.27 : Stations de mesure dans la scène 2.

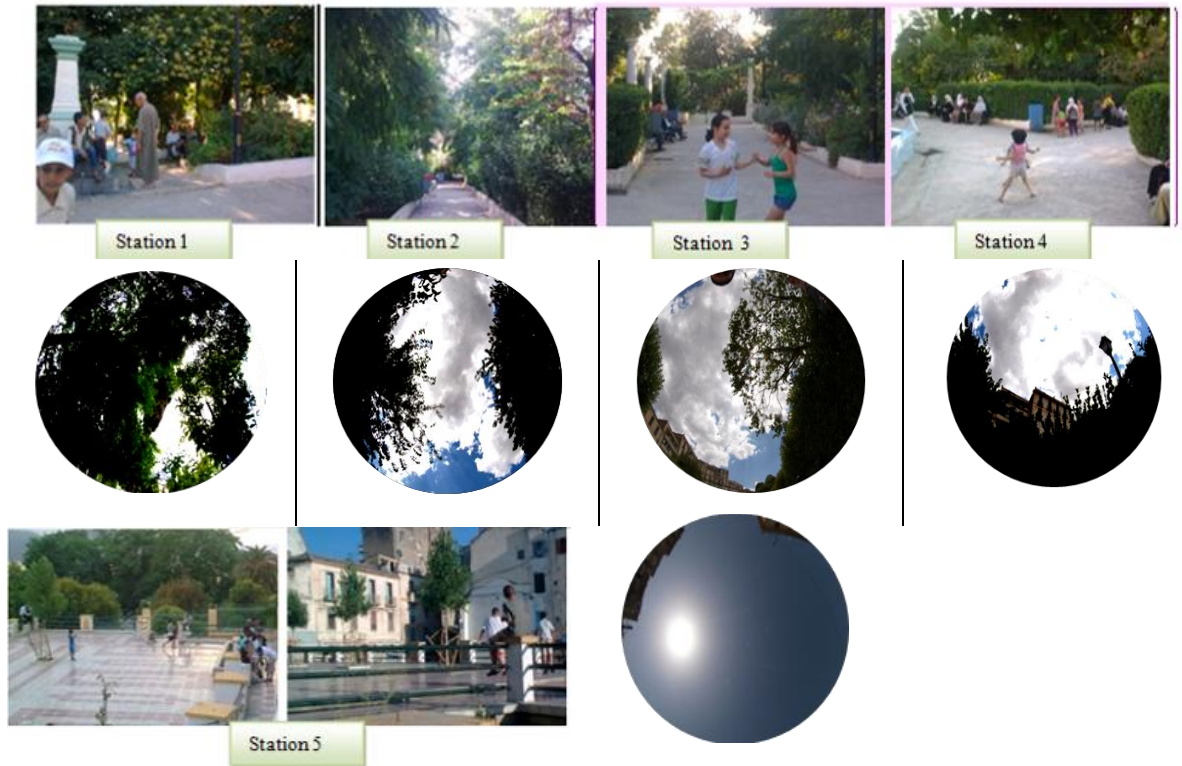


Figure V.28: photographie de différentes stations de mesures dans le square. Auteur ; 2010

V.5.2.1 Température de l'air et pourcentage de couverture par la végétation

La relation entre la température de l'air et le degré de couverture de l'espace (LAI), l'objet de cette scène a intéressé beaucoup de groupes de travail et a mené à une gamme des résultats, Accorder à J,Spangenberg &al (2008)³³, Tzu-ping Lin &al (2010)³⁴et S,Toy &al (2011)³⁵. Ainsi de la figure V.29, la température de l'air dans l'espace ouvert sans arbres est toujours plus haute que d'autres environnements. Les arbres contribuent habituellement à une température de l'air plus fraîche d'été, leur présence contribue à la valorisation de ces espaces qui est expliquée par Spangenberg et al (2008).

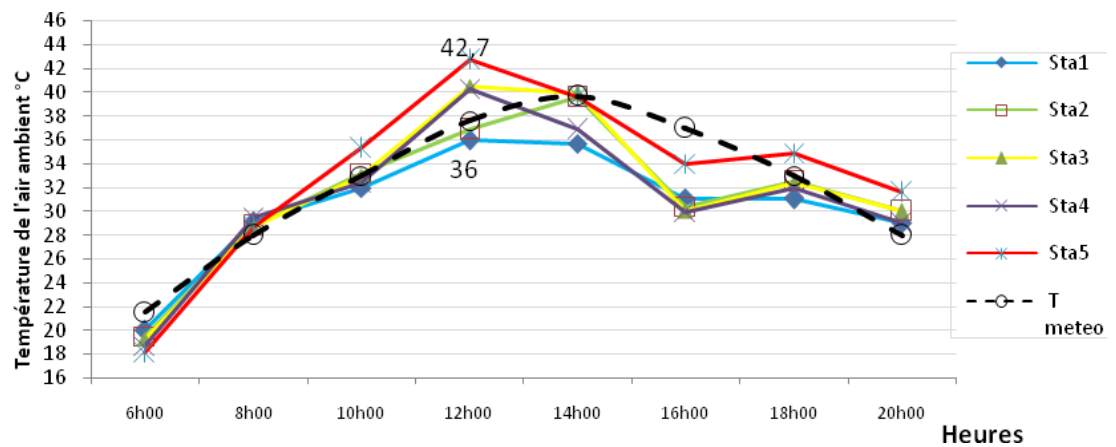
Ces résultats prouvent que l'espace ouvert est plus chaud que les environnements sous différents types de couverture d'espèces d'arbres, Nowak (1995) a déclaré que les arbres ont un effet sur la température de l'air, l'absorption de rayonnement et le stockage de chaleur, vitesse du vent, hygrométrie et l'albédo extérieur. L'effet de la végétation sur la température a été étudié en détail pendant une période très longue dans diverses régions du monde

³³ - Spangenberg J., Shinzato P., Johansson E. and Duarte D. 2008. Simulation Of The Influence Of Vegetation On Microclimate And Thermal Comfort In The City Of Sao Paulo. Revue SBAU, Piracicaba, V.3, n2, P.1-19

³⁴ - Lin T-P, Matzarakis A, Hwang R-L. "Shading effect on long-term outdoor thermal comfort" Building and Environment 45(2010) 213-221.

³⁵ - Toy S, Yilmaz S. Thermal sensation of people performing recreational activities in shadowy environment: case study from Turkey. revue/ theatrical and applied climatology vol.101(2011), n°3-4, pp329-343.

(Givoni, 1972) , (Bernatzky 1979), (Oke, 1989), (Honjo and Takakura 1991); (Bruse and fleer 1998); (Scot et al 1999); (Shashua-Bar et Hoffman 2000); (Streiling and Matzarakis 2003); (Ali-Toudert and Mayer 2007);(Toy et al 2007); (Spangenberg et al 2008).



FigureV.29 : Variation de la température de l'air dans les différentes stations de mesure.

V.5.2.2 Humidité relative de l'air et pourcentage de couverture par la végétation

Des différences de la température entre l'espace ensoleillé et les espaces ombragés par la végétation dans la place ont été trouvés (figureV.30), de divers résultats ont été trouvés selon le taux de couverture (LAI), L'espace qui présente un LAI important manifeste un refroidissement de 6,7 °C par rapport à l'espace ouvert à 12h00. Ce refroidissement varie entre 2,2 et 2,4°C et qui dépend de la présence de la végétation et de l'eau dans l'espace ouvert. Ce résultat a été trouvé à Haifa, Israël un espace du « parc area » avec de larges arbres d'olive et de pin (Givoni, 1972), Grimmond et al (1993) trouve à Sacramento que la température dans l'espace suburbain végétalisé a un refroidissement de 5°C à 7°C moindre. La conclusion dans la présente étude est dans la convenance avec les résultats des études semblables à Souch and Souch (1993) et à Ioannis X and Tsiros (2010)³⁶.

³⁶ - Souch CA, Souch C (1993) The effect of trees on summertime below canopy urban climates: a case study, Bloomington, Indiana. Journal Arboric 19(5): 303-312

- Ioannis X and Tsiros (2010). Assessment and energy implications of street air temperature cooling by shade tress in Athens (Greece) under extremely hot weather conditions. Renewable Energy 35 : 1866–1869.

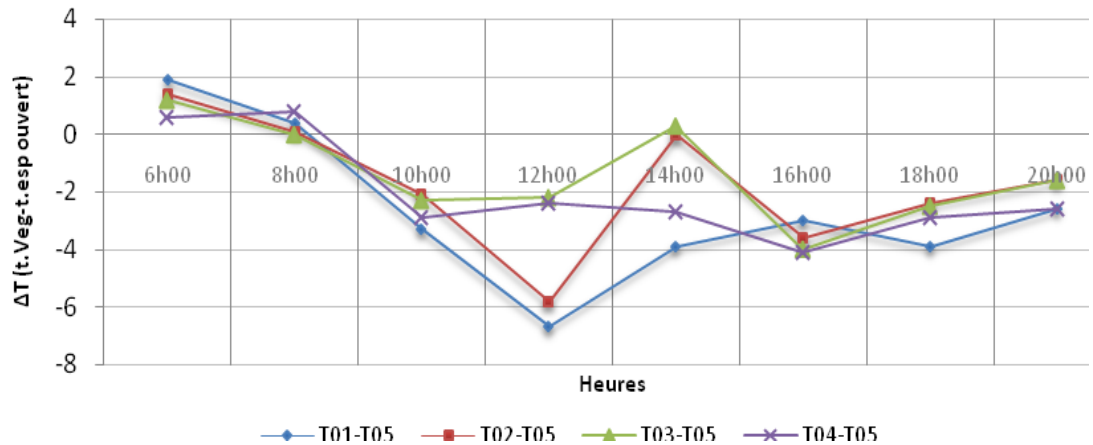


Figure V.30 : Effet de rafraichissement.

V.5.2.3 Radiation solaire global et pourcentage de couverture par la végétation

Le rayonnement solaire est particulièrement le facteur dominant à l'extérieur ; il ne reflète pas la température de l'air et la sensation humaine du réchauffement en soleil qu'à l'ombre.

La quantité de rayonnement solaire global est environ 1707 W/m^2 au soleil et entre 79 W.m^{-2} à 260 W.m^{-2} sous l'espace ombragé au cours de la période d'expérimentation.

La différence entre le rayonnement solaire global du soleil est de 1400 W.m^{-2} la date de l'expérimentation, qui était le 17 juillet 2010, Ce jour, la température de l'air, l'humidité, et la vitesse du vent étaient le environ 34°C , le taux de l'humidité relative de 45%, et $1,0 \text{ m/s}$, respectivement.

Un autre but de cette étude était d'examiner la corrélation entre l'irradiation globale reçue dans l'espace et la température de l'air. Les résultats obtenus ont été comparés à la température de l'air, indiquant la corrélation ($R^2 = 0,76$) un rapport entre le degré de couverture et la température de l'air.

La comparaison de la station 01 (36°C) et station 05 (de 42°C) prouve que d'un espace dénudé de la végétation à un espace couvert par la végétation (feuilles), il y a une évolution d'ambiance d'environnement chaud à un environnement plus frais.

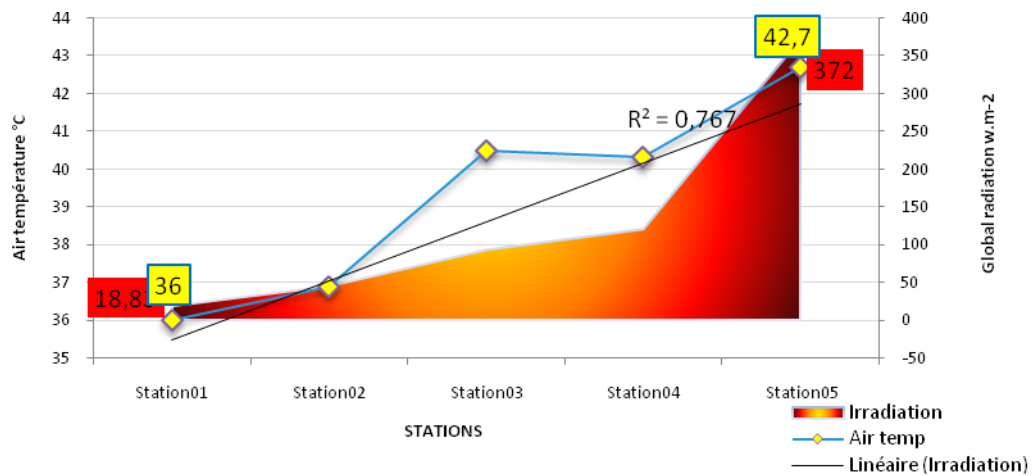


Figure V.31: Corrélation entre température l'air et la quantité de radiation à 12h00

De la figure V.31, la température dans l'espace ouvert est exposé aux radiations solaires ont des humidités relatives moindres que dans les espaces végétalisées et à l'ombre, cela est provoqué par la transpiration des arbres, cet effet est positif quand l'eau s'évapore pour l'air sec. Cette humidité est de 3% à 6% moins dans les espaces avec des végétations que d'autres sans végétation qui rejoint les résultats de Moh F, Shahidan, (2008), le graphe montre une différence de 6% entre station1 et station5 à 18h00 ; et cela confirme la conclusion de Streilling and Matzarakis (2003), Echave and Cuchi; (2004).

La station avec un pourcentage de couverture élevée LAI de (85%) a un taux d'humidité plus élevé justifié par la présence d'une densité élevée des feuillages, par conséquent, la couverture végétale dense fournit une humidité plus élevée et un taux d'évaporation plus bas, et un effet de refroidissement optimum³⁷.

³⁷ - Shahidan M F, Jones Ph . Plant canopy design in modifying urban thermal environment: Theory and guidelines. PLEA 2008-25th Conference on passive and low energy architecture, Dublin, 22nd to 24th October 2008.

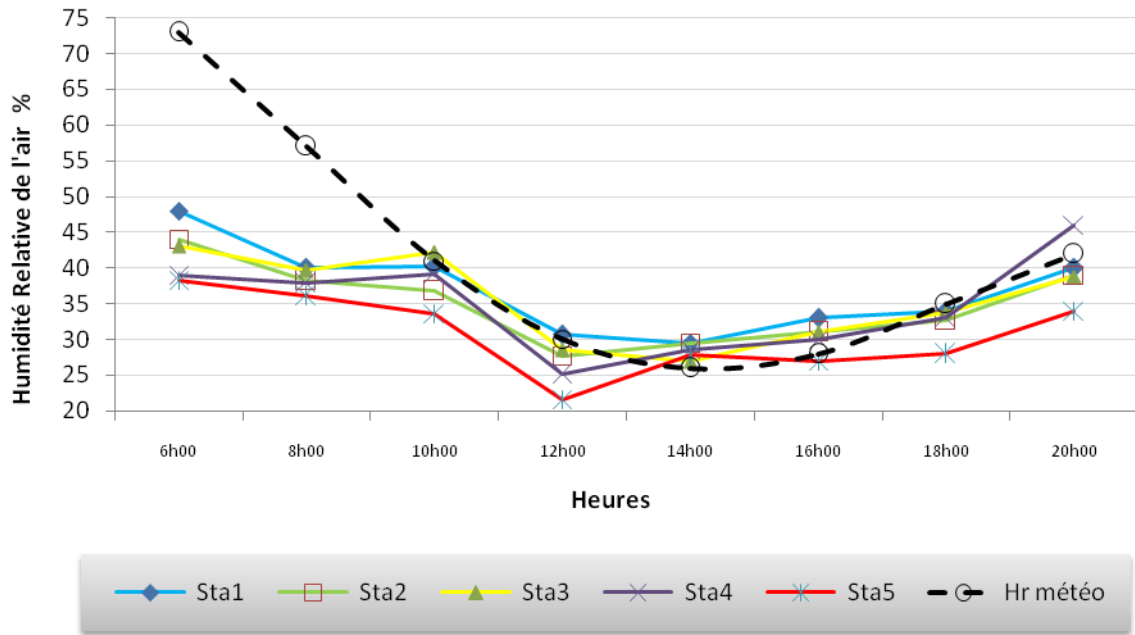


Figure V.32: Variation de taux de l'humidité relative de l'air dans les différentes stations de mesure.

Les résultats présents dans cette recherche (figure V.33) montrent l'effet de la densité foliaire dans la réduction de la température à midi. La température de l'air à 1,5 m du sol varie entre 3°C à 8°C. La couverture par la couronne des arbres peut réduire la température de l'air au-dessus du sol avec l'interception du rayonnement solaire direct Escourrou and Roussel (1995) et de Lin T.-P et al (2010).

Les quantités de radiations sont plus importantes dans l'espace dénudé de la végétation de (1500w.m⁻²) à midi. La valeur la plus importante dans les espaces ombragées est de (60 à 250w.m⁻²).

La valeur des quantités de rayonnement marque une corrélation négative avec les pourcentages de couverture (LAI). De la Figure V. 34 une masse foliaire dense peut réduire au minimum le rayonnement solaire et augmente l'ombrage. Ce dernier affecte l'albédo de la surface au sol Mohd,F, Shahidan et al (2010)³⁸.

³⁸ - Shahidan M. F., Shariff M.K.M., Jones P., Sallehc E., Abdullaht A.M. 2010. A comparison of Mesua ferrea L. and Hura crepitans L. for shade creation and radiation modification in improving thermal comfort. Landscape and Urban Planning 97 : 168–181.

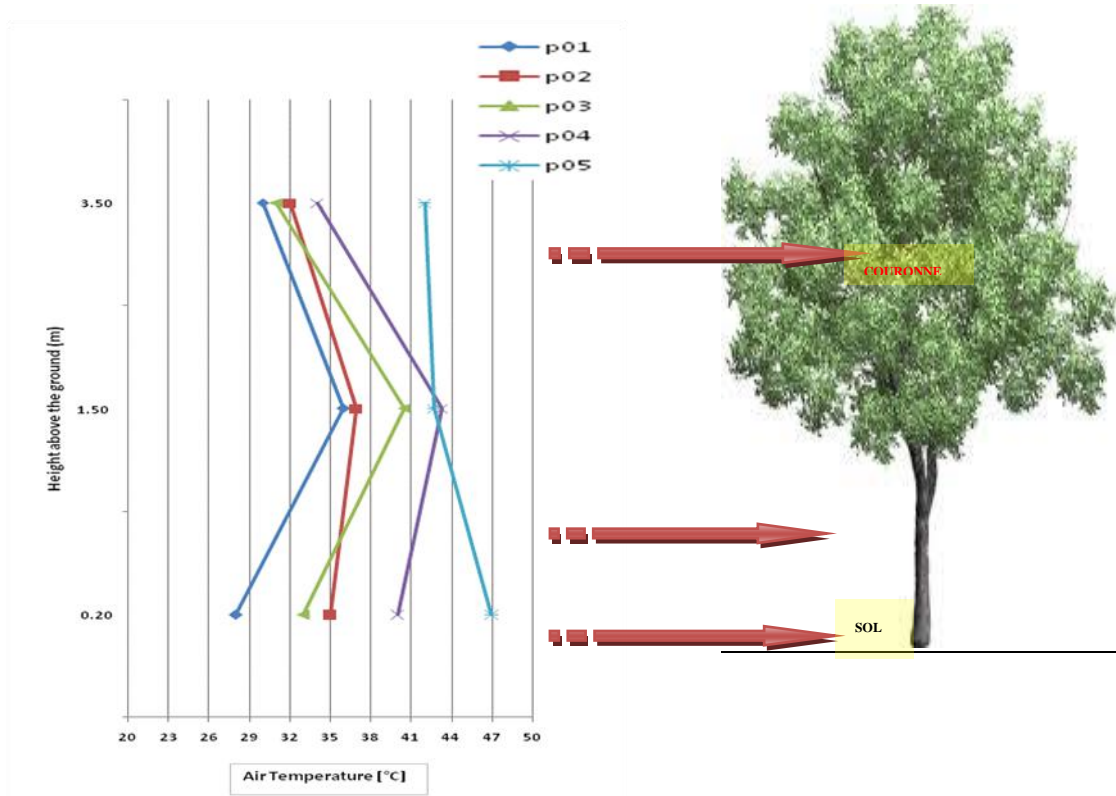


Figure V.33: Profil vertical des températures de l'air à midi dans les différentes stations du square (12:00)

V.5.2.4 Degré de couverture de l'espace

Suite au résultat de la Figure V.34, le degré de couverture par la végétation joue le rôle important dans l'utilisation des espaces et dans l'atténuation des radiations solaire, dont une couverture de 45 à 90% est recommandée pour ce type de climat (semi aride).

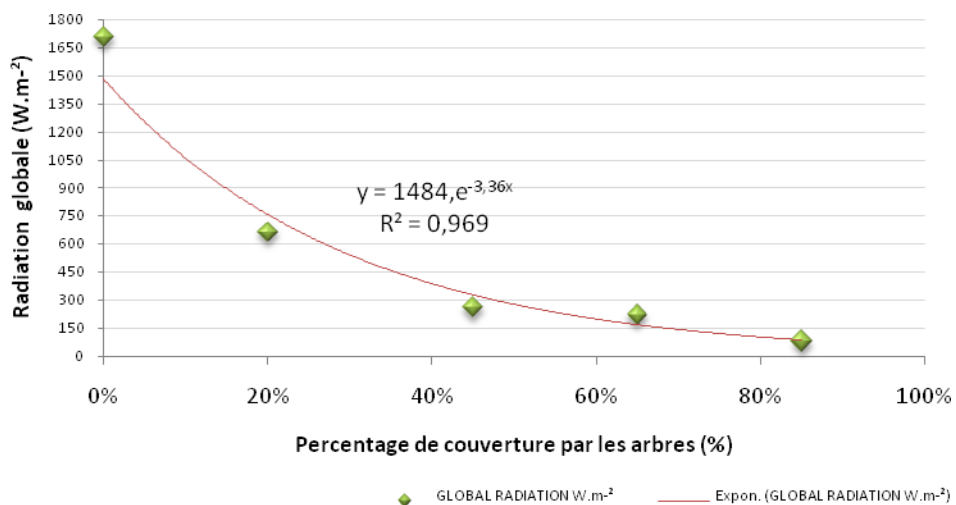


Figure V.34: Corrélation entre quantité de la radiation solaire reçue et le degré de couverture par la végétation.

V.5.2.5 Luminance et SVF

La lumière a un impact important sur la performance physique et le confort visuel dans les espaces ouverts. D'un point de vue visuel, le tableau 2 présente l'effet de masque de l'arbre sur le facteur de vue de ciel (SVF) aux cinq stations choisies dans le square.

En outre, la mesure des valeurs de luminances dans le champ visuel est indicative de la perception visuelle des utilisateurs d'espaces parce qu'elle fournit des informations sur la qualité de la lumière réfléchi comme perçu par des piétons. Ces mesures ont été effectuées à l'aide d'une luminance mètre.

La recherche prouve que l'espace ouvert, qui présente le SVF plus élevées que ce, est également caractérisé par des valeurs plus élevées de luminance que les espaces ombragés dans les espaces ombragées (voir La figure V.35), dus au rayonnement solaire réfléchi par les surfaces des murs en béton et murs peints en blanc. Ce résultat confirme une relation proche entre le facteur de vue de ciel et le risque d'éblouissement dans les espaces urbains pour ce type de climat, aussi bien que l'effet de la végétation dans l'atténuation du rayonnement solaire et la protection contre l'éblouissement ressenti par les individus situés sous la couronne d'arbre.

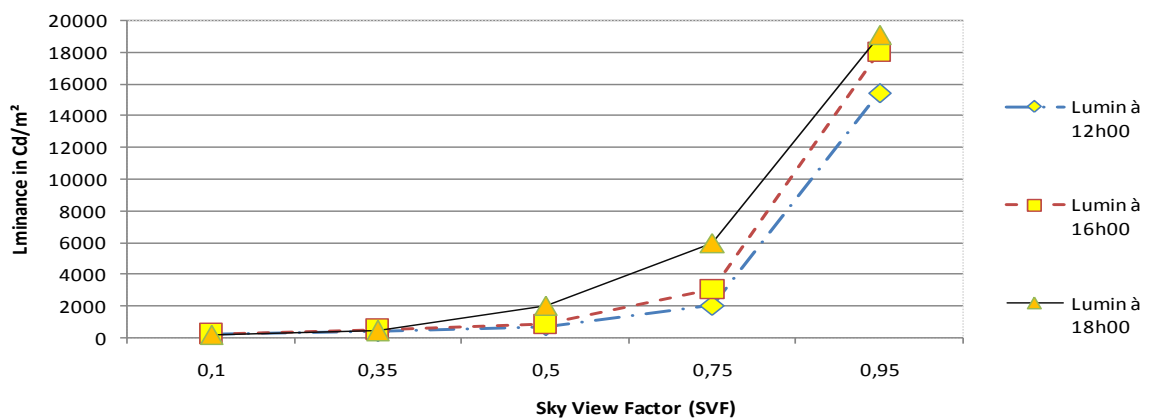


Figure V.35: Variation des luminances dans les dans les différentes stations.

La valeur de la luminosité la plus importante a été enregistrée à la station 5, qui est un espace ouvert sans masque végétal (SVF=0,95) et avec des valeurs élevées de la luminance (15430 cd/m² à 12h00) due à la lumière réfléchi sur les matériaux urbains. La valeur la plus basse de luminosité a été enregistrée dans la station 1, qui présente une couverture de la masse foliaire la plus dense (SVF=0,1) et avec la valeur la plus basse de la luminance (204 cd/m² à

12h00). Pour réduire l'éblouissement, il est recommandé les valeurs de la luminance demeures inférieures à 1500cd/m² dans le domaine visuel d'après Reiter et De Herde (2004)³⁹, signifiant que le facteur de vue de ciel de ces espaces devrait demeurer inférieur ou égal à 0.4, ce qui correspond à un masque végétal d'arbre de plus que 55% de l'espace.

V.5.2.6 Végétation et Perception du lieu

Le confort thermique de l'être humain affecte l'utilisation de l'espace extérieur. Nombreuses études (Eliasson, Knez, Westerberg, Thorsson, et Lindberg, 2007⁴⁰ ; Kántor et Unger, 2011⁴¹ ; Nikolopoulou, Baker, et Steemers, 2001⁴² ; Thorsson, Lindqvist, et Lindqvist, 2004⁴³ ; Thorsson, Honjo, Lindberg, Eliasson, et Lim, 2007⁴⁴) ont exploré les paramètres de microclimat des environnements thermiques extérieurs et ont analysé le chiffre des participants aux espaces publics extérieurs.

Les études dans les pays tempérés ont prouvé que le nombre de visiteurs dans les espaces extérieurs dépend des changements aux index thermiques, à savoir la température de l'air (Ta), la température radiante moyenne (Tmrt), la température de globe (Tg), et la PET, pendant les saisons d'été et d'hiver. Cependant, pendant des saisons chaudes, plus les conditions thermiques sont hautes, plus le nombre de visiteurs est inférieur⁴⁵ (Lin, 2009). Le graphe V.36 montre également qu'une corrélation élevée existe entre l'environnement thermique et l'utilisation des espaces extérieurs.

³⁹ - Reiter S., De Herde A. (2004), L'éclairage naturel des bâtiments. Presses universitaires de Louvain, Louvain-la-Neuve (Belgium), p. 265.

⁴⁰ - Eliasson, I., Knez, I., Westerberg, U., Thorsson, S., & Lindberg, F. Climate and behaviour in a Nordic city. *Landscape and Urban Planning*, 82(1-2), 2007 pp72-84.

⁴¹ - Kántor, N., & Unger, J. Benefits and opportunities of adopting GIS in thermal comfort studies in resting places: An urban park as an example. *Landscape and Urban Planning*, 98(1), 2011. pp 36-46

⁴² - Nikolopoulou, M., Baker, N., & Steemers, K. Thermal comfort in out-door urban spaces: Understanding the human parameter. *Solar Energy*, 70(3), 2001. 227-235.

⁴³ - Thorsson, S., Lindqvist, M., & Lindqvist, S. Thermal bioclimatic conditions and patterns of behaviour in an urban park in Goteborg, Sweden. *International Journal of Biometeorology*, 48(3), 2004. pp149-156.

⁴⁴ - Thorsson, S., Honjo, T., Lindberg, F., Eliasson, I., & Lim, E. M. Thermal comfort and outdoor activity in Japanese urban public places. *Environment and Behavior*, 39(5), 2007. 660-684.

⁴⁵ - Lin, T. P. Thermal perception, adaptation and attendance in a public square in hot and humid regions. *Building and Environment*, 44(10), 2009. Pp2017-2026.

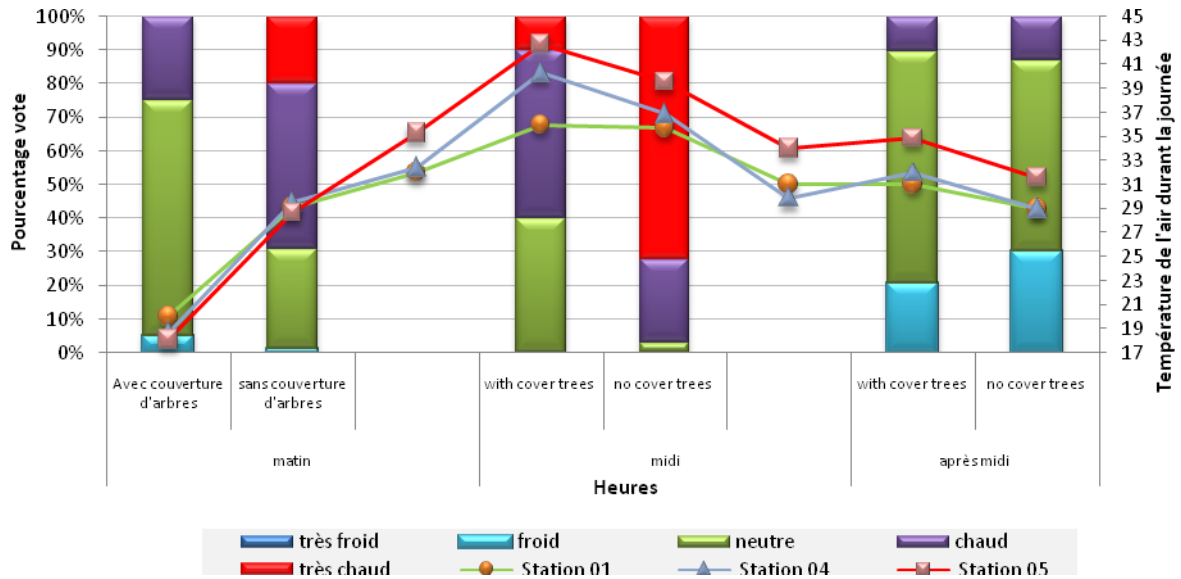


Figure V.36 : Appréciation du lieu sans et avec présence de la végétation et l'ombrage

V.6 Conclusion

Pour analyser les ambiances urbaines des espaces publics à travers la vision de leurs usagers, une investigation a été conduite durant la période chaude (mois de juillet) selon un parcours urbain avec des configurations différentes allons d'une rue couverte de végétation à une rue dénudée (minérale), d'une place de plusieurs scènes d'ambiances à un square ont été explorés par l'observation et les mesures des paramètres microclimatiques.

L'investigation a démontré l'existence de plusieurs scènes d'ambiances créées par des sous-zones microclimatiques selon la configuration de l'espace et le degré de son aménagement.

La présence de la végétation contribue largement dans le confort des espaces, durant la période chaude avec un vent faible. Notons qu'il existe une différence de 2°C et 7°C entre stations à l'ombre des arbres et celles découvertes ; la différence moyenne entre températures de l'air entre les zones à l'ombre et au soleil durant le parcours d'investigation est de l'ordre de 5,4°C à midi. Concernant l'humidité relative, les stations qui présentent un taux de couverture végétale enregistrent les valeurs les plus humides cet écart et de l'ordre de 6%.

La couverture de végétation exploite une qualité de vie, une création raffinée d'ambiance thermique et visuelle et confort senti dans ce type de climat. Le pourcentage de couverture de l'espace s'est avéré être une métrique importante, qui a une influence significative sur le microclimat. Plus la couverture par les arbres est dense, plus la température de l'air et la

quantité de rayonnement solaire est basse et plus le confort thermique pour un climat sec et chaud est meilleure. Une couverture de 45 à 90% est recommandée pour ce type de climat (semi-aride).

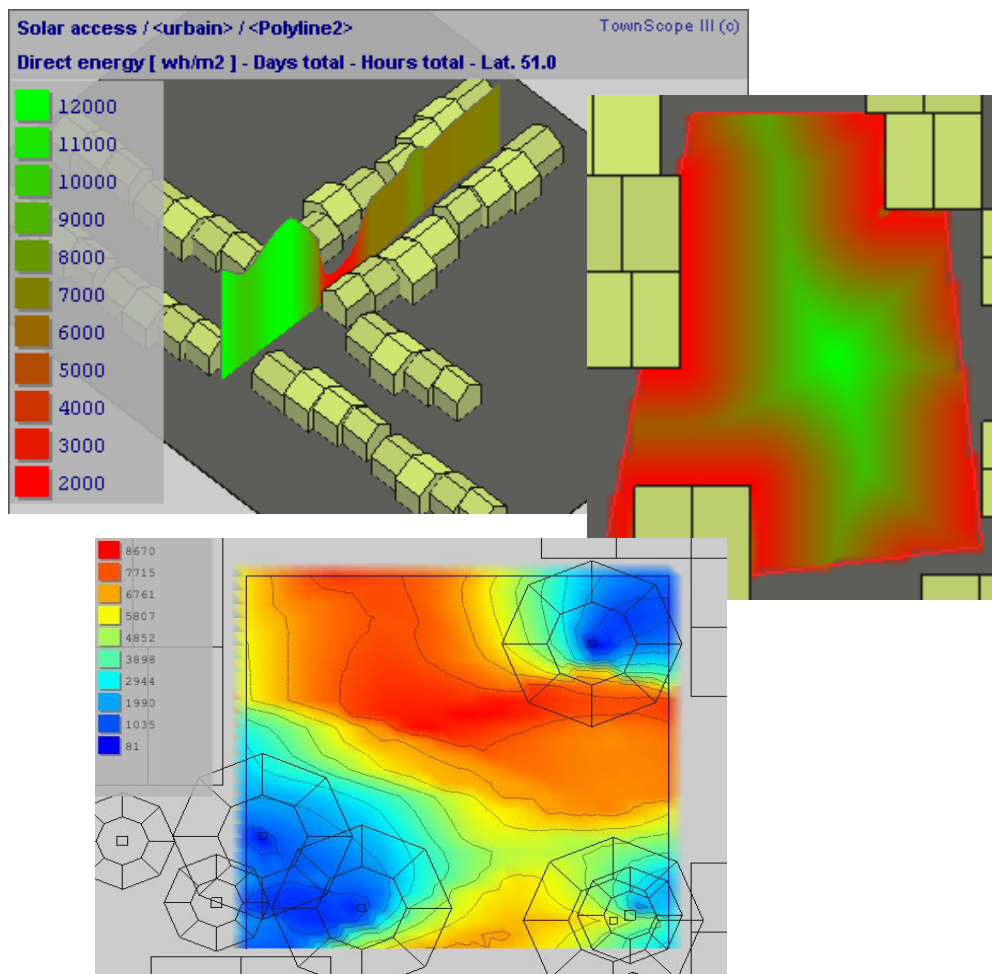
Généralement les arbres apportent, sous leurs canopées, améliorations significatives sur le confort thermique principalement à midi et le début d'après midi pendant qu'ils fournissent l'ombrage aérien en atténuant le rayonnement solaire. D'ailleurs, les arbres augmentent la qualité de l'espace public.

L'interprétation des résultats nous a permis de mettre en évidence plusieurs réalités sur la qualité des espaces publics :

- Une corrélation négative a été prouvée entre le degré d'ouverture et l'humidité relative
- Une corrélation positive entre les espaces couverte par les arbres et l'utilisation des espaces publics extérieurs
- Présence de la végétation modifie les radiations solaires et affect la qualité de l'utilisation de l'espace.
- Une corrélation entre le pourcentage de couverture et la quantité de radiation dans l'espace, qui affecte l'albédo du sol ; ce dernier affect la température de l'air, l'intensité de la luminosité du lieu et l'humidité relative.
- Une corrélation négative entre le degré de couverture par la végétation et la température de l'air
- Une corrélation positive entre le degré de l'ouverture (SVF) et la quantité de radiation solaire pénétrant dans l'espace, ce qui influe sur l'échauffement des espaces et l'inconfort.

Pour tester l'influence des types de la végétation dans l'espace public, le prochain chapitre utilise une simulation numérique à l'aide du logiciel Townscope 3.1. La variation des paramètres de l'espace et de la végétation est nécessaire, afin de vérifier et de quantifier les améliorations que peuvent apporter le rajout de la végétation et de varier les types et les caractéristiques des végétations (densité, hauteur dimension de la couronne, distances entre arbres et emplacements des arbres).

Chapitre VI



SIMULATION

VI. SIMULATION

Le microclimat urbain suit une logique propre qui devrait enrichir tout projet urbain.¹

VI.1 Introduction

Pour l'architecte et l'urbaniste, la simulation doit permettre de valider rapidement des options fondamentales, d'explorer et de commencer à optimiser certains choix pour un meilleur confort.² L'évaluation par simulation est plus flexible dans la mesure où elle permet d'évaluer et de manipuler des modifications tout en agissant à volonté sur les éléments et les paramètres d'amélioration.

Pour évaluer l'impact de la végétation sur la qualité des ambiances thermique et visuel dans l'espace public, le logiciel TOWNSCOPE a été utilisé afin de tester selon le mode conventionnel le comportement thermique et visuel de l'espace ou le point visé selon la morphologie et l'aménagement de l'environnement. Ceci afin de tester des variantes permettant un meilleur aménagement pour une meilleure évaluation énergétique. Notre méthode d'analyse de l'impact de la végétation sur l'éclairement énergétique solaire se base sur la comparaison entre valeurs d'éclairement avec et sans aménagement végétal en un certain nombre de points d'analyses. Ceux-ci peuvent être situés sur les mailles d'une grille de référence. Dans tous les cas, les caractéristiques particulières de la végétation, perméabilité et transmissivité du masque, doivent être prises en compte de façon différente selon le type d'éclairement énergétique que l'on considère : l'éclairement énergétique direct, diffus ou réfléchi.

Dans cette partie, nous allons présenter les résultats des simulations solaires et thermiques réalisées, à l'aide du logiciel Townscope, pour une rue dans laquelle sont envisagés des alignements d'arbres, de formes et de dimensions différentes. Afin de tester l'impact de la végétation en situation climatique chaude, les paramètres météorologiques mesurés pour une journée typique chaude sont appliqués en entrée des simulations.

¹ - Reiter Sigrid. « Elaboration d'outils méthodologiques et techniques d'aide à la conception d'ambiances urbaines de qualité pour favoriser le développement durable des villes »- thèse de doctorat UCL Université catholique de Louvain 2007.

² -Chatelet.A – Fernandez.P- Lavigne.P- Architecture Climatique -une contribution au développement durable. EDISUD1998. Page.133.

L'influence de la végétation sur la qualité des ambiances n'est abordée que sous l'angle des transferts de chaleur dus à la modification des zones ensoleillées ou à l'ombre.

VI.2 Description du logiciel

Le logiciel "Townscope" a été développé par S. AZAR, J. TELLER et P. PETILLON à LEMA (Laboratoire d'Etudes Méthodologiques d'Architecture) Université de Liège en Belgique. La licence d'utilisation de ce logiciel est beaucoup plus chère que le logiciel SOLENE (environ 1000 euros). Il ne peut pas non plus être utilisé à des fins lucratives. Mais la version d'essai donne de bons résultats graphiques. Pour cela il faut créer un M.N.T. (modèle numérique du terrain) et un M.N.S. (modèle numérique de surface) pour définir la scène de l'étude (figure VI.5).

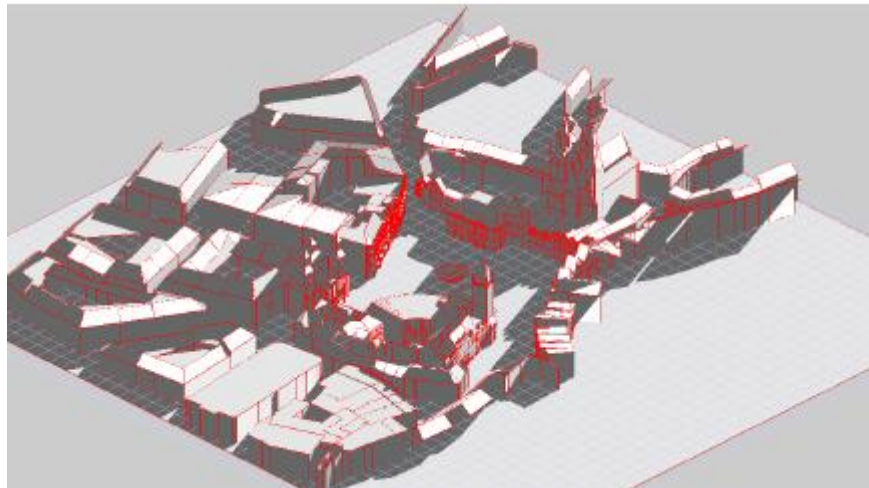


Figure VI.1 : Modélisation 3D de la scène
Exemple de la version d'essai du logiciel « Townscope »

Il peut prendre en charge plusieurs types de données :

- _ 3DStudio files (*.3ds)
- _ DXF files (*.dxf)
- _ OBJ files (*.obj)
- _ VRML files (*.vrml, *.wrl)
- _ RAW files (*.raw)
- _ XYZ files (*.xyz)
- _ URB files (*.urb)
- _ Terrain files (*.ter)

La simulation peut être analysée en 3D soit par point, ligne (parcours) ou en zone (Figure VI.2)

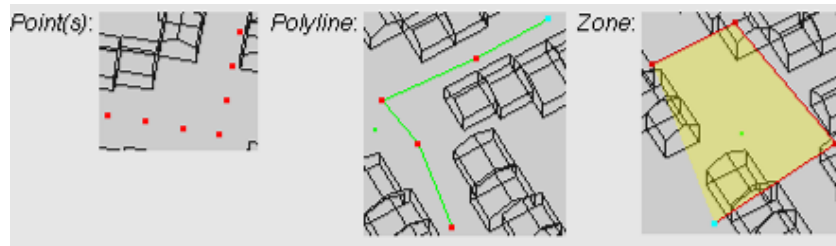


Figure VI.2: Types d'analyse définie par Townscope

La version 3.1 montre les zones d'ombre autour de plusieurs bâtiments dans une scène selon différentes journées et heures en fonction du M.N.S. et du M.N.T. créés. Voir annexe n°III
On peut évaluer et comparer différentes options pour un projet donné dans cette version on peut calculer :

- **Gisement solaire** : mesure de l'éclairement solaire direct, diffus et réfléchi, et l'impact de nouvelles constructions sur les gains solaires pour les bâtiments environnants.
- **Confort thermique et visuel** : évaluation du confort thermique et visuel humain dans les espaces publics extérieurs, à travers ; le taux de transpiration (sweating rate), la moiteur de la peau (skinwetness) et la température sensible ou ressentie (sensation temperature).
- **Ouverture de ciel, longueurs de vues et visibilité** dans les espaces urbains ouverts.
- Les modèles de mouvement du vent dans les ensembles urbains denses.
- **L'intégration visuelle** des nouvelles constructions dans les paysages ruraux ou urbains.
- La **caractérisation** historique et contemporaine des paysages.
- La **durabilité à long terme** des projets de développement urbain (basée sur et utilisant des approches multicritères).
- **vues et visibilité** donnant les qualités perceptibles. D'autres calculs peuvent être réalisés :

_ Montrer les ouvertures sur le ciel par rapport aux masques situés autour de la zone à étudier en sélectionnant un point ou toute une zone sur la scène. Ceci est réalisé soit par une vue à partir du sol ou par une vue du dessus en séparant les diverses zones de visibilité.

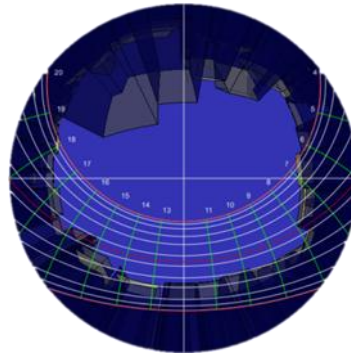


Figure VI.3: Chemin solaire. Aide de l'application

_ Montrer le chemin solaire pour chaque (le 15) du mois et chaque heure (figure VI.3), Avec ce calcul, on peut prévoir où va passer le soleil et la direction des rayons du soleil.

_ Calculer la température reçue sur la façade et à l'intérieur du bâtiment en fournissant au logiciel la composition des matériaux utilisés pour construire la façade à étudier (figureVI.4).

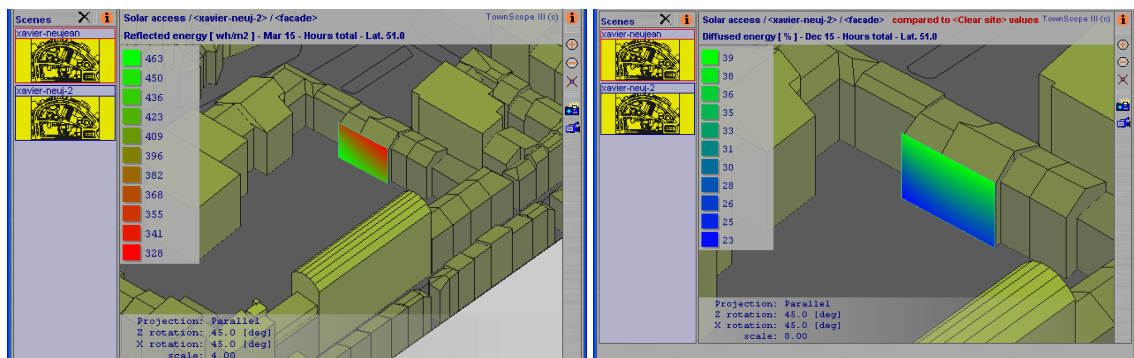


Figure VI.4: Energie reçu sur une paroi. www.townscope.com

Ainsi cela permet de voir le changement de température à l'intérieur du bâtiment en fonction de la nature des matériaux qui ont servis à construire la façade.

_ affiche dans un parcours l'accès du soleil et l'ouverture du ciel selon un axe.

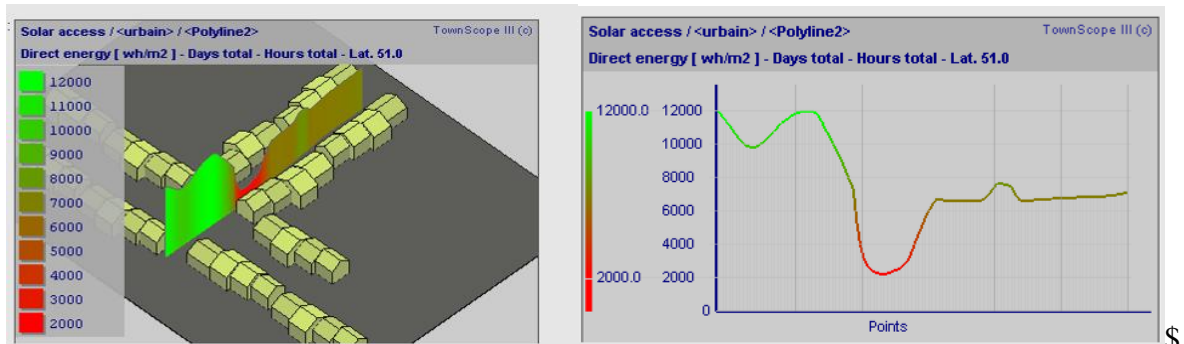


Figure VI.5 : Polyline résultats en 3D où en axe curviligne.

_ Une carte d'ensoleillement naturel peut être aussi réalisée en sélectionnant la zone à étudier.

On peut alors remarquer que la zone SUD est moins ensoleillée (figure VI.6).

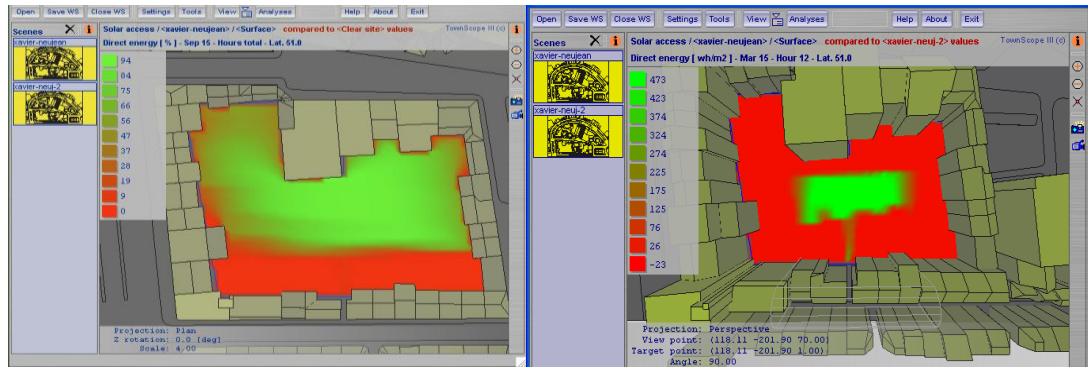


Figure VI.6: Carte d'ensoleillement entre plusieurs bâtis (a gauche : % (Résultats [Scène A] / [Valeurs Site Vierge]), a droite : Résultats [projet A]-Résultats [projet B]).www.townscope.com

Ce logiciel est un bon exemple de solution pour répondre à la problématique : comment un logiciel peut aider à prévoir le cadre de vie des personnes vivant dans une habitation par l'étude de la température, de la visibilité, de la vue existante. En effet, il peut nous aider à prévoir tous les comportements des différents objets physiques d'une scène en fonction de leur visibilité, de leur température.

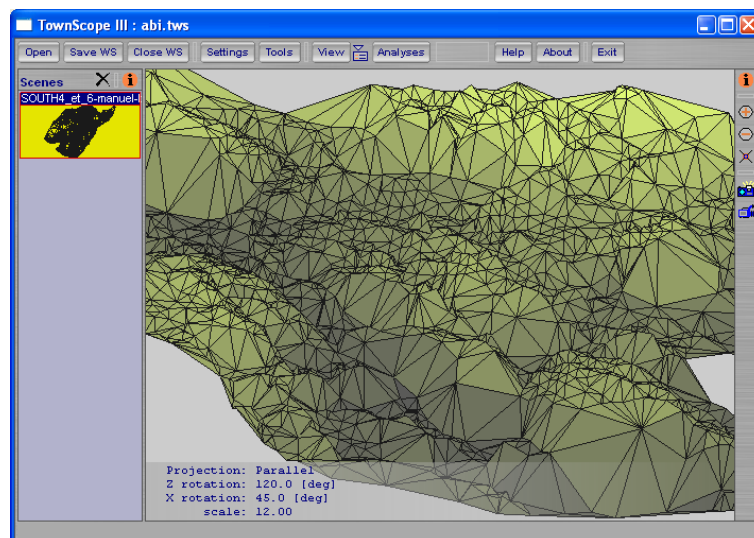


Figure VI.7: Triangulation du terrain. www.townscope.com

D'autres paramètres psychologiques de confort sont aussi utilisés tels que l'indice de vote moyen de température radiante (MRT), l'indice de la température ressentie,

Le logiciel **TownScope** propose son expérience en conception urbaine durable:

- aux autorités locales,
- aux architectes,
- aux concepteurs urbains,
- et aux experts en études d'impact environnemental

VI.3 Déroulement de la simulation et paramètres visés

Le déroulement de la simulation se fait selon plusieurs scénarios et suivant deux axes du parcours effectué durant l'investigation (Boulevard Boudjriou et Boulevard Belouizded)

VI.3.1 Présentation des scénarios de simulation

Axe 1 : Boulevard Boudjriou

Scénario n°1/ Présence du modèle selon le MNT et MNS et sans végétation. La simulation sera effectuée dans le but de vérifier les paramètres de la géométrie sans élément d'aménagement susceptible d'améliorer la qualité de l'ambiance.

Scénario n°2/ Ce scénario correspond à l'état actuel de l'axe l'existence de la végétation dans la place des taxis [P1 (Espace dénudé de végétation), P2 (Présence d'arcades de passage), (P3 (Présence d'un bouquet d'arbres type *Erable*),P4] voire chapitre V.

Scénario n°3/ Ce scénario correspond au rajout des arbres d'alignement de 8.00m d'espacement entre les arbres (couronnes qui se touchent)

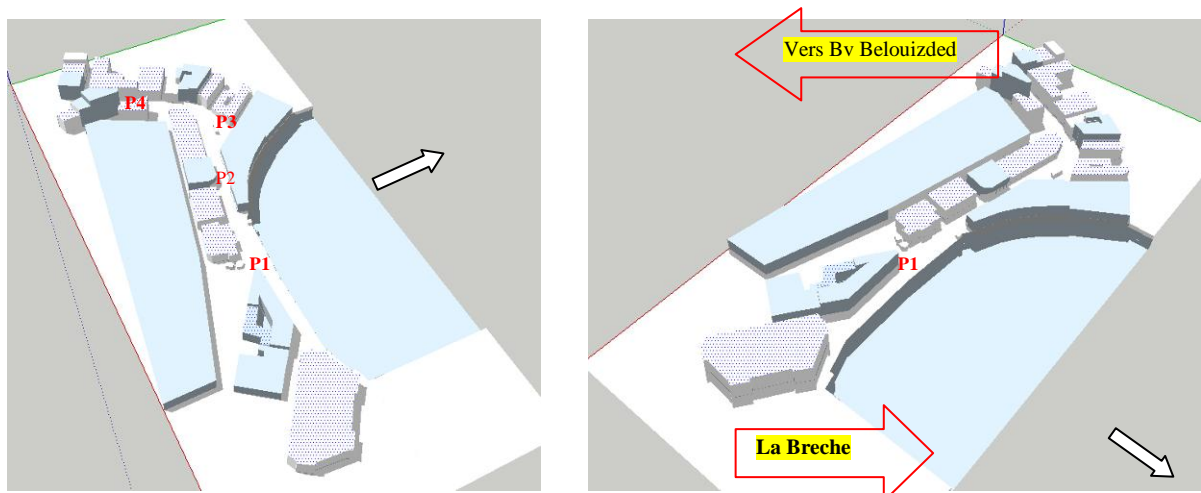


Figure VI.8 : Modèle MNT du site Boudjriou avec SketchUp 8, Auteur

Axe 2 : Boulevard Belouizded**Scénario n°1/**

Présence du modèle sans végétation. La simulation sera effectuée dans le but de vérifier les paramètres de la géométrie de la rue sans élément d'aménagement susceptible d'améliorer la qualité de l'ambiance (tableau VI.1) dont le rapport H/L de 0.4 0.6, 0.9. 1.13 et 1.34 respectivement (voir calculs Annexe 2) avec les orientations N-S et NO-SE.

Scénario n°2/

Ce scénario correspond à l'état actuel de l'axe l'existence de la végétation : deux rangées d'arbres de type mélia (masse foliaire de 70%, $D_a = 7m$ et $H = 2.5m$) dans la rue sur les deux côtés

Scénario n°3/

Ce scénario correspond la présence de la végétation sur le coté droit de la rue (une seule rangée d'arbres d'alignement coté Est)

Scénario n°4/

Ce scénario correspond la présence de la végétation sur le coté gauche de la rue (arbres d'alignement coté Ouest)

Scénario n°5/

Ce scénario correspond la présence de la végétation dans le milieu de la rue

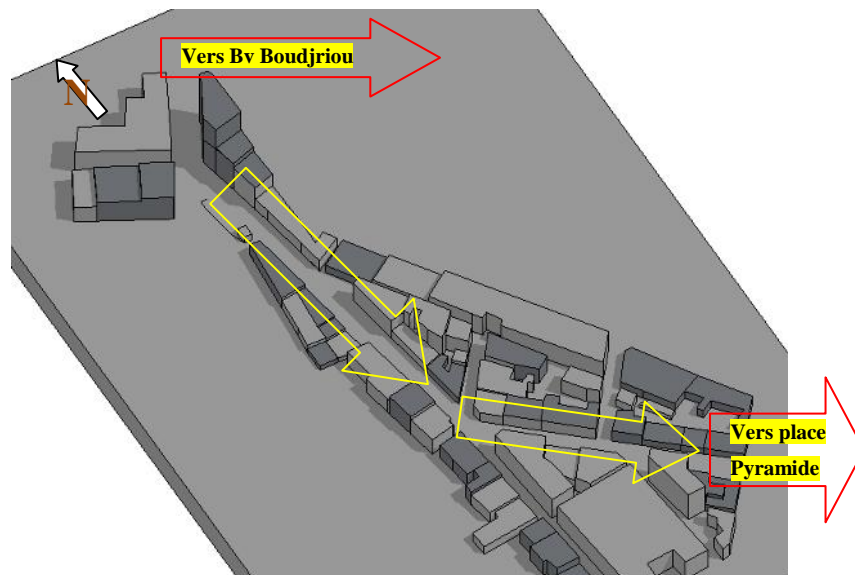


Figure VI.9 : Modèle MNT de l'axe Belouizded avec SketchUp 8. Auteur

Tableau VI.1: Présentations des différents scénarios à simuler selon la configuration de l'espace et son aménagement.

H/L	Sénario1 Sans végétation	Sénario2 2 rangées d'arbres	Sénario3 1 rangée d'arbres côté Ouest	Sénario4 1 rangée d'arbres côté Est	Sénario5 1 rangée d'arbres centrale
0.6 (Nord-Sud)					
0.9 (NO-SE)					
0.4 (N-S)					
1.13 (N-S)					
1.34 (N-S)					

VI.3.2 Analyse des conditions d'ambiances

Une fois que les configurations spatiales à étudier sont définies, l'étape suivante consiste en la simulation numérique de la température de l'air, l'intensité d'énergie solaire absorbée et les températures radiantes moyennes en utilisant le logiciel Townscope. Les résultats obtenus sont expédiés en forme de don de fichiers descriptifs, pendant chaque heure, la valeur de la caractéristique solaire (w.m^{-2}), thermique ($^{\circ}\text{C}$) et visuelle (%) ou énergie (w.m^{-2}), aussi bien qu'une visualisation de la distribution de celui-ci dans l'espace. À l'extérieur Le confort thermique peut, ainsi, être évalué par le calcul de taux d'évaporation de sueur (gr/h), pendant chaque heure au cours du jour considéré et le calcul de la température ressentie par l'individu ($^{\circ}\text{C}$) et la température radiante ($^{\circ}\text{C}$). La troisième étape consiste à mettre les sorties de la simulation par le logiciel TownScope en entrée du logiciel RayMan pour évaluer le confort thermique par l'indice de confort PET et PMV. La dernière étape consiste en analyse des résultats obtenus. Elle concerne l'effet de la configuration spatiale et de la végétation sur les ambiances thermiques et visuelles.

Différents types de représentation peuvent être utilisés, comme des cartes délimitant les zones de confort dans l'espace ou des graphes représentant l'évolution des conditions de confort dans une dynamique de parcours.

Ainsi, en appliquant le programme de calcul des températures radiantes moyennes en extérieur et le programme de calcul des indices de confort il nous est possible de représenter pour chaque maille de la scène étudiée les valeurs suivantes :

- La température de l'air équivalente à la température radiante moyenne T_{mrt}
- La température ressentie (sensation température).
- Le taux de sueur régulatrice déterminé par le bilan énergétique appliqué à l'individu.

Paramètres d'entrée pour simulation

- Façades avec un albédo moyen sont en couleur jaune: $\lambda = 0.9 \text{Wm}^{-1} \text{K}^{-1}$, $\rho = 2300 \text{ hgm}^{-3}$, épaisseur = 0.3m, $C_p = 960 \text{ J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$, $\varepsilon = 0.9$.
- Le sol est composé de couleur clair l'asphalte: $\lambda = 0.75 \text{Wm}^{-1} \text{K}^{-1}$, $\rho = 2100 \text{ hgm}^{-3}$, épaisseur= 0.2m, $C_p = 870 \text{ J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$, $\varepsilon = 0.9$.

- La température de référence surfacique du sol est fixé à une température moyenne de l'air Durant une journée à 1m 10 de hauteur = 33 °C (Juillet 15).
- Le coefficient d'échange par convection de conditions de faible vent = 10Wm⁻² k⁻¹ (Juillet 15).
- Le métabolisme en met (1 met = 58.2 W/m²). • Clothing en clo (0.45: Vêtements d'été)

VI.3.3 Présentation du logiciel RayMan 1.2

Le modèle RayMan estime les flux du rayonnement en courte et grande longueur d'onde sur le corps humain. Le calcul de la température moyenne radiante T_{mrt} , ainsi que l'évaluation des conditions bioclimatiques urbaines par le calcul des indices du confort thermique PMV, PET basé sur la méthode MEMI.

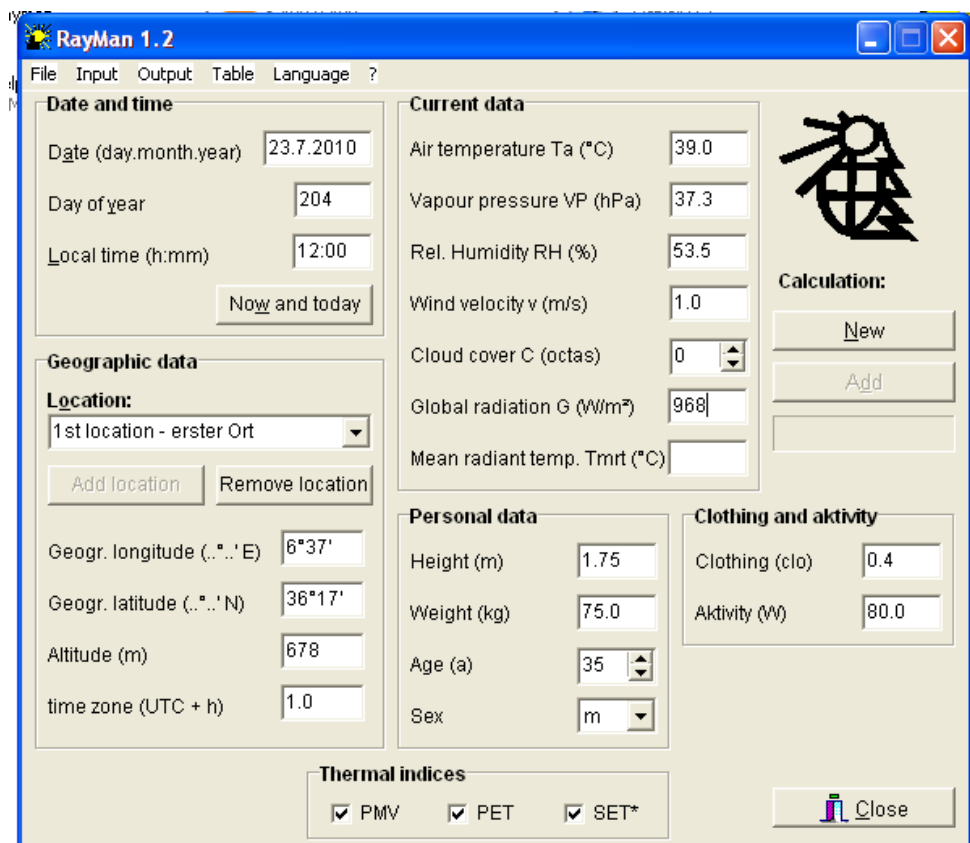


Figure VI.10: Fenêtre principale de RayMAN lors de la simulation du vcas d'étude.

Source : Auteur

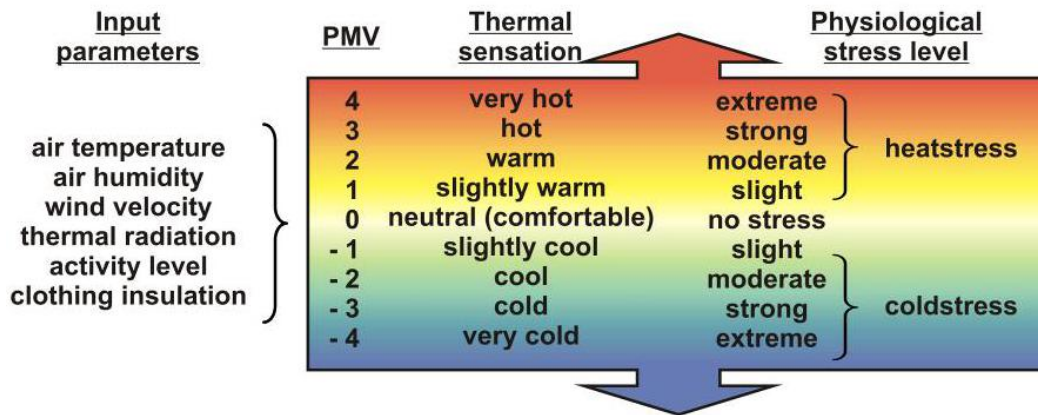


Figure VI.11 : Les paramètres d'entrée pour le calcul du PMV (Predicted mean vote) et le PET (Physiological equivalent temperature) pour les différentes sensations thermiques et niveau de stress humain. (L. ÉGERHÁZI, N. KÁNTOR, and Á. GULYÁS, 2009)³

VI.4 Interprétations des résultats

VI.4.1 Validation des résultats de mesures

Il est remarquable sur le graphe de la figure VI.12 une grande concordance entre les valeurs des radiations solaires globales mesurées dans les points P1, P2, P3, P4, P7 et P9 et celles estimées par le logiciel de simulation TownScope3.1. La corrélation est de $R^2= 0.96$

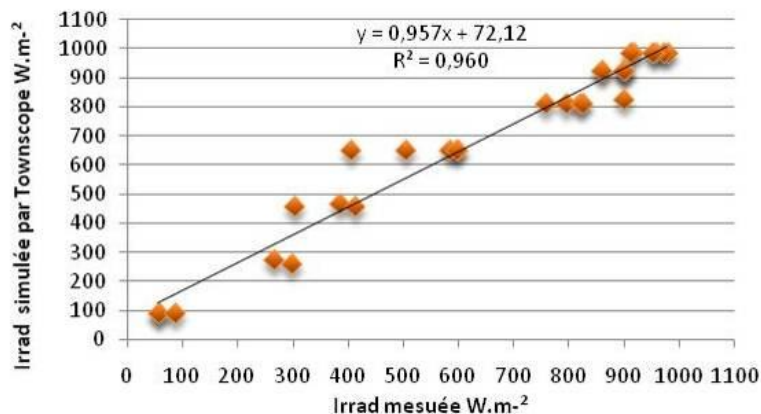


Figure VI.12 : Corrélation entre les valeurs des radiations solaires mesurée et celles estimées des par TownScope3.1. Source : Auteur

³ - Égerházi L., Kántor N., and Gulyás Á.. Investigation Of Human Thermal Comfort By Observating The Utilization Of Open Air Terraces In Catering Places– A Case Study In Szeged. Acta Climatologica Et Chorologica Universitatis Szegediensis, Tomus 42-43, 2009, 29-37

VI.4.2 Interprétations des résultats de l'axe1 (Boudjriou)

VI.4.2.1 Radiation solaire totale et directe le 15 Juillet dans l'axe1

La radiation totale (directe, diffuse et réfléchi) pour le Scénario1, dans un solstice d'été au midi montre une diversité radiative des espaces (figure VI.13, figureVI.14 et figureVI.15); des passages et des rues selon une orientation Est-Ouest, dont la radiation atteint une valeur entre 1222 Wh.m⁻² et 3259 Wh.m⁻². Ces valeurs ont une relation plus grande avec le rapport H/L égale à 1 et l'ouverture de l'espace au ciel SVF plus important. Les passages et des rues avec orientation Nord – Sud ont une proportion égale, la radiation est plus homogène en atteignant 818 Wh.m⁻² et 2453 Wh.m⁻² tout près de l'édifice.

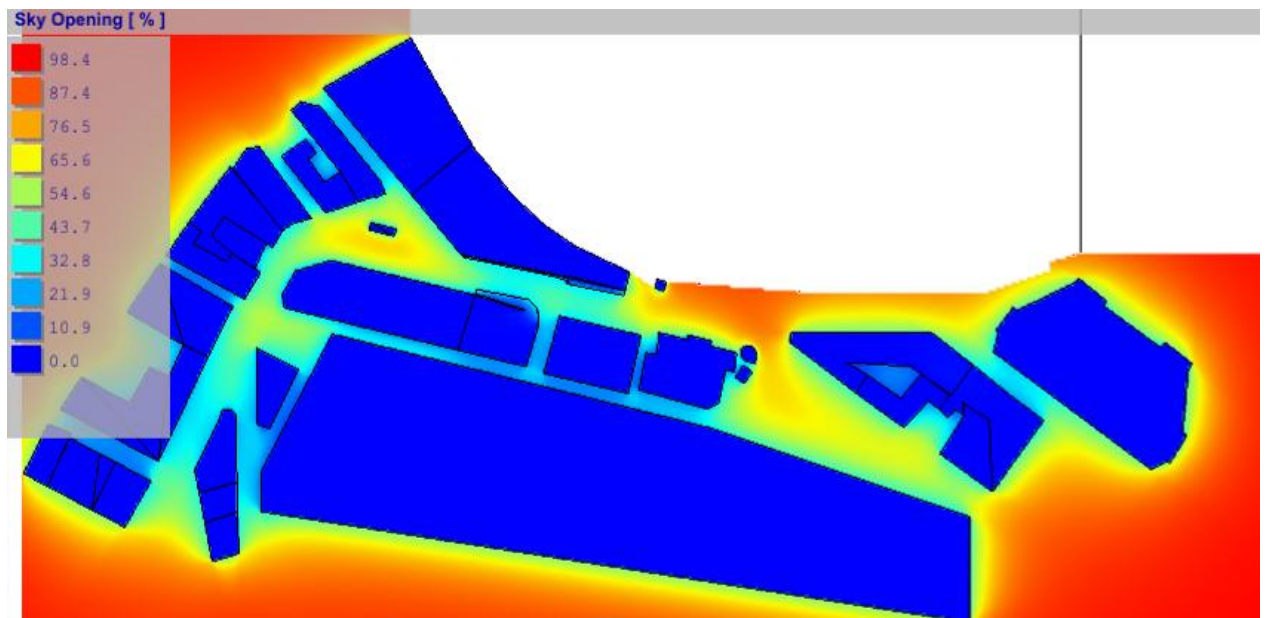


Figure VI.13 : Variation du SVF dans le site scénario 1

Quand le ratio H/L est moindre égale à 0.5 et le SVF est inférieur à 30% la radiation atteint une valeur de 2453Wh.m⁻² dans le sens Est l'Ouest et le Nord Sud. Quand le ratio se trouve entre 0.5 et 1 et un SVF entre 30 et 55%, la radiation arrive à 7360Wh/m².

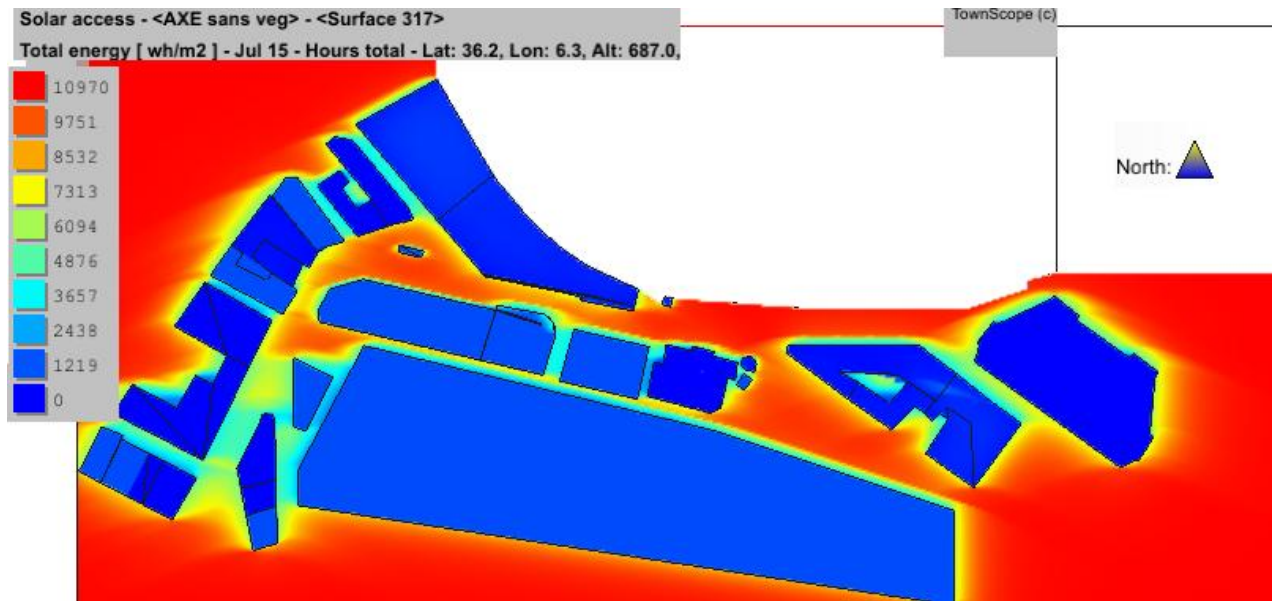


Figure VI.14 : Radiation solaire globale totale journée 15Juillet reçue dans l'axe1 scénario1

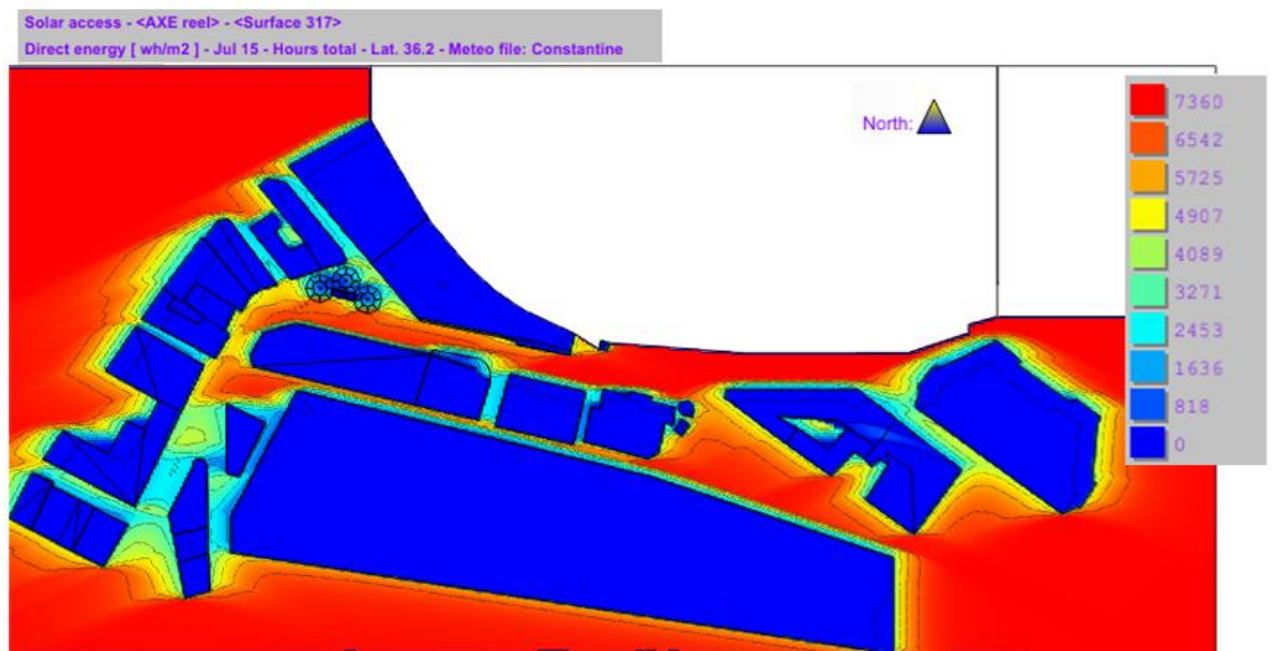


Figure VI.15: Radiation solaire direct totale reçue journée dans l'axe1 scénario2



Figure VI.16 : Radiation solaire globale à 12h le 15Juillet reçue dans l'axe1 scénario1

La radiation totale sur le tissu urbain est relativement homogène dans un solstice d'été à midi. Cette situation peut s'expliquer en fonction de la hauteur solaire qui atteint 79° , c'est pourquoi les ombres sont peu abondantes et courtes dans une période estivale à 12h00. Cependant, dans les espaces intermédiaires placés entre les typologies des édifices et entre espace dénudé et autre planté d'arbres il est possible de trouver de radiations moindres en faisant son usage plus confortable. Des espaces avec un ratio $H/L < 0.5$ et une ouverture au ciel $SVF < 30\%$, la radiation solaire total journée atteint la valeur de 5178 Wh.m^{-2} ; avec $0.5 < \text{ratio} < 1$ et une ouverture au ciel plus importante $30 < \text{svf} < 50\%$, elle peut atteindre une valeur de 9941 Wh.m^{-2} . Cette valeur peut être plus importante avec $\text{ratio} > 1$ et une ouverture au ciel supérieur atteint 13118 Wh.m^{-2} .

La présence de la végétation (voir figure VI.17) a modifié la quantité de radiation solaire dans les espaces ce qui influe sur la qualité des ambiances thermiques et visuelles. Dans les espaces ouverts où la radiation solaire est intense, les arbres jouent le rôle d'un toit d'ombre qui fait abaisser la radiation solaire totale de la journée par rapport un espace ouvert de 7151 wh.m^{-2} sous la couronne d'arbre et de 1788 w.m^{-2} à proximité de l'arbre dans l'orientation Est-Ouest côté de l'emplacement de l'arbre coté sud. La (figure VI.18) montre l'effet de la présence de la végétation sur l'abaissement de la température de l'air sous la couronne et dans l'environnement immédiat. Cette différence est de 3.35°C à 3.77°C sous la couronne et elle est de 0.83°C à 2.51°C dans l'espace adjacent selon d'axe1 de simulation.

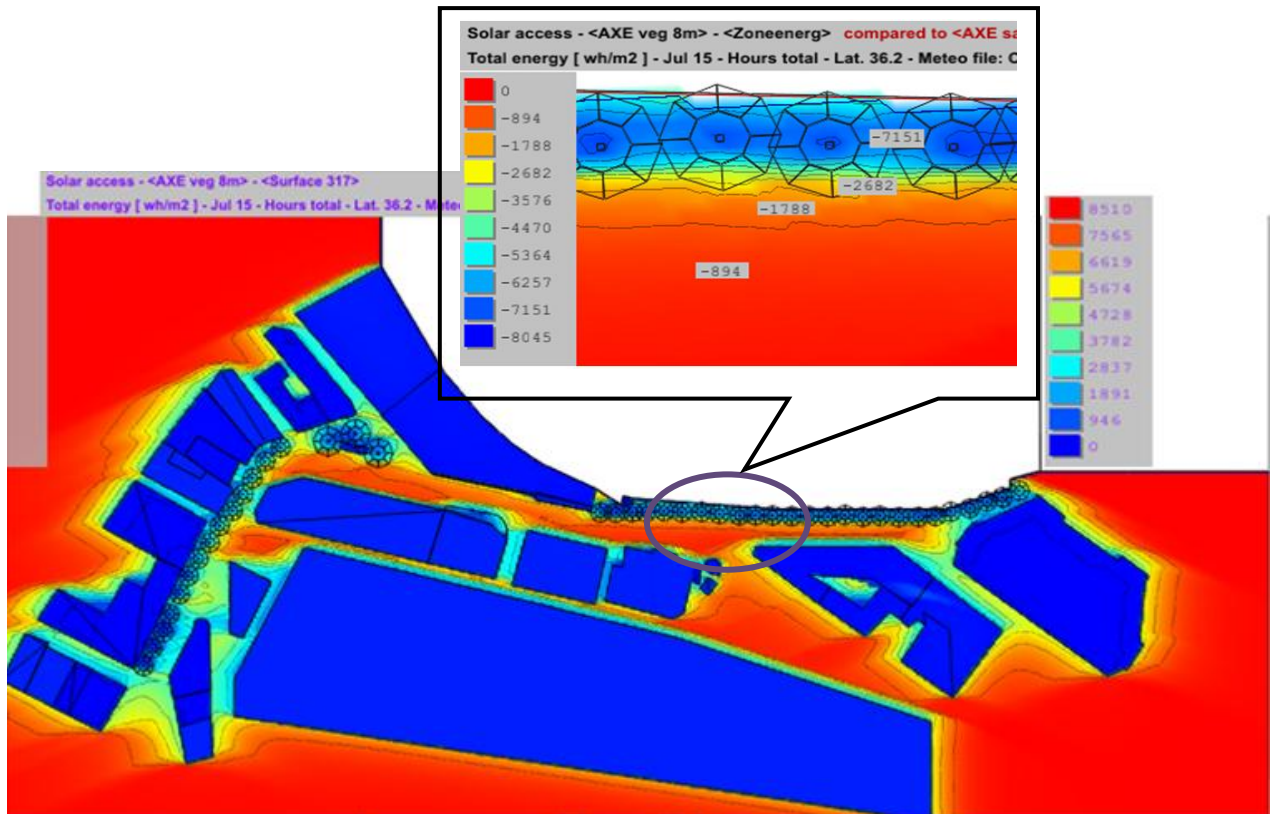


Figure VI.17: Radiation solaire globale totale journée 15 Juillet reçue dans l'axe1 scénario3

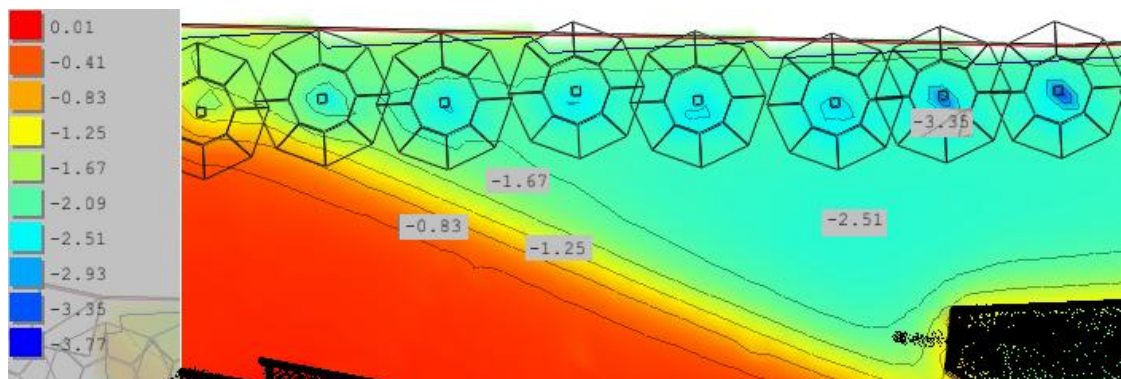


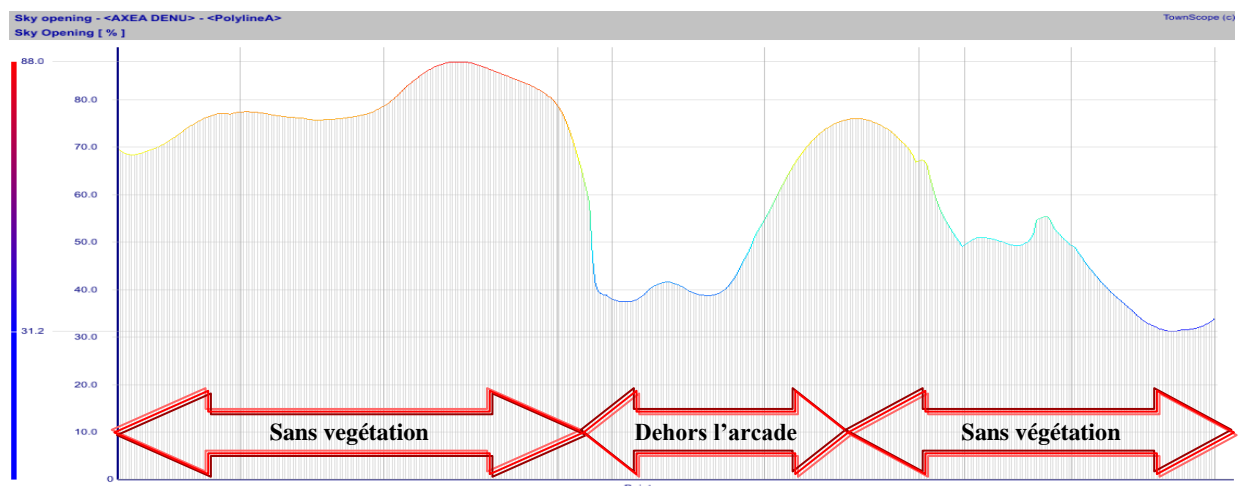
Figure VI.18 : Différence de Température de l'air entre scénario3 et scénario1 à 12h00 le 15 Juillet. Auteur.

VI.4.2.1 Radiations solaire et le confort dans le parcours

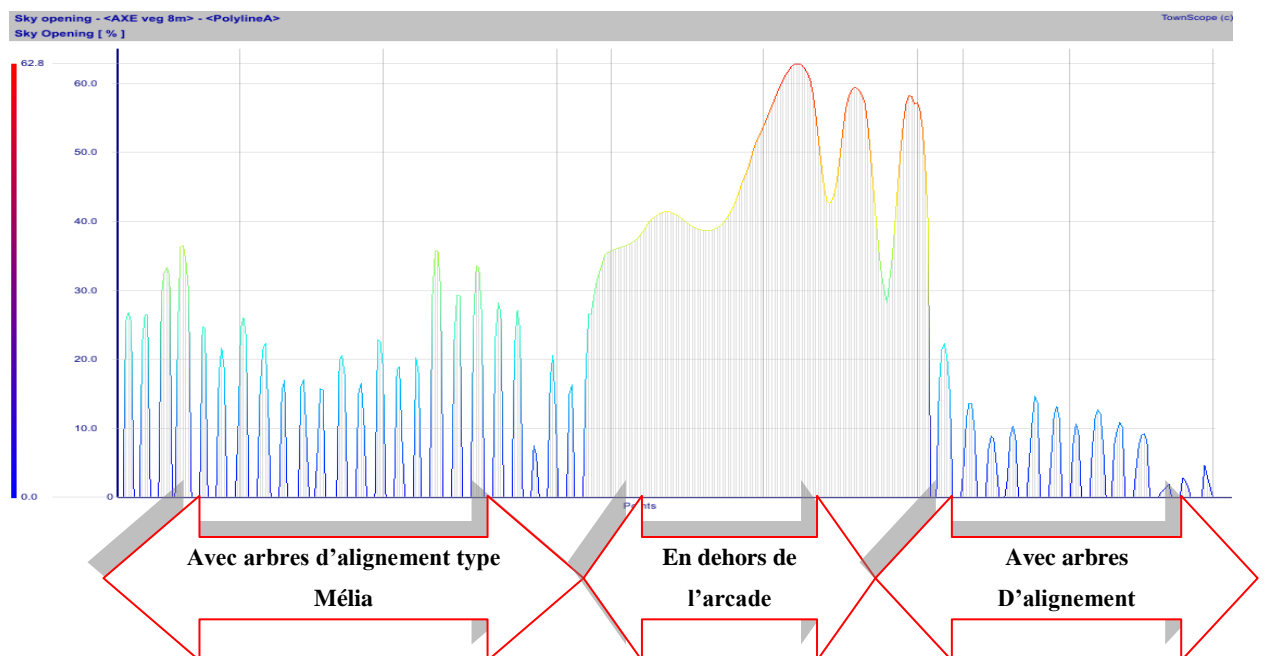
Le déplacement d'un individu dans l'espace urbain permet de mettre en avant les différences de situations de confort présentes dans un même lieu. En effet, la distribution des zones à fortes radiations solaires et des températures moyennes de surface dans une rue conditionnent les emplacements critiques où des conditions de stress thermique apparaissent. Par ailleurs, en situation de déplacement, la dimension dynamique du confort et d'ambiance peut être appréciée, pour cela des analyses du confort adaptatif peuvent se justifier.

Végétation et SVF

La présence de la végétation (arbres) dans l'espace public peut modifier selon la morphologie de l'espace son ouverture au ciel dont la couronne de l'arbre fait abstraction aux rayons solaires et minimise de sa pénétration dans l'espace. La figure VI.19 montre que les arbres en alignement dont les couronnes qui se touchent font abaisser l'ouverture au ciel de 95% à 53%, et donc créer une ambiance plus ou moins uniforme sous les couronnes d'arbres qui influent sur le degré d'appréciation du lieu.



a-Scénario1 Sans végétation



b-Scénario 3 avec végétation

Figure VI.19 : Ouverture au ciel (SVF) dans le parcours simulée. a- Scénario1 b- Scénario2

Radiation solaire totale le 15 Juillet à 12h00

De la comparaison des deux scenarios (figure VI.20 et figure VI.21), la végétation peut atténuer les radiations solaires avec une différence de 656wh .m⁻² à 978wh.m⁻² à 12h00 ce qui est important dans la création du confort et donne une qualité d’ambiance thermique. Situation difficile à maîtriser car les ombres sont peu abondantes et courtes dans une période estivale à 12h00 peut s'expliquer en fonction de la hauteur solaire qui atteint 79 °.

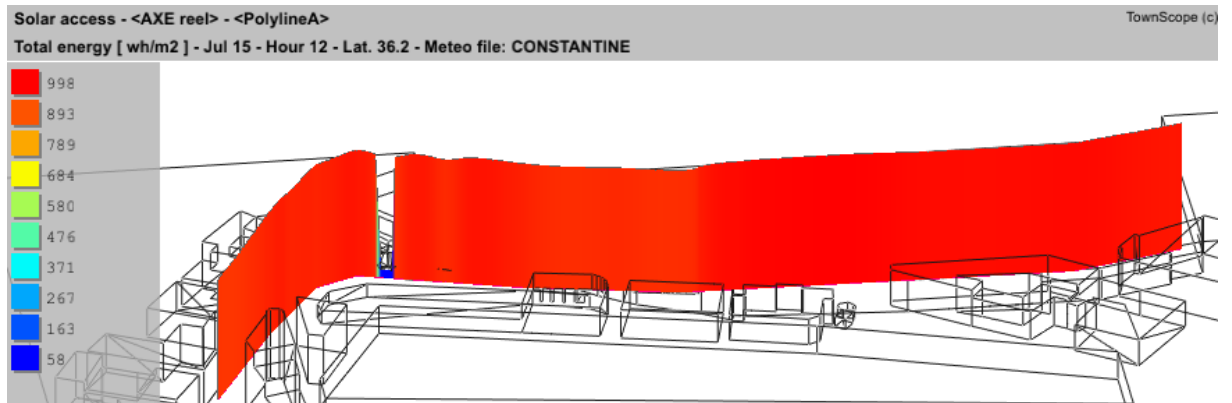


Figure VI.20 : Radiation solaire globale totale journée 15Juillet reçue dans le parcours sans végétation scénario 2

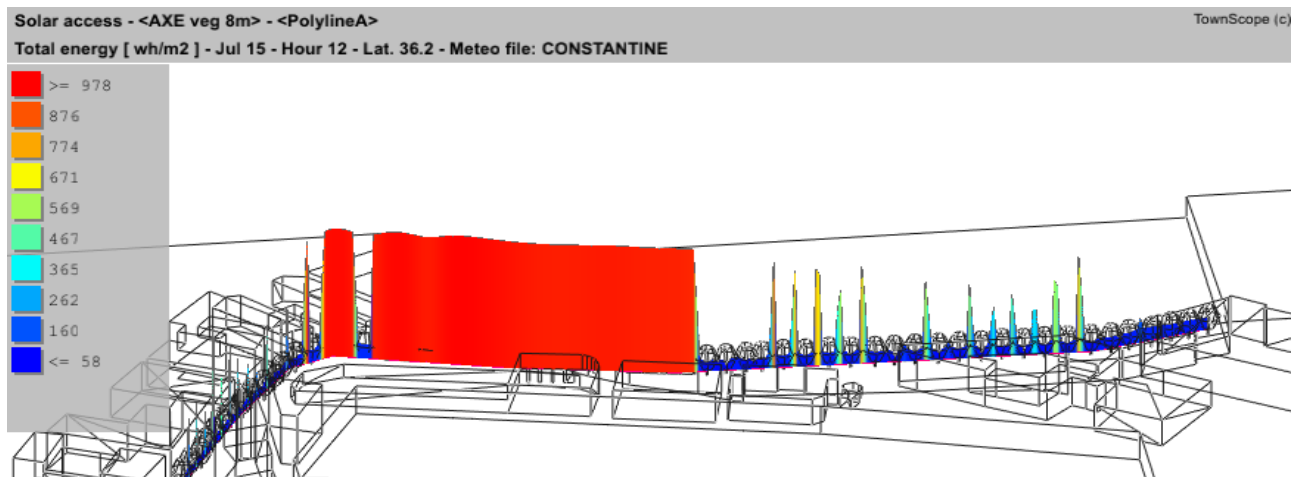


Figure VI.21 : Radiation solaire globale totale journée 15Juillet reçue dans le parcours avec végétation scénario 3

Durée d’enseillement

La durée d’enseillement en période estivale est responsable de l’échauffement de l’espace ainsi que l’inconfort ressenti.

La présence d'arbres d'alignement a modifié la durée d'ensoleillement par l'effet d'ombre portée et ce qui minimise les radiations solaires, et crée des ambiances plus raffinées dans un parcours plus valorisé. La figure VI.22 montre que sous la canopée d'un arbre la durée d'ensoleillement peut être réduite de 9h00 à 14h00 surtout aux heures où le soleil atteint la hauteur maximale.

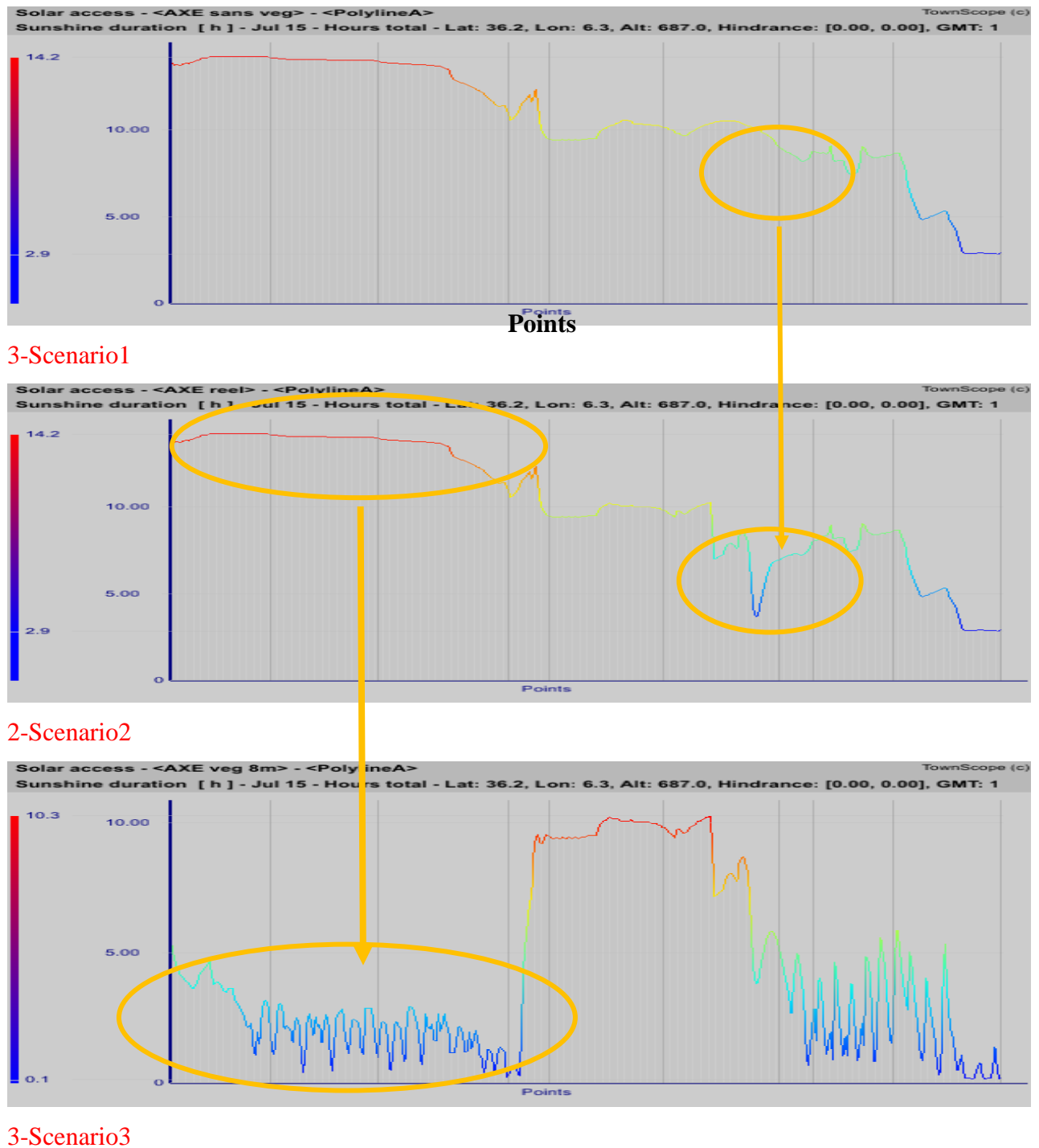


Figure VI.22 : Durée d'ensoleillement totale pour une journée d'été
 1- sans végétation Scénario1 2-état actuel Scénario 3-avec présence d'arbres Scénario3.

VI.4.2.2 Confort thermique dans le parcours

L'examen du taux d'évaporation de la sueur, le 15 juillet, note un inconfort thermique dans le parcours à 12h00, avec taux d'évaporation de sueur plus haut que 60 g/h (référence de confort d'après A.De Herde,2004) et ceci pour le scénario1.

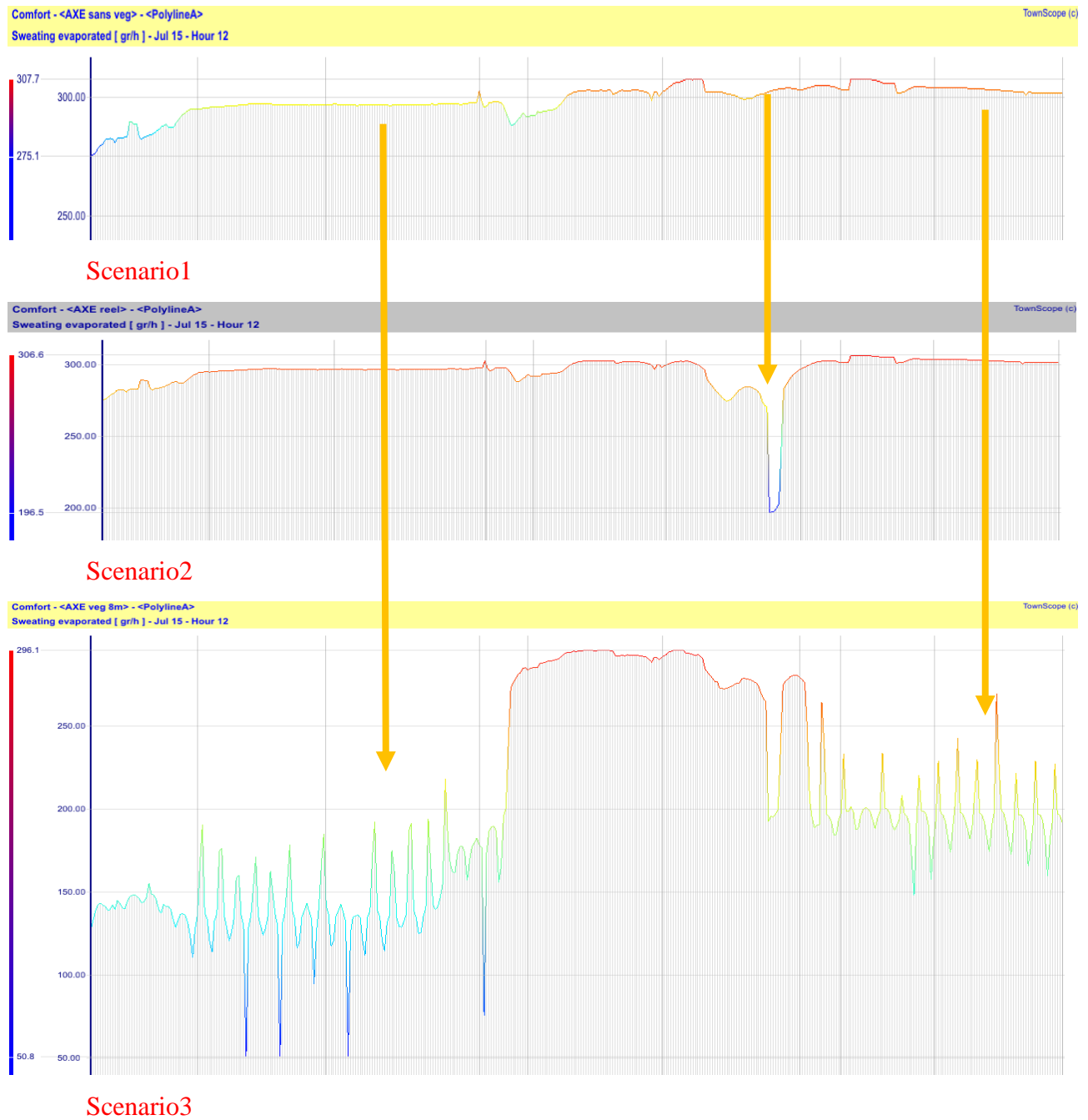


Figure VI.23 : Evaporation de la sueur du corps humain dans le parcours. Auteur

Les résultats de la simulation révèlent aussi l'importance de la présence des arbres d'alignement du parcours dans l'axe1 orienté Est-Ouest et ouvert côté Nord (Doe=1) dans l'abaissement du taux d'évaporation de la sueur de 145.1 gr/h à 160 gr/h entre sans arbres et avec présence d'arbres (Figure VI.23).

L'examen des résultats de la simulation de l'effet de la végétation du parcours à 12h00 sur les températures ressenties affirment une fois de plus l'importance de l'alignement des arbres. Un intervalle varie entre 48.9°C et 51.6 °C dans le parcours du scénario1 a été réduits par le rajout de la végétation à une valeur de 29.2°C à 40°C dans le même parcours scénario 3. Soit un abaissement de 11.6°C à 19.7°C ce qui marque l'amélioration du microclimat par la végétation(FigureVI.24).

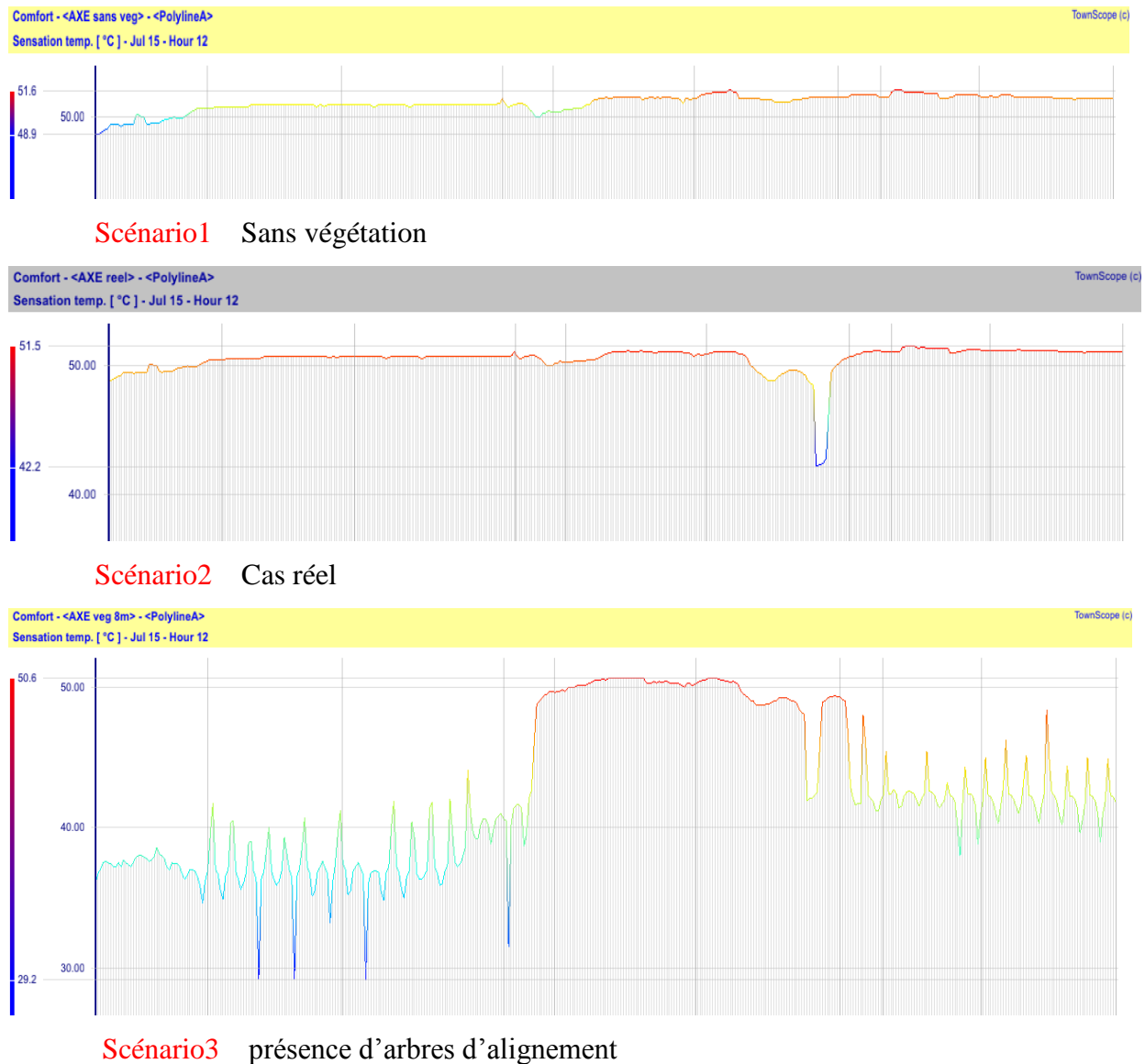


Figure VI.24 : Température ressentie dans le parcours.

Corrélation entre SVF et Irradiation solaire, indices de confort

Figure VI.25 montre une corrélation forte positive entre l'irradiation et le(SVF) degré de l'ouverture de l'espace au ciel avec $R^2=0.743$. L'ouverture au ciel permet aux rayonnements solaires de pénétrer à l'intérieure de l'espace, ainsi que son échauffement. Ce qui cause l'inconfort ressenti. Une corrélation positive entre SVF et température ressentie $R^2 = 0.736$.

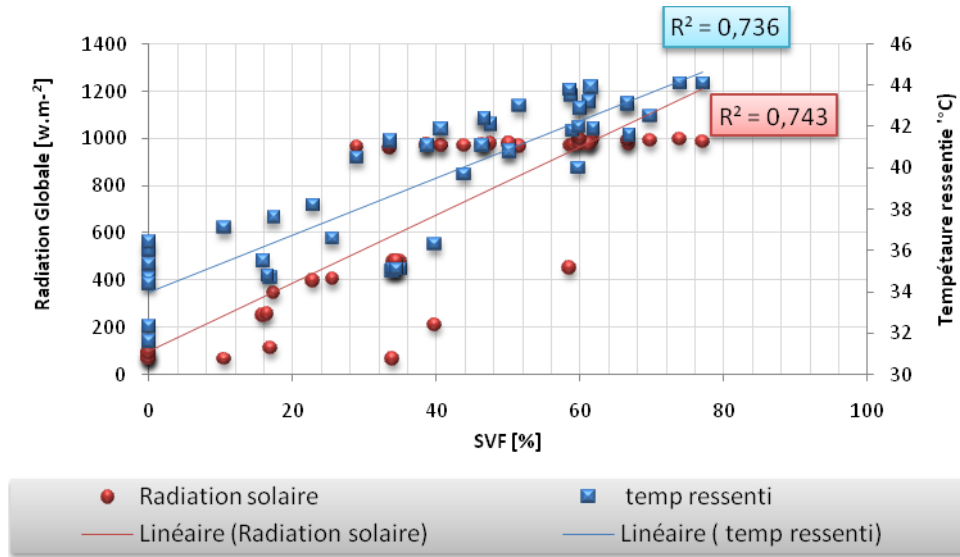


Figure VI.25 : Corrélations entre SVF et irradiation solaires, température ressentie

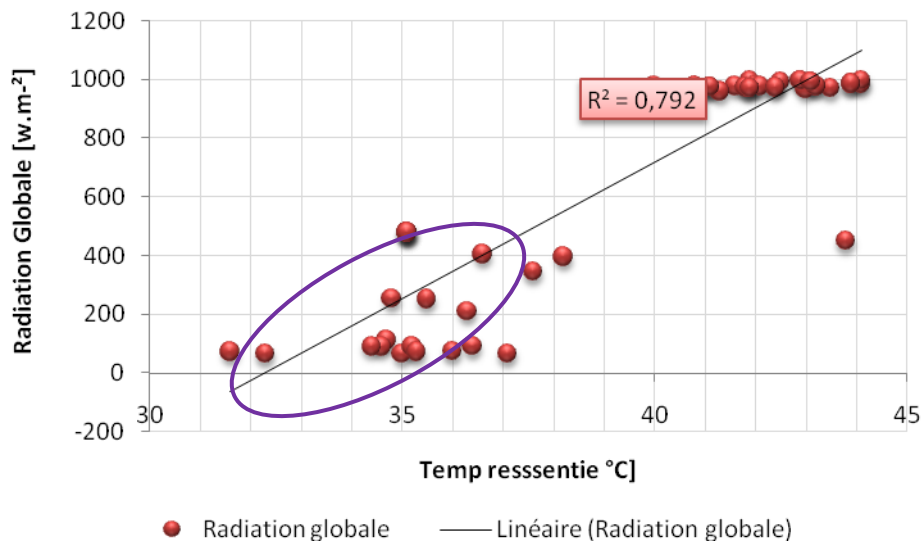


Figure VI.26 : Corrélation entre température ressentie et irradiations solaires

VI.4.2.3 Eclairage énergétique durant le parcours

L'éclairage énergétique direct a été simulé pour trois situations, parcours sans végétation, avec végétation d'alignement espacé et végétation avec couronne qui se touche. (figure VI.27), (Figure VI.28).

La présence d'arbres d'alignement crée des ambiances visuelles agréables, due à la transmission et filtrage de la lumière par la masse foliaire des arbres Wilkinson D. M (1992).

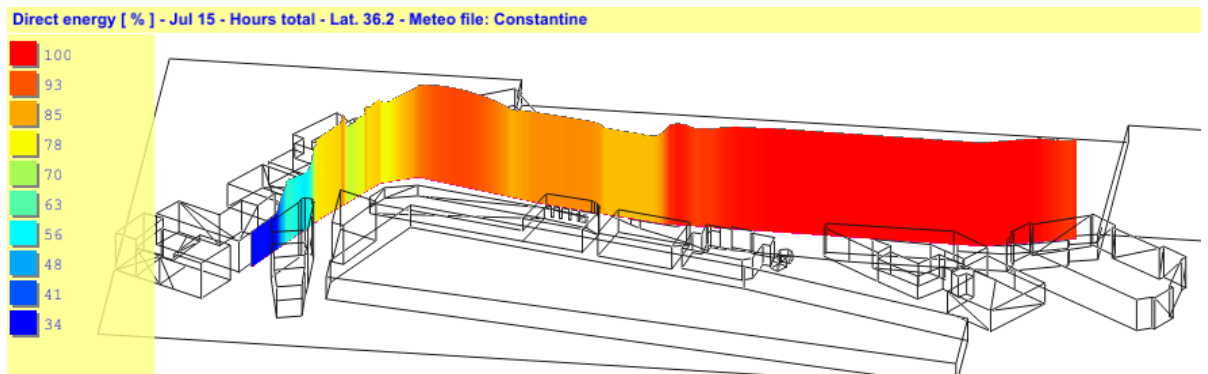


Figure VI.27 : Eclairage énergétique direct total journée reçus selon le parcours sans végétation

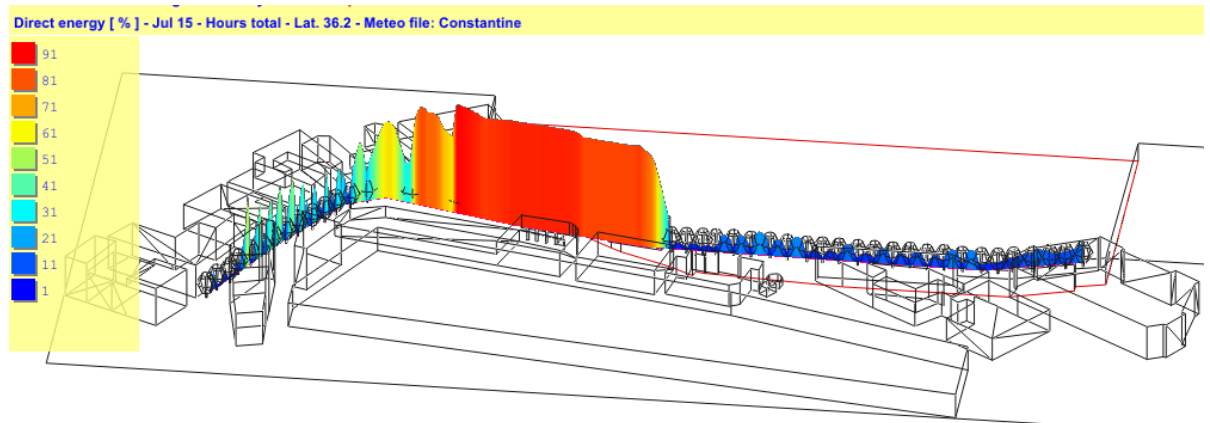


Figure VI.28 : Eclairage énergétique direct total journée reçus selon le parcours avec arbres d'alignement espacé de 8m

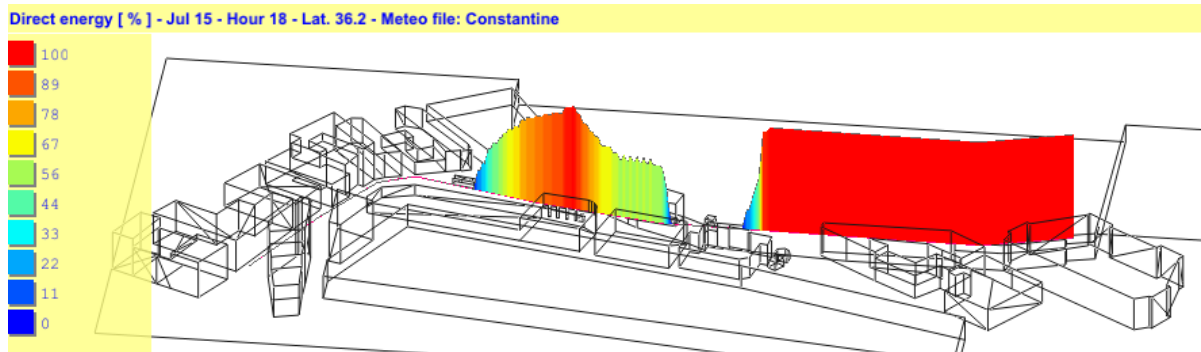


Figure VI.29 : Eclairage énergétique à 18h00, Hauteur solaire de 12° (parcours sans végétation)

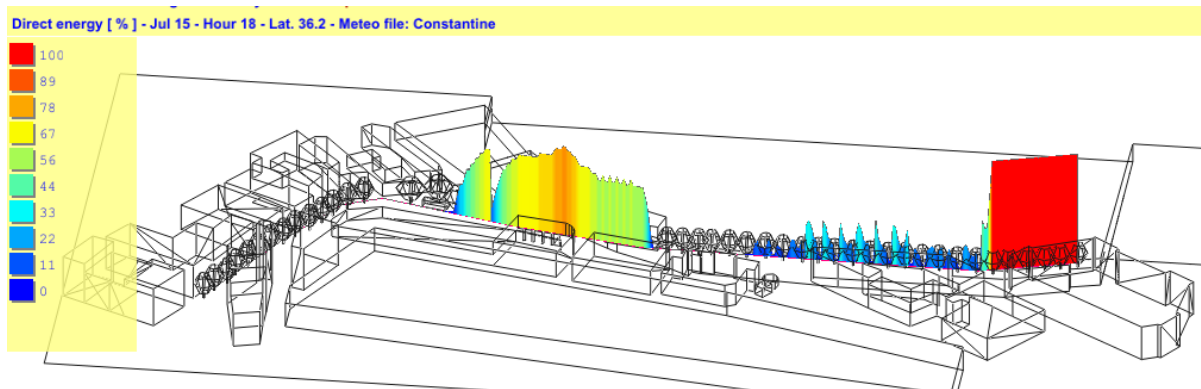


Figure VI.30: Eclairage énergétique à 18h00, Hauteur solaire de 12° (parcours avec végétation)

Le végétal fait abaisser le niveau d'éclairage de 60% à 100% selon la direction du déplacement, cet abaissement est dû à la présence d'arbres dans le champ visuel de l'homme. L'éclairage énergétique est diminué à 11% pour un alignement dense ce qui est favorable à 18h pour le confort visuel, l'atténuation et la filtration des rayons solaires directs d'une hauteur de 12° dans le champ visuel vers l'ouest pour ce type de climat durant la période d'été.

VI.4.2.4 Comparaison Point dénudé de la végétation et avec végétation

L'amélioration du microclimat par l'introduction des arbres d'alignement dans le parcours a été appréhendée par plusieurs recherches à travers le monde (voir Chapitre III). L'amélioration des conditions microclimatiques en tant que réducteur du facteur de vue du ciel, en augmentant le flux latent par rapport aux flux sensibles, en diminuant la durée d'ensoleillement de l'espace ; tous cela participe dans la création des microclimats favorable

voir une qualité d'ambiance plus raffinée. Le type d'arbre choisi pour la simulation est d'espèce caduque (*Mélia, Sophora, murier*) permettant un ensoleillement recherché en période hivernale et l'interception des radiations en période estivale.

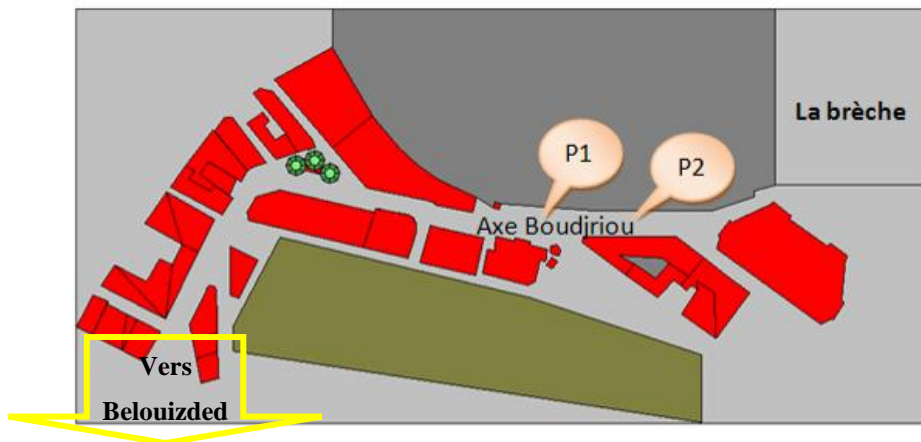


Figure VI.31 : Choix des points pour simulation de comparaison selon la configuration de l'espace

Tableau VI.2 : Projection stéréographique du point de simulation sans végétation

Configuration de l'espace	Accès du soleil	Projection stéréographique verticale	Projection stéréographique horizontale
	<p>P1</p> <p>Projection: Solar path Latitude: 36.2 View point: [272.803984 124.04 1.50] Ray: 200.00</p>	<p>Projection: Stereographic View point: [272.803984 124.04 1.50] Target point: [0.00 0.00 1.00] Ray: 200.00</p>	<p>Projection: Stereographic View point: [272.803984 124.04 1.50] Target point: [272.80 124.04 2.50] Ray: 200.00</p>
	<p>P2</p> <p>Projection: Solar path Latitude: 36.2 View point: [312.899994 122.53 1.50] Ray: 200.00</p>	<p>Projection: Stereographic View point: [312.899994 122.53 1.50] Target point: [0.00 0.00 1.00] Ray: 200.00</p>	<p>Projection: Stereographic View point: [312.899994 122.53 1.50] Target point: [312.89 122.53 2.50] Ray: 200.00</p>

Tableau VI.3 : Projection stéréographique du point de simulation avec végétation

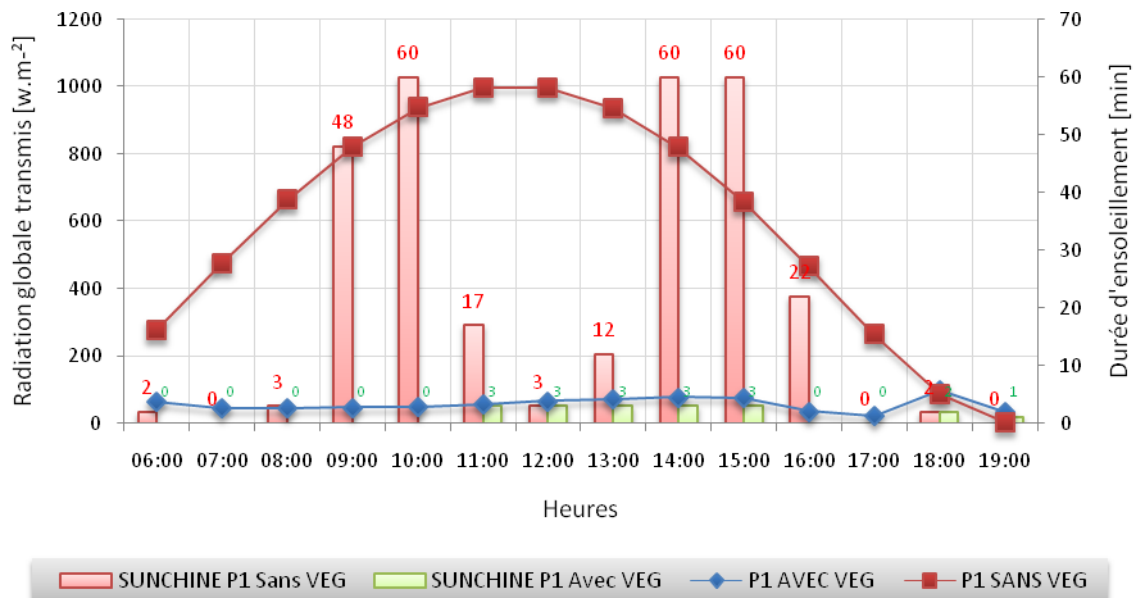
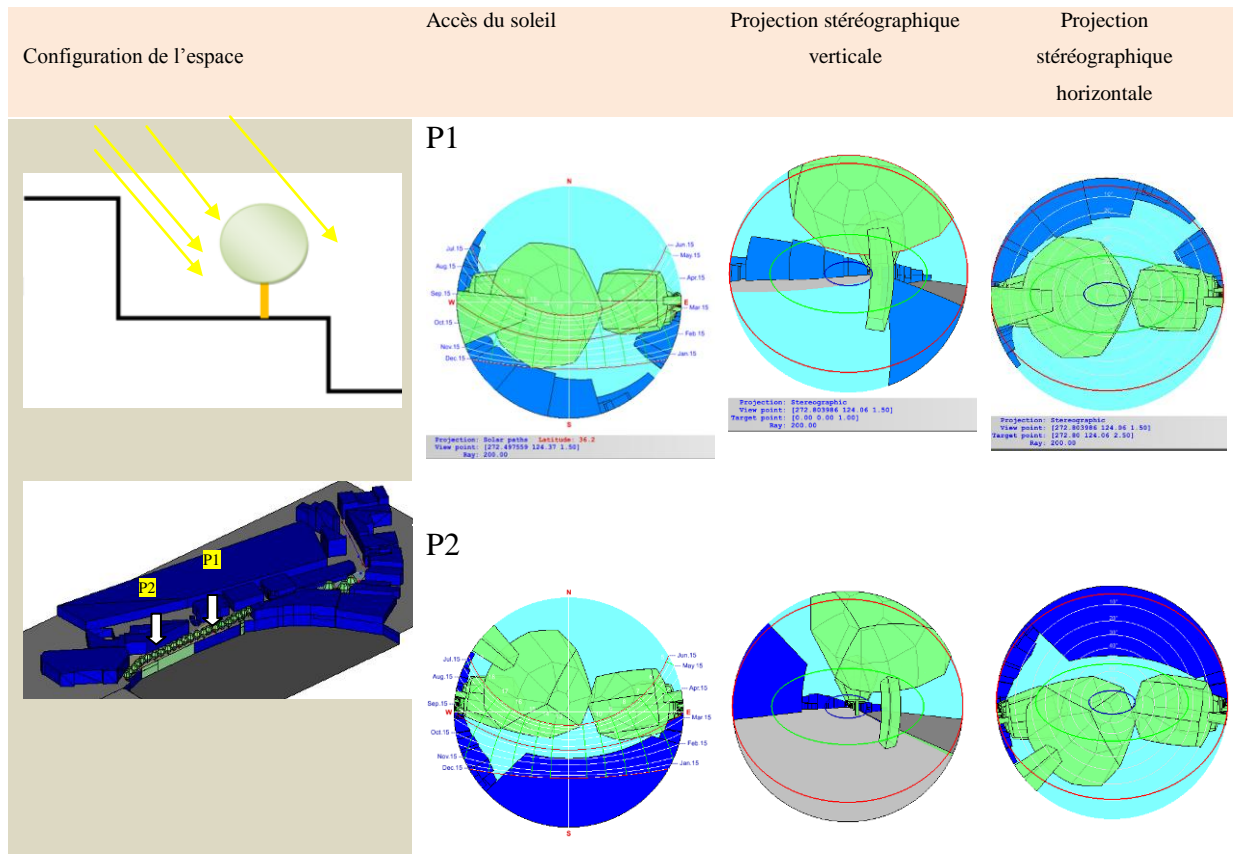


Figure VI.32 : Variation de la radiation solaire globale transmis et la durée d'ensoleillement du point (P1) simulé sans et avec la végétation

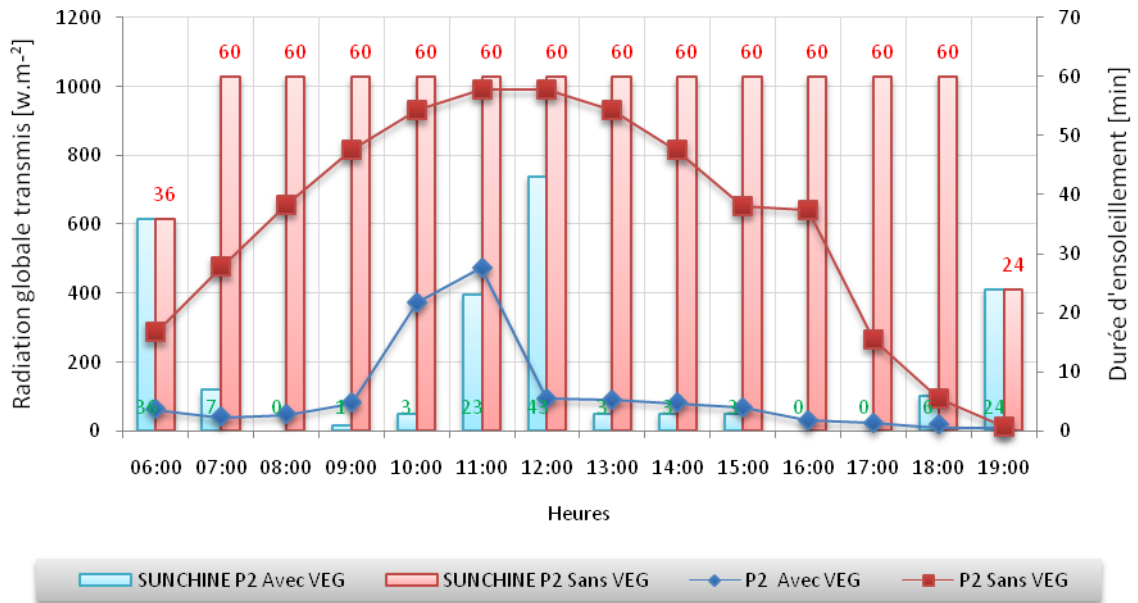


Figure VI.33: Variation de la radiation solaire globale transmise et la durée d'ensoleillement du point (P2) simulé sans et avec la végétation

La présence des arbres modifie la quantité de radiation solaire transmise et la durée d'ensoleillement. La quantité de radiation peut être diminuée de 525w.m⁻² et 944w.m⁻² à 11h00 et à midi et cette valeur est très importante dans la qualification de l'ambiance thermique et visuelle par l'individu. Cette valeur varie selon la configuration (ouverture au ciel et degré de fermeture) de l'espace et la position de l'arbre. Ces conclusions ont été vérifiées par T.-P. Lin et al (2012) , L Shashua-Barre et M E Hoffman (2000).

La couronne de l'arbre (type Mélià et Sophora Da=10, Htr=2.5 , Forme couronne ronde, opacité de 70%) peut intercepter la radiation solaire à 98% et réduire la durée d'ensoleillement de l'espace de 0.6 à 1heure (voir figure VI.34), qui rejoint les conclusions de B.Kotzen (2003).

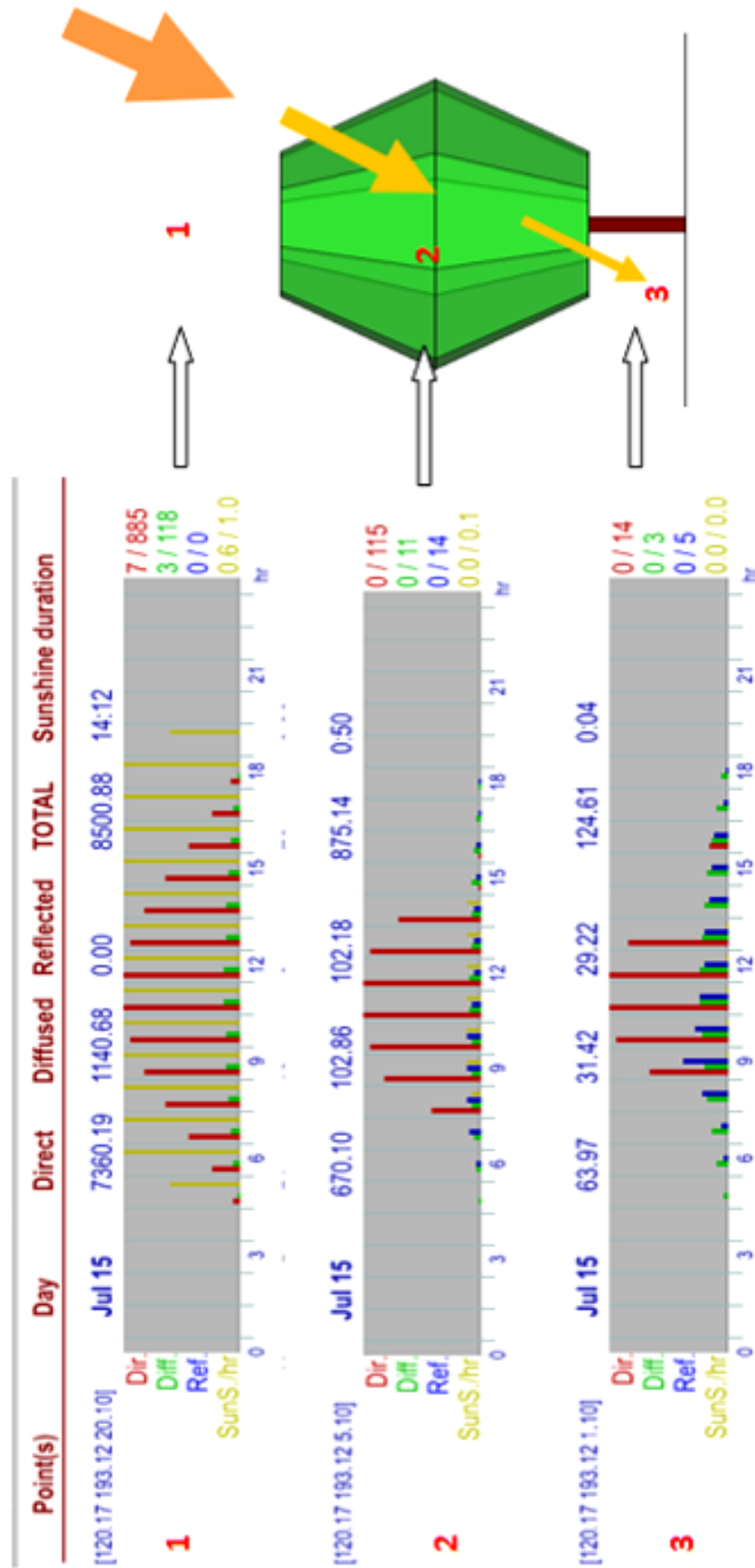


Figure VI.34 : Transmission de l'irradiation solaire à travers la couronne. D'arbre Type mélia, et Sophora
1. Sur la couronne, **2.** Au niveau de la couronne, **3.** Sous la couronne.

Effet de la végétation sur l'ambiance thermique

De la comparaison des deux scénarios (sans présence d'arbres et avec arbres d'alignement) on peut déduire que l'introduction de la végétation peut abaisser le taux d'évaporation de la sueur durant la période des canicules de 185.9 gr/h à 12h00 et de 216 gr/h à 14h00 et 15h00 (Figure VI.35)

Pour la température ressentie (sensation de la température) peut être diminué de 13.6°C à 12h00 ce qui montre la qualité d'ambiance dans la présence d'arbres d'alignement. Pour la température de l'air le point végétalisé, la température ressentie peut être diminuée jusqu'à 6.5°C ce qui rejoint les résultats de CSB Grimmond et al (1993), B.Kotzen (2003) et M. F. Shahidan et al (2010).

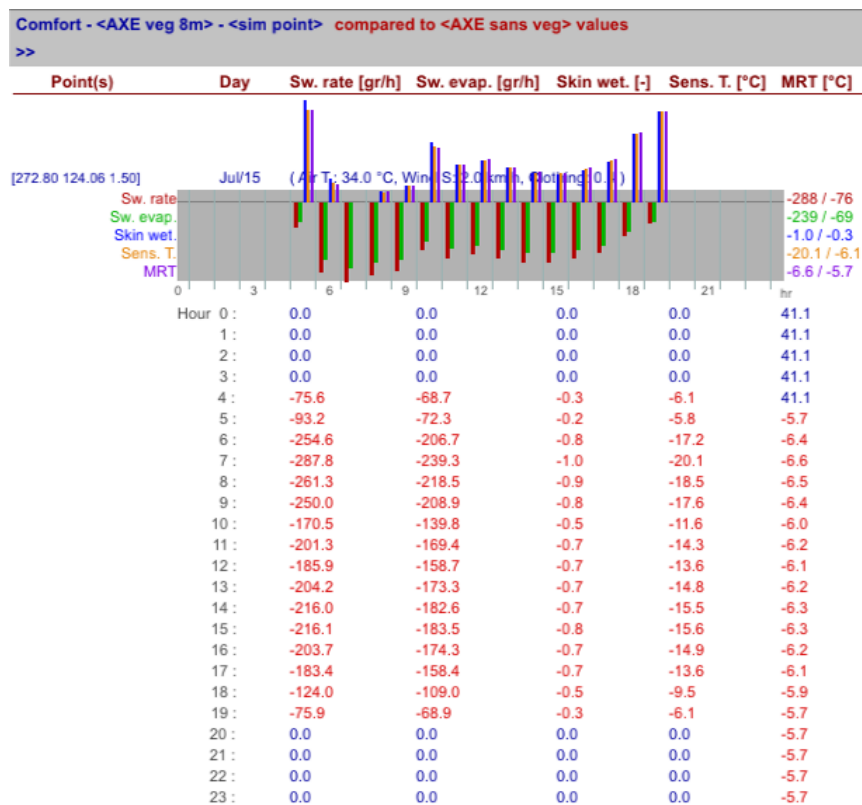


Figure VI.35: Comparaison du confort du point simulé P1 (sans et avec végétation)

Effet de la végétation sur la PET et le PMV

La présence du masque végétal augmente le niveau de confort thermique dans l'espace (Figure VI.36) et (Tableau VI.4). La température physiologique équivalente (PET) dans l'espace sans végétation présente de 8h00 à 17h00 une sensation de chaleur extrême ce

qui marque l'inconfort ressenti. La végétation par l'effet du masque des couronnes d'arbres fait abaisser ce stress physiologique à un stress de chaleur modéré durant la journée d'été. La température physiologique équivalente PET maximal est de 58.1 °C à 12:00h pour la situation sans végétation, par contre elle est de 34.1 °C à 12h00 pour la situation avec présence d'arbres l'orientation ce qui explique l'effet de toit protégeant des rayonnements solaires hauts dans le ciel.

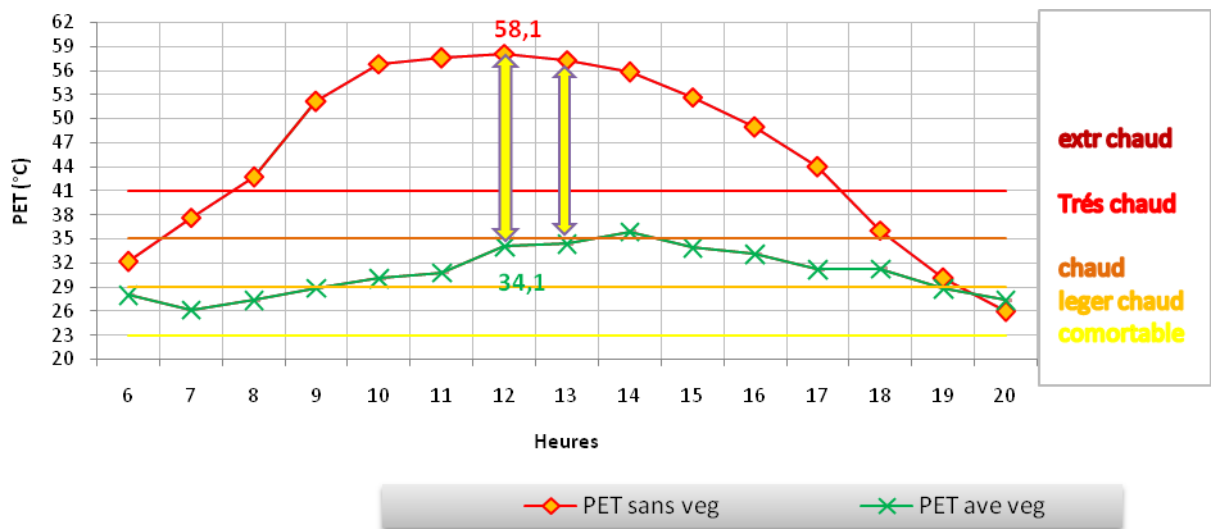


Figure VI.36: Variation de la PET en situation réel et avec la présence de la végétation.

Tableau VI.4 : Niveau de stress physiologique pour les deux situations sans et avec végétation.

	Sans végétation	niveau de stress physiologique	Avec végétation	niveau de stress physiologique
6 :00	32,2	Stress de chaleur modéré	27,8	Leger stress de chaleur
7 :00	37,7	Ford stress de chaleur	26,1	Leger stress de chaleur
8 :00	42,7	Stress extrême de chaleur	27,3	Leger stress de chaleur
9 :00	52,1	Stress extrême de chaleur	28	Leger stress de chaleur
10 :00	56,8	Stress extrême de chaleur	29,1	Stress de chaleur modéré
11 :00	57,5	Stress extrême de chaleur	29,9	Stress de chaleur modéré
12 :00	58,1	Stress extrême de chaleur	33,2	Stress de chaleur modéré
13 :00	57,3	Stress extrême de chaleur	33,6	Stress de chaleur modéré
14 :00	55,8	Stress extrême de chaleur	35,1	Stress de chaleur modéré
15 :00	52,7	Stress extrême de chaleur	33,6	Stress de chaleur modéré
16 :00	48,9	Stress extrême de chaleur	33,1	Stress de chaleur modéré
17 :00	44	Stress extrême de chaleur	31,1	Stress de chaleur modéré
18 :00	36,1	Stress extrême de chaleur	31,3	Stress de chaleur modéré
19 :00	30,1	Stress de chaleur modéré	28,7	Leger stress de chaleur

La Figure VI.37 montre l'indice *PMV* pour la zone piétonnière à 1,5 m au-dessus du sol, durant la journée de Juillet dans deux situations différentes : station sans végétation et station avec présence d'arbres d'alignement.

Si l'on observe quelles sont les parties de la zone piétonnière qui ont une valeur de l'indice *PMV* inférieur à 3 (la zone de confort correspond à des valeurs de l'indice *PMV* inférieures à 3), on constate que ces zones correspondent notamment aux parties des surfaces ombragées par les arbres et les bâtiments.

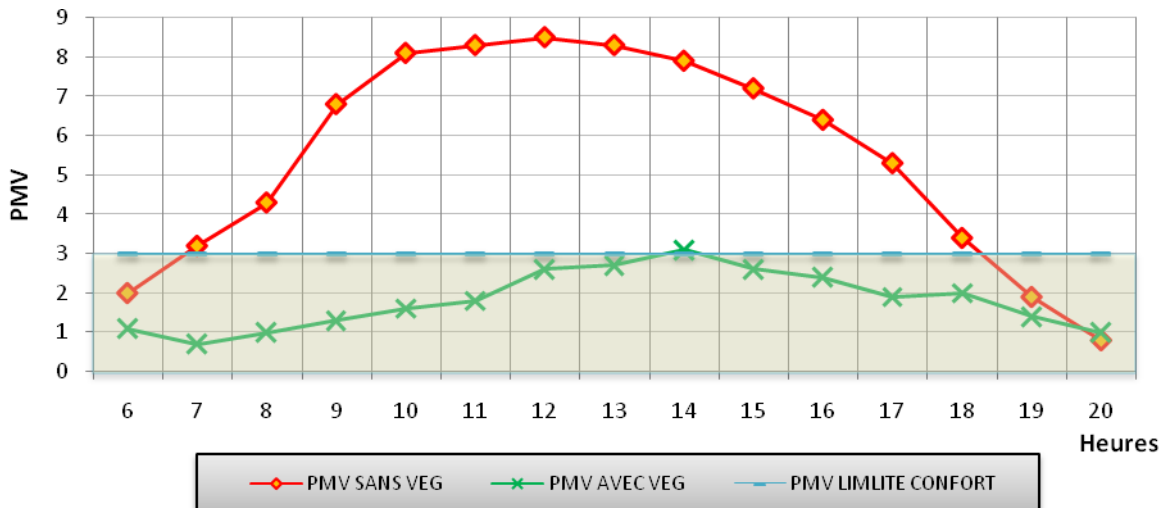


Figure VI.37 : Variation des valeurs de *PMV* en situation réel et avec la présence de la végétation.

Effet de la végétation sur la température moyenne radiante

La température moyenne radiante est un paramètre important affectant l'organisme de l'être humain. Elle exprime l'effet radiatif de l'ensemble de l'environnement. La figure VI.38 montre que la *Tmrt* varie avec l'importance de la radiation solaire reçue et réfléchi par les surfaces. Sa valeur maximale est de 70.6°C à 12h00 pour le cas sans végétation. Avec la présence des arbres d'alignement cette valeur est de 28.8°C soit un abaissement de la valeur de la *Tmrt* de 41.8°C entre P1 sans végétation et avec végétation ce qui explique l'effet de l'ombre sur le sol et les murs pendant l'été et qui limite la radiation solaire réfléchi qui rejoint les conclusions de Panagopoulos (2008)⁴ ; M.F Shahidan et al (2007 et 2008)⁵

⁴ - Panagopoulos T. « Using microclimatic landscape design to create thermal comfort and energy efficiency » Actas da 1ª Conferencia sobre Edificios Eficientes, Universidade do Al-garve, 25 de janeiro (janvier) 2008.

⁵ - M F Shahidan., K M S Mustafá, S Elias, "Effects of tree canopies on solar radiation filtration in a tropical microclimatic environment". Paper presented at the PLEA2007 conference. Singapore 2007.

- M. F Shahidan, Ph Jones. "Plant canopy design in modifying urban thermal environment: Theory and guidelines." PLEA 2008-25th Conference on passive and low energy architecture, Dublin, 22nd to 24th October 2008.

Dans l'après-midi à 12h00 et à 14h00, la température de l'air simulée pour le cas sans végétation connaît des températures moyennes radiantes toujours hautes de 40.6°C et 40.3°C respectivement.

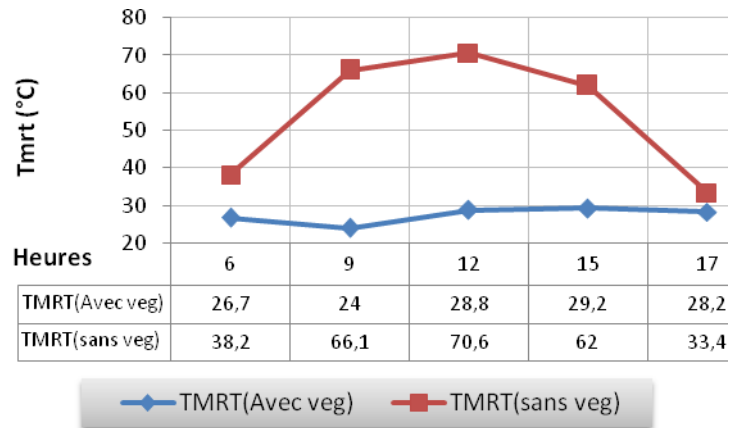


Figure VI.38 : Variation des valeurs de Tmrt en situation réel (sans végétation) et avec la présence de la végétation.

La Tmrt dans l'espace ouvert connaît une corrélation avec la température de l'air et aussi avec l'indice de confort PET. Ce qui s'explique par l'impact direct de l'irradiation solaire provenant des différentes surfaces sur les températures de l'air. L'espace avec présence d'arbres est plus frais et plus confortable. Cette corrélation est présentée dans le tableau suivant.

Tableau VI.5 : Relation entre température de l'air, Tmrt et la PET à 12h00 et à 14h00

		12:00			
		Ta	Tmrt	PET	Appréciation
Avec Arbres		36,2	28,8	32,7	Chaud
Sans arbres		40,6	70,6	58,1	Extrêmement chaud
		14:00			
		Ta	Tmrt	PET	Appréciation
Avec Arbres		38,1	30,5	34,6	Chaud
Sans arbres		40,3	66,9	55,8	Extrêmement chaud

Une corrélation positive existe entre le degré d'ouverture au ciel et température physiologique équivalente (PET) ($R^2 = 0.809$), et une positive corrélation avec (PMV) l'indice de confort ($R^2 = 0.799$). En période d'été les valeurs les plus basses de la PET ou la

sensation d'inconfort et de la chaleur excessif se rapportent au degré important de l'ouverture au ciel, d'où l'importance des masques solaires durant la période de surchauffe.

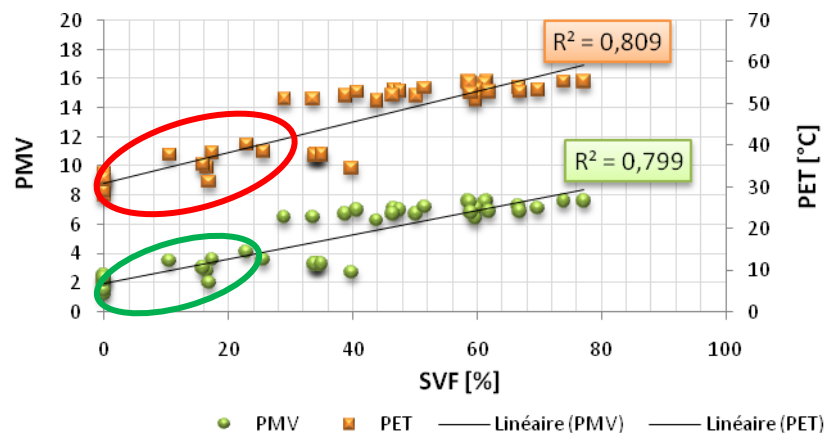


Figure VI.39 : Corrélation entre ouverture au ciel SVF et les indices de confort

Effet de la végétation sur l'éclairage énergétique

La figure VI.40 montre l'effet de la présence des arbres sur la quantité d'éclairage reçu par l'œil de l'individu selon le sens du déplacement. Un abaissement de l'éclairage total de 547w.m⁻² à 16h00 lorsque les rayons solaires sont bas l'après midi d'une hauteur de 35° (Sigrid et Liebard, 2004).

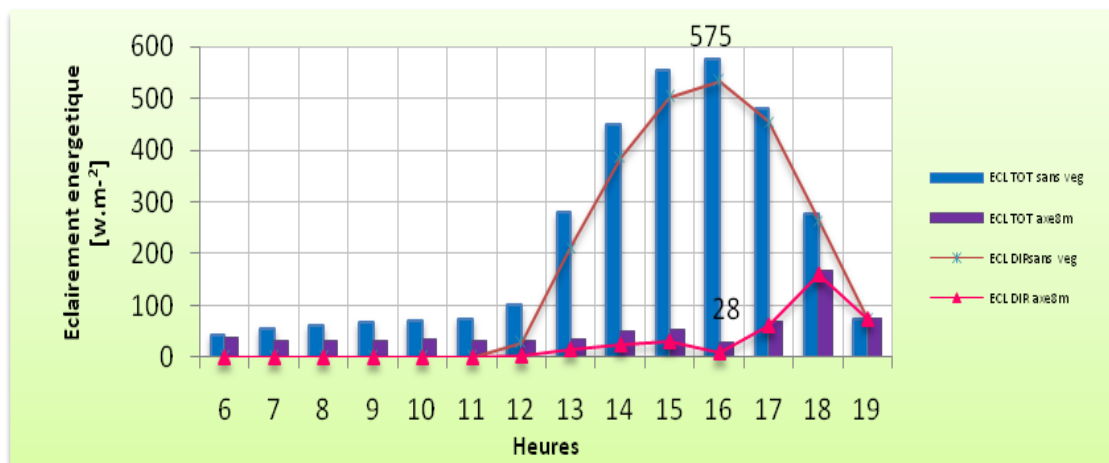


Figure VI.40 : Eclairage énergétique (total et direct) reçu par l'œil du point P1 selon le parcours Boudjriou

Tableau VI.6 : Projection stéréographique du point de simulation P2. a –présence arbres d’alignement sur trottoir. b-Ecran végétal coté Nord.

P1	Accès du soleil	Projection stéréographique verticale	Projection stéréographique horizontale
Présence végétation d’alignement			
Ecran végétale coté nord			

La pénétration de l’éclairement solaire l’après midi lors du déplacement de l’individu dû à la configuration de l’espace fait que l’accès direct du soleil cause l’éblouissement. L’introduction d’un écran vertical végétale impose un blocage au rayonnement solaire et induit à un abaissement dans l’éclairement énergétique de 159w.m^{-2} (figureVI.41), soit une lumière plus tamiser et rond l’espace plus agréable visuellement. Cette dernière peut faire l’objet d’un écran contre le vent en hiver soit une végétation type persistante.

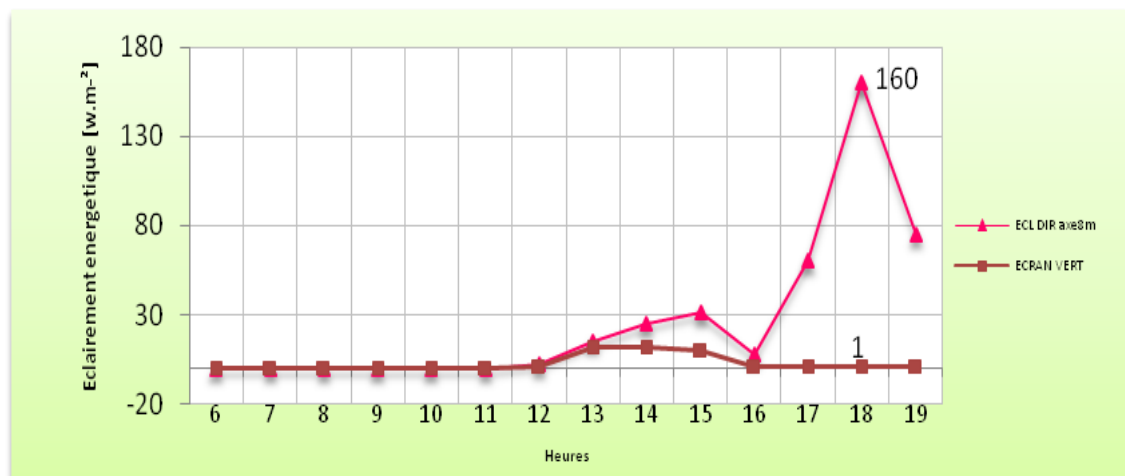


Figure VI.41: Eclairage énergétique direct reçu par l’œil dans le point P1 avec et sans écran végétale

VI.4.3 Interprétation des résultats de l'axe2 (Belouizded)

VI.4.3.1 Radiation solaire totale le 15 Juillet dans l'axe2

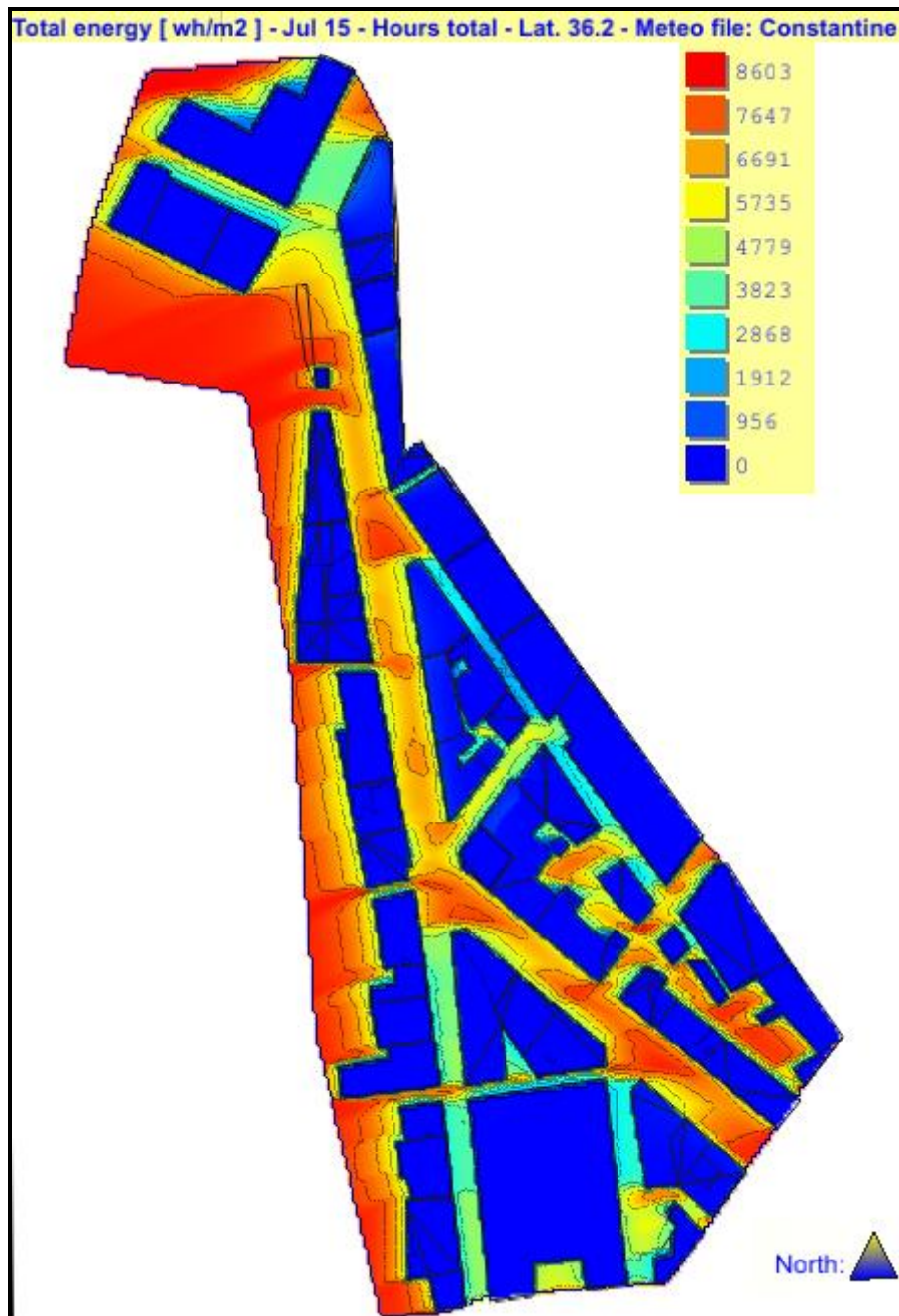


Figure VI.42: Radiation solaire globale totale dans l'axe2 sans végétation Scénario 1

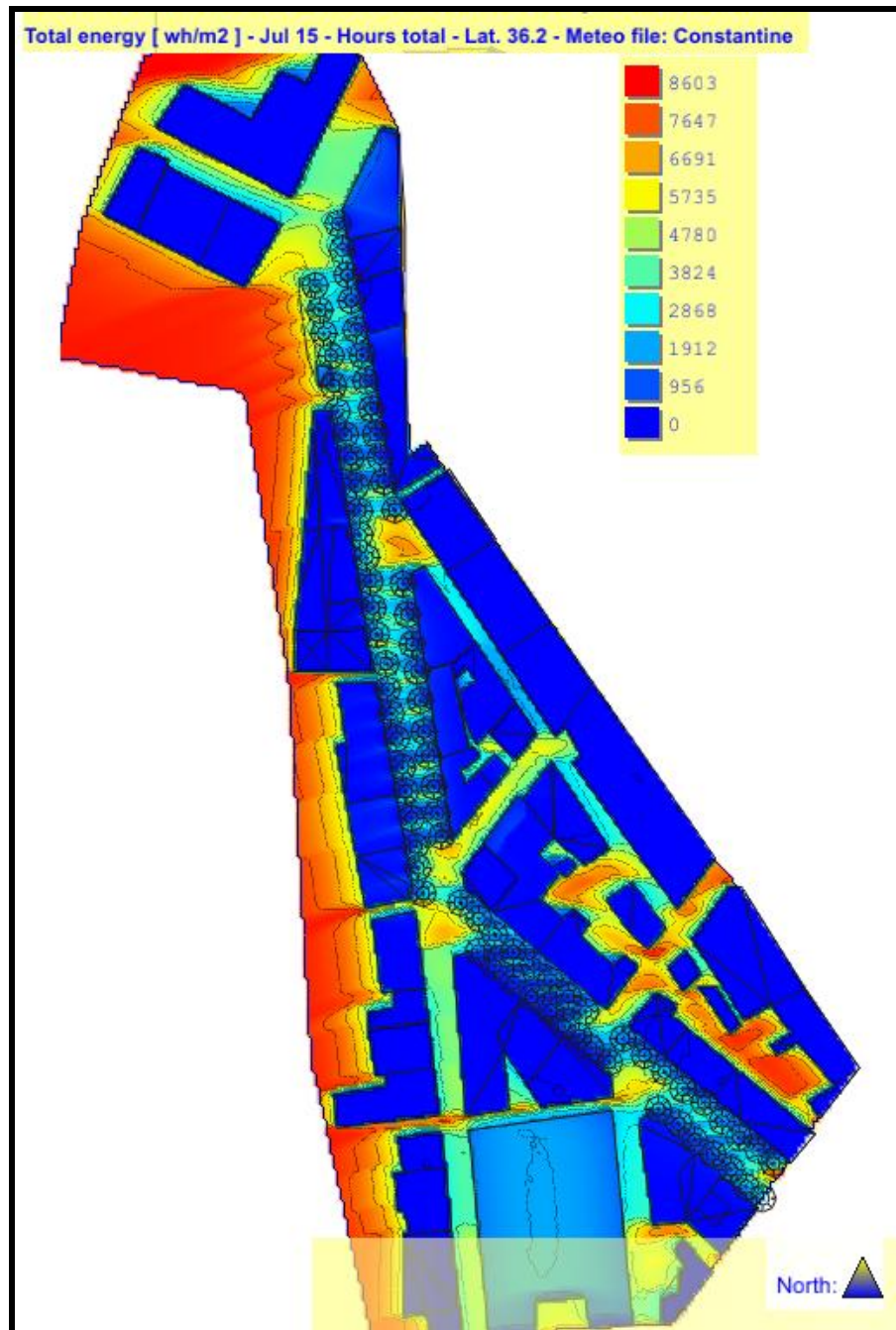


Figure VI.43 : Radiation solaire globale totale dans l'axe2 avec végétation Scénario 2

La radiation totale (directe, diffuse et réfléchiée) dans un solstice d'été au midi montre une diversité radiative des espaces; des passages et des rues avec sens Nord Sud dont la radiation atteint une valeur entre 936 Wh.m^{-2} et 1054 Wh.m^{-2} . Ces espaces ont une relation plus grande avec le ratio H/W égale à 1. Les passages et les rues avec orientation Nord - Sud et d'une proportion égale, la radiation est plus homogène en atteignant 117 Wh.m^{-2} et 351 Wh.m^{-2} tout près de l'édifice.

La présence des arbres d’alignement, crée des espaces ombragés et minimise la valeur de la radiation solaire et crée selon la position et le degré de couverture des zones homogènes atteignant une valeur de 112w.m^{-2}

La température de l’air simulée pour les différents scénarios (figure VI.44) montre que le degré de couverture de la rue est important. Les températures les plus hautes dans la journée sont enregistrées dans le scénario1 sans végétation de 39.17°C à 15h00 (effet de la géométrie de la rue de $H/L=0.6$) et pourcentage d’ombrage de 38% pour une orientation N-S. Les températures de l’air les plus basses sont enregistrées dans les scénarios 2 et 5 avec un écart de 5.86°C et 6.68°C entre scénario1 et scénario 2 et 5 respectivement. Ce qui explique l’effet des arbres sur l’abaissement de la température de l’air ainsi sur le degré de confort.

La figure VI. 45 montre les températures ressenties par l’individu dans les différentes ambiances (scénarios) dont le scénario1 présente les valeurs les plus importantes Tsens max est de 50.69°C à 15h00 et elle est de 35.79°C dans le scénario2, soit un abaissement de 14.90°C dues au pourcentage d’ombrage de 81% dans le scénario2.

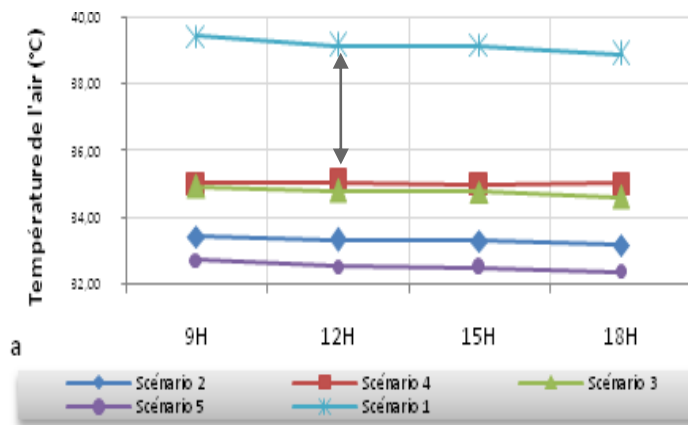


Figure VI.44 : Variation de la température de l’air simulée selon la position des arbres d’alignement dans la rue (cas rue $H/L=0.6$, orientation Nord-Sud)

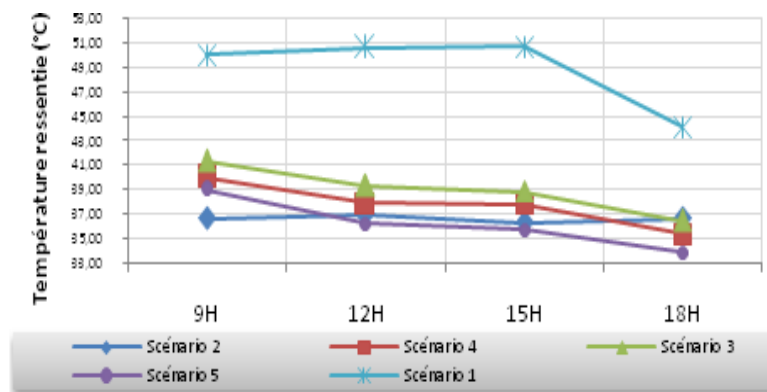


Figure VI.45: Variation de la température ressentie simulée selon la position des arbres d’alignement dans la rue (cas rue $H/L=0.6$, orientation Nord-Sud)

VI.5 Correlations des parametres

VI.5.1 Effet de la présence de la végétation et sa position

Cas de la rue Boudjriou(espace ouvert)

L'effet de la position des arbres dans la zone de transit sur la quantité de radiation solaire transmis à travers la couronne de l'arbre et sur le confort ressenti par l'individu a été testé selon sa position dans l'axe d'investigation (axe1 Boudjriou).

Une zone a été sélectionnée ainsi qu'un point selon la figure VI.46 pour évaluer l'effet de la position de l'arbre choisie (voir Figure VI.47)

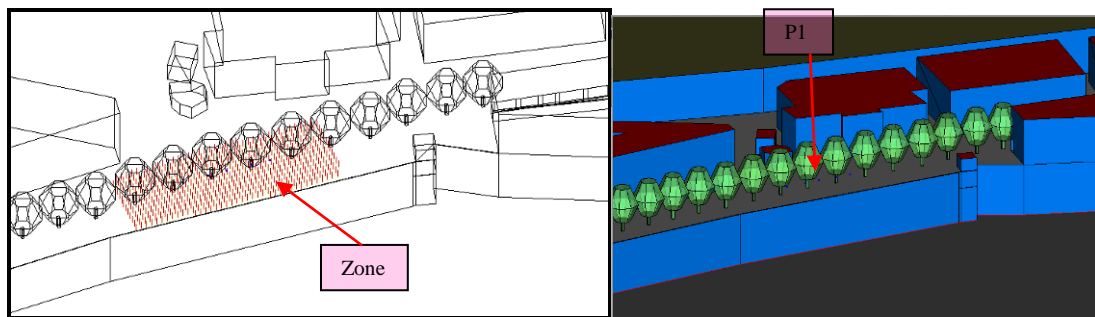


Figure VI.46 : Zone et point (P1) simulés par TownScope sur le parcours Boudjriou. Auteur

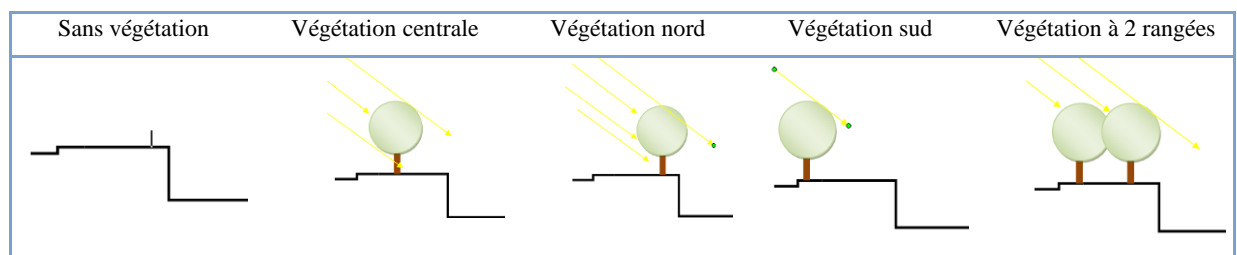
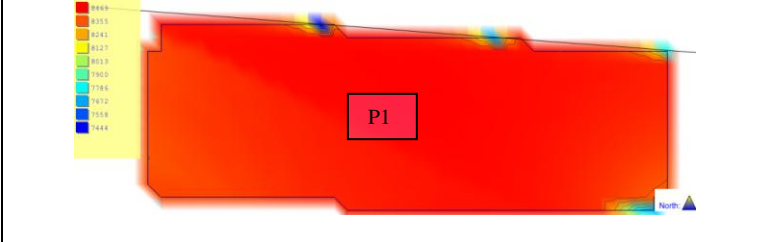
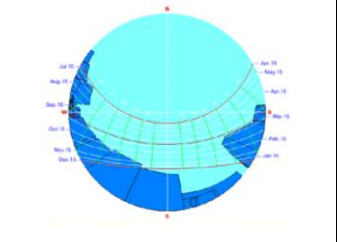
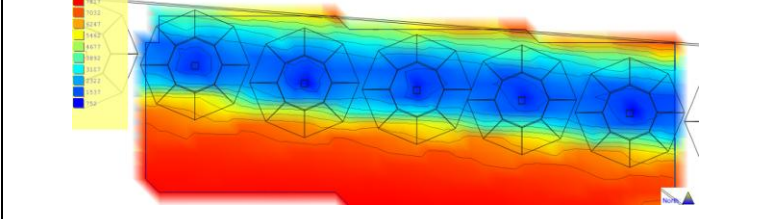
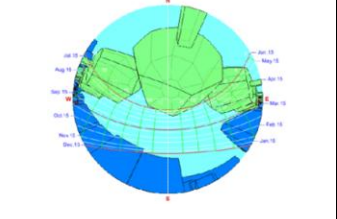
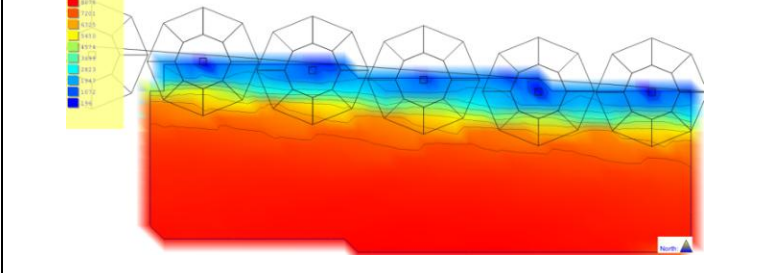
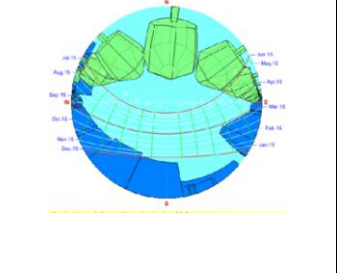
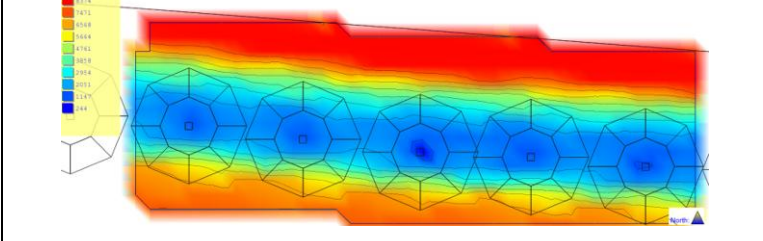
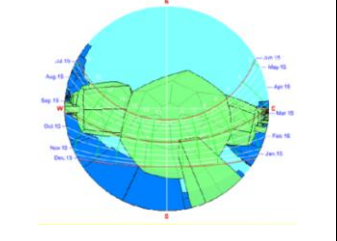
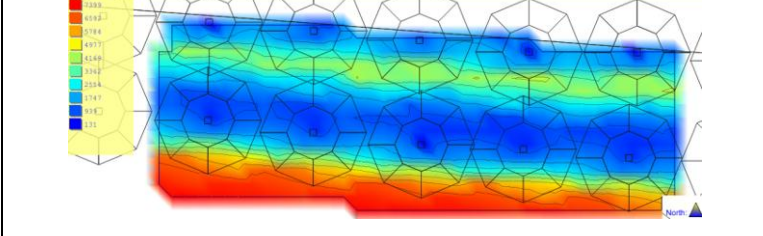
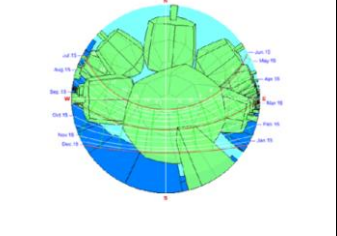


Figure VI.47 : Position des arbres sur le trottoir du parcours Boudjriou à simulé ; Auteur.

Les résultats montrent que le choix adéquat de l'emplacement de l'arbre joue un rôle dans l'atténuation des radiations solaires (Figures du tableau VI.7) qui a un impact sur la qualité des ambiances que ce soit thermique, visuelle et psychologique.

Tableau VI.7 : Irradiation globale reçue durant la journée et selon la position de l'arbre.

Position Arbre	Zone de simulation Total énergie (Irradiation globale) reçue [w.m ⁻²]	P1 Point De Simulation (accès du soleil)
Sans végétation		
Végétation centrale		
Végétation nord		
Végétation sud		
Vege deux rangé		

L'effet de masque de la couronne de l'arbre selon l'orientation de la zone a un impact sur la quantité de radiation solaire reçue (Figure VI.48) ainsi que sur la quantité d'ombre projeté et sur la qualité de l'ambiance thermique et visuelle.

Les arbres dans la position sud marquent une zone de transition importante avec des quantités de radiations moindres ce qui favorise le confort thermique.

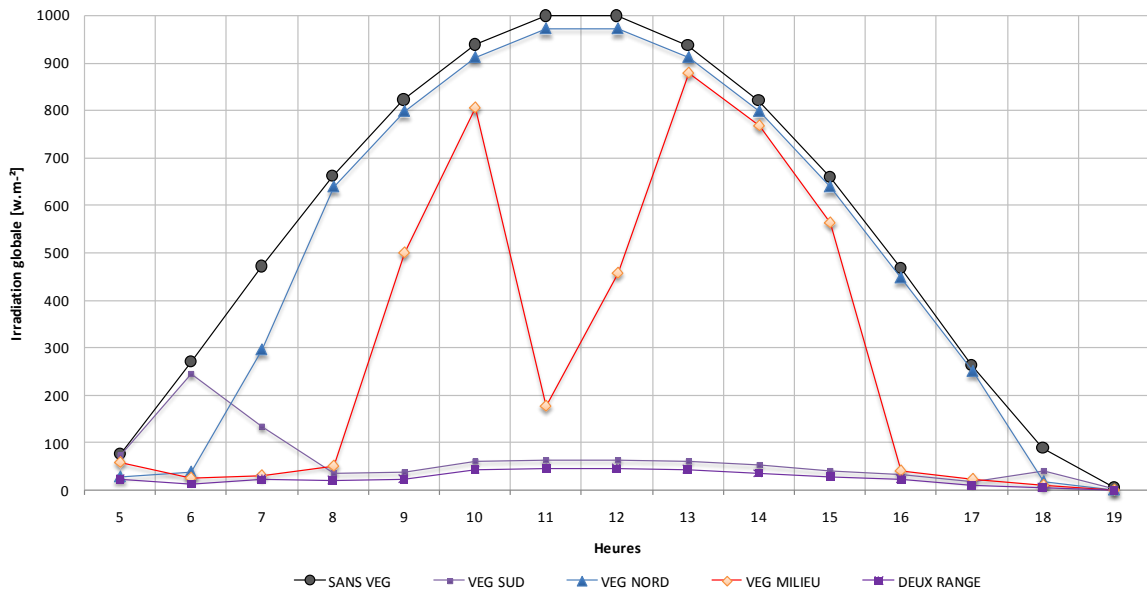
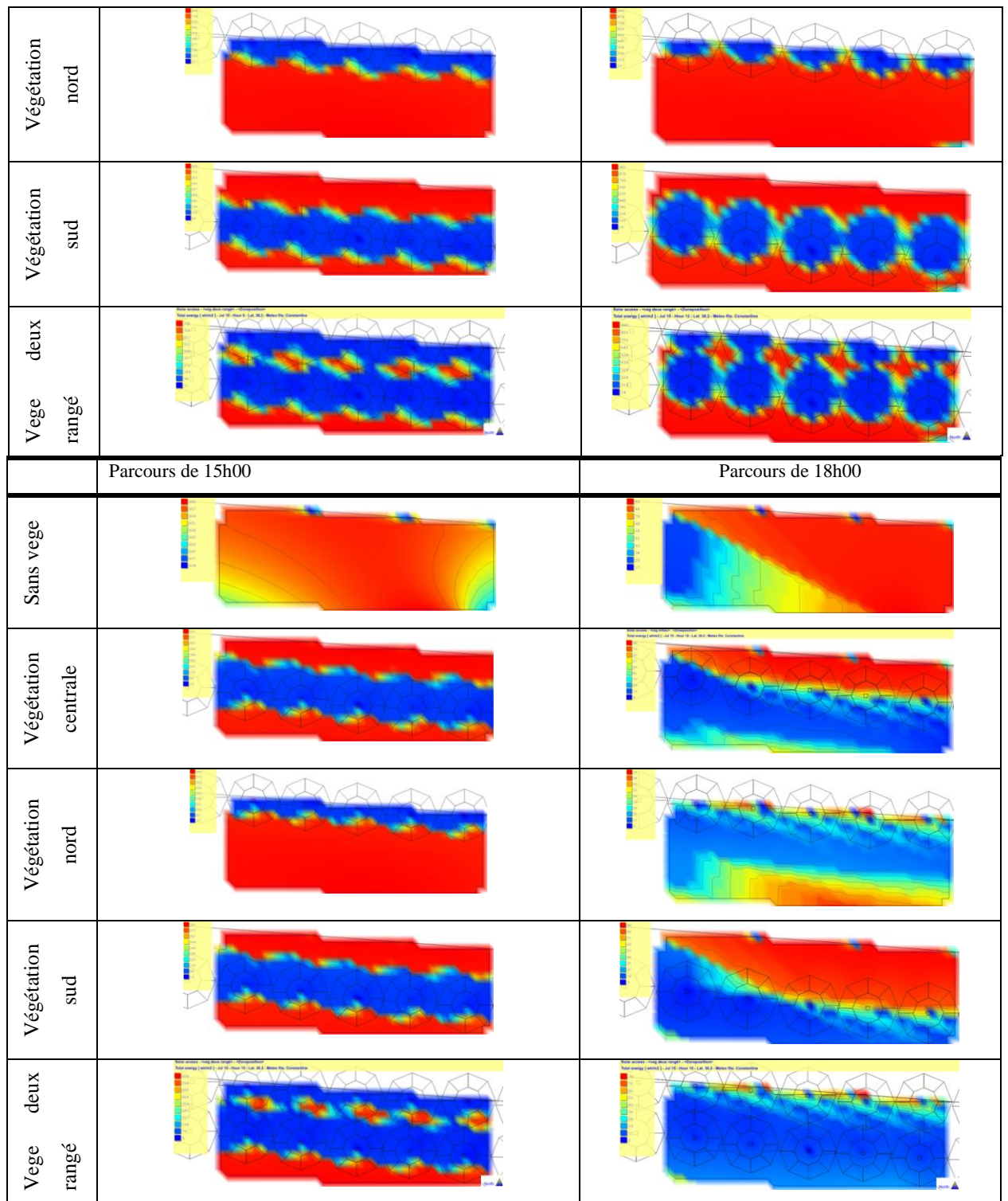


Figure VI.48 : Effet de la position de l’arbre sur la quantité de radiation globale reçue pour chaque position d’arbres d’alignement.

Le confort thermique au niveau de l’axe1 simulé est évalué en fonction de l’évaporation de la sueur de l’individu et la température ressentie. Les valeurs de l’évaporation de la sueur varient entre 240 gr/h et 350gr/h dans le cas sans végétation et entre 100 gr/h et 210gr/h dans le cas avec présence de la végétation et cette valeur varie avec la position de l’arbre. La valeur de la température ressentie dans le cas sans végétation varie entre 46.3°C et 55°C ce qui marque l’inconfort ressenti. Néanmoins, l’ambiance thermique dans le cas avec végétation sud et avec deux rangées d’arbres se trouve plus proche à la température neutre ($T_n = 26^\circ\text{C}$) du cas de la végétation au nord et au milieu.(figure VI. 49)

Tableau VI.8 : Effet de la position de l’arbre sur la quantité de radiation reçu durant le parcours du matin (9h00), de midi (12h00) et celui de l’après midi (15h00 et 18h00)

	Parcours de 9h00	Parcours de 12h00
Sans vége		
Végétation centrale		



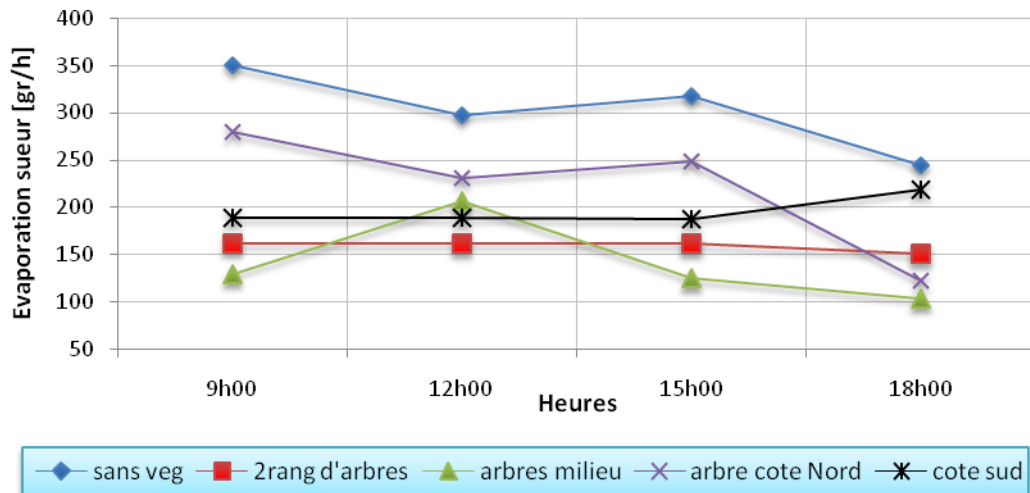


Figure VI.49: Variation de l'évaporation de la sueur selon la position de l'arbre

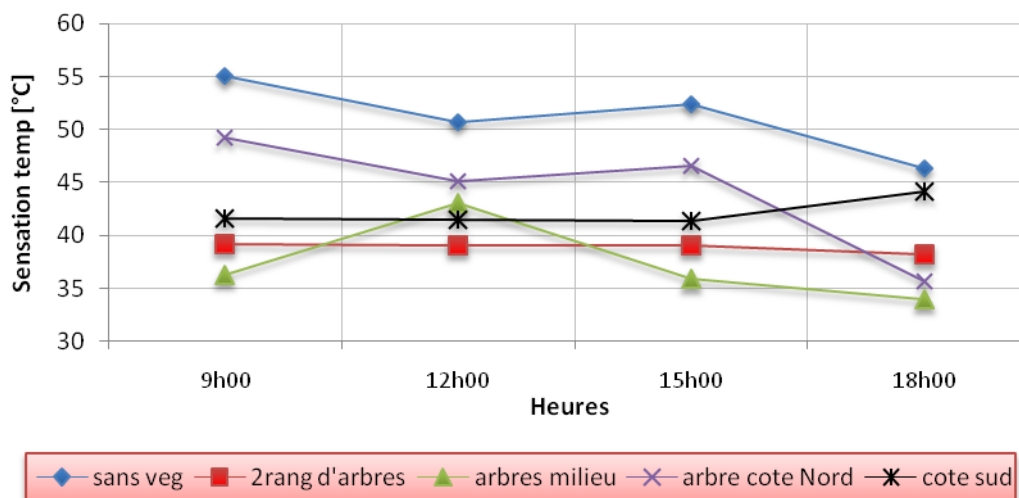


Figure VI.50 : Variation de la température ressentie selon la position de l'arbre

Le confort thermique au niveau de l'axe1 simulé selon la position de l'arbre est évalué par l'indice de confort PET (Figure VI.51). Les valeurs de PET varient entre 35.4°C et 35.9 °C dans le cas de la position Sud et le cas de deux rangées d'arbres, elle atteint 45°C à 15h00 dans le cas de la végétation située au milieu du trottoir selon l'axe simulé orienter Est-Ouest et la PET atteint la valeur de 55°C et dans le cas de l'emplacement Nord. Ce résultat montre que la position a un impact fort dans l'ombrage de l'espace voulu et dans la qualité de l'ambiance.

En conclusion la position Sud est la meilleure pour pouvoir créer des ambiances homogènes durant la journée.

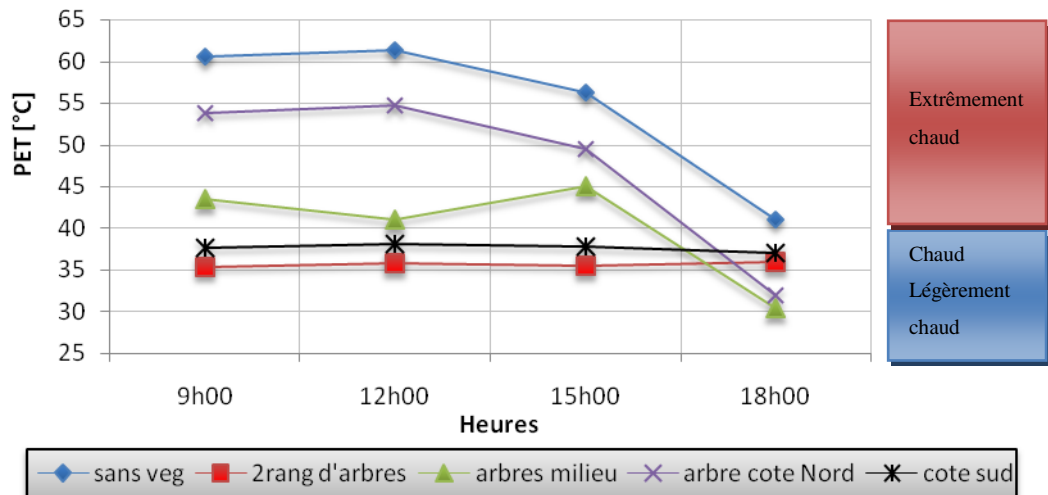


Figure VI.51 : Variation de la PET selon la position de l'arbre

Ratio H/L et qualité d'ambiance selon l'axe2

La figure VI.52 montre que les scénarios 2 et 4 présentent les températures les plus bas à 12h00 . Une température de l'air de 28.32°C enregistré dans le scénario 2 avec un rapport H/L égale à 0.9 . et une température de l'air plus haute par rapport aux scénarios avec végétation de 34.81°C dans le scénario 3 avec un ratio de 0.6. Ceci explique que le degré de couverture de la rue à un impact sur l'abaissement de la température. Ainsi que le ratio avec ou sans végétation à un impact sur le degré de confort (voir Annexe 7).



Figure VI.52: Température de l'air simulée et le ratio H/L selon les différents scénarios

La figure VI.53 montre l'effet du ratio sur la qualité d'ambiance dont la valeur de PET égale à 26.3°C pour un ratio de 0.9 et elle est de 41°C pour le ratio 0.3 avec le même scénario végétation d'alignement sur les deux côtés et ce qui montre que le confort thermique humain est supérieur quand un endroit mieux est ombragé pendant l'été (selon la configuration de l'espace). Le confort thermique humain est supérieur quand l'endroit moins est ombragé Mahmoud (2011)

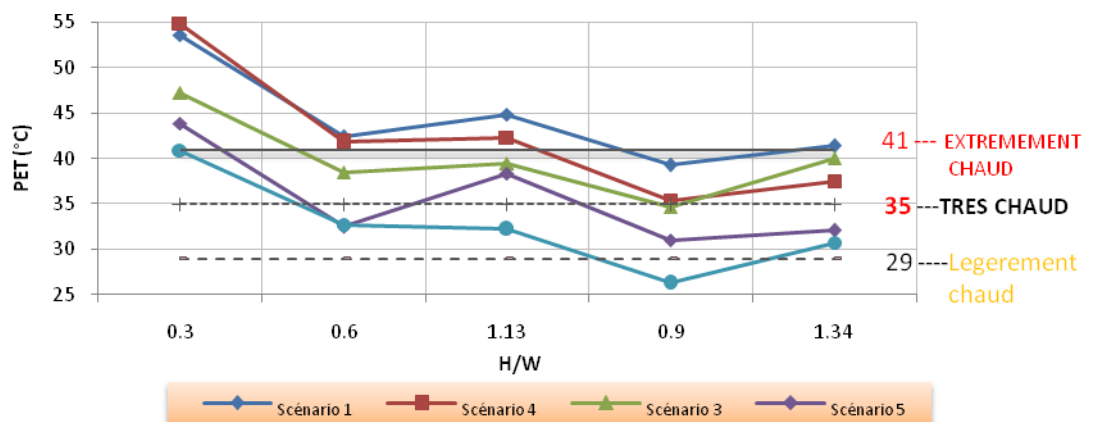


Figure VI.53 : variation de la PET selon le ratio H/L et le degré d'aménagement de la rue.

VI.5.2 Effet de la distance entre arbres

VI.5.2.1 Effet de la distance sur l'ambiance thermique

La distance de plantation des arbres par rapport aux bâtiments et la couverture végétale de l'arbre modifient les conditions thermiques et visuelles. La couverture végétale est la zone qu'occupe la couronne sur la rue. Dans l'alignement qui présente des couronnes qui se touche se trouve avec des valeurs de radiation solaire moindres et uniformes de 25 w.m⁻² à 90 w.m⁻². Plus la distance entre arbres et importants, plus la pénétration du rayonnement solaire est importante et la transition dans le parcours sera variable.

Pour un climat chaud et sec la couverture sans espacement est recommandée et l'espacement entre arbres se calcule en fonction de l'espèce plantée (taille de la couronne).

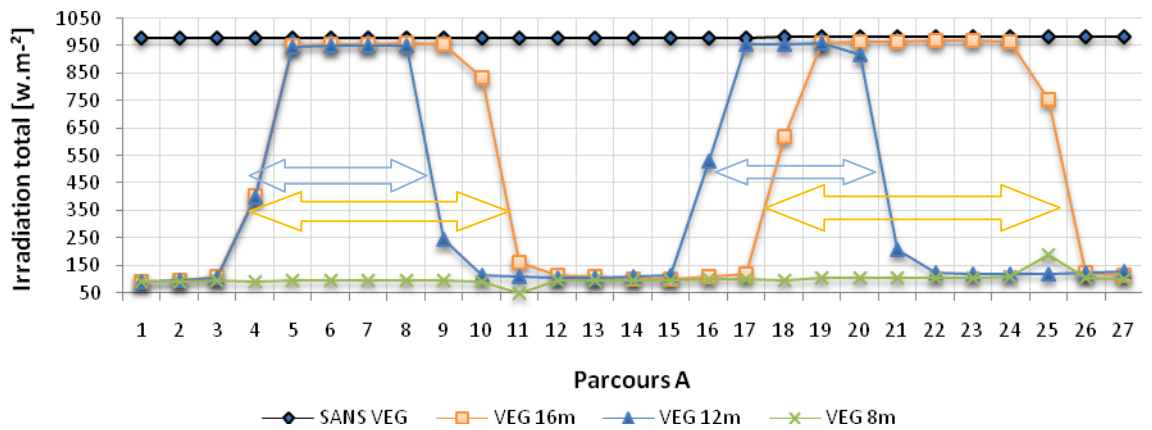


Figure VI.54 : Effet de l'espacement des arbres sur la quantité d'irradiation totale reçue

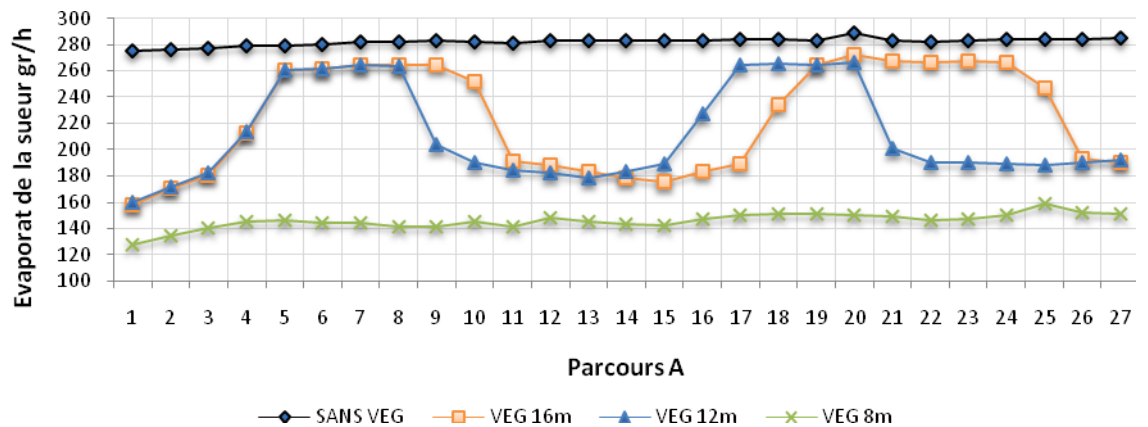


Figure VI.55 : Effet de l'espacement des arbres sur le confort thermique de l'individu (Evaporation de la sueur) du parcours à midi

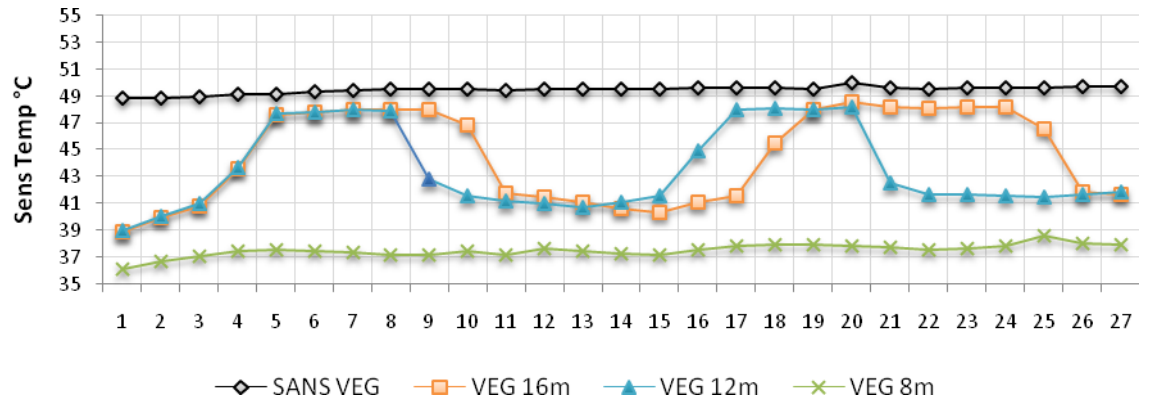


Figure VI.56 : Effet de l’espacement des arbres sur le confort thermique de l’individu
(Température ressentie par l’individu)

VI.5.2.2 Effet de la distance sur l’ambiance visuelle

L’effet de la distance entre arbres affect le confort visuel , l’éclairement total dans le cas végétation de 8m de distance est moins de 55w.m^{-2} (figure VI.57). Un filtrage de la lumière n’excédant pas les 20% de l’énergie solaire direct provenant du soleil ou éclairage diffus (Tableau VI.9). ce résultat explique le tamisage de la lumière sous les couronnes d’arbres collé sans espacements et crée une uniformité dans le parcours visuel.

L’espacement entre arbres favorise la variation dans l’énergie solaire directe ainsi l’éclairement dans l’espace ce changement est plus ressenti pour les espacements importants.

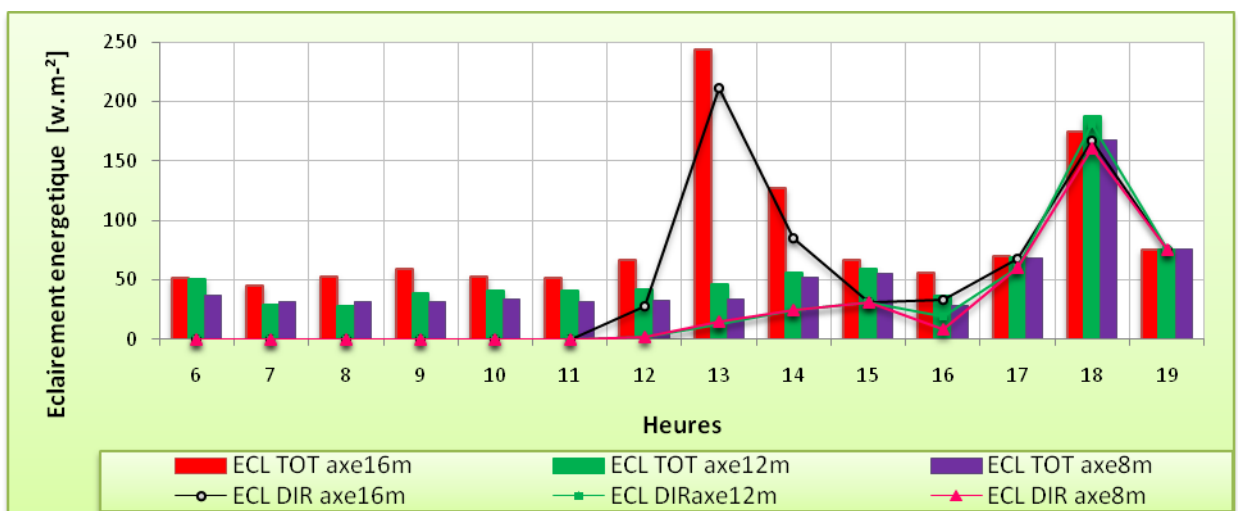
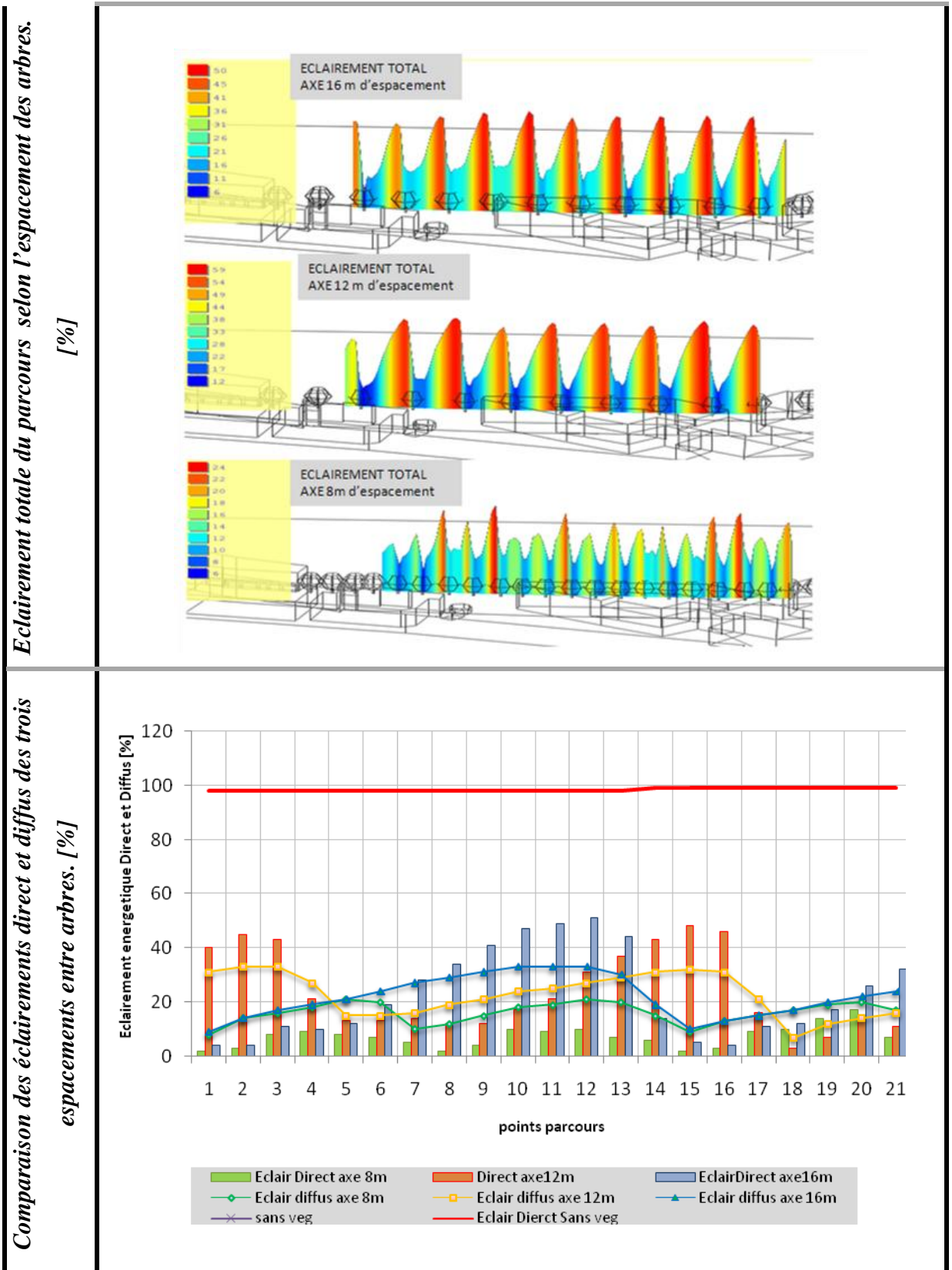


Figure VI.57 : Effet de l’espacement des arbres sur le confort visuel de l’individu
(Eclairement énergetique reçu par l’oeuil)

Tableau VI.9 : Effet de l'espacement entre arbre sur l'éclairage énergétique dans le parcours.



VI.5.3 Effet des dimensions des arbres

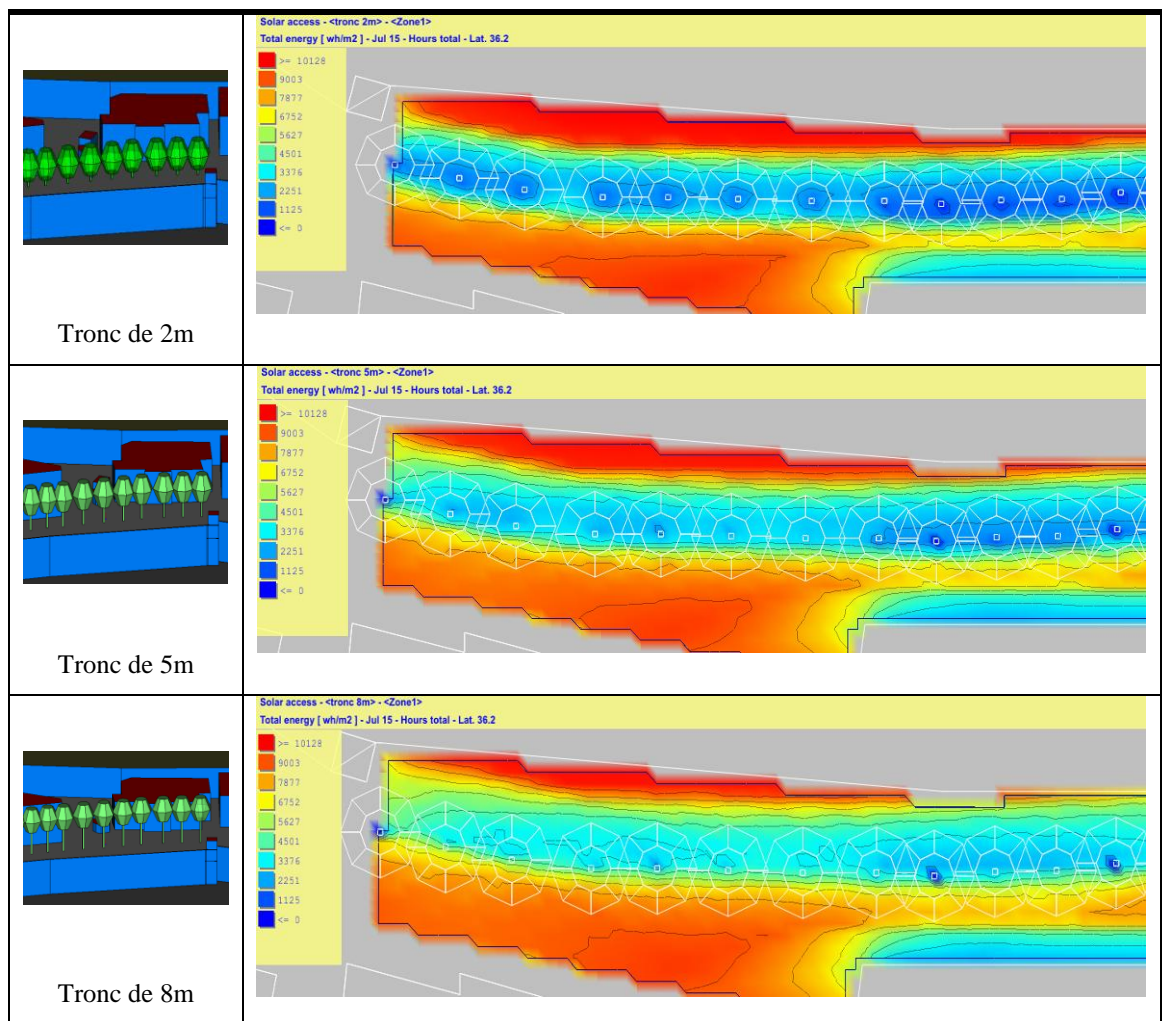
VI.5.3.1 Effet de la hauteur du tronc de l'arbre

Effet de la hauteur du tronc de l'arbre (Htr) sur le confort thermique et visuel à été simulé pour trois typologie d'espèces d'arbres :

1. Htr = 2m et Da = 7m (l'Aulne, le Méliá, Sophora, Caroubier)
2. Htr = 5m et Da = 7m (platane , Erable)
3. Htr = 8m et Da = 7m (eucalyptus)

Le tableau VI.10 montre la quantité de radiation totale transmise durant la journée d'été à travers la couronne des arbres de typologies différentes selon la hauteur du tronc. Dont la hauteur de 2m enregistre des valeurs $< 1125 \text{ w.m}^{-2}$ d'irradiations solaires totale journée sous les couronnes d'arbres et crée une zone d'ambiance favorable au déplacement des individus.

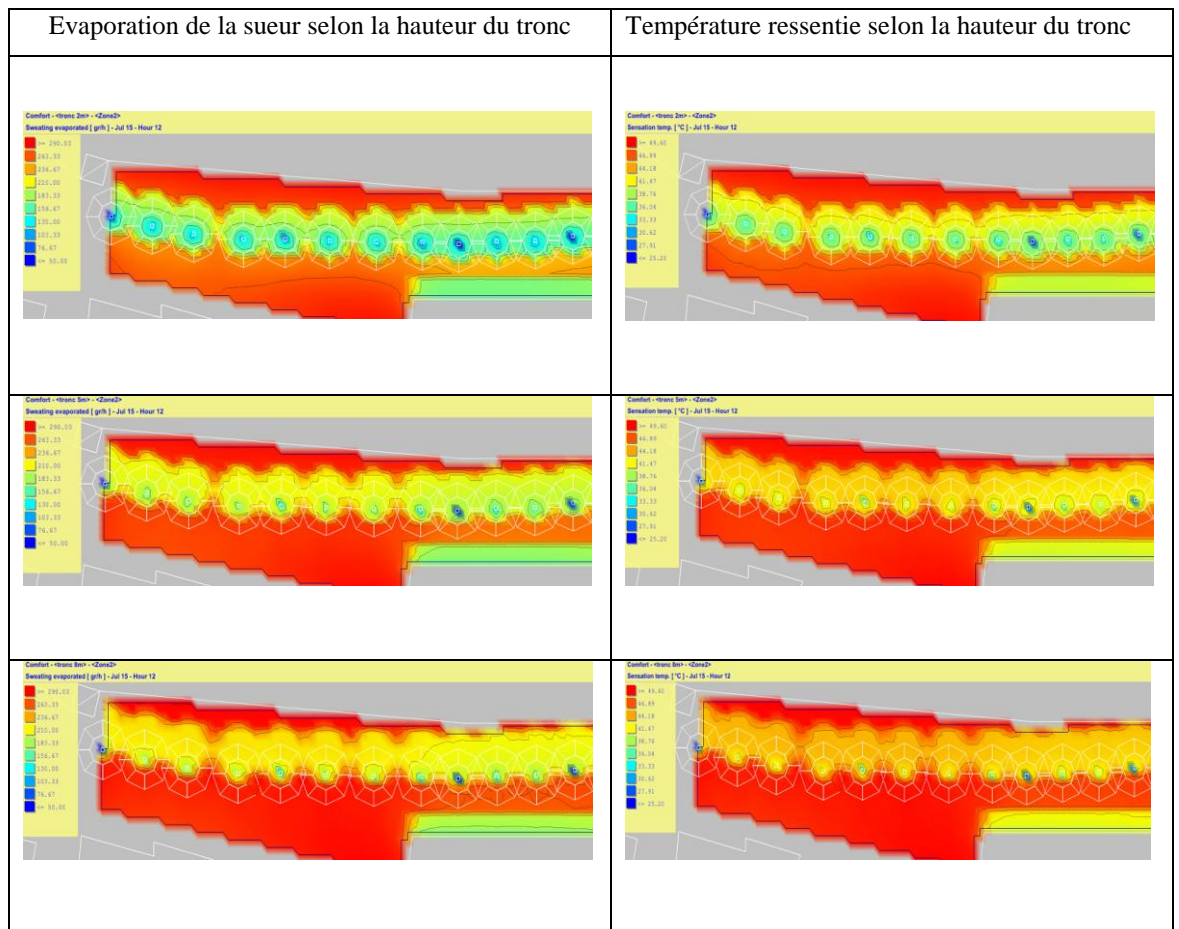
Tableau VI.10 : Effet de la hauteur du tronc de l'arbre sur la quantité d'irradiation solaire transmis



Effet de la hauteur du tronc de l'arbre sur le confort thermique

Une station simulée a été choisie P (286.51, 120.06, 1.50) pour comparer le confort selon la hauteur du tronc et l'ouverture au ciel (Figure VI.58). La valeur du SVF change avec la hauteur du tronc de l'arbre, un petit tronc peut garantir l'effet masque totale par la couronne dont SVF est égale à zéro, par contre un tronc haut augmente la quantité de ciel visible, ce qui laisse le rayon solaire intense de pénétrer à l'intérieur de l'espace public et qui affecte le confort.

Tableau VI.11: Effet de la hauteur du tronc de l'arbre sur le confort thermique et la qualité d'ambiance à 12h00.



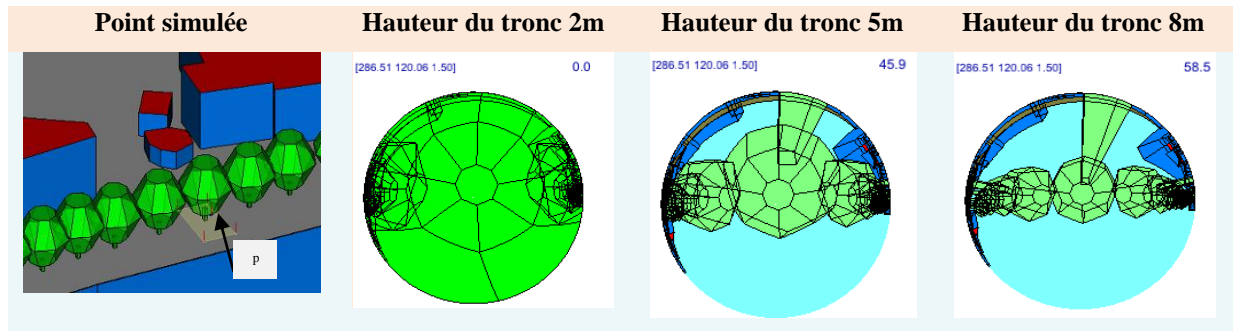


Figure VI.58 : SVF du point simulé selon la hauteur du tronc de l'arbre

Les résultats de la simulation montrent l'effet de la hauteur du tronc sur le confort et sur la température de l'air. L'alignement avec un tronc haut laisse pénétrer la radiation solaire et l'air chaud dans l'espace ce qui marque des températures de l'air plus importante que celle sous un arbre d'un petit tronc. Les valeurs de la température de l'air varient entre 37.9°C et 38.9°C pour le petit tronc , et de 40.8°C et 39.8°C pour un tronc de 5m soit une différence de 0.9°C - 2.9°C. Ces valeurs peuvent être de 40.9°C et de 40°C, soit une différence de 1.1°C- 3°C. ceci explique l'effet de la hauteur du tronc (H.Mahmoud ,2011).

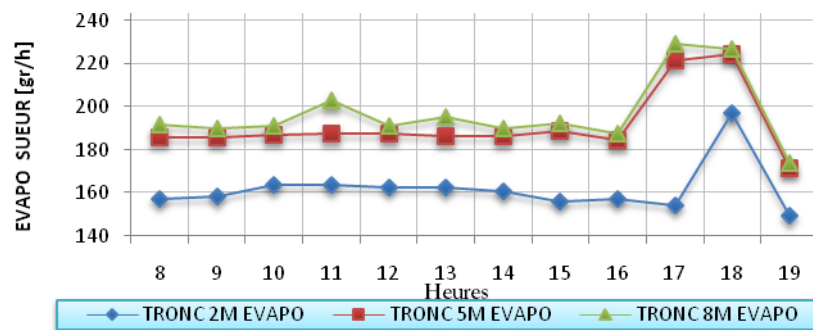


Figure VI.59 : Variation de l'évaporation de la sueur selon la hauteur du tronc de l'arbre

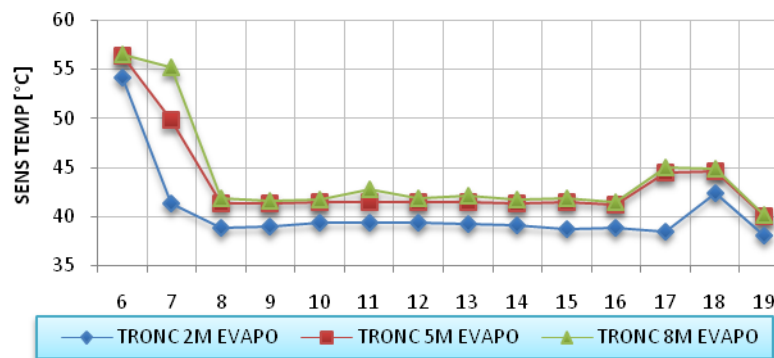


Figure VI.60: Variation de la température ressentie selon la hauteur du tronc de l'arbre

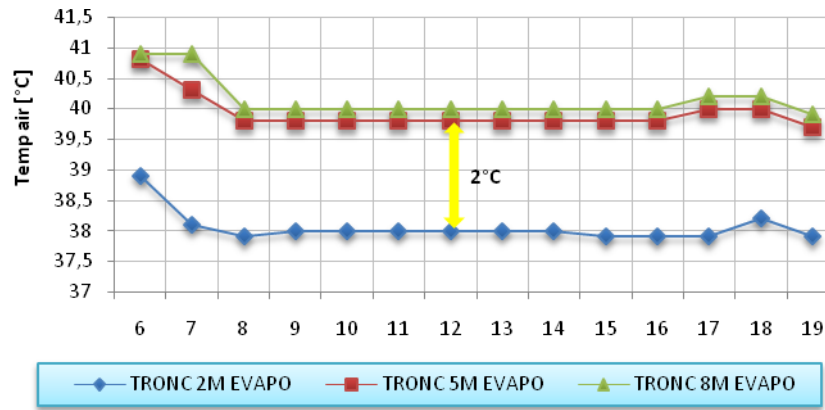


Figure VI.61: Variation de la température de l'air selon la hauteur du tronc de l'arbre

En conclusion le tronc le plus petit est recommandé pour les climats chaud et sec dans les espaces de transit et de regroupement pour permettre à un confort meilleur et des températures plus basses (comme les arbres : Micocoulier, frêne, aulne, mélia...)

Effet de la hauteur du tronc de l'arbre sur le confort visuel

L'effet la hauteur du tronc montre son effet de modifier les conditions de la luminosité de l'espace en tant que blocage du rayonnement solaire direct au champ visuel et à la lumière.

Tableau VI.12: Projection stériographique verticale et horizontale du point simulé selon la hauteur du tronc de l'arbre

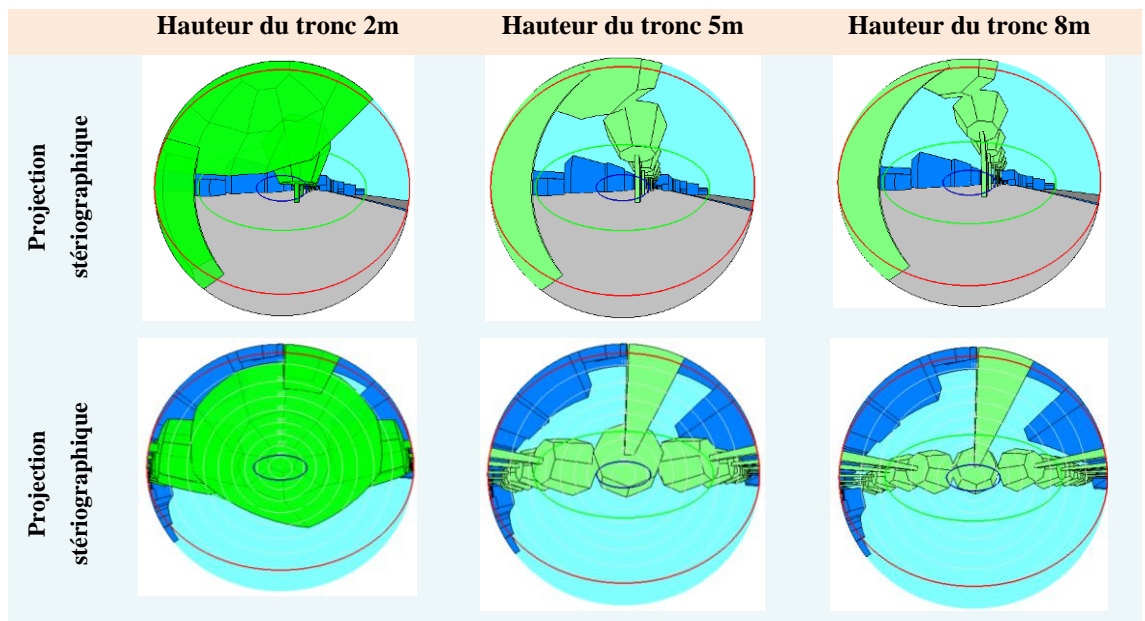


Tableau VI.13 : Variation du pourcentage de pénétration de la lumière selon la hauteur du tronc de l'arbre

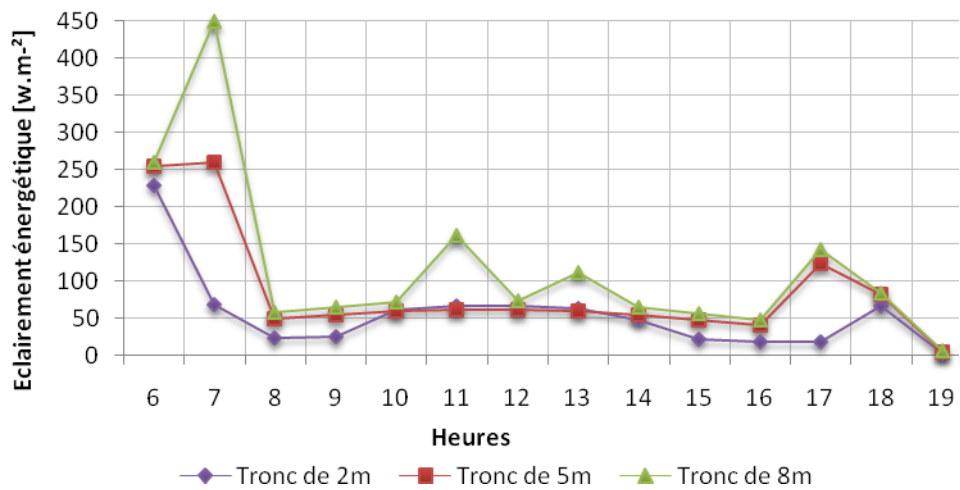
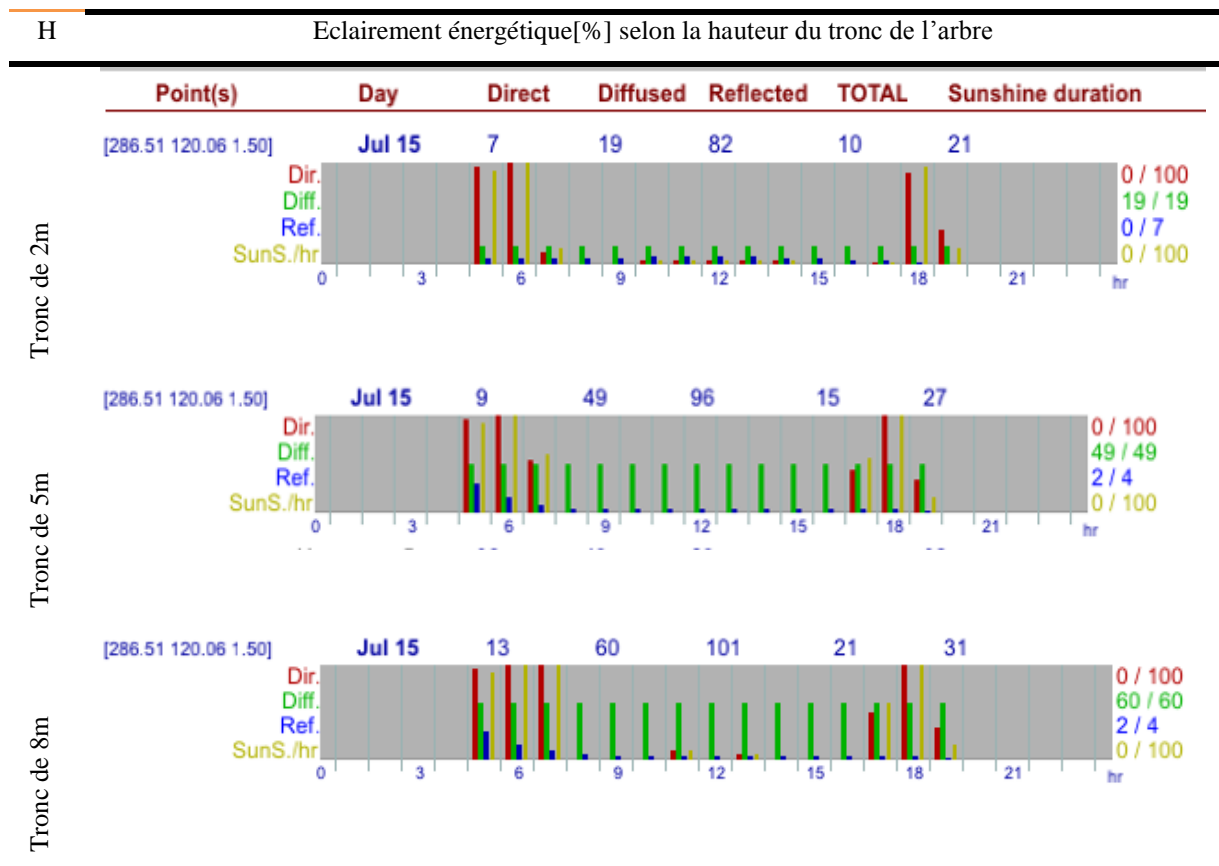


Figure VI.62 : Variation de l'éclairage énergétique globale selon la hauteur du tronc de l'arbre

L'éclairement énergétique dans le cas d'un tronc d'arbre de 2m permet moins de champ visuel et plus de couverture du ciel, ce qui minimise la valeur des éclairagements énergétique et protège l'œil des rayons direct du soleil et minimise l'éblouissement.

Dans le cas d'un tronc haut de 8 m, il permet plus le champ visuel et qui laisse les rayons solaires directs pénétrer dans l'espace et qui causait l'inconfort visuel.

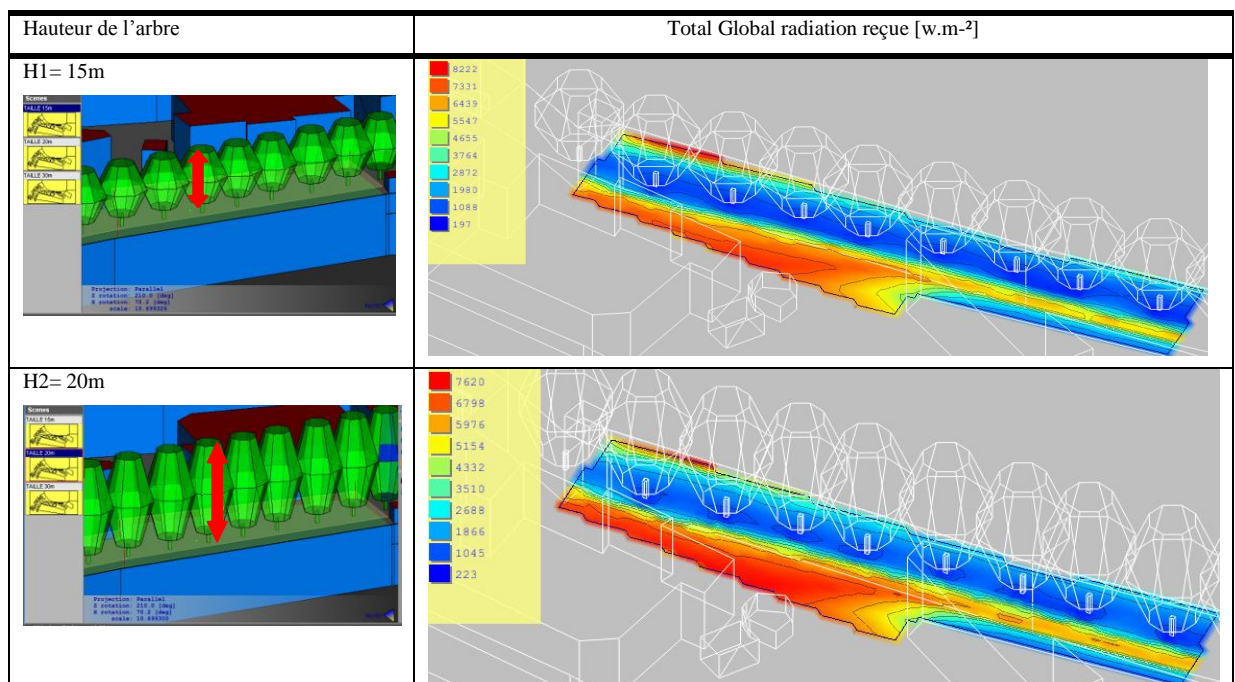
Conclusion : hauteur du tronc important, augmentation du champ visuel et diminution du SVF ce qui favorise au rayonnement direct de pénétrer plus l'inconfort visuel est important. Pour obtenir des éclairagements minimaux durant l'été dans les espaces dont le degré de fermeture est important et un ratio proche de 1, il faut privilégier les plantations du type 1 (tronc petit).

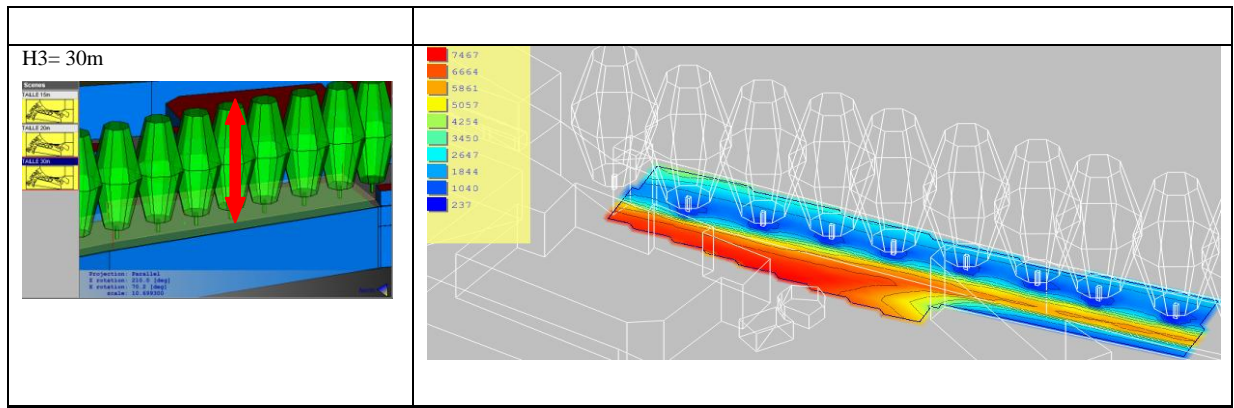
VI.5.3.2 Effet de la hauteur de l'arbre

Selon le type de l'arbre choisit par rapport à la hauteur (voir chapitre III) les conditions thermiques et visuelles peuvent être modifiées. La simulation a été faite selon trois espèces dont les hauteurs d'arbres simulées sont (H1= 15m, H2=20m et H3=30m) (voir Tableau VI.14)

Hauteur de l'arbre et radiation solaire reçue

Tableau VI.14 : Effet de la hauteur de l'arbre sur la radiation solaire reçue





Comparaison entre les trois typologies végétales selon la hauteur de l'espèce et la configuration de l'espace

Deux points de simulation ont été choisis selon la configuration de l'espace dont le point P1 se trouve dans un espace ouvert présentant un ratio de $H/L=1$ et $DoE=1.5$ et le point P2 se trouvent avec un ratio de $H/L=1.13$ et $DoE=1$.

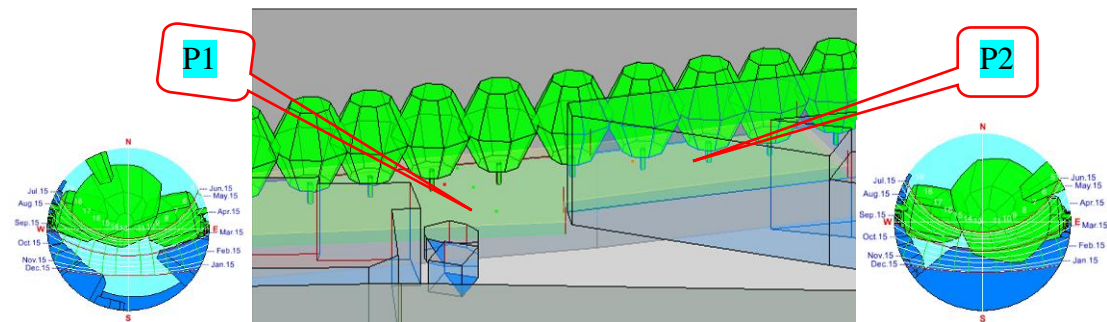
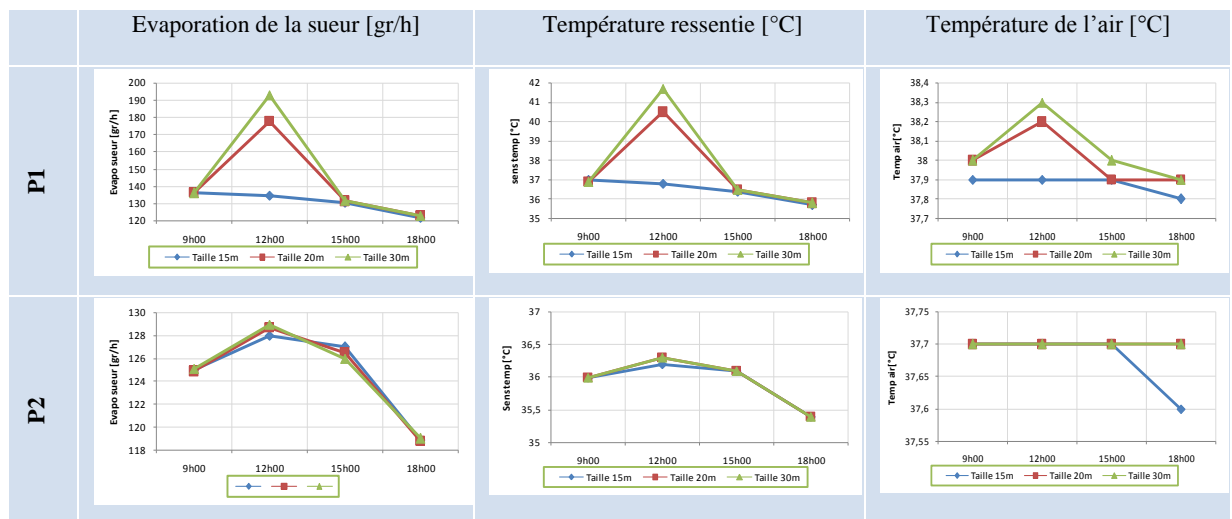


Figure VI.63 : Position des points de simulation P1 & P2 – accès du soleil au point simulé P1 & P2

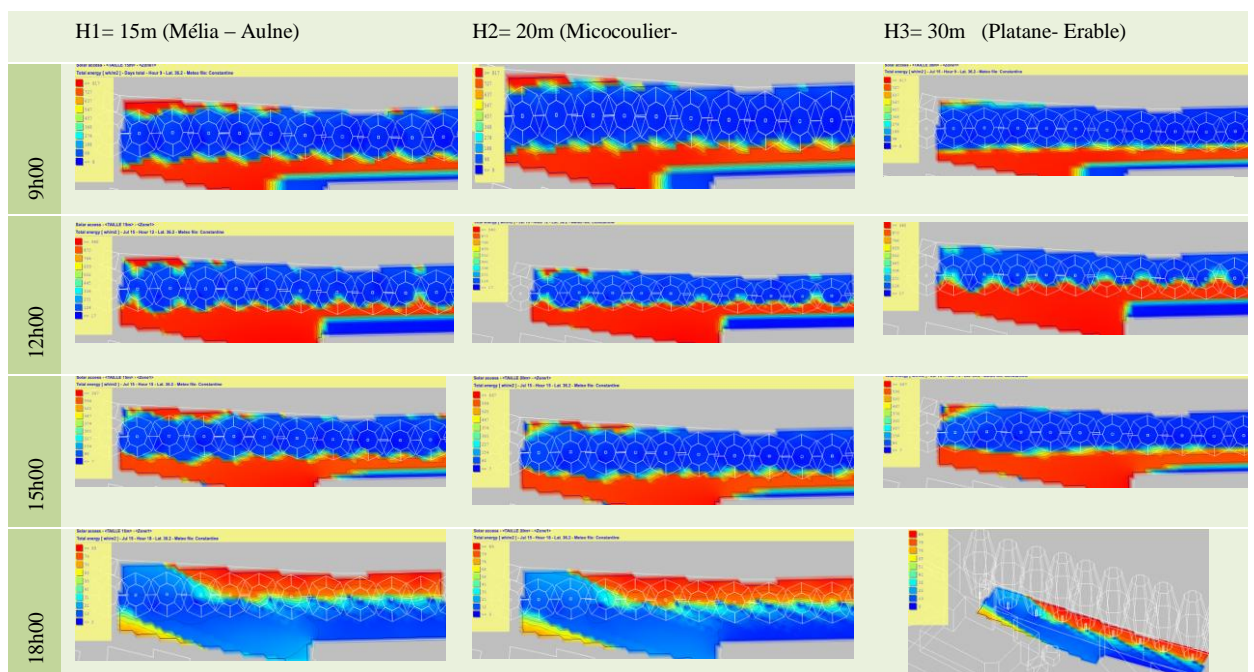
De la comparaison les graphes du tableau VI.15 montrent que le confort sous différentes typologies végétales selon la hauteur ne présente pas grande différence dans le cas des arbres dans le point P2. Par contre le point dans l'espace qui présente un ratio de 1 montre que la hauteur de l'arbre a un effet sur l'abaissement de la température de l'air et le degré de confort dans l'espace. La température de l'air dans le point simulé P1 est importante dans le cas d'une végétation haute.

Tableau VI.15 : Résultat de confort des points simulés P1 & P2
(Evaporation de la sueur – température ressentie – température de l’air)



Ce sont non seulement les arbres qui contribuent à modifier les conditions d’ambiances, mais également les formes urbaines (Configuration de l’espace degré d’ouverture et ratio) ; l’espace ouvert recommande une typologie végétale d’une hauteur minimale pour garantir l’ombre et le filtrage des rayons solaires (Tableau VI.16).

Tableau VI.16: Variation des quantités d’irradiation globale reçue pour chaque type végétale selon la hauteur de l’arbre



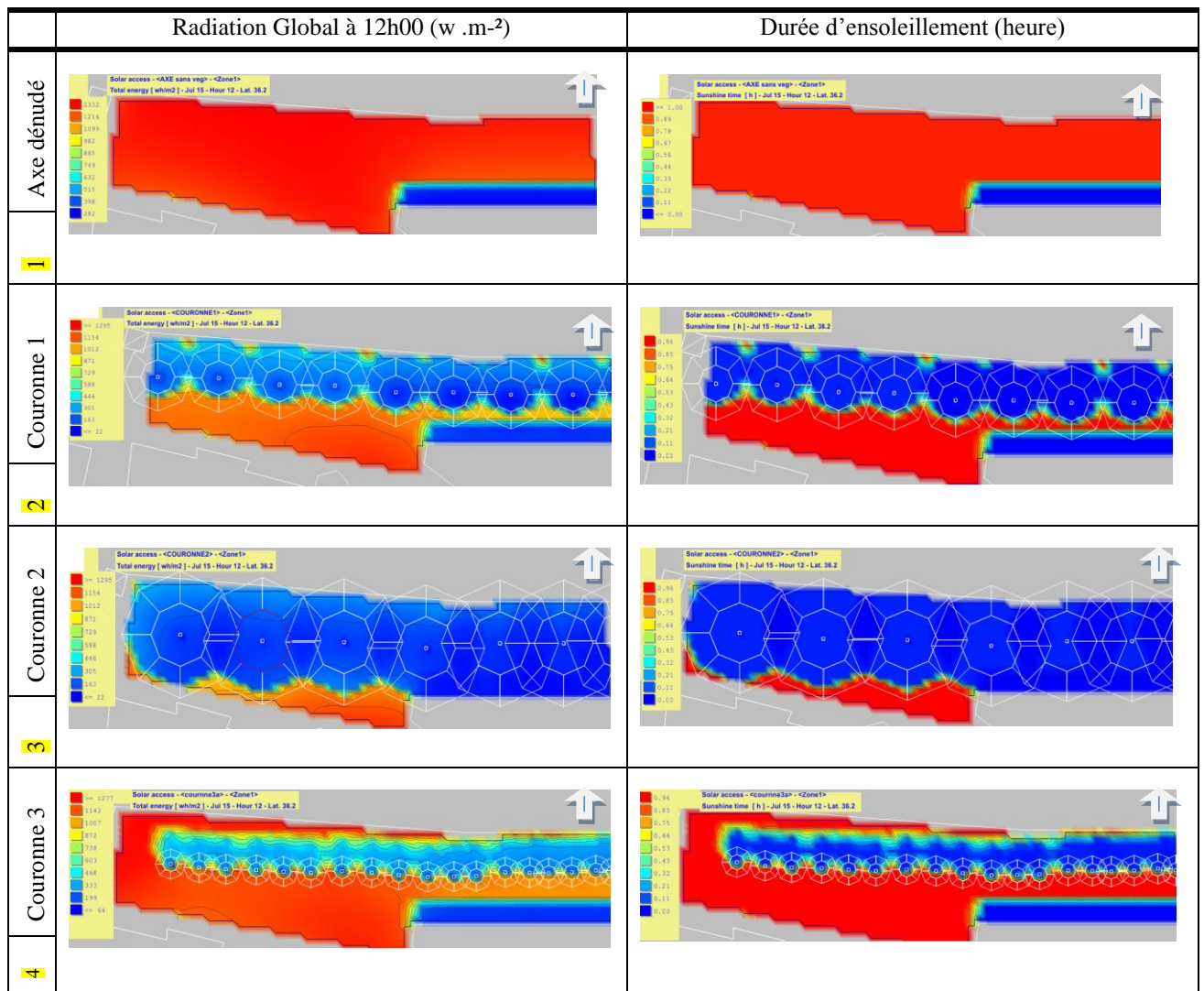
VI.5.3.3 Effet de la dimension de la canopée

L'effet de la dimension de la canopée (Da) est choisie selon de typologie d'espèce d'arbres : - Couronne1 $Da= 7m$ (*Frene*) - Couronne2 $Da = 12m$ (*Erable*) - Couronne3 $Da= 5m$ (*Orme, pin*)

Effet de la dimension de la canopée sur la quantité d'irradiation reçue

Les trois types de couronnes présente une corrélation positif entre quantité d'irradiation transmise à travers la couronne de l'arbre et la durée d'ensoleillement totale de la journée. Pour cela l'effet de l'ombre sur la qualité des ambiances thermique et qui rejoint les résultats de Mahmoud (2012) .

Tableau VI.17 : Variation des quantités d'irradiation globale reçue à 12h00 et la durée d'ensoleillement pour chaque type végétale selon la dimension de la couronne (Houppier)

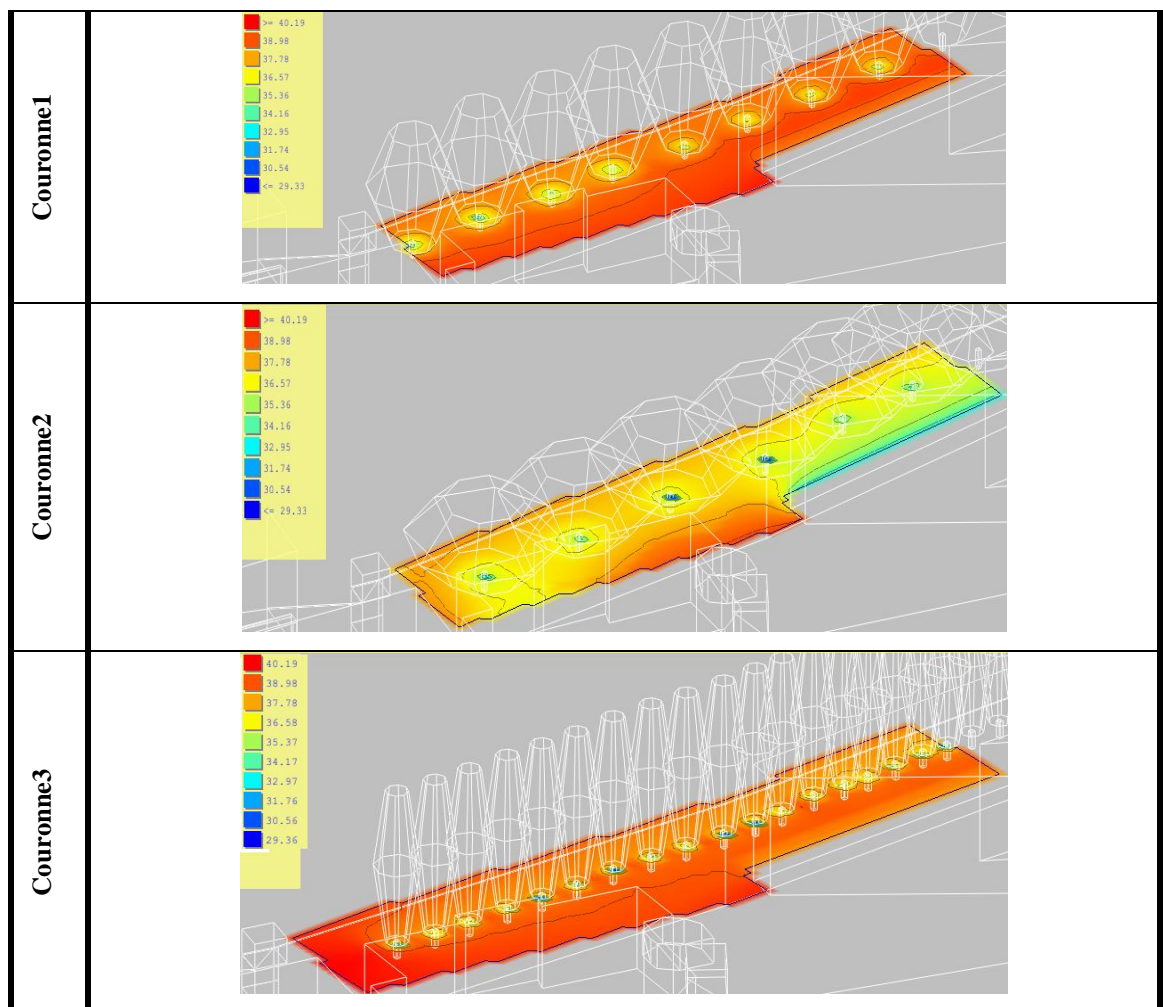


Effet de la taille de la couronne sur la température de l'air

Le tableau VI.18 montre l'effet de la taille de la couronne sur la température de l'air, plus la couronne est importante plus la quantité d'ombre portée est importante et qui garantie un blocage fort au rayonnement solaire et élargie la zone d'ombre. C'est à dire un écart de 1.21°C entre la couronne 1 et la couronne 2 à 12h00 et un écart de 2.41°C entre la couronne 2 et la couronne 3.

Conclusion : les arbres qui présentent un port important sont recommandés pour les espaces semi-ouverts et ouverts (Erable, platane ...).

Tableau VI.18 : Comparaison des températures de l'air à 12h00 pour les trois types de couronnes



VI.5.3.4 Effet de la densité foliaire (LAD)

L'effet de la densité de la végétation (LAD) a été testé sous différents densité selon les espèces qui pousse dans la région de Constantine.

L'effet de la densité sous un groupe d'arbre a été simulé par le logiciel TownScope selon un espace dénudée de végétation et autre avec végétation tout en jouant sur le degré de couverture de l'arbre de 25% , 50% ,70%, 75% ,80%, 85% et 90% .

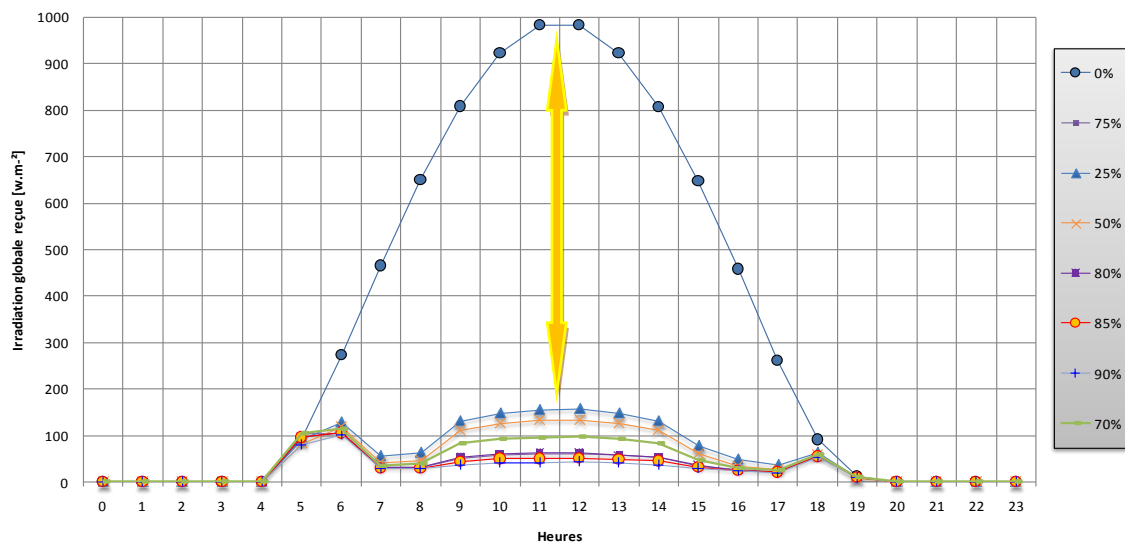


Figure VI.64 : Effet de la densité foliaire (LAD) sur la quantité d'irradiation globale reçue journée du 15Juil

Les résultats (figure VI.64 et VI.65) montrent que la densité foliaire a un impact sur le degré de confort, voire d'ambiance dont on enregistre un minimum de 4459 w.m^{-2} dans un espace couvert d'une couronne de faible densité foliaire de 25% ; par contre on enregistre que 1210 w.m^{-2} dans un espace couvert d'une couronne de moyenne densité foliaire de 50%. Cette valeur peut être diminuée à 127 w.m^{-2} ce qui est très important dans l'appréciation du lieu. Donc soit un abaissement de 1000 w.m^{-2} , qui coïncide avec les conclusions de B. Kotzen (2003) ; Shahidan M. F et al (2010) et celle de L M Rodriguez Potes et al (2012).

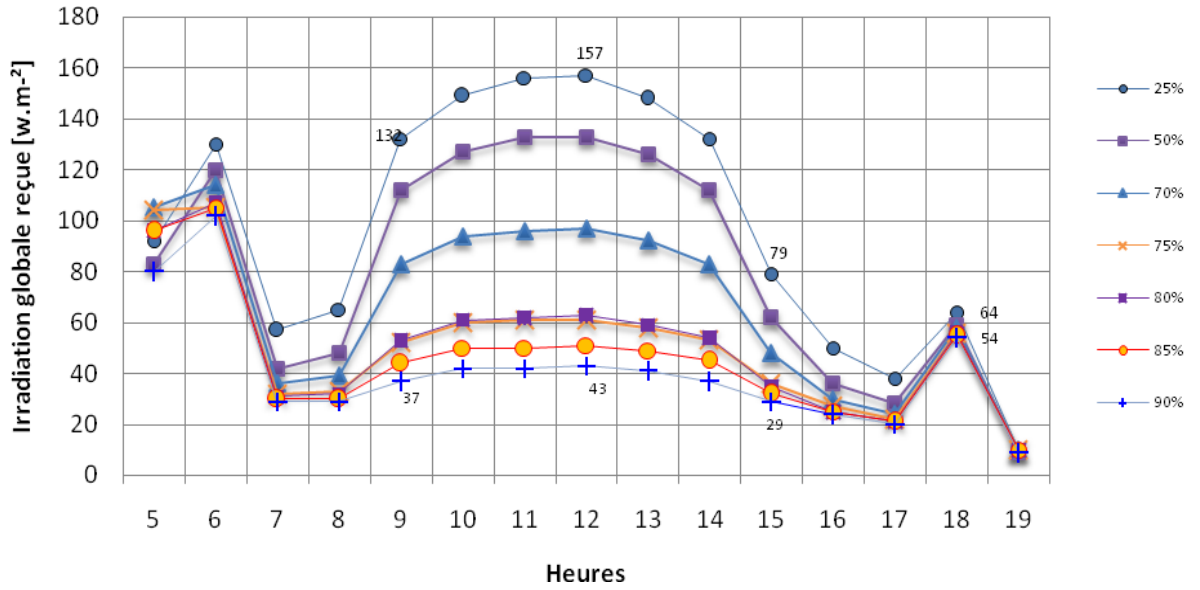


Figure VI.65: Variation de l’irradiation globale reçue sous canopée de différents densité foliaire(LAD) journée d’été

Une corrélation négative ($R^2= 0.887$) entre la densité foliaire (LAD) et la quantité d’irradiation transmise à travers la couronne. La figure VI.66 montre que la quantité d’irradiation solaire soit minimale $< 100\text{w.m.-}^2$ en période d’été lorsque la densité de feuillage soit $> 50\%$.

Donc pour refroidir l’air en été et créer des ambiances thermiques et visuelles de qualité, il faut privilégier des rues avec d’importants pourcentages de feuillage (plus de 50 %) ce qui rejoint les conclusions de L M Rodriguez Potes et al (2012).

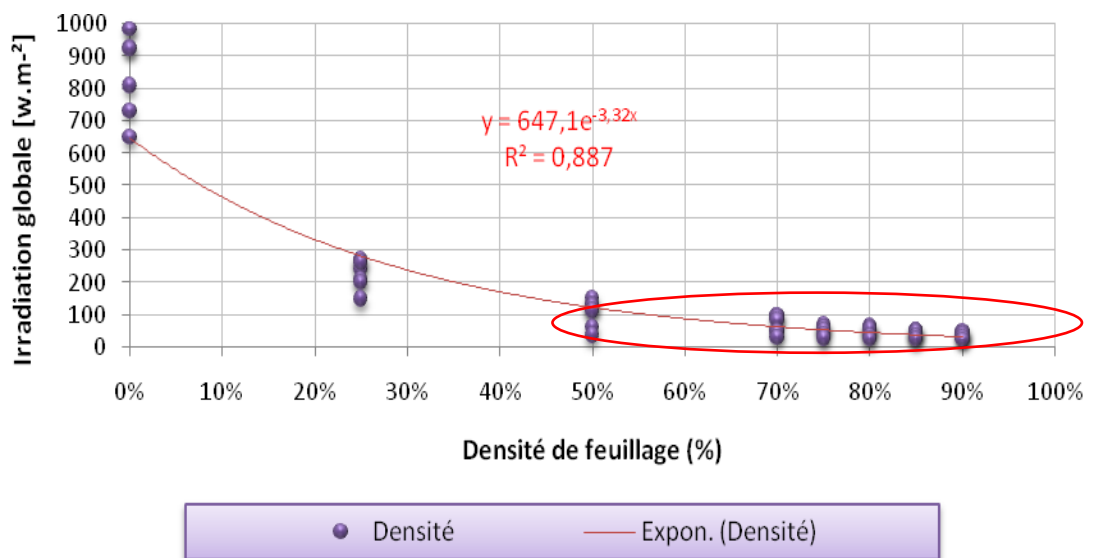


Figure VI.66 : Corrélation entre LAI et Transmission des radiations solaires, période d’été

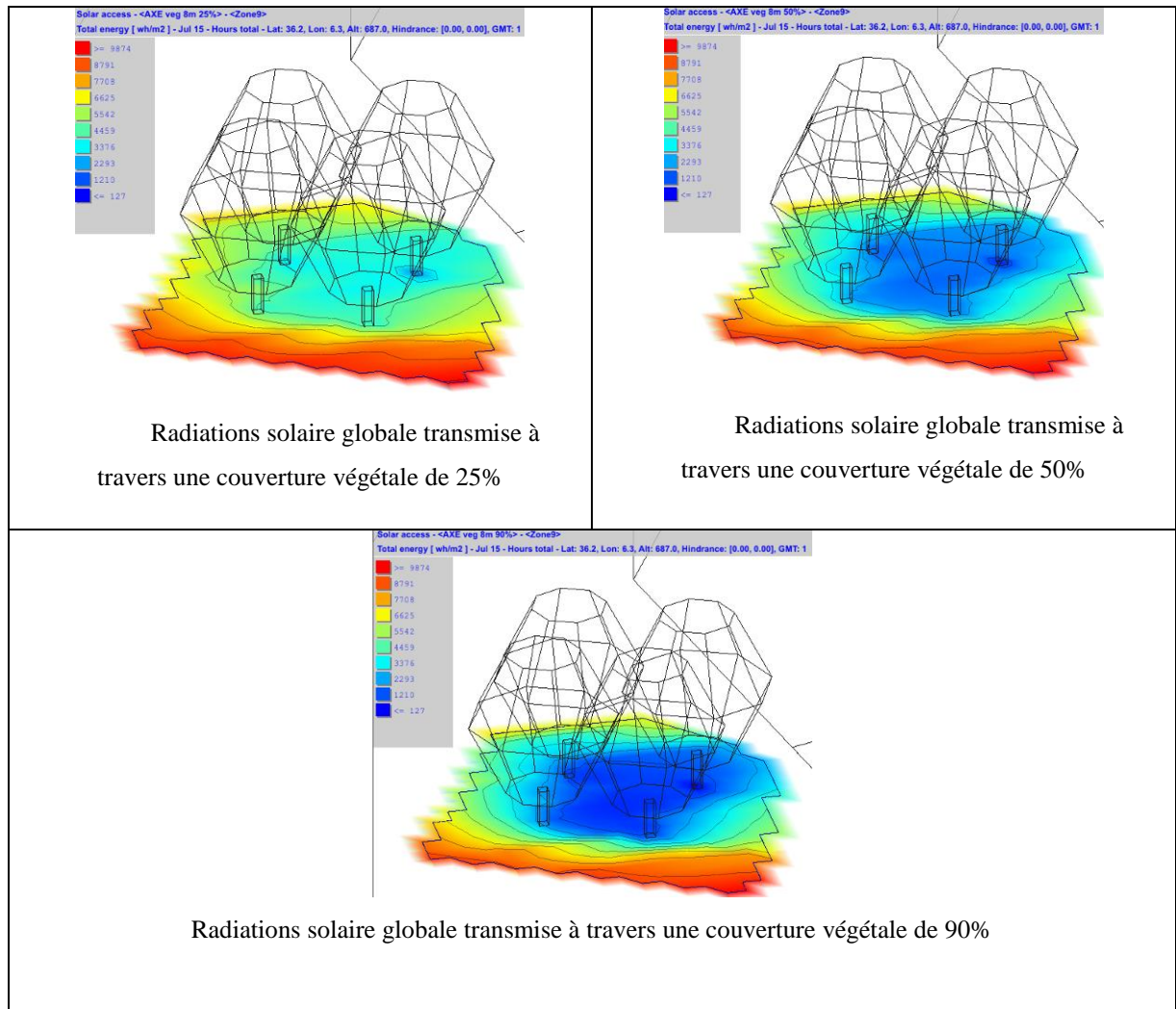


Figure VI.67: Effet de la Densité foliaire d'un bouquet d'arbres dans l'espace ouvert sur la quantité d'irradiation solaire transmis

VI.5.3.5 Effet de la couverture de la rue

La distance de plantation des arbres par rapport aux bâtiments et la couverture végétale de l'arbre modifient les conditions thermiques et visuelles. La couverture végétale est la zone qu'occupe la couronne sur la rue ; cette distance D_a est rapportée à la largeur de la rue L et exprimée par le coefficient $2D_a / L$.

- Plus ce coefficient est proche de **1** : plus les arbres remplissent le ciel est l'ouverture au ciel est petite
- Plus ce coefficient est proche de **0** : plus le ciel est ouvert



Figure VI.68: Cas 4 « sans végétation $H/L=0.6$ et $2Da/L= 0$ »



Figure VI.69 : Cas 3 « aménagement d'arbres en alignement avec voûte végétale $2Da/L= 1,33$ »



Figure VI.70 : Cas 2 « aménagement d'arbres en alignement sans voûte, adjacente aux façades $2Da/L= 0,6$ »

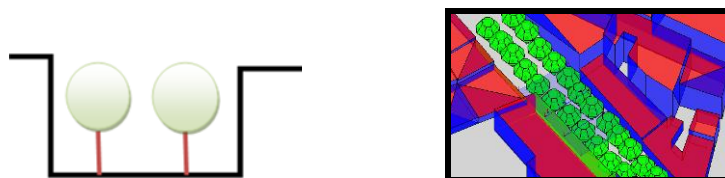


Figure VI.71 : Cas 1 « aménagement d'arbres en alignement sans voûte, écarté des façades $2Da/L= 0,6$ »

Le Cas 3 « aménagement des arbres en alignement avec voûte » présente les températures les plus basses des autres cas, et le cas 2 présente les températures les plus hautes après le cas 4 « sans aménagement ». C'est-à-dire un écart de $11,13^{\circ}\text{C}$ entre cas 3 et Cas 2 et de $13,32^{\circ}\text{C}$ entre Cas 3 et Cas 4 (Figure VI.72, Tableau VI.21)

Le Cas 3 avec la voûte végétale, impose un blocage fort au rayonnement solaire et induit une température moindre et un indice de confort créant une ambiance plus raffinée.

Pour obtenir une ambiance plus fraîche possible durant la période estivale, il faut privilégier les plantations types Cas 3 et Cas 1, soit des couvertures végétales fortes qui apportent de l'ombrage à la rue et aux bâtiments ($2Da / L > 0.7$)

Tableau VI.19 : Evaporation de la sueur (gr/h) simulé dans les différentes couvertures végétales à 12h00.

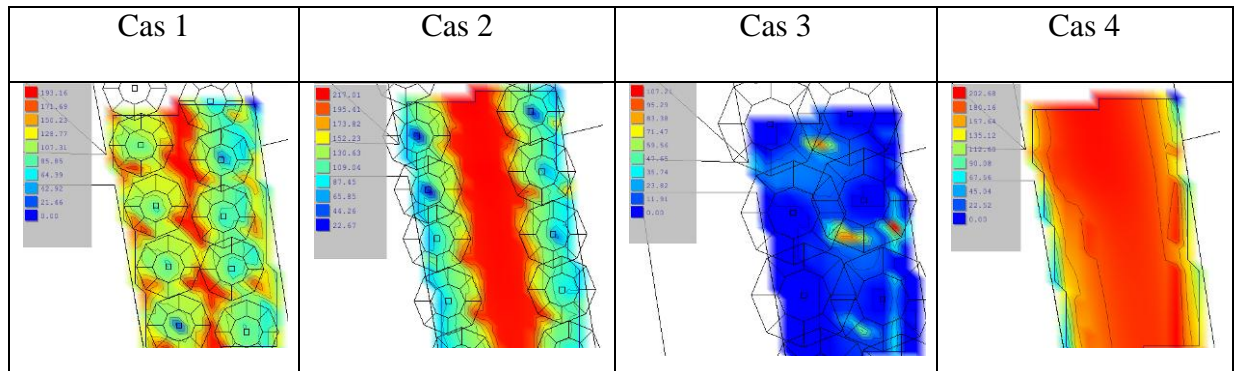
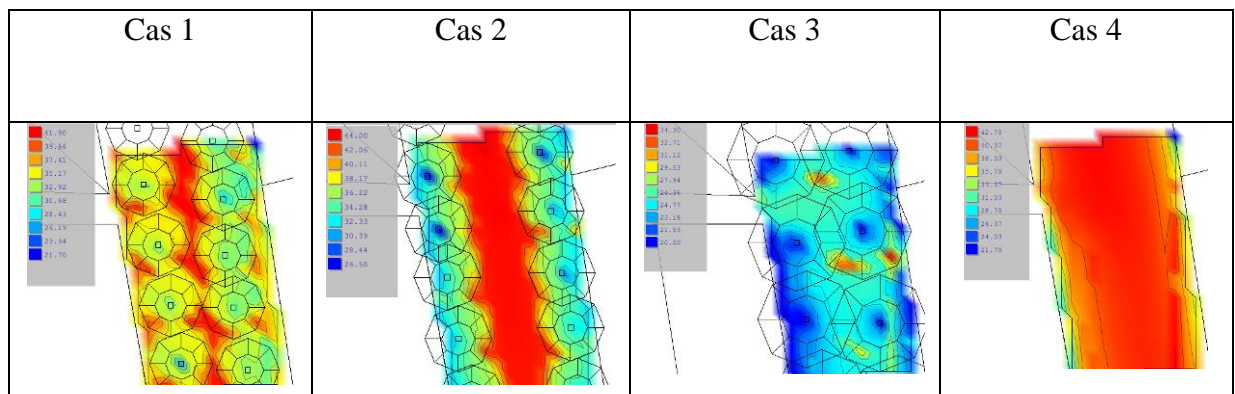


Tableau VI.20: Température ressentie (°C) simulé pour les différents types de couvertures végétale à 12h00.



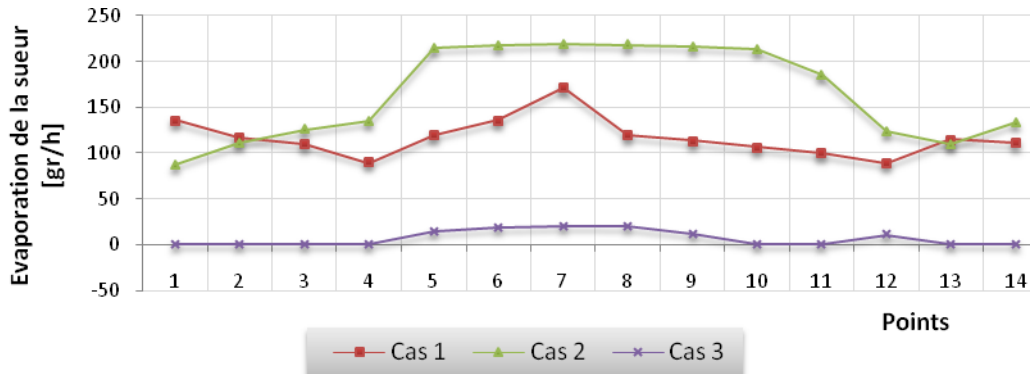


Figure VI.72 : Comparaison du degré de confort : Evaporation de la sueur en [gr/h] pour les trois cas de couvertures végétale à midi durant le mois de juillet

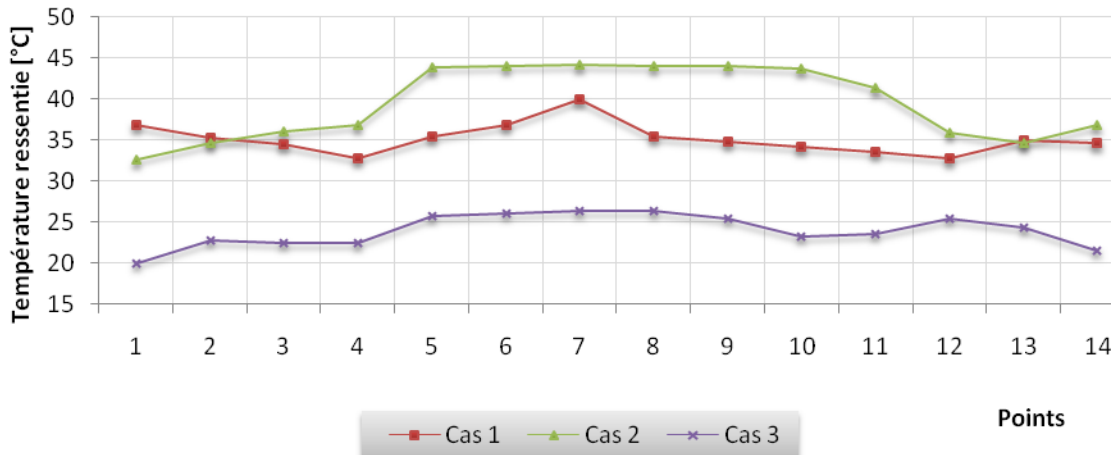


Figure VI.73 : Comparaison du degré de confort : Température ressentie en [°C] pour les trois cas de couvertures végétale à midi durant le mois de juillet

Tableau VI.21 : Résultat de confort selon la moyenne de la température de l'air à 12h00 et type de couverture végétale en rapport à l'occupation de la couronne.

	Da (m)	2Da /L /	Ta (°C)	Hr (%)	rad (w/m ²)	PET (°C)	PMV /	Tmrt (°C)
Cas 1 (sans voute écarté de la façade)	6	0.6	33,51	25	204,29	33,7	2,4	34
Cas 2 (sans voute adjacente de la façade)	6	0.6	35,97	25	545,71	45,2	5,2	52,2
Cas 3 (voute)	10	1.33	24,84	50	13,14	20,4	-0,8	16,2
Cas 4 (sans vegetation)	/	0	38,16	20	911,57	56,9	8,1	69,1

VI.5.3.6 Effet de l'orientation

Le placement des alignements par rapport aux directions de la rue Nord-Sud(N-S), Est--Ouest(E-O), Nord-est-Sud-ouest (Ne-So) et Nord-Ouest-Sud-Est (No-Se) peut modifier les conditions thermiques et visuelles en tant que blocage du rayonnement solaire et du vent.

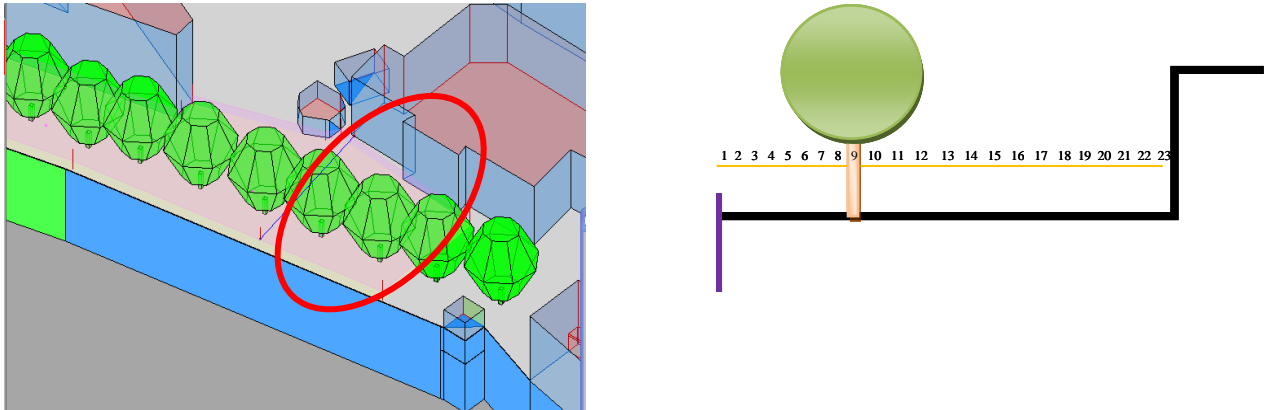


Figure VI.74 : Position de la ligne de référence simulée à 1.50m selon la largeur de la rue

Le cas de l'axe Est-Ouest ouvert côté Sud présente les températures de l'air les plus basses des autres orientations. Le cas de l'orientation Est-Ouest ouvert côté Nord présente des températures les plus hautes. C'est-à-dire un écart de 2.8°C sous la couronne d'arbre et un écart de 2.7°C en dehors de la couronne.

En partant de l'orientation Nord ouest-Sud est et plus en tourne vers l'orientation Est-Ouest, plus la température de l'air augmente.

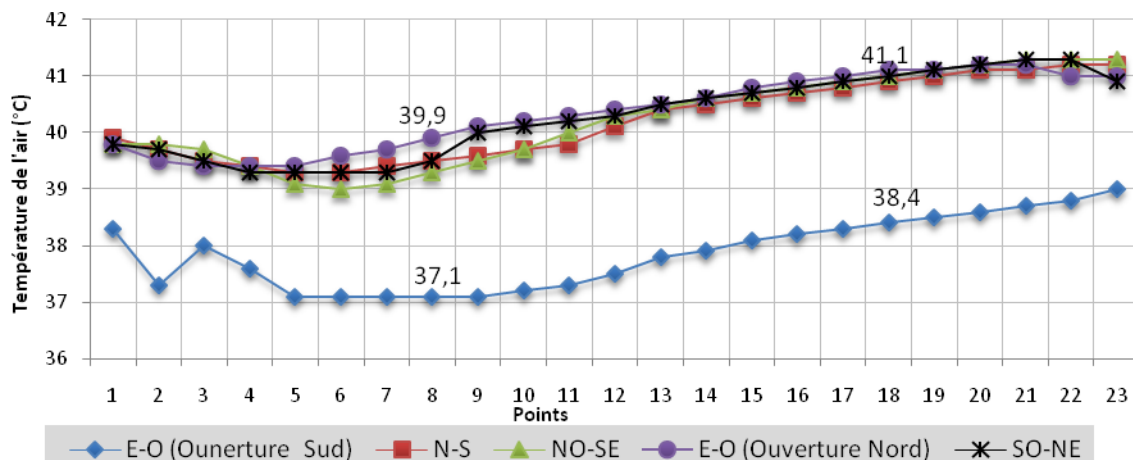


Figure VI.75 : Effet de l'orientation de l'axe sur la température de l'air

Tableau VI.22 : Radiation solaire globale et durée d'enseillement pour les différentes situations simulées selon l'orientation.

	Totale Radiation Global (w .m-2)	Durée d'enseillement journée (heure)
EST OUEST Façade bâtiment/Nord		
EST OUEST Façade bâtiment/Sud		
Nord Est- Sud Ouest		
Nord Ouest- Sud Est		
Nord -Sud		

Tableau VI.23 : Effet de la végétation selon l'orientation sur la quantité d'irradiation solaire globale reçue à 9h00, 12h00, 15h00 et 18h00.

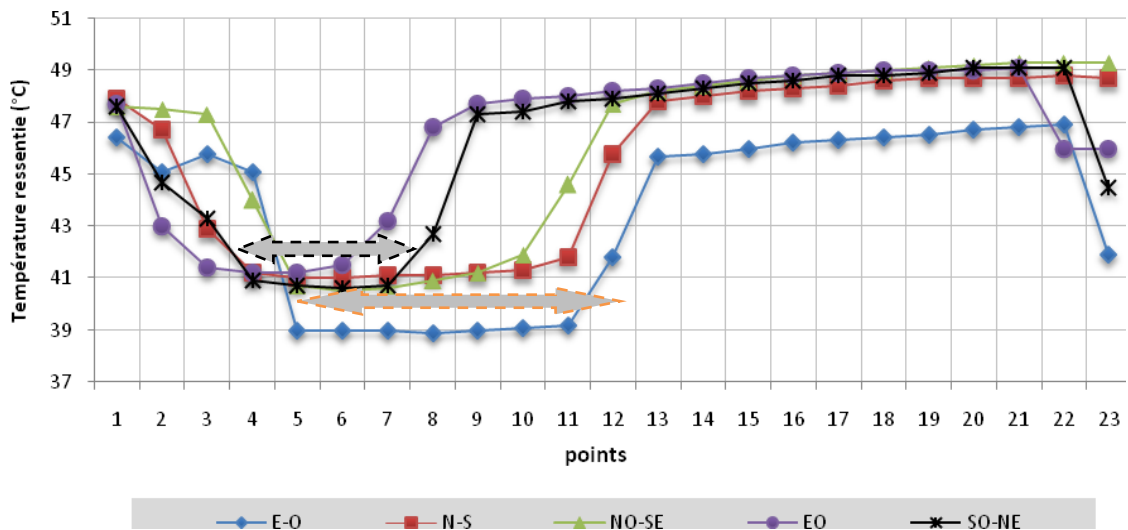
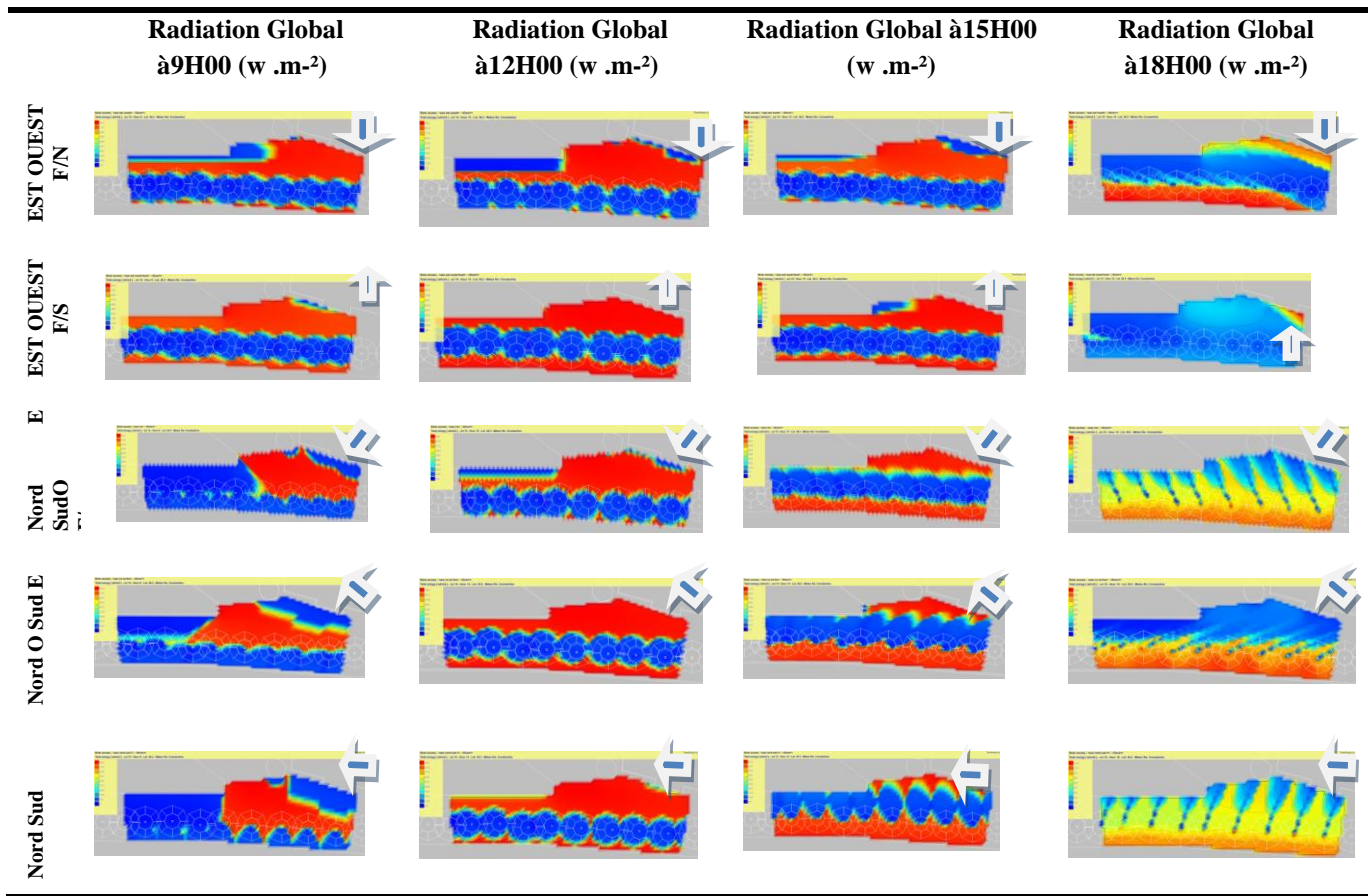
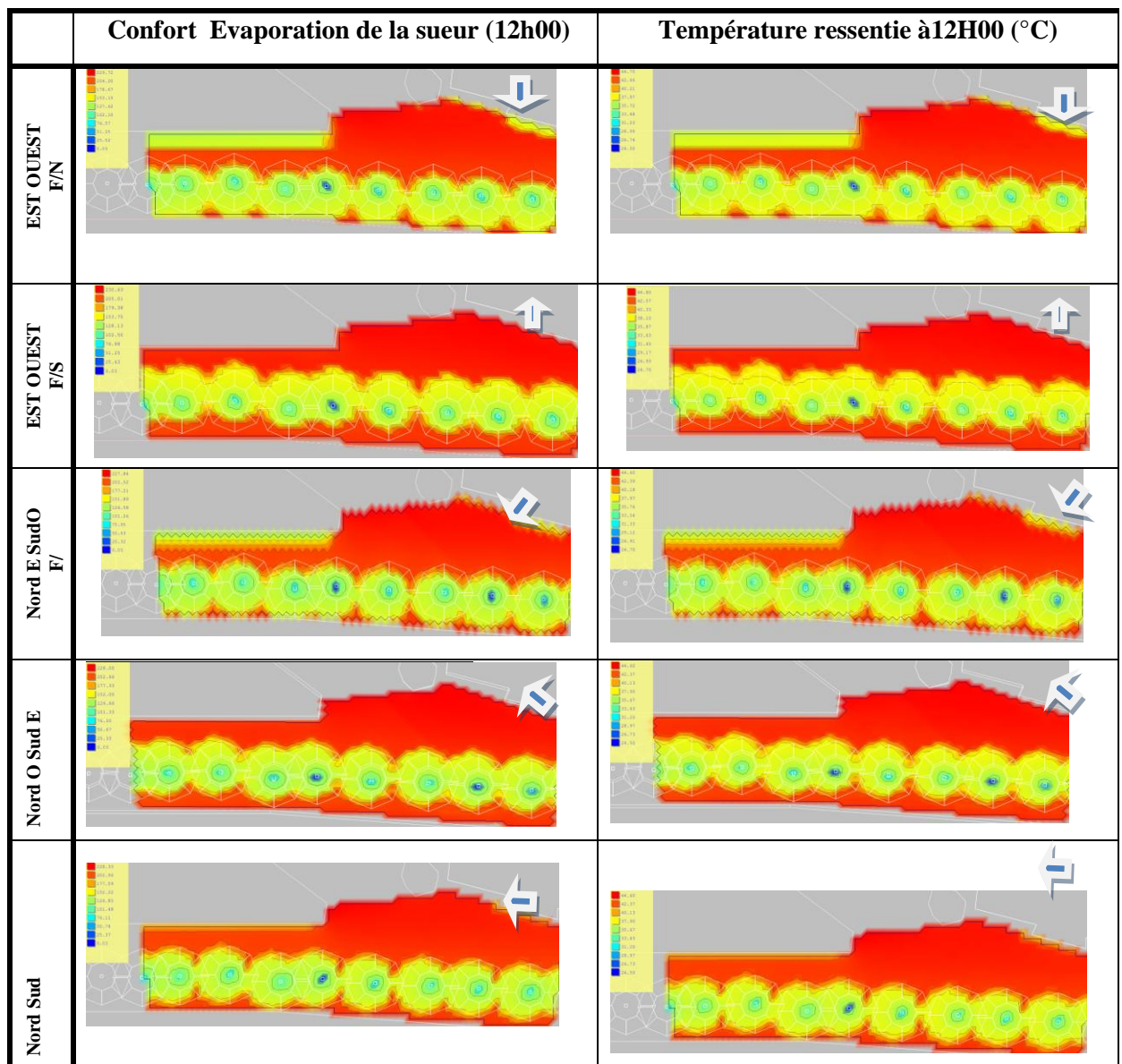


Figure VI.76 : Effet de l'orientation sur la température ressentie

Tableau VI.24 : Effet de l'orientation sur le confort de l'individu.
(Evaporation de la sueur gr/h, Température ressentie °C)



VI.5.3.7 Effet de la distance et masse végétale

L'effet de la présence de la végétation sur l'environnement immédiat a été testé selon la taille de l'espace vert allant de l'absence totale de la végétation à la présence d'un seul arbre, d'un bouquet d'arbres (4 arbres) à la présence d'un Park (square) d'une taille moyenne Figure VI.77.

Les points simulés se trouvent P1 à 1m de l'arbre ou le groupe d'arbres, P2 à 8m et P3 à 16m.

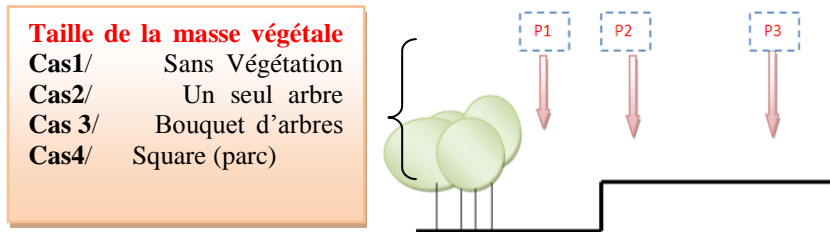


Figure VI.77 : Points de simulation pour chaque cas selon la distance

Les résultats montrent que la taille de la végétation a un impact sur la variation le degré de confort soit la qualité de l'ambiance sur l'espace immédiat.

La figure VI.78 montre que l'existence d'un seul arbre fait abaisser la température ressentie à 7.3°C à 1m de l'arbre et 0.6°C à une distance de l'arbre

Par contre l'existence d'un bouquet d'arbres fais abaisser la température ressentie à 7.9°C à 1m et de 11.5°C devant un parc (square) ce qui démontre l'effet de la masse végétale sur l'environnement immédiat.

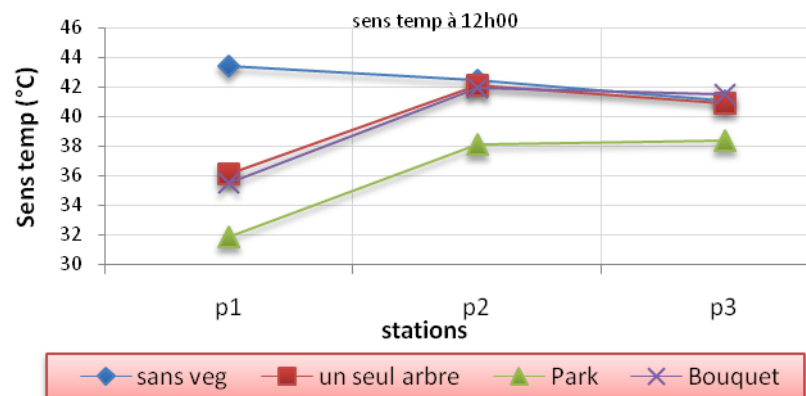


Figure VI.78 : Effet de masse végétale sur la sensation de la température à 12h00

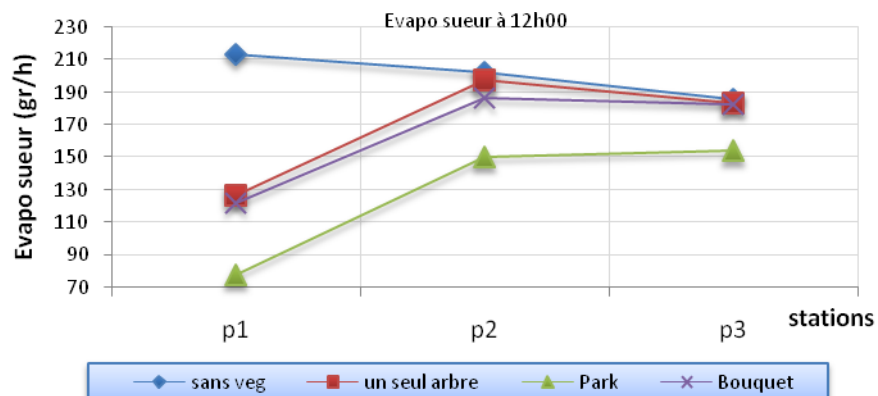
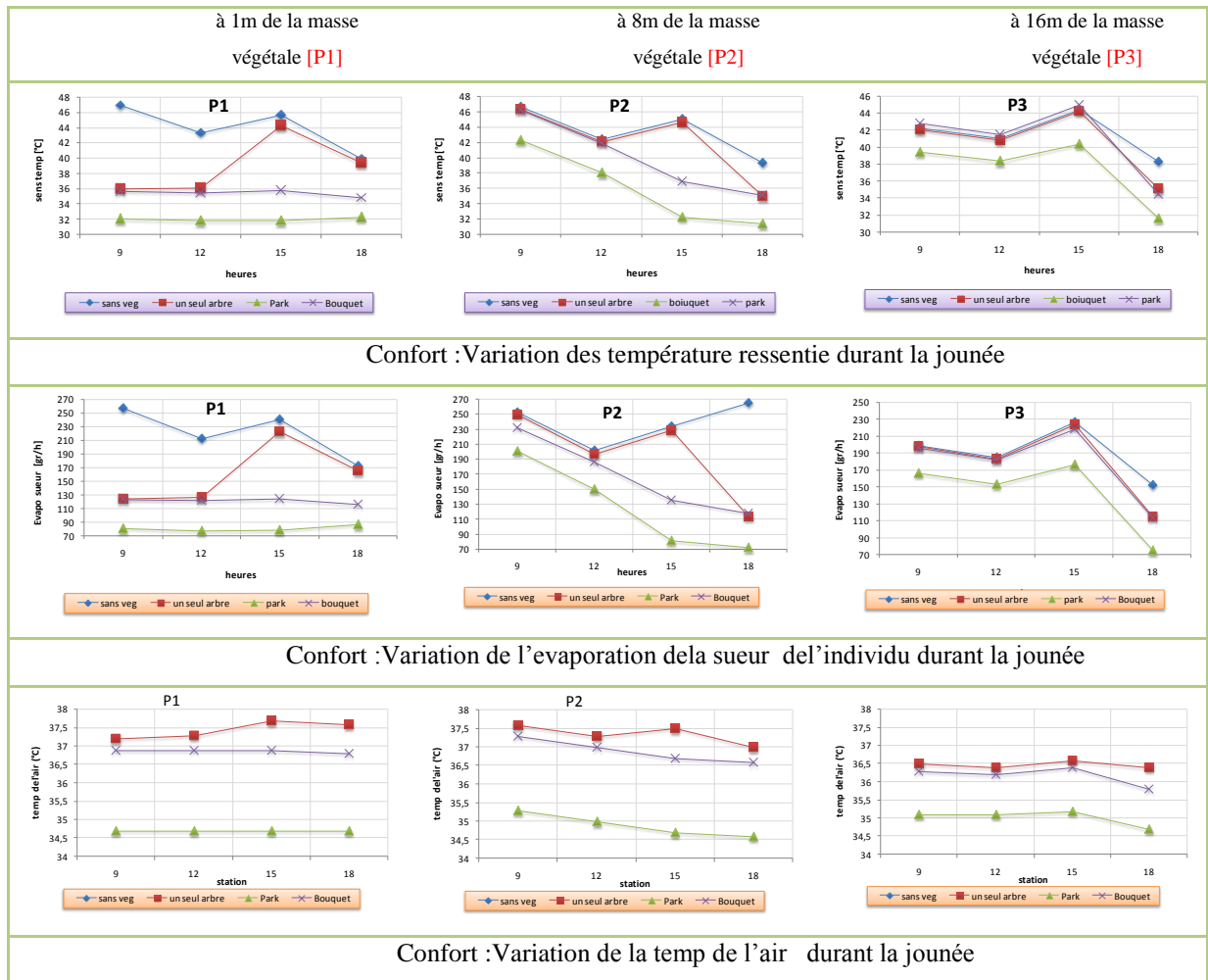


Figure VI.79 : Effet de masse végétale sur l'évaporation de la sueur de l'individu à 12h00

Tableau VI.25 : Effet de la végétation sur l'environnement immédiat selon la taille de l'espace vert



VI.6 Conclusion

Par rapport à d'autres surfaces artificielles, la présence de végétations au sein du milieu urbain diminue la température de l'air par évaporation d'eau et évapotranspiration des végétaux. En outre, la végétation réduit la température des surfaces environnantes par l'ombre qu'elle produit. Les surfaces à l'ombre avec des températures plus faibles que les autres surfaces de la scène urbaine émettant moins de rayonnement de grandes longueurs d'onde et le transfert de, chaleur vers le milieu environnant sont diminuées réduisant de ce fait le stress thermique en période d'été.

Ce chapitre a été consacré à l'étude de la relation entre le degré de présence ou la densité de la végétation d'une part et du confort thermique et visuel dans l'espace extérieur urbain, d'une autre part.

L'influence de la végétation sur le confort thermique est approchée à travers la présence quantitative de la végétation dans l'espace public, néanmoins d'autres paramètres concernant cet élément pourraient être étudiés tels que : le type d'arbre, la densité du couvert végétale, le positionnement de ces arbres dans l'espace et les uns par rapport aux autres (végétation rapprochée ou éparse) etc. et sur le confort visuel est approchée à travers la présence de la végétation selon l'angle d'incidence des rayons solaires.

Les résultats ont montré, que la présence de la végétation dans l'espace extérieur urbain influe considérablement sur les conditions du confort thermique et visuel extérieur en période estivale. Cet effet est d'autant plus significatif dans les zones avec une végétation dense et où sont observées les valeurs les plus confortables de températures ressenties et énergie solaire absorbée. L'influence de la masse végétale dans l'espace (rue, place et square) est très importante. Les améliorations dues à l'effet de la végétation au niveau de l'espace extérieur urbain sont sensibles par la création de source ou de puits de fraîcheur. Cette végétation agit sur les quantités de rayonnement transmis, les températures de surface et de l'air ainsi que sur l'humidité spécifique de l'air. Par l'analyse des conditions de confort on observe que la présence des arbres modifie d'une manière significative les températures radiantes moyennes, les échanges de chaleur sensible et latente entre l'individu et l'air ambiant. Ces modifications engendrent des améliorations en terme de confort thermique.

Le calcul du PMV et du PET nous a permis de mettre en avant les différentes situations de confort présentes dans un même lieu à travers la période de simulation.

Cependant, différents types de représentation peuvent être utilisés, comme des cartes délimitant les zones de confort dans l'espace ou des graphes représentant l'évolution des conditions de confort dans une dynamique de parcours. Cette représentation des zones de confort peut donner, au cours d'une journée, les zones de confort dans l'ombre du bâtiment ou à l'ombre des arbres. À midi, les températures et les apports solaires sont trop importants pour permettre une situation de confort même à l'ombre des arbres.

De ce qui précède, on peut affirmer que les feuillus tels que le Platane, le Sophora, le Frêne, le Méléa, le Favier d'Amérique, le Troène arbre... sont les plus recommandés. Ils assurent

les fonctions citées ci-dessus et l'ombrage pendant l'été, que tout le monde recherche, pour fuir l'insolation intense.

Ces modélisations ne sont pas exhaustives et d'autres paramètres pourraient être testés (nature de matériaux, de la végétation, le type de feuillages etc.). Ces études complémentaires peuvent permettre de donner des règles d'aide à la conception des aménagements.

Conclusion Générale
Conclusion Générale
et
Recommandation

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

Conclusion Générale

Les espaces extérieurs sont nombreux en ville (rues piétonnes, plaines de jeux, espaces verts). L'utilisation optimale de ces espaces nécessite la connaissance des microclimats engendrés par leur environnement urbain. La présence de végétations autour des bâtiments n'a pas seulement un effet psychologique mais peut aussi améliorer des conditions microclimatiques défavorables. Les effets induits sont nombreux et concernent aussi bien des problématiques d'urbanisme et de climatologie, que de confort et d'ambiance. Les travaux présentés dans cette thèse sont consacrés à la caractérisation du microclimat urbain et la qualité d'ambiance, en particulier à la mise au point des situations avec présence de la végétation et d'autres sans végétation. Ce travail de recherche s'inscrit dans le champ de l'investigation à petite échelle. Cette recherche a permis de montrer que le contrôle microclimatique des espaces extérieurs peut être assuré par des aménagements urbains raisonnés à l'aide de dispositifs naturels, comme la végétation et l'eau.

La conception d'espaces publics urbains de qualité est un atout majeur pour développer les qualités architecturales, sociales, environnementales et économiques de nos villes. Ce travail de thèse s'inscrit dans la recherche de nouveaux modes de conception de notre espace habité pour assurer le développement durable des villes.

Les effets bénéfiques les plus importants d'une conception urbaine en tenant compte du confort des individus d'après S.Reiter sont :

- L'amélioration de la qualité de vie dans les espaces publics ;
- L'accroissement de l'utilisation des espaces urbains (rencontre, mixité, démocratie..) ;
- La diminution des consommations d'énergie ;
- La limitation des nuisances environnementales (pollution atmosphérique, amélioration de la santé...)
- La valorisation de l'image de la ville.

Les individus résident dans des milieux urbains où les bâtiments (par leur conception et leur densité) et les modifications apportées par l'homme au milieu ont une influence significative

sur l'atmosphère et sur l'utilisation de l'espace public. L'urbanisation altère le milieu : couvertures des sols, modification des propriétés physico-chimiques de l'atmosphère (smog) et émission de polluants atmosphériques due à une forte densité de trafic. Les surfaces naturelles, telles que la végétation, absorbent une part relativement importante de l'énergie solaire qui est utilisée dans le processus d'évapotranspiration (génération de l'humidité) et contribue alors au refroidissement de l'air. A l'inverse, les espaces bâtis se composent en grande partie de matériaux de construction hydrofuges non réfléchissants. Par conséquent, elles ont tendance à absorber une part importante des rayons solaire, qui sont ensuite relâchés sous forme de chaleur.

La plupart des études concernant l'influence de la végétation sur la qualité des ambiances à l'extérieur sont principalement concentrées sur les espaces verts de grande taille. Les effets de la végétation à petite échelle, comme les squares, les places et les rues sont moins connus, malgré leurs importance par rapport au piéton et à l'appropriation de l'espace.

La présente recherche vise à traiter la relation entre la couverture végétale et la qualité d'ambiances (thermique, visuel, sonore et olfactive) d'une part et le microclimat engendré par sa présence, et cela dans le contexte des régions semi arides à climat chaud et sec, particulièrement le centre ville de Constantine ville de l'est Algérie. Dans ce type de climat les paramètres microclimatiques tels que la chaleur et la lumière peuvent varier en fonction de l'espace et du temps. Ces variations souvent générées par la présence de la végétation peuvent être plus au moins appropriées aux conditions du confort thermique et visuel, dépendamment des facteurs tels que les conditions climatiques, la forme des constructions, la nature de l'espace et son mode d'occupation.

La conception des ambiances urbaines est un processus architectural qui se situe à la charnière entre différentes disciplines, telles que l'urbanisme, la climatologie, la physiologie et la psychologie. Chaque partie de cette recherche est étudiée selon une démarche multidisciplinaire et holistique afin d'analyser les ambiances urbaines dans leurs aspects qualitatifs autant que quantitatifs.

Nous rappelons que cette recherche a nécessité deux phases d'intervention.

La première partie a été consacrée à une revue bibliographique des ambiances urbaines. Cette revue bibliographique nous a permis de dégager les besoins en termes d'études du microclimat urbain. Notamment en ce qui concerne l'utilisation de l'espace public à l'extérieur, et pour l'évaluation des stratégies d'amélioration du climat et des conditions du confort en espace extérieur.

Lors de cette étude, nous avons vu que l'échelle microclimatique a pour but d'évaluer l'ambiance, le confort des piétons et la qualité de l'air. A cette échelle l'homme peut intervenir pour atténuer les conséquences climatiques. Dont l'introduction de la végétation, le contrôle et la gestion des apports solaires conditionnent le confort thermique et visuel des occupants. Du point de vue thermique, la protection des surchauffes estivales, concernant le confort visuel, protection contre l'éblouissement et la lumière diffuse de l'environnement. Un facteur important d'amélioration du cadre de vie ; il s'agit notamment d'offrir une ambiance climatique favorable pour les déplacements piétonniers ou les espaces de vie extérieurs en veillant à l'adéquation entre leurs usages et leurs conditions d'ensoleillement.

La diversité environnementale et la notion d'adaptation en milieu urbain ont également été explorées à travers cette recherche. Il s'agit particulièrement de démontrer visuellement et quantitativement la diversité de l'environnement thermique et visuel en milieu urbain. Cependant, il fallait combiner plusieurs stratégies méthodologiques afin de représenter cette dynamique environnementale, notamment l'observation vidéo et manuscrite ainsi que la mesure simultanée des paramètres microclimatiques en mouvement. Le croisement des données permet d'analyser l'environnement thermique et visuel caractérisant un parcours urbain, et ce durant des journées typiques d'été.

La deuxième partie a été consacrée à une exploration sur terrain par une enquête pour recueillir la perception des usagers sur les espaces et leurs conditions microclimatiques, une observation selon un parcours commentée pour une lecture subjective des différents espaces et par un système d'acquisition basé sur des relevés des paramètres microclimatiques en mouvement à travers le parcours urbain exploré par l'enquêteur à l'aide d'appareils portatifs. A travers les enquêtes nous avons pu qualifier ces espaces selon le point de vue de leurs usagers. Différents critères qui semblent très intéressants dans l'appréciation de ces espaces par leurs usagers ; l'effet d'ouverture de l'espace est un des critères qui s'est répété plusieurs fois dans les réponses des interrogés de tous les espaces. Espace ensoleillé ou à l'ombre, espace minéral ou vert, font aussi parties de ces critères. Le choix des indicateurs physiques a été effectué selon ces résultats d'enquêtes et a concerné principalement les deux critères de lumière (luminosité) et d'ensoleillement.

À travers cette diversité environnementale, différents niveaux d'adaptation physiologique peuvent être distingués. Un graphique des différentiels de température équivalente types de transition physique (Potvin, 1997 et Stathopoulos, 2004) a été appliqué pour le parcours urbain durant une journée typique d'été. Ce graphique permet de démontrer les différents

niveaux d'adaptation caractérisant ce parcours urbain. Les résultats suggèrent que les niveaux d'adaptation pour un piéton sont fonction non seulement du temps mais aussi du degré de la diversité environnementale caractérisant son parcours (végétale ou minérale).

La dynamique de cette diversité environnementale est très liée à la présence ou l'absence de rayonnement solaire. Des valeurs plus élevées de températures et d'intensité lumineuse ont été enregistrées simultanément au soleil, par contre les moins élevées sont enregistrées à l'ombre.

Les conclusions suivantes ont été relevées :

- La présence d'obstacles naturels et artificiels autour du corps humain a un impact sur les flux de radiation donc sur le bilan énergétique du corps humain.
- Le changement dans les situations de radiation cause des changements dans la perception de confort thermique.
- Des conditions bioclimatiques désavantageuses peuvent être améliorées (par exemple par la plantation d'arbres) même dans le cas de vieille structure "héritée" de la ville.
- Au cours de la planification de nouveaux quartiers dans des conditions bioclimatiques de la ville doit être prise en considération.

La simulation numérique est basée sur un programme tridimensionnel Townscope 3.1 qui a permis de vérifier et de valider les résultats obtenus par la campagne de mesure puis d'évaluer le confort thermique et visuel par rapport aux apports solaires au niveau du parcours urbain d'investigation.

Ensuite une évaluation des indices de confort PET et PMV calculé par le logiciel RayMan1.2 pour compléter les résultats obtenus par le logiciel TownScope, ont été réalisés afin de comparer le degré de confort des différents espaces.

Une très forte corrélation entre le degré de couverture par la végétation et la température physiologique équivalente (PET) et le vote moyen prévisible (PMV).

Les résultats ont montré, que la présence de la végétation dans l'espace extérieur urbain influe considérablement sur les conditions du confort thermique extérieur et le confort visuel en période estivale.

Ces effets se sont améliorés au fur et à mesure dans chaque scénario pour atteindre des valeurs maximales dans le dernier scénario et pour tous les paramètres (températures de l'air,

Intensité des radiations solaire et le pourcentage de l'éclairement énergétique) et cela se reflète sur les valeurs de PMV et de PET. Bien sûr les améliorations sont plus importantes dans les zones proches de la végétation.

La qualité des ambiances thermiques de l'être humain affecte également l'utilisation de l'espace extérieur. Le nombre de visiteurs dans les espaces extérieurs dépend des changements aux indices thermiques, à savoir la température de l'air (T_a), la température radiante moyenne (T_{mrt}) et la PET, pendant les saisons d'été.

Les résultats indiquent que les secteurs avec un SVF élevé, c.-à-d., endroits non ombragés, ont une plus grande fréquence des conditions chaudes pendant l'été comparé aux endroits fortement ombragés. Le confort thermique humain est supérieur quand un endroit mieux est ombragé pendant l'été. En hiver, parce que l'espace est à peine ombragé peut contribuer à un plus grand rayonnement solaire, le confort thermique humain est supérieur quand l'endroit moins est ombragé. Les arbres du type caduc peuvent être utiles pour ombrager les espaces publics en été et laisser le soleil pénétrer l'hiver.

Les rues avec un rapport élevé d'H/L peuvent améliorer les conditions thermiques extérieures au niveau piétonnier dans les villes.

L'étude a permis d'affirmer l'intérêt qu'on doit accorder à la végétation et donc la nécessité de porter plus d'attention aux éléments naturels qui participent à l'aménagement des parcours dans les zones les plus critiques. En effet, le climat urbain est fortement perturbé par le manque de végétation, par les matériaux de surface employés et par les activités anthropiques qui s'y développent. La ville, en modifiant le climat, agit directement sur les problèmes de santé liés à la pollution et aux vagues de chaleur, sur le confort en espace extérieur et sur la consommation d'énergie dans les bâtiments.

En effet, l'utilisation abondante de végétation a permis, non seulement de rendre le cadre plus attractif mais surtout d'améliorer les conditions de visite, même lorsque les contraintes thermiques étaient fortes en situations estivales.

Une amélioration dans le taux de transmissions des rayons solaires directs qui perturbent la visibilité et qui créent des éblouissements, la végétation filtre les rayons solaires à travers la masse foliaire et qui atteint une diminution de 60% à 90% .

Recommandations :

Les différents résultats rassemblés de la présente recherche, nous incitent à fournir des recommandations afin de créer des espaces publics urbains confortables et respectueux

de l'environnement. Les ambiances urbaines participent au développement de nos urbanisations.

Concevoir des ambiances urbaines de qualité et la création d'un espace durable, le contrôle et la valorisation des parcours urbains publics par :

- Matériaux à albédo important (couleurs claires) ;
- Végétaliser les espaces dont la valeur du SVF est importante ;
- Végétaliser les espaces dont les rayons solaires directs seront filtrés par la végétation minimisent de l'éblouissement et de l'inconfort visuel dans ces espaces ;
- La disponibilité de l'eau est indispensable pour les espaces ouverts pour bénéficier de l'effet de refroidissement surtout pour les zones ouvertes ;
- Choisir des espèces locales d'arbres, arbustes et pelouses.
- Choisir l'emplacement correct des arbres pour bénéficier de leur effet de masque désiré selon l'orientation de l'espace et selon l'incidence des rayons solaires.
- En prenant en considération les angles solaires, dimension de la couronne hauteur de l'arbre et l'essence ; le type platane ou érable est recommandé.
- Eviter que la végétation porte ombre sur les espaces durant la saison froide, c'est donc la végétation du type caduc qui est recommandé pour ce type de climat, pour se protéger des rayons solaires ;

Assurer le confort des piétons dans les espaces publics en fonction de l'ensoleillement:

- les bâtiments les plus élevés sont placés du côté nord du site, pour tenir compte de l'effet d'ombrage.
- la création des places présente une orientation préférentielle vers le sud.
- l'ensoleillement est favorisé en hiver mais un ombrage est au moins partiellement accessible en été de (**50 %** et plus de la surface totale).
- L'utilisation d'arbres à feuilles caduques est un moyen privilégié pour le confort des piétons en période de surchauffe.
- L'arbre de taille petite (de première grandeur) est recommandé pour ce type de climat
- L'espacement dans l'alignement doit être égale à la largeur de la couronne
- Le degré de couverture d'une rue doit être fonction de sa largeur **$2Da/L > 0.7$**
- Rechercher la diversité des espaces publics pour favoriser une ambiance plus raffinée.

- Les espaces ombragés par la végétation doivent être sélectionnés suivant la quantité des radiations solaires importantes.

Nos préoccupations vis-à-vis de la lumière diffuse en milieu urbain ne peuvent éviter le traitement des masques dus à la végétation (arbres principalement) ; le feuillage des arbres masquant partiellement le ciel, leur luminance lumineuse est fonction de l'éclairement lumineux reçu par le feuillage, de son facteur de réflexion, de la « quantité de ciel » visible à travers l'enveloppe de ce feuillage, et finalement de la luminance de la voûte céleste.

Si en première approximation les arbres sont modélisés comme des surfaces de révolution d'axe vertical (sphère, cône, cylindre + cônes, etc.), il est possible d'adopter, pour chaque rayon traversant cette sphère, un coefficient réducteur correspondant à la fraction de ciel couvert par l'arbre en question.

La luminance sous un groupe d'arbres est composé de radiations diffuse et une quantité variable de lumière du soleil directe. La luminance est évaluée par le pourcentage relatif à la lumière naturelle dans l'espace ouvert à celui transmis par la végétation.

La densité des feuilles de la couronne des arbres et la zone de ciel visible sont les variables avec la plus haute corrélation avec la luminance de la lumière du jour sous la végétation. Quand la couronne des arbres a une couverture de feuille homogène et peu d'espaces vides, l'éclairement du ciel visible à une influence plus grande sur l'éclairement de lumière du jour des alentours plantés avec des arbres. Cet effet plus évident en été pour les climats chauds et secs (climat semi-arid).

La transmission (le facteur de transmission) de lumière du jour diminue avec l'augmentation de la densité des feuilles : elle est minimale, de 9 % près des troncs et surfaces opaques et des branches et elle est maximal, 100 % sous les espaces vides de la feuille qui couvre le ciel.

Il y a quatre conclusions importantes pour les caractéristiques physiologiques du confort visuel des piétons :

- à l'exception de rues très étroites et profondes ou de certaines arcades, la lumière naturelle est toujours suffisante dans les espaces urbains du point de vue du confort visuel.
- il faut favoriser les zones où le ciel occupe une plus grande partie du champ visuel que les bâtiments environnants. En première approximation, ces zones correspondent aux parties de l'espace pour lesquelles le rapport entre la hauteur des bâtiments et la largeur de l'espace reste inférieur à 1/2 (c'est-à-dire $H/W < 0.5$).

- pour correspondre aux préférences des utilisateurs de ces espaces, le potentiel d'ensoleillement direct d'un espace public devrait couvrir plus que 50% de sa surface totale quelle que soit l'heure.
- Les problèmes majeurs rencontrés à l'extérieur du point de vue quantitatif du confort visuel sont de deux types :
 1. les risques d'éblouissement qui sont le plus souvent générés par les réflexions spéculaires du rayonnement solaire direct sur des surfaces très réfléchissantes ;
 2. les risques de vue directe du soleil.

La question du confort voire d'ambiance dans les espaces publics extérieurs est une question autant architecturale que technique. On peut donc y répondre par une méthode de conception adaptée. Pour concevoir des espaces publics confortables, le concepteur doit intégrer les contraintes liées au confort des piétons dans une conception globale de qualité. L'usage et la pratique des espaces publics nécessitent aujourd'hui des interventions de requalification, revalorisation, réaménagement ou réhabilitations de ces espaces de la ville.

Limites de la recherche et difficultés rencontrées pendant les mesures microclimatiques :

Les objectifs de la recherche ont été atteints. Cependant, quelques limites liées à la méthodologie doivent être exposées :

- le fonctionnement de l'appareil de mesure, la plage de variation de l'anémomètre est très limitée pour la mesure dans les espaces extérieurs, et le capteur d'humidité relative était très sensible par rapport au rayonnement solaire.
- le nombre d'appareils portatifs
- le manque d'appareils de mesure tel le thermomètre globe qui peut être plus significatif à l'extérieur.

Il est également important de souligner quelques difficultés rencontrées au cours des mesures microclimatiques. Ces problèmes concernent particulièrement :

- **les bourrasques de vent** : des journées avec des conditions météorologiques totalement stables étaient très difficiles à obtenir. Certaines campagnes de mesure microclimatiques ont été marquées par quelques bourrasques importantes de vent (impossible de mesurer en raison des limites de l'anémomètre) ;

— **les conditions de ciel couvert** : afin de comprendre la différence entre les conditions de ciel clair et couvert. Plusieurs expérimentations ont fini par échouer avec le changement des conditions du ciel entre la matinée et le soir donc difficilement d’avoir une journée entièrement ensoleillée, ce qui a étalé la période d’investigations sur deux années de mesures et observations.

Recherches futures :

L'ensemble du travail réalisé dans le cadre de cette recherche ouvre de nombreuses perspectives de recherche :

Au niveau de l'approche méthodologique, le calcul des indicateurs morphologiques pourrait être raffiné et d'autres indicateurs pourraient être intégrés afin de permettre une étude exhaustive de la relation morphologie urbaine/microclimat. Le calcul des indicateurs devrait être simplifié afin d'être intelligible pour les architectes et urbanistes.

La végétation peut être décortiquée plus pour sa typologie

L'eau peut être un élément d'ambiance dans l'espace public, par son effet de rafraîchissement

L'effet jumeler de l'eau et la végétation sur les ambiances thermiques et acoustiques

La consommation énergétique des bâtiments et les microclimats urbains par la présence de la végétation pourraient également compléter cette étude.

Les effets des arbres sur les écoulements de vents ; selon leurs caractéristiques morphologiques et arrangement en milieu urbain.

L'étude de la ventilation dans la ville répondant aux deux saisons dans les climats contrastés pourrait être la solution au déséquilibre climatique urbain

En milieu urbain, la formation et la transformation des microclimats sont affectées par la structure physique de la ville, mais aussi par l'énergie consommée par les bâtiments qui est ensuite transférée sous forme de chaleur vers l'extérieur. Cette chaleur amplifie la température extérieure déterminant les conditions du confort thermique pour les usagers des espaces publics.

L'étude de cette relation fournirait des éléments objectifs et subjectifs essentiels à la conception des bâtiments et les espaces publics extérieurs en vue de contribuer au développement durable de nos villes.

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

- ADOLPHE LUC.** 2001. *A simplified model of urban morphology: application to an analysis of the environmental performance of cities.* *Environ. Plann. B.* vol. 28, n° 2. p. 183-200.
- ADOLPHE LUC,** (1998) *Ambiances architecturales et urbaines, Les cahiers de la recherche architecturale,* (p. 7) Éditions Parenthèses, 3e trimestre, n°42/43.
- AIT-AMEUR KARIMA, LEHTIHET KHROFA.** SAGACités Contribution C.6 : Interprétation des photographies Fish-eye, 2002
- AKBARI et al,** 2001 in <http://www.cust.univ-bpclermont.fr>
- AKBARI H, DOSANO S, HUANG J AND WINNETT S** (eds.), (1992), *Cooling Our Communities: A Guidebook on Tree Planting and Light-Colored Surfacing*, United States Environmental Protection Agency, Washington, DC; Also Lawrence Berkeley National Laboratory Report LBL-31587, Berkeley, CA.
- AKBARI H.,** (2002), *Shade trees reduce building energy use and CO2 emissions from power plants.* *Environmental Pollution* n°116, p. 119–126.
- AKBARI H., KONOPACKI S.** Calculating energy-saving potentials of heat-island reduction strategies. *Energy Policy* 33 (2005) 721–756
- AKBARI H., POMERANTZ M. AND TAHA H.** Cool Surfaces And Shade Trees To Reduce Energy Use And Improve Air Quality In Urban Areas. *Solar Energy* Vol. 70, No. 3, pp. 295–310, 2001
- AKBARI, H., KURN, D.M., BRETZ, S.E., HANFORD, J.W.,** (1997). Peak power and cooling energy savings of shade tree. *Energy and Buildings* 25, 139–148.
- Ali-Toudert F et Mayer H.** Thermal comfort in an east-west oriented street canyon in Freiburg (Germany) under hot summer conditions. *Theor Appl climatol* 87(2007):223-237.
- 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
- AMPHOUX PASCAL.** (1992.b), *La valse des ambiances,* In : *Autrement, revue* n° spécial sur le confort, Paris, Novembre 92, 9 p.
- ANDRE B,** *Qualité de la vie.* Revue : l'action Nationale, 2001
- ARENDT HANNA** (1961). *La condition de l'homme moderne,* Paris : Éd. Calmann-Levy, p. 89.

- ARNHEIM R.** La pensée visuelle. Paris : Flammarion. 1976. 354p.
- AUDURIER-CROS ALIX, GUYOT ALAIN.** La palette végétale méditerranéenne et les ambiances bioclimatiques dans le projet d'architecture. Mapped Monde 88/1 Groupe ABC, Ecole d'Architecture de Marseille Luminy in (<http://www.mgm.fr/PUB/Mappemonde/M188/p10-12>)
- AUGOYARD JEAN-FRANÇOIS.** A comme Ambiance(s), « L'espace anthropologique ». Les cahiers de la recherche architecturale et urbaine, n° 20/21, 2007, pp 33-3
- AUGOYARD JEAN-FRANÇOIS.** "Éléments pour une théorie des ambiances architecturales et urbaines". Les Cahiers de la Recherche Architecturale. Automne 1998, n° 42/43, pp 7-23
- AUGOYARD JEAN-FRANÇOIS.** "L'environnement sensible et les ambiances architecturales", 1995, *In* : L'espace géographique, N° 4, pp. 302-318.
- AUGOYARD JEAN-FRANÇOIS.** Les Modèles D'intelligibilité Des Ambiances Situées- Les ambiances : concepts fondamentaux et problématiques interdisciplinaires D.R.CNRS CRESSON - Ecole d'Architecture de Grenoble – cours2 *In* <http://www.cresson.archi.fr/ENS/ensDEA7-pdf/AMB2-Augoyard.pdf>
- AZARD S, TELLER J.** Townscope 3.1, logiciel d'un groupe de consultance multidisciplinaire pour la conception urbaine durable. Structure,Homepage <<http://www.townscope.com>
- BACCI, L. AND M. MORABITO** (2003) Thermohygro-metric conditions of some city parks of Florence (Italy) and their effects on human well-being. Proc. of Fifth International Conference on Urban Climate, Lodz (Poland), 1-5 September
- BAKER NICK,** We are all outdoor animals. In KOEN STEEMERS AND SIMOS YANNAS, Architecture City Environment, Proceedings of PLEA 2000. London: James and James. 2000. ,
- BAKER, N.V; STEEMERS, K; CROWTHER, D. et al.** (1995). Can simplified urban parameters indicate environmental performance ? *in* : Bernard Lachal; Franco Romerio; Jacques Royer & Willi Weber, (ed.). *Energie et climat urbain, actes de la journée du CUEPE, Conches-1 déc.* CUEPE. p. 85-90
- BALEZ SUZEL.** *Ambiances olfactives et espace construit.* Thèse de doctorat (École Polytechnique de l'Université de Nantes) (2001).
- BARDET, G.** (1943). Le facteur soleil en urbanisme. *Technique et Architecture* n° 7-8. p. 200-206.
- BELAKEHAL A.** (2007) « *Etude des Aspects Qualitatifs de l'Éclairage Naturel dans les Espaces Architecturaux. Cas des milieux Arides à Climat Chaud et Sec* ». Thèse de Doctorat en Architecture, Université de Biskra, janvier 2007.

- BELARBI, R ET ALLARD, F.** *Atlas of natural cooling technique in southern Europe application to evaporative cooling systems.* In Proceedings of EPIC'98 ? 2nd European conference on energy performance and indoor climate in buildings and 3rd International conference on indoor air quality, ventilation and conservation in building. November 19-21. Lyon : ENTPE, pp. 763 –768.
- BELARBI, R.** (2000). *Development of strategies for efficient use of solar passive ventilation in urban buildings*, Solvent Report, Université de La Rochelle, LEPTAB, April 2000.
- BELLOT AMOR.** *L e rôle de la végétation et l'eau dans la création d'un microclimat urbain . cas de la place de Ain El Fouara à Setif.* Thèse de magistère, université Mentouri constantine , 2010.
- BEN SLAMA H** « Parcours urbains quotidiens » l'habitude dans la perception des ambiances. Thèse de doctorat, Université Pierre Mendès France 2007 PP10
- BENBEGHILA RAZIKA.** *Qualification et évaluation des ambiances d'espaces urbains de type « place et placette »- aspect méthodologique- Ambiance Architecturales et urbaines »-2005-2006*, laboratoires CERMA et CRESSON.
- BENHALILOU KARIMA.** *Impact de la végétation grimpante sur le confort hygrothermique estivale di bâtiment.* These de magistere , universite mentouri Constantine 2008.
- BENSAAD NADIA** « La rue, forme urbaines et pratiques sociales : cas de la rue Belouizdad-Boudjeriou à Constantine » thèse de magistère option urbanisme Université Mentouri Constantine ,2000. Pp100-106
- BERNATZKY A.,** *The contribution of trees and green spaces to a town climate, Proceedings of an international symposium “The impact of climate on planning and building“*, Herzliya-on-sea, Israel ; Elsevier Sequoia, Lausanne 1980.
- BERNATZKY.** *The contribution of trees and green spaces to town climate,* Edition :Edition Elsevier squio,1982
- BLASCO M.,** *Cours UCL Acoustique 2001-2002: Partie théorique (AMCO 2361 : partie acoustique).*
- BONTEMPS ARNAULD,** *La Dynamique Des Ambiances Physiques, Développement d'une technique de représentation par une approche filmique et sensorielle ; Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval 2007.*
- BOTTEMA MARCEL, A.** *Method for optimization of wind discomfort criteria,* Building and Environment 35 : 1-18, 2000.
- BOUCHERIBA FOUZIA** (2006) *Impact de la géométrie des canyons urbain sur le confort thermique extérieur dans un climat semi aride.* Cas du Coudiat de Constantine. Thèse de magistre Université mentouri constantine Algerie.

- BOURBIA F ET AWBI H.B**, Building cluster and shading in urban canyon for hot dry climate. Part I: air and surface temperature”measurements”, Renewable Energy 29, 2004, 249-262.
- BOURBIA F ET AWBI H.B**, Building cluster and shading in urban canyon for hot dry climate. Part II: Shading simulation, Renewable Energy 29, 2004, 291-301.
- BOUSSOUALIM A, AIMÉ C**,(2002) *Evaluation of the environment and climatic feeling* ; Research near users of urban spaces in Marseille and Toulouse within the framework of SAGACité Project Ist Int. Workshop on Architectural and Urban Ambient Environment, Nantes Febrery.6-8, 2002, 12P.
- BOUSSOUALIM AICHA**, (2001) « *Contribution à la caractérisation de l’impact et de l’incidence du microclimat sur l’usage et les activités en espace public extérieur. Étude de cas à Blagnac* », these de doctorat, GRECO.
- BOUSSOUALIM AICHA**,(2000). *Towards a method of characterisation of the link between climate, urban morphology and user's behaviour in external public space, Architecture City Environment*, Proceedings of PLEA 2000. (Passive Low Energy Architecture), pp. 459-465.
- BOUTEFEU E et VIATTE P** (2009) http://www.certu.fr/fr/_Ville_et_environnement-n29/Nature_en_ville-n140/Les_arbres_en_ville-a1719-s_article_theme.html
- BOZONNET E., MUSY M., ALLARD F., GUARRACINO G., CHAZELAS M.** Concevoir et construire en milieu urbain du bâtiment à la ville, du microclimat à la demande énergétique. Manuscrit publié dans « Futur de l’habitat, Jac Fol(Ed.) 2008 pp138-154.
- BROWN G.Z., DEKAY M.**, Sun, Wind & Light: Architectural Design Strategies, 2d edition, John Wiley & Sons, New York, 400 p., 2001.
- BROWN, R.D. & GILLESPIE, T.J.**, Microclimate Landscape Design, creating thermal comfort and energy efficiency. Canada: John Wiley & Sons. 1995.
- BUDI PURNOMO A.** (2003) “*The influence of building and vegetation shade on human activities in an outdoor space: The case of outdoor space in the compus of Trisakti*”. University in Jakarta, Indonesia. Trisakti University research institue.
- BUENO-BARTHOLOMEI, C. L. AND L. LABAKI (2003)** How much does the change of species of trees affect their solar radiation attenuation? Proceeding of the International Conference on Urban Climate, Lodz, v.1, p.1-4
- CABANEL. J, STEFUKESCO.** L’urbanisme végétale. Edition I.D.F diffusion 1993
- CAPDEROU.M.** Atlas solaire de l’Algérie Tome2/ Aspect énergétique, OPU ALGER, 1985.
- CAPDEROU.M.** Atlas solaire de l’Algérie Tome3/ Aspect énergétique, OPU ALGER, 1985.

- CAPELUTO, I. G., A. YEZIORO ET E. SHAVIV** (2003). "Climatic aspects in urban design--a case study." *Building and Environment* 38(6), pp. 827-835.
- CARDELINO ET CHAMEIDES**, (1990) In [site internet] www.mybestlife.com/bio-architecture.htm page consulter juin 2010
- CARLES JOSE LUIS, BARRIO ISABEL LOPEZ, DE LUCIO JOSE VICENTE**, Sound influence on landscape values, *Landscape and urban planning* 43 :191-200, 1999.
- CEE**, Vers une stratégie thématique pour l'environnement urbain, Communication de la Commission au conseil, au parlement européen, au comité économique et social européen et au comité des régions, Bruxelles, 2004
- CHATELET.A – FERNANDEZ.P- LAVIGNE.P-** Architecture Climatique -une contribution au développement durable. EDISUD1998. Page.133.
- CHATZIDIMITRIOU A; CHRISOU MALLIDOU N. ; YANNAS S.**(2006) *Ground surface materials and microclimates in urban open spaces* , PLEA, the 23rd conférence , Geneve,Suisse, 6-7 Septembre 2006.
- CHRISOMALLIDOU, NIOBE, TSIKALOUDAKI, KATERINA, THEODOSIOU, THÉODORE.** Quality of life and open spaces : a survey of microclimate and comfort in outdoor urban area, PLEA 2002, (Design with the environment), page 345-351.
- CLAUDE MH DEMERS, ANDRE POTVIN, MARIE-CLAUDE DUBOIS.** *Environmental Satisfaction and Adaptability: The Physical Ambience* Rose as a global comfort representation. PLEA2009 - 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Quebec City, Canada, 22-24 June 2009
- Commission mondiale sur l'environnement et le développement**, 1988 Notre avenir à tous(Rapport Brundtland), Ed. du Fleuve.
- COMPAGNON R., GOYETTE-PERNOT J.**, Visual Comfort in Urban Spaces. In: CEE, *Designing Open Spaces in the Urban Environment: a bioclimatic approach*, Centre for Renewable Energy Sources. Grèce; 2004.
- COST-UCE / Co-Operation in Science and technology – Urban Civil Engineering.**
- COUIC MARIE-CHRISTINE.** *La dimension intersensorielle dans la pratique de l'espace urbain.* Thèses de doctorat (École Polytechnique de l'Université de Nantes) (2000)
- CREAF, 2007 In: POTES LIZETH RODRIGUEZ** « Les effets des arbres sur les écoulements de vents en milieu urbain » master science et techniques des environnements urbains, CERMA 2007.pp11.
- Cycle Espaces publics - La ville pour tous Séminaire 2 / Dossier de formation CAUE de Paris, en partenariat avec le CIDEFE
http://caue75.archi.fr/fileadmin/user_upload/Formation/Espaces_publics_2009/SE2_D

- [ossier-formation.pdfCAUE](#). Espaces Publics Enjeux Environnementaux Jeudi 4 Et Vendredi 5 Juin 2009 (www.caue75.com)
- DAMAGNEZ J.**, L'utilisation de l'énergie solaire dans les échanges énergétiques au niveau du couvert végétal, Bulletin de la COMPLES n°18, pp55-62, Avril 1970.
- DAVENPORT, A.G.** An Approach to Human Comfort Criteria for Environmental Wind Conditions, Swedish National Building Research Institute, Stockholm. 1972.
- DE DEAR Richard, BRAGER Gail, COOPER Donna**, Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference, Final Report. ASHRAE RP- 884. 1997.
- DE HERDE A., VERMEIR G., GODART M.F., HANIN Y., BOLAND P., REITER S., RYCHTÁRIKOVÁ M., CASTIAU E., PONS T., MARTIN N., MEURIS C., MOREAU A., XANTHOULIS S.**..(2009) *Design and Renovation of Urban Public Spaces for Sustainable Cities*. Final Report Phase 1. Brussels : Belgian Science Policy – 75 p. (Research Programme Science for a Sustainable Development)
- DESTOBBELEIRE.G ; IZARD .J.L.** Rôle de la végétation sans le microclimat urbain. In Proceeding of EPIC , 1998
- DICKINSON R. E. et GRAUMLICH L J.**, “Interactive Vegetation for Climate Models over the seasonal Cycle”, University of Arizona, Western Regional Center Director’s Report: <http://nigec.ucdavis.edu/publications/annual94/westgec/project07.html>.
- Dictionnaire de l'Urbanisme et de l'Aménagement, Pierre Merlin et Françoise Choay / Publications du CNRS 1 C Delpey - décembre 2005. 110106*
- DIMOUDI A; NIKOLOPOULOU M.** (2003) “*Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits*”. Energy and buildings 2003;59-76
- DOULOS, L; SANTAMOURIS, M. & LIVADA, I.** (2004). Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials. *Sol. Energy*. vol. 77, n° 2. p. 231-249.
- DUPAGNE A., DOUTRELEPONT R., ITALIANO P., TELLER J.**..(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 International conférence, Living and walking in cities - Going to school, Brescia.
- ECHAVE C, CUCHI A.** Habitability method analysis in urban spaces; PLEA 2004-21th congrés international, sustainable architecture de passive and low energy architecture”, Eindhoven 19-22 September 2004.
- ÉGERHÁZI L., KÁNTOR N., AND GULYÁS Á.**. Investigation Of Human Thermal Comfort By Observating The Utilization Of Open Air Terraces In Catering Places– A Case Study In Szeged. *Acta Climatologica Et Chorologica Universitatis Szegediensis*, Tomus 42-43, 2009, 29-37
- ELIASSON, I., KNEZ, I., WESTERBERG, U., THORSSON, S., & LINDBERG, F.** Climate and behaviour in a Nordic city. *Landscape and Urban Planning*, 82(1–2), 2007 pp72–84.

- EMELIANOFF C.** Les relations villes-nature : Zones d'ombre ou cécité ?, in : C Lévêque, S Van Der Leeuw, Quelles natures voulons-nous ? Pour une approche socio-écologique du champ de l'environnement, Elsevier, Paris, pp.47-54.
- EMERY M.** Promoting Nature in cities and Towns, Croom Helm, London, 1986
- ESCOURROU G** (1981) Climat et environnement, les facteurs locaux du climat. Paris : Msson, 182p
- ESCOURROU G., ROUSSEL I.** Climat et microclimat urbains, pollutions atmosphériques et nuisances météorologiques, IAURIF, 1995.
- FJELD T.**, The Effect of Indoor foliage plants on the Health and Discomfort Symptoms among Office Workers. *Indoor Built Environment* 7. 1998.
- GEORGI N. J. · ZAFIRIADIS K.**; The impact of park trees on microclimate in urban areas. *Urban Ecosyst* (2006) 9: 195-209 DOI 10.1007/s11252-006-8590-9
- GEORGIADIS T, MARGELLI F, ROSSI S.** Urban green as a microclimate mitigation and energy saving tool. Proceeding of the international congress : Energy, climate and Indoor comfort in Mediterranean Countries, 5-7 Septembre 2007, Genova Italy, pp143-153.
- GIANNA, S.** *Bioclimatic principals of town-planning design in Environmental design of towns and open space*. Patra: Hellenic Open University; 2001. pp. 177–207.
- GILL, S. E. (2006).** "Climate change and urban green space." Ph.D. Manchester 56 10571(B1e).
- GIRIDHARAN R., LAU S.S.Y., GANESAN S., GIVONI B.** Lowering the outdoor temperature in high-rise high-density residential developments of coastal Hong Kong: The vegetation influence. *Building and Environment* 43 (2008) 1583–1595.
- GIVONI B., , NOGUCHI M, SAARONI H, POCHTER O, YAACOV Y, FELLER N, S BECKER** Outdoor comfort research issues, *Energy and Buildings*, 2003 Vol. 35, pp. 77-86.
- GIVONI B.**, L'homme l'architecture et le climat, édition, Le Moniteur, Paris 1978.
- GIVONI B., NOGUCHI M.**, Issues and problems in outdoor comfort research, in: Proceedings of the PLEA '2000 Conference, Cambridge, UK, July 2000.
- GOLANY, G.S.** 1996. Urban design morphology and thermal performance. *Atmos. Environ.* vol.30, n° 3. p. 455-465.
- GOLDEN, J. S., J. CARLSON, et al. (2007).** "A comparative study of the thermal and radiative impacts of photovoltaic canopies on pavement surface temperatures." *Solar Energy* 81(7): 872-883.

- GÒMEZ F, GIL L, JABALOYES J.** Experimental investigation on the thermal comfort in the city: relation- ship with the green areas, interaction with the urban microclimate. *Building and Environment* 39(2004), 1077–1086.
- GÒMEZ F, TAMARIT N, JABALOYES J.** Green zones, bioclimatics studies and human comfort in the future development of urban planning. *Landscape and Urban Planning* 55(2001) 151-161.
- GOMEZ F. et al.** The green zones in bioclimatic studies of the mediterranean city. PLEA'98, pp 207-210
- GOMEZ,F et al,** (1998) The green zones in bioclimatic studies of the Mediterranean city. In *Proceedings of PLEA98, Lisbon, Portugal.* Editors: Maldonado, O and Yannas S: James&James, pp.207-210
- GOUBERT Jean-Pierre.** *Du luxe au confort*, Paris (1988): Éd. Belin.
- GOULDING, J.R et OWEN Lewis, J.** *Energy in architecture: the European passive solar handbook*, A Batsford Book, (1992). London.
- GRAP** (Groupe de recherche en ambiances physiques) école d'architecture, université Laval, Québec,Canada. Site internet :www.grap.ulaval.ca
- GRIMMOND C., OKE T., AND CLEUGH H.** “The role of „rural“ in comparison of observed suburban-rural flux difference” *in* *Exchange Processes at the Land Surface for a Range of Space and Time Scales*, *Proceedings of the Yokohama Symposium*, July 1993.pp. 1001-1009.
- GROLEAU, D. & MARENNE, C.** 1995.Environmental specificities of the urban built forms. *in* :*Rebuilt-rebuilding in the European City-Integration, Corfou, 29-30 juin, 1 juillet 1995.* p. 8
- Group ABC.** Morphologie végétal et microclimats urbains. Plan urbain, ministère de l'équipement, 1997 Groupe abc - <http://www.marseille.archi.fr/~abc/>
- GRUPO DE TERMOTECNIA, UNIVERSIDAD DE SEVILLA,** Control climatico en espacios abiertos, proyecto EXPO'92, Ciemat, Séville, 1994.
- GUEDOUH M S, ZEMMOURI N.** Effet de la morphologie urbaine sur l'environnement lumineux extérieur. Cas des zones arides et chaudes. *ISUF 2011 - The 18th International Seminar on Urban Form. Montréal, Canada, 26 – 29 August 2011.*
- GULYAS, A., J. UNGER, et al.** (2006). "Assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complexurban environment: Modelling and measurements." *Building and Environment* 41(12): 1713-1722.
- GUOT A.,** *l'arbre urbain... une composante du confort pour l'architecture et l'espace* <http://www.marseille.archi.fr/~imagine/pedagogie/vegetal/coursveg.html> [consulter juin2010.](#)

- GUYOT A**, (1988). L'arbre élément du confort vivant. In *Vivre dehors, confort des espaces publics*. Monosque : acts de colloques, pp. 71-80.
- GUYOT G.**, Climatologie de l'environnement : cours et exercices corrigé. 2eme Edition.Paris ; Dunod, 1999
- HARLAN, S. L., A. J. BRAZEL, et al.** (2006). "Neighborhoodmicroclimates and vulnerability to heat stress." *Soc SciMed* 63(11): 2847-63.
- HASTIE, C.** The benefits of urban trees: A summary of the benefits of urban trees accompanied by a selection of research papers and pamphlet, 2003. Warwick District Council.
- HECKSCHER A.** "Open Space", *The Life of American Cities*, Harper and Row, New York, 1977
- HÉGRON G..** CERMA, Proceedings of the First International Workshop on Architectural and Urban Ambient Environment, , Nantes, 2002.
- HEGRON GERARD, TORGUE HENRY** « Ambiances architecturales et urbaines » *De l'environnement urbain à la ville sensible sept2007*
- HIEN WONG NYUK and PECK T.T.;** (2006) *The Impact of Vegetation on the Environmental Conditions of Housing Estates in Singapore*. *International Journal on Architectural Science*, 6,31-www.gardenwithinsight.com/help100/00000424.htm
- HOLM D.**, Thermal improvement by means of bleaf cover on external walls - a simulation model, *Energy and Buildings*, 14, pp19-30, Elsevier Sequoia, 1989.
- HÖPPE Peter**, Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort. *Energy and Buildings* 34, 2002.
- HÖPPE.P** . The physiological Equivalent Temperature PET. *In* Proc of proceedings of the 15th International Congress of Biometeorology & International conference on urban Climatology,1999.
- HORBERT M. AND KIRCHGEORG A.**, Climatic and air-hygienic aspects in the planning of inner-city open spaces : Berlin Grosser Tiergarten, Proceedings of an international symposium "The impact of climate on planningand building", Herzliya-on-sea, Israel ; Elsevier Sequoia, Lausanne 1980.*in* Sagacite 2002.
- HUANG, L. M., H. T. Li, et al.** (2008). "A fieldwork study on the diurnal changes of urban microclimate in four types of ground cover and urban heat island of Nanjing, China." *Building and Environment* 43(1): 7-17.
- HWANG RUEY-LUNG, LIN TZU-PING, MATZARAKIS ANDREAS.** Seasonal effects of urban street shading on long-term outdoor thermal comfort. *Building and Environment* 46 (2011) 863-870

- IOANNIS X AND TSIROS** (2010). Assessment and energy implications of street air temperature cooling by shade trees in Athens (Greece) under extremely hot weather conditions. *Renewable Energy* 35 : 1866–1869.
- IZARD J.L ET FRUSTA.F**, 1998 "Thermal comfort in atria: thermal stratification and architectural design"; PLEA 98 "Environmentally Friendly Cities", Lisbonne, Juin 1998.
- IZARD J-L, DESTOBBELEIRE G., MEVY J-P.**, Analysis tools of urban environment, thermography and angular studies, Proceedings PLEA 98 "Environmentally Friendly Cities", Lisbonne, Juin 1998
- IZARD J-L., MEVY J-P., DESTOBBELEIRE G., CHANTANT M.**, Morphologie, végétal et microclimats urbains ; cas d'Aix-en-Provence et Nîmes, Tome 2 : les mesures, Rapport final de recherche Programme Ecologie Urbaine, 1997.
- Jo H. and McPherson E. G.**, "Indirect carbon reduction by residential vegetation and planting strategies in Chicago, USA," *Journal of Environmental Management*, vol. 61, pp. 165-177. 2001.
- JONES ,H.G** (1992) *Plants and Microclimate*. Cambridge University Press, 2nd edition
- JOURNAL OFFICIELLE DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE** N°10 Du 11fevrier 2009
- JUNG CARL GUSTAV**, *Commentaire sur le mystère de la fleur d'or, spiritualités vivantes*, Ed. Albin Michel, 1994.
- KANDA et al**, Environment effect of Meij-Shrine forest as a skin of energy and pollutant-field observation and numerical Simulation by SPAM3. In proceeding of International on monitoring and management on urban heat island1997. Editor: Toshiaki Ichinose. Fujisawa,pp.69-83.
- KANG J., YANG W., ZHANG M.**, *Sound Environment and Acoustic Comfort in Urban Spaces*. In: CEE, *Designing Open Spaces in the Urban Environment: a bioclimatic approach*, Centre for Renewable Energy Sources. Grèce; 2004.
- KÁNTOR, N., & UNGER, J.** Benefits and opportunities of adopting GIS in thermal comfort studies in resting places: An urban park as an example. *Landscape and Urban Planning*, 98(1),2011.pp 36–46
- KIESE O.**, Bestandmeteorologische Untersuchungen zur Bestimmung des Wärmehaushaltes eines Buchenwaldes, Ber. Institut Meteorologie Klimatologie der Techn. Univ. Hannover, N°6, 1972
- KJELGREN R K ; MONTAGUE T.** Urban tree transpiration over turf and asphalt surfaces; *atmospheric Environment*. Volume32 N°1, Elsevier Science ltd, pp,35-41
- KJELGREN R. ET MONTAGUE T.**, Urban tree transpiration over turf and asphalt surfaces, *Atmospheric Environment* vol 32 N°1, pp35-41, Elsevier Science ltd, 1998.

- KJELGREN R.K. AND CLARK J.R.**, Urban microclimates and growth of sweetgum street trees, *Arboricultural Journal*, Vol18, pp401-417, AB Academic Publishers 1994.
- KOTZEN B** , 2003 An Investigation of Shade Under Six Different tree Species of Negev Desert Towards Their Potential Use for Enhancing Microclimatic Conditions in Landscape. *Architectural development. Journal of Arid Environments*, 55,231-274.
- KUO ET SULLIVAN**, The role of arboriculture in a healthy social ecology. *Social aspect of urban forestry* ;2001
- KUO F E**, The role of arboriculture in a healthy social ecology. *Journal of Arboriculture*. Mai 2003, Vol.29, n°3, pp.148-155.
- KUO, FRANCES E. / SULLIVAN, WILLIAM C.** Environment and crime in the inner city. Does vegetation reduce crime ? [Environnement et criminalité dans les cités. La végétation réduit-elle la criminalité ?]. *Environment and Behavior*, mai 2001, vol. 33, n° 3, p. 343-367 (25 p.).
- LARS MÜLLER**. Une approche différente de l'urbanisme, édition Parenthèses, 1998.
- LARUS. D.** L'arbre dans la ville. Paris. Edition Sang de la terre et foncier Conseil, 1996.
- LAURIE M.** An Introduction to Landscape Architecture, Pitman publishing Ltd, Victoria, Australia, 1986
- LE CORBUSIER** in « Traitement des espaces externes » site Internet <http://www2.regionpaca.fr>
- LE CORRE .Y** . « Pattern Ambient »: une entité opératoire de caractérisation et de conception des ambiances urbaines. Nantes: Thèse de doctorat . Université de Nantes 2007, 524p
- LE ROBERT** - *Dictionnaire de la langue française* (1985). Paris : Éd. Dictionnaires le Robert, p. 296, tome 1, et le *Dictionnaire étymologique de la langue française* (1975). Paris : Ed. Des Presses Universitaires de France, sous la direction d'O. Bloch et de W. Von Wartburg, p. 22.
- LEUZINGER SEBASTIAN, VOGT ROLAND, KÖRNER CHRISTIAN.** “Tree surface temperature in an urban environment” *Agricultural and Forest Meteorology* 150 (2010) 56–62
- LIEBARD A., DE HERDE A.**, *Guide de l'architecture bioclimatique*, édition. Système solaire, Observer, Paris 1996. PP
- LIN T-P, MATZARAKIS A, HWANG R-L.** “Shading effect on long-term outdoor thermal comfort” *Building and Environment* 45(2010) 213-221.
- LIN TP., TSAI K.T, HUWANG R.L., MATZARAKIS A.**, “Quantification of the effect of thermal indices and sky view factor on park attendance” *Landscape and Urban Planning*, vol 107 n° 2 pp. 137-146, August 2012

- LIN, T. P.** Thermal perception, adaptation and attendance in a public square in hot and humid regions. *Building and Environment*, 44(10), 2009. Pp2017–2026
- LINACRE E.T.**, City trees and the urban climate, on the web, 10/1997 in SAGA CITE 2001
- LIVRE VERT** sur l'environnement urbain. Publié par la Commission des communautés européennes.Bruxelles 1990.
- LOS A.** "Bioclimatic approach to urban space system" 1981 pp.478-482.
- LOZANO E.E.**, Visual needs in the urban environment, *Town Planning review*, vol.45, n°4, 1974
- LÜSCHER A., GUYOT A., DESTOBBELEIRE G.** (1986) "*Végétation et effet d'écran*", communication de Verone 1986.
- LYNCH K.** « voir et planifier, l'aménagement qualitatif de l'espace » trad. Chantal Theroud, ed. Dunod 1982 P46.
- MAHMOUD, A. H.** (2011). *Analysis of the microclimatic and human comfort conditions in an urban park in hot and arid regions*. *Building and Environment*, 46(12)., 2641–2656.
- MANUEL OCHOA J. TORRE DE LA AND SERRA RAFAEL.** Microclimatic analysis of some urban scenarios. PLEA'98
- MAO, L. S., Y. GAO, et al.** (1993). "Influences of street tree systems on summer microclimate and noise attenuation in Nanjing City, China." *Arboricultural Journal* 17(3): 239-251.
- MARJORY M.** Le rôle climatique de la végétation urbaine – *Culture et Recherche* n°113 automne 2007.
- MASCARO LUCIA.** Urban environment, Edition Porto ALEGRE,1996
- MASMOUDI S.– MAZOUZ S.**« Relation of geometry, vegetation and thermal comfort around buildings in urban settings, the case of hot arid regions" *journal of Energy and Building*36 (2004) pp69.
- MATHAI A., RABADI N., GROSLAND N.,** (2004) *Digital human modeling and virtual reality for FCS*. Technical report N°.VSR-04.02, Chapter12..
- MATZARAKIS. RayMan .2.1**, Modeling the Mean Radiation Temperature and Thermal Indices in Urban Structure,Homepage <<http://www.mif.uni-freiburg.de/rayman>> .
- MATZRAKIS A., RUTZ F.ET MAYER H.,** (2006) *Estimation and calculation of the mean radiant temperature within urban structures*.

- MAYER H. ET MATZARAKIS A.**, The urban heat island seen from the angle of human-biometeorology, Proceedings of International Symposium on monitoring and management of urban heat island, Fujisawa, November 1997.
- MAYER, H. AND P. HOPPE** (1987). "Thermal comfort of man in different urban environments." *Theoretical & Applied Climatology* 38(1): 43-49.
- McPherson, E.G. and D.J. Nowak.** 1993. Value of urban green space for air quality improvement: Lincoln Park, Chicago. *Arborist News* 2(6):30-32.
- MEEROW, A. W. and BLACK R.J.** (1993). *Enviroscaping to conserve energy: a guide to microclimate modification.* Florida: University of Florida, 9 p.
- MELBOURNE W. H., JOUBERT P. N.**, Problems of wind flow at the base of tall buildings. *Proceedings of the International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures*, Tokyo, 1971.
- MENV**, Les espaces verts : protection des arbres et des espaces boisés en milieu bâti, Direction des communications et de l'éducation, Division de l'éducation, 1987, Québec, pp22.
- MERGHANI, Adubakr** (2004), dans Koen Steemers et Mary Ann Steane (ed), *Environmental diversity in architecture*, London, New York, Spon Press, pages 195-213.
- MIGUET FRANCIS.** Paramètres physiques des ambiances architecturales : Un modèle numérique pour la simulation de la lumière naturelle dans le projet urbain. Thèse de Doctorat ,2000 Ecole polytechnique de l'universite de nantes.
- MILLER-CHAGAS P. & VOGT J.J.**, « Confort thermo-hygrothermique, définition physiologique et détermination pratique de zones de confort thermique », In : *Supplément aux Annales de l'institut technique du bâtiment et des travaux publics*, vingt troisième année, juillet-août 1970, 271-272, série : Equipe technique (85), Paris, pp. 142-153.
- MOCHIDA A., et al**, 2008. Examining the tree canopy model for CFD prediction at pedestrian level, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 96, 1667-1677.
- MOCHIDA A., SASAKI K. IWATA T., HATAYA.N., YOSSHINO H.** Effects of roadside trees on thermal environment and pollutant diffusion in street canyon. EACW4- The Fourth European & African Conference on wind Engineering. J.Nâprstek& C.Fischer (eds); ITAM AS CR , Prague, 11-15 July, 2005, Paper#309.
- MOCHIDA A., SASAKI K., IWATA T., HATAYA N., YOSHINO H.**(2005) *Effects of roadside trees on thermal environment and pollutant diffusion in street canyon.* EACWE4- The Forth European & Africa Conference on wind engineer J. Naprstek&C.Fischer (eds); ITAM AS CR, Prague, 11-15 July, 2005, PAPER #309
- MONTÉIRO L.M., ALICCI M.P.**, Calibration of outdoor thermal comfort models. PLEA, the 23rd conférence, Genève, Suisse, Septembre 2006.

- MONTEITH J.L. AND UNSWORTH M.H.** (1991). Principles of environmental physics. New York : Edward Arnold, 291 p.
- MURET, J.P et al.** Les espaces urbains –Concevoir, Réaliser, Gérer. Paris, 1987: Edition du Moniteur. 335p
- NAGARA, K, SHMODA, Y ET MIZUNO, M .** *Evaluation of thermal environment in an outdoor pedestrian space*, Atmospheric Environment, 1999 Vol. 30, pp. 497-505.
- NIKOLOPOULOU M.** « Concevoir des espace extérieur en environnement urbain : Une approche bioclimatique » in <http://alpha.cres.gr/ruros/dg.fr>
- NIKOLOPOULOU M., BAKER N., STEEMERS K.,** Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter. Solar Energy 70 (3): 227-235. 2001.
- NIKOLOPOULOU M., BAKER N., STEEMERS K.,** Thermal comfort in outdoor urban spaces. In Proceedings PLEA 1998: Environmentally Friendly Cities. James&James. 1998.
- NIKOLOPOULOU M., LYKOUDIS S., KIKIRA M.,** Thermal Comfort Models for Open Urban Spaces. In: CEE, Designing Open Spaces in the Urban Environment: a bioclimatic approach, Centre for Renewable Energy Sources. Grèce; 2004.
- NIKOLOPOULOU M., LYKOUDIS S.,** Thermal comfort in outdoor urban spaces: analysis across different European countries. Building and Environment, vol. 41 (11), p. 1455-1470, 2006.
- NIKOLOPOULOU M., STEEMERS K.,** Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. In Proceedings of PLEA 2000. Cambridge, 2000.
- NIKOLOPOULOU MARIALENA, STEEMERS KOEN,** *Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces*. Energy and Buildings 35 (1):95-101. 2003.
- OKE T R.** *Boundary layer climates*. Edition Methuen, 1987
- OKE, T.** 1988, *Street design and urban canopy layer climate*, Energy and buildings, vol. 11, p. 103-113.
- OSELAND N.A.,** A within-groups comparison of predicted and reported thermal sensation votes in climate chambers, offices and homes. In Healthy Buildings 1, 1994.
- OUAMEUR Fouad.** « Morphologie urbaine et confort thermique dans les espaces publics »—mémoire université Laval Québec 2007.
- PACIONE, M.** The use of objectif and subjectif measures of life quality in human geography. Edition Progress in human geography, 1982

- PACIUK M.**, The role of personal control of the environment in thermal comfort and satisfaction in workplace. In *Coming of age*. USA: EDRA. 1990.
- PALLASMAA JUHANI.** *The Eyes Of The Sk in: Architecture And The Senses*. London : Academy Editions, 1996, p.28
- PANAGOPOULOS T.** « Using microclimatic landscape design to create thermal comfort and energy efficiency » Actas da 1^a-Conferencia sobre Edificios Eficientes, Universidade do Al-garve, 25 de janeiro (janvier) 2008.
- PAPIN J.P, FUCHS P.** Les sens et les réponses motrices de l'homme. In : FUCHS P. (dir.) MOREAU G. (coord.). *Le traité de la réalité virtuelle*. 2e éd. Paris : Les Presses de l'Ecole des Mines. 2003. 2 tomes, 1:123-180.
- PASCALINE DE GLO DE BESSES, SANDRA VILLET .** Habiter la ville ombres, projets urbains. 2006 in www.designmarseille.org
- PEARLMUTTER D., BERLINERA P., SHAVIV E.**, Physical modeling of pedestrian energy exchange within the urban canopy. *Building and Environment* 41, 2006, pp..783-795.
- PENEAU J. P. .** *Les ambiances urbaines*. Données Urbaines 3. Paris : Anthropos. 2000. 375-386.
- PENICAU H.** (1978), *Microclimats Urbains : étudiés sous l'angle du confort à l'extérieur des bâtiments*, Plan Construction R.A.U.C, CSTB de Nantes.
- PENWARDEN, A.D. and WISE, A.F.E.** *Wind environment around buildings*. Department of the Environment BRE, Her Majesty's Stationery Office, London. 1975.
- POKORNY J.** Dissipation of solar energy in landscape- controlled by water management and vegetation. *RenewableEnergy*, 24(2001), 641- 645.
- POTCHTER, O., P. COHEN, et al.** (2006). "Climatic behavior of various urban parks during hot and humid summer in the Mediterranean city of Tel Aviv, Israel." *InternationalJournal of Climatology* 26(12): 1695-1711
- POTES L.R.**, 2007 ; « Les effets des arbres sur les écoulements de vents en milieu urbain » Master STEU NANTES
- POTES LIZETH MELISSA RODRIGUEZ, HANROT STEPHANE, DABAT MARC-ANDRE ET IZARD JEAN-LOUIS.** Variation Des paramètres de plantation des arbres d'alignement dans un milieu urbain et son influence sur la température de l'air Cas d'Aix-en-Provence, France. 2nd International Congress on Ambiances, Montreal 2012
- POTVIN A. , DEMERS C., ET DUBOIS M.C,** (2004). *Environmental adaptability in architecture: towards a dynamic multi-sensory approach integrating user behaviour, Post-Occupancy Evaluation*, International Conference Closing the Loop, Cumberland Lodge, Windsor, UK.;

- POTVIN A.**, (1997). *Movement in the architecture of the city: a study in environmental diversity*, Unpublished PhD Thesis, University of Cambridge, Cambridge. P.33
- POTVIN A.** (2004) “*Intermediate Environments, in environmental Diversit in Architecture*” Spon Press. Great Britain, PP.121-142.
- Premier workshop international sur les « Ambiances architecturales et urbaines » 6-7-8 février 2002 Nantes, France. CERMA (<http://www.cerma.archi.fr>)
- PURNOMO A. B.**, “The influence of building and vegetation shade on human activities in an outdoor space: The case of outdoor space in the compus of Trisakti,” University in Jakarta, Indonesia. Trisakti University research instuitue 2003.
- REICHEN BERNARD.** Le grand prix de l’urbanisme. 2005 Edition Parenthèses 2007
- REITER & DE HERDE**, L’éclairage naturel des bâtiments. Belgique : Ministère de la Région Wallonne, 2001.
- REITER S., DE HERDE A.** (2004), L’éclairage naturel des bâtiments. Presses universitaires de Louvain, Louvain-la-Neuve (Belgium), p. 265.
- REITER SIGRID** cours in: <http://www.orbi.ulg.ac.be.&http://www.lema.ulg.ac.be/urba/Cours/Espbatis>.
- REITER.SIGRID** « *Elaboration d’outils méthodologiques et techniques d’aide à la conception d’ambiances urbaines de qualité pour favoriser le développement durable des villes* »- thèse de doctorat UCL Université catholique de Louvain 2007.
- ROBINETTE G.** Plants, People and Environmental Quality, National Park, Washington, 1972
- ROBINETTE G.O.** Plants /People/and Environment Quality. Washington,D.C, U.S Department of the interior, 1972
- ROBITU, M.** Etude de l’interaction entre le bâtiment et son environnement urbain : influence sur les conditions de confort en espaces extérieurs. Thèse de doctorat, 2005. Ecole polytechnique de l’université de Nantes.
- ROSENFELD A.H.**, Mitigation of urban heat islands materials, utility programs, updates, Energy and buildings n°22 (3), 255-265, 1995.
- ROTACH, M.W.** 1999. On the influence of the urban roughness sublayer on turbulence and dispersion. *Atmos. Environ.* vol. 33, n° 24-25. p. 4001-4008.
- ROTTON, J., SHATS, M. & STANDERS R.** (1990). Temperature and pedestrian Tempo – Walking without awareness. *Environment and Behavior*, 22(5), 650-674.
- ROUAG-SAFFIDINE DJ.;** Les ambiances environnementales vers des caracterisations plus tangible. The third architecture and sustainability conference in Biskra Algeria.BASC 2008.

- RUROS** Rediscovering the urban realm and open spaces, 2004. P63
- SACRE, C.** Le confort dans les espaces extérieurs, analyse microclimatique. Nantes, CSTB, 1981.
- SAGACités** Vers un Système d'Aide à la Gestion des Ambiances urbaines, 2002
- SAIDOUNI MAOUIA**, *Elément d'introduction à l'urbanisme* « Histoire, Méthodologie, Réglementation » édition CASBAH Alger 2000. PP66-67
- SAILOR D. J.**, "Simulations of annual degree-day impacts of urban vegetation augmentation," Atmospheric Environment, vol. 32, pp. 43-52, 1998.
- SAMAALI, M.** (2002). *Évaluation d'un modèle de couche limite atmosphérique 3D dans un cas homogène: application à une parcelle agricole de soja*, École Polytechnique Universitaire de Marseille, Université de Provence.
- SANTAMOURIS M.**, 2001, Energy climate in the urban built environment, James & James, London. pp. 162.
- SANTAMOURIS M., SYNNEFA A., KARLESSI T.** Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. Solar Energy, Volume 85, Issue 12, December 2011, Pages 3085-3102.
- SCHMIDT N.**, "Desert animals-physiological problems of heat and water," Dover Publication, New. 1979.
- SCUDO GIANNI** Microclimatic effect of vegetation in urban squares. Case studies in Milan in: Proceedings of Rebuild, Florence 1998.
- SCUDO GIANNI;** "Green structures and urban planning" Built Environment and Technology. Milan, oct 2002
- SERRES MICHEL.** Les cinq sens, Grasset, Paris, 1985.
- SHAHIDAN M F, JONES PH.** Plant canopy design in modifying urban thermal environment: Theory and guidelines. PLEA 2008-25th Conference on passive and low energy architecture, Dublin, 22nd to 24th October 2008.
- SHAHIDAN M F., MUSTAFA K M S, ELIAS S,** "Effects of tree canopies on solar radiation filtration in a tropical microclimatic environment". Paper presented at the PLEA2007 conference. Singapore 2007.
- SHAHIDAN M. F ., SHARIFF M.K.M ., JONES P., SALLEHC E., ABDULLAHD A.M.** 2010. A comparison of Mesua ferrea L. and Hura crepitans L. for shade creation and radiation modification in improving thermal comfort. Landscape and Urban Planning 97 : 168–181
- SHAHIDAN MOHD. F., SHARIFF MUSTAFA K.M., JONES PHILLIP, SALLEH ELIAS, ABDULLAH AHMAD M.;** "A comparison of Mesua ferrea L. and Hura

- crepitans L. for shade creation and radiation modification in improving thermal comfort” *Landscape and Urban Planning* 97 (2010) 168–181
- SHASHUA-BAR and HOFFMAN**, 2002. The Green CTTC model for predicting the air temperature in small urban wooded sites. *Building and Environment* 37 (2002) 1279 – 1288
- SHASHUA-BAR L, HOFFMAN ME**; Vegetation as a climatic component in design of an urban street: an empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. *Energy Build* 31_2000.: 221-235.
- SHASHUA-BAR LIMOR, PEARLMUTTER DAVID, ERELL EVYATAR**. The cooling efficiency of urban landscape strategies in a hot dry climate. *Landscape and Urban Planning* 92 (2009) 179–186
- SHASHUA-BAR LIMOR, TSIROS IOANNIS X., HOFFMAN MILO E.** A modeling study for evaluating passive cooling scenarios in urban streets with trees. Case study: Athens, Greece. *Building and Environment* 45 (2010) 2798e2807.
- SHIMAZAKI Y., ATSUMASA YOSHIDA , RYOTA SUZUKI , TAKESHI KAWABATA , DAIKI IMAI , SHINICHI KINOSHITA** —Application of human thermal load into unsteady condition for improvement of outdoor thermal comfort|| *Building and Environment* 46 (2011) 1716e1724
- SIMPSON J. E. AND M. PHERSON**, “Simulation of tree shade impacts on residential energy use for space conditioning in Sacramento,” *Atmospheric Environment*, vol. 32, pp. 69-74. 1998.
- SIRET D**, Proposition pour une approche déclarative des ambiances dans le projet architectural. Application à l’ensoleillement /Nantes Université de NANTES 323p thèse en science pour l’ingénieur : Option Architecture 1997
- SOUCH CA, SOUCH C** (1993) The effect of trees on summertime below canopy urban climates: a case study, Bloomington, Indiana. *Journal Arboric* 19(5): 303-312
- SPANGENBERG J, SHINZATO P, JOHANSSON E, DUARTE D**. Simulation of Sao Paulo. *Rev SBAU Piracicaba* 3(2008) (2): 1-19.
- SPANGENBERG J., SHINZATO P., JOHANSSON E. AND DUARTE D.** 2008. Simulation Of The Influence Of Vegetation On Microclimate And Thermal Comfort In The City Of Sao Paulo. *Revue SBAU, Piracicaba*, V.3, n2, P.1-19
- SREETHERAN M., PHILIP E., SITI ZAKIAH M.** A historical perspective of urban tree planting in Malaysia. *Unasylva* 223 Vol 57 pp 28-3 2006
- STATHOPOULOS, T, WU, H ET ZACHARIAS, J.** Outdoor human comfort in an urban climate, *Building and Environment*, 2004 Vol. 39, pp.297-305
- STEEMERS K. A., RAMOS M.C., SINOUE M.**, Urban morphology, In: CEE, *Designing Open Spaces in the Urban Environment: a bioclimatic approach*, Centre for Renewable Energy Sources. Grèce; 2004.

- STEFULESCO C** (1993) L'urbanisme végétal. Paris : I.D.F, 323p.
- STREILING S, MATZARAKIS A** (2003); Influence of single and small clusters of trees on the bioclimate of a city: a case study. *J Arboric* 29 (6): 309-316.
- SUGAWARA H, NARITA K., MIKAMI T., HONJO T., ISHII TENKI K.** *Cool island intensity in a large urban green: seasonal variation and relationship to atmospheric condition* (Bulletin journal of the Meteorological Society of Japan), 53, pp.393-404 • C2006.
- SUGAWARA H., JI D. W., TOMIN K.** « Re-examination of City Air Temperature for Heat Island Intensity Evaluation-Case Study in Seoul, Korea-Tenki » (bulletin journal of the Meteorological Society of Japan), 52, pp. 119-128, 2005
- SUN, B., T. WU, et al.** (2006). "A preliminary study on effects of four urban greenbelt types on human comfort in Shenzhen, P.R. China." *Chinese Forestry Science and Technology* 5(2): 84-92.
- SZOKZLAY, S.V.** *Introduction to architectural science: the basis of sustainable design*, 2004. Elsevier, Great Britain.
- TAHRANI SOUHA**, *Vers un outil de réalité virtuelle pour l'analyse et la communication des ambiances lumineuses dans le projet urbain*, thèse de doctorat, Laboratoire CERMA, Université de Nantes, France, 2007.
- TEBBANI HABIBA**. Impact de la végétation sur le microclimat et le confort thermique des espaces urbains publics « cas de cours de la révolution d'Annaba ». Thèse de magistère, université Mentouri constantine , 2006.
- TEBBANI H, BOUCHAHM Y, MEDJELAKH D.** Impact de la végétation sur le microclimat urbain de Annaba(ALGERIE) XXème Colloque de l'association internationale de climatologie-Carthage (Tunisie) 3-8 Septembre 2007.
- TELLER J.** Evaluation de l'impact de la végétation sur le Rayonnement énergétique (aide à la conception architecturale et urbanistique) <http://www.orbi.ulg.ac.be/bitstream/2268/28982/1/Végétation.pdf>.
- TELLER, J. and AZAR, S.** (2001). TOWNSCOPE II - A computer system to support solar access decision-making, In *Solar Energy*, Vol. 70, N° 3? PP. 187-200.
- TELLER. J.** Effet de masque de la végétation. Université de Liège, Facultés des sciences Appliquées 1992, 76p
- THIBAUD Jean-Paul**, From situated perception to urban ambiances, Laboratoire CRESSON, Nantes
- THIBAUD. Jean-Paul.** L'ambiance, chemin faisant : vers une perspective internationale. «Ambiance(s). Ville, architecture, paysages ». Revue *Culture et Recherche*, n° 113, automne 2007, Mission de la recherche et de la technologie du ministère de la Culture et de la Communication.

- THORSSON S., LINDQVIST M., LINDQSVIST S.**, thermal bioclimatic conditions and patterns of behaviour in an urban park in Göteborg, Sweden, international journal of biometeorology, Berlin, 2006
- THORSSON, S., HONJO, T., LINDBERG, F., ELIASSON, I., & LIM, E. M.** Thermal comfort and outdoor activity in Japanese urban public places. *Environment and Behavior*, 39(5), 2007. 660–684.
- THORSSON, S., LINDQVIST, M., & LINDQVIST, S.** Thermal bioclimatic conditions and patterns of behaviour in an urban park in Goteborg, Sweden. *International Journal of Biometeorology*, 48(3), 2004. pp149–156.
- TIXIER N.**, « *Morpho dynamique des ambiances construites* », thèse de doctorat, sciences pour l'ingénieur Option architecture Ecole Polytechnique de l'Université de Nantes, Laboratoires CRESSON et ACROE, 2001.
- TOY S, YILMAZ S.** (2011), Thermal sensation of people performing recreational activities in shadowy environment: case study from Turkey. *revue/ theatrical and applied climatology vol.101n°3-4*, pp329-343.
- TOY S., YILMAZ S., ET al.** (2007). "Determination of bioclimatic comfort in three different land uses in the city of Erzurum, Turkey." *Building and Environment* 42(3): 1315-1318
- ULRICH, R.S.**, View through a window may influence recovery from surgery, *Science*, 224 ; 1984: 420-421 University, 1992.
- VINET J.** « Contribution à la modélisation thermo-aéraulique du microclimat urbain. Caractérisation de l'impact de l'eau et de la végétation sur les conditions de confort en espaces extérieurs. » Thèse de doctorat.: Université de Nantes 2000, p.245.
- WEIL-BARAIS A.** L'homme cognitif. Paris : Presse Universitaire de France. 1993. 600p.
- WILKINSON D. M.**, *Modelling light attenuation by urban trees*, PhD thesis, Manchester Metropolitan 1992.
- WOLF**, 1998 in **POTES L.R.**, 2007 ; « Les effets des arbres sur les écoulements de vents en milieu urbain » Master STEU NANTES
- YANG W., KANG J.**, Acoustic comfort evaluation in urban open public spaces, *Applied Acoustics*: vol 66 n°2, p. 211-229, 2005.
- ZACHARIAS, J.** *Pedestrian Behavior and Perception in Urban Walking Environments.* *Journal of Planning Literature*, 16(1) 2001, 3-18.

Sites Internet :

Encarta, 2006

<http://www.permeaway.fr>

<http://www.certu.fr>

<http://www.mybestlife.com/bio-architecture.htm>

<http://www.sodaq.qc.ca/lectures/bienfaits-arbres.html>

<http://www.isc.cnrs.fr>

<http://www.abtreeworkers.be/>

<http://www.alrisala.org/Articles/social/vegetation.htm>

<http://www.arturbain.fr/>

<http://www.ashrae.org/>

<http://www.cerma.archi.fr/>

<http://www.cieau.com/>

<http://www.earth.google.com>

<http://www.fao.org/>. The Food and Agriculture Organization of the United Nations.

<http://www.grap.arc.ulaval.ca/>

<http://www.greenstructureplanning.eu/>

<http://www.healthyheating.com/>

Annexes

ANNEXES

ANNEXE I ; Analyse climatique et bioclimatique de la ville de Constantine

Le climat de la ville de Constantine à travers les données (Figure A.1) est un climat froid en hiver et chaud et sec en été. Il s'exprime par un rayonnement solaire intense, avec des températures très élevées en été d'une moyenne maximale de 33.6°C en mois d'août. Une humidité relative moyenne, une précipitation considérable en hiver et presque rare en été, avec un écart de températures diurne très important.

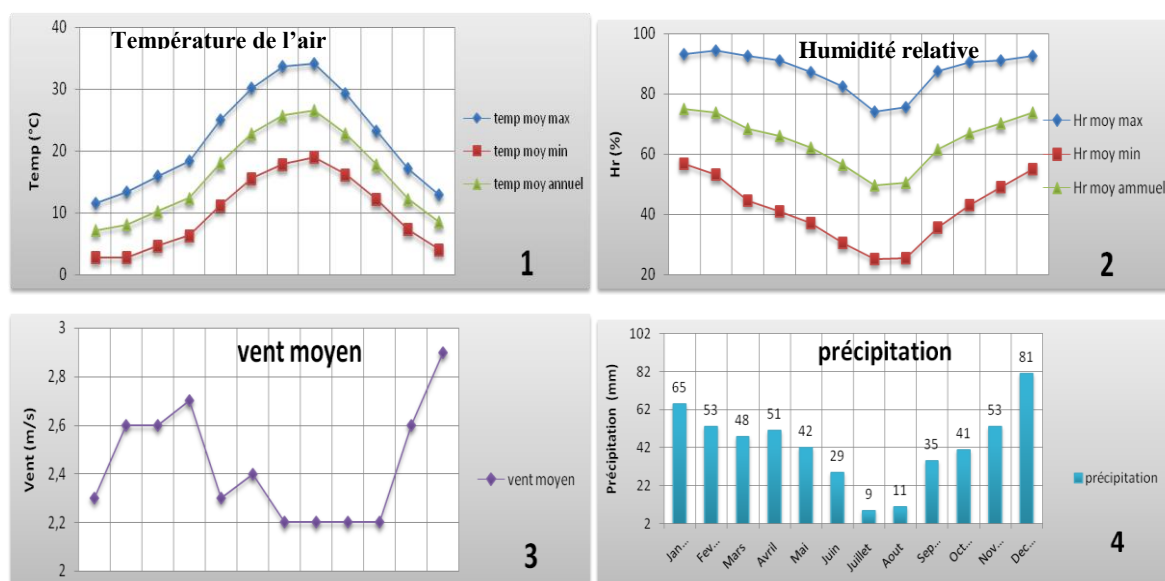


Figure A.1 : Variation des paramètres climatiques à Constantine (1995-2010)

D'après cette analyse il se révèle que le climat de Constantine est :

- Très dure, surtout en été, à cause du rayonnement solaire intense, avec des températures très élevées.
- Très froid en hiver.
- Une humidité relative moyenne.
- Une précipitation considérable en hiver et presque rare en été.
- Un écart de températures diurne très important.

En effet le climat de Constantine à travers les données est un climat froid en hiver et chaud et sec en été, marqué par un climat semi-aride et le calcul ci-dessous l'illustre :

Calcul D'indice D'Aridité D'après E.D MARTONNE

Im= indice d'aridité
P= précipitation de l'année
T= température moyennes annuelle

$$Im = P / (T + 10) \dots\dots\dots [1]$$

$$= \underline{19}$$

$$\text{On a donc : } 10 < Im < 20$$

La lecture caractéristique de cet indice se fait de la manière suivante :

- $Im < 5$ c'est l'indice de l'aridité absolue où l'hyper aridité
- $5 < Im < 10$ c'est l'indice d'aridité
- $10 < Im < 20$...c'est l'indice de semi-aridité.

Donc le climat de Constantine à travers les données est un climat semi –aride.

Analyse Bioclimatique De Constantine

Pour l'analyse bioclimatique de Constantine on s'est basé sur l'utilisation des tableaux de MAHONEY, le diagramme bioclimatique de B.GIVONI et le diagramme psychométrique de S.V.ZOCOLAY pour les recommandations concernant la ville.

Par l'application de la méthode de ZOCKOLAY il était nécessaire de calculer la température neutre établie d'après HUMPHREY (1978) :

Calcul de la température neutre Tn d'après la formule de Humphrey:

$$T_n = 11.9 + 0.531 T_0$$

Où Tn : la température neutre en °C

T₀ : la température extérieure moyenne du mois en question en °C.

Les températures neutres pour Constantine sont de Tn=20.04°C pour la période hivernale et de Tn=25.89°C pour la période estivale.

D'après le diagramme bioclimatique (figure A.2) et le diagramme psychométrique appliqué aux conditions climatiques de la ville de Constantine (figure A.3) on peut distinguer :

- Une période où les températures sont très élevées et l'humidité relative basse correspond aux mois de juin, juillet, août qui nécessite un contrôle de la radiation, une inertie par absorption avec une ventilation nocturne.
- La nécessité de rajouter un système de rafraîchissement par évaporation pour le mois de juillet et août (durant les périodes caniculaires)
- Une période fraîche caractérisée par des températures basses, s'insère dans la zone de chauffage d'appoint pour les mois de décembre, janvier et février.
- Les mois d'avril, mai et octobre sont considérés confortable

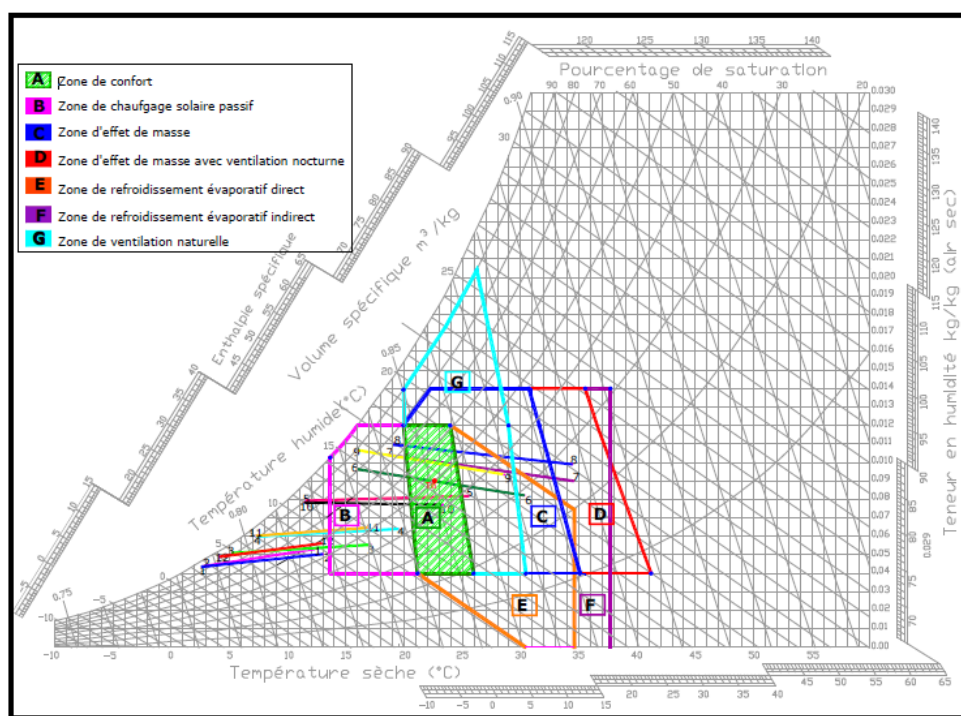


Figure A.3: Diagramme psychrométrique de S.SZOCOLAY appliqué à la ville de Constantine. Auteur

Détermination de la zone de confort et la zone de surchauffe pour la ville de Constantine

D'après le diagramme des isothermes de la ville de Constantine (fig V-12) cinq zones se distinguent :

- **Zone de sous chauffe très froide** : dans laquelle les températures sont inférieures à 10°C, elle englobe les mois de janvier, février, mars, novembre et décembre.
- **Zone de sous chauffe froide** : délimitée par les courbes 10° et 15°C, elle englobe principalement les mois d'hiver : mars, avril, mai, octobre et novembre où le chauffage passif pendant l'après midi est nécessaire.
- **Zone de confort** : comprise entre les courbes 15°C et 20°C, englobe les mois de mai, juin, septembre et octobre mais la tranche horaires diffère d'un mois à l'autre.
- **Zone chaude** : délimitée par les courbes 20°C et 25°C englobe le mois de mai, juin, et septembre.
- **Zone de surchauffe** : englobe les mois d'été (juin, juillet et août). De 10h jusqu'à 17h, les températures sont supérieures à 25°, à ce moment, le soleil est

perpendiculaire, et son intensité est maximale, où on doit chercher le maximum d'ombre et de protection.

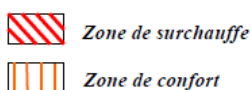
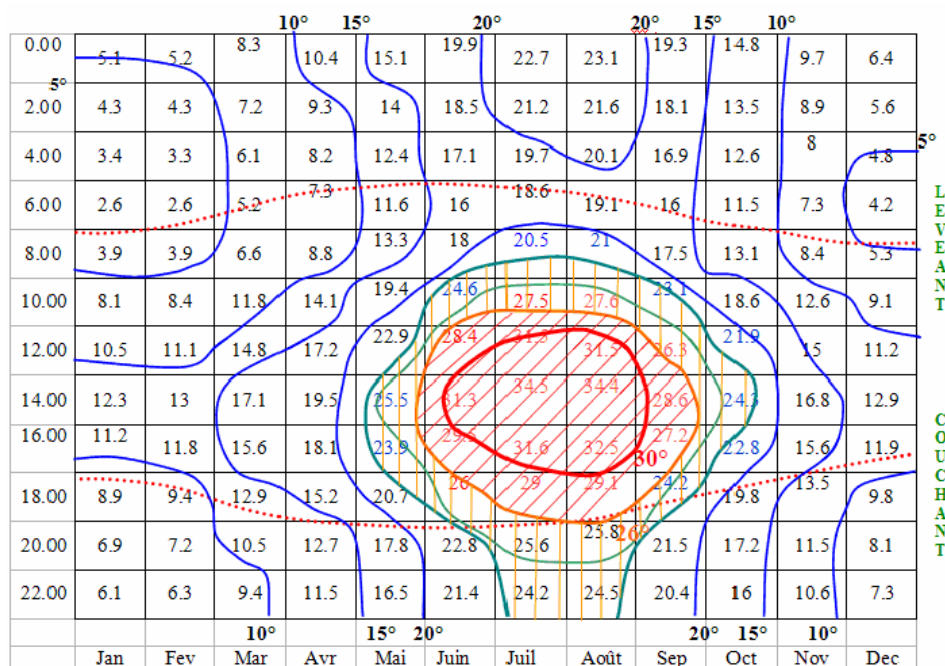


Figure A.4 : Isotherme De Constantine. Source : Auteur.

Nous pouvons décomposer le diagramme en deux parties principales : une zone de surchauffe localiser pendant les mois d'été (principalement : juin, juillet, août et même septembre) et des périodes de froid ou de sous chauffe pendant l'hiver.

Notons que les heures de matinées sont généralement plus fraîches que celles de l'après midi, la terre et les constructions ayant eu, pendant la journée, le temps d'accumuler la chaleur. En été la chaleur commence à se manifester dès les premières heures de la matinée. En août par exemple la zone de confort est déjà dépassée. La chaleur atteint des valeurs maximales entre midi et 16 heures.

L'intensité des radiations varie en fonction des durées d'insolation, elle augmente durant la période chaude et sèche et diminue pendant la période humide et froide. Ce qui montre que l'ensoleillement joue un rôle très important dans la variation de la température. Le tableau suivant donne la position du soleil (hauteur et azimut du soleil) pour la région de Constantine « latitude $36^{\circ}17'$ (horaire), aussi le lever et coucher du soleil pour les différents solstices.

Tableau A.1 : Hauteur Et Azimut Du Soleil A La Latitude De Constantine ($36^{\circ}17'$) Source : Auteur.

heure	Angle	21 juin	21 mai	21 avril	21 mars	21 fev	21 jan	21 dec
			21juill	21 aout	21 sept	21oct	21 nov	
12h	Hauteur	77°.16'	73° 91'	65° 38'	53° 23'	42° 49'	33° 69'	30° 38'
	Azimut	00°	00°	00°	00°	00°	00°	00°
13h	Hauteur	71°.8'	69° 23'	62° 48'	50° 68'	40° 44'	30° 55'	28° 72'
	Azimut	49. °46'	43° 25'	33° 16'	24°	19° 48'	16° 38'	15°71'
14h	Hauteur	61° 16'	59° 24'	53° 7'	43° 88'	34° 71'	26° 94'	23° 99'
	Azimut	71° 99'	66° 61'	55° 8'	43° 85'	36° 63'	31° 77'	30° 13'
15h	Hauteur	49° 37'	47° 63'	42° 66'	34° 41'	26°35'	19° 43'	16°79'
	Azimut	84° 87'	80° 06'	71° 59'	56° 36'	50°70'	44° 74'	42° 65'
16h	Hauteur	37° 23'	35° 58'	30° 90'	23° 48'	16° 27'	10° 12'	7° 79'
	Azimut	94° 71'	88° 68'	83° 72'	70° 62'	62° 23'	55° 67'	53° 31'
17h	Hauteur.	25° 28'	23° 52'	18° 8'	11° 74'	5° 13'		
	Azimut.	101° 48'	98° 89'	90°0'	80° 27'	72° 61'		
18h	Hauteur.	13° 59'	11° 71'	6° 78'				
	Azimut	109° 27'	106°47'	99° 2'				
19h	Hauteur.	2° 46'	00° 39'					
	Azimut.	117° 51'	114° 22'					
20h	Hauteur.							
	Azimut.							
Angle horaire du soleil		70° 97'	73° 74'	90° 8'	90°	81° 89'	73° 74'	70°1'
<i>Levant & couchant</i>		4h 71'	4h 91'	6h 06'	6h	5h 46'	4h 92'	4h 73'

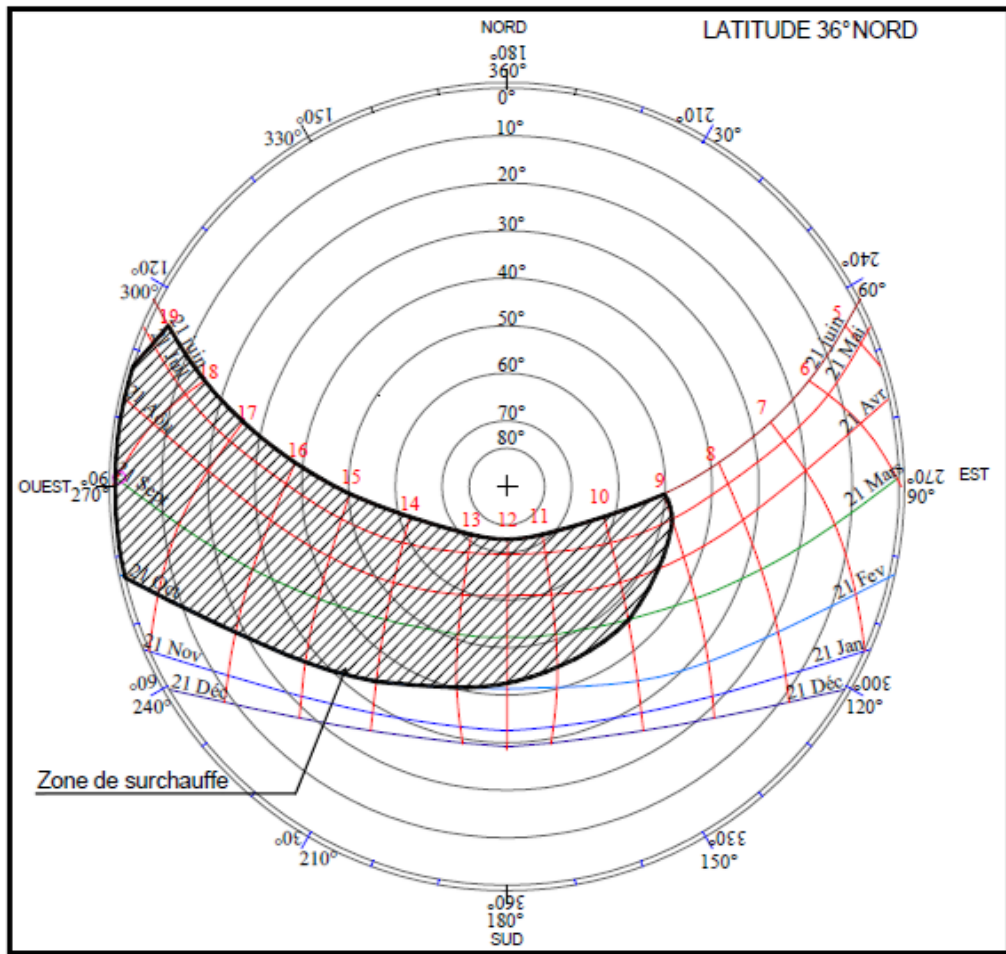


Figure A.5: Diagramme polaire de la ville de Constantine (Source : Auteur)

ANNEXE 2 : Grille d'analyse des indicateurs morphologiques et méthode de calcul

Échelle	Éléments morphologiques				Évaluation			Éléments microclimatiques				
	Critères morphologiques	Indicateurs morphologiques	Sources	Facteurs morphologiques influents	Méthode d'évaluation	Équations	Variabilité	Critères climatiques				
								Ta	Tg	H	Va	
tissu urbain	- Occupation des parcelles	- Densité du bâti	P. Merlin, F. Choay, (1988)	- implantation du bâti (emprise au sol)	Morphologic	$Ds = \sum_{i=1}^{i=n} Ap_i / As$	Espace	+				
		- Minéralisation	L. Adolphe (1999)	- aménagements minéraux, et végétaux	Morphologic	$M = [S_{minérale} - (\sum_{i=1}^{i=n} S_{végétales} + \sum_{i=1}^{i=n} S_{jeun})] / S_{minérale}$	Espace	+	+	+		
	- Répartition parcellaire au sol	- Taux de percement horizontal du tissu urbain	K. Ait-Ameur	- dimension horizontale des espaces vides.	Morphologic	$PH = (S_{creux publics} + S_{creux privés}) / S_{totale}$	Espace		+		+	
	- Hauteur globale du tissu tridimensionnel	- Rugosité du tissu urbain	L. Adolphe, (1999)	- implantation du bâti (emprise au sol et hauteur verticale) - texture et matériaux - variation et type d'aménagements végétaux (entendu au sol et hauteur végétale) - mobilier urbain	Morphologic	$Rm = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} A_i * h_i}{\sum_{i=1}^{i=n} A_i + \sum_{j=1}^{j=n} A_j} [m]$	espace				+	
espace public	- Dimensions urbaines - Géométrie urbaine - Mode d'organisation spatial	- Prospect équivalent	K. Ait-Ameur	- hauteur des façades - largeur de l'espace	relevés sur terrain ou sur SIG	$Pe = H_m / L_p$	espace		+		+	
		-Longueur équivalente	K. Ait-Ameur	- largeur de l'espace - longueur de l'espace	relevés sur terrain ou sur SIG	$Le = St / L_p$	espace				+	
		-Facteur d'obstruction minérale	K. Ait-Ameur	- hauteur de la façade - distance du point à la façade.	projection sphérique à axe zénithal	$Fm = \cos(\alpha)$	espace		+		+	
		- Facteur d'ombre portée	K. Ait-Ameur	- distances urbaines horizontales - hauteur du bâtiment qui fait ombre - azimut de la rue - trajectoire et azimut et hauteur du soleil	projection sphérique à axe zénithal	$Fop = l/d = [\tan(\alpha) \cdot \cos(\alpha - \alpha')] / \tan(\beta)] \cdot 1/2$	point dans l'espace, heure de saisie		+			
		- Fraction de masque	K. Ait-Ameur	- ouverture de l'espace au ciel - azimut de l'espace - trajectoire, azimut et hauteur du soleil	projection sphérique à axe zénithal	$h = H - [\tan(\beta) / \cos(\alpha - \alpha')] \cdot d [m]$	point dans l'espace, heure de saisie		+			
	- Type d'aménagement dans l'espace	- Densité minérale	J-L Izard, (1997)	- répartition des surfaces minérales dans l'espace	projection sphérique à axe zénithal ou horizontal	$min = Aire du minéral / Aire totale de l'espace$	point dans l'espace		+			
		- Densité végétale	J-L Izard, (1997)	- répartition des surfaces végétales dans l'espace	projection sphérique à axe zénithal ou horizontal	$Vg = Aire du végétal / Aire totale de l'espace$	point dans l'espace		+	+	+	
		-Taux d'emprise des obstacles urbains dans l'espace	Ait-Ameur K	- nombre d'obstacles dans l'espace - hauteur des obstacles	relevés sur terrain	$Te = (\sum_{i=1}^{i=n} S_i \cdot H_i) / \sum_{i=1}^{i=n} S_i$	espace				+	
	- Nature des surfaces de captage	- Taux de vitrage de la façade	Ait-Ameur K	- répartition des surfaces vitrées	projection sphérique à axe zénithal	$Vt = Aire du vitrage / Aire totale de la façade$	point dans l'espace		+			
		- Albédo des surfaces		- nature des matériaux - disposition des façades	relevés sur terrain		point dans l'espace		+			

Tableau A.2 . Les indicateurs morphologiques ;Source : K.AIT-AMEUR, 2000

2. Evaluation des indices morphologique d'un espace public

1. Ratio H/L

$$H/L = H_m/L_P$$

H_m : hauteur moyenne de l'espace ;

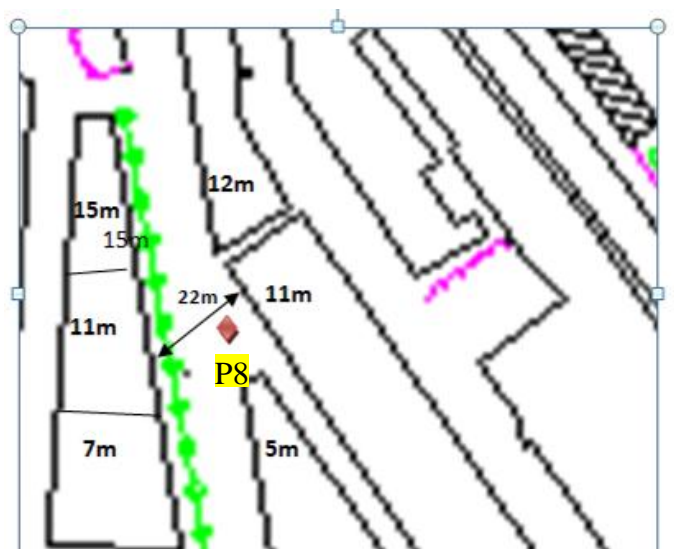
L_P : la plus petite largeur de l'espace

La valeur du ratio du P8 se calcule ainsi :

$$H_m = (H1+H2+H3+H4+H5+H6)/6$$

$$H_m / L_P = 0.5$$

Figure A.6: Point de mesure (P8)



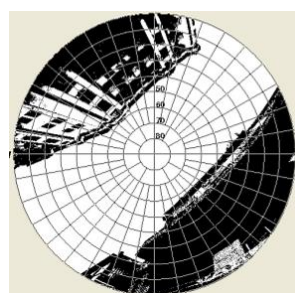
2. SVF (Facteur de ciel vu)

Le facteur de ciel vu est une mesure de l'angle solide sous lequel le ciel est vu depuis un espace urbain. Il détermine les échanges radiatifs entre le ciel et la structure physique de l'espace urbain.

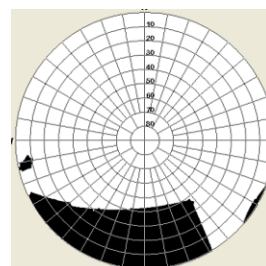
Le SVF varie entre 0 et 1 :

- Le SVF de 0 signifie que la vue du ciel est totalement obstruée
- Le SVF de 1 signifie que la vue du ciel est dépourvue de toute obstruction (bâtiments, arbres,...)

L'évaluation de cet indicateur suivant les images fish eye du point.



P4 (Svf = 40%)



P1 (Svf= 75%)

Figure A .7 : image fish eye des points P4 et P1

3. Albédo moyen des surfaces (α)

L'albédo des matériaux est l'un des paramètres physiques influant sur l'apport de la chaleur dans l'espace urbain. L'évaluation de l'albédo moyen d'un espace urbain se base sur les images fish-eye à axe horizontal. Deux photos opposées selon l'axe le plus long de l'espace, chaque photo couvre un rayon de 180°.

Ces représentations sphériques contribuent à l'évaluation de l'albédo moyen des surfaces, par le calcul du pourcentage d'occupation des matériaux sur le sol et les façades



Figure A.8 : Photo fish eye Vertical du point P5

Tableau A.3 : Pourcentage d'occupation des matériaux dans le point P5.

Matériaux	Pourcentage des matériaux(P5)	Albédo
Asphalte	25%	0.20
Béton	30%	0.35
Brique	30%	0.30
Vitrage	10%	0.40
Vegetation	0%	0
Bois	5%	0.10
Albédo moyen des surfaces	100%	0.29



Figure A.9 : Photo fish eye Vertical des points P10 et P14

Tableau A.4 : Pourcentage d'occupation des matériaux dans le point P10&P14.

Matériaux	Pourcentage des matériaux		Albédo	
	P10	P14	P10	P14
Asphalte	20%	30%	0.20	0.20
Béton	10%	0%	0.35	0.35
Brique	10%	20%	0.30	0.30
Vitrage	10%	0%	0.40	0.40
Vegetation	45%	40%	0.05	0.05
Bois	5%	10%	0.10	0.10
Albédo moyen des surfaces	100%	100%	0.21	0.17







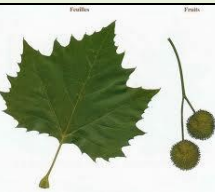




4. Degree of Enclosure (DoE)






Cet indicateur exprime le rapport entre le nombre total des surfaces (ouvertes et fermées) et le nombre total des surfaces ouvertes (Stemmers et al, 2004)













DoE est compris entre 2 et 1. Il peut être évalué tout en se référant à la table proposée par Stemmers *et al* (2004, p.90). Ce tableau illustre les différentes typologies spatiales et leur valeur de *DoE*. Trois typologies spatiales ont été déterminées pour les 14 points de mesure à savoir espace ouvert ($DoE = 1$), semi ouvert ($DoE = 1.5$) et rue canyon ($DoE = 2$).








ANNEXE 3 Vegetation A Constantine


Tableau A.5 Caractéristiques des arbres urbains

Type	Silhouette	Feuillage	Caractéristiques
Orme	 	 <p>Feuilles caduques, alternées, simples, doublement dentées et souvent nettement dissymétriques à la base (comme chez le micocoulier) (ce qui permet la distinction avec les charmes qui ont des feuilles semblables mais symétriques).</p>	<p>Les ormes sont des arbres du genre <i>Ulmus</i>, famille des Ulmaceae ou Ulmacées.</p> <p>Il peut atteindre 25 mètres à 30m et vivre 125 ans.</p> <ul style="list-style-type: none"> • croissance rapide ; • large adaptation à différents climats et types de sols ; • bois résistant au vent ; • croissance évasée ne nécessitant pas de gros élagage. 
Platane Famille des Platanacées	 	 <p>Feuillage caduc, coriace, vert assez clair, vernissé sur le dessus, grande feuille dentée (13-15cm) La feuille est alterne, simple et lobée. Elle possède trois nervures principales qui forment un réseau palmé.</p>	<p><i>Platanus</i> est un genre d'arbres, les platanes, de la famille des Platanaceae qui comprend une dizaine d'espèces. Hauteur de 25-35m</p> <p>La plus répandue est un hybride, le platane commun largement utilisé comme arbre d'alignement pour orner les places et les rues. Arbre d'ornement : plusieurs espèces sont plantées comme arbre d'ornement urbain et d'alignement le long des rues et des routes. Ce sont des arbres qui supportent bien l'élagage et les conditions de vie en milieu urbain.</p> <p>Les platanes sont des espèces originaires des régions tempérées chaudes de l'hémisphère nord.</p> 
Erable Le genre Acer de la famille des Acéracées	 	 <p>Feuilles opposées, pétiolées et palmatilobées, simples pour la majorité des espèces, composées chez Acer griseum et Acer negundo. Calice : 5 sépales, à segments</p>	<p>Les érables sont des arbres et des arbustes du genre <i>Acer</i> appartenant désormais à la famille des Sapindacées (et autrefois à celle des Acéracées), dans l'ordre des Sapindales.</p> <p>La plupart des érables peuvent atteindre entre 10 et 40 m de hauteur. Les autres relèvent plus du terme d'arbrisseau, mesurant moins de 10 m. La plupart des espèces ont des feuilles caduques, mais une minorité en Asie du Sud et dans le bassin méditerranéen sont sempervirentes</p> <p>l'érable présentera une large couronne ou formera un massif bas en s'étalant presque au ras du sol. Planté en isolé, on profitera de son ombre et étant assez compact.</p>

		<p>imbriqués. Corolle : 0 ou 5 pétales. Étamines 4-12, souvent 8. Ovaire biloculaire.</p>	<p>Dans des espaces plus petits, on préférera l'érable plane au port bien arrondi et aux feuilles dorées. Il supporte très bien la taille, ce qui permet de le maintenir bas (1,50 à 2 m). On l'accompagnera d'arbustes à feuillage vert foncé ou gris argenté. En alignement, il fera un brise-vent efficace. De croissance rapide, il peut atteindre jusqu'à 30 m de haut pour 8 à 25 m de large.</p> <p>La plantation de l'érable s'effectue au début de l'automne, dans un trou d'un mètre de côté et juste un peu plus profond que la motte.</p>
<p>Frêne</p>		 <p>Les feuilles sont opposées et composées de 5 à 9 folioles. Les folioles sont ovales.</p>	<p>Le frêne, arbre du genre <i>Fraxinus</i>, appartient à la famille des Oléacées et comprend une soixantaine d'espèces vivant essentiellement dans les forêts tempérées. Caractérisé par des feuilles composées, il est reconnaissable à ses grappes de samares simples surnommées localement « langues d'oiseau ».</p> <p>Il peut atteindre les 25 mètres et sa longévité est estimée à environ 100 ans.</p>
<p>Melia Arbre de la famille des Méliciées</p>		 <p>Feuillage caduc : feuilles doublement pennées, folioles pointues, légèrement dentées (elles ressemblent un peu à celles du savonnier).</p>	<p>arbre de la famille des Méliciées (Cédrèle, Margousier).</p> <p>Hauteur à maturité : 15 m Température minimale : -5 °C Origine : Inde, sud de la Chine Zones climatiques France : méditerranéen, océanique, moyen Rusticité : semi-rustique Composition du sol : normal, sableux, riche en humus PH du sol : neutre</p> <p>Son feuillage caduc est constitué de feuilles aromatiques (propriétés insecticides), oblongues et vert vif qui s'accompagneront de mars à juin d'inflorescences roses lilas regroupées en longues panicules parfumées.</p>

<p>Sophora</p> <p>Arbre de la famille des Fabacées - sous-famille des Papilionacées</p> 	  	<p>Feuilles caduques</p> <p>La base des feuilles de sophora est bulbeuse, et contient le bourgeon. Les feuilles du sophora sont les dernières à apparaître, bien après celles des autres grands arbres, et aussi les dernières à tomber à l'automne (en novembre). Les folioles jaunissent et se détachent une à une.</p>  	<p><i>Sophora</i> est un genre de plantes arborescentes de la famille des Fabaceae qui comprend 31 espèces. Ce sont de petits arbres ou arbustes. Ces plantes sont originaires des régions tempérées et chaudes</p> <p>Le <i>Sophora japonica</i> se reconnaît à sa large cime arrondie et à son grand développement. Il est aussi appelé 'arbre de miel' en raison de ses fleurs mellifères qui attirent beaucoup les abeilles. la floraison estivale se démarque des feuilles vert foncé brillant, par des panicules dressées blanc de 20 à 25 cm</p> <p>Hauteur à maturité : 20-25 m Largeur à maturité : 8-10 m Température minimale : -20 °C Zones climatiques : méditerranéen, océanique, moyen, continental Rusticité : rustique Composition du sol : normal, calcaire, sableux, terre de bruyère, riche en humus</p>
<p>Caroubier</p> <p>Arbre de la famille des Fabacées - sous-famille des Césalpiniacées</p>	 	<p>Les feuilles, grandes de douze à trente centimètres, alternes, persistantes, sont composées paripennées et comptent de trois à cinq paires de folioles. De forme ovale, celles-ci sont coriaces, vert sombre luisant au-dessus, tirant sur le rouge sur leur face inférieure.</p> 	<p>Le mot « caroubier » vient de l'arabe al-kharroube (الخروب (ahkhabou)), tislighwa en tamazight (emprunt au latin <i>siliqua</i>), Haroub en hébreu . Son nom latin <i>Ceratonia</i> vient du grec <i>keratia</i> signifiant « petite corne » (en référence à ses caroubes, gousses en forme de cornes à maturité). Le nom d'espèce, <i>siliqua</i>, désigne également mais en latin une silique, ou gousse. Il est aussi appelé Carouge, Pain de saint Jean-Baptiste, figuier d'Égypte, fève de Pythagore</p> <p>Le caroubier est un arbre mesurant de cinq à sept mètres de hauteur et pouvant atteindre exceptionnellement quinze mètres.</p> <p>Le tronc est gros et tordu, l'écorce brune et rugueuse. La frondaison abondamment fournie forme un houppier large. Sa longévité peut atteindre 500 ans.</p>
<p>Murier</p>  <p>Morus</p> <p>Arbre de la famille des Moracées</p>		 <p>Les feuilles caduques, alternes, sont de forme générale ovale, arrondie ou cordiforme à la base, pointue à l'extrémité opposée, et parfois lobée plus ou moins profondément. Le bord du limbe est denté</p>	<p>Les mûriers sont des arbustes ou des arbres de taille moyenne.</p> <p>Les mûriers sont originaires des régions tempérées et chaudes de l'hémisphère nord</p> <p>Leur caractère ornemental, pour l'ombre qu'il procure</p> <p>Habitat : les Mûriers supportent le calcaire et affectionnent la lumière (espèces héliophiles) et la chaleur (thermophiles).</p> <p>Durée de vie : de l'ordre de 100-150 ans.</p> <p>Taille maximale : 10-15 m</p>

<p>Peupliers</p> <p>Arbre du genre <i>Populus</i>, de la famille des Salicacées</p>		 <p>un feuillage caduc. Les feuilles sont entières, disposées en spirales sur les branches (alternes). Leurs couleurs d'automne sont vives</p>	<p>Cette espèce de peuplier peut atteindre une hauteur de 25 mètres et vivre environ 60 ans.</p> <p>Hauteur à maturité : 15-30 m Largeur à maturité : 3-5 m Température minimale : -15 °C Zones climatiques France : méditerranéen, océanique, moyen, continental Rusticité : rustique Composition du sol : normal, argileux, calcaire, sableux, terre de bruyère, riche en humus PH du sol : neutre, acide, alcalin</p>
<p>Palmier</p>			
<p>Aulne</p> <p>Arbre de la famille des Bétulacées</p>		 <p>Feuillage caduc (les feuilles restent vertes tard en automne). Feuilles alternes. Bourgeons violets en hiver qui éclosent en février.</p> 	<p>Origine : Europe du Sud. Espèces européennes : Aulne glutineux, <i>Alnus glutinosa</i> (à cause de la viscosité de ses bourgeons et de ses jeunes feuilles) ; Aulne de Corse (originaire de Corse) ou Aulne à feuilles en coeur, <i>Alnus cordata</i> ; Aulne blanchâtre, <i>Alnus incana</i>. Autres espèces : Aulne rouge, <i>Alnus rubra</i> et Alnus viridis d'Amérique du Nord, Alnus sieboldiana du Japon. Habitat : Essences de lumière, les aulnes apprécient les terrains ensoleillés. L'Aulne glutineux et l'Aulne de Corse se développent en milieux humides. L'aulne blanchâtre s'accommode de sols secs et calcaires (les sols calcaires sont souvent secs car ils laissent l'eau circuler). Il supporte l'altitude. Rusticité : (il supporte le froid jusqu'à -17 °C). Port (arbre isolé) : conique à base large, du fait de ses branches qui poussent à l'horizontale. Son feuillage est peu dense. Taille maximale : 30 m.</p>
<p>Troène Japonica</p> <p>Arbre et arbuste de la famille des Oléacées</p>		 <p>Feuillage persistant. Feuilles opposées, coriaces, vert luisant, à bord lisse, et de forme elliptique et pointue. Longueur : 5-8 cm. On pourrait le confondre avec certains houx hybrides, mais la feuille est plus effilée, lancéolée, et souvent repliée sur la nervure médiane qui est très marquée. Elle porte un court pétiole rougeâtre.</p>	<p>le Troène, <i>Ligustrum lucidum</i>, est un arbre de Chine, Corée, Japon, tandis que le Troène commun, <i>Ligustrum vulgare</i>, est un arbuste, originaire d'Europe, d'Afrique du nord.</p> <p>Le troène préfère le calcaire. Il s'adapte à l'altitude jusqu'à 800 m.</p> <p>Rusticité : il supporte le froid jusqu'à -17°.</p> <p>Taille maximale : 20 m pour les arbres et de 3m pour les arbrisseaux.</p> <p>Croissance : lente.</p>

<p>Bigaradier</p>  	 <p>Feuilles alternes et persistantes, ovales, pointues, vernissées. Comme la feuille de l'oranger, elles ont un pétiole ailé (plat et large) d'1 cm.</p> 	<p>Origine : le Bigaradier est originaire de l'Inde. Il est introduit en Palestine par les caravanes arabes, puis, de là, importé en Europe par les Croisés au XII^e siècle.</p> <p>Habitat : en dehors de la côte méditerranéenne, le climat français est trop froid pour les agrumes, bigaradiers, orangers et citronniers. Il faut les abriter en hiver dans une pièce non chauffée, mais hors gel.</p> <p>Taille maximale : 15 m.</p> <p>Il supporte les sols pauvres secs et rocailloux des pays méditerranéen.</p> <p>Durée de vie du bigaradier : En moyenne 80 ans.</p> <p>Port : Son port est arrondi</p>
<p>Micocoulier</p> <p>Arbre de la famille des Ulmacées (Micocoulier, Orme, Zelkova).</p> 	  <p>Feuillage caduc. Feuilles simples, alternes, elliptiques, légèrement asymétriques à la base (ce qui aide à les reconnaître), dentées et rugueuses sur le dessus. Elle s'apparentent à celles de l'orme, mais elles sont plus allongées et moins larges.</p>	<p>Origine : Europe du Sud (espèce méditerranéenne).</p> <p>Espèces américaines (Micocoulier de Virginie, Micocoulier du Mississippi). En tout 70 espèces.</p> <p>Habitat : essence de pleine lumière, qui apprécie les sols profonds. Le Micocoulier supporte les sols secs, pauvres et poreux, et s'adapte à la chaleur estivale du milieu urbain. On le rencontre plutôt dans le Sud de la France, car il craint les gelées.</p> <p>Durée de vie : 500 ans.</p> <p>Taille maximale : 20 m.</p> <p>Système racinaire : Le micocoulier a des racines profondes.</p>

Les arbres urbains qui s'adaptent au mieux dans un climat semi aride sont des arbres de la famille Ulmacée, Rutacée, Acéracée.

Tableau A. 6: Nomenclature des arbres urbain en ALGERIE,

Source : Journal officiel,2009

Nomenclature des arbres urbains et des arbres d'alignement		
1. - LES ARBRES		
NOMBRE	NOM VERNACULAIRE	NOM SCIENTIFIQUE
1	Aulne glutineux	<i>Alnus glutinosa</i>
2	Catalpa	<i>Catalpa bignonioides</i>
3	Caroubier	<i>Ceratonia siliqua</i>
4	Cyprès toujours vert	<i>Cupressus sempervirens</i>
5	Cyprès de l'Arizona	<i>Cupressus arizonica</i>
6	Cyprès d'Italie	<i>Cupressus italica</i>
7	Eucalyptus	<i>Eucalyptus ficifolia</i>
8	Frêne	<i>Fraxinus exelsior</i>
9	Févier d'Amérique	<i>Gleditschia triacanthos</i>
10	Grevillier	<i>Grevillia robusta</i>
11	Magnolia à grandes fleurs	<i>Magnolia grandiflora</i>
12	Melia	<i>Melia azedarach</i>
13	Mûrier blanc	<i>Morus alba</i>
14	Platane d'occident	<i>Platanus occidentalis</i>
15	Peuplier blanc	<i>Populus alba</i>
16	Peuplier noir	<i>Populus nigra</i>
17	Pin pignon ou parasol	<i>Pinus pinea</i>
18	Robinier faux-acacia	<i>Robinia pseudo-acacia</i>
19	Saule blanc	<i>Salix alba</i>
20	Jacaranda à feuilles de Mimosa	<i>Jacaranda mimosifolia</i>
21	Tamaris de France	<i>Tamarix gallica</i>
22	Cyprès chauve	<i>Taxodium distachum</i>
23	Tipa	<i>Tipa tipuana</i>
24	Palmier phœnix	<i>Phœnix canariensis</i>
25	Palmier washingtonia	<i>Washingtonia filifera</i>
26	Palmier cocotier	<i>Cocos nucifera</i>
27	Micocoulier	<i>Celtis australis</i>
2. - LES ARBUSTES		
NOMBRE	NOM VERNACULAIRE	NOM SCIENTIFIQUE
1	Acacia de Constantinople	<i>Albizzia julibrissin</i>
2	Dragonnier	<i>Dracaena draco</i>
3	Sophora du Japon	<i>Sophora japonica</i>
4	Baniane de Malaisie	<i>Ficus retusa</i>
5	Cytise faux ébénier	<i>Laburnum anagyroides</i>
6	Lilas des Indes	<i>Lagerstroemia indica</i>
7	Laurier rose	<i>Nerium oleander</i>
8	Prunier	<i>Prunus pissardii</i>
9	Arbre de Judée	<i>Cercis siliquastrum</i>
10	Faux-poivrier	<i>Schinus molle</i>
11	Troène du Japon	<i>Ligustrum japonica</i>
12	Olivier de Bohème	<i>Eleagnus angustifolia</i>

ANNEXE 4 : Questionnaire

Nom de l'espace	PLACE DE LA PYRAMIDE	RUE BELOUZDED- BOUDJERIOU	SQUARE				
Date et heure	/07/2010						
Le sexe	Féminin		Masculin				
L'âge	≤18ans	18-30 ans	30-45ans 45-55ans ≥55ans				
Degré de fréquentation : vous êtes :	Résident		commerçant Autre				
Combien de fois fréquentez-vous cet endroit ?	Une fois par jour	Plusieurs fois par jour	quelques fois par semaine 1 ^{ère} fois				
Pourquoi vous êtes venu ici ?						
Comment trouvez-vous cet endroit ?						
Est-ce que vous pouvez me donner les principales raisons qui vous conduisent à fréquenter cet espace ?						
Quel est l'espace (s) que vous appréciez le plus dans cet endroit ?						
Niveau de confort :	Le jour	La nuit	Le jour et la nuit				
Dans quelle période de la journée vous trouvez l'endroit plus agréable :	Le matin						
	A midi						
	L'après midi						
	Toute la journée						
Parmi ces conditions climatiques, à votre avis quelle est le facteur qui nuira le plus votre confort ? (choisissez une condition)	Un Fort Ensoleillement						
	Un ciel couvert						
	Une humidité élevée						
	Un vent fort						
	Une haute température						
	Autres (précisez)						
A ce moment, trouvez-vous l'endroit :	Très froid	Froid	Ni froid ni chaud	Chaud	Très chaud		
Que pensez-vous du soleil à ce moment ?	Préfère plus		Neutre	Trop de soleil			
Que pensez-vous du vent à ce moment ?	Calme	Faible vent	Neutre	Venteux	Trop de vent		
Que pensez-vous de l'humidité à ce moment ?	Humide		Neutre	Sec			
Sentez- vous confortable ?	Oui					
	Non					
Que pensez-vous de la luminosité à cet espace ?	Très sombre	sombre	Ni sombre ni brillant	brillant	Très brillant		
Est-ce qu'il ya des surfaces qui vous éblouies ? (réfléchies des rayons solaires)	non	Surfaces du sol et du pavement	Constructio n	végétation	Surfaces d'eau	Aménagemen t urbaine	Ciel

La vue dans votre position affect votre appréciation de ce site ?	Négative	Pas du tout	positive
<u>Perception du lieu (qualité d'ambiance)</u>	* Très ouvert ?		
	* Ouvert		
Si on vous demande d'être plus précis, trouvez vous que cet endroit est :	* plutôt fermé		
	* très ferme		
Aération	* Très aéré		
	* aéré		
	* plutôt renfermé		
	* très renferme		
Eclairage/Lumière	*tres claire		
	*claire		
	*peu claire		
	*sombre		
	*tres sombre		
Ensoleillement	* très ensoleillé		
	*ensoleillé		
	* peu ensoleillé		
	* ombragé		
	* très ombragé		
Appréciation	* agréable		
	* plutôt agréable		
	* désagréable		
	* Plutôt désagréable		
	* ni agréable, ni désagréable		
Pour vous, la sensation de confort ou de gêne dans cette espace est elle liée :	Aux facteurs climatique ; ensoleillent, éclairage, aération... ?.		
	A la fréquentation du lieu et son animation ?		
	Au contexte urbain ; aménagement et architecture ?		
	Aux activités qui sont présent ?		
	Pour plusieurs raisons ? lesquelles ?.....		

ANNEXE 5 : Grille d'Observation et Roses d'ambiances physiques

Tableau A.7 : Grille d'observation du parcours de la journée du 16/07/2010 à 9h00-10h02

Grille d'observation : #01															
Lieu de l'enquête : Axe boudjriou ville de Constantine..										PARCOURS				Date : le 16/07/2010	
Début d'enquête : 9H00 fin d'enquête : 10H02															
Position	Heure	Ciel			Vent			Rayonn solaire			Qualité				Observation
											Th	VI	Ac	Ol	
P01	9.00	/				X				X	40	15	35	50	Calme – trop claire-
P02	9.10	/				X				X	50	50	20	20	Un peu chaud
P03	9.15	/			X			om		X	70	50	45	40	Ombre importante
P04	9.17	/			X			om			25	20	10	30	Chaleur et odeurs
P05	9.19	/			X					X	30	40	20	25	Chaud malgré l'ombre du bâtiment
P06	9.21	/			X			X			60	60	70	75	Agréable- vivant –frais-calme-
P07	9.28	/			X			om			55	40	40	45	Je suis à l'ombre, j'aime ces conditions....
P08	9.32	/			X			om			50	35	40	40	Je suis à l'ombre, j'aime ces conditions....
P09	9.40	/			X					X	75	75	50	50	Je suis à l'ombre, j'aime ces conditions....
P10	9.46	/			X			om			50	50	50	50	Je suis à l'ombre, j'aime ces conditions....
P11	9.50	/			X			om	X		75	75	50	50	Je suis à l'ombre, j'aime ces conditions....
P12	9.55	/			X			om		X	50	50	50	50	Je suis à l'ombre, j'aime ces conditions....
P13	9.59	/				X				X	25	25	20	30	Je suis au soleil, il fait chaud
P14	10.02	/				X		om	X		60	45	40	29	Je suis à l'ombre, l'air frais, c'est ouvert.....

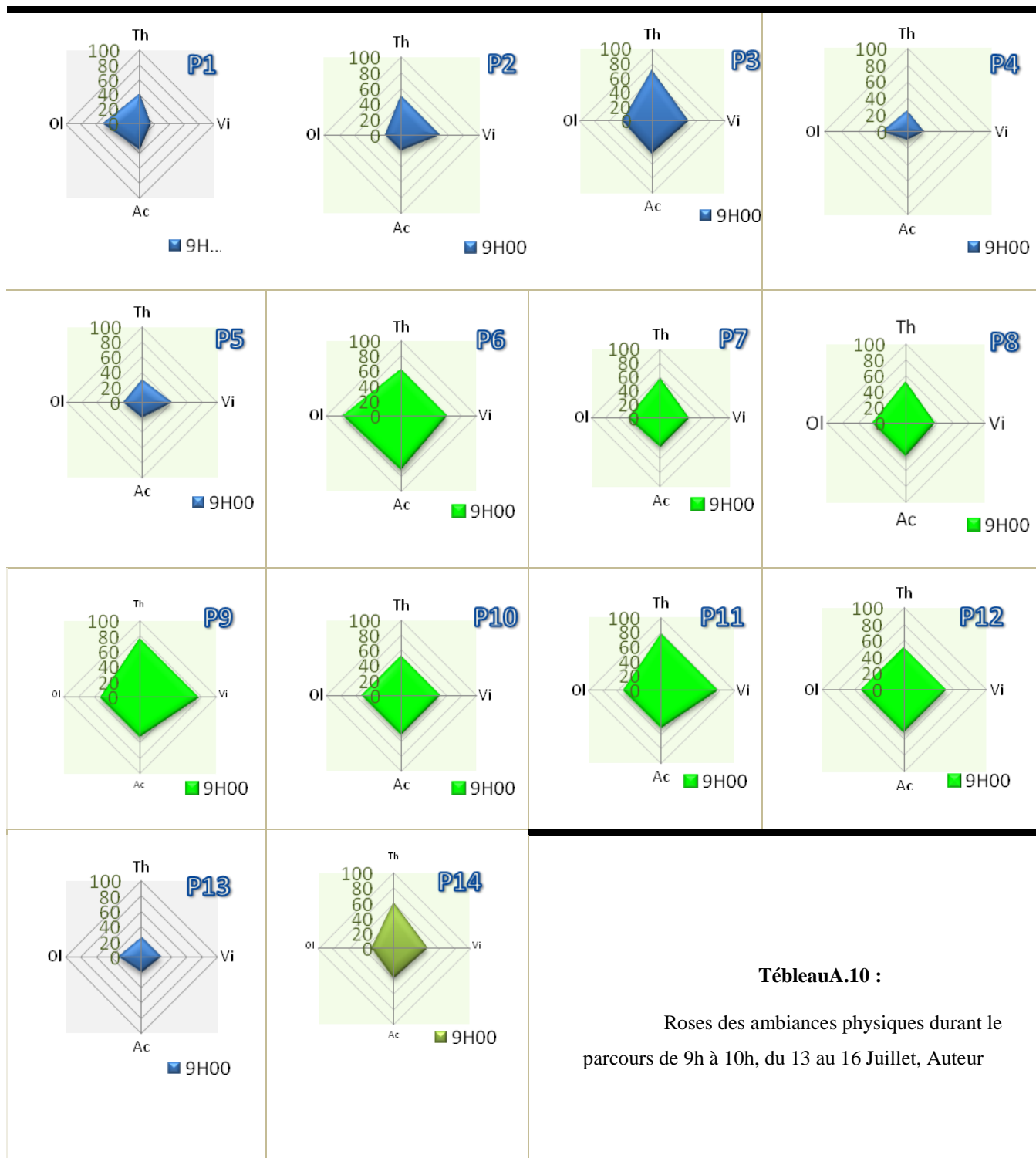
Tableau A.8: Grille d'observation du parcours de la journée du 16/07/2010 à 12h00-12h056

Grille d'observation : #03															
Lieu de l'enquête : Axe boudjriou ville de Constantine..										PARCOURS				Date : le 16/07/2010	
Début d'Observation : 12H00 fin d'Observation : 12H59															
Position	Heure	Ciel			Vent			Rayonn solaire			Qualité				Observation
											Th	VI	Ac	Ol	
P01	12.00	/				X				X	20	5	45	50	Soleil trop fort, insupportable, trop de bruit , tés glaire (lumière intense) je me sens pas bien
P02	12.10	/				X				X	25	40	20	20	Soleil fort, bruit et mauvais odeurs
P03	12.15	/			X			om			60	50	40	40	Ombre importante, agréable, lumière faible
P04	12.18	/			X			om			10	15	15	40	Soleil fort ,chaleur
P05	12.20	/			X					X	20	15	10	25	Soleil chaleur et bruit
P06	12.23	/			X			X			50	65	75	75	Ombre agréable, calme, et un peu chaud
P07	12.30	/			X			om			50	50	45	45	Je suis à l'ombre, c'est bien
P08	12.31	/			X			om			50	50	45	45	Soleil, un peu chaud
P09	12.34	/			X					X	55	60	50	50	Ombre, ambiance agréable
P10	12.36	/			X			om			50	50	50	50	Ombre, ambiance agréable
P11	12.39	/			X			om			55	60	50	50	Ombre, ambiance agréable
P12	12.41	/			X			om			50	50	50	50	Ombre, ambiance agréable
P13	12.43	/				X					0	20	20	20	Soleil trop fort, insupportable, trop de bruit,chaud
P14	12.56	/				X		om			45	50	35	35	Ombre, ambiance agréable lumière agréable

Tableau A.9: Grille d'observation du parcours de la journée du 16/07/2010 à 18h00-18h59

Grille d'observation : #03															
Lieu de l'enquête : Axe boudjriou ville de Constantine..										PARCOURS				Date : le 16/07/2010	
Début d'Observation : 18H00 fin d'Observation : 18H59															
Position	Heure	Ciel			Vent			Rayonn solaire			Qualité				Observation
											Th	VI	Ac	Ol	
P01	18.00	/				X				X	55	40	20	55	Aération , chaleur, lumière trop forte
P02	18.10	/				X				X	25	30	20	20	Chaud, et mauvais odeur
P03	18.15	/			X			Om			55	50	40	40	Ombre fraîcheur
P04	18.17	/			X			Om			40	10	5	25	Chaleur intense malgré l'existante de l'ombre
P05	18.19	/			X				X		35	45	5	25	Chaleur intense malgré l'existante de l'ombre
P06	18.21	/			X			X			70	67	65	75	agréable
P07	18.25	/			X			om			65	55	45	45	Bien , fraîcheur , mouvement
P08	18.30	/			X			Om			65	75	50	30	Ideme
P09	18.36	/			X				X		65	75	50	50	Ideme
P10	18.40	/			X			Om			60	60	50	50	Ideme
P11	18.46	/			X			Om			65	75	50	50	Ideme
P12	18.49	/			X			Om			60	60	50	50	Ideme
P13	18.53	/				X					50	30	20	20	Aération ouverture, lumière importante
P14	18.59	/				X		Om			68	75	30	20	Agréable, fraîcheur, ombre

ROSES DES AMBIANCES PHYSIQUES –SESSION DU MATIN



ROSES DES AMBIANCES PHYSIQUES –SESSION DE MIDI

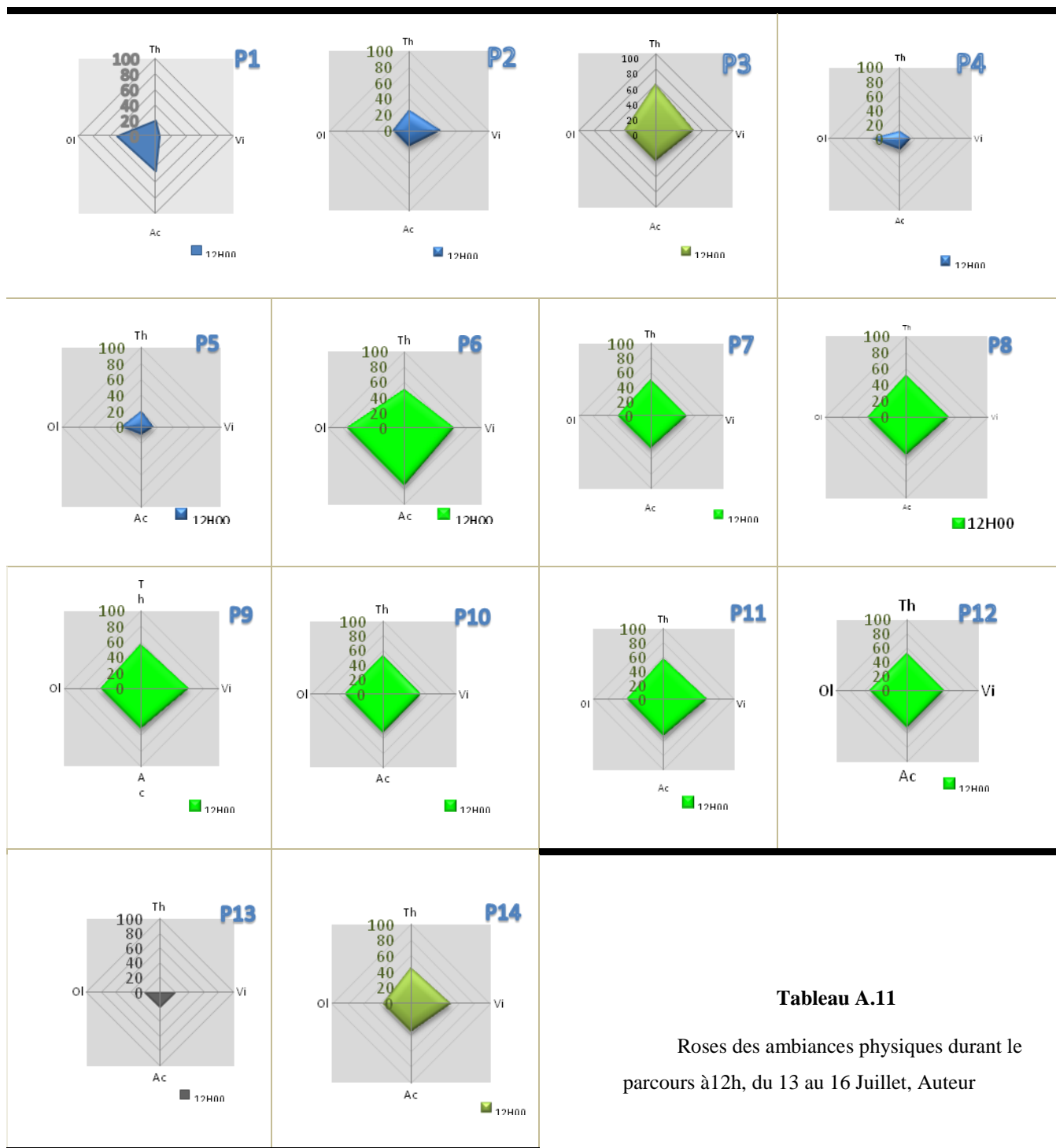
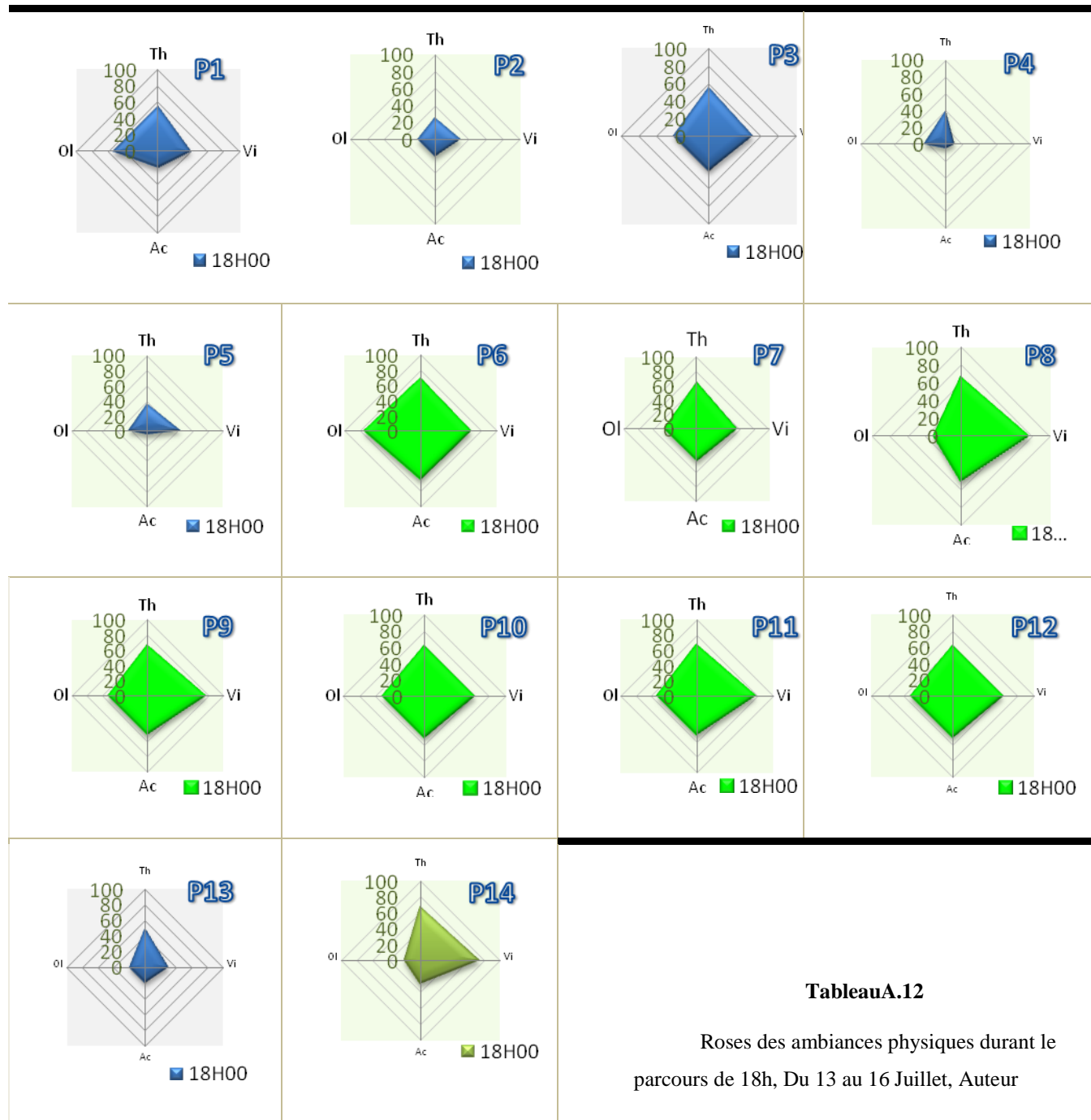


Tableau A.11

Roses des ambiances physiques durant le parcours à 12h, du 13 au 16 Juillet, Auteur

ROSES DES AMBIANCES PHYSIQUES –SESSION DE L’APRES MIDI



TableauA.12

Roses des ambiances physiques durant le parcours de 18h, Du 13 au 16 Juillet, Auteur

ANNEXE 6 : Résultats de sortie des points simuler avec végétation par TownScope3.2

```

# Scene : C:/Program Files/TownScope/20DEC SIM/axe juillet12/Axe veg sud 50%.URB
# Analysis : Solar access
# Element : PointsREF
# Parameters : Latitude= 36.17, Altitude= 687.00
# Meteo file used : C:/Program Files/TownScope/Annexes/meteo/Constantine
# Computed Days :
#   Jul/15
# Values by Day & by Hour (depends on the user's settings) :
#   [Direct] [Diffused] [Reflected] [Sunshine time (min)]
# And by day :
#   The Sunshine time value (h)
# X       Y       Z
#
#                               h:0                h:1                h:2
#                               h:3                h:4                h:5
#                               h:6                h:7                h:8
#                               h:9                h:10               h:11
#                               h:12               h:13               h:14
#                               h:15               h:16               h:17
#                               h:18               h:19               h:20
#                               h:21               h:22               h:23
#                               Sunshine time
288.58 120.32 1.50
      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0
      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      51     10
      28     36     142    27     11     44     28     38     9      4      60     46
      7      6      182    53     5      15     208    58     4      15     453    61
      3      31     222    61     3      15     208    58     3      15     181     53
      5      15     99     46     5      10     25     38     5      4      10     27
      4      3      47     13     3      50     3      2      1      9      0      0
      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0
      0      0      4.55
266.34 120.70 1.50
      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0
      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      51     9
      18     36     95     25     17     31     28     35     12     4      66     42
      10     7      182    48     7      15     208    53     6      15     719    56
      4      49     222    56     3      15     208    53     3      15     181     48
      4      15     120    42     4      12     23     35     4      3      2      25
      3      0      1      12     2      1      0      1      0      0      0      0
      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0
      0      0      3.64
331.85 120.32 1.50
      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0
      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      51     8
      28     36     104    21     18     34     25     29     13     4      42     35
      8      4      182    40     6      15     208    44     5      15     423    46
      4      29     222    46     4      15     208    44     4      15     181     40
      4      15     77     35     4      8      25     29     5      4      13     21
      7      4      48     10     6      51     7      1      2      24     0      0
      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0
      0      0      4.54
265.96 126.40 1.50
      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0
      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      51     15
      19     36     213    40     15     60     396    56     10     60     574    68
      6      60     723    77     4      60     830    85     3      60     885    90
      3      60     885    90     3      60     829    85     3      60     722    77
      3      60     573    68     3      60     395    56     3      60     212    40
      3      60     56     19     2      45     0      2      0      0      0      0
      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0
      0      0      13.35
287.64 125.28 1.50
      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0
      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      51     15
      18     36     213    41     13     60     396    57     8      60     574    68
      5      60     723    78     4      60     830    86     3      60     885    91
      3      60     885    91     3      60     829    86     3      60     722    78
      3      60     573    68     3      60     395    57     3      60     212    41
      3      60     65     19     3      60     3      2      1      9      0      0
      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0
      0      0      13.75

```

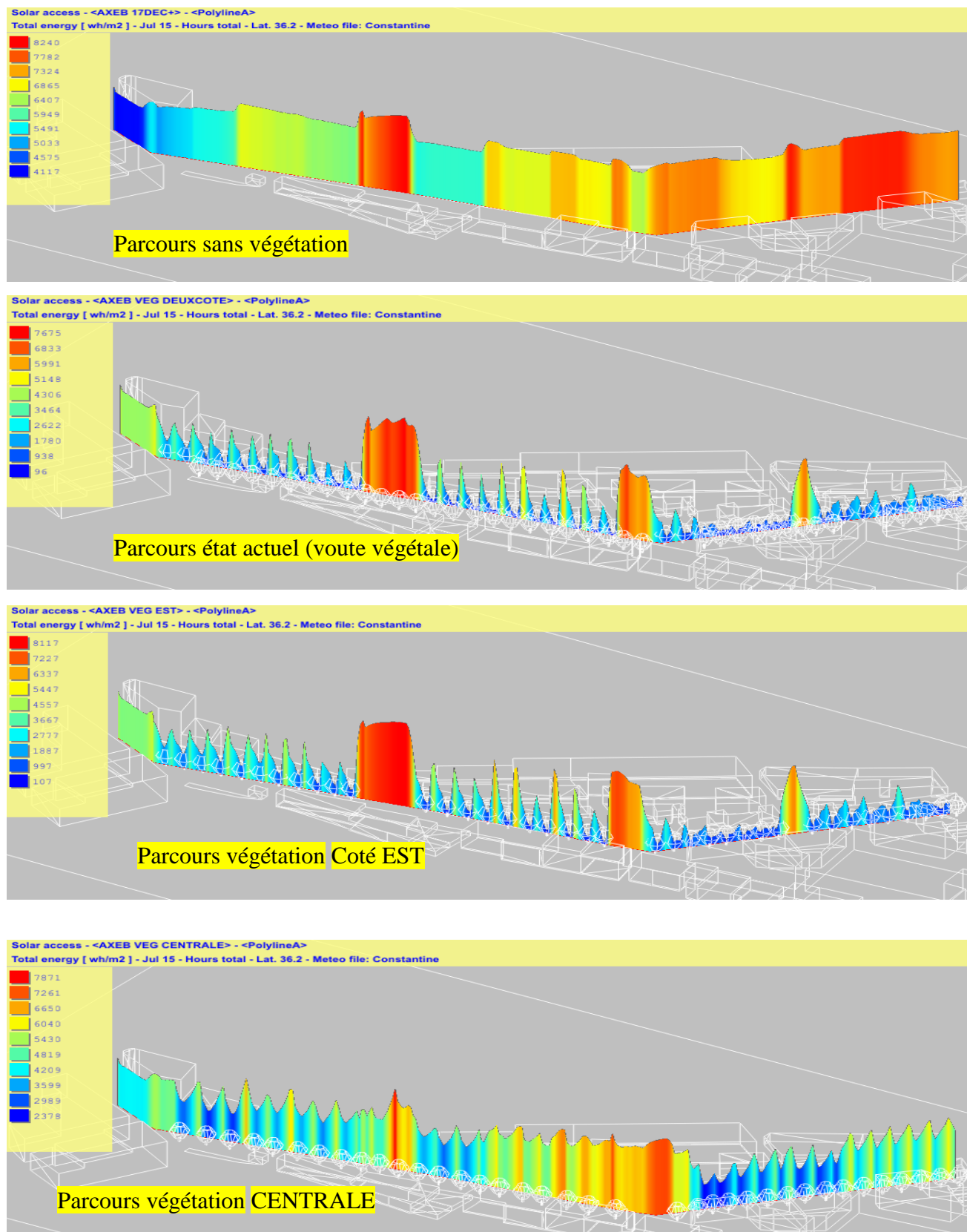
Résultat de sortie d'un point avec végétation par RayMan

RayMan 1.2 © 2000
 Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany
 place: 1st location - erster Ort
 Horizon limitation: 0.0% sky view factor: 1.000
 geogr. longitude: 6°35' latitude: 36°17' timezone: UTC +1.0 h
 personal data: height: 1.75 m weight: 75.0 kg age: 35 a sex: m clothing: 0.4 clo
 activity: 80.0 W

date	year	h:mm	sun rise	sun set	sun	Gact W/m2	Sact W/m2	Dact W/m2	Ts °C	Ta °C	Tmrt °C	PMV	PET °C	SET* °C
15.7.2010	196	6:00	5:32	19:47	114	91	23	23	30.2	30.0	28.4	1.1	27.7	20.7
15.7.2010	196	7:00	5:32	19:47	36	29	7	7	28.8	30.5	23.7	0.8	26.1	18.9
15.7.2010	196	8:00	5:32	19:47	39	31	8	8	29.6	31.3	24.3	1.0	27.0	19.6
15.7.2010	196	9:00	5:32	19:47	83	66	17	17	35.6	36.3	31.7	3.0	34.8	27.2
15.7.2010	196	10:00	5:32	19:47	94	75	19	19	38.5	39.0	34.5	4.1	38.5	30.8
15.7.2010	196	11:00	5:32	19:47	96	77	19	19	39.0	39.5	34.8	4.2	39.0	31.2
15.7.2010	196	12:00	5:32	19:47	97	78	19	19	40.0	40.6	35.5	4.5	40.1	32.0
15.7.2010	196	13:00	5:32	19:47	92	74	18	18	39.8	40.5	35.4	4.5	40.0	32.0
15.7.2010	196	14:00	5:32	19:47	83	66	17	17	39.4	40.3	35.1	4.4	39.7	31.7
15.7.2010	196	15:00	5:32	19:47	48	38	10	10	38.1	39.8	33.2	4.1	38.5	30.6
15.7.2010	196	16:00	5:32	19:47	30	24	6	6	37.7	39.8	32.3	4.1	38.2	30.3
15.7.2010	196	17:00	5:32	19:47	24	19	5	5	37.4	39.6	31.9	4.0	37.8	30.0
15.7.2010	196	18:00	5:32	19:47	58	46	12	12	35.6	36.9	31.5	3.2	35.3	27.5
15.7.2010	196	19:00	5:32	19:47	10	8	2	2	31.6	34.0	25.6	1.9	30.2	22.4
15.7.2010	196	20:00	5:32	19:47	0	0	0	0	28.4	31.0	21.9	0.8	25.9	18.4

ANNEXE 7 : Résultats de simulation Axe 2

Figure A. 10: Résultat de simulation de la totale radiation solaire reçue dans le parcours d'investigation selon l'axe2 Belouizded (sans végétation et avec végétation selon différents positions des alignements)



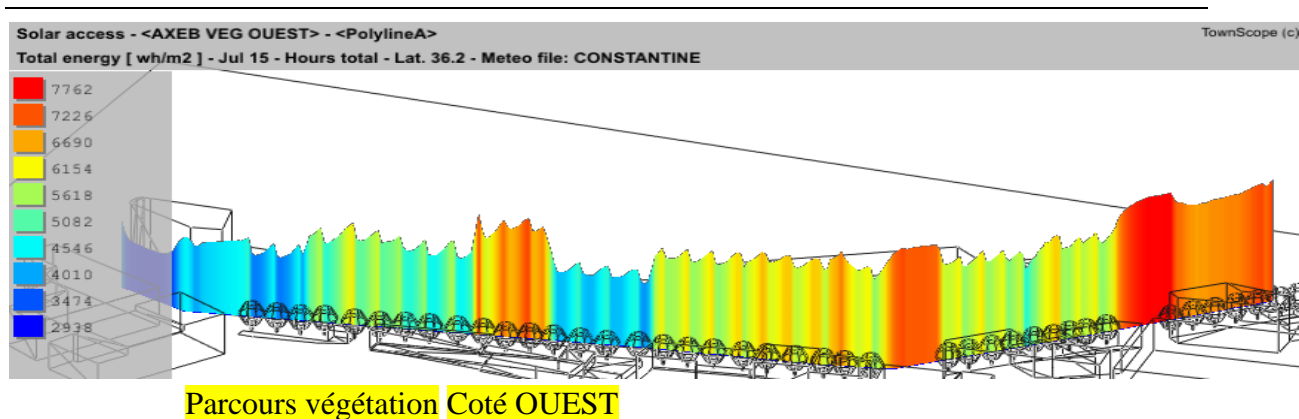
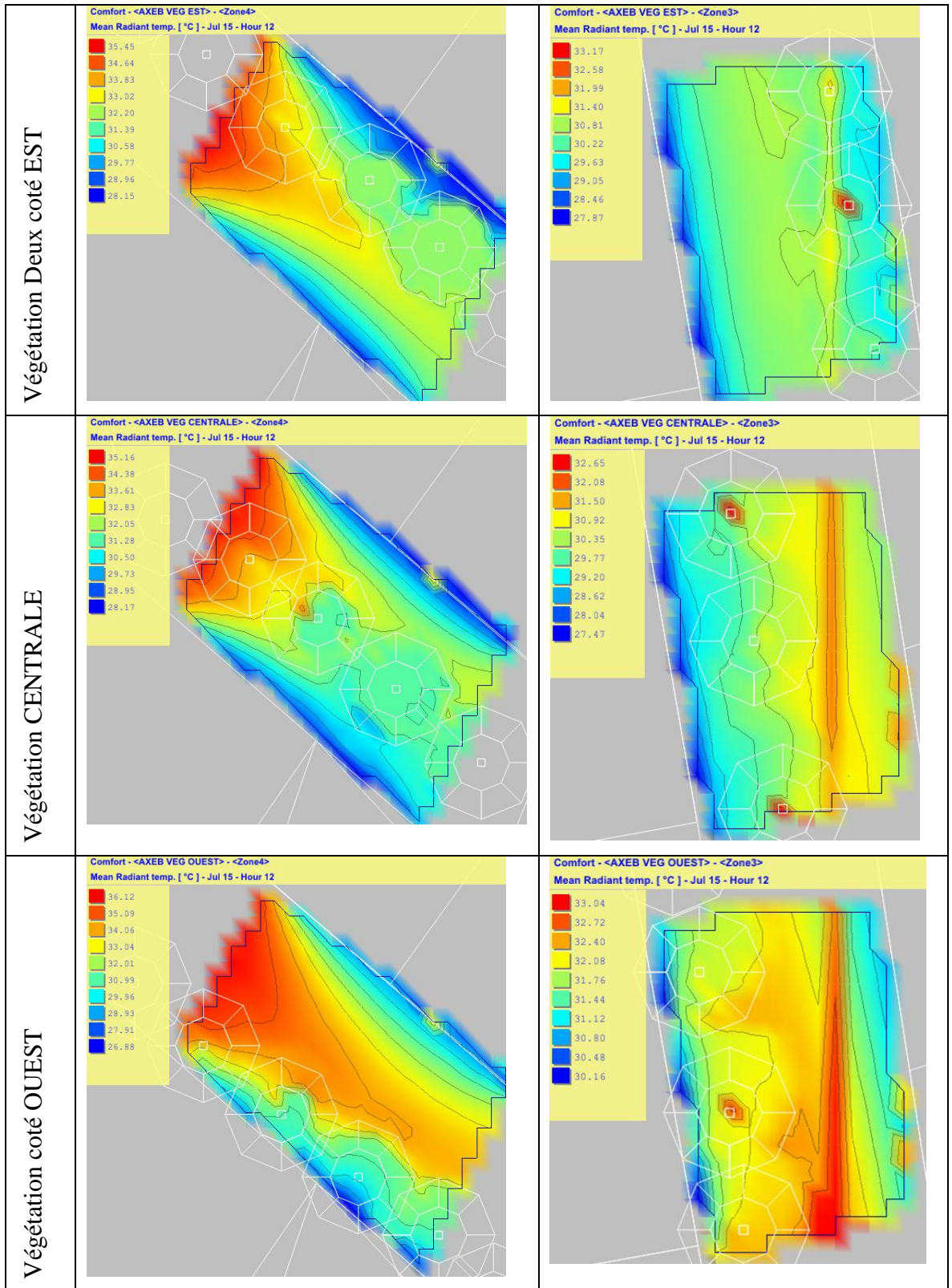


Tableau A.12 Effet de la végétation selon l'orientation de l'axe et la position des alignements des arbres

	Température de l'air à 12H (orientation NO-SE)	Température de l'air à 12H (orientation N-S)
Sans végétation	<p>Comfort - <AXEB 17DEC+> - <Zone4> Mean Radiant temp. [°C] - Jul 15 - Hour 12</p>	<p>Comfort - <AXEB 17DEC+> - <Zone3> Mean Radiant temp. [°C] - Jul 15 - Hour 12</p>
Végétation Deux coté Etat actuel	<p>Comfort - <AXEB VEG DEUXCOTE> - <Zone4> Mean Radiant temp. [°C] - Jul 15 - Hour 12</p>	<p>Comfort - <AXEB VEG DEUXCOTE> - <Zone3> Mean Radiant temp. [°C] - Jul 15 - Hour 12</p>



Résumés

Résumé

Les « ambiances » constituent un domaine éminemment complexe, constitué des interactions que l'utilisateur perçoit entre les phénomènes physiques et les formes de l'environnement construit. La qualité d'ambiance d'un lieu se traduit pour l'occupant en termes de sensation de confort. Créer des ambiances urbaines de qualité assurant le confort des citoyens est un des enjeux fondamentaux du développement durable des villes. Le climat a toujours été considéré comme un des éléments majeurs de la dynamique et de l'ambiance d'une ville. Comprendre la richesse que recèlent les facteurs microclimatiques et leurs implications sur le confort humain oriente vers de nouvelles possibilités de conception et d'aménagement des espaces extérieurs.

La végétation implantée en milieu urbain modifie les ambiances physiques (lumière, chaleur, vent, son, humidité...). Elle influe sur la perception et l'appropriation des espaces urbains par les usagers. La végétation est une composante indispensable dans les projets architecturaux et urbains. Elle permet de minimiser et d'intercepter les radiations solaires, un paramètre très important de confort à l'extérieur durant la période chaude. Elle peut réduire les températures de l'air et minimiser le flux lumineux.

Dans cette optique plutôt physiologique, nous avons tenté d'explorer la diversité de l'environnement thermique et visuel en milieu urbain. Le but du présent travail est de mettre en évidence l'impact de la présence de la végétation sur l'utilisation de l'espace extérieur en été et sur les comportements des usagers, ainsi que sur la variation des paramètres climatiques pour un confort à l'extérieur. Pour cela, la méthodologie suivie consiste à évaluer différents espaces urbains de la ville de Constantine (Algérie) à climat semi aride, selon un parcours et des scènes d'ambiances (stations végétale et d'autre dénudé de végétation).

L'objectif est de démontrer l'effet de cette dynamique environnementale sur la perception des ambiances thermiques et visuelles d'un piéton.

La méthode expérimentale a fait appel aux techniques d'enquêtes, d'observations, de mesures in situ et de modélisation.

Le croisement des données a permis de démontrer la dynamique de l'environnement thermique et visuel d'un parcours urbain, d'analyser les conditions du confort thermique et d'identifier les différents niveaux d'adaptation caractérisant un parcours urbain pendant une journée typique d'été.

Les observations et les enquêtes ont révélé les problèmes d'usage et d'appréciation de l'espace urbain, ainsi que la perception des usagers liée aux phénomènes physiques et au contexte urbain.

L'analyse et la discussion des données laissent apparaître la construction de la forme tridimensionnelle déterminée par son degré d'ouverture au ciel (SVF) et la présence de la végétation selon son emplacement, sa taille et son degré de couverture qui a été simulé par le logiciel Townscope 3.1. La variation des paramètres de la végétation influe sur la quantité de la radiation globale et sur la perception du lieu.

Le confort thermique est calculé par le logiciel RayMan 1.2 ayant pour indicateurs les indices PET et PMV afin de comparer le degré de confort des différents espaces.

Les résultats confirment l'importance de l'ombrage par la végétation sur la qualité du cadre de vie, la création d'ambiance urbaine et sur les situations de confort thermique et visuel. La présence de la végétation a un effet positif pour la qualification de l'ambiance urbaine de l'espace public.

Mots Clés : Végétation, ambiances thermique, ambiance visuelle, confort, ombre, perception, espace public.

Abstract

The "ambience" constitutes an eminently complex field, constituted by the interactions which the user perceives between the physical phenomena and the forms of the constructed environment. The quality of the atmosphere of a space is translated for the occupant in terms of sensation of comfort. To create urban quality ambience assuring the comfort of the city-dwellers are thus one of fundamental stakes in the sustainable development of cities. The climate was always considered as one of the major elements of the dynamics and the atmosphere of a city. Understand the wealth which conceals the microclimatic factors and their implications on the human comfort open new possibilities for the conception and the arrangement of the outdoor spaces.

The vegetation implanted in urban zones modifies the physical atmospheres (light, heat, wind, sound, humidity). It influences the perception and the appropriation of the urban spaces of the users. The vegetation is an indispensable component of the architectural and urban projects. It allows to minimize and to intercept the solar radiations, a very important parameter of comfort outside during warm period. It can reduce air temperatures. It can damp the urban noise.

In this rather physiological optics, that we investigated the diversity of the thermal and visual environment in urban environment. Present work tends to bring to light the role of the presence of the vegetation on the use of the outside space in summer and on the behavior of the users, as well as the climatic variation of the parameters for an outside comfort. For that purpose, the method consists in estimating various urban spaces of the city of Constantine (Algeria) at semi-arid climate, according to a course (vegetable stations and the others by vegetation).

The objective is to demonstrate the effect of this environmental dynamics on the perception of the thermal and visual comfort of a pedestrian.

The experimental method appeals to the techniques of inquiries, observations, measures in situ and modeling. The crossing of the data allowed demonstrating the dynamics of the thermal and visual environment of an urban course, to analyze the conditions of the thermal comfort and to identify the various levels of adaptation characterizing an urban route course during a summer typical day. The observations and the inquiries reveal the problems of use and appreciation of the urban space, and the perception of the users bound to the physical phenomena

The analysis and the discussion of the data revealed the construction of the three-dimensional shape determined by its degree of sky view factor (SVF) and the presence of the vegetation according to its location, its size and its degree of cover which was fined by the software Town scope 3.1. The variation of the parameters of the vegetation impulse on the quantity of the global radiation and on the perception of the space (thermal and visual)

The thermal comfort is calculated by the software RayMan 1.2 having for the indicator the indication PET and the indication PMV to compare the degree of comfort of the various spaces.

The results confirm the role of the shade by the vegetation on the quality of the living environment, the creation of urban atmosphere and on the situations of thermal and visual comfort. The presence of the vegetation has a positive effect in the quality of the urban ambience of the public place.

Key words:

Vegetation, Thermal ambience, Visual ambience, Comfort, Shade, Perception, Public space.

تعتبر الحيوية ميدان جد معقد، لكونها تتشكل من وجهة نظر مستعملها من تشابك بين العوامل الفيزيائية و أشكال المحيط المبني. هذا و تترجم نوعية حيوية أي مكان بإحساس مستعمله بالراحة، و من ثمة تعد عملية خلق أجواء عمرانية ذات نوعية- تعمل على ضمان الجودة و الراحة - واحدة من الرهانات الأساسية لتحقيق التنمية المستدامة للمدن . ان فهم العوامل المكرو - مناخية ومدى تأثيرها على راحة الإنسان، يترتب عنه فتح مجال نحو إمكانية تنمية الفضاءات الخارجية . لا سيما و أن وجود النباتات و الأشجار في المناطق الحضرية داخل المدينة يعمل على تغيير الأجواء الفيزيائية للفضاء (من ضوء و حرارة و رياح و صوت) و ما ينجر عنه من نوعية في استخدام الفضاءات العمرانية .

و يعود السبب في ذلك إلى أن الأشجار تعتبر حاجزا لأشعة الشمس و عاملا جد مهم للراحة في المناطق الخارجية خلال فترة الصيف فتسمح بتلطيف الحرارة بتخفيض درجاتها و كذلك التقليل من التدفق الضوئي. حاولنا من زاوية المنظور الفسيولوجي تحليل تغير البيئة الحرارية و الضوئية في الفضاءات الخارجية للمناطق الحضرية. تهدف هذه الرسالة إلى إبراز أهمية تأثير النبات و الأشجار على استعمال الفضاءات الخارجية في الصيف و على سلوكيات مستعملي و أيضا تغيير العوامل المناخية على الراحة الخارجية . إن الهدف من البحث ، هو تبيان اثر هذه الديناميكية على الراحة الحرارية و البصرية للراجلين .

لأجل ذلك، تكمن المنهجية المتبعة في تقويم مختلف الفضاءات الحضرية لمدينة قسنطينة (الجزائر)، والتي تتميز بجو حار و جاف (semi aride) و فق مسار و عدة مناطق حيوية منها ما يتوفر على النبات و الأشجار ومنها ما ينعدم فيه .

إن المنهج التجريبي المعتمد يتطلب استخدام تقنيات المسح و الملاحظة و القياس و النمذجة . و هذا ما استندنا عليه لإبراز ديناميكية البيئة الحرارية و البصرية لمسار حضري ،

حيث سمح تحليل و مناقشة البيانات ببروز بناء في شكل ثلاثي الأبعاد يتكون من درجة انفتاح السماء و وجود الغطاء النباتي- حسب موقعها و حجمها- و درجة تغطيتها ،بالقيام بالمحاكاة باستخدام برمجية Townscope 3.1 . و الذي أسفر على أن اختلاف عوامل الغطاء النباتي يؤثر على كمية الإشعاع و على نوعية الإحساس بالفضاء .

هذا و قد تم تقدير الراحة الحرارية بواسطة برنامج RayMan 1.2 باستعمال مؤشري الرفاهية PET و PMV لمقارنة درجة الرفاهية في مختلف الأماكن.

وقد أسفرت النتائج، على الدور المهم للتضليل بواسطة الغطاء النباتي على نوعية الرفاهية، من خلال خلق أجواء حيوية في المناطق الحضرية وكذلك على مستوى الراحة الحرارية و البصرية . مؤكدة بذلك ،أهمية وجود الغطاء النباتي في تأهيل حيوية المناطق الحضرية في الأماكن العامة .

الكلمات المفتاحية :

الغطاء النباتي، الحيوية الحرارية، الحيوية المرئية، الراحة، الإحساس، المساحة العامة

