

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

UNIVERSITE MENTOURI .CONSTANTINE

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

DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

N° d'ordre.....

Série.....

**MEMOIRE**

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

**THEME**

**L'INFLUENCE DE LA REFLECTIVITE DES MATERIAUX  
(ALBEDO) SUR LA MODIFICATION DU MICROCLIMAT ET LE  
CONFORTTHERMIQUE EXTERIEUR DANS UN CANYON  
URBAIN  
- Cas du Coudiat de Constantine -**

Présenté par:

**Melle. MANSOURI OUARDA**

Sous la direction de:

**Prof. BOURBIA FATIHA**

**Jury d'examen:**

- Prof.ANSER ALAOUA	Université de Constantine	Président
- Dr.ABDOU SALIHA	Université de Constantine	Examinatrice
- Dr.BOUCHAHM YASMINA	Université de Constantine	Examinatrice
-Prof.BOURBIA FATIHA	Université de Constantine	Rapporteur

Soutenue le ...../...../2008

## *Remerciements*

Mille mercis au professeur **Bourbia Fatiha**, pour son suivi continu, ses précieux conseils, ses chaleureux encouragements ainsi que pour sa générosité en matière de références avec la valeureuse documentation qu'elle a pu mettre à ma disposition, puissiez trouver ici l'expression de ma profonde gratitude.

Je remercie infiniment le professeur **ANSER ALAOUA**, pour avoir accepté de présider le jury d'examen pour l'évaluation de mon travail de magister.

Mes vifs remerciements vont également au docteur **Bouchahm Yasmina** et docteur **Abdou Saliha** pour leurs orientations, conseils et encouragements, et pour avoir accepté d'examiner et de juger ce travail.

Je remercie aussi Mme **Nini Garmia**, pour ses encouragements et ses conseils.

Je remercie les responsables du personnel de l'ONM et en particulier Mr. Ayache.

Je tiens à exprimer aussi toute ma reconnaissance et ma gratitude pour celles qui avaient le rôle majeur dans la compréhension et la maîtrise du logiciel de simulation "Envi-Met" et qui sont **Tebanni Habiba** et **Boucheriba Fouzia**, qui étaient disponibles à tout moment sans le moindre désagrément, ni ennui, sans oublier **Fazia Ali-Toudert** pour ces orientations et directives fructueuses, et Mr. **Michael Bruse** qui donnait directement le remède au problème posé.

Je remercie tout ceux qui ont participé à la création de l'ambiance sympathique au niveau du laboratoire d'architecture bioclimatique et environnement "ABE".

Je remercie tous ceux qui ont participé de près ou de loin, matériellement et moralement pour l'élaboration de ce travail en particulier, et de la phase de post-graduation en général, je cite: Youcef, Naziha, Sihem, Faty, Dalel, Chahra, Karima, Mounira, et autres, je tiens à leur exprimer ici toute ma reconnaissance.

Et enfin, je ne saurais terminer sans dédier ce modeste travail à la mémoire de mon très cher PAPA. Et à ma très chère maman, qui m'a toujours encouragé à affronter les études de post-graduation et surtout parce qu'elle est une merveilleuse mère.

## **SOMMAIRE:**

Liste des figures.....	IV
Listes des tableaux.....	X
Nomenclature.....	XI

### **Chapitre introductif: Problématique, hypothèses....objectifs et méthodologie.**

1- <b>Introduction</b> .....	1
2- Problématique. ....	3
3- Hypothèses. ....	6
4- Objectifs.....	7
5- Méthodes et outils.....	8
6- Structure de la thèse. ....	8

### **Chapitre1: Support théorique...Concepts, historique et microclimat de la rue.**

1-1- <b>Introduction</b> .....	11
1-2-Un îlot de chaleur urbain, c'est quoi?.....	12
1-2-1-Caractéristiques spatiales.....	14
1-2-2-Caractéristiques temporelles.....	15
1-3-Qu'est ce que la rue?.....	16
1-4-Le développement de la rue à travers l'histoire.....	19
1-5-Classification des rues d'après leur géométrie.....	29
1-5-1-La forme dégagée.....	30
1-5-1-La forme dièdre .....	30
1-5-1-La forme canyon.....	31
1-6-Le microclimat urbain à l'échelle d'une rue "canyon" .....	33
1-6-1- L'écoulement de l'air à l'échelle d'une rue canyon.....	33
1-6-2- L'ensoleillement à l'échelle d'une rue canyon.....	37
1-6-3-L'effet radiatif dans un canyon urbain (effet de piège).....	38
1-6-4- L'effet de la végétation.....	39
1-6-5- L'impact des matériaux.....	41
1-7- <b>Conclusion</b> .....	41

### **Chapitre2: Généralités sur la réflectivité (albédo) et les différents bilans radiatifs et d'énergies.**

2-1- <b>Introduction</b> .....	43
2-2-Le soleil, définition et caractéristiques.....	44
2-2-1-La constante solaire.....	45
2-2-2-Le rayonnement solaire.....	46
2-2-3-Le rayonnement en milieu urbain.....	50
2-3-Qu'est ce que l'albédo? .....	52
2-4- Les bilans radiatifs et d'énergie.....	55
2-4-1-Le bilan radiatif de l'atmosphère.....	55
2-4-2-Le bilan d'énergie de l'atmosphère.....	61
2-4-3-Le bilan radiatif au dessus de la ville.....	64

2-4-4-Le bilan d'énergie au dessus d'une ville.....	65
2-4-5-Le bilan radiatif et d'énergie dans une rue canyon.....	71
2-5-Conclusion.....	81

**Chapitre3: Le confort thermique extérieur.**

3-1-Introduction.....	82
3-2-La notion du confort thermique.....	83
3-3-Indices de confort thermique.....	83
3-3-1-Le vote moyen prévisible (PMV) .....	83
3-3-2-Le vote de sensation effective (ASV).....	85
3-3-3-La température moyenne radiante (MRT).....	85
3-3-4-La température physiologique équivalente (PET) ..	85
3-4-Le confort thermique dans les espaces extérieurs.....	86
3-4-1-Quelles techniques de rafraîchissement pour les espaces urbains.....	102
3-5-Le confort thermique à l'échelle de la rue (dans le canyon urbain).....	107
3-6-Conclusion.....	110

**Chapitre4: L'influence de la réflectivité des matériaux (albédo) sur le microclimat urbain et le confort extérieur.**

4-1-Introduction.....	111
4-2-Littérature review.....	112
4-2-1-L'albédo au niveau des espaces extérieurs urbains.....	112
4-2-1-1-Quels sont les effets de la couleur, de la rugosité et de la taille des matériaux sur la température de surface des espaces extérieurs urbains?.....	112
4-2-1-2-L'effet de l'ombre des arbres sur l'atténuation de la température de l'air....	115
4-2-1-3-L'influence des matériaux de surface sur le microclimat des espaces ouverts.....	118
4-2-1-4-Influence de l'albédo du à la densité du cadre bâti et à la nature des matériaux sur la température de l'air.....	119
4-2-1-5-Des peintures réfléchissantes pour les milieux urbains.....	120
4-2-1-6-Evaluation des conditions de rayonnement dans les espaces urbains.....	123
4-2-1-7-Les travaux de "heat island group" du laboratoire "Lawrence Berkeley National Laboratory" LBNL.....	124
4-2-2-L'albédo au niveau du toit.....	124
4-2-2-1-L'influence de l'albédo des toits sur la température de surface du toit.....	124
4-2-2-2-L'albédo s'affaiblit avec l'âge.....	128
4-2-2-3-Le lavage des toits conserve leur température fraîche.....	129
4-2-2-4-Les matériaux pour des toits frais.....	130
4-2-3-L'albédo au niveau de la rue.....	131
4-2-3-1-L'albédo des chaussées.....	131
4-2-3-2-Influence de la géométrie urbaine et des matériaux de construction sur la température de surface et de l'air.....	131
4-2-3-3-Des températures basses pour des chaussées fraîches.....	141
4-3-L'albédo réduit l'effet de l'îlot de chaleur.....	143
4-4-Les conséquences secondaires des matériaux fortement réfléchissants.....	146
4-5-Conclusion.....	149

## **Chapitre5: Simulation.**

<b>5-1-Introduction</b> .....	150
5-2-Analyse climatique de la ville de Constantine.....	152
5-3-Présentation de l'aire d'études.....	157
5-3-1-Présentation de l'axe d'études.....	163
5-4-Critères du choix.....	164
5-5-Simulation.....	165
5-5-1-Présentation du logiciel Envi-met.....	165
5-5-2-Simulation de l'axe étudié.....	171
5-5-3-Résultats obtenus et interprétation.....	173
5-5-3-1- La température de surface.....	176
5-5-3-2-La température de l'air.....	183
5-5-3-3-La température moyenne radiante (MRT).....	190
5-5-3-4-La PET (la température physiologique équivalente).....	195
<b>5-6-Conclusion</b> .....	200

## **Conclusion générale et recommandations:**

1-Introduction.....	202
2-Recommandations.....	205
3-Axes de recherches futurs.....	205

<b>Bibliographie</b> .....	207
<b>Annexes</b> .....	217
<b>Résumés</b> .....	226

## LISTE DES FIGURES

Numéro de la figure	Titre	Page
<b>CHAPITRE 1</b>		
Figure 1-1	Profil d'îlot thermique urbain	12
Figure 1-2	L'îlot de chaleur de New York	13
Figure 1-3	Coupe en travers d'un îlot de chaleur urbain et ses relations avec les paramètres de surface	14
Figure 1-4	Rue d'Osaka (Japon)	17
Figure 1-5	Rue animée de Damas (Syrie)	17
Figure 1-6	Rue piétonne du Caire (Egypte)	18
Figure 1-7	Rue principale d'Aberdeen (Ecosse)	19
Figure 1-8	Rue grecque, Chios, Ile grecque, Athènes, Grèce	20
Figure 1-9	Tracé des rues de la ville de Timgad	21
Figure 1-10	Pavage des voies romaines	22
Figure 1-11	La grande rue de Djemila en Algérie	23
Figure 1-12	Rue de Sighisoara (Roumanie) datant de la période médiévale	25
Figure 1-13	Carte postale, fin 19 <sup>ème</sup> siècle-début 20 <sup>ème</sup> siècle. Rue Auguste Gervais	27
Figure 1-14	Carte postale, début 20 <sup>ème</sup> siècle, la partie haute de la rue, au niveau de la rue Emile Zola	27
Figure 1-15	Hauteur, largeur et longueur d'un canyon	29
Figure 1-16	Forme dégagée de la rue	30
Figure 1-17	Photo fish-eye pour un espace dégagé	30
Figure 1-18	Forme dièdre de la rue	31
Figure 1-19	Photo fish-eye pour un espace dièdre	31
Figure 1-20	Forme de canyon urbain	31
Figure 1-21	Photo fish-eye pour un canyon urbain	31
Figure 1-22	Canyon naturel	32
Figure 1-23	Canyon à Marseille	32
Figure 1-24	Profil moyen de la vitesse horizontale du vent dominant en site homogène et en site urbain	34
Figure 1-25	Allure de la structure de l'écoulement autour de cubes dans un flux turbulent	34
Figure 1-26	Régime dit à rugosité isolée	35
Figure 1-27	Régime dit à interférence de sillage	35
Figure 1-28	Régime dit rasant	36
Figure 1-29	Régimes d'écoulement du vent, influence de la géométrie du canyon (H/W) et du bâtiment (L/W) sur l'écoulement	36
Figure 1-30	Balance énergétique terrestre	37
Figure 1-31	Illustration de l'effet de piège ou "inter réflexion" dans un canyon urbain	38
<b>CHAPITRE 2</b>		
Figure 2-1	Le soleil	44
Figure 2-2	Le soleil vu de la surface de la terre au travers d'un objectif	45

Figure 2-3	Décomposition de la lumière blanche à l'aide d'un prisme	47
Figure 2-4	Répartition des rayons solaires en fonction des longueurs d'ondes	47
Figure 2-5	Vue d'ensemble des ondes électromagnétiques	48
Figure 2-6	Image infrarouge de longueur d'onde moyenne d'un petit chien en fausse couleur	49
Figure 2-7	Illustration d'un tube à ultraviolets	49
Figure 2-8	Flux solaire et albédo	52
Figure 2-9	Les surfaces colorées en clair ont des albédos plus hauts que celles colorées en foncé	53
Figure 2-10	Valeurs type d'albédo de surface en milieu urbain	54
Figure 2-11	Représentation du rayonnement solaire diffus	56
Figure 2-12	Densité spectrale de "l'éclairement énergétique" du rayonnement solaire direct	57
Figure 2-13	Une représentation schématique illustrant la relation entre les gaz à effet de serre et la température moyenne annuelle de la terre	60
Figure 2-14	Le bilan radiatif de l'atmosphère	61
Figure 2-15	Les échanges énergétiques moyens entre la surface terrestre, l'atmosphère et l'espace	62
Figure 2-16	Les échanges énergétiques moyens selon les longueurs d'ondes	63
Figure 2-17	Bilan radiatif au dessus d'une ville	64
Figure 2-18	Eléments du bilan thermique en milieu urbain	66
Figure 2-19	Eléments du bilan thermique d'une surface non urbaine	67
Figure 2-20	Echanges radiatifs en ville et à la campagne	67
Figure 2-21	Bilan d'énergie au dessus d'une ville	68
Figure 2-22	Le bilan d'énergie de la canopée urbaine	70
Figure 2-23	Photographie de quelques instruments installés sur l'échafaudage	71
Figure 2-24	Albédos apparents calculés à plusieurs niveaux (5.7, 11.7, 15.7m et au sommet) dans le canyon pour une journée ensoleillée	72
Figure 2-25	Rayonnement solaire global mesuré au centre de canyon par un albédomètre orienté verticalement pour une journée ensoleillée quand les capteurs sont tournés vers la face Est Sud-Est	73
Figure 2-26	Rayonnement solaire global mesuré au centre du canyon par un albédomètre orienté verticalement pour une journée ensoleillée quand les capteurs sont tournés vers la face Ouest Nord-Ouest	74
Figure 2-27	Rayonnement infrarouge descendant (IN) et ascendant (OUT) mesuré à 3 niveaux (5.7, 11.7, et sommet) dans le canyon pour une journée ensoleillée	75
Figure 2-28	Evolution des températures dans le canyon pour une journée ensoleillée. La température de l'air, la température de surface des deux façades du canyon et de la rue	75
Figure 2-29	Bilan horizontal du rayonnement infrarouge pour une journée ensoleillée à 3 niveaux dans le canyon	76

Figure 2-30	Bilan radiatif à l'horizontale et ses composantes pour la journée ensoleillée à 3 niveaux dans le canyon. Le bilan radiatif s'obtient en additionnant le global à l'IR descendant et en retranchant le solaire réfléchi et l'IR ascendant.	77
Figure 2-31	Comparaison du bilan radiatif mesuré (RN bilan-mètre) et reconstitué à partir des composantes du rayonnement (RN 4 composantes)	78
Figure 2-32	Le bilan d'énergie diurne d'un canyon urbain orienté N-S avec $H/W \approx 1$ pour une journée ensoleillée d'été à Vancouver, 49°N	80
<b>CHAPITRE 3</b>		
Figure 3-1	Classification des valeurs du PMV selon neuf échelles de confort	84
Figure 3-2	La température moyenne radiante ( $T_{mrt}$ ) et la température physiologique équivalente (PET) en trois structures urbaines à Munich et dans un espace de troncs tout près de la forêt des hauts sapins pendant une journée chaude d'été	87
Figure 3-3	Comparaison saisonnière entre l'indice neutre et l'indice préférentiel de température entre l'intérieur et l'extérieur en été et en hiver	88
Figure 3-4	La température moyenne radiante $T_{mrt}$ (A) et la température physiologique équivalente PET (B) calculées par RayMan dans six sites de mesure le 06 août 2003	91
Figure 3-5	La température de l'air ( $T_a$ ), la température moyenne radiante ( $T_{mrt}$ ) et la température physiologique équivalente (PET) avec le degré du stress physiologique dans les points NE-wswot et NE-wswt le 06 août 2003	92
Figure 3-6	Monogramme du vote de sensation effective (ASV) pour quelques paramètres météorologiques	95
Figure 3-7	Les sensations thermiques mesurées et celles simulées sous différentes conditions d'exposition	96
Figure 3-8	Vote de confort pour des sujets au soleil et d'autres à l'ombre avec la mesure de la radiation solaire	98
Figure 3-9	La relation entre la sensation thermique et la température de l'air pour des sujets exposés au soleil et d'autres à l'ombre	99
Figure 3-10	La moyenne des réponses thermiques à différents emplacements en fonction de la température de l'air	100
Figure 3-11	(a) modèle du toit en béton, (b) modèle du toit végétal, (c) modèle du toit bassin et (d) modèle du ciel végétal (pergola)	103
Figure 3-12	Température de l'air 1m au dessus du toit pour le toit plat de béton [con], toit de béton à enduit blanc [wh-con], toit à enduit blanc d'albédo moindre de 25% [old-wh-con], toit végétal [gr-r], toit bassin [water] et le pergola [gr sky], pour Athènes.	104
Figure 3-13	Température de surface du toit pour le toit plat de béton [con], toit de béton à enduit blanc [wh-con], toit à enduit blanc d'albédo moindre de 25% [old-wh-con], toit végétal	105

	[gr-r], toit bassin [water] et le pergola [gr sky], pour Athènes.	
Figure 3-14	Température physiologique équivalente (PET) pour un homme debout sur le toit plat de béton [con], toit de béton à enduit blanc [wh-con], toit à enduit blanc d'albédo moindre de 25% [old-wh-con], toit végétal [gr-r], toit bassin [water] et le pergola [gr sky], pour Athènes.	105
Figure 3-15	Schéma sur l'utilisation de plusieurs techniques tel que l'ombrage, les pergolas, la verdure, les matériaux frais pour modérer le microclimat	106
Figure 3-16	Un exemple concret et une application importante sont le village olympique d'Athènes en 2004	106
Figure 3-17	Variation de la PET dans un canyon urbain orienté: (a) NE-SO et (b) NO-SE, avec un rapport d'aspect H/W=2	108
<b>CHAPITRE 4</b>		
Figure 4-1	Distribution des températures de surface entre 9.00 et 18.00h du 07 août, entre les matériaux de tuiles sélectionnées	113
Figure 4-2	Image visible et infrarouge des matériaux de construction sélectionnés	114
Figure 4-3	Définition des matériaux frais et chauds	114
Figure 4-4	Réflectivité des nouvelles peintures fraîches au spectre solaire	121
Figure 4-5	Comparaison entre la réflectivité des matériaux standard et celles des matériaux frais	122
Figure 4-6	Courbe de réflexion pour les céramiques rouges	125
Figure 4-7	Dix ans continus moyens de hautes températures dans le centre de Los Angeles, CA (1882-1984)	127
Figure 4-8	Exposition de trois toits peints sur différentes sous-couches. Les années de collection de la saleté sont soit les années depuis que les toits étaient peints, soit depuis le dernier lavage approfondi (les toits sont plats)	128
Figure 4-9	Relation entre la température de surface et le SVF	132
Figure 4-10	La variation des températures de l'air à l'intérieur du canyon avec l'utilisation d'une multitude de matériaux pour les façades	136
Figure 4-11	Les vecteurs de vitesse au centre du canyon pour l'aluminium noir (H/W=0.4, Vvent = 4m/s)	137
Figure 4-12	Les vecteurs de vitesse au centre du canyon pour l'aluminium blanc (H/W=0.4, Vvent =4m/s)	137
Figure 4-13	Les vecteurs de vitesse au centre du canyon pour l'aluminium noir (H/W=0.4, Vvent = 0.1m/s)	138
Figure 4-14	Les vecteurs de vitesse au centre du canyon pour l'aluminium blanc (H/W=0.4, Vvent = 0.1m/s)	138
Figure 4-15	Le cours journalier de l'albédo efficace en hiver et au printemps à Lotz pour une surface plate (a), canyon H/W=1, WR=0.5, orientation NS (b), canyon H/W=1, WR =0.5W, orientation, WE (c)	139

Figure 4-16	Schéma du canyon et d'instrumentation. Les positions des instruments sont marquées W, C, E, ou R correspondant à l'ouest, le centre, l'est et le toit respectivement	140
Figure 4-17	Températures de surface et de l'air dans le canyon (a) été, (b) printemps et automne, (c) hiver. La ligne marque le sommet du canyon	141
Figure 4-18	La mesure des températures des trottoirs avec divers albédos	142
Figure 4-19	La réflectivité des prototypes choisis selon la longueur d'onde	143
Figure 4-20	La banque de Crocker, la banque de Deutsche et la réflexion de la banque Deutsche sur le bâtiment voisin.	147
<b>CHAPITRE 5</b>		
Figure 5-1	Situation géographique de la ville de Constantine	152
Figure 5-2	Interprétation des données météorologiques de la ville de Constantine. Période 1996-2005	155
Figure 5-3	Matrice des isothermes par mois et en heures	156
Figure 5-4	Zone de surchauffe reportée sur le diagramme solaire	157
Figure 5-5	Situation géographique du site du Coudiat	158
Figure 5-6	Indication des deux coupes AA et BB sur le plan masse du site	158
Figure 5-7	Coupe AA	159
Figure 5-8	Coupe BB	159
Figure 5-9	Trajectoire solaire et direction des vents affectant le site	159
Figure 5-10	Matériaux de construction existants dans le site étudié	162
Figure 5-11	Situation de l'axe d'étude par rapport au site étudié	163
Figure 5-12	Situation des différentes stations sur l'axe d'étude	164
Figure 5-13	Schéma du programme Envi-met v3	167
Figure 5-14	Schéma du programme Envi-met v3. (architecture du modèle)	168
Figure 5-15	Fichier éditeur d'une espace urbain	169
Figure 5-16	Exemple d'un fichier de configuration	170
Figure 5-17	Lecture des résultats par Leonardo	170
Figure 5-18	Dessin de l'axe étudié avec l'indication des différentes stations	171
Figure 5-19	Dessin EN 3D de l'axe étudié	172
Figure 5-20	Photo fish-eye de la station A située sur l'axe NE-SO	174
Figure 5-21	Plan et coupe de la station A	174
Figure 5-22	Photo fish-eye de la station B située sur l'axe NE-SO	175
Figure 5-23	Plan et coupe de la station B	175
Figure 5-24	Photo fish-eye de la station C située sur l'axe NE-SO	176
Figure 5-25	Plan et coupe de la station C	176
Figure 5-26	Température de surface pour un albédo de 0.2 à 02.00h du matin	177
Figure 5-27	Température de surface pour un albédo de 0.2 à 04.00h du matin	177
Figure 5-28	Température de surface pour un albédo de 0.2 à 10.00h du matin	178

Figure 5-29	Température de surface pour un albédo de 0.2 à 14.00h	178
Figure 5-30	Température de surface pour un albédo de 0.2 à 18.00h	179
Figure 5-31	Température de surface pour un albédo de 0.2 à 20.00h	179
Figure 5-32	Température de surface pour un albédo de 0.2 à 00.00h	180
Figure 5-33	Température de surface pour différentes valeurs d'albédo pour une journée d'été. Station A	180
Figure 5-34	Température de surface pour différentes valeurs d'albédo pour une journée d'été. Station B	182
Figure 5-35	Température de surface pour différentes valeurs d'albédo pour une journée d'été. Station C	183
Figure 5-36	Température de l'air pour un albédo de 0.2 à 02.00h du matin	184
Figure 5-37	Température de l'air pour un albédo de 0.2 à 12.00h	184
Figure 5-38	Température de l'air pour un albédo de 0.2 à 18.00h	185
Figure 5-39	Graphe des résultats bi-horaires de la température de l'air pour une journée d'été. Station A	185
Figure 5-40	Graphe des résultats bi-horaires de la température de l'air pour une journée d'été. Station B	186
Figure 5-41	Graphe des résultats bi-horaires de la température de l'air pour une journée d'été. Station C	187
Figure 5-42	Graphe de la température de l'air pour une journée d'été pour les trois stations ainsi que la station météo pour la valeur d'albédo de 0.2 et de 1.	188
Figure 5-43	Température moyenne radiante pour un albédo de 0.2 à 06.00h du matin	191
Figure 5-44	Température moyenne radiante pour un albédo de 0.2 à 14.00h	191
Figure 5-45	Température moyenne radiante pour un albédo de 0.2 à 20.00h	192
Figure 5-46	Graphe des résultats bi-horaires de la température moyenne radiante pour une journée d'été. Station A	192
Figure 5-47	Graphe des résultats bi-horaires de la température moyenne radiante pour une journée d'été. Station B	193
Figure 5-48	Graphe des résultats bi-horaires de la température moyenne radiante pour une journée d'été. Station C	194
Figure 5-49	Graphe de la température physiologique équivalente (PET) pour une journée d'été. Station A	195
Figure 5-50	Graphe de la température physiologique équivalente (PET) pour une journée d'été. Station B	196
Figure 5-51	Graphe de la température physiologique équivalente (PET) pour une journée d'été. Station C	197
Figure 5-52	Comparaison entre les paramètres du microclimat et celui du confort thermique extérieur pour une journée d'été pour la valeur d'albédo de 0.2	198
Figure 5-53	Comparaison entre les paramètres du microclimat et celui du confort thermique extérieur pour une journée d'été pour la valeur d'albédo de 1	199

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Numéro du tableau</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>CHAPITRE 2</b>		
Tableau 2-1	Classement des radiations électromagnétiques selon leur longueur d'onde	48
Tableau 2-2	Réflectivité ou "albédo" pour différentes surfaces	54
Tableau 2-3	Valeurs d'albédo de différentes surfaces	59
<b>CHAPITRE 3</b>		
Tableau 3-1	Classification des valeurs du PMV selon les sept échelles de confort de ASHRAE	84
Tableau 3-2	Comparaison des intervalles du PMV et PET pour des sensations humaines différentes et le niveau de stress thermique par les êtres humains (production de la chaleur interne:80w, résistance de transfert de chaleur des vêtements: 0.9clo)	90
Tableau 3-3	La sensation de confort humain en relation avec la valeur du bilan	102
<b>CHAPITRE 4</b>		
Tableau 4-1	Classification des matériaux en trois catégories en fonction de leur albédo	124
Tableau 4-2	Quelques albédos (%) associés au spectre visible	144
<b>CHAPITRE 5</b>		
Tableau 5-1	Tableau récapitulatif des matériaux utilisés dans le site avec leurs albédos et émissivité correspondants	161
Tableau 5-2	Les différents paramètres introduits à l'axe simulé	173

## NOMENCLATURE

### Lettres romaines:

H	: Hauteur de la rue
W	: Largeur de la rue
IR	: Infrarouge
UV	: Ultraviolet
R	: Bilan radiatif d'un milieu urbain
$I_I \uparrow$	: Le rayonnement de grande longueur d'onde émis par la ville
$I_I \downarrow$	: Le rayonnement de grande longueur d'onde absorbé par la ville
D	: le rayonnement solaire diffus
I	: le rayonnement solaire direct
h	: la hauteur du soleil
R <sub>n</sub>	: rayonnement net, qui correspond à l'énergie radiative absorbée par la surface, qui est représenté dans la littérature anglaise par $Q^*$
R <sub>G</sub>	: rayonnement global correspondant à la somme des rayonnements direct et diffus incident en courte longueur d'onde (rayonnement visible et proche infrarouge)
R <sub>A</sub>	: rayonnement atmosphérique propre qui s'effectue dans les grandes longueurs d'onde (infrarouge)
R <sub>T</sub>	: rayonnement terrestre, qui correspond à l'émission par la surface, en grande longueur d'onde (domaine infrarouge)
F	: énergie anthropique, dans la littérature anglaise, il correspond à $Q_F$
H	: flux de chaleur sensible, dans la littérature anglaise, il correspond à $Q_H$
LE	: flux de chaleur latente, dans la littérature anglaise, il correspond à $Q_E$
G	: flux de chaleur dans le sol et les bâtiments, dans la littérature anglaise, il correspond à $\Delta Q_S$
$\Delta Q_A$	: Flux net d'advection de chaleur

### Lettres grecques:

$a$	: albédo, qui caractérise la part du rayonnement solaire réfléchi par une surface
$\lambda$	: longueur d'onde
$\varepsilon$	: émissivité
$\Omega$	: angle solide

### Compositions chimiques:

GES	: Gaz à effet de serre
H <sub>2</sub> O	: Vapeur d'eau
CO <sub>2</sub>	: Dioxyde de carbone
CH <sub>4</sub>	: Méthane
NO <sub>2</sub>	: Dioxyde de Nitrogène
O <sub>3</sub>	: Ozone

## **Abréviations:**

SVF	: (Sky view factor), facteur d'ouverture au ciel
ICU	: Ilot de Chaleur Urbain
CLU	: Couche Limite Urbaine
CTTC	: Cluster Thermal Time Constant
CIMO	: Commission des instruments et des méthodes d'observation
OMM	: Organisation météorologique mondiale
PMV	: (Predicted mean vote), vote moyen prévisible
MRT	: (mean radiant temperature), température moyenne radiante
PET	: (physiological equivalent temperature), température physiologique équivalente
RUROS	: Rediscovering the urban realm and open spaces
ASHRAE	: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
CFD	: Computational fluid dynamics
CBD	: Central business district
ASV	: (Actual Sensation Vote), vote de sensation effective
PLEA	: Passive and Low Energy Architecture

## CHAPITRE INTRODUCTIF:

*Problématique, hypothèses.....*

*Objectifs et méthodologie.*



## **1-Introduction :**

La ville peut être considérée comme la projection de la société sur l'espace. Elle désigne un groupement de population et de constructions dont la vie s'articule autour d'une même organisation économique et socioculturelle<sup>1</sup>. Elle est considéré comme étant une combinaison d'espaces construits (bâtiments) et d'espaces non construits (espaces extérieurs urbains).

Les espaces extérieurs urbains sont des espaces ayant des fonctions propres et fondamentales qui conditionnent fréquemment les espaces bâtis, leur organisation, parfois leur forme, leur texture, leur relief, ainsi que leur caractère. Eléments essentiels du paysage urbain, ils constituent des espaces à vivre, à percevoir la ville<sup>2</sup>.

La rue, espace public et élément urbain joue un rôle essentiel dans la qualification de l'espace urbain, c'est là où se déroule la vie quotidienne des citoyens<sup>3</sup>. Cet espace qui a marqué les cités à travers l'histoire, a été rejeté par la charte d'Athènes, élaborée par les CIAM (Congrès Internationaux d'Architecture Moderne), qui considéraient que les quatre fonctions « habiter, travailler, se récréer et circuler) sont les clefs de l'urbanisme. La rue qui était un élément structurant de la ville depuis l'antiquité a été refusée et condamnée au nom de la séparation des circulations et de la ségrégation des activités. L'espace public devient alors sans direction, ni limites, vague et inconsistant. Reconstruire la ville à partir des espaces extérieurs urbains fut un remède à cette situation, il s'agit alors de faire de l'espace urbain l'élément générateur des formes bâties<sup>4</sup>.

---

<sup>1</sup>**MILOUS.Ibtissem**, « *la ville et le développement durable identification et définition des indicateurs de la durabilité d'une ville –cas de Constantine-*» thèse de magister, Université Mentouri, Constantine 2006, p15.

<sup>2</sup>**TEBBANI.Habiba**, « *Impact de la végétation sur le microclimat et le confort thermique des espaces urbains publics- cas du cours de la révolution d'Annaba-* » mémoire de magister, université Mentouri Constantine, 2006, p1.

<sup>3</sup>**BENSAAD.Nadia**, « *La rue, formes urbaines et pratiques sociales.Cas de la rue Belouizdad-Boudjriou à Constantine* », thèse de magister, université Mentouri, Constantine2001, p17.

<sup>4</sup>**MASMOUDI.Soraya**, « *Relation entre géométrie urbaine, végétation et confort thermique extérieur -cas de la place dans les régions arides à climat chaud et sec-*» thèse de magister, université Mohamed kheidar Biskra, 2003, P1.

La rue, comme tout espace extérieur génère des ambiances thermiques à partir des conditions climatiques ; Dans les régions arides et semi-arides, surtout dans les tissus récents là où les constructions sont espacées et les espaces urbains très ouverts et très exposés au soleil, il s'avère que la rue fait partie des éléments les plus touchés par la dégradation du degré de confort ; contrairement au tissu traditionnel, où la ville a pu fournir des espaces adaptés climatiquement aux usagers, avec des constructions lourdes et rapprochées et des rues étroites et tortueuses, ce qui minimise les surfaces exposées au soleil et offre ombre et fraîcheur.

De multitudes recherches au cours des deux dernières décennies, ont toutes affirmé que la densité des formes urbaines offre les meilleures conditions d'environnement ; d'après Bourbia.F (1999), il a été démontré que le prospect de la rue dans le tissu traditionnel de la ville d'El Oued en Algérie, offrait un climat plus agréable que le tissu contemporain<sup>5</sup>.

Après plusieurs recherches visant à améliorer le confort intérieur des habitations suite à la crise énergétique de 1970, l'intérêt s'est déplacé de nos jours vers les espaces extérieurs qui sont sujets aux mêmes phénomènes et dont l'objectif majeur est d'offrir des espaces confortables pour les piétons et pourquoi pas réguler l'intérieur par l'extérieur.

Donc, l'objectif est de comprendre comment la conception de l'espace extérieur urbain notamment « la rue » peut affecter le climat urbain et par conséquent le confort des individus.

---

<sup>5</sup> **BOURBIA.Fatiha, in ABDOU.S,** « *Investigation sur l'intégration climatique de l'habitat traditionnel en région aride et semi aride d'Algérie* », thèse de doctorat, université Mentouri Constantine, 2003-2004, p13.

## **2-Problématique :**

Pour assurer un environnement agréable au niveau d'une ville, il faut prendre en considération le climat ; car d'une façon générale, le temps qu'il fait en un lieu à un certain moment dépend d'un grand nombre de facteurs, dont les principaux sont la température et l'état hygrométrique de l'air, le vent au voisinage du sol et à différents niveaux de l'atmosphère, la nébulosité et l'ensoleillement, l'intensité de l'insolation, la stabilité ou l'instabilité de l'atmosphère, les précipitations ou l'absence de précipitations<sup>6</sup>.

Dans une rue, qui est considérée comme un espace de sociabilité et de rencontre, le degré de fréquentation et la quantité des activités abritées dépendent essentiellement du microclimat généré ainsi que les conditions du confort existantes.

Ainsi, l'amélioration du confort des rues dépend d'une bonne prévision de l'interaction entre les paramètres climatiques du mésoclimat et les éléments physiques qui la constituent, c'est pourquoi l'ouverture de nouvelles possibilités au développement d'espaces urbains se fait par la compréhension de la richesse des caractéristiques microclimatiques de ces espaces extérieurs en milieu urbain ainsi que les implications en terme de confort des usagers.

Les éléments du climat suscités peuvent être modérés en fonction des éléments artificiels tel que **les matériaux utilisés , la couleur, La texture**, la géométrie ainsi que les éléments naturels tel que la végétation et les surfaces d'eau.

La croissance urbaine est un modificateur des conditions climatiques propre à une région donnée. Plusieurs facteurs tels que l'extension des immeubles d'habitation, l'accroissement notable du nombre de voitures, les gaz d'échappement, les lumières des rues, les systèmes de chauffages, **l'imperméabilisation des espaces**, sont tous à l'origine des modifications climatiques locales.

En effet, **la minéralisation des espaces urbains** et la réduction des espaces verts qui furent remplacés par des chaussées, des toits et des façades dont les matériaux absorbent la chaleur et augmentent les rejets en grande longueur d'onde, provoquent le réchauffement de ces espaces.

---

<sup>6</sup> **VAILLANT.J.R.**, «Utilisations et promesses de l'énergie solaire », éd.Eyrolles, 1978, p431.

Par ailleurs, la température de l'air dans les secteurs urbains denses est sensiblement plus élevée qu'aux alentours. Le phénomène est connu sous le nom d' « **îlot de chaleur urbain** »,

Il peut être défini comme une « oasis à l'envers », c'est-à-dire que la ville est plus chaude que la campagne environnante et cela est dû au manque d'arbres et de végétation, et à l'utilisation **de surfaces peu réfléchissantes** pour les toits et les trottoirs qui absorbent et stockent l'énergie solaire.

La rue désignée par le terme "canyon" qui se définit par une simple description géométrique dépendant de sa hauteur et de sa largeur, contribue fortement à la formation de ce phénomène, qui est critique en période estivale et constitue la manifestation climatique la plus évidente de l'urbanisation.

L'îlot de chaleur urbain a des conséquences directes et indirectes sur la consommation énergétique, dont la fraction principale provient des bâtiments. En effet l'évolution des exigences de confort dans les bâtiments a conduit au développement de la climatisation qui participe aussi à l'augmentation du pic de puissance d'appel aux heures les plus chaudes de la journée. De plus le réchauffement des zones urbaines est amplifié de par l'énergie calorifique rejetée par ces systèmes de climatisation des bâtiments, de par **la diminution de la réflectivité des surfaces urbaines** et de par la disparition de la végétation<sup>7</sup>.

Les principales différences entre les conditions climatiques urbaines et rurales concernant le confort des habitants sont les différences entre les températures d'air et les vitesses de vent dans les rues. Ces différences sont provoquées par la modification de l'équilibre radiatif, un échange de chaleur par convection avec la terre et les bâtiments plus faible, l'air s'écoulant au dessus du secteur urbain sans le rafraîchir, et la production de chaleur de la ville. La répartition des températures dans ces zones est également fortement affectée par l'équilibre radiatif. Le rayonnement solaire incident sur les surfaces est absorbé puis transformé en chaleur au lieu d'être réfléchi.

---

<sup>7</sup> BOZONNET.E, BELARBI.R, FRANCIS.A, « *Impact du micro climat sur les bâtiments : circulation d'air et évaluation du rayonnement solaire à l'échelle d'une rue* », p2.

De ce fait, le choix du **matériau de construction** constitue un paramètre très important du confort aussi bien pour l'espace intérieur que pour l'espace extérieur.

Le rayonnement solaire reçu par un sol horizontal représente deux fois et demi le rayonnement solaire reçu par un mur vertical sud en été.

Pour les parois verticales, le rayonnement dépend de l'orientation, mais également du coefficient de réflexion de l'environnement, connu sous le nom **d'albédo**<sup>8</sup>.

L'albédo, nom extrait du latin **albus** (blanc) a été donné à la fraction de l'énergie du rayonnement solaire incident qui est renvoyée par réflexion et diffusion<sup>9</sup>.

En effet, l'énergie solaire **réfléchie** a des implications thermiques sur l'enveloppe du bâtiment et sur l'enveloppe thermique extérieure.

**La nature des matériaux** qui couvrent l'enveloppe extérieure des bâtiments et leur propriété de **réflectivité** doivent être considérés surtout en climat chaud, car elle a une influence directe sur l'augmentation de la température moyenne radiante et donc sur le confort extérieur.

Que signifie alors le terme "canyon"?, et que veut dire "albédo"?

En étudiant l'albédo utilisé dans le canyon urbain, est-ce que ces deux paramètres ensemble peuvent-ils affecter le microclimat généré?

---

<sup>8</sup> **MASMOUDI.Soraya**, «Relation entre géométrie urbaine, végétation et confort thermique extérieur -cas de la place dans les régions arides à climat chaud et sec- thèse de magister », Université Mohamed kheidar Biskra, 2003, p70.

<sup>9</sup> **VAILLANT.J. R** , « Utilisations et promesses de l'énergie solaire »,Ed.Eyrolles ,1978, p39.

### **3-Hypothèses :**

La température de l'air est un paramètre climatique déterminant qui affecte sensiblement le confort thermique extérieur. Toutefois, elle est directement affectée par le mouvement de l'air ainsi que par l'irradiation solaire manifestée sous forme de la température moyenne radiante.

En effet, la distribution des températures dans la canopée urbaine est affectée par le bilan radiatif. Le rayonnement solaire incident atteint principalement les toitures, les murs verticaux et seule une faible part atteint le sol lorsqu'il s'agit d'un canyon étroit. Ces diverses surfaces émettent des rayonnements de grande longueur d'onde dont une partie importante est interceptée par les autres bâtiments, ce qui a pour effet de diminuer globalement les pertes radiatives.<sup>10</sup>

Toutefois, l'accumulation de chaleur et l'inertie thermique des constructions et revêtement de voirie influent sur les conditions climatiques, le rayonnement solaire est diversement reçu et absorbé par les diverses surfaces de la ville, qui varient en fonction de leur nature d'où l'impact **de la couleur et la rugosité**.

Comment peut-on jouer sur la couche minérale qui couvre l'enveloppe de la ville, et particulièrement **les matériaux de revêtement des façades et chaussées**, pour minimiser la température au niveau des rues (canyon), donc satisfaire le confort des individus en offrant une ambiance extérieure souhaitée qui influencera même sur le confort intérieur?

Quels sont les matériaux les plus adéquats pour une architecture bioclimatique, qui assureront une durabilité de la ville, et donneront une qualité de vie meilleure à ses occupants, en leur offrant le confort, notamment au niveau des rues ?

Nos hypothèses sont les suivantes :

---

<sup>10</sup> **TAREB**, « *Energie de l'environnement urbain – Architecture basse énergie* » chapitre 4, p6.

- **La nature des matériaux** utilisés en milieu urbain à savoir **la couleur et la rugosité**, participe à augmenter ou à diminuer les températures de surface et de l'air.
- Les matériaux de couleur claire réfléchissante gardent les surfaces urbaines fraîches, et donc offrir une ambiance extérieure confortable.
- Avec une basse vitesse de vent, dans un canyon urbain, la température de l'air est en relation avec **la réflectivité des matériaux**<sup>11</sup>.

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

Notre objectif est d'évaluer l'impact de la minéralisation de la ville par l'utilisation de surfaces qui absorbent la chaleur (faible réflectivité) sur la modification du microclimat et sur le confort thermique extérieur.

Nous visons spécifiquement la réflectivité des surfaces des façades des murs et de la chaussée, et leur impact sur l'augmentation ou la diminution de la température de surface qui se répercute directement sur la température de l'air et par conséquent sur l'ambiance thermique extérieure qui règne dans le milieu urbain.

L'objectif donc est de démontrer quels sont les matériaux de surfaces caractérisés par leur texture (couleur et rugosité) qui sont susceptibles par un choix judicieux d'offrir une ambiance thermique confortable, dans un climat semi aride comme celui de la ville de Constantine, notre cas d'étude, et spécialement dans un espace extérieur urbain qui est le canyon.

La présente recherche s'articule alors sur l'effet de la réflectivité des matériaux (albédo) sur les paramètres climatiques, pour pouvoir évaluer son influence sur la modification du microclimat dans le centre urbain d'une part, et sur les paramètres du confort thermique pour pouvoir évaluer son impact sur le confort thermique de l'individu d'autre part, en donnant des solutions et des recommandations qui permettront aux concepteurs et réalisateurs de les appliquer pour améliorer le microclimat et assurer le confort thermique extérieur.

---

<sup>11</sup> **PRIYADARSINLR, WONG.N.H.**, "Building surfaces and their effect on the urban thermal environment" Architectural science review, vol.48, N°.4, 2005, pp345-356.

### **5-Méthodes et outils :**

Notre recherche s'organisera donc, sur deux parties distinctes:

La première est théorique, c'est une synthèse de connaissances issues d'une analyse bibliographique, c'est le fait de s'imbiber des théories émergentes, afin de mieux comprendre les éléments de base qui ont un rapport avec le sujet, et qui permettront de guider la recherche vers les objectifs visés.

La deuxième partie est pratique, elle consistera en le choix d'échantillon ou d'exemple de tissu urbain représentatif, pour effectuer une simulation numérique basée sur un outil informatique, à l'aide d'un logiciel choisi qui est "**Envi-Met v3.0**" pour pouvoir évaluer le microclimat d'une part, et le programme "**PET\_neu**" pour l'estimation du confort thermique au niveau des espaces extérieurs d'autre part, par le choix de certains matériaux.

### **6-Structure de la thèse :**

Le plan de la présente recherche est structuré en 5 chapitres. Afin d'aboutir aux objectifs visés et vérifier les hypothèses précitées, nous suivons une démarche qui se constitue de deux parties principales:

#### **a- L'approche thématique:**

Elle est appuyée sur une recherche bibliographique relative au thème étudié, en essayant de mettre au clair plusieurs concepts et mots clé de la recherche, elle comporte le chapitre introductif qui traite notre problématique ainsi que les hypothèses et les objectifs et les quatre premiers chapitres.

Le chapitre 1: c'est le support théorique, où nous donnons une claire définition du concept "rue", ainsi qu'un aperçu sur son évolution à travers l'histoire, puis nous décrivons les différents paramètres qui déterminent la géométrie de la rue pour aboutir à la définition du "canyon" et enfin, l'étude du microclimat à l'intérieur du canyon urbain.

Le chapitre 2: Dans lequel il sera question de présenter la définition de plusieurs concepts utilisés tels que: le soleil, le rayonnement solaire, l'infrarouge, l'ultraviolet, l'albédo...etc, en prenant soin de décrire et d'analyser les différents bilans radiatifs et d'énergie, en procédant par hiérarchisation, de l'atmosphère, passant par la ville et jusqu'à arriver au canyon urbain.

Le chapitre 3: il a été en premier lieu question de mettre au claire la notion du confort en général et le confort thermique extérieur en particulier, puis de faire une récapitulation sur quelques études basées sur des investigations sur sites et des simulations en utilisant des logiciels à base de programmes numériques, pour pouvoir évaluer le degré de confort qui règne dans différents espaces urbains notamment le canyon, et son impact sur la fréquentation de ces espaces.

Le chapitre 4: dans ce chapitre il est question de faire une littérature review, afin d'analyser et de récapituler une multitude de recherches récentes, qui traitent la réflectivité des matériaux et son influence sur le microclimat urbain et sur le confort thermique extérieur, et qui aient recours généralement à des programmes numériques de simulation, en passant des espaces extérieurs en général, vers l'effet au niveau des toits pour arriver à la fin à l'impact de l'albédo au niveau de la rue.

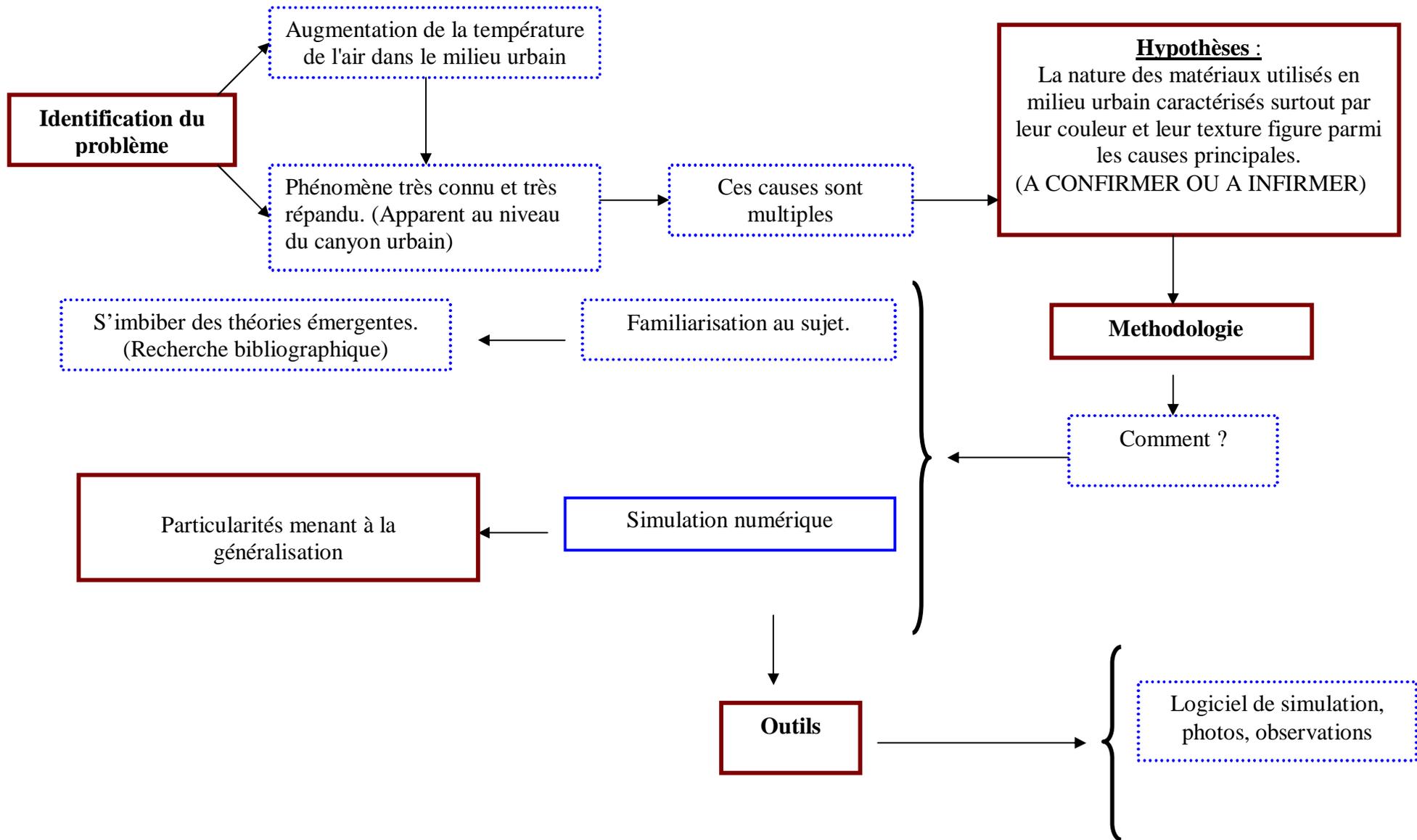
#### **b- L'approche pratique:**

Elle consiste en une analyse du site choisi, en l'étudiant du point de vue morphologique, climatique, ...etc, elle comporte le dernier chapitre (chapitre 5).

Le chapitre 5: après un bref aperçu sur le climat de la ville de Constantine, il est question d'analyser le site étudié de divers points de vue notamment celui climatique, puis le passage à la simulation avec l'exploitation du logiciel "Envi-met V3.0", et le programme "PET\_neu" pour simuler les paramètres climatiques et donner les résultats de différents indices, qui évaluent les paramètres du microclimat et du confort thermique dans notre aire d'étude qui est le canyon urbain, dans le site du Coudiat.

Et enfin, la conclusion générale qui décrit en détail les résultats obtenus, et faire des recommandations propre à la problématique posée, ainsi qu'une proposition pour les axes futurs de la recherche.

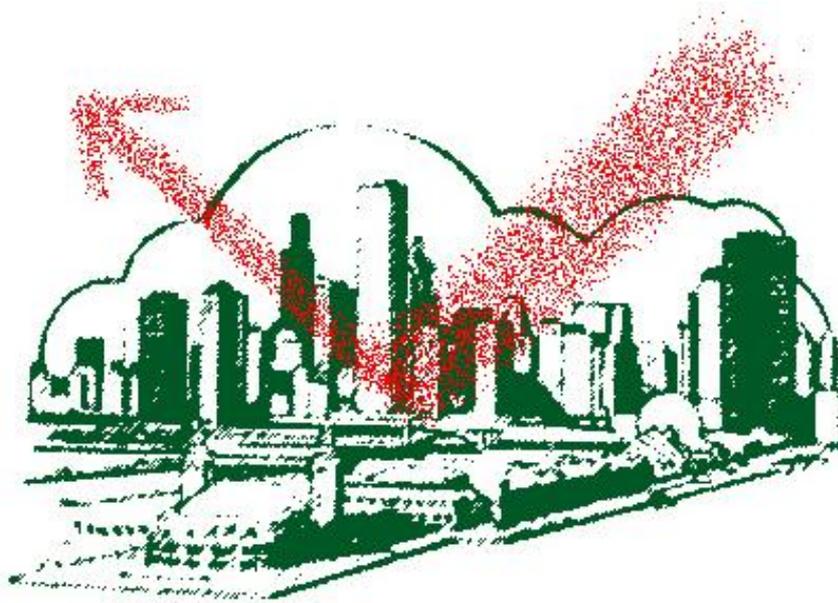
**RECAPITULATION**





## CHAPITRE 1:

*Support théorique..... Concepts, historique  
et microclimat de la rue.*



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

La ville a toujours été considérée comme étant le lieu par excellence de la civilité et de l'urbanité<sup>1</sup>.

De tout temps, les gens des villes désiraient rendre leur cité confortable, et mettre au point des dispositifs permettant de protéger le piéton de la nature, soit de l'excès de chaleur, soit de l'excès du froid, voire encore de la pluie, la boue et le vent et cela en donnant beaucoup d'intérêt à la rue, dans laquelle le confort doit être maintenu par des dispositifs qui limitent tout excès, en assurant aux trottoirs un ensoleillement pas trop intense et aux rues une aération suffisante à condition qu'elles soient peu ventées, ainsi que la plantation d'arbres tout en évitant un trop grand apport d'humidité.

L'état actuel (à partir de la 2ème moitié du siècle dernier) des espaces verts, mobilier urbain, lieu de rencontres, rues piétonnes...etc, traduit le souci des concepteurs et des responsables de l'urbanisme contemporain d'offrir aux habitants des villes des solutions concrètes pour améliorer la fréquentation et la qualité des espaces situés entre les constructions<sup>2</sup>.

Le souci bioclimatique avait été dans le passé le fruit d'une longue expérience et qu'il prenait souvent un caractère spontané, et certaines règles pour la prise en compte du climat avaient déjà été édictées dans l'antiquité<sup>3</sup>. Actuellement les études récentes visent à améliorer le confort thermique des usagers en prenant en considération les paramètres climatiques depuis le lancement de l'esquisse et le traçage des premières lignes de la conception jusqu'à la réalisation du projet et ce, afin d'aboutir à des projets qu'on peut qualifier de bioclimatiques, et qui répondront le mieux aux exigences du confort thermique, particulièrement dans les espaces extérieurs notamment au niveau de la rue.

Le présent chapitre présente en premier lieu une définition claire et brève du phénomène de l'îlot de chaleur avec ces différentes causes et caractéristiques; pour introduire à la définition de la rue en tant qu'espace extérieur et en tant que cause

---

<sup>1</sup> MALVERTI Xavier et PICARD Aleth « *les saisons dans la ville* », 1990, p115.

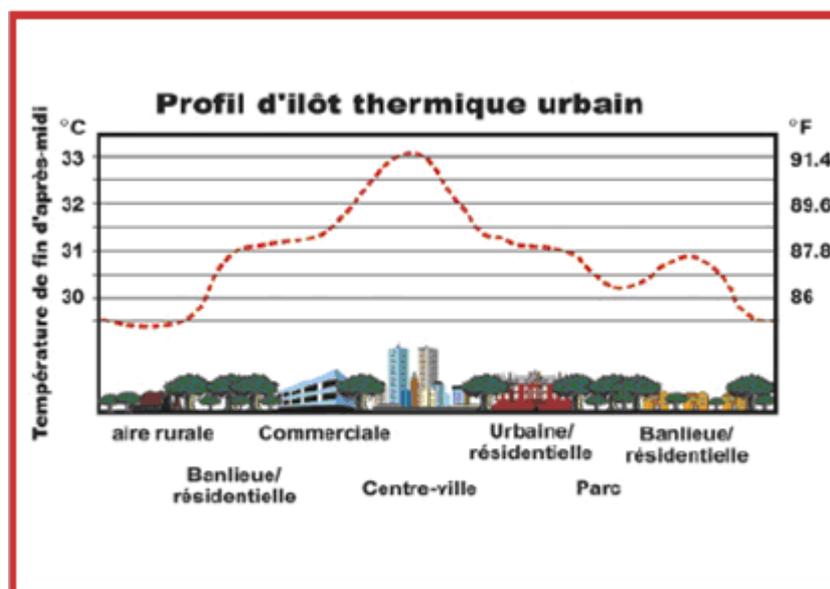
<sup>2</sup> DE SABLET. Michel, « *Des espaces urbains agréables à vivre : places, rues, squares et jardins* » éd. Moniteur, 1991, p11.

<sup>3</sup> IZARD. Jean Louis, GUYOT. Alain, « *Archi, bio* » éd. Parentheses, Paris, 1979, p96.

parmi d'autres de ce phénomène, en détaillant son aspect géométrique et ses différents types ainsi que les effets microclimatiques qui s'y génèrent.

### **1-2-Un îlot de chaleur urbain, c'est quoi?**

L'îlot de chaleur urbain est un phénomène essentiellement nocturne, caractérisé par des températures estivales dans une zone urbanisée (Fig 1-1) plus élevées que la zone rurale environnante<sup>4</sup>, avec des différences qui varient de 5°C à 10°C et parfois plus pour les grandes agglomérations.



**Fig 1-1:** profil d'îlot thermique urbain.

**Source:** Adapté par Berkeley national laboratory. (<http://eetd.lbl.gov/Heatisland>)

A Strasbourg par exemple, en 1998, on enregistrait une différence de 8°C quelques heures après le coucher du soleil.<sup>5</sup>

Une différence de température supérieur à 1°C en moyenne annuelle, est enregistrée entre Paris et la grande banlieue(Dettwiller, 1970), cet îlot de chaleur urbain semble être beaucoup plus prononcé la nuit, dans certaines situations

<sup>4</sup> RINGENBACH.Nicolas, « Bilan radiatif et flux de chaleur en climatologie urbaine : mesures, modélisation et validation sur Strasbourg », thèse de doctorat, université Louis Pasteur Strasbourg, 2004, p6.

<sup>5</sup> DE HATTEN.Anne, « Mise en évidence des caractéristiques générales de l'îlot de chaleur urbain strasbourgeois : élaboration d'une base de données climatiques », mémoire de maîtrise de géographie, université Louis Pasteur Strasbourg, 2002, p66.

météorologiques, peut atteindre 10°C. Il peut par contre disparaître complètement par temps couvert et vent fort.

Il existe aussi des variations importantes de température d'un quartier à un autre, et même à l'intérieur d'un même quartier (Fig 1-2), et l'intensité du phénomène de l'îlot de chaleur urbain peut changer d'une année à une autre et d'un jour à l'autre, elle peut être deux fois plus grande en hiver qu'en été à cause de toute la chaleur dégagée par les immeubles chauffés, elle est aussi plus importante durant la nuit quand la surface réchauffée pendant la journée réémet sa chaleur à l'atmosphère.



**Fig 1-2:**L'îlot de chaleur de New York. (Les zones en rouge sont les plus chaudes).

**Source:** System for Word Surveillance, Inc

Les conditions idéales à la formation d'un îlot de chaleur urbain bien caractérisé sont :

- ü Des conditions anticycloniques stables.
- ü Un ciel parfaitement dégagé.
- ü Des vents très faibles.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> RINGENBACH.Nicolas, « Bilan radiatif et flux de chaleur en climatologie urbaine : mesures, modélisation et validation sur Strasbourg », thèse de doctorat, université Louis Pasteur Strasbourg, 2004, p6.

Les conséquences néfastes de l'îlot de chaleur urbain sont grandes et multiples: plus de smog, moins de bonne qualité de l'air, plus d'hospitalisation, plus de problème de santé pour les personnes fragiles (personnes âgées, enfants, malades).

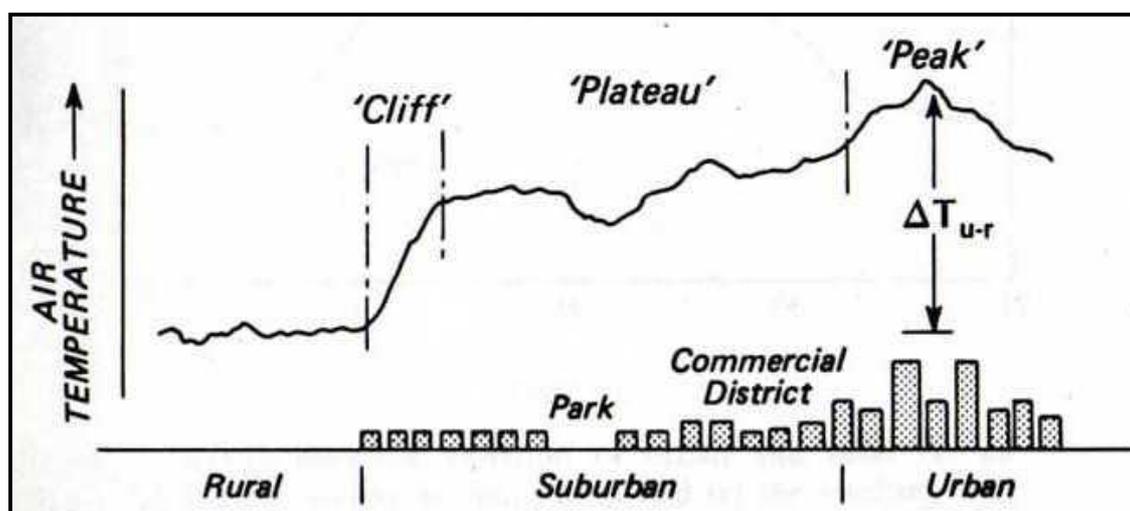
Les caractéristiques de la ville, ainsi que les conditions météorologiques font que l'îlot de chaleur urbain change de forme et de taille dans l'espace et dans le temps.

### **1-2-1-Caractéristiques spatiales:**

Sur le plan spatial, l'îlot de chaleur urbain est plus marqué dans les zones les plus densément bâties, qui correspondent généralement au centre ville.

Selon T.R.Oke (1976), il existe un fort gradient de température aux abords de la ville (falaise); à l'intérieur de la ville selon les zones (Fig 1-3), il y a des gradients plus faibles (plateau) allant jusqu'à un maximum dans la partie la plus urbanisée (pic)<sup>7</sup>, d'où l'allusion à un îlot dans la terminologie utilisée pour décrire ce phénomène d'après Nicolas Ringenbach.

Les parcs urbains sont alors des sources de fraîcheur dans la ville, jouant le rôle d'îlot de fraîcheur, et participant à l'atténuation des températures.



**Fig 1-3 :** Coupe en travers d'un îlot de chaleur urbain et ses relations avec les paramètres de surface.

**Source :** T.R.Oke, 1976

<sup>7</sup> DE HATTEN.Anne, « Mise en évidence des caractéristiques générales de l'îlot de chaleur urbain strasbourgeois : élaboration d'une base de données climatiques », mémoire de maîtrise de géographie, université Louis Pasteur Strasbourg, 2002, p8.

### **1-2-2-Caractéristiques temporelles :**

Alors que sur le plan temporel, l'effet de l'îlot de chaleur urbain est plus apparent la nuit, où la différence de température est plus marquée et inversement proportionnelle à la vitesse du vent et à la couverture nuageuse<sup>8</sup>.

Après le coucher du soleil, la campagne perd plus rapidement son énergie stockée sous forme de rayonnement infrarouge, donc son refroidissement est bien plus prononcé que la ville.

Après le lever du jour, la campagne a tendance à se réchauffer plus rapidement que la ville, et contrairement à la nuit, le phénomène d'îlot de chaleur est moins prononcé au milieu de journée, et à ce moment là, la ville peut même être plus fraîche que la campagne<sup>9</sup>.

L'îlot de chaleur ne varie pas uniquement dans le temps et du point de vue horizontal mais aussi verticalement. Il atteint une hauteur de 200 à 300m, soit 3 à 4 fois plus que la hauteur des immeubles.<sup>10</sup>

Les causes d'un îlot de chaleur urbain sont multiples, T.R.Oke les avait énuméré en 1976 comme suit:

- \* L'augmentation des radiations provenant de l'atmosphère due à l'absorption du rayonnement en grande longueur d'onde et sa rémission par l'atmosphère polluée.
- \* L'effet de la géométrie urbaine sur l'albédo.
- \* Les propriétés des matériaux urbains permettant un stockage le jour et sa libération la nuit.
- \* La chaleur anthropique provenant des façades des immeubles.
- \* La baisse de l'évaporation due à la faible végétation et aux surfaces imperméables ne permettant pas de constituer un stock.
- \* La baisse de la perte de chaleur sensible due à la réduction de la vitesse du vent dans la canopée urbaine.

---

<sup>8</sup> **OKE.T.R in: RINGENBACH.Nicolas**, « *Bilan radiatif et flux de chaleur en climatologie urbaine : mesures, modélisation et validation sur Strasbourg* », thèse de doctorat, université Louis Pasteur Strasbourg, 2004, p6.

<sup>9</sup> Idem, P7.

<sup>10</sup> <http://www.freefoto.com>

\* Le piégeage des radiations en grande longueur d'onde par les canyons (selon le facteur de visibilité du ciel)<sup>11</sup>.

La rue "canyon" présente donc une parmi les nombreuses causes de la formation du phénomène de l'îlot de chaleur. Comment cet espace urbain "rue" peut-il jouer un rôle efficace et avoir un effet positif dans l'augmentation de la température de l'air en milieu urbain et engendrer un microclimat spécifique. Avant de répondre à cette question, il est utile d'abord de faire un petit aperçu sur la définition de la rue, son développement à travers l'histoire, sa géométrie...etc.

### **1-3-Ou'est ce que la rue?**

Le mot « **rue** » vient du latin « **ruga** » qui signifie chemin bordé de maisons. Il a donc totalement gardé son sens aujourd'hui.

En effet, une rue est un nom commun de genre féminin qui désigne une voie dont la principale fonction est la circulation. Généralement, le long d'une rue, on trouve des habitations de différentes natures, comme des maisons, des appartements ou même des commerces de toutes sortes.

Le mot « **rue** » a de nombreux synonymes. Pour ne citer que les principaux, on peut mentionner une allée, une artère, une chaussée ou encore une avenue. Une impasse, un passage, une voie ou encore une promenade peut aussi convenir. Un boulevard est un nom commun de genre masculin qui peut aussi désigner une rue mais à la seule différence que cette rue, ainsi qualifiée, serait assez importante au niveau de sa taille.<sup>12</sup>

D'après le petit Larousse:**la rue:**" voie publique aménagée, dans une agglomération, entre les maisons, les immeubles ou les propriétés closes".<sup>13</sup>

---

<sup>11</sup> **DE HATTEN,Anne**, « Mise en évidence des caractéristiques générales de l'îlot de chaleur urbain strasbourgeois : élaboration d'une base de données climatiques », mémoire de maîtrise de géographie, université Louis Pasteur Strasbourg, 2002, p10.

<sup>12</sup> <http://www.linternaute.com/dictionnaire/fr/definition/rue-1/>

<sup>13</sup> Le petit Larousse illustré 2006.

D'après la collection libre de Wikipédia: **La rue (voie)** est :

\* un espace de circulation dans la ville, structurant les quartiers. Elle dessert les logements et les lieux d'activité économique, ce qui en fait une voie du réseau urbain ; comme illustré par la Fig 1-4.



**Fig 1-4:** Rue d'Osaka (Japon)  
**Source:** Microsoft Encarta 2007

\* un espace d'échange (commerces)<sup>14</sup>, illustré par la Fig 1-5.



**Fig 1-5:** Rue animée de Damas (Syrie)  
**Source:** Microsoft Encarta 2007

<sup>14</sup> <http://www.wikipédia/collection libre/ rue/>

**La rue** peut aussi être défini comme étant un élément urbain et un espace public qui joue un rôle primordial dans le déroulement de la vie quotidienne des citoyens, là où les habitants discutent (Fig 1-6), bavardent et échangent les nouvelles autour d'une tasse de café ou de thé.



**Fig 1-6:** Rue piétonne du Caire (Égypte)  
**Source:**Microsoft Encarta 2007

Elle se distingue des autres voies urbaines (voirie) comme les allées, les cours ou les boulevards et avenues par sa relative faible largeur notamment, et par l'absence de contre-allées.<sup>15</sup>

Une rue particulièrement étroite peut être qualifiée de **ruelle**. Une rue ne possédant qu'un point d'entrée est une impasse ou un cul-de-sac.

Il peut y avoir une séparation des flux de circulation par type d'usagers :

- trottoirs pour les piétons, ou rue dédiée : rue piétonne, (voir Fig 1-7) ;
- aménagement cyclable pour les vélos ;
- chaussée pour les véhicules motorisés, éventuellement scindée en voies réservées aux bus et voies non réservées ;
- rails pour le tramway.<sup>16</sup>

<sup>15</sup> <http://www.wikipédia.org/>

<sup>16</sup> Idem.



**Fig 1-7:** Rue principale d'Aberdeen (Écosse)

**Source:** Microsoft Encarta 2007

#### **1-4- Le développement de la rue à travers l'histoire:**

La rue constitue un élément essentiel de la définition de l'espace urbain. L'étude de sa genèse, de son aménagement et de son devenir constitue une étape indispensable dans une réflexion sur l'art de bâtir les villes et sur les modalités de la transformation des paysages urbains à travers l'histoire<sup>17</sup>.

La rue est considérée, soit comme lieu de sociabilité ou d'échanges, soit comme espace concret avec la réflexion de sa mise en place, son évolution, sa survie ou sa disparition, ainsi que la compréhension des phénomènes climatiques pour réaliser un certain confort en exploitant les éléments du climat tel que le soleil, le vent, et la pluie, ou rétablir à certaine situation d'inconfort en les évitant.

De ce fait, la rue a connu plusieurs transformations et s'est développée considérablement à travers l'histoire avec la succession des civilisations, depuis la civilisation gréco-romaine jusqu'au temps actuel.

#### **Ù La civilisation gréco-romaine:**

L'appel aux architectes, ingénieurs et bâtisseurs pour la construction des remparts et murs d'enceinte, l'embellissement des agoras, l'installation des systèmes d'adduction d'eaux...ect, existait en Grèce dès la moitié du VIème siècle avant J-C. La Grèce qui avait comme symbole de civilisation Athènes, considère cette dernière comme la ville la plus civilisée du monde ancien.

---

<sup>17</sup> <http://calenda.revues.org>

L'agora, dans la cité grecque, est un lieu d'échanges politiques, de tenues des assemblées et de discussions, c'était également un lieu d'échanges culturels et commerciaux, là où se tiennent les festivités publiques.

Lorsque l'activité commerciale a commencé à prendre plus d'importance que toutes les autres déjà citées, l'agora étant saturé, se délimite depuis par un ensemble de bâtiments monumentaux et les rues s'élargissent (elles étaient tellement étroites qu'elles ne pouvaient "contenir" deux personnes au passage)<sup>18</sup> pour accueillir le reste des activités, ce qui provoquera l'extension de ces cités.

Le système viaire de la ville grecque quadrille régulièrement les villes en blocs d'habitations uniformes qui s'organisent généralement autour d'une cour intérieure donnant dos à la rue, et possède un tracé parfaitement orthogonal, se divise en deux catégories: les rues principales orientées est-ouest perpendiculaires aux secondaires orientées nord-sud, ces orientations ont une finalité de protection contre le climat, c'est-à-dire profiter des aspects désirables et éviter les effets indésirables. La Fig 1-8 illustre une rue grecque à la ville d'Athènes.



**Fig 1-8:** Rue grecque, Chios, Ile grecque, Athènes, Grèce.

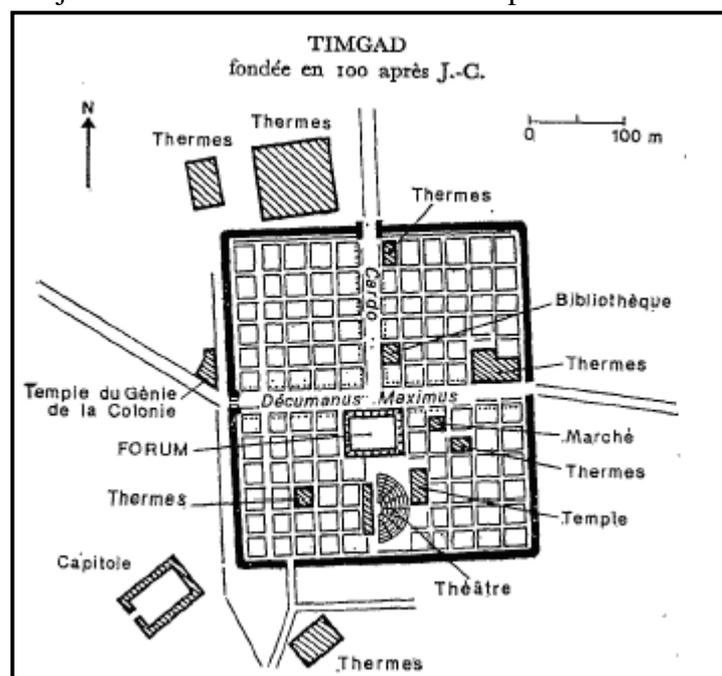
**Source:** <http://photos.linternaute.com>

---

<sup>18</sup> **DE SABLET Michel in: BENZAAD.Nadia**, « *La rue, formes urbaines et pratiques sociales: cas de la rue Belouizdad-Boudjeriou à Constantine* », mémoire de magister, université Mentouri Constantine, 2001, p18.

L'élargissement des rues portées de 4m à 6m, l'ornementation des rues principales par des colonnades, des ensembles de colonnes aux carrefours, plantation des arbres à l'intérieur du périmètre de la cité, et le développement de l'utilisation du mobilier (bancs, stèles..) ainsi que l'utilisation des rapports formels entre les grands édifices et les espaces environnants<sup>19</sup>, faisait au fil du temps l'objet de divers aménagement riches et monumentaux pour les espaces extérieurs urbains, notamment à Athènes.

Répondant aux mêmes rôles que ceux tenus par l'agora, vient le forum romain avec sa forme élaboré et les aménagements limitrophes complémentaires, il est établi au croisement des rues, se trouve au centre de l'agglomération à l'endroit où se rencontrent les axes du plan, cardo-décumanus. Le cardo, grande rue nord-sud, était coupée par le forum (Fig 1-9) en deux secteurs qui ne se prolongeaient pas en ligne droite, celui du sud aboutissait à la porte centrale de la place publique, tandis que le tronçon nord était rejeté à l'ouest comme l'illustre la disposition de la ville de Timgad.



**Fig 1-9 :** Tracé des rues de la ville de Timgad.

**Source:** Microsoft Encarta 2007

<sup>19</sup> MURET, ALLAIN, SABRIE in: SEGHIROU. Belkacem «Vers une approche environnementale de l'espace urbain-influence des règles du prospect sur les formes urbaines en milieux arides et semi-arides-cas de Biskra », mémoire de magister, université Mohamed Khaider Biskra, 2002, p13.

La centralité du forum (Fig 1-9) est appuyée par la disposition concentrique des rues qui en partent pour desservir le reste de la ville.

La civilisation romaine a vécu la naissance du grand architecte Vitruve, qui explique d'après ses écritures que la prise en compte du climat avait déjà été édictée dans l'antiquité. Il note que pour bâtir une ville, le choix du site est d'une grande importance, il faut choisir en priorité le lieu qui doit être sain, donc de préférence élevé avec une bonne température d'air, c'est-à-dire qu'il ne soit exposé ni aux grandes chaleurs, ni aux grands froids.

Il recommande au sujet du tracé des rues que les vents qui enfilent directement les rues, doivent être évité, parce qu'ils sont toujours nuisibles, soit par leur froid, soit par leur humidité. Il faut donc choisir un emplacement ou un alignement des rues entre deux régions (de la rose des vents) en les tournant de manière à ce que les vents donnant sur les angles qu'elles forment se rompent et se dissipent<sup>20</sup>.

L'intérêt majeur porté à la rue pendant la civilisation romaine, rend aux romains l'honneur d'être les promoteurs de l'élargissement et du pavage de la rue (Fig 1-10).



**Fig 1-10:** pavage des voies romaines.

**Source:** [http://galilée.over-blog.com/photos\\_rue-romaine.jpg](http://galilée.over-blog.com/photos_rue-romaine.jpg)-voyage Italie 2004-2005

La rue à cette époque était tellement étroite qu'elle ne pouvait permettre le passage de deux personnes en même temps, alors il y a eu recours à l'élargissement de cette rue en ayant une typologie particulière, passant de la plus étroite à la plus

---

<sup>20</sup> IZARD. Jean Louis, GUYOT. Alain, « *Archi, bio* » éd. Parentheses, Paris, 1979, p96.

large. Il y avait l'itinéa pour les piétons, l'Actus (plus large) parcourue par un seul char, et enfin la Via (encore plus large) parcourue par deux chars, ainsi que les alignements commerciaux plus larges éclairés pendant la nuit.

Les rues de Rome sont pavées de blocs de silex de formes polygonales et disposants de trottoirs pour divers usages<sup>21</sup>. Ces trottoirs qui semblent être l'un des premiers éléments de confort de la rue, de même que de grosses pierres posées en travers de la chaussée et formant refuge pour les piétons en cas de fortes pluies<sup>22</sup>.

La Fig 1-11 qui illustre les ruines du site de Djémila en Algérie, est un exemple explicatif de l'état des rues romaines à cette époque.



**Fig 1-11:** La grande rue de Djemila en Algérie  
**Source:** <http://alger-roi.fr/Alger/.../Djemila/0-galerie.htm>

## **Ü La civilisation arabo-musulmane:**

Pour la civilisation arabo-musulmane, il a été reconnu que la ville islamique a donné des solutions ingénieuses aux problèmes climatiques qui ne cessent de prouver leur efficacité jusqu'à nos jours.

Pour éviter la nature rude du climat dans lequel s'inséraient les villes islamiques et qui prenait dans la plupart des cas un aspects chaud et sec, la conception de ces villes consistait à réduire au maximum la pénétration du soleil à l'intérieur des maisons surtout en période estivale, et de créer tant que possible des possibilité d'ombrage

---

<sup>21</sup> **SEGHIROU Belkacem** «Vers une approche environnementale de l'espace urbain -influence des règles du prospect sur les formes urbaines en milieux arides et semi-arides- cas de Biskra », mémoire de magister, université Mohamed Khaider Biskra, 2002.

<sup>22</sup> **MALVERTI Xavier** et **PICARD Aleth**, « les saisons dans la ville », 1990, p115.

pour atténuer la chaleur infernale de ces milieux arides et d'offrir ombre et fraîcheur, en adaptant le principe du tissu compact, où les maisons sont collées les unes aux autres pour minimiser les surfaces exposées au soleil d'une part et pour minimiser la possibilité d'ouverture vers l'extérieur d'autre part.

La rue étroite bordée de part et d'autre de construction haute assurant un ombrage mutuel des façades, offre pour les piétons une protection du soleil ardent et du vent chaud qui est souvent chargé de sable et de poussière. Et à défaut de l'ombre, dans un endroit où cette dernière (ombre) se fait rare ou inexistante, il y a eu la proposition des passages couverts qui assuraient la protection des piétons.

Le dimensionnement des rues se basait sur le moyen de transport qui existait à l'époque qu'est l'âne ou le chameau, avec une hauteur équivalente à la hauteur d'un chameau chargé.

La ventilation au niveau des rues notamment celles qui étaient rétrécies offre un exemple efficace d'un système de confort, l'étroitesse des voies permet au volume d'air d'y passer avec une vitesse plus importante, cette technique s'applique aussi bien en urbanisme qu'en architecture. Signalons tout de même que cet effet n'existe que pour les hauteurs de constructions égales à deux fois la largeur de la rue au minimum<sup>23</sup>.

### **Ü La période médiévale:**

La période médiévale et précisément au début du XVII<sup>e</sup> siècle, aucun principe d'organisation ne dictait la conception des rues.

Les rues médiévales étaient généralement sinueuses, irrégulières, épousant les accidents du terrain et reflétant les vicissitudes de l'histoire (Fig 1-12). Elles étaient étroites dépourvues de trottoirs et traversées par un caniveau central.

Les rues à cette époque étaient spécialisées dans des activités particulières telle que le témoigne la toponymie (rue des bouchers, rues des tanneurs, rue des

---

<sup>23</sup> **BENADJL Amar in: BOUCHERIBA.Fouzia**, « *Impact de la géométrie des canyons urbains sur le confort thermique extérieur : cas du couloir de Constantine* », mémoire de magister, option bioclimatique, université Mentouri Constantine, 2006, p12.

orfèvres...ect), et l'ouverture des échoppes et des ateliers sur la rue font de celle-ci un espace public et communautaire par excellence, qui pourra accueillir les fêtes et les processions une fois élargie.



**Fig 1-12:** Rue de Sighisoara (Roumanie) datant de la période médiévale.

**Source:** Microsoft Encarta 2007

La période de la renaissance, à partir de la moitié du XVIIe siècle était contrairement à la ville médiévale qui marquait des rues étroites et irrégulières, caractérisé par un urbanisme qui accentuait les rues larges, régulières, en étoiles ou en circonférence<sup>24</sup> mettant en perspective l'espace urbain.

### **Ü La période moderne:**

La rue de la période moderne, traduisait le souci et l'intérêt particulier lié à son adaptation au climat, les traités d'urbanisme commençaient dès le XVIIIe siècle à s'interroger sur le confort des rues, car elles souffraient toujours de l'inconfort et de l'insalubrité, cela est très apparent lors de la tombée des pluie, où la plupart des rues se transformaient en rivière qu'il faut traverser sur des planches, ce qui présentait un vrai danger menaçant les piétons et les chevaux.

En 1844, avant même la construction des nouvelles villes, le maréchal Bugeaud<sup>25</sup>, gouverneur général, demande au service du génie en Algérie d'émettre des règles en matière d'urbanisme et d'architecture concernant la question du confort dans la ville en général et dans les rues en particulier, alors le colonel Charon, directeur du

---

<sup>24</sup> Certaines rues formaient des cercles concentriques autour d'un point central et d'autres étaient disposées en étoile à partir de ce point, comme les rayons d'une roue.

<sup>25</sup> MALVERTI Xavier et PICARD Aleth, « *les saisons dans la ville* », 1990, p116.

génie, adresse une longue note concernant entre autre le tracés des rues, en insistant sur la nécessité d'éviter en premier lieu de percer les rue du nord au midi, et dans le cas ou les communications exigeraient qu'on leur donnait cette direction , de les onduler de manière que l'un des côtés de ces rue puisse toujours projeter assez d'ombre pour garantir des ardeur du soleil ceux qui avaient à les parcourir, et en deuxième lieu de border de portiques celles que l'on serait dans l'obligation de percer en droite ligne ou bien de les abriter par des toits saillants, en ayant aussi le soin de les tenir le moins large possible et de les rafraîchir par un courant d'eau vive.

Dans le même esprit, le chef du génie d'Orléansville commente en 1845 quelques points du plan d'alignement qu'il a établi pour fonder la nouvelle ville, en clarifiant la forme des rues, où il est indispensable qu'elles soient longues pour les relations commerciales, elles permettent à l'air de se renouveler facilement et de jouir de brises agréables. Elles sont favorables à la propreté. On peut obtenir de l'ombre et de la fraîcheur dans les rues par les plantations, les galeries et les eaux courantes<sup>26</sup>.

Il a fallu attendre 1845 pour voir voter la 1ere loi rendant obligatoire la construction des trottoirs dans les nouvelles rues. La Fig 1-13 montre une rue qui reflète cette période.

La construction d'arcades le long des rues pour protéger les piétons des eaux de pluie, préoccupait beaucoup les architectes tout au long du XIXe siècle. En Algérie par exemple, les techniciens français lors de la conception des nouvelles villes, proposent les arcades qui paraissaient indispensables pour protéger les piétons du soleil et des pluies torrentielles.

Au centre de Paris, l'architecte Hector Horeau<sup>27</sup>, propose en 1868 une couverture presque systématique d'un grand nombre d'espaces publics et de couvrir à leur partie supérieure, sans les priver d'air et de lumière certaine voies tel que la rue Mandar, la rue Favart, et la rue Getry...etc, de manière à les protéger contre la pluie, contre la boue, la neige, le verglas, la poussière, les trépidations ou le soleil.

---

<sup>26</sup> MALVERTI Xavier et PICARD Aleth, « les saisons dans la ville », 1990, p116.

<sup>27</sup> Idem.



**Fig 1-13:** Carte postale, fin 19<sup>ème</sup> siècle - début 20<sup>ème</sup> siècle.  
Rue Auguste Gervais.

**Source:** coll. Musée Français de la Carte à Jouer, 1990

Pendant le XXe siècle, le contenu des traités d'urbanisme concernant la notion du confort dans la rue, portait surtout sur leur orientation ainsi que l'ensoleillement des façades des maisons qui les bordent. L.Jaussely par exemple, en 1920, dans son cours d'art urbain dispensé à l'institut d'urbanisme de Paris, propose d'étudier en détail l'orientation et le profil des rues afin de profiter au mieux du soleil. Il dit<sup>28</sup> qu'une rue Est-ouest a un côté sud exposé au nord et un côté nord exposé au midi. Nous avons donc intérêt à développer le trottoir qui sera frappé par le soleil où la promenade sera agréable, et au contraire à rétrécir le trottoir du côté nord, étant lui-même mal exposé. Il décrit aussi le profil de la rue, quand les ouvriers vont déjeuner à leur maison, à une heure où il est nécessaire d'être abrité, en l'étudiant de façon à ce qu'il ait de l'ombre pour se rendre de l'usine à leur maison d'habitation.



**Fig 1-14:** Carte postale, début 20<sup>ème</sup> siècle, la partie haute de la rue, au niveau de la rue Emile Zola.

**Source:** coll. Particulière

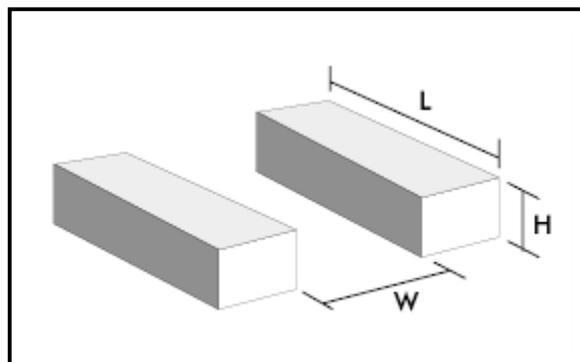
<sup>28</sup> MALVERTI Xavier et PICARD Aleth "les saisons dans la ville"1990, p116.

Au XIXe siècle, les édiles s'intéressent à l'orientation des rues pour assurer un confort du passant dans la rue: ombre, ensoleillement ou protection du vent. Au XXe siècle, Les urbanistes se préoccupent surtout d'un tracé de voies permettant d'ensoleiller au mieux les façades des habitations. Dans la deuxième partie du XXe siècle, la rue étant bannie et les constructions n'étant plus alignées le long des voies, l'orientation du réseau de voies n'a plus aucune importance.

Pour conclure, nous disons que la rue, qui est un élément structurant de l'espace urbain a connu des évolutions et des transformations sans cesse à travers l'histoire. Dès l'aube de l'humanité, certaines civilisations sont arriver à améliorer et à développer cet espace, elles ont même intégré les éléments du climat tel que le soleil et le vent, dans la conception de leurs rues, afin de créer et de déterminer des espaces de rencontre et d'échanges réalisant leur bien être, et réellement, ils ont abouti à des résultats surprenants. Dans le souci de vivre mieux, les conceptions récentes ont intérêt à prendre en considération plusieurs paramètres influençant le climat afin de générer des espaces agréables à vivre.

### **1-5-Classification des rues d'après leur géométrie:**

La rue est généralement caractérisée par trois dimensions principales:  
H: la hauteur, W: la largeur et L: la longueur. Comme schématisé par la Fig 1-15.



**Fig 1-15:** Hauteur, largeur et longueur d'un canyon.  
**Source:** Santamouris et al.

Selon sa géométrie, la rue peut avoir plusieurs formes, cette variété de forme est dictée principalement par le ratio **H/W**:

Où **H** : c'est la hauteur des bâtiments.

**W** : c'est la largeur de la rue, qui pourra avoir comme nomenclature la lettre L (d'après les versions francophones).

Ce rapport est directement lié à la notion du facteur d'ouverture ou de visibilité du ciel **SVF** (Sky View Factor), notion qui exprime la mesure de l'angle solide sous lequel le ciel est vu depuis un espace urbain. Il détermine les échanges de chaleur par rayonnement entre la ville et le ciel.

D'après T.R.Oke, le rapport d'aspect H/W est simplement le rapport entre la hauteur moyenne des constructions et la largeur moyenne de la rue.

Le SVF est selon le même auteur, exprimé selon le rapport entre la quantité de radiations hémisphériques environnantes dérivées à partir des photos appelées "fish-eye" prises en se dirigeant vers le point de zénith.

Il est déterminé par l'équation suivante:

L'angle solide de vision du ciel

SVF d'un espace urbain = \_\_\_\_\_ .....EQU1.1

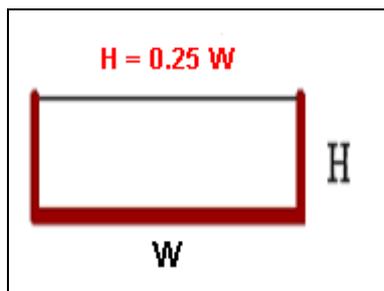
L'angle solide hémisphérique

Où: l'angle solide se définit dans l'espace à trois dimensions, sur une sphère, comme le rapport  $\Omega = S/R^2$  entre la surface S interceptée sur une sphère centrée sur l'oeil de l'observateur, et le carré du rayon de la sphère<sup>29</sup>.

On peut distinguer trois formes différentes;

### **1-5-1-La forme dégagée:**

Elle est caractérisée par un rapport d'aspect  $H/W < 0.25$ , et une proportion d'ouverture au ciel importante (Fig 1-16 et 1-17), dans ce cas, l'espace est bien ensoleillé et bien exposé au vent<sup>30</sup>.



**Fig 1-16:** forme dégagée de la rue.

**Source:** Jean Louis Izard, 2000

**Fig 1-17:** photo fish-eye pour un espace dégagé.

**Source:** Aude Lemonsu.

### **1-5-2-La forme dièdre:**

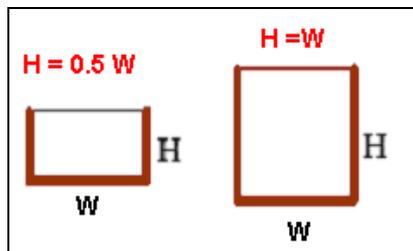
Cette forme présente un rapport d'aspect  $H/W$  égal soit à 0.5, soit à 1, ça implique que les façades sont vues d'une manière angulaire équivalente à celle du ciel Fig 1-18 et 1-19.

D'après Jean Louis Izard, pour le cas de la forme dièdre, on peut avoir en même temps un ensoleillement direct et un éclairage par les façades<sup>31</sup>.

<sup>29</sup> SELBY, (1974) in DUCHESNE.Jean, BOUVIER.Vincent, DREUER.Celine, " L'angle solide, un outil pour la lecture du paysage", septièmes rencontres de Théo Quant, janvier 2005.

<sup>30</sup> <http://www.marseille.archi.fr>

<sup>31</sup> Idem.



**Fig 1-18:** forme dièdre de la rue.

**Source:** Jean Louis Izard, 2000



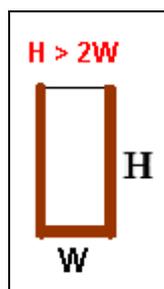
**Fig 1-19:** photo fish-eye pour un espace dièdre.

**Source:** Aude Lemonsu.

### **1-5-3-La forme Canyon:**

Quand il s'agit d'un rapport  $H > 2W$ , l'espace est dit "canyon", dans ce cas le ciel est très peu visible (Fig 1-20 et 1-21) et les rayonnements jouent un rôle restreint. Cet espace reçoit peu de radiations et il est protégé contre le vent<sup>32</sup>.

Les écarts de températures sont très réduits pendant la journée, et la dispersion des polluants est très défavorable.



**Fig 1-20:** forme de canyon urbain.

**Source:** Jean Louis Izard, 2000



**Fig 1-21:** photo fish-eye pour un canyon urbain.

**Source:** Aude Lemonsu.

<sup>32</sup> <http://www.marseille.archi.fr>

Le **canyon** est un mot d'origine espagnole **cañon**, c'est une vallée profonde (Fig1-22) dont les parois, très abruptes ont été sculptées par l'action érosive d'un cours d'eau.<sup>33</sup>

C'est le résultat d'un processus d'érosion qui s'est échelonnée sur des millions d'années, avec une rivière qui continue toujours son travail de sculpture<sup>34</sup>.



**Fig 1-22:** Canyon naturel.  
**Source:** Sébastien Wypych, 2003

En milieu urbain, le canyon est un espace étroit, limité par deux parois verticales très proches Fig 1-23.



**Fig 1-23:** Canyon à Marseille.  
**Source:** Aude Lemonsu.

<sup>33</sup> Microsoft Encarta 2007.

<sup>34</sup> Wikipédia: <http://fr.wikipedia.org/wiki/canyon>.

### **1-6-Le microclimat urbain à l'échelle d'une rue "canyon":**

L'impact d'un milieu urbanisé sur le climat régional est largement éprouvé. Des phénomènes dont les manifestations les plus courantes sont l'effet d'îlot de chaleur urbain, l'accumulation ou la non dissipation des polluants atmosphériques conduisent à des modifications telles que l'on peut véritablement parler de climat urbain. Les paramètres du climat urbain sont d'une complexité en rapport avec la très forte hétérogénéité de la surface urbaine, que ce soit au niveau des formes ou des matériaux<sup>35</sup>.

Les phénomènes propres au climat urbain sont d'ordre radiatif, énergétique et aérodynamique. Ils résultent de l'interaction entre des paramètres atmosphériques et des paramètres de surface.

Par ailleurs, les études et connaissances du microclimat urbain se sont développées récemment dans différents contextes et problématiques.

Le microclimat à l'intérieur d'un canyon urbain est influencé par plusieurs paramètres modificateurs à savoir: le rapport d'aspect, orientation, matériaux de construction, présence de végétation ...etc<sup>36</sup>.

En effet, les caractéristiques majeurs du microclimat dans un canyon urbain sont clarifiés par un nombre important d'études et sont récapitulé dans ce qui suit:

#### **1-6-1-L'écoulement de l'air à l'échelle d'une rue canyon:**

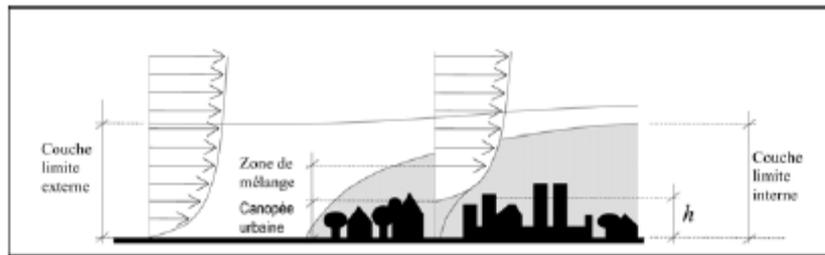
Les anticyclones et les dépressions sont à l'origine de mouvements d'air à l'échelle planétaire, notamment entre l'équateur plutôt chaud et les pôles plutôt froids. Le vent est un écoulement qui tend à équilibrer les zones de pressions différentes dans l'atmosphère.

La circulation d'air est complexe à l'échelle urbaine Fig 1-24, et les mouvements d'air sont fortement perturbés par de nombreux obstacles de formes diverses.

---

<sup>35</sup> **JEROME.Colin**, « *Définition d'une approche de la modélisation de la rugosité aérodynamique en milieu urbain* ».Thèse de maîtrise de la géographie, université Louis Pasteur de Strasbourg, 2001, p7.

<sup>36</sup> **OKE.T.R.**, « *Boundary layer climates* », ed.Methuen & co. LTD, 1987.

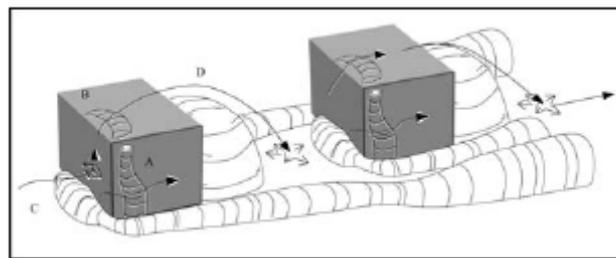


**Fig 1-24:** Profil moyen de la vitesse horizontale du vent dominant en site homogène et en site urbain.

**Source:** Plate et Kiefer, 2001

De part la complexité de l'interaction des bâtiments en milieu urbain, on distingue de façon simplifiée deux types d'écoulement principaux: longitudinal lorsque la rue est dans la direction principale du vent, et transversal lorsque l'axe de la rue est transverse à la direction de la vitesse moyenne<sup>37</sup>.

Lorsque le vent dominant s'écoule autour des bâtiments, on peut distinguer différentes zones perturbées Fig 1-25.



**Fig 1-25:** Allure de la structure de l'écoulement autour de cubes dans un flux turbulent. A: recirculation latérale, B: recirculation de toiture, C: vortex en "fer à cheval", D: bulle de sillage.

**Source:** Meinders et al, 1998

Sur la façade au vent, une zone de surpression, sur les côtés et la partie supérieure un décrochement et une couche limite turbulente, sur la façade sous le vent, une zone de dépression turbulente<sup>38</sup>.

En site urbain, il existe de nombreuses zones de confinement et la circulation d'air peut être très variable en fonction des différentes zones considérées.

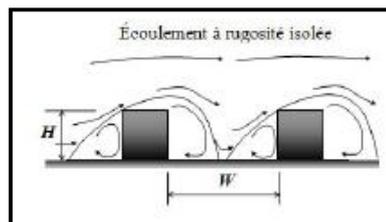
<sup>37</sup> **BOZONNET.Emmanuel**, « Impact des microclimats urbains sur la demande énergétique des bâtiments cas de la rue canyon », thèse de doctorat, université de la rochelle, 2005.p50.

<sup>38</sup> **BOZONNET.Emmanuel, BELARBI.Rafik, ALLARD.Francis**, « Impact du micro climat urbain sur les bâtiments : Circulation d'air et évaluation du rayonnement solaire à l'échelle d'une rue »,XXIèmes Rencontres universitaires de génie-civil, La Rochelle, 2003, p4.

L'écoulement autour d'un bâtiment, malgré une géométrie des plus basique est d'une grande complexité.

D'après T.R.Oke, 1988, on peut classer les rue de type canyon suivant un rapport d'aspect  $W/H$  (largeur par hauteur), par rapport à un vent transversal à l'axe de la rue.

- Pour  $W/H > 2.5$ , l'écoulement dans ce cas est de type rugosité isolée<sup>39</sup>, tel que schématisé par la Fig 1-26.

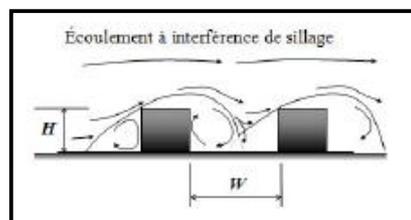


**Fig 1-26:** Régime dit à rugosité isolée.

**Source:**T.R.Oke, 1978

Les bâtiments sont bien espacés les uns des autres, l'écoulement s'apparente à une succession de structures identiques autour de bâtiments isolés<sup>40</sup>.

- Pour  $1.538 < W/H < 2.5$ , l'écoulement est à interférence de sillage Fig 1-27.



**Fig 1-27:** Régime dit à interférence de sillage.

**Source:** T.R.Oke, 1978

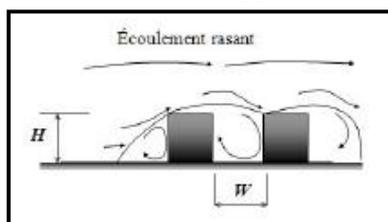
Lorsque l'écart diminue, les sillages sont perturbés. L'écoulement en aval d'un bâtiment est renforcé par une déflexion au niveau de la face amont du bâtiment suivant<sup>41</sup>.

<sup>39</sup> BOZONNET.Emmanuel, WURTZ.Etienne, BELARBI.Rafik, ALLARD.Francis, « Simulation thermo-aéraulique du microclimat urbain à l'échelle d'une rue de type canyon », p1.

<sup>40</sup> GLOCKNER.Stéphane, « Contribution à la modélisation de la pollution atmosphérique dans les villes », thèse de doctorat, université Bordeaux I, 2000, p17.

<sup>41</sup> Idem.

- Pour  $W/H < 1.538$ , l'écoulement est de type rasant Fig 1-28.

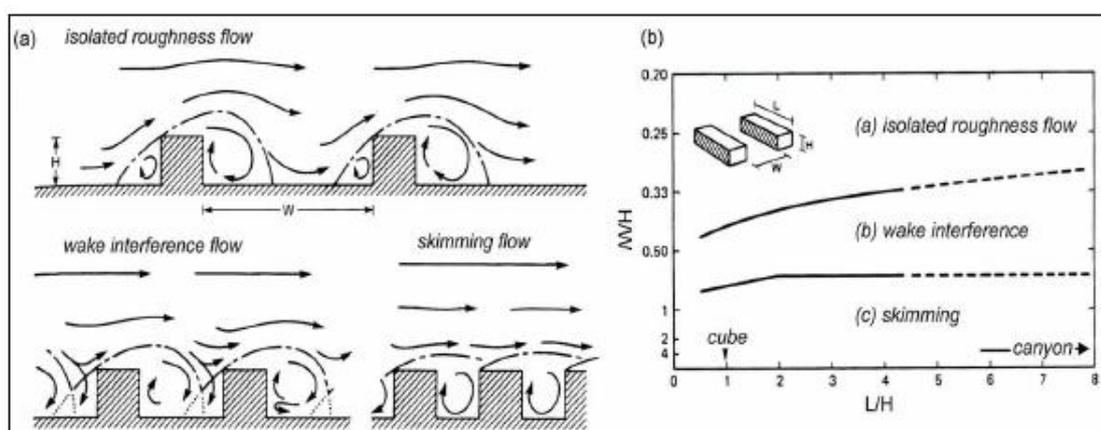


**Fig 1-28:** Régime dit rasant.

**Source:** T.R.Oke, 1978

Lorsque le rapport  $W/H$  est encore plus faible, la rue se referme et une recirculation s'établit à l'identique d'une rue à l'autre. L'écoulement est alors dit rasant<sup>42</sup>.

Les trois types d'écoulements sont récapitulés dans la figure suivante (Fig 1-29):



**Fig 1-29:** (a) régimes d'écoulement du vent, (b) influence de la géométrie du canyon ( $H/W$ ) et du bâtiment ( $L/W$ ) sur l'écoulement.

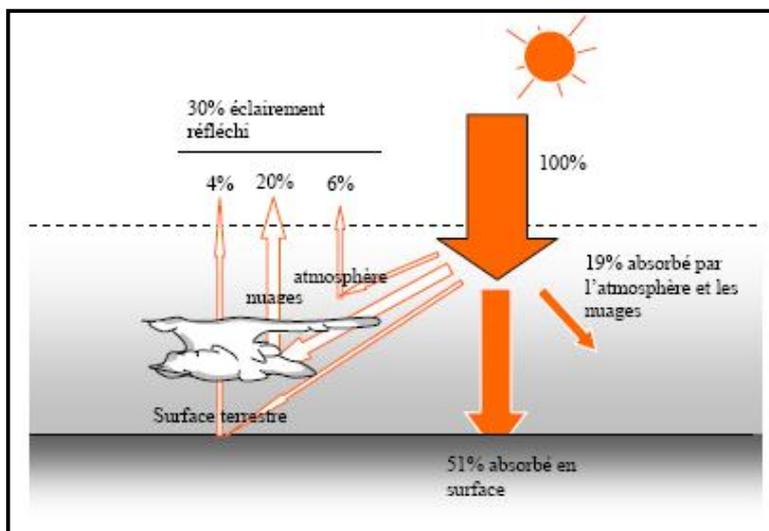
**Source:** (a) Oke 1988. (b) Hosker 1985

Si Oke en 1988, justifie l'écoulement transversal dans une rue de type canyon par le rapport d'aspect uniquement, d'autres chercheurs (Santamouris et al 2001), prédictent différents scénarios d'écoulement en fonction de la vitesse du vent dominant, du rapport d'aspect de la rue ( $W/H$ ), ainsi que l'angle d'incidence du vent. Pour des vitesses de vent au dessus des toitures inférieures à 4m/s, les effets thermiques et mécaniques rendent l'écoulement chaotique. On observe alors (Bozonnet et al, 2002) la formation de zones non ventilées où la chaleur s'accumule.

<sup>42</sup> **GLOCKNER.Stéphane**, « Contribution à la modélisation de la pollution atmosphérique dans les villes », thèse de doctorat, université Bordeaux I, 2000, p17.

### **1-6-2-L'ensoleillement à l'échelle d'une rue:**

Afin de maintenir l'équilibre du bilan énergétique terrestre, 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 Fig 1-30, le reste étant absorbé par l'atmosphère.



**Fig 1-30:** Balance énergétique terrestre.

**Source:**R.Belarbi, 2000

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.

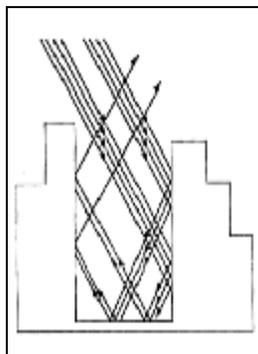
Par ailleurs, pour une même superficie au sol, la surface totale offerte au rayonnement solaire est plus grande en la ville qu'à la campagne. L'énergie alors absorbée du fait des inter-réflexions où le rayonnement solaire est réfléchi plusieurs fois dans les structures de base de la ville appelées canyons, 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.

### **1-6-3-L'effet radiatif dans un canyon urbain (Effet de piège):**

Parmi les causes du phénomène de l'îlot de chaleur urbain, il y a comme on a vu précédemment ce qu'on appelle "l'effet canyon" ou l'effet de piège, c'est un effet qui représente le résultat des échanges radiatifs entre les bâtiments dus au rayonnement solaire, ce qui engendre la modification du bilan thermique de surface à cause de la présence des bâtiments en milieu urbain.

En milieu urbain dense, la géométrie du canyon urbain réduit les pertes radiatives des rues. D'un point de vue des échanges radiatifs, les surfaces des bâtiments se substituent au ciel, mais leurs surfaces plus chaudes ont pour effet de limiter les pertes<sup>43</sup>.

Ce phénomène connu sous le nom de piégeage solaire ou inter réflexion peut se produire dans les canyons urbains au cours duquel le rayonnement solaire soit reflété plusieurs fois successives Fig 1-31, laissant plus d'occasion à l'absorption<sup>44</sup>. Cet effet de piège est maximum avec un bâti haut et dense.



**Fig 1-31:** Illustration de l'effet de piège ou "l'inter réflexion" dans un canyon.

**Source:** Estournel, 1982

Le rayonnement solaire ne parvient pas à pénétrer dans le canyon que lorsqu'il se présente dans le plan axial de celui-ci, ce qui dépend de l'orientation de ce plan. Le rayonnement solaire est alors piégé et peut provoquer des échauffements instantanés importants. Mais la durée de ce phénomène est faible pendant la journée suivant l'orientation de la rue<sup>45</sup>.

---

<sup>43</sup> TAREB, « *Energie dans l'environnement urbain- Architecture basse énergie* » chapitre 4, p4.

<sup>44</sup> <http://www.atmosphere.mpg.de>

<sup>45</sup> BENADJI.Amar in : BOUCHERIBA.Fouzia, « *Impact de la géométrie des canyons urbains sur le confort thermique extérieur : cas du coudiat de Constantine* », mémoire de magister, option bioclimatique, université Mentouri Constantine, 2006, p83.

#### **1-6-4-L'effet de la végétation:**

Les arbres et leur feuillage en milieu urbain produisent un effet de masque bénéfique en période estivale, 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 retenus: le visible (0.4 à 0.7  $\mu\text{m}$ ), le proche infrarouge (0.7 à 1.3  $\mu\text{m}$ ), et l'infrarouge (1.3 à 100  $\mu\text{m}$ ). 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 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<sup>46</sup>.

Comme les rues couvrent la plupart des quartiers dans les espaces urbains, la morphologie des rues canyon joue un rôle important dans la création du climat urbain. Elle influence directement sur la température de l'air, l'humidité et l'écoulement de l'air à l'intérieur des rues aussi bien que les espaces environnants et a été un sujet de plusieurs études en climatologie urbaine.

La végétation est un facteur modificateur du climat local. L'utilisation de la verdure est une stratégie pour atténuer l'îlot de chaleur urbain et améliorer le microclimat. Une évaluation quantitative du rôle climatique de la végétation urbaine est demandée depuis qu'elle est conçue pour d'autres tâches, tel que l'acoustique, la réduction de la pollution, l'esthétique et d'autres questions sociales.

Par ailleurs, un nombre d'études sur les effets climatiques de la végétation urbaine est disponible et fourni beaucoup d'informations utiles pour les concepteurs et urbanistes. Méthodologiquement, les avantages climatiques de la végétation urbaine sont estimés en accord avec leur effet sur les facteurs météorologiques (exemple: Température de l'air, l'humidité relative, et la vitesse du vent) ou de l'énergie économisée dans les bâtiments comme résultat du rafraîchissement et/ou de

---

<sup>46</sup> SAMAALI, 2002 in BOZONNET.Emmanuel, « *Impact des microclimats urbains sur la demande énergétique des bâtiments cas de la rue canyon* » thèse de doctorat, université de la rochelle, 2005, p56.

l'échauffement des charges<sup>47</sup>. La végétation se caractérise par trois propriétés principales avec lesquelles elle affecte le climat: L'ombre, l'humidification (évapotranspiration) et l'amortissement des vents.

Les études sur les effets de la végétation sur le confort thermique extérieur sont très rares, spécialement celles adressées aux rues. Récemment il y a eu l'exploitation du modèle CTTC (Cluster Thermal Time Constant), dans ce modèle, le rafraîchissement passif des rues par l'atténuation de l'échauffement solaire est principalement gouverné par l'orientation de la rue et sa géométrie comme mesuré par le rapport d'aspect des hauteurs des flancs des bâtiments par la largeur de la rue. La contribution de ces deux facteurs est largement compensée par la couverture de l'ombre des arbres.

Une étude menée par Shashua-Bar.I et Hoffman.M.E<sup>48</sup> discute les aspects de la rue tel que la géométrie et l'orientation sur le climat de la rue canyon et comment ces aspects peuvent être affecté et réconcilier par la présence de l'ombre des arbres. L'effet du rafraîchissement passif des arbres dans les rues canyon a été étudié quantitativement par les auteurs. Ils ont trouvé que pour plusieurs rues urbaines plantées, l'effet du rafraîchissement est de 1K et au dessus de 3K aux heures les plus chaudes de la journée. L'effet le plus important est enregistré au centre du canyon à la mi-distance du bord mais cet effet décroît notablement en nous déplaçant vers les bords de la rue. L'ombrage était estimé à 80%, responsable de l'effet de rafraîchissement résultant. Cependant, l'ombrage était efficace uniquement localement et les fluctuations dans la réduction de la température de l'air étaient observées dans la même rue entre différents points de mesure (espacés par environ 20 m) à cause de la non uniformité de l'ombre.

---

<sup>47</sup> **ALI TOUDERT.Fazia**, « Dependence of outdoor thermal comfort on street design in hot and dry climate », thèse de doctorat, université de Freiburg, 2005, p37.

<sup>48</sup> **SHASHUA-BAR.L and HOFFMAN.M.E**, «*Geometry and orientation aspects in passive cooling of canyon streets with trees* », PLEA, Cambridge, UK (2000), pages 483-488.

### **1-6-5-Impact des matériaux :**

Un autre aspect important affecte le microclimat de la rue, c'est bien celui des matériaux de construction, par le rafraîchissement nocturne et la nature des surfaces du canyon. La nuit, l'équilibre du canyon consiste en le déficit compensé par la libération de l'énergie emmagasinée dans les matériaux du canyon urbain, et le rôle du sol et des façades comme une source à la chaleur sensible pour le canyon continu pendant la nuit.

En ce qui concerne les surfaces urbaines, Aseada et al (1996)<sup>49</sup> montre l'importance des matériaux des pavements dans les flux de chaleur résultant et l'interface air-terre pendant les journées d'été. Ils reportent qu'un pavement en asphalte émet un additionnel de 150w/m<sup>2</sup> de radiations infrarouges et 200w/m<sup>2</sup> de transport sensible comparé à une surface de sol nu.

L'effet de l'eau contenu dans un sol nu et ainsi son évaporation produit des températures de surface beaucoup plus basses. En contraste, l'imperméabilité des sols tel que l'asphalte, augmente la température et la chaleur emmagasinée sous les surfaces. Cependant, les surfaces urbaines avec des hauts albédos de couleurs claires réduisent l'emmagasinage de la chaleur dans les matériaux.

L'effet de la réflectivité des matériaux (albédo) sur la modification du microclimat, notamment à l'échelle de la rue, et sa contribution dans l'augmentation ou l'atténuation de la température de l'air en milieu urbain, ainsi que son impact sur le phénomène de l'îlot de chaleur, et d'autres effets seront expliqués et détaillés ultérieurement dans le chapitre 4.

### **1-7-Conclusion:**

Dans ce chapitre nous avons traité la rue qui est un espace extérieur urbain, et qui constitue une parmi des nombreuses causes du phénomène d'îlot de chaleur urbain; ce concept nouveau qui traite le climat à l'échelle urbaine révèle des températures de l'air supérieur dans le milieu urbain par rapport à celui rural.

---

<sup>49</sup>ASEADA et al. 1996 in : ALI-TOUDERT.Fazia, «*Dependence of outdoor thermal comfort on street design in hot and dry climate* », thèse de doctorat, université de Freiburg, 2005, p40.

D'après son évolution à travers l'histoire, et depuis son existence dans le temps, il s'est avéré que la prise en compte du climat et des paramètres influençant le confort des piétons lors de la conception des rues, existait depuis l'antiquité. Les différentes civilisations ont montré que l'homme depuis les temps les plus anciens a pensé à son confort et bien être en concevant son abri dépendamment du soleil, de l'intensité et la direction du vent, ainsi que l'humidité, en s'adaptant au climat de manière qui varie d'un endroit à un autre, et d'une période à une autre, mais qui laisse souvent dire que cette architecture à été le fruit de profondes réflexions et est loin d'être le fait du hasard.

En analysant les différents types de rue et leur classification du point de vue de leur géométrie, il est important de noter qu'une rue étroite avec une hauteur importante des immeubles qui la bordent des deux cotés, constituent se qu'on appelle le "canyon". Cet élément urbain, représente l'unité de base qui compose la canopée urbaine et qui fait générer un microclimat spécifique.

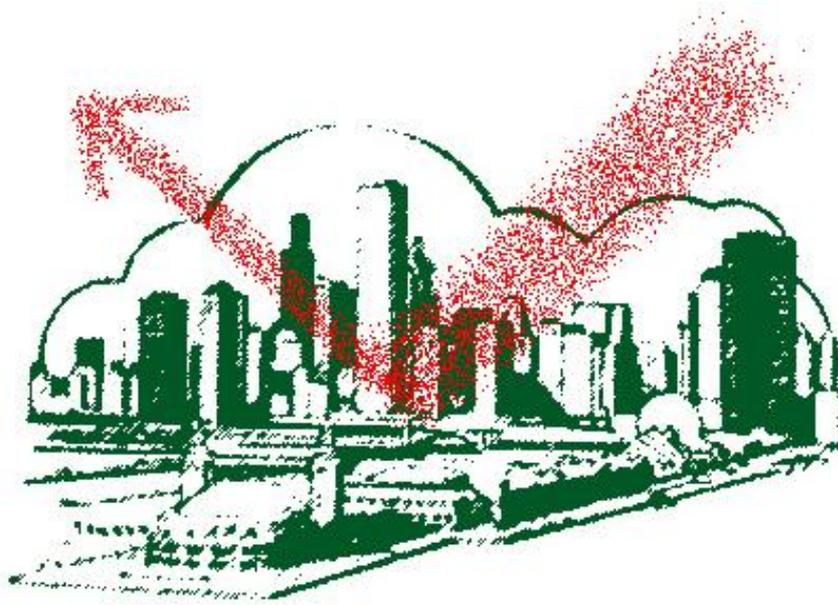
Le microclimat à l'intérieur du canyon urbain dépend des différents paramètres climatiques, tel que la course du soleil, la direction des vents ainsi que leur intensité notamment ceux dominants, ce qui facilitera avec l'existence de ces vents dominants qui traversent l'axe de la rue l'évacuation de la chaleur piégé par l'effet d'inter-réflexion, surtout quand il s'agit d'un canyon étroit, en faisant rafraîchir les façades des immeubles chauffées par l'absorption.

D'autres paramètres peuvent aussi influencer le microclimat à l'intérieur de la rue, il s'agit de la végétation ainsi que les matériaux de construction dont sont faites les façades et chaussées. Ces deux facteurs contribuent d'une façon efficace à modérer ou à accentuer la température de l'air, donc à modifier le microclimat d'une manière considérable.

L'effet des matériaux de construction, spécialement l'effet de la réflectivité sur le microclimat au niveau des espaces extérieurs urbains et en particulier la rue, en plus de son impact sur le confort thermique extérieur seront détaillés dans les prochains chapitres.

## CHAPITRE 2:

*Généralités sur la réflectivité (Albédo) et les différents bilans radiatifs et d'énergie.*



### **2-1-Introduction:**

Le soleil est un astre qui rayonne et illumine la planète terre, il est aussi responsable de la vie des êtres qui y vivent.

Le soleil est à l'origine des différentes réflexions qui se manifestent sur la terre, on a vu alors qu'il est utile pour mieux comprendre et aborder les phénomènes qui seront étudiés, de débiter ce chapitre par un petit rappel sur la définition de quelques concepts qui ont une relation avec notre sujet d'étude en commençant par le soleil, le rayonnement solaire, la composition du spectre solaire...etc, puis de définir la notion de réflectivité au d'albédo en donnant des chiffres sur le pourcentage indiqué pour différentes surfaces urbaines et naturelles, et de ce fait une idée claire et nette sur le pouvoir réfléchif de ces surfaces.

La notion de réflectivité "albédo" est utilisée pour caractériser les matériaux essentiellement par leur couleur et leur texture, pour indiquer à quel point ils reflètent ou absorbent le rayonnement solaire. En milieu urbain les études ont montré que les matériaux imperméables et surtout de couleur sombres reflètent mal le rayonnement solaire ce qui contribue à l'augmentation de la température de l'air en ce milieu comparé à celui rural, ce qui participe d'une façon considérable à la formation du phénomène d'îlot de chaleur.

A la traversée de l'atmosphère terrestre, le rayonnement produit par le soleil s'affaiblit pour plusieurs causes tel que l'absorption par les gaz et vapeurs de l'atmosphère, la diffusion moléculaire par ces gaz et vapeurs et autres causes quand va voir dans ce chapitre et qui permettront d'identifier et de définir ce qu'on appelle les bilans radiatifs ainsi que les bilans d'énergie.

Ce chapitre comprendra donc une première partie qui englobe les définitions et les concepts, allant de la définition du soleil jusqu'à la définition de l'albédo, puis une deuxième partie qui traite les différents bilans radiatifs et d'énergie, de l'atmosphère jusqu'à l'élément urbain de base qui est le canyon.

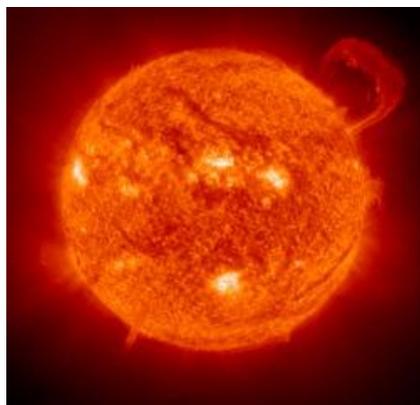
## **2-2-Le soleil, définition et caractéristiques:**

**Le Soleil** (*Sol* en latin, *Hélios* en grec) est l'étoile Fig 2-1 de notre système solaire. Autour de lui gravitent la Terre, les autres planètes, des météoroïdes, des comètes et de la poussière interstellaire<sup>1</sup>.

Le soleil et les neuf planètes qui tournent autour ne constituent qu'une infime partie d'une des innombrables galaxies qui composent l'univers.

Le Soleil représente à lui seul plus de 99 % de la masse du système solaire ainsi constitué. L'énergie solaire, transmise par ensoleillement, rend possible la vie sur Terre par apport de chaleur et de lumière, permettant la présence d'eau à l'état liquide et la photosynthèse des végétaux. Le Soleil est aussi responsable des climats et de la plupart des phénomènes météorologiques observés sur notre planète.

Le soleil est une étoile parmi les autres, situé à environ 150 millions de kilomètres de la terre. Son diamètre est d'environ 50 fois celui de la terre. Sa lumière, à la vitesse fantastique de 300.000 kilomètres par seconde, met un peu plus de 8 minutes pour nous parvenir.



**Fig 2-1:** Le soleil.

**Source:** <http://www.wikipédia.org>

En imaginant la terre grosse comme une orange, le soleil serait une boule de feu<sup>2</sup> de 10m de diamètre placée à 1km. Il faudrait donc 93000 soleils côte à côte pour occuper l'étendue de la voûte céleste<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup> <http://www.wikipédia.org>

<sup>2</sup> **DESSUS.Benjamin, PHARABOD.François**, « *L'énergie solaire* », éd. Que sais-je? 2002, p15.

<sup>3</sup> **BESSEMOULIN.Pierre, OLIVIERI.Jean**, « *Le rayonnement solaire et sa composante ultraviolette* », La météorologie 8<sup>e</sup> série -n°31-sep2000, p43.

La lune est 400 fois plus petite que le soleil, mais 400 fois plus près de la terre, ce qui explique la taille apparente similaire des deux astres dans le ciel, ce dont on peut se rendre compte en particulier lors des éclipses de soleil<sup>4</sup>.

Le système solaire est âgé de 4.5 milliards d'années, cette estimation reposant sur des mesures de la radioactivité des roches terrestres et des météorites<sup>5</sup>.



**Fig 2-2:** Le Soleil vu de la surface de la Terre au travers d'un objectif.

**Source:** <http://www.wikipédia.org>

### **2-2-1-La constante solaire:**

La constante solaire est défini comme étant la quantité d'énergie rayonnante, supposée intégralement transformée en chaleur, que le soleil envoie par minute à travers une surface de 1m<sup>2</sup>, normale aux rayons solaires, située en dehors de l'atmosphère terrestre à une distance moyenne de la terre au soleil<sup>6</sup>.

La constante solaire a été estimée à 1367w/m<sup>2</sup> par plusieurs chercheurs<sup>7</sup>, elle a été adoptée par la commission des instruments et des méthodes d'observation (CIMO) de l'organisation météorologique mondiale (OMM) en octobre 1981.

Les mesures récentes faites à l'aide de radiomètres embarqués sur satellites, ont permis de bien mettre en évidence les faibles variations de la constante solaire liées à la rotation du soleil sur lui-même et au cycle d'activité de onze ans de soleil<sup>8</sup>.

---

<sup>4</sup> BESSEMOULIN.Pierre, OLIVIERI.Jean, «Le rayonnement solaire et sa composante ultraviolette», La météorologie 8<sup>e</sup> série –n°31-sep2000, p43.

<sup>5</sup> Idem.

<sup>6</sup> VAILLANT. J.R , «Utilisations et promesses de l'énergie solaire», éd.Eyrolles, 1978, p32.

<sup>7</sup> BESSEMOULIN.Pierre, OLIVIERI.Jean, «Le rayonnement solaire et sa composante ultraviolette», La météorologie 8<sup>e</sup> série –n°31-sep2000, p45.

<sup>8</sup> Idem, p43.

### **2-2-2-Le rayonnement solaire:**

Le rayonnement solaire est défini comme le déplacement de l'énergie sous forme de radiation solaire, cette radiation solaire transmet la chaleur d'abord sous forme de rayonnements électromagnétiques et constitue la seule source externe notable d'énergie pour l'atmosphère constituant ainsi le spectre solaire. Ce rayonnement solaire se propage à la vitesse de la lumière, il lui faut donc, en moyenne 499 secondes, soit 8 minutes et 19 secondes, pour atteindre notre atmosphère<sup>9</sup>.

Comme le rayonnement solaire traverse l'atmosphère terrestre, son intensité est diminuée et la distribution spectrale est modifiée par l'absorption, la réflexion et la diffusion.

Trois facteurs essentiels déterminent l'importance du rayonnement solaire, se sont :

- Ø L'épaisseur et la qualité de l'atmosphère.
- Ø La durée d'ensoleillement.
- Ø L'inclinaison des rayons solaires (l'angle solaire)<sup>10</sup>.

**Un rayonnement électromagnétique** désigne une perturbation des champs électrique et magnétique.

Le rayonnement électromagnétique a comme vecteur le photon, particule dépourvue de masse. Le photon est le boson associé à la force électromagnétique.

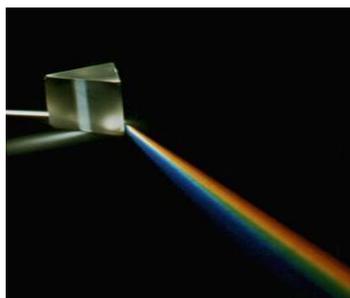
**Le spectre électromagnétique** est la décomposition du rayonnement électromagnétique selon ses différentes composantes en terme de fréquence, d'énergie des photons ou encore de longueur d'onde associée.

La lumière blanche peut se décomposer en arc-en-ciel à l'aide d'un prisme Fig 2-3 ou d'un réseau de diffraction. Chaque « couleur » correspond à une longueur d'onde ; cependant, la physiologie de la perception des couleurs fait qu'une couleur vue ne correspond pas nécessairement à une radiation de longueur d'onde unique mais peut être une superposition de radiations monochromatiques.

---

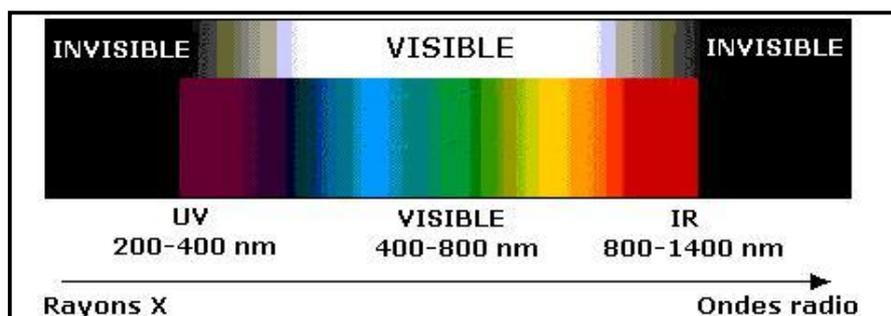
<sup>9</sup> Idem, p43.

<sup>10</sup> **MAAZOUZ. S.** « *L'intégration des facteurs physiques de l'environnement dans le processus de conception architecturale* » thèse de doctorat d'état, université de Constantine, 2000, p34.



**Fig 2-3:** Décomposition de la lumière blanche à l'aide d'un prisme.  
**Source:** Microsoft Encarta 2007

Le spectre électromagnétique Fig 2-4 décrit la répartition des ondes électromagnétiques en fonction de leur fréquence : les ondes de faible fréquence, de quelques kilohertz (kHz) à plusieurs gigahertz (GHz), sont appelées ondes radio ou ondes hertziennes. À des fréquences plus élevées se trouvent par ordre de fréquence croissant l'infrarouge, la lumière visible (longueur d'onde entre 400 et 700 nm) et l'ultraviolet. Enfin, aux fréquences les plus élevées, se trouvent le domaine des rayons X (entre 1 et 100 nm), puis celui des rayons gamma (longueur d'onde inférieure à 1 nm).



**Fig 2-4:** Répartition des rayons solaires en fonction des longueurs d'ondes  
**Source:** <http://www.outilssolaires.com>

**L'onde électromagnétique**, est un modèle utilisé pour représenter les rayonnements électromagnétiques. Elle est associée à la notion de photon.

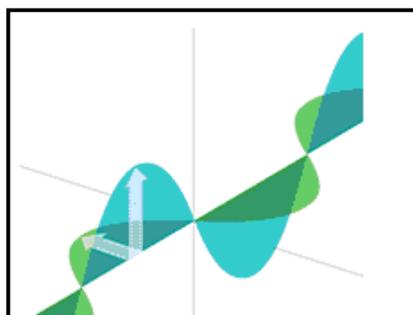
Il convient de bien distinguer :

- le rayonnement électromagnétique, qui est le phénomène étudié, et
- l'onde électromagnétique, qui est une des représentations du phénomène.

Une onde lumineuse est une onde électromagnétique dont la longueur d'onde correspond au spectre visible, soit entre 400 et 750 nm environ<sup>11</sup>.

<sup>11</sup> <http://www.wikipédia.org>

**La longueur d'onde** électromagnétique  $\lambda$  définit le rayonnement et découle directement de la théorie ondulatoire de la lumière Fig 2-5. Elle est égale au rapport de la vitesse de la lumière (300.000 km/s dans le vide) à la fréquence déterminant le rayonnement envisagé; elle s'exprime généralement en microns<sup>12</sup>.



**Fig 2-5:** Vue d'ensemble des ondes électromagnétiques.  
**Source:** Microsoft Encarta 2007

La longueur d'onde correspond au maximum d'énergie et inversement proportionnelle à la température du corps émetteur. Le maximum d'énergie se déplace vers les courtes longueurs d'onde lorsque la température augmente<sup>13</sup>.

Le tableau suivant (Tab 2-1) donne des exemples de longueurs d'onde.

spectre électromagnétique		
Longueur d'onde	Domaine	Commentaire
> 10 cm	<u>radio</u>	(150 kHz - 3 GHz)
de 1 mm à 10 cm	<u>micro-onde</u> et <u>radar</u>	(10 cm - +- 1cm, 3 - 300 GHz)
de 1 $\mu$ m à 500 $\mu$ m	<u>infrarouge</u> norme nf/en 1836	
de 400 nm à 700 nm	<u>lumière visible</u>	<u>rouge</u> (620-700 nm) <u>orange</u> (592-620 nm) <u>jaune</u> (578-592 nm) <u>vert</u> (500-578 nm) <u>bleu</u> (446-500 nm) <u>violet</u> (400-446 nm)
de 10 nm à 400 nm de $10^{-8}$ m à $10^{-7}$ m	<u>ultraviolet</u>	(400 - 280 nm)
de $10^{-11}$ m à $10^{-8}$ m	<u>rayon X</u>	
de $10^{-14}$ m à $10^{-12}$ m	<u>rayon <math>\gamma</math></u>	

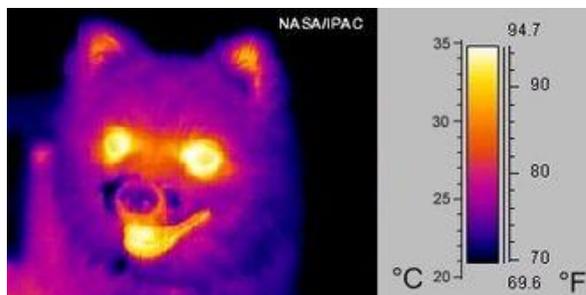
**Tab 2-1:** classement des radiations électromagnétiques selon leur longueur d'onde.

**Source:** <http://www.Wikipédia.Collection libre.com>

<sup>12</sup> <http://www.outilssolaires.com>

<sup>13</sup> <http://www.astrosurf.org/lomby/documents>

**Le rayonnement infrarouge (IR)** est un rayonnement électromagnétique d'une longueur d'onde supérieure à celle de la lumière visible mais plus courte que celle des micro-ondes. Le rouge étant la couleur de longueur d'onde la plus longue de la lumière visible. Cette longueur d'onde est comprise entre 700 nm et 1 mm.

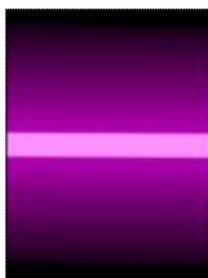


**Fig 2-6:** Image infrarouge de longueur d'onde moyenne d'un petit chien en fausse couleur.

**Source:** <http://www.Wikipédia.Collection libre.com>

Les infrarouges sont souvent associés à la chaleur car, à température normale, les objets émettent spontanément des radiations dans le domaine des infrarouges. Par ailleurs, le rayonnement infrarouge met en vibration les atomes du corps qui les absorbe et donc élève sa température (transfert de chaleur par rayonnement).

**Le rayonnement ultraviolet** est un rayonnement électromagnétique d'une longueur d'onde intermédiaire entre celle de la lumière visible et celle des rayons X. Le violet étant la couleur de longueur d'onde la plus courte de la lumière visible.



**Fig 2-7:** Illustration d'un tube à ultraviolets.

**Source:** <http://www.Wikipédia.Collection libre.com>

Les ultraviolets peuvent être subdivisés en UV proches (380-200 nm de longueur d'onde) et ultraviolets extrêmes (200-10 nm). Quand on considère les effets du rayonnement UV sur la santé humaine, la gamme des rayons UV est souvent subdivisée en UV-A (380-315 nm), UV-B (315-280 nm) et UV-C (280-10 nm).

Les coups de soleil sont d'abord dus aux UV-B. Les UV-A causent des coups de soleil lors d'expositions très prolongées. De fortes intensités d'UV-B sont dangereuses pour les yeux et peuvent causer le « flash du soudeur » ou photokératite<sup>14</sup>.

Les UV-B et les UV-A abîment les fibres de collagène et accélèrent de ce fait le vieillissement de la peau. Les UVA sont moins énergétiques que les UVB mais ils sont plus nombreux et pénètrent plus profondément dans la peau. Les UV attaquent les molécules qui deviennent des radicaux libres, molécules instables et agressives qui endommagent les cellules de la peau.

Les UV-B sont à l'origine de certains cancers de la peau tels que le mélanome. Les UVA jouent également un rôle dans l'apparition de ces cancers. Ils entraînent surtout le vieillissement de la peau appelé : vieillissement actinique.

Un effet positif de la lumière UV est qu'elle permet la production de vitamine D dans la peau, c'est la principale raison de l'éclaircissement de celle-ci chez les populations sous des climats moins ensoleillés.

Les ultraviolets sont absorbés par l'ozone de la stratosphère, les infrarouges sont absorbés par la vapeur d'eau et le gaz carbonique de la stratosphère puis réémis vers le sol et vers l'espace. Le visible et le proche infrarouge atteignent la surface. Le soleil et la terre n'émettent pas le même spectre; le soleil émet un rayonnement de courte longueur d'onde tandis que la terre émet un rayonnement de grande longueur d'onde<sup>15</sup>.

### **2-2-3-Le rayonnement en milieu urbain:**

Le rayonnement incident sur le milieu urbain est intercepté par des surfaces urbaines tel que les toits, les murs et le sol, puis réémis sous forme de grandes longueurs d'ondes.

L'équilibre thermique des surfaces urbaines dépend de leurs caractéristiques thermiques et en particulier leur albédo (réflectivité solaire) et l'émissivité de grande longueur d'onde.

---

<sup>14</sup> <http://www.wikipédia.org>

<sup>15</sup> [http://www.astrosurf.org/lomby/documents in](http://www.astrosurf.org/lomby/documents_in) **TEBBANI.Habiba**, «*Impact de la végétation sur le microclimat et le confort thermique des espaces urbains publics- cas du cours de la révolution d'Annaba* », mémoire de magister, université Mentouri Constantine, 2006, p 38.

Le bilan radiatif d'un milieu urbain est la somme des flux incidents de courtes et grandes longueurs d'onde absorbés par le tissu urbain moins l'émission de grande longueur d'onde des surfaces. Il est donné par l'équation suivante:

$$R = (I + D) (1 - \alpha) - I_{\uparrow} + I_{\downarrow} \dots\dots\dots \text{EQU2.1}$$

Où:

**I** : Le rayonnement solaire direct à la surface de la terre.

**D** : Le rayonnement solaire diffus à la surface de la terre.

**$\alpha$**  : L'albédo moyen de la ville (réflectivité moyenne de courte longueur d'onde)

**$I_{\uparrow}$**  : Le rayonnement de grande longueur d'onde émis par la ville.

**$I_{\downarrow}$**  : Le rayonnement de grande longueur d'onde absorbé par la ville.

Le niveau et la durée d'ensoleillement sont réduits en milieu urbain par les effets d'ombre portée du tissu urbain et par l'absorption et la diffusion dans l'atmosphère dues à la pollution. La pollution urbaine limite l'énergie solaire incidente, augmente la diffusion dans la basse atmosphère. Les courtes longueurs d'onde sont plus affectées par cette diffusion (dite de Rayleigh) que les autres (ultraviolets et début du spectre visible). Comme le montre l'équation, le terme R est une fonction de l'albédo moyen de la ville. L'utilisation de matériaux ou de revêtements très réfléchissants dans le visible réduit donc sa valeur<sup>16</sup>.

Le bilan radiatif au dessus de la ville ainsi que celui d'énergie seront expliqués plus en détail vers la fin du chapitre.

---

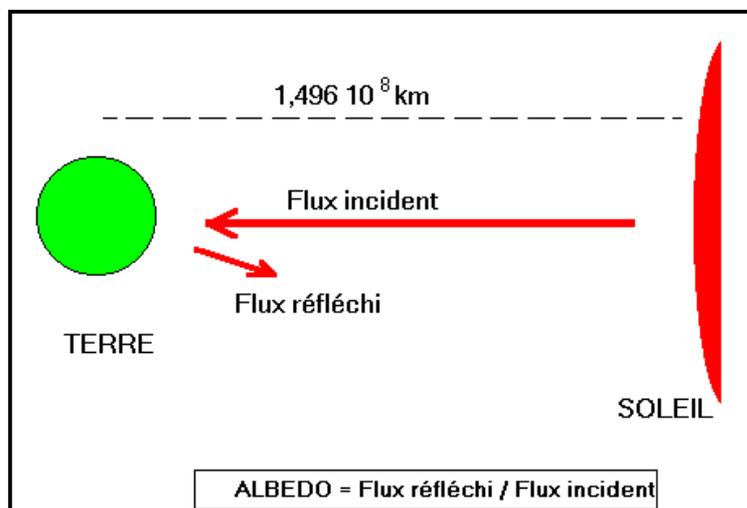
<sup>16</sup> TAREB, « *Energie dans l'environnement urbain- Architecture basse énergie* », chapitre 4, p3.

### 2-3-Qu'est ce que l'albédo?

Le curieux nom **ALBEDO** est extrait du mot grec **Albus** qui veut dire blanc, il a été introduit au 19<sup>ème</sup> siècle par l'astronome américain George Philipps Bond (1825/1865) dans l'étude des planète, et correspond au rapport du rayonnement solaire réfléchi et du rayonnement solaire reçu sans tenir compte de la surface réelle de l'objet. On l'utilise pour caractériser la réflexion d'une surface<sup>17</sup>.

L'albédo a été donné à la fraction du rayonnement solaire incident qui est renvoyée par réflexion et diffusion.

C'est ainsi que l'albédo de la terre, atmosphère comprise, est la fraction de l'énergie du rayonnement solaire arrivant aux confins de l'atmosphère Fig 2-8 qui est renvoyée vers l'espace.



**Fig 2-8:** Flux solaire et albédo.

**Source:** <http://www.bilan.radiatif.de.la.terre.IRM>

L'albédo est en moyenne 30 % pour le globe:

Un revêtement donné du sol renvoie par réflexion et diffusion vers l'atmosphère une partie du rayonnement qu'il reçoit, et la fraction renvoyée constitue l'albédo du Revêtement, bien que ce terme concerne plus particulièrement l'intensité lumineuse.

L'albédo, c'est la proportion du rayonnement incident au rayonnement réfléchi par une surface, il est généralement exprimé en pourcentage.

La présence des bâtiments qui recouvrent la grande majorité du sol au niveau du centre urbain modifie le bilan thermique de la surface. On observe une absorption

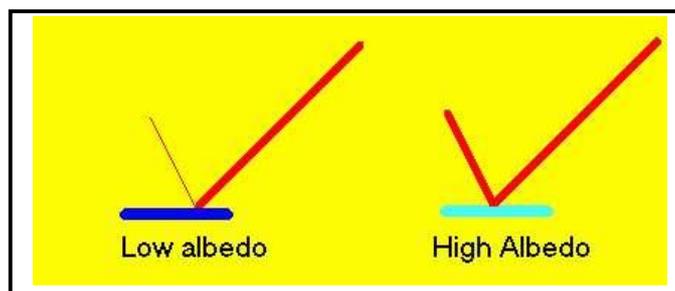
<sup>17</sup> **BOZONNET.Emmanuel**, « *Impact des microclimats urbains sur la demande énergétique des bâtiments cas de la rue canyon* », thèse de doctorat, université de la rochelle, 2005, p54.

accrue des radiations solaires au niveau de la ville provoquant une diminution de l'albédo.

La surface urbaine est complexe et consiste en une mosaïque de matériaux différents, généralement imperméable (ciment, brique, pierre, asphalte,...), Chaque matériau a un albédo différent qui modifie la fraction d'énergie solaire réfléchié ou absorbée par la surface.

Un albédo bas (couleur foncée) implique des températures de surface plus élevées puisqu'une plus grande quantité d'énergie est absorbée Fig 2-9, à titre d'exemple, le goudron qui a un albédo de 0.03 à 0.18 et l'asphalte de 0.05 à 0.2. A l'inverse, un albédo élevé (couleur claire) entraîne des températures plus fraîches, par exemple les surfaces de couleur blanche ont un albédo de 0.50 à 0.90 et les toits réflecteurs de 0.60 à 0.70.

Les surfaces noires au soleil peuvent devenir jusqu'à 21°C plus chaudes que les surfaces blanches.

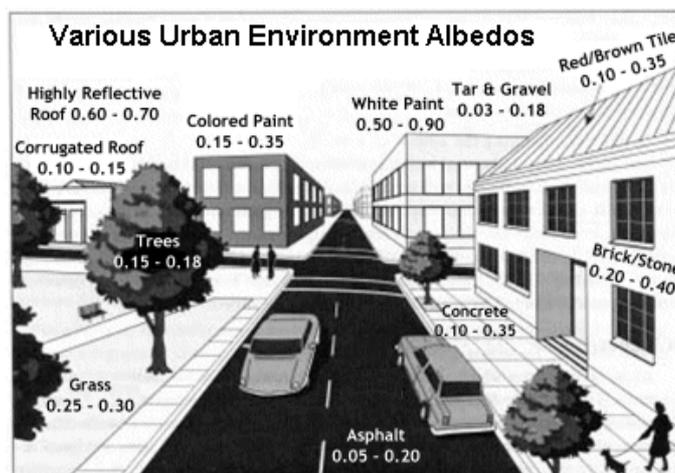


**Fig 2-9:** Les surfaces colorées en clair ont des albédos plus hauts que celles colorées en foncé.

**Source:** <http://www.uwsp.edu/geo...../albedo.html>

Le milieu urbain possède généralement des valeurs d'albédo moindre que le milieu rural, cela est du à la diminution des surfaces végétalisées et l'accentuation des surfaces sombres notamment l'asphalte.

Et voilà quelques valeurs classiques d'albédo Fig 2-10, données par l'agence américaine de protection de l'environnement.



**Fig 2-10:** Valeurs type d'albédo de surface en milieu urbain.

**Source:** <http://yosemite.epa.gov/oar/globalwarming.nsf/>

Le tableau suivant (Tab 2-2) présente les valeurs d'albédo en (%) pour les différents types de couvertures de surfaces.

Surface	Réflectivité (% d'énergie solaire réfléchie)
Nuages (moyenne)	50 à 55
Forêt	5 à 10
Route asphaltée	5 à 10
Béton	17 à 27
Sable blanc	30 à 60
Terre noire	5 à 15
Neige fraîche	80 à 90
Prairie	5 à 25

**Tab 2-2:** Réflectivité ou "albédo" pour différentes surfaces.

**Source:** [http://galileo.cyberscol.qc.ca/InterMet/temperature/corps\\_noir.htm](http://galileo.cyberscol.qc.ca/InterMet/temperature/corps_noir.htm)

#### **2-4-Les bilans radiatifs et d'énergie:**

Ces dernières années, la climatologie urbaine, jusque là focalisée surtout sur l'îlot de chaleur urbain, s'intéresse de plus en plus à l'étude des échanges radiatifs et d'énergie entre la surface urbaine et l'atmosphère<sup>18</sup>. Ces échanges modifient les caractéristiques de la masse d'air au contact de cette surface et sont à l'origine de la création d'une couche limite urbaine dont l'îlot de chaleur urbain est une manifestation.

Robert Kandel en 1992 écrit: "Dans la mesure où l'état thermique du système Terre-atmosphère est relativement stationnaire, c'est-à-dire qu'il n'est soumis à aucun réchauffement ni refroidissement durable, il doit y avoir, en moyenne globale et sur une période suffisamment longue (quelques années), un équilibre entre le flux solaire absorbé, qui chauffe la terre, et la chaleur rayonnée (flux infrarouge sortant), qui la refroidit.

**Le bilan radiatif ou rayonnement net de la planète qui correspond à la différence entre le flux solaire absorbée (incident moins réfléchi), et le flux thermique émis vers l'espace doit donc être égal à zéro.** Le flux solaire absorbé dépend lui-même de deux paramètres, le flux solaire incident et l'albédo, qui est la fraction réfléchie de ce flux "<sup>19</sup>.

Nous avons vu alors, qu'il est utile de mettre au clair et de simplifier chacun des paramètres précités qui entrent dans la définition du bilan radiatif et du bilan d'énergie de la terre.

#### **2-4-1-Le bilan radiatif de l'atmosphère:**

A la traversée de l'atmosphère, on distingue trois types de rayonnements:

#### **Rayonnement diffus, direct et global:**

Une partie du rayonnement solaire traversant l'atmosphère est absorbée par les composants gazeux de l'atmosphère et la vapeur d'eau, une autre partie est dispersée par les molécules de l'atmosphère, ainsi que par les particules en suspension, et engendre *le rayonnement solaire diffus*, ce dernier provenant de la voûte céleste hors disque solaire, il se produit Fig 2-11 dans un milieu contenant de fines particules ou

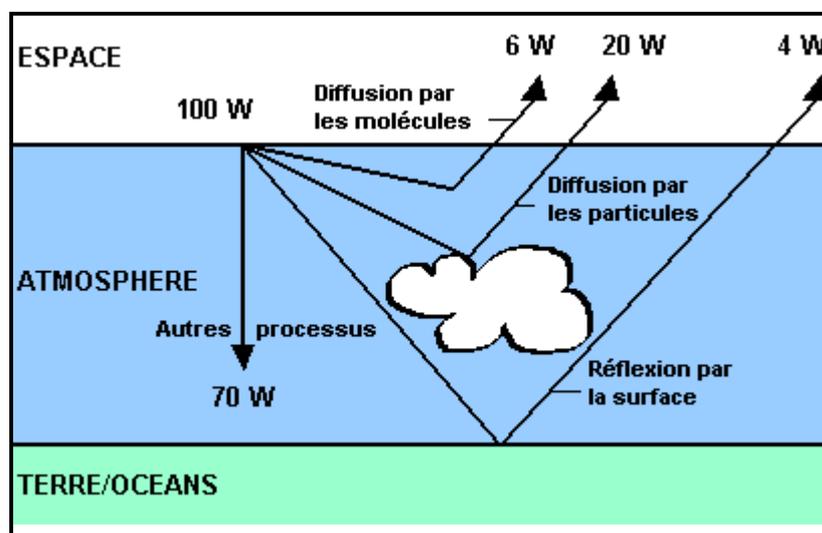
---

<sup>18</sup> NAJJAR.G, KASTENDEUCH.P.P, RINGENBACH.N, COLIN.J.R, STOLL.M.P, NERRY.F, BERNARD.J, DE HATTEN.A, LUHAHE.R, VIVILLE.D, « Bilans radiatif et d'énergie dans un canyon urbain », Annales de l'association internationale de climatologie, vol2, 2005, p41.

<sup>19</sup> KANDEL.Robert, "Le bilan radiatif de la terre", La recherche, N° 241, mars 1992.

molécules et dépend fortement de la taille des particules considérées (par exemple, l'influence des molécules est plus intense pour les courtes longueurs d'onde –bleu- que pour les grandes -rouge-, c'est la raison pour laquelle la voûte céleste apparaît en général bleue et le soleil couchant rougeâtre.

La quantité de rayonnement diffus apportée par la voûte céleste est en général un dixième du rayonnement total, mais il peut y avoir des pourcentages plus élevés lorsque le soleil est plus bas dans le ciel ou lorsque de petites quantités de brume ou de poussière sont présentes dans l'atmosphère. Le rayonnement diffus n'est pas distribué de manière uniforme par la voûte céleste, mais tend à être plus concentré aux alentours du soleil et à proximité de l'horizon<sup>20</sup>.



**Fig 2-11:** Représentation du rayonnement solaire diffus.

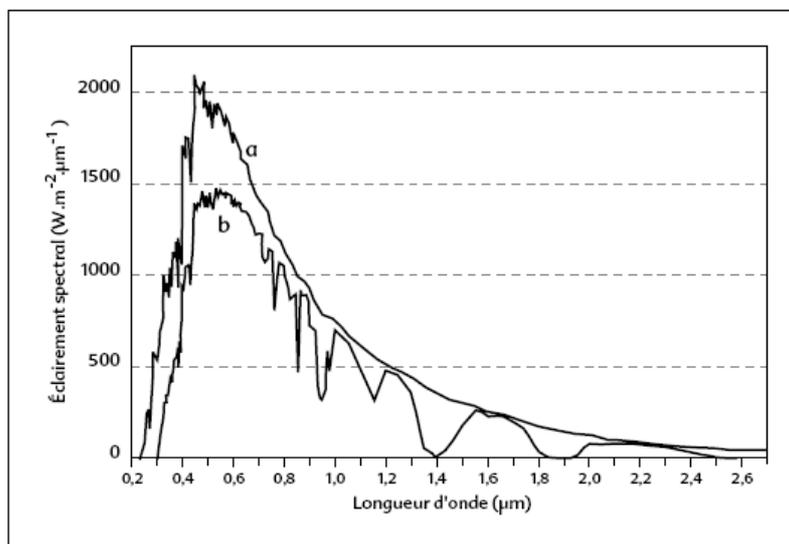
**Source:** Ens-Lyon 2005

Enfin, le reste du rayonnement solaire parvient directement à la surface de la terre: c'est **le rayonnement solaire direct**, ce dernier provenant en droite ligne du seul disque solaire, atteint directement la surface quand elle est exposée au soleil, sans être ni réfléchi par les différentes couches composant l'atmosphère, ni absorbé par les couches des surfaces terrestres, c'est-à-dire qu'il ne subit pas de déviation dans son parcours à travers l'atmosphère jusqu'au sol (il est bien lisible dans un ciel clair, dégagé de nuages), le rayon direct qui provient directement du soleil est qui peut être nul par temps couvert.

<sup>20</sup> GIVONI. B, «L'homme, l'architecture et le climat», éd. Moniteur, 1978, p203.

La Fig 2-12 indique la densité spectrale de "l'éclairement énergétique" du rayonnement solaire direct.

Nous rappelons qu'en un point de surface, "l'éclairement énergétique" est la puissance reçue sous forme de rayonnement par unité de surface.



**Fig 2-12:** Densité spectrale de "l'éclairement énergétique" du rayonnement solaire direct.

**Source:** BESSEMOULIN.P et OLIVIERI.J, 2000

La courbe a: Rayonnement solaire hors de l'atmosphère.

La courbe b: Rayonnement solaire direct au sol pour une hauteur du soleil de 65° et une atmosphère claire standard.

**Le rayonnement global** qui est la somme des deux composantes (diffus+ direct), est l'ensemble du rayonnement d'origine solaire qui parvient sur une surface horizontale sur le globe terrestre .il comprend donc, la composante verticale du **rayonnement solaire direct** quand celui-ci existe, et le **rayonnement solaire diffus** (provenant de la voûte céleste et des nuages). Ces rayonnements sont principalement de courtes longueurs d'onde.

Le rayonnement solaire global au sol est la somme du rayonnement direct et diffus, c'est le rayonnement incident émis par le soleil sur une surface donnée.

On peut écrire la relation suivante<sup>21</sup> :

---

<sup>21</sup> VAILLANT. J.R , « Utilisations et promesses de l'énergie solaire »,éd.Eyrolles,1978, p38.

$$R_G = D + I \sin h \dots\dots\dots \text{EQU2.2}$$

D'où:

$R_G$ : le rayonnement solaire global,

$D$ : le rayonnement solaire diffus,

$I$ : le rayonnement solaire direct,

$h$ : la hauteur du soleil,

### **Rayonnement solaire absorbé:**

C'est la fraction de rayonnement solaire absorbée par les composants gazeux de l'atmosphère. Cette absorption est dite sélective, car elle s'opère pour les valeurs de longueur d'ondes bien précises. Elle est due essentiellement à la vapeur d'eau, à l'ozone, au dioxyde de carbone et à un degré moindre à l'oxygène<sup>22</sup>.

### **Rayonnement solaire réfléchi (albédo):**

C'est la fraction de l'énergie reçue et réfléchi par une surface. Cette fraction qui est généralement exprimé en pourcentage s'appelle l'albédo.

La modification des propriétés physiques des surfaces constitue donc le moyen le plus facile de contrôler les quantités de rayonnement réfléchi. Ce moyen comprend le changement de couleur, de texture ou d'orientation, ou peut même impliquer le changement du type de matériau dont une surface est composée, par exemple en plantant de la végétation sur la surface du sol environnante<sup>23</sup>.

L'albédo de la terre varie principalement en fonction de nébulosité, de l'enneigement, de l'englacement, de la surface foliaire et des variations du couvert terrestre<sup>24</sup>.

L'albédo des surfaces diffère selon leur nature, les surfaces enneigées ont un albédo élevé, les surfaces végétales ont un faible albédo....etc.

---

<sup>22</sup> BESSEMOULIN.Pierre, OLIVIERI.Jean, «Le rayonnement solaire et sa composante ultraviolette», La météorologie 8<sup>e</sup> série –n°31-sep2000, p46.

<sup>23</sup> GIVONI. B, « L'homme, l'architecture et le climat », éd. Moniteur, 1978, p204 .

<sup>24</sup> WATSON.R.T et al in: ACHOUR-BOUAKKAZ.Nawel, «La relation entre l'îlot de chaleur urbain, phénomène du changement climatique et la densité du plan bâti : cas de la ville d'Alger» mémoire de magister, université Mentouri Constantine, 2006, p16

Et voici (Tab 2-3) quelques valeurs en pourcentage, de l'albédo de différents types de surfaces:

Matériau	Facteur de réflexion (albédo)
Mer calme	2 à 5 %
Forêt sombre, champs verdoyants	3 à 8 %
Mer agitée	2 à 10 %
Forêt équatoriale	5 à 10 %
Bâtiments, sable humide, rochers	8 à 15 %
Forêt boréale en été	10 à 20 %
Prairies et champs	15 à 20 %
Asphalte, sol nu sec	15 à 25 %
Savane tropicale sèche	20 à 25 %
Sable sec	25 à 30 %
Briques, herbes sèches, déserts, étendues de sel	25 à 40 %
Neige vieille	50 à 70 %
Neige fraîche	80 à 90 %

**Tab 2-3:** valeurs d'albédo de différentes surfaces.

**Source:** HUFTY.A, 2001 et GIVONI.B, 1978, (réadapté par auteur)

### **L'effet de serre:**

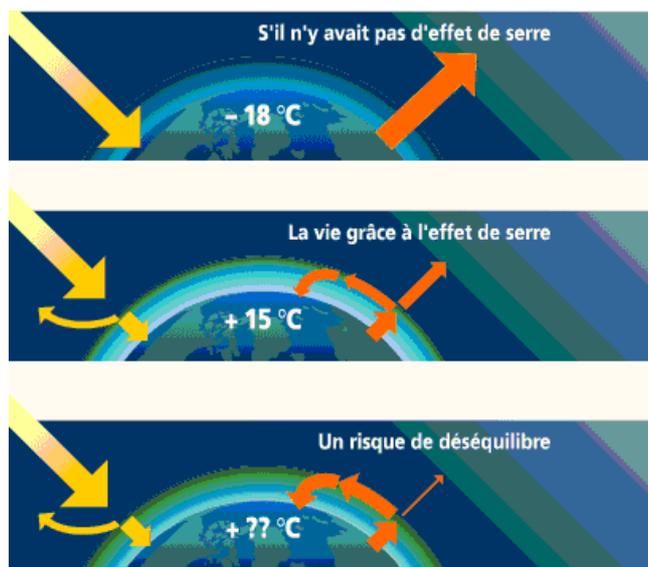
L'effet de serre est un processus naturel de réchauffement de la température qui intervient dans le bilan radiatif de la Terre. Il est dû aux gaz à effet de serre (GES) contenus dans l'atmosphère, à savoir principalement la vapeur d'eau H<sub>2</sub>O (qui contribue le plus à l'effet de serre), le dioxyde de carbone CO<sub>2</sub>, le méthane CH<sub>4</sub>, le monoxyde d'azote N<sub>2</sub>O et l'ozone O<sub>3</sub>.

Cet effet a été nommé ainsi par analogie avec la pratique en culture et jardinerie de construire des serres, espaces clos dont une ou plusieurs faces sont transparentes, laissant passer la chaleur du soleil et la retenant prisonnière à l'intérieur afin de permettre aux plantes de bénéficier d'un microclimat artificiel<sup>25</sup>.

C'est le rayonnement infrarouge émis par le sol, qui est en grande partie piégé par l'atmosphère. Si l'atmosphère était totalement transparente au rayonnement infrarouge émis par la terre, il ferait beaucoup plus froid (en moyenne -18°C), mais l'atmosphère (gaz, vapeur d'eau) absorbe une partie de ce rayonnement et renvoie à son tour un rayonnement infrarouge vers la terre, qui conserve ainsi un équilibre établi autour d'une température moyenne annuelle de + 15°C. Cet équilibre est responsable à maintenir la vie Fig 2-13 sur terre. Cette température a pu varier de plusieurs degrés au cours des temps géologiques.

<sup>25</sup> <http://www.wikipédia.org>

Les conditions climatiques risquent de changer rapidement avec l'augmentation de la concentration en gaz carbonique et autre gaz à effet de serre dans l'atmosphère en raison des activités humaines, et en particulier de l'usage intensif des combustibles fossiles. Le gaz carbonique absorbe en effet le rayonnement dans l'infrarouge et la température de l'atmosphère pourrait s'en trouver augmentée<sup>26</sup> car l'énergie émise est diminuée et par conséquent engendrer un risque de déséquilibre.



**Fig 2-13:** Une représentation schématique illustrant la relation entre les gaz à effet de serre et la température moyenne annuelle de la terre.

**Source:** <http://www.serialementvotre.hautetfort.com>

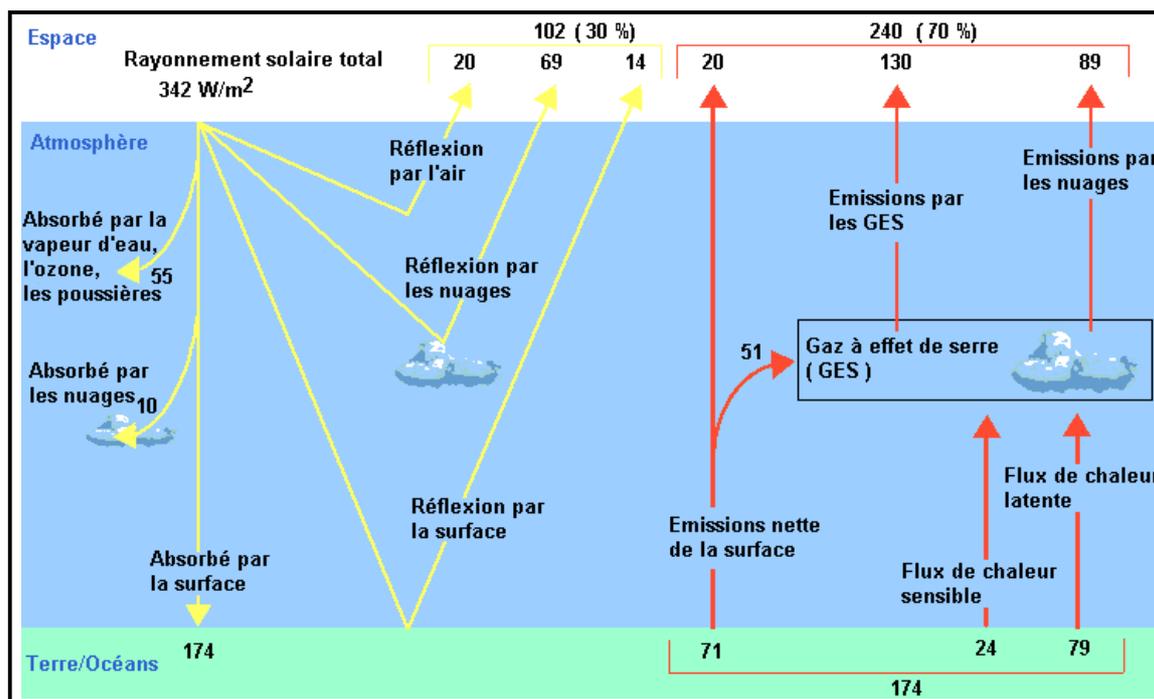
Le climat sur terre est déterminé donc par un équilibre entre:

- le **rayonnement solaire incident**, qui provoque le **réchauffement** de la terre.
- le **rayonnement solaire réfléchi**, qui fait que moins de rayonnement solaire est absorbé et a donc un effet de **refroidissement** relatif.
- le **rayonnement thermique** émis vers l'espace sous forme de rayonnement infrarouge, ce qui induit un effet de **refroidissement**<sup>27</sup>.

Le bilan radiatif de l'atmosphère peut être résumé alors par ce qui suit Fig 2-14:

<sup>26</sup> **DESSUS.Benjamin, PHARABOD.François**, «*L'énergie solaire*», éd. Que sais-je? 2002, p18.

<sup>27</sup> <http://www.bilan> radiatif de la terre.IRM



**Fig 2-14:** Le bilan radiatif de l'atmosphère.  
**Source:** <http://www.x-environnement.org>

#### 2-4-2-Le bilan d'énergie de l'atmosphère:

L'ensemble des échanges énergétiques qui traduit le fonctionnement de l'atmosphère terrestre, est schématisé dans la figure 2-15.

A l'échelle du globe terrestre, c'est en moyenne un éclairement énergétique égal au quart de la constante solaire qui arrive au sommet de l'atmosphère, soit 342w/m<sup>2</sup>. A l'échelle planétaire, les différents types d'énergies mis en jeu dans l'atmosphère terrestre et leurs ordres de grandeur, peuvent être décrit comme suit<sup>28</sup>:

Le rayonnement solaire incident à la limite de l'atmosphère (gamme de longueurs d'onde de 0.25 à 4  $\mu m$ ) représente 342w/m dont:

- 77 sont renvoyés vers l'espace par la surface terrestre;
- 30 sont réfléchis vers l'espace par la surface terrestre;
- 67 sont absorbés par l'atmosphère (ce chiffre inclut l'absorption par les nuages);

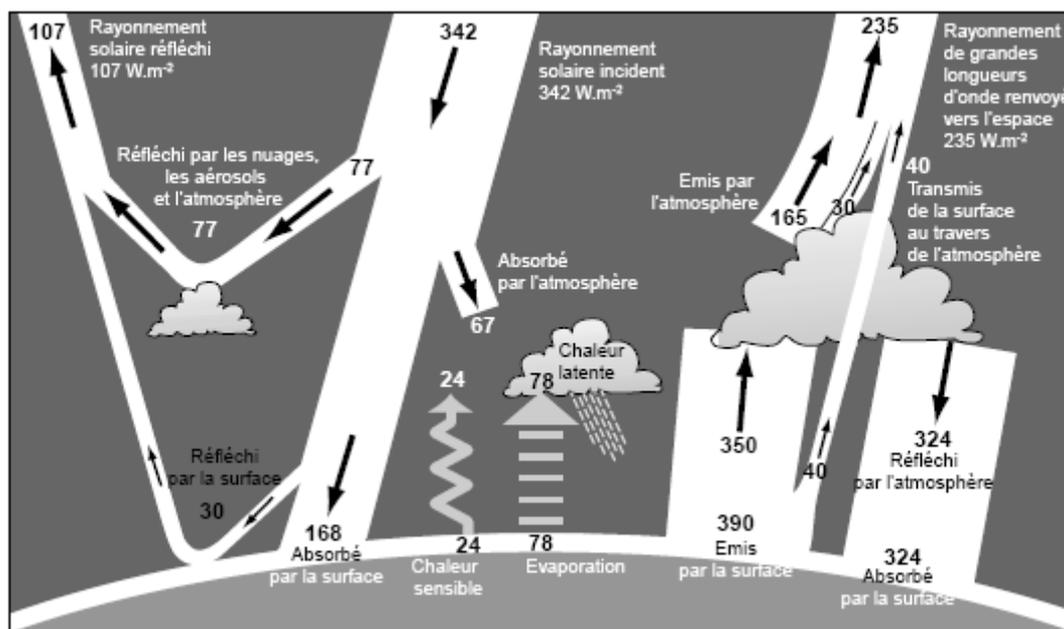
<sup>28</sup> BESSEMOULIN.Pierre, OLIVIERI.Jean, «Le rayonnement solaire et sa composante ultraviolette », La météorologie 8<sup>e</sup> série -n°31-sep2000, p47.

-168 sont absorbés par la surface terrestre, dont 60% sous forme de rayonnement diffus provenant, après diffusion, de la voûte céleste.

Le rayonnement terrestre (gamme de longueurs d'onde de 4 à 80 $\mu$ m) comprend pour sa part:

- le rayonnement émis par la surface terrestre, dont 40 w/m<sup>2</sup> vers l'espace et 350w/m<sup>2</sup> vers l'atmosphère;
- Le rayonnement émis par l'atmosphère, dont 234 w/m<sup>2</sup> vers la surface terrestre et 195 w/m<sup>2</sup> vers l'espace (165 w/m<sup>2</sup> dus à l'atmosphère claire et 30 w/m<sup>2</sup> dus aux nuages).

Ce sont donc au total 235w/m<sup>2</sup> qui repartent vers l'espace sous forme de grandes longueurs d'onde, ce qui équilibre exactement l'énergie équivalente d'origine solaire (342-107 w/m<sup>2</sup>) qui atteint l'atmosphère.

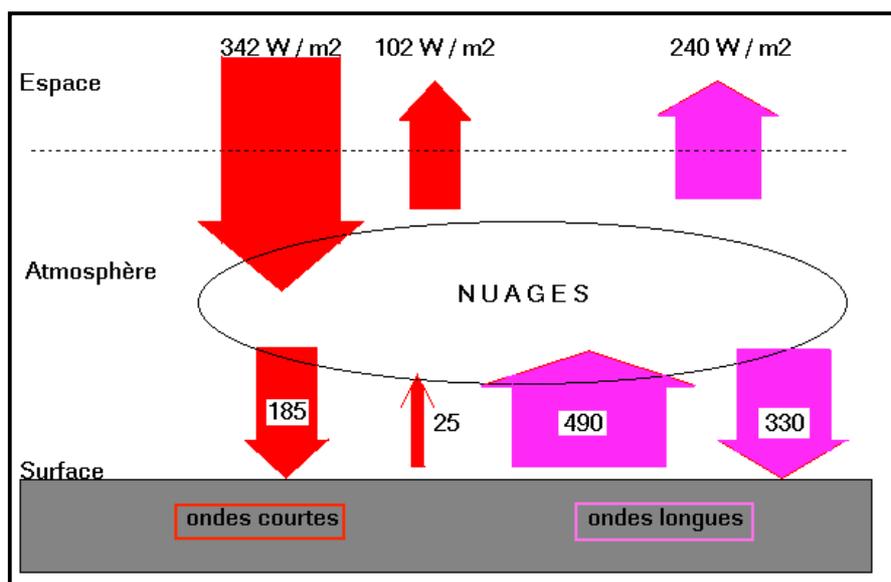


**Fig 2-15:** Les échanges énergétiques moyens entre la surface terrestre, l'atmosphère et l'espace.

**Source:** Kiehl et Trenberth, 1997

La Fig 2-16 récapitule qu'avec un albédo de 30%, 70 % du rayonnement solaire est absorbé et transformé en chaleur: Les ultra-violetts sont absorbés par l'ozone de la stratosphère, les infra-rouges sont absorbés par la vapeur d'eau et le gaz carbonique de

la troposphère puis réémis vers le sol et vers l'espace. Le visible et le proche infra-rouge atteignent la surface.



**Fig 2-16:** Les échanges énergétiques moyens selon les longueurs d'ondes.

**Source:** [http://www.le bilan radiatif](http://www.lebilanradiatif.com)

Mais cet équilibre n'est pas consistant, on peut l'appeler fragile, car il pourra être modifié dans plusieurs cas, tel que l'augmentation excessive des gaz à effet de serre ou des aérosols de l'atmosphère. Ce qui donnera un nouvel équilibre entraînant une modification de la température moyenne de la surface et de l'atmosphère terrestre.

A ces échanges radiatifs, s'ajoutent des transferts d'énergie entre surface terrestre et atmosphère<sup>29</sup>:

- Par chaleur latente (évaporation), représentant en moyenne  $78w/m^2$ ;
- Par chaleur sensible, représentant en moyenne  $24w/m^2$ .

Cette énergie reçue par la terre est diversement utilisée. Tout d'abord, elle contribue à maintenir la surface de la terre à une température moyenne voisine de 290 degrés absolus (17 degrés centigrades). De plus, elle crée les courants marins, les vents et les pluies, les orages, les tempêtes et les cyclones. Elle est aussi la source énergétique de la photosynthèse chlorophyllienne<sup>30</sup>.

<sup>29</sup> BESSEMOULIN.Pierre, OLIVIERI.Jean, «Le rayonnement solaire et sa composante ultraviolette», La météorologie 8<sup>e</sup> série –n°31-sep2000, p49.

<sup>30</sup> VAILLANT. J.R , «Utilisations et promesses de l'énergie solaire»,éd.Eyrolles,1978, p41-42.

### **2-4-3-Le bilan radiatif au dessus d'une ville:**

Si on considère la surface d'échange comme étant une surface fictive se trouvant au niveau de la hauteur moyenne des bâtiments pour la ville, le bilan radiatif ou rayonnement net représente donc, la réponse physique radiative de la surface à la réception d'énergie solaire et à l'équilibre thermodynamique qui s'établit compte tenu des sources internes d'énergie et des échanges avec l'atmosphère.

Ce bilan est défini par la relation suivante<sup>31</sup>:

$$\mathbf{R_n = (1-a) R_G + R_A - R_T \dots \dots \dots EQU2.3}$$

Avec:

$R_n$  : rayonnement net, qui correspond à l'énergie radiative absorbée par la surface.

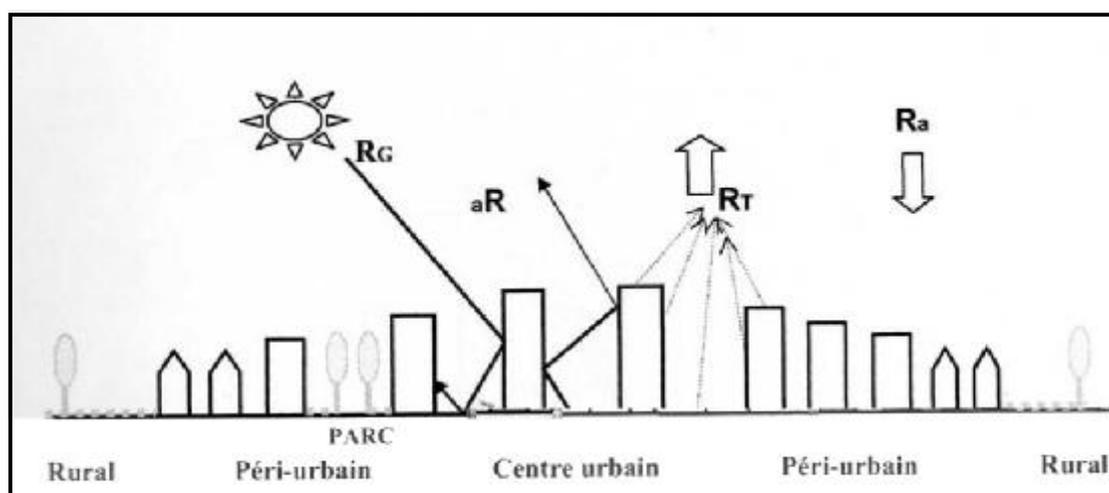
$R_G$  : rayonnement global correspondant à la somme des rayonnements direct et diffus incident en courte longueur d'onde (rayonnement visible et proche infrarouge).

$a$  : albédo, qui caractérise la part du rayonnement solaire réfléchi par une surface.

$R_A$  : rayonnement atmosphérique propre qui s'effectue dans les grandes longueurs d'onde (infrarouge).

$R_T$  : rayonnement terrestre, qui correspond à l'émission par la surface, en grande longueur d'onde (domaine infrarouge).

Les différents termes du bilan radiatif Fig 2-17 sont potentiellement affectés par la présence d'une ville.



**Fig 2-17:** Bilan radiatif au dessus d'une ville.

**Source:** Ringenbach Nicolas, 2004

<sup>31</sup> RINGENBACH.Nicolas, « Bilan radiatif et flux de chaleur en climatologie urbaine: mesures, modélisation et validation sur Strasbourg », thèse de doctorat, université Louis Pasteur Strasbourg, 2004, p10.

**R<sub>G</sub>: rayonnement global correspondant au domaine du visible et du proche**

**infrarouge:**en général, le rayonnement solaire global incident est plus faible au dessus d'une ville qu'à la campagne environnante.

Cela s'explique par une plus grande concentration de polluants dans l'atmosphère urbaine. Une partie du rayonnement solaire est absorbée par les particules et aérosols, ou diffusée dans toutes les directions. Cette atténuation du rayonnement est fonction de la saison, de l'heure (hauteur du soleil) et de la concentration des polluants.

Une étude menée par Stanhill et Kalma en 1995 à Hong Kong, a montrée une diminution de 33% du rayonnement solaire incident (qui est un cas extrême), par rapport à la campagne sur une période de 35ans.

Le rayonnement réfléchi par la canopée urbaine est donné par l'albédo qui dépend principalement des éléments constitutifs des surfaces urbaines, ainsi que leur géométrie. L'albédo d'un élément dépend notamment de la couleur et de la texture du matériau qui le compose. On note que d'une manière générale, les albédos des surfaces urbaines sont plus faibles que les surfaces rurales généralement naturelles couvertes de végétation, cela pourra s'expliquer par le fait que la végétation possède une forte réflectivité dans le proche infrarouge qui entraîne un albédo élevé, contrairement à la ville qui marque un manque flagrant d'espaces verts, donc l'albédo enregistré est plus faible.

Et aussi, la partie ré-émise est également affectée par la morphologie urbaine, en effet, dans un canyon urbain, les immeubles forment un piège au rayonnement. Ainsi, à l'entrée comme à la sortie du canyon, le rayonnement est affecté par de multiples réflexions sur les facettes que constituent par exemple les parois des immeubles.

**2-4-4-Le bilan d'énergie au dessus d'une ville:**

Le bilan d'énergie qui regroupe les différents flux de chaleur diffère en ville et à la campagne, il dépend des caractéristiques propres à la surface ainsi que des gradients de température et d'humidité entre la surface et l'atmosphère.

Le bilan d'énergie est défini par la relation suivante pour une surface urbaine<sup>32</sup>:

$$R_n + F = H + LE + G \dots \dots \dots \text{EQU2.4}$$

Avec:

R<sub>n</sub> : rayonnement net.

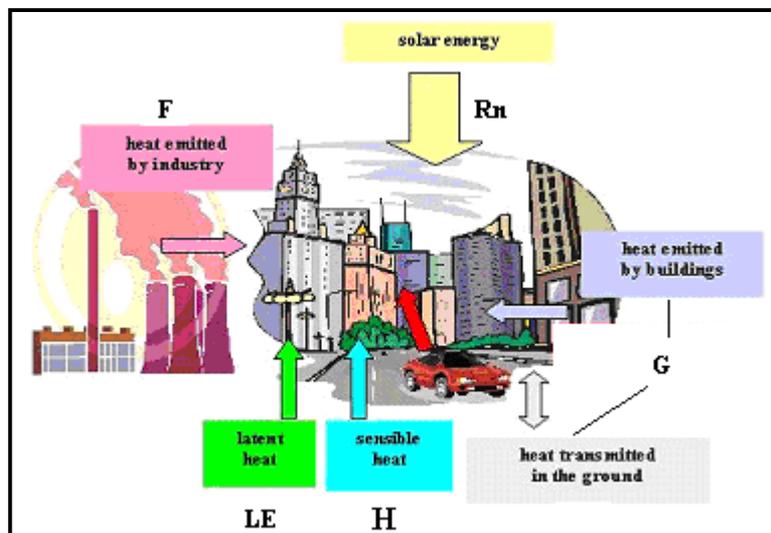
F : énergie anthropique.

H : flux de chaleur sensible.

LE : flux de chaleur latente.

G : flux de chaleur dans le sol et les bâtiments.

La Fig 2-18 explique les différents flux thermiques pour une surface urbaine.

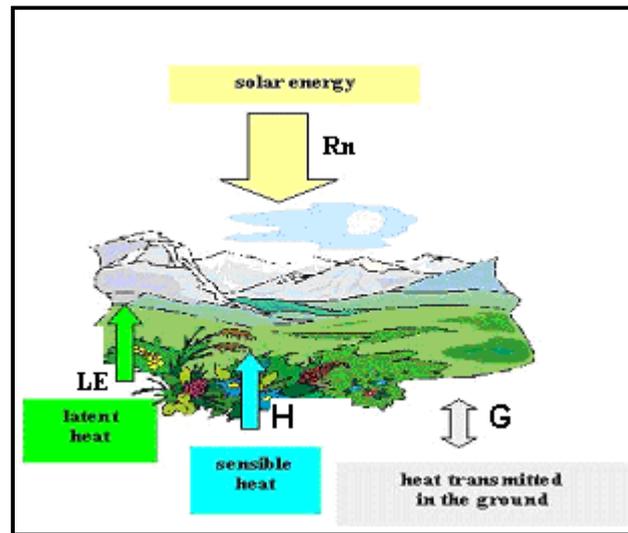


**Fig 2-18:** Eléments du bilan thermique en milieu urbain.

**Source:** WYPYCH.S, 2003

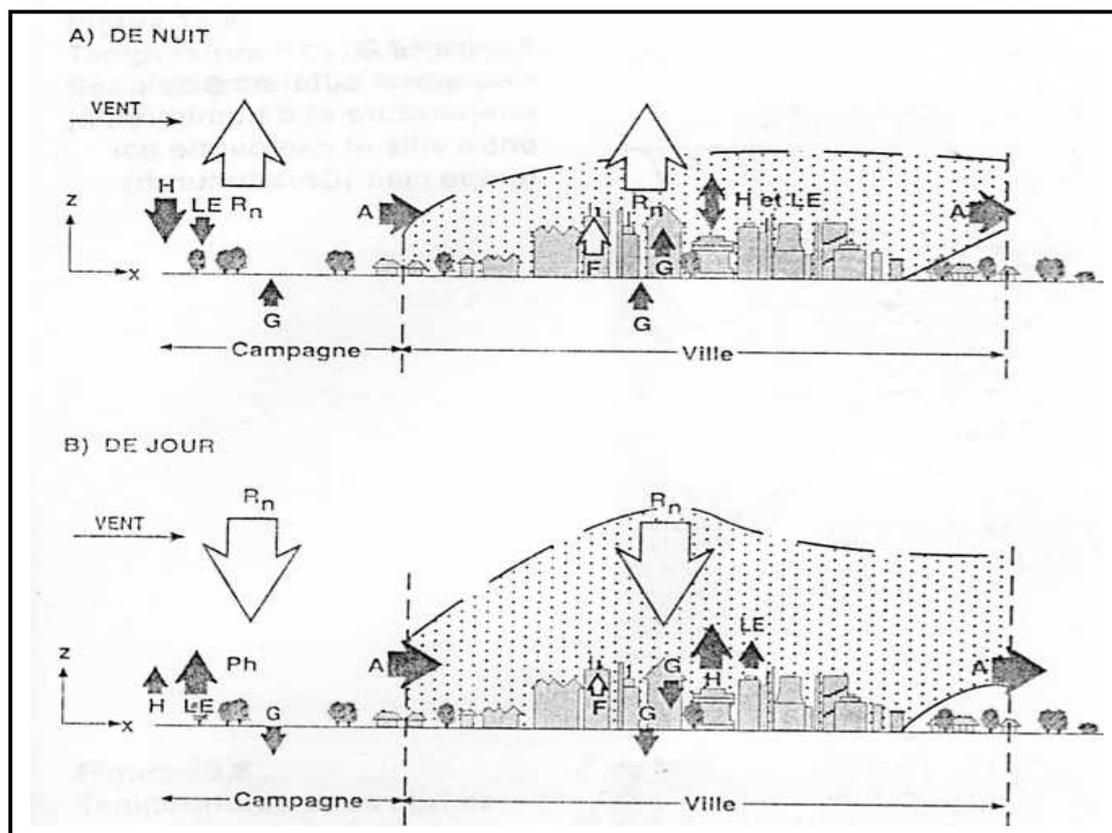
La Fig 2-19 désormais, indique les différents éléments du bilan thermique pour le milieu rural.

<sup>32</sup> RINGENBACH.Nicolas, «Bilan radiatif et flux de chaleur en climatologie urbaine: mesures, modélisation et validation sur Strasbourg», thèse de doctorat. Université Louis Pasteur Strasbourg.2004.p13



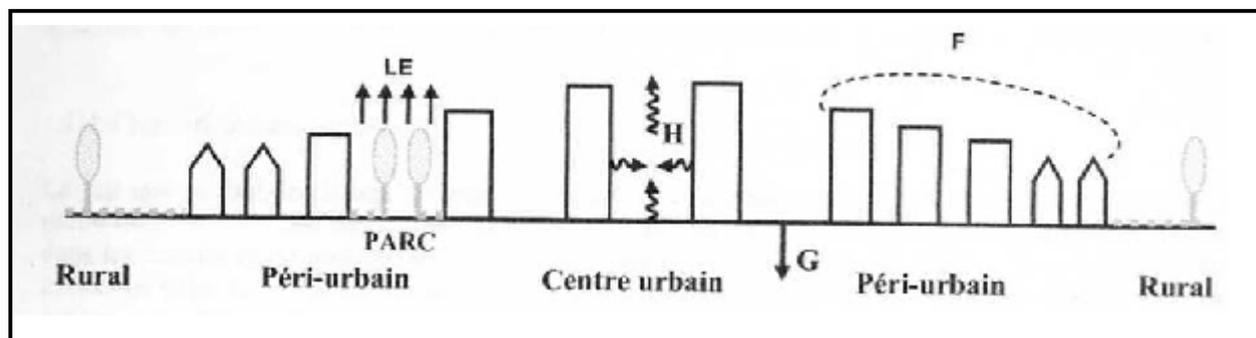
**Fig 2-19:** Eléments du bilan thermique d'une surface non urbaine.  
**Source:** WYPYCH.S, 2003

L'albédo de la ville varie entre 0.10 et 0.20 suivant sa structure et son climat, ces valeurs sont le plus souvent inférieures à celles des surfaces naturelles. Les échanges radiatifs entre la ville et la campagne sont illustrés par la Fig 2-20.



**Fig 2-20:** Echanges radiatifs en ville et à la campagne.  
**Source:** Hufty.A, 2001

Ce bilan peut être illustré par un autre schéma plus simplifié représenté ci-dessous par la Fig 2-21.



**Fig 2-21:** Bilan d'énergie au-dessus d'une ville.

**Source:** Nicolas Ringenbach, 2004

**Rn:le rayonnement net:** qui représente le bilan radiatif est généralement négligeable entre la ville et la campagne, car l'albédo assez faible en ville est équilibré par une émission d'infrarouge vers le haut plus grande, et l'effet du rayonnement solaire sur le bilan radiatif est compensé par une augmentation de l'infrarouge atmosphérique qui provient de la couche mixte, ce qui rend la différence entre la ville et la campagne (l'existence du phénomène d'îlot de chaleur urbain) aux autres éléments du bilan d'énergie.

**F:l'énergie anthropique:** cette énergie provient essentiellement du chauffage, de la circulation automobile et de la production industrielle. Elle dépend de la densité du bâti et la population de la ville. Parfois, l'énergie anthropique est une source d'énergie très importante, qui pourra même pour certaines villes dépasser le rayonnement net. L'émission anthropique de la chaleur est surtout un phénomène saisonnier, chauffage en hiver et réfrigération dans les régions à été chaud et humide.

Comme l'impact de l'énergie anthropique est fonction de l'utilisation des habitations, du climat et de la saison, il est difficile d'en tenir compte dans les modélisations du bilan thermique, ce qui peut être considéré comme négligeable.

**G:flux de chaleur dans le sol et les bâtiments:** la chaleur stockée dans l'ensemble des rues et des matériaux, varie au cours de la journée davantage en ville qu'à la campagne (l'absence de la végétation en ville et une meilleure capacité des matériaux à stocker l'énergie), plus d'énergie emmagasinée le jour et plus d'énergie rendue la nuit créent un décalage thermique d'une heure ou deux. Cette énergie est favorisée par

l'effet de piège entre les façades des immeubles, ainsi que par la présence de facettes verticales, qui augmentent l'aire de réception du rayonnement solaire. C'est la principale source d'énergie la nuit, ce qui explique un effet de chaleur urbain plus important quelques heures après le coucher du soleil, puisque cette énergie est restituée, tandis que la campagne se refroidit plus rapidement<sup>33</sup>.

**LE:flux de chaleur latente:** En ville, la chaleur latente qui représente l'énergie utilisée pour l'évaporation de l'eau, est très inférieure voir négligeable, car la pluie ruisselle sur des surfaces imperméabilisées, puis est évacuée par les égouts, contrairement à la campagne, où l'eau s'infiltre dans le sol, s'évapore, puis retourne dans l'atmosphère par ce processus ou par évapotranspiration du couvert végétal. En ville l'évapotranspiration est très faible du fait du remplacement de la végétation par des matériaux imperméables.

L'énergie non utilisée pour la restitution d'eau à l'atmosphère est répartie entre **G** et **H**. En effet, une partie est stockée dans le sol et les matériaux, avant d'être restituée dans la soirée, tandis que l'autre réchauffe les basses couches de l'atmosphère par convection sous forme d'un flux de chaleur sensible<sup>34</sup>.

**H: flux de chaleur sensible:** pendant la journée, le flux de chaleur sensible vers le haut augmente en ville dans la mesure où le flux de chaleur latente est négligeable. Pendant la nuit, les flux sont importants et dirigés vers le bas à la campagne à cause des inversions thermiques, mais ils sont faibles et dirigés en tous sens en ville. En effet, l'énergie stockée dans les matériaux est restituée la nuit, et continue à fournir H en énergie, qui peut ainsi rester positif la nuit en ville. Le refroidissement et la baisse de température de l'air mettent en évidence le rôle du flux de chaleur sensible dans le réchauffement de l'atmosphère, et confirme l'importance de ce processus dans l'intensité de l'îlot de chaleur urbain.

Les termes du bilan d'énergie sont tous affectés par le passage d'un milieu rural à la ville, la réduction de surfaces végétales et le fait que les matériaux urbains stockent

---

<sup>33</sup> RINGENBACH.Nicolas, « Bilan radiatif et flux de chaleur en climatologie urbaine: mesures, modélisation et validation sur Strasbourg », thèse de doctorat. Université Louis Pasteur Strasbourg.2004.p14

<sup>34</sup> RINGENBACH.Nicolas, « Bilan radiatif et flux de chaleur en climatologie urbaine: mesures, modélisation et validation sur Strasbourg », thèse de doctorat. Université Louis Pasteur Strasbourg.2004.p14

bien l'énergie mais pas l'eau font que H et G sont plus forts et LE moins fort qu'à la campagne.

Dans une ville, en journée, G représente 20 à 30% de Rn (contre 5 à 15 pour les surfaces végétales). H, qui dépend des gradients de température et des caractéristiques de la masse d'air est plus variable (de 20 à 75% de Rn), tandis que LE peut être quasiment nul dans les centres villes après une période sèche. La nuit, les valeurs de flux sont faibles, et H peut rester positif.

T.R.Oke (1999), de son côté résume le bilan d'énergie Fig 2-22 de la canopée urbaine dans l'équation suivante<sup>35</sup>:

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A \dots \dots \dots \text{EQU2.5}$$

Où:

$Q^*$  : Rayonnement net

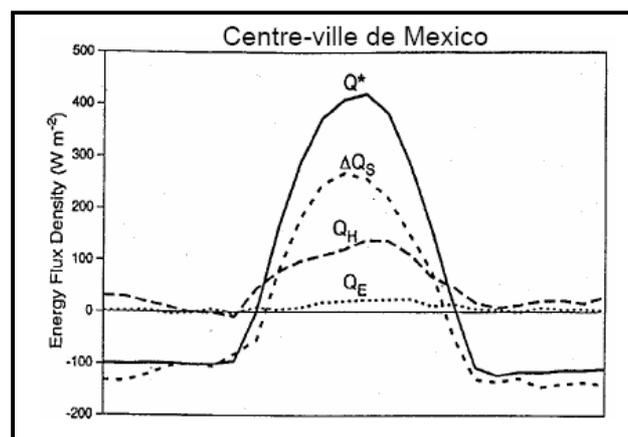
$Q_H$  : Flux de chaleur sensible

$Q_E$  : Flux de chaleur latente

$\Delta Q_S$  : Flux de stockage de la chaleur

$Q_F$  : Flux anthropogénique

$\Delta Q_A$  : Flux net d'advection de chaleur



**Fig 2-22:** Le bilan d'énergie de la canopée urbaine.

**Source:** Oke et al, 1999

<sup>35</sup> LEMONSU Aude, «Modélisation des processus de surface et de la couche limite en milieu urbain», Séminaire LEMONSU.

### **2-4-5-Le bilan radiatif et d'énergie dans une rue canyon:**

#### **a- Le bilan radiatif:**

Un groupe de chercheurs à l'université de Louis Pasteur à Strasbourg, a réalisé une campagne de mesures en climatologie urbaine. Parmi les sites de mesures, un échafaudage installé dans une rue a permis de réaliser des mesures continues de différents paramètres météorologiques, qui avaient pour objectif la documentation des différents processus physiques qui interviennent dans l'élaboration du microclimat à l'intérieur d'un canyon urbain.

Contrairement à d'autres études (Nunez et Oke, 1979) portant sur des canyons simplifiés (symétrie parfaite, couleur homogène, absence de fenêtres et de végétation) Le site choisi pour cette étude est une rue réelle, avec toute sa complexité, elle est orientée Nord Nord-Est, Sud Sud-Ouest ( $35^\circ$  par rapport au nord géographique). Ce canyon possède un indice proche de 1 ( $W/L = 0.9$ ), les façades sont relativement homogènes et symétriques et la végétation occupe une surface réduite.

Les mesures des différents flux radiatifs ont été réalisées à l'aide d'un dispositif très complet installé sur l'échafaudage Fig 2-23, disposés perpendiculairement à l'une des façades du canyon (celle qui fait face à l'Est Sud-Est), afin de pouvoir faire réaliser des mesures le long des parois, ainsi qu'au dessus de la rue à 4 niveaux de hauteur. Tous les instruments ont été installés sur des bras horizontaux permettant de déporter les appareils et de limiter l'influence de la structure de l'échafaudage.



**Fig 2-23:** Photographie de quelques instruments installés sur l'échafaudage.

**Source:** NAJJAR.G et al., 2005

Parmi les mesures réalisées, les flux radiatifs incident et réfléchi (pyranomètre) pour les courtes longueurs d'ondes, et les flux incident et émis, (y compris la partie réfléchie, par des pyrgéomètre).ces mesures ont été effectuées à la fois à l'horizontale et parallèlement aux murs.

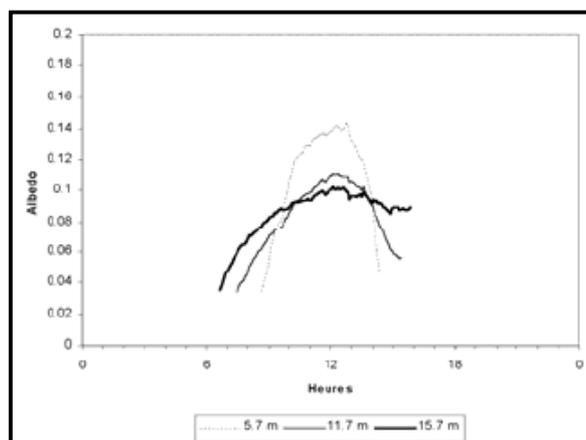
D'après les résultats obtenus, on peut récapituler le bilan radiatif à l'échelle du canyon urbain comme suit<sup>36</sup>:

#### ▼ **L'éclairement solaire à l'horizontal:**

Dans le canyon urbain, l'éclairement solaire incident mesuré à l'horizontale montre des différences importantes entre le sommet et la base qui s'expliquent par l'effet de masque exercé par les façades.

Le rayonnement solaire réfléchi mesuré à l'horizontale Fig 2-24 présente une évolution temporelle qui varie selon le niveau dans le canyon urbain. Le matin, il est plus important aux niveaux supérieurs. Ceci est dû au fait que les parties hautes du canyon sont éclairées en premier, donc réfléchissent une plus grande quantité d'énergies que les parties basses, qui sont encore à l'ombre. Au milieu de la journée, alors que le fond du canyon est entièrement éclairé par le soleil, cette tendance s'inverse: le rayonnement réfléchi est plus fort aux niveaux inférieurs qu'aux niveaux supérieurs.

La configuration en fin de journée est identique à celle du matin puisque, avec le soleil couchant, la base du canyon passe à l'ombre en premier, alors que les parties supérieures des façades encore éclairées sont capables de réfléchir une bonne part du rayonnement solaire reçu.



**Fig 2-24:** Albédos apparents calculés à plusieurs niveaux (5.7, 11.7, 15.7m est sommet) dans le canyon pour une journée ensoleillée.

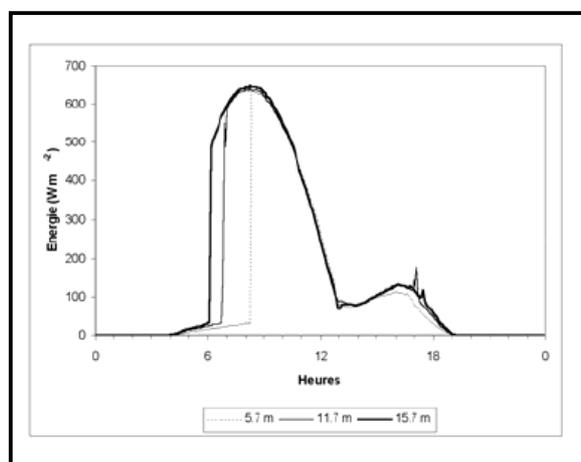
**Source:** NAJJAR.G et al., 2005

<sup>36</sup> NAJJAR.G, KASTENDEUCH.P.P, RINGENBACH.N, COLIN.J.R, STOLL.M.P, NERRY.F, BERNARD.J, DE HATTEN.A, LUHAHE.R, VIVILLE.D, « Bilans radiatif et d'énergie dans un canyon urbain », Annales de l'association internationale de climatologie, vol2, 2005.

Les données précédentes nous permettent de calculer un albédo apparent du canyon à chaque niveau. Ces albédos ont été uniquement calculés durant la période pendant laquelle le capteur était exposé directement au soleil. Les valeurs obtenues au sommet du canyon sont de l'ordre de 0.1 à 0.12 et restent faibles en comparaison des valeurs souvent constatées en milieu rural (0.2 pour la végétation; 0.11 à 0.15 pour la forêt, 0.2 à 0.3 pour un sol nu). Le comportement de l'albédo apparent est identique à celui du rayonnement réfléchi. Il augmente le matin et décroît l'après midi ( en variant parfois du simple au double) et quand on compare les niveaux, les valeurs de l'albédo diminuent en allant du sommet du canyon vers la base en début et en fin de journée, alors que c'est l'inverse en milieu de journée.

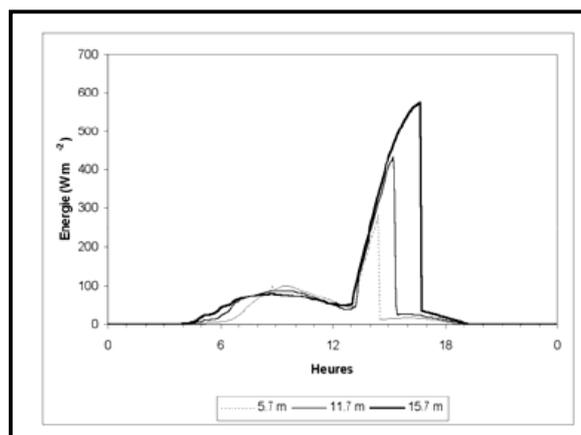
#### ▼ Le rayonnement solaire reçu par les façades:

Pour le cas étudié, le canyon est orienté Nord-Nord-Est, Sud-Sud-Ouest, le rayonnement direct éclaire alors alternativement les façades le matin et le soir. La face Est Sud-Est est d'abord éclairée le matin Fig 2-25 et Fig 2-26 et progressivement du sommet vers la base. La face Ouest Nord-Ouest est éclairée dans l'après-midi et l'ombre gagne progressivement de la base vers le sommet.



**Fig 2-25:** Rayonnement solaire global mesuré au centre du canyon par un albedomètre orienté verticalement pour une journée ensoleillée quand les capteurs sont tournés vers la face Est Sud-Est.

**Source:** NAJJAR.G et al., 2005



**Fig 2-26:** Rayonnement solaire global mesuré au centre du canyon par un albédomètre orienté verticalement pour une journée ensoleillée quand les capteurs sont tournés vers la face Ouest Nord-Ouest.

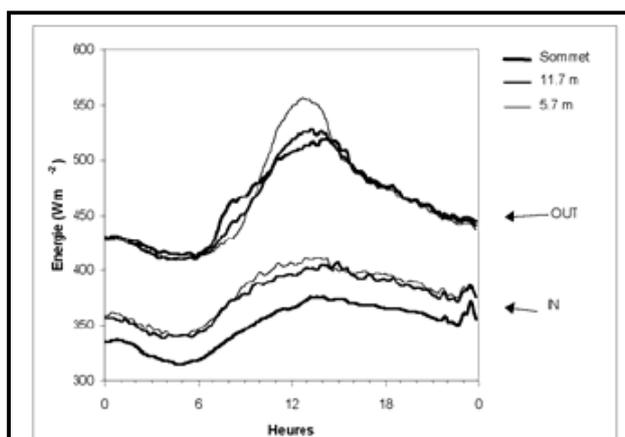
**Source:** NAJJAR.G et al., 2005

La dissymétrie entre les courbes est due à la géométrie du canyon, à son orientation, mais aussi au fait que le capteur ne soit pas situé exactement au milieu de la rue.

En dehors des périodes d'éclairement direct, les façades ne reçoivent que du rayonnement diffus et réfléchi. Ce dernier présente une dissymétrie qui est due notamment à la différence d'albédo des matériaux des deux façades.

#### ▼ **Le rayonnement infrarouge:**

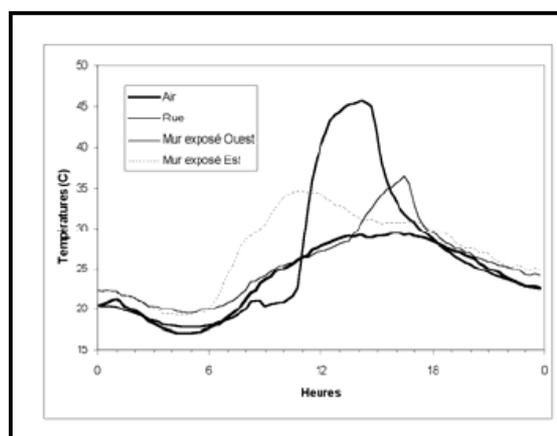
Pour le rayonnement infrarouge descendant, les mesures réalisées au sommet et à deux niveaux du canyon (5.7 et 11.7m) montrent une évolution journalière similaire. A l'intérieur du canyon Fig 2-27, la différence entre les valeurs mesurées est très faible, avec des valeurs légèrement supérieures pour le niveau le plus bas, notamment en milieu de journée. L'infrarouge incident au sommet est en moyenne inférieur de  $30w/m^2$  à celui à l'intérieur du canyon. Cette différence est due au fait que l'infrarouge mesuré au sommet du canyon provient essentiellement de l'atmosphère, alors que les capteurs placés dans le canyon intègrent une quantité non négligeable d'infrarouge en provenance des façades.



**Fig 2-27:** rayonnement infrarouge descendant (IN) et ascendant (OUT) mesuré à 3 niveaux (5.7, 11.7m et sommet) dans le canyon pour une journée ensoleillée.

**Source:** NAJJAR.G et al., 2005

Les valeurs mesurées de l'infrarouge ascendant sont beaucoup plus élevées que celles de l'infrarouge descendant. Les courbes montrent très peu de différences au cours de la nuit entre le sommet et l'intérieur du canyon, ce qui peut s'expliquer par un équilibre thermique entre les façades, la surface de la rue Fig 2-28 et l'air à l'intérieur du canyon.



**Fig 2-28:** Evolution des températures dans le canyon pour une journée ensoleillée. La température de l'air, la température de surface des deux façades du canyon et de la rue.

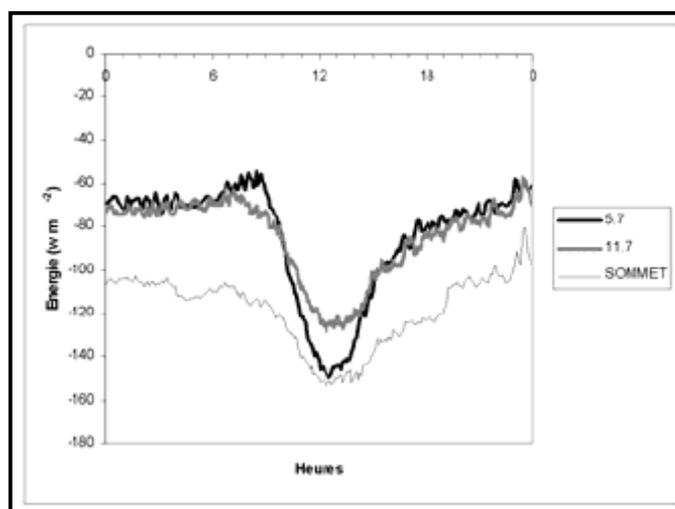
**Source:** NAJJAR.G et al., 2005

Pendant la journée, des différences notables apparaissent et on peut distinguer deux types d'évolution en fonction de l'éclairement du canyon. Le premier en début de matinée où les parties hautes des façades sont éclairées en premier, ce sont elles qui s'échauffent le plus par rapport au fond du canyon. Ceci explique pourquoi l'infrarouge ascendant augmente au fur et à mesure que l'on s'élève dans le canyon, puisque les capteurs les plus élevés intègrent dans leur champ de vision une plus grande proportion de surfaces éclairées que de surfaces à l'ombre. Et le second, en

milieu de journée, où le canyon est entièrement éclairé et c'est la rue qui reçoit le plus efficacement le rayonnement solaire, ce qui se traduit par un réchauffement intense et permet d'expliquer aisément pourquoi le rayonnement infrarouge est plus fort au niveau le plus bas.

#### ▼ **Le bilan du rayonnement infrarouge:**

Le bilan du rayonnement infrarouge, qui représente la différence entre les rayonnements infrarouges descendant et ascendant, est négatif à tous les niveaux. Au sommet du canyon, la valeur moyenne du bilan du rayonnement infrarouge est de l'ordre de  $-120\text{w/m}^2$ , avec une pointe autour de midi qui est de  $-150\text{w/m}^2$  (Fig 2-29). Dans le canyon, les deux autres niveaux ont des bilans du rayonnement infrarouge très proches pendant la nuit, ce qui est dû à une homogénéisation des températures au niveau des façades de la rue et de l'air à l'intérieur du canyon. Mais ces bilans restent largement supérieurs (de l'ordre de  $35\text{w/m}^2$ ) à celui du sommet. En effet à l'intérieur du canyon, le rayonnement descendant est favorisé par une contribution des façades dont la température radiative est nettement supérieure à celle de l'atmosphère libre, qui intervient seule au niveau du sommet. Dans la journée le bilan du rayonnement infrarouge de ces deux niveaux se différencie nettement, et celui du niveau le plus bas devient le plus déficitaire, puisqu'il réagit fortement à l'augmentation de la température de surface de ma rue. C'est autour de midi, heure du maximum de la température de surface au niveau de la rue, que le bilan du rayonnement infrarouge atteint simultanément son maximum aux 3 niveaux.

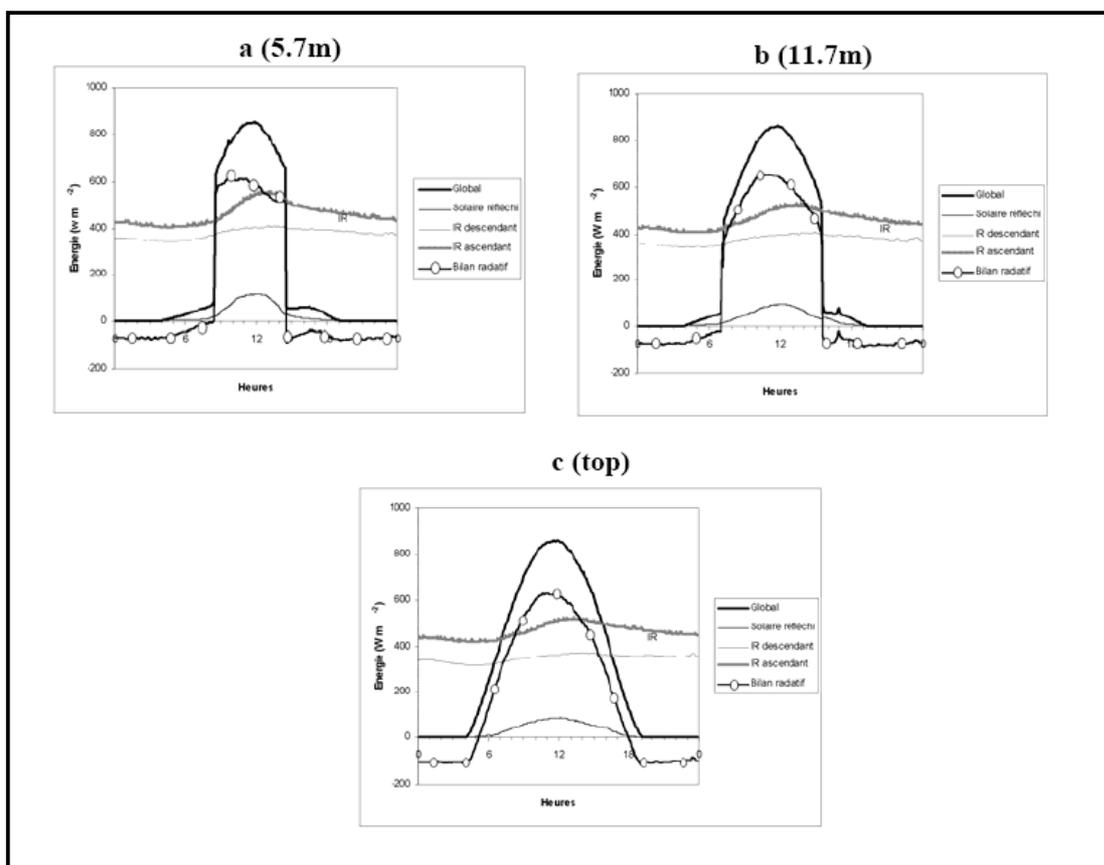


**Fig 2-29:** Bilan horizontal du rayonnement infrarouge pour une journée ensoleillée à 3 niveaux dans le canyon.

**Source:** NAJJAR.G et al., 2005

### ▼ Le bilan radiatif à l'horizontale:

Le bilan radiatif dépend très fortement de la géométrie du canyon urbain et particulièrement du rapport (H/L). La durée pendant laquelle ce bilan est positif diminue en allant vers le fond du canyon (6h pour le niveau 1 contre 13h au sommet du canyon). Ce déséquilibre radiatif constaté entre les différents niveaux joue un rôle moteur dans l'établissement de la circulation de l'air à l'intérieur de la rue et par conséquent dans les phénomènes de dispersion. De plus le passage d'un bilan radiatif positif à un bilan radiatif négatif est brutal au fond du canyon Fig 2-30, contrairement à ce qu'on observe au sommet, en raison de l'influence de l'éclairement direct. Les valeurs fortement négatives du bilan de rayonnement infrarouge autour de midi et à tous les niveaux provoquent un décalage du maximum du bilan radiatif vers le matin, décalage qui s'accroît en allant vers le fond du canyon.



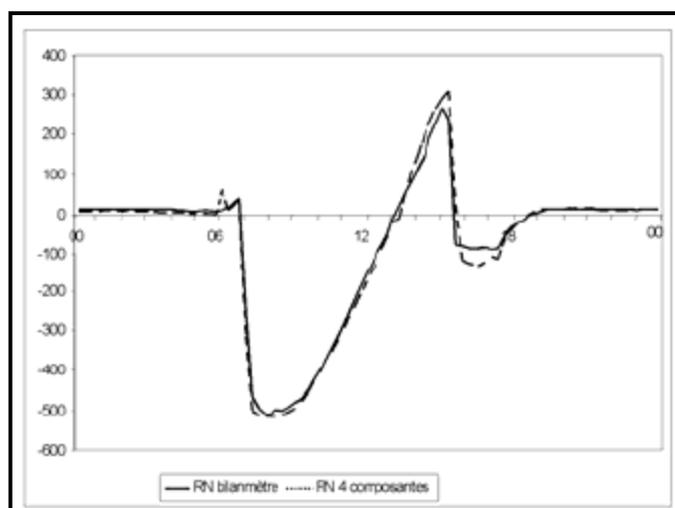
**Fig 2-30:** Bilan radiatif à l'horizontale et ses composantes pour la journée ensoleillée à 3 niveaux dans le canyon. Le bilan radiatif s'obtient en additionnant le global à l'IR descendant et en retranchant le solaire réfléchi et l'IR ascendant.

**Source:** NAJJAR.G et al., 2005

### ▼ Le bilan radiatif mesuré parallèlement aux murs:

L'un des paramètres clés dans la validation des modèles physiques à l'échelle du canyon est le bilan des échanges entre les façades. Pour acquérir ces valeurs, les chercheurs ont procédé à des mesures de deux manières différentes:

- La première en utilisant un bilan-mètre placé au bord de l'échafaudage et parallèlement aux murs. Cet appareil enregistre directement le bilan des échanges.
- La deuxième par des mesures séparées des différentes composantes des bilans radiatifs des murs.



**Fig 2-31:** Comparaison du bilan radiatif mesuré (RN bilan-mètre) et reconstitué à partir des composantes du rayonnement (RN 4 composantes).

**Source:** NAJJAR.G et al., 2005

La figure 2-31 montre le résultat de la comparaison du bilan des échanges entre les façades mesurés directement et calculés à partir des paramètres séparés (le sens des flux est choisi arbitrairement: l'un des murs est considéré dans le sens positif et l'autre dans le sens négatif). Il est à noter la bonne concordance entre les deux méthodes, mais aussi le comportement nocturne de ces échanges, dont le bilan est très proche de zéro, c'est-à-dire de l'équilibre thermique, ce qui est confirmé par les mesures des températures de surface et de l'air. En journée, il est à noter un déséquilibre des échanges radiatifs entre la face ensoleillée et celle à l'ombre.

**b- Le bilan d'énergie:**

En 1977, Oke et Nunez étaient les pionniers à identifier les connaissances de base du bilan d'énergie pour le canyon urbain. Leur étude portait sur une rue se situant à Vancouver (49°N) orientée Nord-Sud, avec un rapport d'aspect proche à l'unité et presque symétrique ( $H1/W=0.86$  et  $H2/W=1.15$ ). Les murs sont en béton, peints en blanc et sans fenêtres; une végétation éparse est aussi disponible.

Le bilan d'énergie pour les deux murs et le sol est donné par:

$$Q^*_{\text{mur}} = Q_H + \Delta Q_s \dots\dots\dots\text{EQ2.6}$$

Et

$$Q^*_{\text{sol}} = Q_H + Q_E + \Delta Q_s \dots\dots\dots\text{EQ2.7}$$

Où :

$Q^*$  : est la radiation nette de toutes les ondes,

$Q_H$  : est le flux de chaleur sensible,

$Q_E$  : le flux de chaleur latente,

$\Delta Q_s$  : est l'énergie emmagasinée dans les murs.

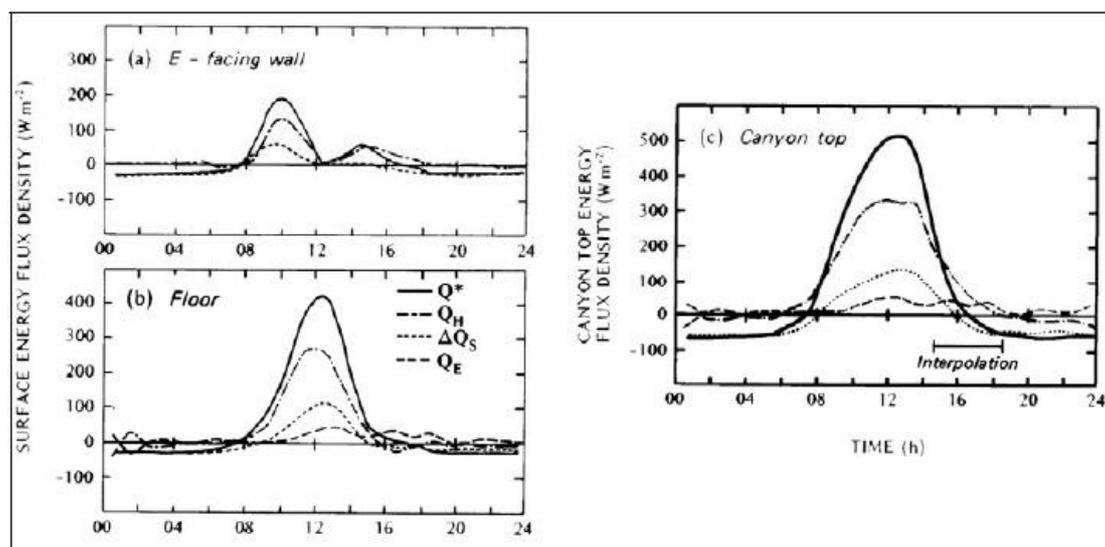
L'advection est négligée et la chaleur anthropogénique est incluse dans  $\Delta Q_s$ .

Toutes les composantes d'énergie étaient mesurées pendant trois jours, mais le flux de chaleur sensible est obtenu comme résiduel.

Les résultats fondamentaux montrent que l'influence de la géométrie du canyon sur les échanges radiatifs affecte fortement le rythme et l'importance du régime d'énergie pour les surfaces du canyon particulièrement et sont différents pour tout autre.

L'orientation aussi s'est trouvée d'une importance évidente sur le bilan d'énergie.

La figure ci-dessous (Fig 2-32) illustre le cours diurne de tout le flux pour le sol, la face Est du mur et le système urbain (canyon top).



**Fig 2-32:** Le bilan d'énergie diurne d'un canyon urbain orienté N-S avec  $H/W \approx 1$  pour une journée ensoleillée d'été à Vancouver ,  $49^\circ\text{N}$ .

**Source:** Nunez et Oke, 1977.

La face Est du mur est la première irradiée pendant la matinée et le second pic pendant l'après midi correspond à la radiation diffuse principalement réfléchié par le mur opposé, qui a eu le maximum d'irradiation pendant ce temps.

D'après l'orientation N-S, le sol est exposé à midi et les murs Est et Ouest pendant 1.5 heures avant et après le soleil de midi. Par jour, autour de 60% du surplus de l'énergie radiante est dissipée comme un flux de chaleur sensible, 25-30% emmagasinée dans les matériaux et 10% transférée en l'air comme chaleur latente<sup>37</sup>.

Le cours (l'évolution) diurne du bilan d'énergie du système canyon est relativement égal et symétrique, comparable à la surface horizontale, en dépit des différentes combinaisons des échanges d'énergie pour chaque surface. Cela est dû à la convection de l'énergie de chaleur hors du canyon, puisque le reste est emmagasiné dans les matériaux.

Pendant la nuit, le déficit du net radiatif est presque entièrement compensé par la libération d'énergie emmagasinée ( $\Delta Q_s$ ) dans les matériaux du canyon et les échanges turbulents sont mineurs. D'ailleurs la direction et la vitesse du vent aussi bien que la nature de l'environnement thermique, peuvent contribuer aux mouvements advectifs qui, cependant, ne pourra pas excéder  $100\text{w/m}^2$ . Finalement, les auteurs proposent

<sup>37</sup> NUNEZ, OKE in: ALI TOUDERT.Fazia, « Dependence of outdoor thermal comfort on street design in hot and dry climate », thèse de doctorat, université de Freiburg, 2005, p26.

qu'avec un écoulement d'air dirigé à un angle, en relation avec l'axe du canyon, il apparaît comme si le transport par le moyen du flux peut être important.

### **2-5-Conclusion:**

La réflectivité ou "albédo" est une notion liée directement au rayonnement solaire, c'est le rayonnement (énergétique ou lumineux) réfléchi par une surface au rayonnement incident.

L'albédo fait partie des composantes du bilan radiatif qui est l'équilibre entre l'énergie solaire arrivant sur la terre, et celle réémise par la planète. Cette énergie peut être directement renvoyée vers l'espace, essentiellement par les nuages et la surface terrestre, ou bien elle peut être absorbée puis réémise sous la forme de chaleur.

Les études sur le bilan radiatif sont un enjeu majeur de la recherche sur le climat.

Le bilan radiatif de la terre dresse la quantité d'énergie reçue par le système climatique terre-atmosphère et la quantité d'énergie réémise vers l'espace.

La quantité qui arrive au sommet de l'atmosphère est la même qui en repart.

Lorsque le bilan est nul, la température moyenne de la planète est stable, alors que si le bilan radiatif au sol est modifié de  $4 \text{ w/m}^2$ , cela entraîne une augmentation de la température de la terre de 1 à 4 °C!

La complexité et le nombre des paramètres et la façon dont ils interagissent est essentielle à comprendre, tout comme l'influence de l'homme sur cet équilibre fragile, pour prédire -et anticiper!- le climat du futur.

En ville, le bilan radiatif est la réponse physique radiative de la surface à la réception d'énergie solaire et à l'équilibre thermodynamique qui s'établit compte tenu des sources internes d'énergie et des échanges avec l'atmosphère.

L'équilibre d'énergie est assuré quand la somme du rayonnement net avec l'énergie anthropique, sera égale à la somme des flux de chaleur sensible, latente et dans le sol et les bâtiments.

## CHAPITRE 3:

*Le confort thermique extérieur.*



**3-1-Introduction:**

Le confort thermique est une sensation du bien être et de satisfaction, il a été largement étudié au niveau de l'intérieur, mais actuellement beaucoup de recherches récentes visent à le contrôler et le maîtriser au niveau des espaces extérieurs.

Les espaces extérieurs urbains notamment les rues sont les premiers à être touchés par la dégradation du degré de confort surtout aux endroits chauds et arides, les chercheurs se sont alors penchés sur l'analyse des causes de cette dégradation en essayant de la remédier et de concevoir de nouveaux espaces qui répondent le mieux aux exigences du bien être du piéton, et qui pourront être qualifiés de confortables.

Les paramètres influençant les conditions thermiques à l'extérieur bien que semblables à ceux rencontrés à l'intérieur, occupe une plus grande palette et sont variables, c'est pourquoi les tentatives de la compréhension du confort en conditions extérieures demeurent peu nombreuses à cause de cette complexité et variabilité.

Dans le présent chapitre, il est question de mettre au clair la notion du confort, en suite d'analyser le confort thermique dans les espaces extérieurs selon plusieurs études récentes, puis de spécifier l'étude à la rue tout en ayant soin de récapituler les expériences et études menées dans le domaine de la réflectivité, pour aboutir à la définition des conditions de confort thermique extérieur, ainsi que la détermination de la notion de sensation thermique et son évaluation.

### **3-2-La notion du confort thermique:**

Le confort thermique peut être défini comme étant " l'état d'esprit qui exprime la satisfaction vis-à-vis de l'environnement thermique " (A.S.H.R.A.E.).

La réponse physiologique d'un occupant ("sensation physique" qui entre pour partie dans "l'état d'esprit") sera déterminée principalement par les échanges thermiques entre l'occupant et son environnement.

Elle sera complétée par des réponses psychologiques<sup>1</sup>.

Le confort est une sensation subjective, qui en lui-même n'existe pas, ce n'est que par l'inconfort qu'on peut l'apprécier.

Le confort thermique est défini aussi en tant que l'état d'esprit qui exprime la satisfaction par rapport à l'environnement thermique. La sensation des personnes par rapport à l'ambiance thermique est affectée non seulement par la température de l'air, les températures des surfaces, le mouvement d'air et l'humidité d'air, mais aussi par la tenue vestimentaire des individus et l'activité physique qu'ils pratiquent. Les individus s'adapteront pour assurer leur confort, ainsi le contrôle des usagers de l'ambiance thermique est important.

### **3-3-Indices de confort thermique:**

Il y a plusieurs indices qui permettent d'évaluer le confort extérieur dans le milieu urbain, mais actuellement cela c'est encore améliorer d'avantage au point de développer des modèles qui permettent de prédire les conditions de confort thermique en utilisant des données aisément accessible, parmi lesquels il y a ce qu'on appelle l'indice de confort urbain qui permet le calcul du vote de sensation effective ASV (Actual Sensation Vote), le vote moyen prévisible PMV (Predicted Mean Vote), la température physiologique équivalente PET( Physiological Equivalent Temperature), ainsi que la température moyenne radiante MRT (Mean Radiant Temperature).

#### **3-3-1-Le vote moyen prévisible ( PMV ):**

Le vote moyen prévisible était défini par Fanger en 1972. Il relie le simple équilibre d'énergie du corps humain au confort thermique de la personne. Normalement la valeur du PMV est utilisée entre -4 (très froid) à +4 (très chaud), mais comme elle a une relation avec l'équilibre d'énergie, elle pourra aussi atteindre

---

<sup>1</sup> **SOL.A.I.R, architectes, ingénieurs**, « *Conception thermique de l'habitat. Guide pour la région Provence-Alpes-Côtes d'Azur* », agence française pour la maîtrise de l'énergie, éd. Edisud, 1988, p13.

des valeurs plus élevées ou plus basses (Höppe, 1993 et 1999, Mayer et Matzarakis, 1997).

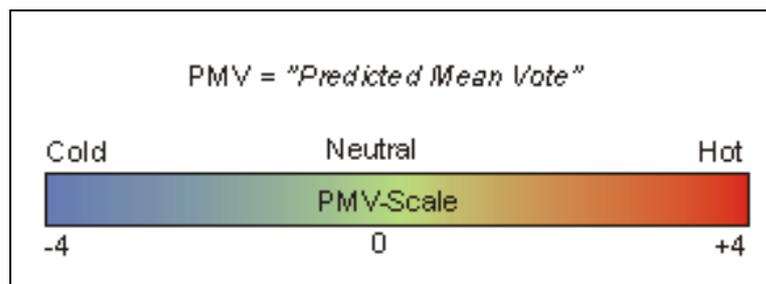
Fanger est arrivé à l'évaluation moyenne de l'environnement thermique par le moyen du vote moyen prévisible (PMV) pour un grand échantillon d'individus en se basant sur les sept échelles de confort définies par ASHRAE, comme indiqué par le Tab 3-1.

Valeur du " PMV "	Sensation humaine
-3	Très froid
-2	Froid
-1	Frais légèrement frais
0	Confortable
+1	Légèrement chaud
+2	Chaud
+3	Très chaud

**Tab 3-1:** Classification des valeurs du PMV selon les sept échelles de confort de "ASHRAE".

**Source:** Mayer.H, 1993.

Or, Michael Bruse dans ses travaux effectués lors de l'actualisation de son programme de simulation a adopté neuf échelles de confort Fig 3-1 propres aux espaces extérieurs.



**Fig 3-1:** Classification des valeurs du PMV selon neuf échelles de confort.

**Source:** Bruse Michael, 2004.

Le modèle du PMV utilisé par Envi-met est une adaptation spéciale aux conditions extérieures, développé par Jendritzky<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> <http://www.envi-met.com>

### **3-3-2-Le vote de sensation effective ( ASV ):**

La sensation thermique des individus dans les espaces extérieurs peut être décrite par les conditions thermiques évaluées à partir des campagnes de mesure, cette sensation est évaluée à partir d'une échelle présentant 5 niveaux allant de "très froid " à "très chaud".

### **3-3-3-La température moyenne radiante (MRT):**

La température moyenne radiante est la variable clé dans l'évaluation de la sensation thermique des espaces extérieurs sous des conditions d'ensoleillement sans se soucier des indices de confort utilisés.

La température moyenne radiante est par définition «la température d'une enceinte "noire" dans laquelle un individu échangerait la même quantité de chaleur par rayonnement et convection que dans son environnement réel », il s'agit donc d'un indicateur thermique intégrant déjà plusieurs systèmes d'échanges. Le rayonnement (infrarouge et visible) et la convection.

Matzarakis et al., en 1999, définissent la température moyenne radiante ( $T_{mrt}$ ) comme étant "une température uniforme d'une surface environnante donnée par la radiation d'un corps noir (coefficient d'émission  $\varepsilon = 1$ ) qui résulte dans le gain de la même énergie du corps humain comme des flux de radiations dominants".

La mesure de cette grandeur se fait directement au moyen d'une enceinte absorbante, conductrice et de faible inertie thermique "abritant" une sonde thermique.

La température moyenne radiante est la somme des températures totales des surfaces qui entourent le corps humain.

Le bilan radiatif est étroitement lié à l'état de la surface du sol. Il dépend en effet de son albédo, de son émissivité, de sa conductivité thermique, de son évaporation et de la vitesse du vent.

### **3-3-4-La température physiologique équivalente (PET):**

La PET est une des indices bioclimatiques les plus populaires et utiles, parce qu'elle a une large unité connue ( $^{\circ}\text{C}$ ), qui donne des résultats simplifiés pour les concepteurs et les décideurs.

Mayer et Matzarakis, en 1997, définissent la PET comme la température de l'air à laquelle l'équilibre d'énergie humain pour les conditions intérieures supposées est équilibré par la même température de peau et le taux de sueur tel que calculé pour des conditions extérieures actuelles.

En 2002, Gianni.Scudo, définit la PET comme étant la température de l'air à laquelle le bilan énergétique pour des conditions d'intérieur assumées est caractérisé par la même température du corps humain et de la peau et le même taux de sueur que ceux calculés pour les conditions extérieures réelles.

### **3-4-Le confort thermique dans les espaces extérieurs:**

Le confort thermique de l'homme dans différents environnements urbains a été abordé par H.Mayer et P.Höppe<sup>3</sup> en 1987, par une recherche très riche qui a constitué une base pour les recherches qui succédèrent, il s'agissait d'une campagne de mesure effectuée dans un site qui représente trois structures urbaines distinctes se situant à l'intérieur d'une ville à Munich, pendant une journée chaude d'été du 29 juin 1985. Sur la base de ces mesures ont été calculés les indices biométéorologiques tel que : le vote moyen prévisible (PMV), le moiteur de la peau, et la température physiologique équivalente (PET).

Le modèle de MEMI (Munich Energy-balance Model for Individuals) consiste en trois équations qui sont:

- a) l'équation du bilan d'énergie du corps total:

$$\boxed{H + R + C + E_D + E_{Sw} + E_{Re} + L = 0} \quad \text{.....EQU3-1}$$

Où H est le flux de chaleur interne produit par le métabolisme, R est la radiation nette du corps, C est le transfert de chaleur convective,  $E_D$  est le flux de chaleur latente par diffusion de la vapeur d'eau,  $E_{Sw}$  est le flux de chaleur latente due à la respiration et L est le flux de chaleur sensible due à la respiration. Dans l'équation EQU3-1 les pertes de chaleurs ont été entrées avec les signes négatifs, tous les flux de chaleurs avaient pour unité  $w/m^2$ .

- b- L'équation du flux de chaleur  $F_{CS}$  à partir du corps vers la peau:

$$\boxed{F_{CS} = A_{Du} V_B \rho_B c_B (T_C - T_{sk})} \quad \text{.....EQU 3-2}$$

Où  $A_{Du}$  est la zone de surface de la peau (en  $m^2$ ),  $V_B$  densité de la circulation du sang à partir du corps vers la peau (en  $l/s/m^2$ ),  $\rho_B$  est la densité du sang (kg/l),  $c_B$  est la

<sup>3</sup> **MAYER.H, HÖPPE.P**, "Thermal Comfort of Man in Different Urban Environments", Theor.Appl.Climtol.38, 43-49 (1987).

capacité spécifique de la chaleur du sang (en J/kg/K),  $T_C$  est la température du corps et  $T_{sk}$  est la température moyenne de la peau (en °C).

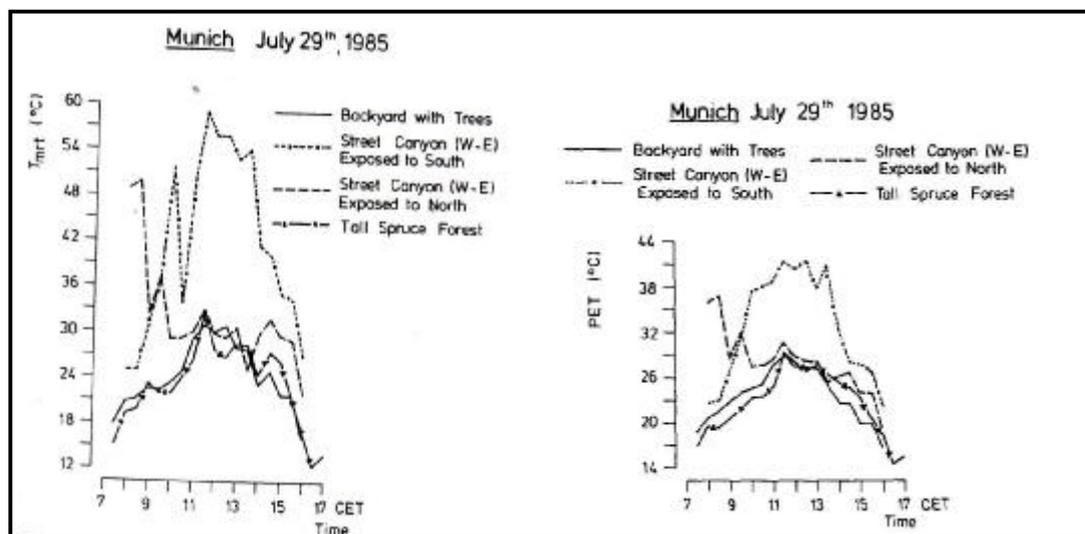
c- L'équation du flux de chaleur  $F_{sc}$  à partir de la peau à travers la couche des vêtements à la surface extérieure des vêtements (qui est similaire au modèle de Fanger 1972):

$$\boxed{F_{SC} = A_{Be} / R_{cl} (T_{sk} - T_{cl})} \dots\dots\dots \text{EQU 3-3}$$

Où  $A_{Be}$  est la surface du corps vêtu (en  $m^2$ ),  $R_{cl}$  est la résistance des vêtements au transfert de chaleur (en  $m^2k/w$ ) et  $T_{cl}$  est la température de surface des vêtements (en °C).

Ce système d'équations permet une quantification définitive de trois quantités inconnues c'est-à-dire La température moyenne de la peau, la température des vêtements et la température du corps, quand les paramètres météorologiques (température de l'air, la pression de la vapeur, la vitesse de l'air et la température moyenne radiante) et les paramètres personnels (âge, sexe, poids, taille, le taux métabolique, la résistance des vêtements au transfert de chaleur, la position du corps) sont définis.

Les résultats obtenus pour la  $T_{mrt}$  et la PET sont les suivants Fig 3-2:



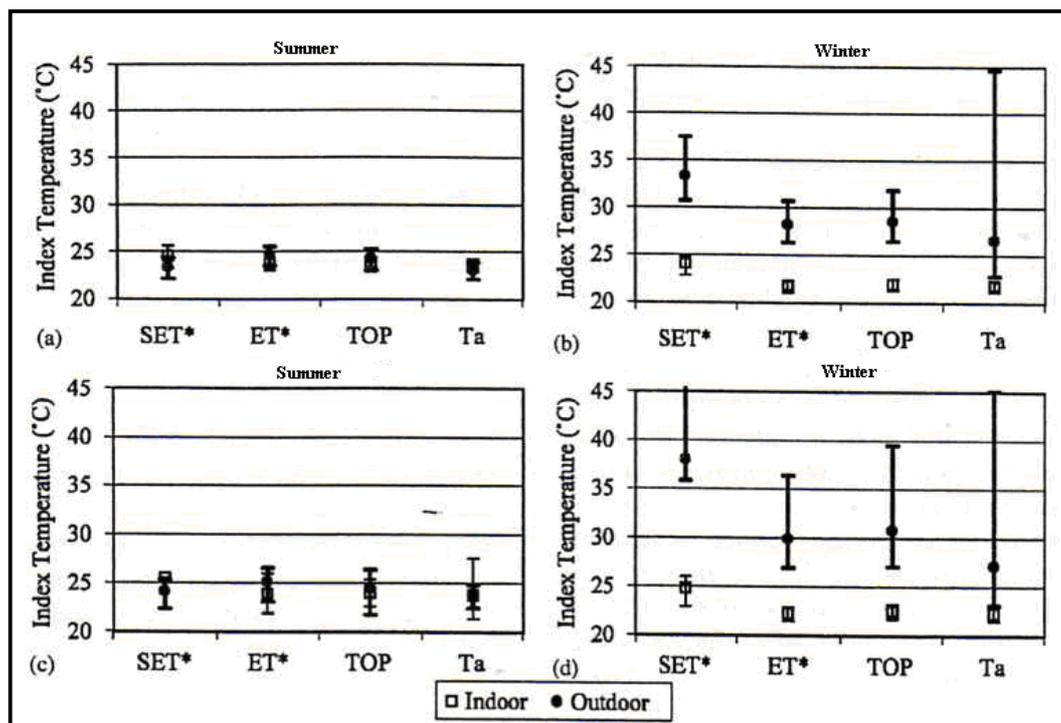
**Fig 3-2:** La température moyenne radiante ( $T_{mrt}$ ) et la température physiologique équivalente ("PET) en trois structures urbaines à Munich et dans un espace de troncs tout près de la forêt des hauts sapins pendant une journée chaude d'été.

Source: H.HÖPPE et H.MAYER, 1987

Un but important de cette étude était de fournir des données quantitatives pour l'estimation du contenu thermique dans différents microclimats urbains afin d'attribuer l'importance au facteur "climat urbain" dans la planification urbaine. Donc, il est

nécessaire d'estimer le stress thermique dans d'autres structures urbaines et aussi dans d'autres régions climatiques.

\* Une autre recherche très riche et aussi importante que la première a été menée en 2003, par Jennifer Spagnolo et Richard de Dear<sup>4</sup>, concernant un champ d'études du confort thermique dans des environnements ouvert et semi-ouverts pour un climat subtropical de Sydney en Australie. Par cette étude les auteurs clarifient que dans l'absence d'études empiriques et des modèles qui se rapportent directement aux situations extérieures, il y a eu une supposition que la théorie conventionnelle du confort thermique développé dans les applications intérieures peut être généralisée dans le cadre de l'extérieur avec des modifications. En faisant une comparaison entre la neutralité thermique et la préférence des personnes à l'intérieur et à l'extérieur, les auteurs arrivent à une température neutre extérieure OUT-SET\* de 26.2°C contre une température neutre intérieur SET\* de 24°C. La différence entre les indices de l'intérieur et ceux de l'extérieur est plus prononcée en hiver qu'en été, comme indiquée par la Fig 3-3.



**Fig 3-3:** Comparaison saisonnière entre l'indice neutre et l'indice préférentiel de température entre l'intérieur et l'extérieur en été et en hiver.

**Source:** J.SPAGNOLO et R.de DEAR, 2003

<sup>4</sup> SPAGNOLO.Jennifer, DE DEAR.Richard, "A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia", Building and Environment 38 (2003) 721-738.

En été il s'avère que les personnes préfèrent les mêmes environnements qu'ils rencontreraient dans un environnement standard de bureau, pourtant en hiver, en dépit des températures inférieures d'indices étant produites dans les bâtiments climatisés, les gens généralement préfèrent d'être beaucoup plus chaud, quoique dans une certaine mesure ils aient déjà compensé les températures inférieures d'indice en augmentant leur quantité de pouvoir isolant des vêtements.

\* La conception bioclimatique urbaine exige la compréhension du confort thermique extérieur ainsi que son évaluation, en effet les approches biométéorologiques humaines ont un rôle important dans l'application de la climatologie urbaine. Plusieurs indices thermiques différents, étaient développés durant les dernières décades pour décrire le confort humain ou le stress du corps humain basé sur les flux d'énergie entre le corps et l'environnement.

Des investigations biométéorologiques récentes ont été effectuées au sud-est de la ville hongroise Szeged<sup>5</sup> (population 160.000). D'un point de vue de la biométéorologie humaine, la question était si le corps examiné est à l'ombre ou exposé aux radiations directes. L'échantillon choisi se situe dans un tissu dense en plein centre urbain avec des rues étroites et des vieux arbres âgés de 20 à 30 ans (20-30m de hauteur), alors les flux de radiations ont été déterminés en gros par ces facteurs. Cette étude montre comment les indices bioclimatiques, le vote moyen prévisible (PMV), la température physiologique équivalente (PET), dépendent de la situation des radiations à certaines places.

Tous les calculs, TMR, PMV et PET, ont été exécutés par le modèle Ray Man.

Un des facteurs du stress environnemental sur l'être humain vivant dans les centres urbains, c'est l'effet des conditions climatiques partiellement artificielles, qui sont principalement formées par les surfaces bâties.

Une tâche importante des recherches bioclimatologiques, c'est d'évaluer thermo-physiologiquement l'environnement thermique et radiatif des êtres humains, parce qu'elle détermine le fond de l'équilibre d'énergie du corps (Höppe, 1993). L'estimation physiologique pertinente du climat urbain, et surtout les différents microclimats

---

<sup>5</sup> GULYAS.A, UNGER.J, BALAZS.B and MATZARAKIS.A, "Analysis of the bioclimatic conditions within different surface structures in a medium-sized city (Szeged, Hungary)", Acta climatologica et chronologica, Universitatis Szegediensis, tom.36-37, 2003, 37-44.

urbains, demande l'utilisation de méthodes et indices qui combinent les éléments météorologiques avec les paramètres personnels (Mayer, 1993). Les issues du confort humains et les indices quantitatifs bioclimatologiques génèrent une information précieuse pour les concepteurs et urbanistes, en les aidant à augmenter le bien-être de la population urbaine par des plans convenables et un environnement sain. Cette étude est basée sur des études bioclimatiques en avance et d'autres climatologiques urbaines récentes à la ville hongroise de Szeged. Les études récentes montrent que sur une moyenne annuelle l'intensité de l'îlot de chaleur est de 2.7°C, a été mesurée à Szeged qui peut s'étendre jusqu'à 6.8°C dans des conditions de temps claires et anticycloniques. Cela signifie un stress thermique significatif au corps humain, surtout en été.

Une multitude de modèles pour estimer les flux de radiations et l'équilibre en énergie du corps humain dans des environnements différents, incluant divers paramètres météorologiques, l'albédo des surfaces et les proportions de l'angles solide (Fanger, 1972, Gagge et al., 1986, Höppe, 1999, Matzarakis et al., 2000, Spagnolo et de Dear, 2003). Le modèle utilise des indices de confort complexe, par exemple: Le vote moyen prévisible (PMV) et la température physiologique équivalente (PET), pour évaluer le stress thermique sur le corps (Voir Tab 3-2). La plupart des indices sont basés sur la température moyenne radiante (T<sub>mrt</sub>), qui est un paramètre d'entrée très important pour l'équilibre d'énergie durant le temps ensoleillé (Matzarakis et al., 2000).

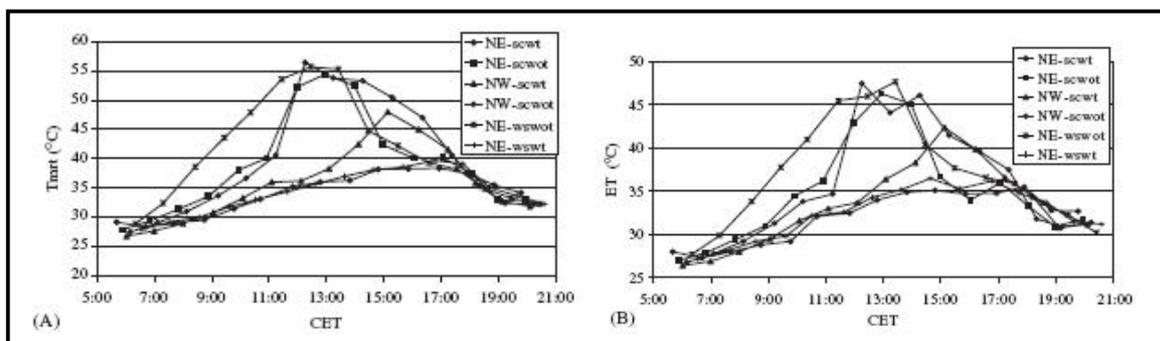
PMV	PET (°C)	Human sensation	Thermal stress level
-3.5	4	very cold	extreme cold stress
		.....	.....
-2.5	8	cold	strong cold stress
		.....	.....
-1.5	13	cool	moderate cold stress
		.....	.....
-0.5	18	slightly cool	slight cold stress
		.....	.....
0.5	23	comfortable	no thermal stress
		.....	.....
1.5	29	slightly warm	slight heat stress
		.....	.....
2.5	35	warm	moderate heat stress
		.....	.....
3.5	41	hot	strong heat stress
		.....	.....
		very hot	extreme heat stress

**Tab 3-2:** Comparaison des intervalles du PMV et PET pour des sensations humaines différentes et le niveau de stress thermique par les êtres humains. (Production de la chaleur interne:80w, résistance de transfert de chaleur des vêtements:0.9clo)

**Source:** Matzarakis et al., 1999

Un des modèles bioclimatiques récents utilisés est le modèle RayMan, qui est bien fait pour calculer les flux de radiations parce qu'il considère très précisément l'effet d'une structure urbaine complexe (Matzarakis, 2002). Parmi d'autres, la sortie finale du modèle est dans des coordonnées polaires de la surface incluant la course du soleil du jour d'observation, avec l'ombre des bâtiments, des arbres, ou autres obstacles et le facteur de visibilité du ciel (SVF). Tout les calculs dans cette étude:  $T_{mrt}$ , PMV et PET étaient exécutés avec ce modèle.

La relation entre la température moyenne radiante ( $T_{mrt}$ ) et la température physiologique équivalente (PET)<sup>6</sup> dans les différents sites de mesures est exprimée par la Fig 3-4.

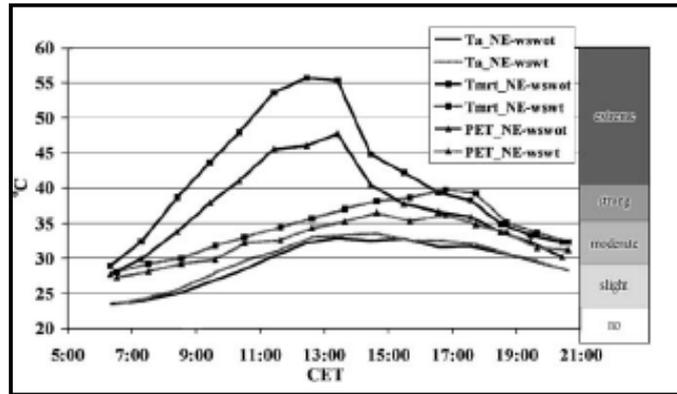


**Fig 3-4:** La température moyenne radiante  $T_{mrt}$  (A) et la température physiologique équivalente PET (B) calculées par RayMan dans six sites de mesure le 06 août 2003.

**Source:** GULYAS.A et al., 2006

L'évolution de la température de l'air ( $T_a$ ), de la température moyenne radiante ( $T_{mrt}$ ) et la température physiologique équivalente (PET) avec le degré du stress physiologique pendant une journée chaude d'été est représentée par la Fig 3-5.

<sup>6</sup> GULYAS.Agnes, UNGER.János, MATZARAKIS.Adreas, "Assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: Modelling and measurements", Building and Environment 41 (2006)1713- 1722.



**Fig 3-5:** La température de l'air (Ta), la température moyenne radiante (Tmrt) et la température physiologique équivalente (PET) avec le degré du stress physiologique dans les points NE-wswot et NE-wswot le 06août 2003.

**Source:** GULYAS.A et al., 2006

La surface examinée était faite avec le help du modèle RayMan, qui donne une résolution haute et précise des données de la surface environnante du point observé. Les paramètres météorologiques (température de l'air, radiations globale, vitesse du vent et humidité relative) étaient pris par une station de mesure automatique Vaisala-milos 500.

Cette étude a abouti aux conclusions suivantes:

- La présence des obstacles naturels et artificiels autour du corps humain a un impact sur les flux de radiations et donc sur l'équilibre d'énergie du corps.
- Le changement dans la situation de radiation cause des changements dans la perception du confort thermique.
- Les inconvénients des conditions bioclimatiques peuvent être amélioré (par exemple en plantant des arbres) même dans le cas d'une ancienne structure de la ville.
- Au cours de la planification de nouveaux quartiers dans les villes, les conditions bioclimatiques doivent être prises en considération.

\* Les composants thermique du climat urbain affecte la qualité da la vie dans la ville, par son influence sur le confort thermique, la santé, la performance, l'utilisation de l'énergie et la qualité de l'air.

Une autre étude a été menée dans une nouvelle ville à Lisbonne en Portugal, pour analyser l'influence microclimatique des structures urbaines sur les conditions bioclimatiques et créer un modèle empirique pour permettre la généralisation des résultats pour d'autres endroits.

Dans le cadre du projet CLIMLIS, des mesures étaient effectuées par différentes échelles dans le but d'étudier les conditions bioclimatiques. Pour cet objectif le quartier de Telheiras est sélectionné, c'est un quartier résidentiel moderne, construit en 1980, est considéré comme étant de haute qualité urbaine, son altitude est de presque 100m, les bâtiments ont une hauteur maximale de 25m. Les rues principales sont orientée nord-sud ou est-ouest et le ratio H/L est de 0.65 et 1.1.

Les cours sont généralement occupées par des lots de parking, ou des facilités (agrément) sociales ou des espaces verts.

Pour l'estimation du confort thermique dans différents microenvironnements dans la ville, Henrique Andrade<sup>7</sup> a utilisé la température physiologique équivalente. Les mesures de la température de l'air et des courtes et longues longueurs d'ondes étaient faites et la modélisation était utilisée pour simuler la vitesse du vent et la température moyenne radiante. Le GIS était utilisé pour modéliser (présenter) les variations spatiales de PET, sous différents type de temps.

Pour mesurer les différents paramètres tel que température de l'air, longues et courtes longueurs d'ondes, l'auteur a eu recours aux mesures mobiles avec des appareils digitaux tel que le thermo-hygromètre, le pyranomètre et le pyrgéomètre, et des mesures avec un réseau qui connecte avec 10 récepteurs fixes dans 10 endroits avec des microenvironnements différents, en deux périodes de temps (24jours en juin et juillet 2001 et 10jours en février 2002), des récepteurs étaient placés dans des lampes publiques à une hauteur de 3.5m au dessus du niveau de la rue.

Le calcul de la température physiologique équivalente (PET) était fait avec des paramètres utiles (appropriés) : température de l'air, température moyenne radiante, vitesse de vent et la pression de la vapeur mesurée ou modélisée. La PET est obtenu par la modélisation complète de l'équilibre d'énergie du corps humain, en considérant la chaleur interne de 80 w/m<sup>2</sup> et l'habillement équivaut à 0.9clo. Comme les résultats sont exprimés en degrés (°C), ce modèle est très convenable pour les non spécialistes. La PET est calculée pour n'importe quel endroit de mesure avec la température de l'air mesurée. La température moyenne radiante est estimée par le modèle Rayman basé sur des paramètres astronomiques et urbains tel que l'aspect nuageux. Les résultats du

---

<sup>7</sup> ANDRADE.Henrique, "*Microclimatic variations of thermal comfort in a Lisbon city district*", PLEA, 2004.

modèle étaient ajustés et validés par les mesures du rayonnement (radiations). Le coefficient de corrélation entre les valeurs de la TMR observées et estimées était de 0.96 la nuit et 0.8 le jour. Les variations microclimatiques étaient simulées par le modèle Envi-met avec le vent de la station météorologique, et la géométrie urbaine était simulée. La valeur de la pression utilisée dans ce calcul était la même mesurée par la station météorologique.

L'étude microclimatique de Telheiras mène à conclure que les variations spatiales de la température de l'air sont petites (à cette échelle).

Les différences bioclimatiques dépendent, surtout des conditions de radiations ou de protection. Le principal facteur qui contrôle La PET est la géométrie urbaine, parce que la surface est très homogène avec la considération de la végétation, les bâtiments et les matériaux de couverture. La modélisation de la PET, par le moyen de processus descriptif, permet d'établir des cartes très détaillées de la construction, avec des informations météorologiques locales, lesquelles peuvent être un instrument utile pour la planification urbaine

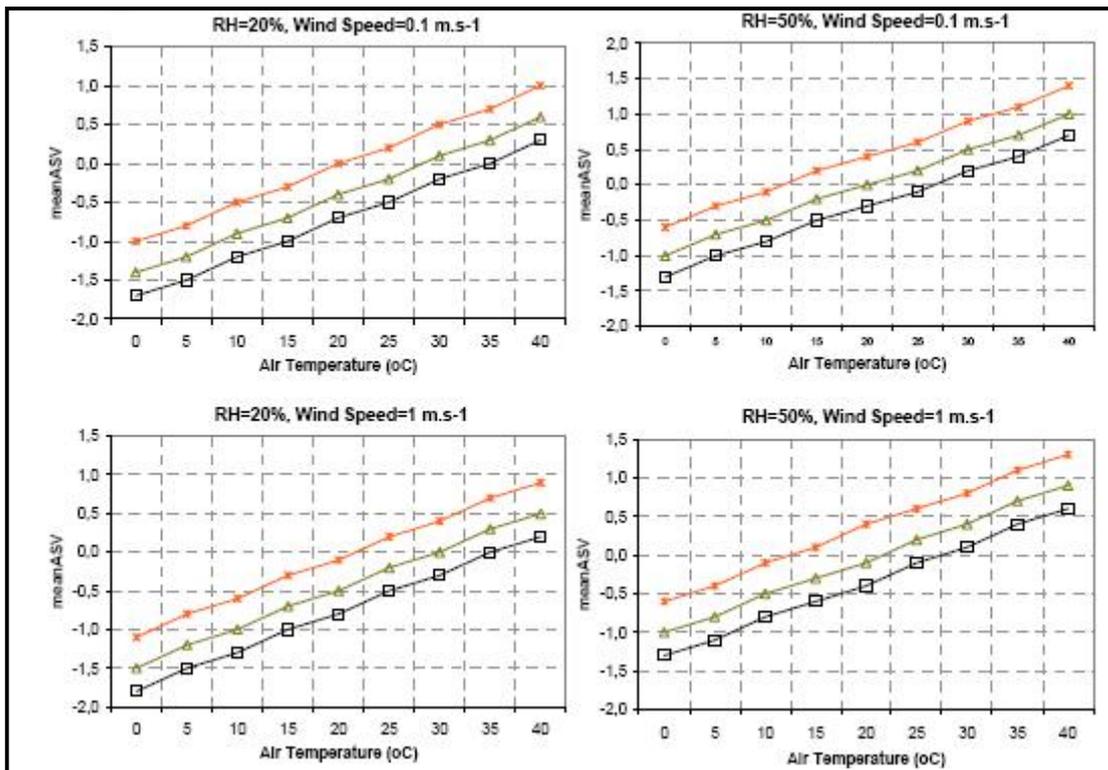
\* Nikolopoulou.M, chercheuse grecque a beaucoup donné pour la bioclimatique et le microclimat ainsi que le confort thermique, elle a travaillé dans le sens de la perfection des ambiances dans le milieu extérieur, en collaboration avec d'autres chercheurs tel que Baker.N et Steemers.K.

Dans la plupart des études portant sur le confort thermique<sup>8</sup> des espaces extérieurs établies par ces chercheurs, un modèle purement physiologique est employé impliquant un modèle mathématique de thermorégulation du système permettant de calculer un indice de satisfaction thermique dépendant des conditions environnementales, de l'activité de la personne et de son degré d'habillement. Ces modèles sont importants pour la prédiction de l'ASV de façon adéquate étant donné qu'ils peuvent être une sorte de plate forme pour l'élaboration de nomogrammes du confort thermique extérieur<sup>9</sup> et de cartes. Ces nomogramme varient en fonction des Paramètres météorologiques comme indiquée par la Fig 3-6.

---

<sup>8</sup> NIKOLOPOULOU.Marialena, BAKER.Nick, STEEMERS.Koen, "Thermal comfort in outdoor urban spaces: Understanding the human parameter", Solar energy vol.70, N°.3, pp.227-235, 2001.

<sup>9</sup> " Concevoir des espaces extérieurs en environnement urbain: Une approche bioclimatique" RUROS - Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces -, 2002, p3.



**Fig 3-6:** Monogramme du vote de sensation effective (ASV) pour quelques paramètres météorologiques.

**Source:** NIKOLOPOULOU.M (RUROS), 2002

\* B.Givoni et al (2003)<sup>10</sup>, ont effectué une étude analytique sur les questions de recherches sur le confort extérieur.

Le confort thermique des personnes se trouvant à l'extérieur est un des facteurs influençant les activités extérieures dans les rues, les centres commerciaux, les aires de jeu, les parcs urbains,...ect. L'intensité de telles activités est affectée par le niveau d'inconfort exprimé par les habitants quand ils sont exposés aux conditions climatiques dans ces espaces extérieurs. Ainsi, par exemple pendant les journées chaudes d'été, l'inconfort des gens se trouvant à l'extérieur, exposés au soleil peut les décourager à utiliser les parcs urbains disponibles. La disponibilité des espaces extérieurs ombrés peut mener à une plus grande utilisation par le public.

Une première étude expérimentale était menée au japon, par Noguchi et Givoni<sup>11</sup>, (1994-1995), l'objectif de cette recherche était de déterminer l'effet quantitatif du confort des personnes japonaises habillées suivant les pratiques

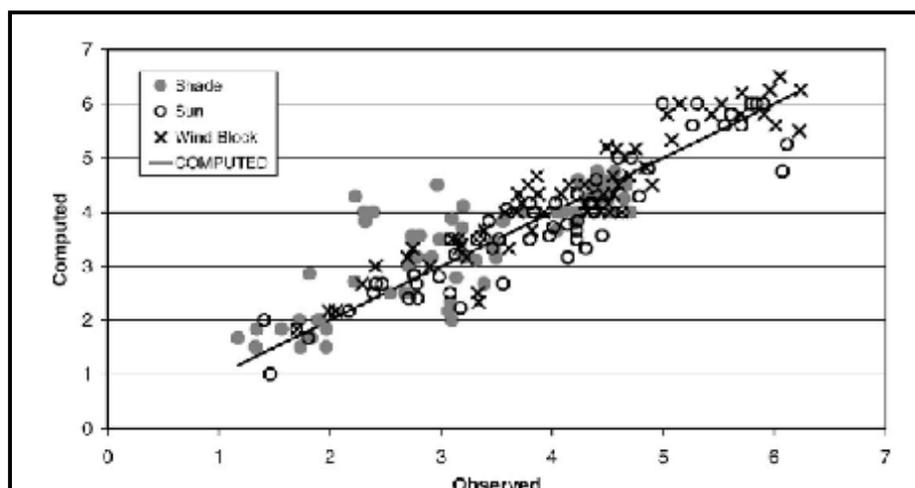
<sup>10</sup> GIVONI.Baruch, NOGUCHI.Mikiko, SAARONI.Hadas, POCHTER.Oded, YAACOV.Yaron, FELLER.Noa, BECKER.Stefan, "Outdoor comfort research issues", energy and buildings 35 (2003).77-86.

<sup>11</sup> Idem.

courantes dans les différentes saisons, avec diverses caractéristiques de conception de centres commerciaux lesquels peuvent modifier les conditions d'expositions au vent et au soleil durant les différentes saisons.

Le questionnaire concerne surtout la sensation thermique et le confort dans l'ensemble. Les expériences étaient faites sous le contrôle de l'insolation solaire et la vitesse du vent dans le but de comprendre comment ces facteurs physiques influencent la sensation thermique et le niveau de confort pour des personnes japonaises restant dans des espaces extérieurs. Deux sites ont été choisis pour le déroulement de l'expérience, un espace vert ouvert, et une aire de stationnement en asphalte à la ville de Yokohama. Les sujets étaient divisés en trois groupes avec des conditions d'exposition différentes et de très petites distances entre eux. Le premier groupe sous l'ombre d'un grand arbre, le second exposé au soleil, et le troisième exposé au soleil et protégé contre le vent. Comme la distance entre les sites étaient très petite, les températures de l'air et les humidités relatives étaient les mêmes, et seules les différences étaient dans les radiations solaires et les vitesses du vent.

Malgré le très peu nombre de sujets questionnés, il était possible de développer un modèle pour prédire la sensation thermique des personnes dans des espaces extérieurs, en prenant en considération l'effet des conditions d'exposition, incluant les radiations solaires. La Fig 3-7, montre la correspondance entre les sensations thermiques mesurées et celles simulées dans différents points pour différentes conditions d'exposition (ombre, soleil, et écran de vent).



**Fig 3-7:** les sensations thermiques mesurées et celles simulées sous différentes conditions d'exposition.

**Source:** GIVONI.B et al., 2003

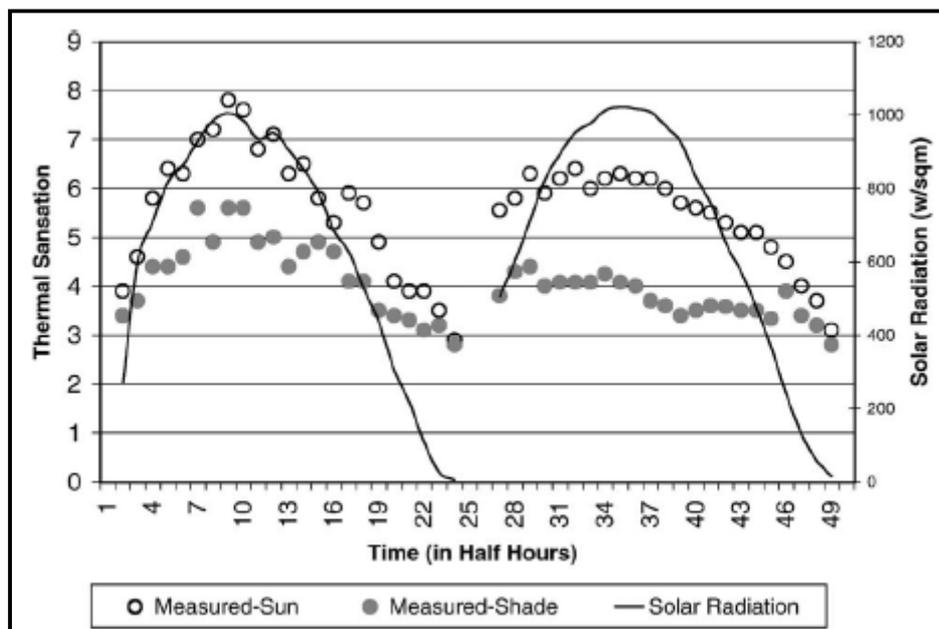
Un coefficient de corrélation de 0.8792 était déduit, après l'établissement d'une formule exprimant la sensation thermique (TS), qui fut généré en fonction de cinq variables, qui sont, la température de l'air (Ta), la radiation solaire (SR), la vitesse du vent (WS), l'humidité relative (RH) et la température de surface (ST).

$$\text{TS} = 1.7 + 0.1118 \times \text{TA} + 0.0019 \times \text{SR} - 0.322 \times \text{WS} - 0.0073 \times \text{RH} + 0.0054 \times \text{ST} \dots \text{EQ 3-4}$$

Une série d'autres études expérimentales ont été établis au département de géographie de l'université de Tel Avis, ces études nécessitent des mesures de la température de l'air et de surface, l'humidité, la vitesse du vent et la radiation solaire. Plusieurs de ces investigations incluent aussi le contrôle de la sensation thermique des étudiants engagés dans la recherche. Dans cette voie, la corrélation entre la sensation du confort et les conditions climatiques mesurées en même temps, est analysée.

Une recherche menée par Saaroni.H<sup>12</sup>, avait pour objectif d'étudier l'effet climatique d'un petit lac pendant différentes conditions de temps sur le confort humain. En plus des mesures des paramètres climatiques, un questionnaire est utilisé pour étudier les réponses des sujets, qui travaillaient en paire, chaque deux personne restent 15mn au soleil, et 15mn sous l'ombre, ils remplissent le questionnaire chaque 30mn. Dans chaque test les sujets sont priés de s'asseoir sur leurs chaises pendant 10mn, et répondent au questionnaire dans les 5mn restantes. Les paires de sujets changent leur emplacement chaque deux heures. Il a été déduit que l'intervalle de la température de l'air durant les deux journées de mesure était plutôt petit, variant de 23°C à 27°C. La Fig 3-8 montre le vote moyen de confort relatif aux sujets exposés au soleil et ceux à l'ombre, ainsi que la radiation solaire pendant la période de mesure.

<sup>12</sup> GIVONI.Baruch, NOGUCHI.Mikiko, SAARONI.Hadas, POCHTER.Oded, YAACOV.Yaron, FELLER.Noa, BECKER.Stefan, "Outdoor comfort research issues", energy and buildings 35 (2003).77-86.

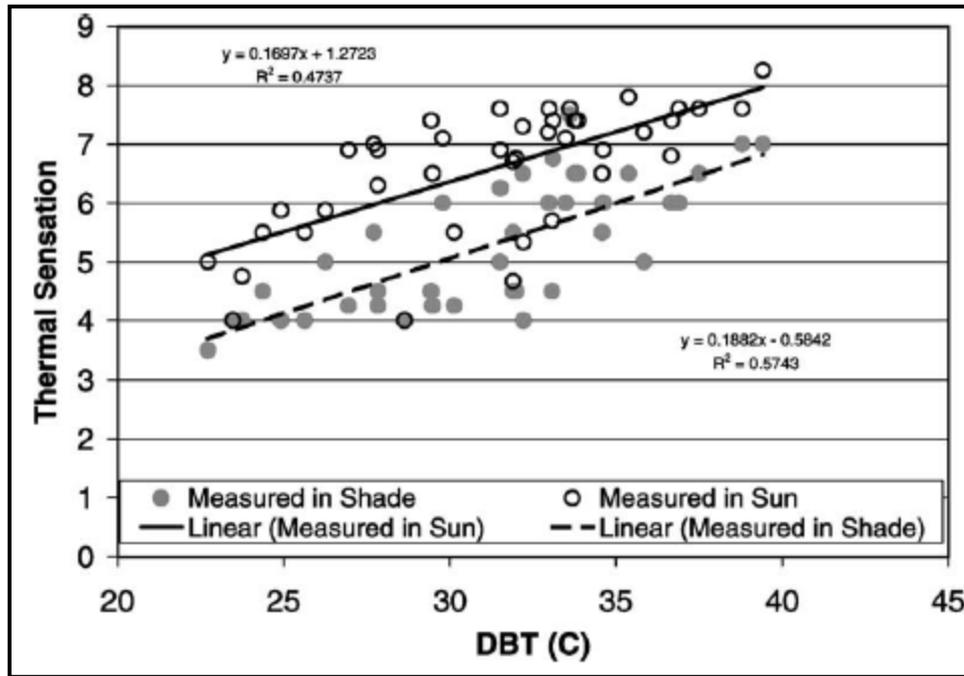


**Fig 3-8 :** Vote de confort pour des sujets au soleil et d'autres à l'ombre, avec la mesure de la radiation solaire.

**Source:** SAARONI.H, 2000

Feller.N<sup>13</sup>, de son coté à établi une recherche au désert de Negev, les mesures étaient prisent pendant 4 journées successives chaudes de l'été 2000, l'inclinaison moyenne de la réponse thermique avec le changement dans la température de l'air était 0.18 (unités/°C). La différence entre l'intervalle des réponses thermiques au "soleil" et à "l'ombre" était 1.3 unités. Cela signifie que l'effet de l'exposition aux radiations solaires moyennes était équivalente à environ 7°C (1.3/0.18). La figure ci-dessous (Fig 3-9) montre la relation entre la sensation thermique enregistré avec des sujets assis au soleil et d'autres à l'ombre, en fonction de la température de l'air.

<sup>13</sup> GIVONI Baruch, NOGUCHI Mikiko, SAARONI Hadas, POCHTER Oded, YAACOV Yaron, FELLER Noa, BECKER Stefan, "Outdoor comfort research issues", energy and buildings 35 (2003).77-86.



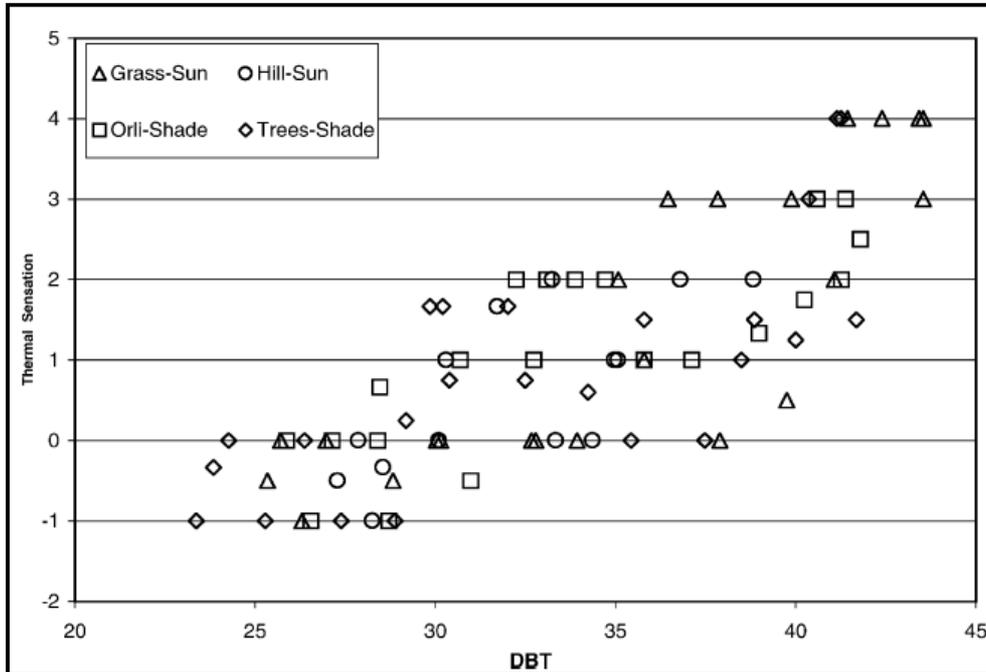
**Fig 3-9:** la relation entre la sensation thermique et la température de l'air pour des sujets exposés au soleil et d'autres à l'ombre.

**Source:** FELLER.Noa, 2000

Une autre recherche menée par Pochter.O, Yaacov.Y, et Becher S<sup>14</sup>, à une localisation qui se situe à 30km au nord d'Eilat de la mer rouge, visait l'examen de l'effet d'oasis dans les zones extrêmement chaudes et arides et leur impact sur l'activité humaine. Le climat de la région est caractérisé durant l'été par la radiation solaire très élevée, des température extrêmement chaudes et de très basses humidités durant le jour, tandis que pendant la nuit, les température et les humidités sont modérées., ce qui crée des amplitudes thermiques diurne très élevé. Un groupe de 36 étudiants participaient à cette expérience. Les sujets sont tous des résidents de la région, et donc sont acclimatés au climat chaud, qui sont divisés en trois groupes, et qui travaillent alternativement. Après s'être exposé 30mn aux conditions climatiques, ils remplissent un questionnaire préparé sur le niveau de confort durant la journée, puis ils se déplacent à un espace intérieur, puis retournent à la station et s'assoient pendant une autre demi heure et remplissent un second questionnaire. L'intervalle de 30mn est nécessaire à cause de la température extrêmement élevée à laquelle ils étaient exposés. Le questionnaire concernait surtout la sensation thermique et l'ensemble du confort. La sensation thermique avait 8 niveaux de -3 qui est très froid à +4 qui est insupportablement chaud.

<sup>14</sup> Idem.

La Fig 3-10, montre la moyenne des réponses thermiques des sujets à différents emplacements, en fonction de la température ambiante de l'air.



**Fig 3-10:** la moyenne des réponses thermiques à différents emplacements en fonction de la température de l'air.

**Source:** POCHTER.O et al., 2000

\* En combinant la méthode de B.Givoni sus-citée avec une autre méthode qui s'appelle "Comfa", les chercheurs Gaitani.N, Mihalakakou.G et Santamouris.M<sup>15</sup> ont fait une étude analytique à Athènes, sur l'utilisation des principes de l'architecture bioclimatique afin d'améliorer les conditions du confort thermique dans les espaces extérieurs. Pour cette raison, les conditions du confort thermique dans 12 points différents d'espaces extérieurs, dans la localisation de l'expérience étaient calculées en utilisant deux indices bioclimatiques différents du confort thermique développé pour être utilisé dans les espaces extérieurs. Les indices utilisés sont: (a) "Comfa", qui est basé sur l'estimation du bilan d'énergie de la personne dans l'environnement extérieur et (b) "Thermal sensation", basé sur la sensation de satisfaction ou d'insatisfaction sous les conditions climatiques dominantes des espaces extérieurs.

Le confort thermique humain est défini comme une condition d'esprit qui exprime la satisfaction avec l'environnement thermique. La personne ne préférera ni un entourage plus chaud ni plus froid. Le confort thermique est plutôt un concept difficile et

<sup>15</sup> **GAITANI.N, MIHALAKAKOU.G, SANTAMOURIS.M**, "On the use of bioclimatic architecture principles in order to improve thermal comfort conditions in outdoor spaces", Building and Environment 42 (2007) 317-324.

compliqué comme il dépend de divers paramètres influençants. Les paramètres physiques principaux qui caractérisent l'environnement thermique et déterminent la sensation du confort thermique sont les quatre suivants:

*La température de l'air ambiant:* elle affecte les échanges secs et humides aussi bien que le coefficient de transfert de chaleur.

*Vitesse de l'air:* elle affecte beaucoup les pertes radiatives et évaporatoires. Proche du corps vêtu, le mouvement du corps peut l'augmenter. La vitesse minimale de 0.1m/s existe toujours, elle est due au mouvement naturel permanent de l'air partout.

*L'humidité relative:* elle présente un léger impact quand il n'y a pas de sudation, alors, l'échange respiratoire latent et la transpiration insensible de la peau sont les deux seuls transferts associés avec l'humidité. Autrement, l'humidité de l'air affecte fortement l'évaporation de la sueur, et ainsi la moiteur de la peau.

*La température moyenne radiante:* c'est la température de surface uniforme d'une enceinte noire avec laquelle un individu échange la même température par radiation que l'environnement actuel considéré. Pour l'extérieur, la température moyenne radiante représente la température de surface uniforme d'une enceinte fictive pour laquelle toutes les surfaces de l'enceinte fictive ont la même température.

De plus, les paramètres externes suivants doivent être pris en compte pour le calcul des conditions de confort thermique.

\* *Le niveau d'activité:* le corps convertit une part d'aliments en une énergie selon le type d'activité. La somme de l'énergie produite par unité de temps est nommée taux métabolique, il est exprimée en watt par m<sup>2</sup> de surface du corps.

\* *Vêtement:* c'est une interface entre le corps et l'environnement. Elle peut soit aider ou résister aux échanges thermiques et hydriques.

Les différences principales entre les calculs du confort thermique à l'intérieur et l'extérieur des espaces sont (a) dans les vêtements, (b) dans le niveau d'activité, et (c) dans la période d'exposition, laquelle est habituellement courte dans les espaces extérieurs tandis qu'aux espaces intérieurs, elle est très longue.

La méthode "comfa" consiste principalement en la formule suivante exprimant le bilan d'énergie d'une personne dans l'environnement extérieur.

$$\text{Bilan} = M + R_{\text{abs}} - \text{Conv} - \text{Evap} - \text{TR}_{\text{emitted}} \dots\dots\dots \text{EQU 3-5}$$

Où: M est l'énergie métabolique utilisée pour réchauffer la personne, R<sub>abs</sub> est le solaire absorbé et la radiation terrestre, Conv est la chaleur sensible perdue et gagnée par la

convection, Evap est le chaleur évaporatoire perdue, et  $TR_{\text{emitted}}$  est la radiation terrestre émise.

Quand le bilan est proche de zéro, une personne peut être cru être confortable thermiquement. Si le bilan présente une large valeur positive, la personne reçoit plus d'énergie qu'elle ne perde, alors la surchauffe peut se produire et la personne pourra être inconfortable. De plus, si le bilan est négatif la personne pourra avoir une sensation de fraîcheur. Le Tab 3-3 montre la sensation de confort en relation avec la valeur du bilan.

Budget ( $W/m^2$ )	Sensation
Budget $< -150$	Very cold
$-150 < \text{budget} < -50$	Cold
$-50 < \text{budget} < 50$	Comfort
$50 < \text{budget} < 150$	Hot
$150 < \text{budget}$	Very hot

**Tab 3-3:** La sensation de confort humain en relation avec la valeur du bilan.

**Source:**GAITANI.N et al., 2006

### **3-4-1-Quelles techniques de rafraîchissement pour les espaces urbains?**

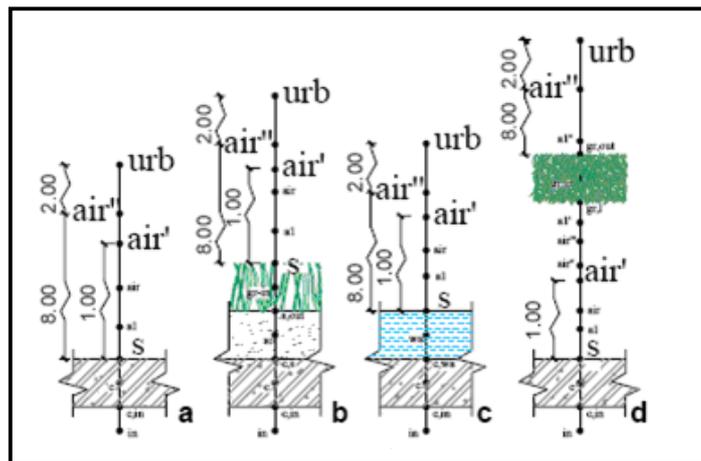
La température de l'air augmente considérablement dans la plupart des villes surtout celles qui se situent dans des zones chaudes. Bien que cette augmentation soit bénéfique en période froide, elle enregistre en période chaude une plus grande quantité d'énergie consommée pour le rafraîchissement des centres urbains et elle fait dégringoler le degré de confort des piétons. A titre indicatif, l'effet d'îlot de chaleur à Athènes est responsable de 50% des charges de rafraîchissement qui sont plus importantes que la zone suburbaine. Il est impossible de discuter de conception avec des techniques de rafraîchissement passif dans les centres villes ou de créer des espaces urbains durables, à moins que ces températures urbaines élevées soient atténuées. Alors pour les atténuer, il y a une multitudes de techniques, comme l'effet de la végétation et de l'eau, à titre d'exemple: les toitures végétales, les pergolas et les toits avec bassin; mais qu'en est-il pour les matériaux de construction?

Avec l'hypothèse que l'augmentation des températures urbaines est principalement formée par les hautes capacités d'absorption de chaleur par les matériaux de

construction, une étude a été établie<sup>16</sup> pour examiner l'effet thermique de couvrir ces surfaces avec des matériaux qui contrôlent chacun l'énergie absorbée. Des toits avec des étangs, des pergolas, des enduits à haut albédo et des toits verts sont étudiés et comparés pour trois climats, chaud et sec de la ville d'Athènes, chaud et humide de la ville de Mumbai, et le climat chaud et aride de la ville de Riyadh. Les directives sont dessinées auxquelles la solution est la plus efficace pour atténuer les températures augmentées des villes avec différentes caractéristiques climatiques et créer un environnement humain convivial autour des bâtiments urbains.

En effet, cette étude s'est basée sur la mesure de la température de surface du toit aussi bien que la température de l'air au dessus de la surface pour cinq types de toits, pour les cas des trois types de climats chauds. Un toit plat de béton, un toit de béton couvert avec un enduit à haut albédo, le toit à enduit de haut albédo est aussi examiné après trois ans de l'application de l'enduit, quand il a perdu au moins 25% de son albédo. Les températures de surface et de l'air sont aussi étudiées dans un toit végétal, avec 25cm de végétation, un toit bassin avec 20cm d'eau, où l'eau est à 20°C à minuit, et un "ciel végétal" pergola avec 20cm de végétation placé à 2m au dessus du toit en béton. Toutes les températures des quatre techniques de rafraîchissement sont comparées avec les températures du "cas de base", le toit plat de béton. La température de l'air est examinée à 1m au dessus du toit de chaque cas.

La Fig 3-11 explique les différentes toitures utilisées pour cette étude.



**Fig 3-11:** (a) modèle du toit en béton, (b) modèle du toit végétal, (c) modèle du toit bassin et (d) modèle du ciel végétal (pergola).

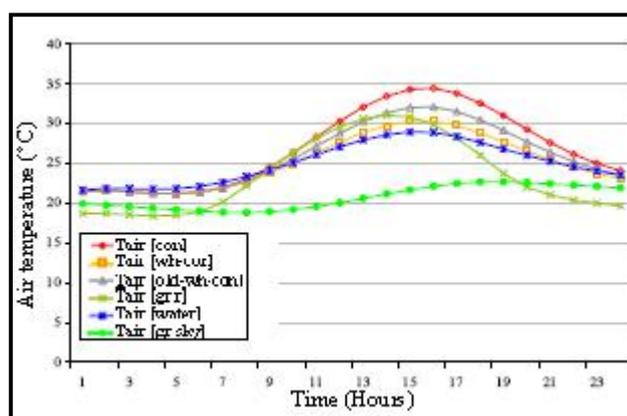
**Source:** ALEXANDRIE.E et JONES.P, 2006

<sup>16</sup> ALEXANDRIE.Eleftheria and JONES.Phil, "Ponds, green roofs, pergolas and high albedo materials; which cooling technique for urban spaces? ", PLEA, The 23<sup>rd</sup> conference, Geneva, Switzerland, 2006.

La ville sélectionnée pour le climat chaud et sec, c'est bien celle d'Athènes, pour cette ville, les quatre techniques utilisées peuvent abaisser les températures urbaines surélevées de manière significative. Le toit de béton peint en blanc peut abaisser la température de surface à un maximum de 20.9°C, avec une moyenne journalière de 12.4°C. La température de l'air à 1m au dessus du toit diminue par un maximum de 4.1°C et 2.2°C de moyenne journalière. Après trois ans, quand le toit à enduit blanc diminue de 25% d'albédo, cette température diminue de 57%. La température de surface diminuée atteint un maximum de seulement 11.9°C, avec 7.1 de moyenne journalière. Pour l'air à 1m au dessus du toit, ces diminutions baissent de 2.3°C et 1.3°C respectivement.

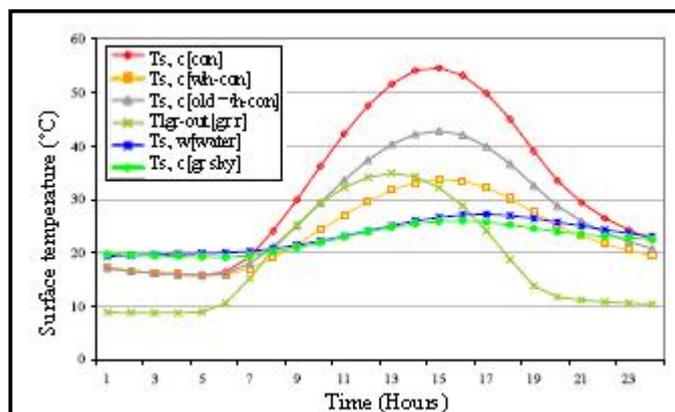
Le toit vert montre des diminutions de température plus importantes que le toit blanc de béton, pour les températures de surface, la diminution maximale atteint 26.2°C avec une moyenne journalière de 14.4°C. La diminution de température est plus significative à la couche d'air au dessus du toit, atteignant 7.3°C pour le maximum et 2.7°C pour la moyenne journalière. La diminution maximale pour le toit vert est 3.1°C plus grande que la diminution maximale de température du toit à haut albédo.

Les Fig 3-12 et 3-13 montre les variations des températures de surface et de l'air pour les différents types de toits pour le cas d'Athènes.



**Fig 3-12:** Température de l'air 1m au dessus du toit pour le toit plat de béton [Con], toit de béton à enduit blanc [wh-con], toit à enduit blanc d'albédo moindre de 25% [old-wh-con], toit végétal [gr r], toit bassin [water] et le pergola [gr sky], pour Athènes.

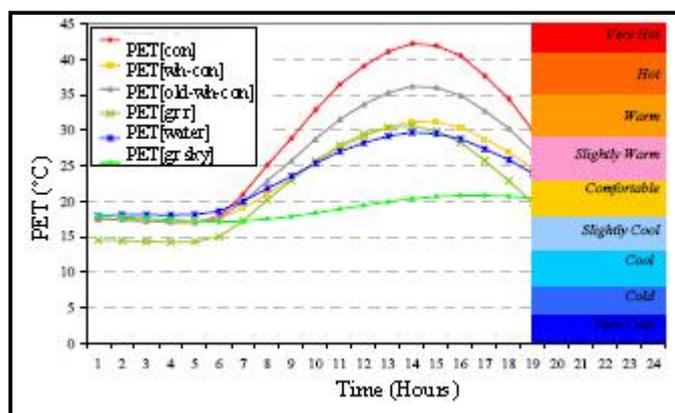
**Source:** ALEXANDRIE.E et JONES.P, 2006. (réadapté par auteur)



**Fig 3-13:** Température de surface du toit pour le toit plat de béton [Con], toit de béton à enduit blanc [wh-con], toit à enduit blanc de 25% d'albédo plus petit [old-wh-con], toit végétal[gr r], toit bassin[water] et le pergola [gr sky], pour Athènes.

**Source:** ALEXANDRIE.E et JONES.P, 2006. (réadapté par auteur)

Le confort thermique d'un homme debout pour les cinq types de toits est examiné. Surtout pour les pergolas, le rayonnement solaire reçu est celui permis de pénétrer par la fraction de pénétration de la verrière des pergolas. Cet ombrage du soleil fait des pergolas la technique la plus efficace, du point de vue confort thermique, pour les trois climats. La Fig 3-14 montre la variation de la PET pour le cas d'Athènes.



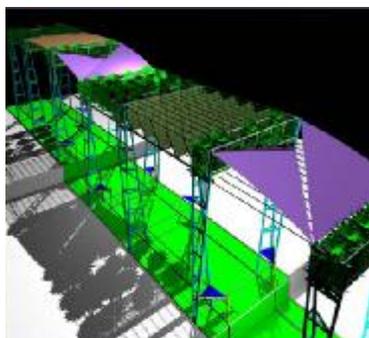
**Fig 3-14:** Température physiologique équivalente (PET) pour un homme debout sur le toit plat de béton [Con], toit de béton à enduit blanc [wh-con], toit ancien à enduit blanc [old-wh-con], toit végétal[gr r], toit bassin[water] et sous le pergola [gr sky], pour Athènes.

**Source:** ALEXANDRIE.E et JONES.P, 2006. (réadapté par auteur)

Il a été déduit par cette étude que le haut albédo, les étangs, les toits végétaux et pergolas peuvent atténuer l'augmentation des températures significativement au

dessus des toits. Mais en général les surfaces évaporatoires sont plus capables d'abaisser les températures que les toits à haut albédo.

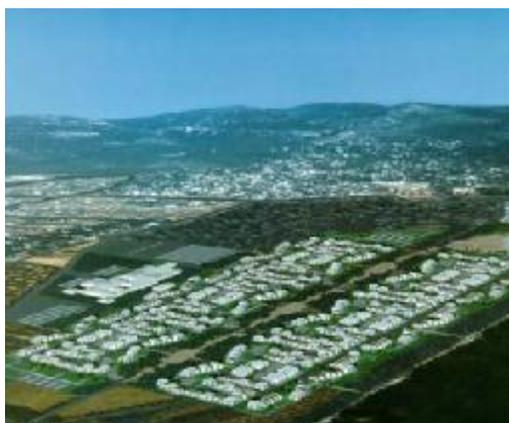
\* Santamouris (2006) quant à lui, a pu grâce à des expériences menées à Athènes<sup>17</sup>, aboutir à une augmentation de la période à l'intérieur de la zone de confort de 65%, une réduction de la température ambiante de 4°C et une réduction de la vitesse du vent maximale de 3m/s. Cette amélioration du microclimat et l'augmentation de la durée de sensation de confort dans les espaces extérieurs ont été obtenues en utilisant des matériaux frais, des pergolas et plantes, de l'ombrage externe, des bassins et des fontaines Fig 3-15 aussi bien que des techniques pour l'augmentation de l'écoulement de l'air.



**Fig 3-15:** Schéma sur l'utilisation de plusieurs techniques tel que l'ombrage, les pergolas, la verdure, les matériaux frais pour modérer le microclimat.

**Source:** SANTAMOURIS.M, 2006

Le village olympique Fig 3-16 réalisé à Athènes en 2004, est une meilleure concrétisation de l'application de ces techniques de rafraîchissement.



**Fig 3-16 :** Un exemple concret et une application importante sont le village olympique d'Athènes, en 2004.

**Source:** SANTAMOURIS.M, 2006

---

<sup>17</sup> SANTAMOURIS.Mathéos, "The role of materials. Impact on the temperature regime of cities", Ec-Asean Energy Facility (EAEF), Singapore, 2006.

### **3-5-Le confort thermique à l'échelle de la rue (dans le canyon urbain):**

La conception de la rue est la question clé dans la méthodologie de la conception urbaine bioclimatique. La rue peut être vue comme étant l'interface de l'architecture et l'échelle urbaine tel qu'elle consiste en une part de surface entre les bâtiments et la canopée urbaine. Désormais, la rue affecte le microclimat à l'intérieur et à l'extérieur, et comme résultat influence la sensation thermique des citoyens aussi bien que la consommation énergétique dans les immeubles d'habitations. Tandis que le confort thermique intérieur est bien documenté, les connaissances disponibles sur le confort thermique extérieur est beaucoup plus limitées. Ce manque est probablement dû aux différentes voies parcourues par les climatologues et les urbanistes, loin, avec la question de la compréhension de la relation entre les bâtiments et le climat urbain. Heureusement; le confort extérieur devient récemment la part de question entre les deux disciplines avec une claire évidence de la plupart des collaborations. Cela peut être observé dans la littérature récente et les forums scientifiques associés tel que les conférences de PLEA et ICUC.

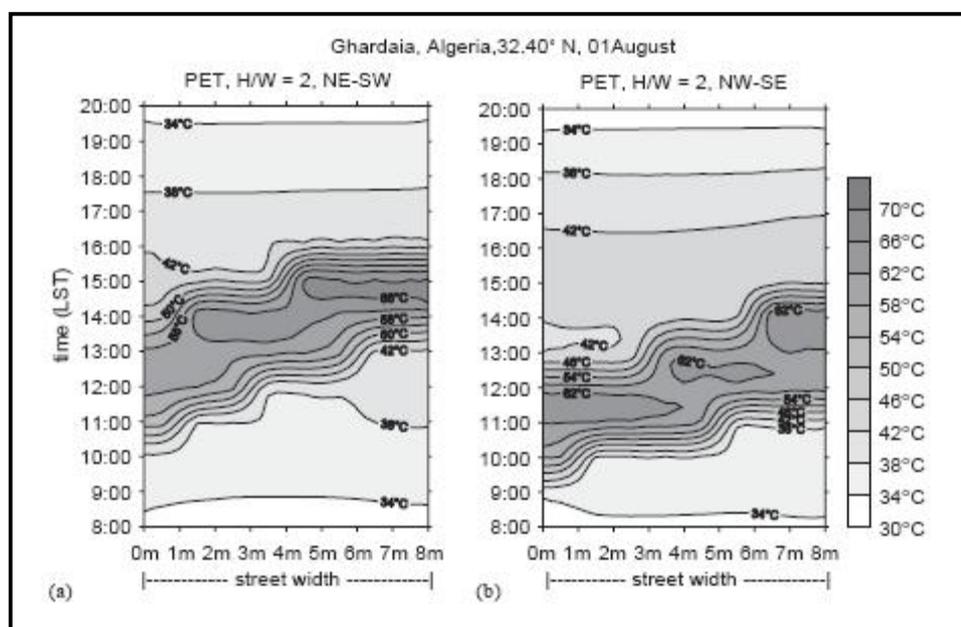
La principale difficulté face aux planificateurs lors de la conception de la rue est le conflit entre les besoins saisonniers. En effet, la protection nécessaire du soleil d'été, et le besoin de l'accès solaire en hiver impliquent théoriquement la fermeture et l'ouverture au ciel, respectivement. Oke.T.R (1988), affirme que la "zone de compatibilité", laquelle assure un compromis entre les objectifs apparemment coïncidents dans la conception de la rue, peut être trouvée. Cependant, une investigation supplémentaire est demandée pour fournir des informations quantitatives à propos des formes optimales de la rue afin de réguler le confort du climat.

En effet, La géométrie de la rue de part son rapport d'aspect H/W (où H: est la hauteur des immeubles et W: la largeur de la rue), ainsi que son orientation, jouent un rôle important dans le développement d'un microclimat confortable au niveau de la rue pour les piétons.

Une étude numérique exécutée par un modèle tridimensionnelle Envi-met v3, sur les effets de la géométrie et l'orientation de la rue "canyon" sur le confort thermique extérieur dans les climats chauds et secs, a été menée par Fazia Ali-

Toudert<sup>18</sup> en collaboration avec Helmut Mayer, à l'institut météorologique de l'université de Freiburg en Allemagne.

Les calculs du modèles ont été exécuté pour une journée d'été type à Ghardaïa, en Algérie (32.40°N, 3.80°E, 469m au dessus du niveau du sol), la région est caractérisée par un climat chaud et sec, une variété de canyons urbains symétriques avec divers ratios hauteur par largeur(exemple:H/W=0.5,1,2 et 4) et différentes orientations (c'est à dire:E-W,N-S, NE-SW, NW-SE) ont été étudiées, l'accent est mis sur l'estimation biométéorologique humaine pour ces microclimats par l'utilisation de la température physiologique équivalente (PET) comme indiqué par la Fig 3-17.



**Fig 3-17 :** Variation de la PET dans un canyon urbain orienté: (a) NE-SO et (b) NO-SE avec un rapport d'aspect H/W = 2.

**Source:**ALI-TOUDERT.F et MAYER .H, 2006

Il a été déduit que la durée et l'heure du stress thermique le plus élevé, aussi bien que la distribution du pic des valeurs de la PET à l'intérieur du canyon dépend fortement du rapport d'aspect et de l'orientation de la rue. Donc le confort thermique extérieur est sensiblement affecté par ces deux facteurs.

\* Pearlmutter.D<sup>19</sup> et al., en 1999, ont fait une analyse microclimatique sur des canyons urbains "compact" dans des zones arides. Le tissu urbain dense peut fournir

<sup>18</sup> ALI-TOUDERT.Fazia, MAYER.Helmut, "Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate", Building and Environment 14 (2006) 94-108.

<sup>19</sup> PEARLMUTTER.D, BITAN.A, BERLINER.P, « Microclimatic analysis of « compact » urban canyons in an arid zone », Atmospheric environment33, 1999, 4143-4150.

une protection du soleil pour les piétons à l'intérieur d'un canyon étroit, d'autre part, de tels canyons peuvent devenir des pièges de chaleurs relatifs dus aux multiples réflexions solaires et réduire l'albédo, diminue les radiations vers le ciel pendant la nuit et limite la ventilation considérablement.

Dans cette étude les données empiriques prises pour des mesures extensives dans un nombre de canyon urbains bas et haut à Negev sont intégrées avec un modèle numérique représentant les échanges d'énergie entre le piéton et l'environnement du canyon urbain. L'analyse des résultats d'investigation et de simulation révèle une nature relative du stress thermique imposé par les différences de géométrie dans le canyon urbain sur les habitants des régions arides.

\* L'effet du prospect agit en outre au sein même des rues, les écarts de températures de surfaces entre la façade ensoleillée et celle qui est à l'ombre varient en fonction du prospect: ils sont insignifiants<sup>20</sup>, n'excédant pas les 2 à 2.5°C dans des rues de prospects compris entre 2.7 et 6.2, tandis qu'ils atteignent les 8°C dans des rues plus larges de prospect de 1.7.

En conséquence, sous des latitudes moyennes, l'effet du prospect sur les températures semble limité en été. Dans ces conditions, seules les protections solaires horizontales permettent une réduction du stress thermique dans les espaces extérieurs. Le passage couvert, dispositif urbain local constitue une de ces protections efficaces<sup>21</sup>.

---

<sup>20</sup> **KITOUS.S, DAOUDI.N, BOUSSOUALIM.A, BENSALÉM.R, ADOLPHE.L**, "Pour un urbanisme climatique des villes: cas de la vallée du M'zab. Investigations sur les principes d'intégration ancestraux et recommandations pour une planification future", Living in deserts, 2006.

<sup>21</sup> Idem.

### **3-6- Conclusion:**

La notion de confort thermique qui est subjective, a surtout été étudiée dans les espaces intérieurs, qui sont maîtrisables et possèdent des paramètres plus au moins stables, contrairement aux espaces extérieurs où il y a une multitude de facteurs qui entrent en jeu et interviennent au même temps, ce qui la rend plus compliquée et demande plus de moyens et d'intérêt, et même le nombre d'études consacrés à ce volet, malgré qu'elles s'accroissent d'avantage demeurent peu nombreuses.

Dans ce chapitre, nous avons défini cette notion, nous avons donné la définition de quelques indices de confort que nous jugeons utiles, puisque nous allons les rencontrer encore une fois lors de l'analyse de quelques études menées à l'échelle universelle dans le domaine du confort thermique extérieur, et aussi pendant notre simulation.

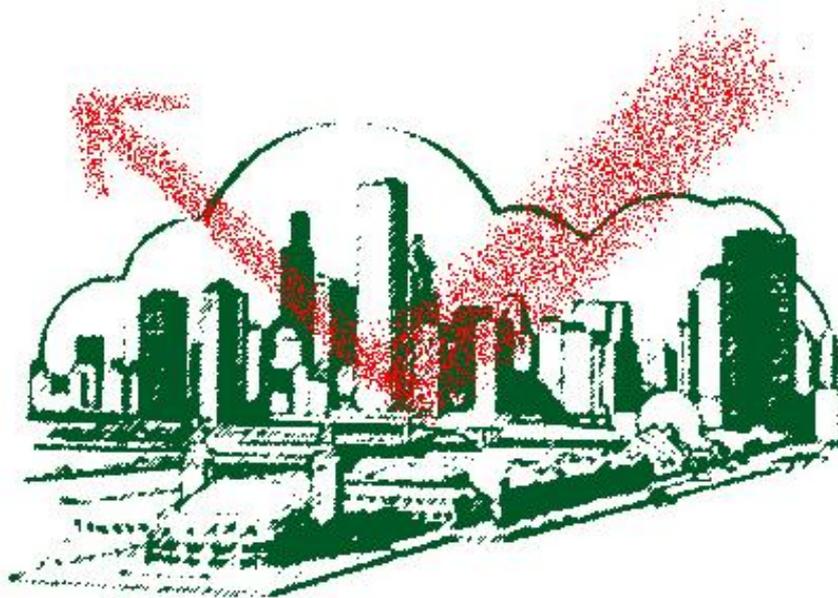
A travers les différentes études, il a été constaté que le confort thermique extérieur au niveau de la rue (canyon) dépend de plusieurs paramètres, les plus importants sont la géométrie, l'orientation ainsi que la réflectivité. Elles influencent d'une manière perceptibles sur l'ambiance extérieure, et le bien être dans ces espaces extérieurs qui sont généralement les plus touchés par la dégradation du degré de confort surtout dans les climats chauds, qui pourra être abouti par un choix judicieux, et une combinaison adéquates de ces différents paramètres.

Mais il est important de signaler à la fin, que les études traitant l'influence de l'albédo sur le confort thermique extérieur d'une façon directe, c'est-à-dire en lui seul en tant que facteur influençant, demeurent très peu nombreuses, nous rencontrons surtout des études qui prennent en considération plusieurs paramètres tel que la végétation, la géométrie et la réflectivité en même temps surtout dans les espaces extérieurs d'une façon générale, mais celles consacrées à la rue, demeurent vraiment très rares.

L'étude de l'impact de la réflectivité des matériaux sur le microclimat et sur le confort thermique extérieur sera analysée plus en détail dans le prochain chapitre.

## CHAPITRE 4:

*L'influence de la réflectivité des matériaux  
(albédo) sur le microclimat urbain  
et le confort extérieur.*



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

Le microclimat à l'intérieur des milieux urbains, notamment dans les espaces de rencontre tel que les places et les rues est influencé par plusieurs paramètres, les plus intervenants sont la végétation, l'albédo des surface et la géométrie urbaine.

L'albédo fait partie intégrante et influence d'une manière significative sur le milieu urbain, spécialement à l'intérieur de la rue (canyon), là où les matériaux de construction sont caractérisés par leur couleur et leur rugosité, et donc leur pourcentage de réflectivité pour le rayonnement solaire, ce qui fait ou bien rafraîchir, ou bien réchauffer cet espace.

Dans le présent chapitre, il s'agit de faire une analyse récapitulative d'une multitude de recherches menées sur la réflectivité des matériaux et son effet sur la modification du microclimat et sur la sensation de confort dans les milieux extérieurs, en s'attardant un peu sur les études utilisant des modèles numériques, pour simuler leurs recherches, afin de pouvoir compléter et enrichir les résultats de leurs investigations.

Il est donc question d'étudier en premier lieu l'albédo dans les espaces extérieurs d'une façon générale, parce que son influence à cette échelle est flagrante et d'une prime importance, puis, en second lieu, d'étudier l'effet de l'albédo au niveau des toits, avec les différents processus pour l'obtention des toits frais. Enfin, en troisième lieu, il s'agit d'étudier l'albédo au niveau de la rue, en analysant l'effet des différents paramètres tel que la géométrie et les matériaux sur la température de surface et de l'air, et terminer par l'impact de l'albédo sur le phénomène d'îlot de chaleur urbain.

Les différentes études et expériences dans ce domaine sont faites dans le but d'analyser les effets des propriétés de réflectivité des matériaux dans le milieu urbain sur la modification du microclimat d'une part, et d'autre part de chercher des solutions techniques pour amortir les effets négatifs et essayer de maintenir un microclimat agréable.

#### **4-2-Litterature review:**

L'étude de l'effet de la réflectivité des matériaux sur le microclimat et spécialement sur la température de l'air a vu le jour au début des années 70, avec l'apparition des notions de l'îlot de chaleur urbain, un nouveau concept qui désigne l'existence d'une différence de température entre le milieu urbain et le milieu rural environnant ce qui provoque une influence directe sur le confort thermique extérieur.

#### **4-2-1-L'albédo au niveau des espaces extérieurs urbains:**

Les espaces extérieurs urbains sont connus par la spécificité de leur microclimat qui est due à plusieurs facteurs entre autres l'albédo, ce paramètre qui s'identifie par le taux de rayonnement réfléchi par rapport au rayonnement incident, se distingue surtout par la couleur du matériau ainsi que sa texture.

#### **4-2-1-1-Quels sont les effets de la couleur, de la rugosité et de la taille des matériaux sur la température de surface des espaces extérieurs urbains?**

\* Doulos, Santamouris, et Livada, en 2004, ont effectué une analyse très riche dans le domaine de la réflectivité<sup>1</sup>, sous forme d'études comparatives visant à chercher la convenance des matériaux utilisés dans les espaces extérieurs urbains, dans le but de contribuer à réduire la température ambiante et combattre l'effet de l'îlot de chaleur. Les matériaux ont été classés selon leur performance thermique et propriétés physiques en matériaux "**frais**" et "**chauds**". L'impact de la couleur, la rugosité de surface et la taille ont été analysés également.

L'étude peut contribuer à la sélection de plusieurs matériaux appropriés pour des applications urbaines extérieures, et ainsi assister à combattre l'effet de l'îlot de chaleur, diminuer la consommation électrique des bâtiments et améliorer les conditions de confort thermique extérieur.

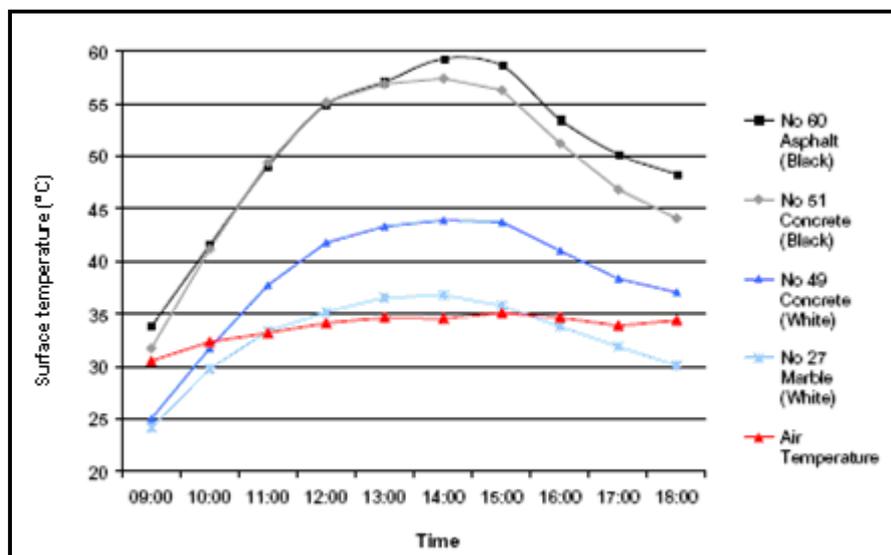
La balance thermique des matériaux a été déterminée surtout par leur réflectivité au rayonnement solaire et leur émissivité aux radiations de longues ondes pendant la journée. Pour le nombre total des matériaux étudiés, les valeurs d'émissivité sont proches de 0.9, les différences observées des températures de surface pour le moyen

---

<sup>1</sup> DOULOS.L, SANTAMOURIS.M and LIVADA.I, " *Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials*", Associate Editor Volker Wittwer, Solar energy 77 (2004) 231-249.

quotidien sont surtout causées par les différents facteurs d'albédo, qui sont affecté par la couleur, la texture et le matériau de construction.

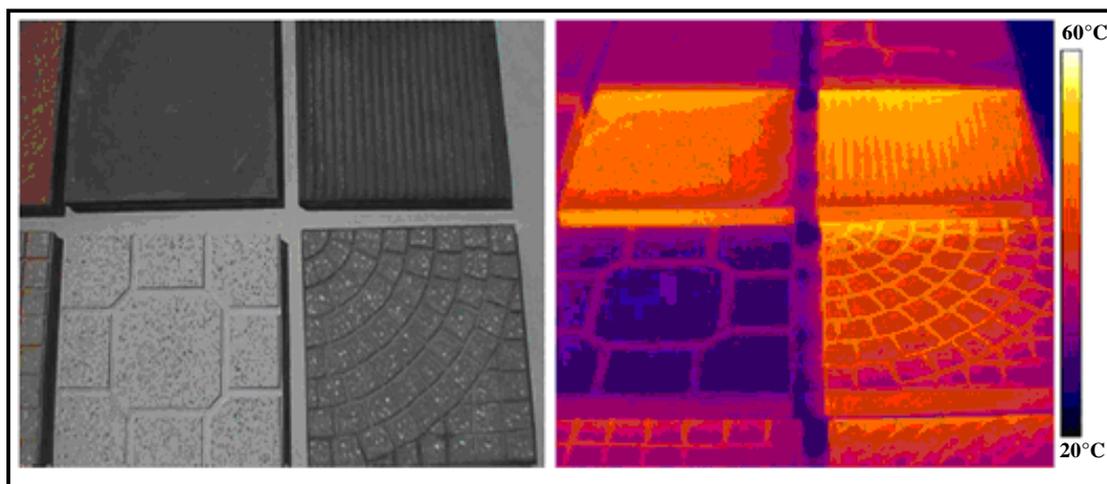
La Fig 4-1 montre la température de surface de plusieurs matériaux entre 9.00het 18.00h.



**Fig 4-1:** distribution des températures de surface entre 9.00 et 18.00 du 7 août, entre les matériaux de tuiles sélectionnées.

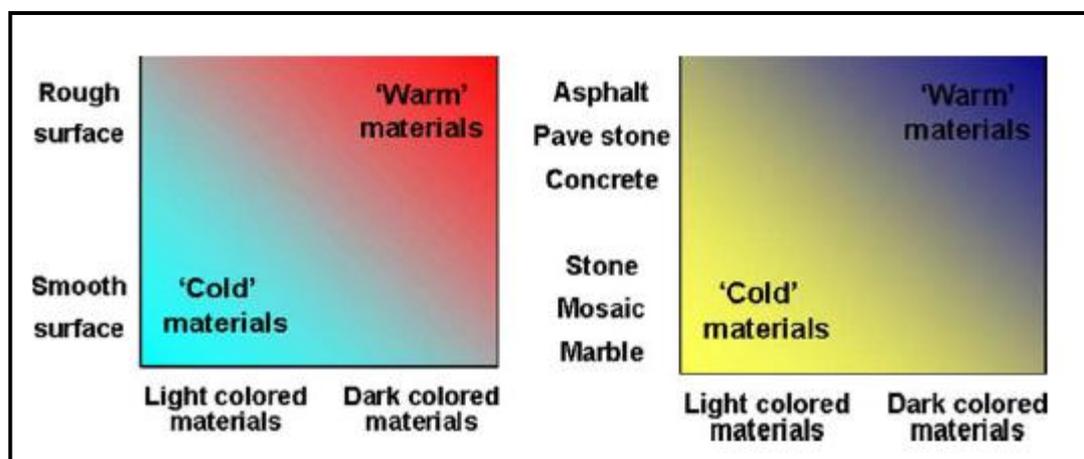
**Source:** Santamouris et al., 2004 (réadapté par auteur)

Il a été déduit que, concernant les couleurs, les tuiles colorées en clair étaient plus fraîches que les autres, et comme exception, les tuiles blanches étaient les plus froides, tandis que les tuiles noires étaient les plus chaudes. Il a été trouvé aussi que, pour ce qui est des matériaux de construction, les tuiles fabriquées en marbre, en mosaïque et en pierre sont plus fraîches que les autres. D'ailleurs, pour l'analyse basée sur les textures des matériaux, les tuiles avec des surfaces lisses et plates étaient plus fraîches que les tuiles avec des surfaces rugueuses et en relief. Finalement, l'étude de l'impact de la taille pour des tuiles qui avaient le même matériau de construction, la même couleur et la même texture, mais des caractéristiques géométriques différentes (la taille de la surface et l'épaisseur), il a été trouvé que les différences dans la température de surface n'étaient pas statistiquement significatives durant la journée.



**Fig 4-2:** Image visible et infrarouge des matériaux de constructions sélectionnés.  
**Source:** Santamouris et al., 2004 (réadapté par auteur)

La distribution de température non uniforme observée sur quelques surfaces de matériaux est due au contraste de leur couleur de surface, la rugosité et le phénomène de transfert de chaleur. La Fig 4-3 indique la classification des matériaux selon la couleur et la rugosité en matériaux frais et chauds.



**Fig 4-3:** Définition des matériaux "frais" et "chauds"  
**Source:** Santamouris et al., 2004

Plusieurs recherches élaborées sur les propriétés physico-thermiques des matériaux de construction ont permis d'effectuer une classification qui dépend de ces caractéristiques.

Il y a eu ce qu'on appelle les matériaux "**frais**", ils sont caractérisés par un haut facteur de réflectivité aux radiations de courtes ondes et une haute émissivité. Ils

réduisent la quantité des radiations solaires absorbées par l'enveloppe des bâtiments et des structures urbaines et gardent ainsi leurs surfaces plus fraîches.

Respectivement, ce sont de bons émetteurs pour les radiations de longues ondes et libèrent l'énergie qui a été absorbée par les radiations de courtes ondes. L'utilisation des matériaux "**frais**" dans la conception de l'environnement urbain contribue à abaisser les températures qui affectent les échanges thermiques avec l'air, améliore le confort à l'extérieur des espaces et diminue la température ambiante.

Donc, comme matériaux "**froids**" peuvent être caractérisés, ceux ayant des surfaces lisses et des couleurs claires, et des matériaux de construction fabriqués en marbre, en mosaïque et en pierre. Semblablement, comme matériaux "**chauds**" peuvent être définis, ceux ayant des surfaces rugueuses et des couleurs foncées, et des matériaux de construction fabriqués en cailloux (galets), en pierre pour pavage et en asphalte.

L'utilisation des matériaux "froids" est importante dans l'environnement urbain et surtout dans les villes qui ont un climat chaud. L'utilisation des matériaux "froids" contribue à la réduction de la température de l'air due au phénomène de transfert de chaleur. Cependant, les matériaux "chauds" au lieu de "froids" sont utilisés dans la conception de l'environnement urbain. Cette utilisation est due soit à des raisons économiques et esthétiques, soit par une mauvaise conception urbaine. Comme résultat, la température dans l'environnement urbain est surélevée et la demande des charges de refroidissement des bâtiments est devenue plus importante.

#### **4-2-1-2-L'effet de l'ombre des arbres sur l'atténuation de la température de l'air:**

\* L'ombre fournie par l'aménagement des rues étroites dans les climats chauds, peut créer un îlot de fraîcheur pendant la journée et a été une partie intégrante dans la plupart des styles architecturaux traditionnels. Danby<sup>2</sup> (1973), par sa propre expérience, a souligné l'effet de l'ombrage des surfaces dans les climats chauds dans la création d'un microclimat tolérable. Il a aussi attiré l'attention sur les inconvénients des rues larges dans les sites chauds tel que Khartoum, avec peu de terrains ombrés,

---

<sup>2</sup> DANBY (1973) in : BOURBIA. Fatiha, «Building cluster and shading in hot dry climate». Thèse de Doctorat. University of reading. 1999, p11.

engendrant l'inconfort thermique. Il suggère que les espaces ouverts dans ces sites doivent être ombrés en plantant des arbres.

De son côté, H.Akbari<sup>3</sup> et al.(1997), ont trouvé que l'ombre réduit la température des surfaces extérieures et l'énergie utilisée pour le refroidissement. Dans leur conclusion ils mentionnent que l'ombre des arbres mesurée à deux maisons à Sacramento rapporte des économies de refroidissement saisonnier de 30%, correspondant à une économie journalière de 4.8 kwh/j. Cela implique que quand les immeubles de la ville ont un albédo bas et des surfaces non ombrées (exposées au soleil en l'absence de la végétation), les surfaces deviennent très chaudes et par conséquent, augmentent la température de l'air, par le phénomène de convection.

Dans une autre étude, H.Akbari<sup>4</sup> et al., ont montré que les températures élevées d'été, dans les îlots de chaleur, augmentent l'utilisation de l'énergie de refroidissement et accélèrent la formation du smog urbain. Ces îlots sont créés principalement par le manque de la végétation et par l'absorption solaire élevée du rayonnement par les surfaces urbaines. L'analyse des tendances de la température pendant les 100 dernières années dans plusieurs grandes villes des états unis indiquent que, depuis ~ 1940, les températures dans les secteurs urbains ont augmenté par environ 0.5-3.0°C. Le centre de Los Angeles par exemple est maintenant plus réchauffé de 2.5°C que 1920, menant à une augmentation de la demande d'électricité de 1500MW. En raison des effets d'îlots de chaleur, une élévation des températures peut avoir des impacts significatifs. Les arbres urbains et les surfaces à haut albédo, peuvent excentrer ou renverser l'effet d'îlot de chaleur. La modération des îlots de chaleur urbains peut potentiellement réduire l'utilisation nationale d'énergie dans la climatisation par 20% et économiser plus de 10 milliards de dollars par an dans l'utilisation d'énergie et l'amélioration de la qualité urbaine de l'air. L'albédo d'une ville peut être augmenté au coût minimal si des surfaces à haut albédo sont choisies pour remplacer des matériaux plus foncés pendant l'entretien courant des toits et des routes. Les programmes encourageants, le produit marquant, et les normes ont pu favoriser l'utilisation des

---

<sup>3</sup> **AKBARLIH, KURN.D.M, BRETZ.S.E, HANFORD.J.W**, "*Peak power and cooling energy savings of shade trees*", Energy and buildings 25 (1997) 139-148.

<sup>4</sup> **AKBARLIH, POMERANTZ.M and Taha.H**, "*Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas*", Solar Energy, Volume 70, issue 3, 2001, p295-310.

matériaux à haut albédo pour des bâtiments et des routes. Des programmes semblables doivent être développés pour les arbres urbains.

Cependant, l'imbrication de la verdure avec le bâti peut avoir des résultats contradictoires, et la végétation peut influencer le microclimat d'une manière négative si elle n'est pas convenablement établi, par exemple en la plantant de manière à ce qu'elle bloque l'accès solaire en hiver et réduit le mouvement du vent en été. Les branches des arbres à feuilles caduques plantées pour l'été doit réduire de 30-40% des gains solaires désirables en hiver<sup>5</sup> et la perméabilité des arbres aux rayonnement solaires est à évaluer pour les deux saisons une fois ces arbres plantés à proximité des bâtiments<sup>6</sup>.

Ceci signale l'importance des espèces d'arbres, par exemple les arbres à feuilles persistantes tout proches des façades sud des bâtiments doivent être évités.

L'emplacement optimal de la végétation est par conséquent un critère crucial pour la planification.

Dans les environnements bâtis denses, les arbres peuvent être plantés dans les places, les aires de stationnement, les intersections des voies ou en rangées le long des rues. McPherson et al., trouvent des économies importantes au Chicago gagnées par les couverts végétaux, pour lesquelles un tiers consiste en l'alignement des arbres dans les rues. La végétation mène à des économies d'énergie importantes si elle est prévue dans les zones résidentielles, où le besoin d'énergie est important, par exemple les cours ou les rues atteignent des valeurs de 50% à 60% d'économie d'énergie.

McPherson et Simpson (1995) évaluent les diverses propriétés des arbres sur l'économie d'énergie. L'efficacité des arbres s'est trouvé dépendante de l'orientation : un arbre localisé pour ombrager la face du mur ouest est aussi efficace que deux arbres identiques sur le mur est. Dans le sud, les avantages sont légèrement compensés par les effets négatifs de l'obstruction en hiver. La forme et le volume de l'arbre peut être plus important que sa densité en relation à l'ombrage parce que la variabilité saisonnière du diamètre de la couronne est plus grand (4 à 16m) que celui

---

<sup>5</sup> MCPHERSON, 1992 in: ALI TOUDERT.Fazia, "*Dependence of outdoor thermal comfort on street design in hot and dry climate*" thèse de doctorat, université de Freiburg, 2005, p39.

<sup>6</sup> CANTON et al., 1994 in: ALI TOUDERT.Fazia, "*Dependence of outdoor thermal comfort on street design in hot and dry climate*" thèse de doctorat, université de Freiburg, 2005, p39.

de sa densité (60 à 90%). Les arbres larges peuvent ombrager plus de surface que ceux étroits et denses et deux arbres sont cinq fois plus efficace qu'un seul arbre<sup>7</sup>.

#### **4-2-1-3-L'influence des matériaux de surface sur le microclimat des espaces**

##### **ouverts:**

Parmi plusieurs paramètres qui affectent les conditions microclimatiques des espaces ouverts, il y a en plus de la morphologie des tissus urbains les propriétés des surfaces.

L'utilisation de plusieurs matériaux de construction tel que le marbre, la pierre, le béton, les tuiles en céramiques et l'asphalte aussi bien que l'eau et l'herbe, révèlent les effets de ces matériaux et les propriétés de surface sur le microclimat développé, en comparant des espaces mesurés simultanément. Les mesures des radiations solaires incidentes et réfléchies ont permis l'estimation de l'albédo des surfaces. Des simulations à l'aide de deux logiciels<sup>8</sup> qui sont ENVI-met v3.0 et RadTherm v8.0 ont été élaborées pour évaluer la possibilité d'examen et de vérifications supplémentaires d'un large éventail d'espaces ouverts.

Les données mesurées dans cinq espaces urbains ouverts, durant les conditions chaudes d'été, ont été utilisées pour évaluer l'effet des différents matériaux de surface sur le microclimat de chaque zone. En effet, les mesures révèlent un rapport entre les températures de surface et l'albédo des surfaces, où les températures les plus basses ont été observées avec les plus hauts albédo excepté le cas de l'herbe où l'influence de l'évapotranspiration, l'ombre et la capacité thermique du sol était importante.

Des études signalent que les températures moyennes radiant les plus hautes sont dans les zones avec un haut albédo, comparé à des surfaces réfléchies moindres<sup>9</sup>.

---

<sup>7</sup> Idem.

<sup>8</sup> CHATZIDIMITRIOU.Angeliki, CHRISOMALLIDOU.Niobe, YANNAS.Simos, "Ground surface materials and microclimates in urban open spaces" PLEA, The 23<sup>rd</sup> conference, Geneva, Switzerland, 2006.

<sup>9</sup> SHIRAIHLY et al., 2005, in CHATZIDIMITRIOU.Angeliki, CHRISOMALLIDOU.Niobe, YANNAS.Simos, "Ground surface materials and microclimates in urban open spaces" PLEA, The 23<sup>rd</sup> conference, Geneva, Switzerland, 2006.

Par ailleurs, la rugosité de surface joue un rôle important dans l'augmentation des températures de surface. La surface rugueuse d'asphalte semble être plus chaude que la surface lisse de marbre blanc avec une couleur et un albédo similaires. D'autres études ont aussi rapporté des températures de surface plus hautes sur les surfaces rugueuses comparées aux surfaces lisses de la même couleur. L'effet de la porosité est observé dans la comparaison des surfaces de la pierre et du béton poreux. La pierre poreuse colorée en clair présente une température similaire à celle du marbre blanc qui a un albédo plus haut et une surface plus lisse. Les études ont signalé une plus basse température pour les matériaux poreux de chaussée attribuée à une haute quantité d'eau échangée entre la surface et le sol le plus profond qui augmente le rafraîchissement par évaporation.

De plus, les surfaces ombrées ont des températures de surface plus basses que la température de l'air au dessus de l'herbe et des tuiles en béton, et sont plus que 40% plus fraîches que les mêmes surfaces qui sont exposées au soleil. La différence de température entre différentes surfaces sous des différentes ombres de couvertures est négligeable.

L'effet de l'évaporation d'eau peut résulter des différences de la température d'air arrondie à 8.3K sur une distance de 9m, comme observé par la comparaison de la température de l'air au dessus de l'eau et de l'asphalte<sup>10</sup>.

#### **4-2-1-4-Influence de l'albédo du à la densité du cadre bâti et à la nature des matériaux sur la température de l'air:**

\* Landsberg<sup>11</sup> (1970), a résumé l'effet de l'urbanisation sur le microclimat résultant aussi bien que sur le macro-climat. Il a souligné l'îlot de chaleur urbain et la variation de l'insolation due à l'urbanisation parmi des plus saillants pour le changement total du climat local. L'insolation est déterminée par la situation géographique du site, la forme et l'orientation des structures individuelles et au dessus de tous les groupements denses des bâtiments. Landsberg cite l'effet de l'îlot de

---

<sup>10</sup> CHATZIDIMITRIOU.Angeliki, CHRISSOMALLIDOU.Niobe, YANNAS.Simos, "Ground surface materials and microclimates in urban open spaces" PLEA, The 23<sup>rd</sup> conference, Geneva, Switzerland, 2006.

<sup>11</sup> LANDSBERG (1970) in: BOURBIA. Fatiha, « Building cluster and shading in hot dry climate ». Thèse de Doctorat. University of reading. 1999, p11.

#### Chapitre4: L'influence de la réflectivité des matériaux (albédo) sur le microclimat urbain et le confort extérieur.

chaleur dans un bâtiment complexe isolé après le coucher du soleil. Il conclut que cet effet d'îlot de chaleur a précisément été causé par la libération de la chaleur absorbée radiativement par la maçonnerie et le pavement. Il mesure la température de l'air au dessus de différents types de surfaces dans la ville de Columbia Maryland, et trouve que la température de l'air au dessus des lots de parking et des pavements étaient 0.7 et 1.1k plus importante que la température de l'air mesurée au dessus d'un dégagement couvert calme, lequel était exposé aux radiations solaires. En contraste, la température de l'air au dessus d'une zone ombrée par des arbres montre une augmentation de 0.2k seulement, par rapport toujours au dégagement couvert calme.

\* En 1982, Masaru Aida, du laboratoire météorologique de l'université nationale de Yakohama au Japon<sup>12</sup>, a développé un modèle expérimental dans le but d'examiner l'effet de l'irrégularité de la surface de la structure urbaine sur l'absorption exceptionnelle des radiations solaires incidentes. Plusieurs modèles de structures urbaines rassemblent des bâtiments et des canyons ont été construits par l'utilisation des blocs de béton en forme cubique. En montant et démontant les modèles urbains, l'albédo change en fonction de l'angle du zénith solaire observé à travers l'année. Le résultat montre que l'augmentation de l'absorption originelle de la structure urbaine irrégulière s'élève à environ 20% comparé à l'absorption par une surface plane pour le même matériau. La somme de l'absorption additionnelle dépend de la surface relative occupée par les canyons dans le modèle.

Aida affirme qu'il y a une relation directe entre la densité du cadre bâti et la réflexion du rayonnement solaire, c'est-à-dire que plus l'emprise au sol est élevée plus grande est la quantité de radiation réfléchie, et ce en examinant la relation entre la radiation solaire globale, directe et diffuse et sa réflexion sur des modèles expérimentaux représentant une structure urbaine.

#### **4-2-1-5-Des peintures réfléchissantes pour les milieux urbains:**

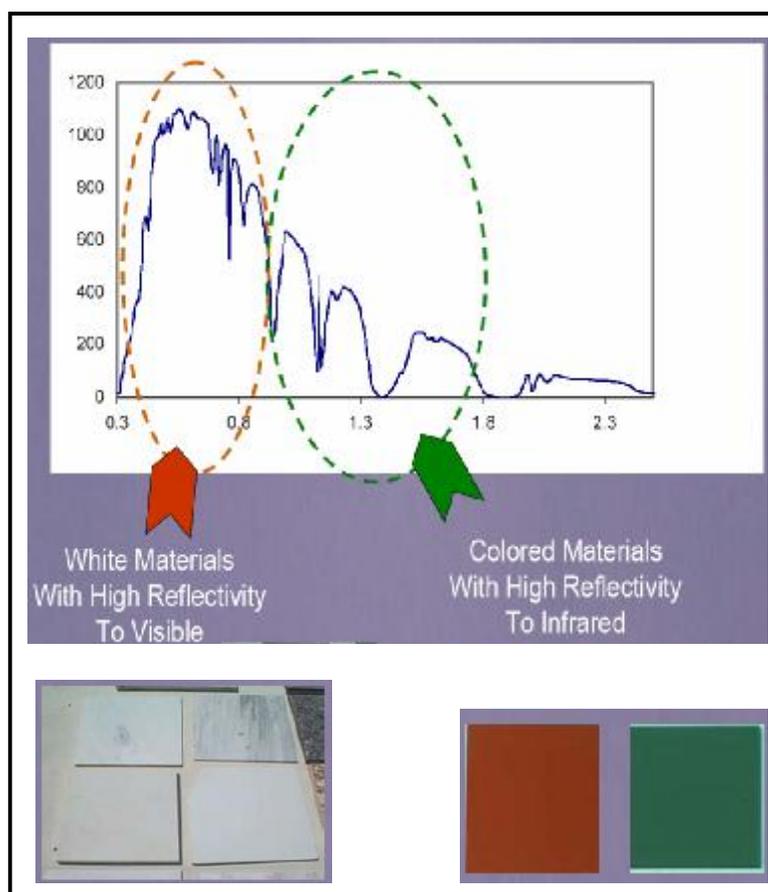
Divers types de peintures réfléchissantes pour les toits, et les façades extérieures des bâtiments, aussi bien que les trottoirs et les rues ont été développés récemment.

---

<sup>12</sup> AIDA.M, "Urban albedo as a function of the urban structure-a model experiment (part I)", Boundary-Layer Meteor., 23, 4.5-413, 1982.

En effet, une nouvelle génération des peintures fraîches présente une plus haute réflectivité du spectre solaire Fig 4-4 parmi toutes les peintures existantes et garantie le maximum de bénéfices thermiques pour le bâtiment dans les climats chauds.

Des mesures extensives effectuées ont prouvé que la réflectivité solaire de la nouvelle génération des peintures fraîches excédait les 95%.



**Fig 4-4:**Réflectivité des nouvelles peintures fraîches au spectre solaire.  
**Source:**Santamouris, 2006

Une étude comparative des températures de surface pour diverses peintures extérieures, exécutée durant une saison estivale entière a prouvé que la nouvelle génération des peintures fraîches présentait durant le jour des températures plus basses d'environ 6°C que les marbres blancs<sup>13</sup>.

Par ailleurs, une série de changement de l'albédo urbain peut avoir des effets indirects importants à l'échelle d'une ville. Taha et al. (1997), montrent que la

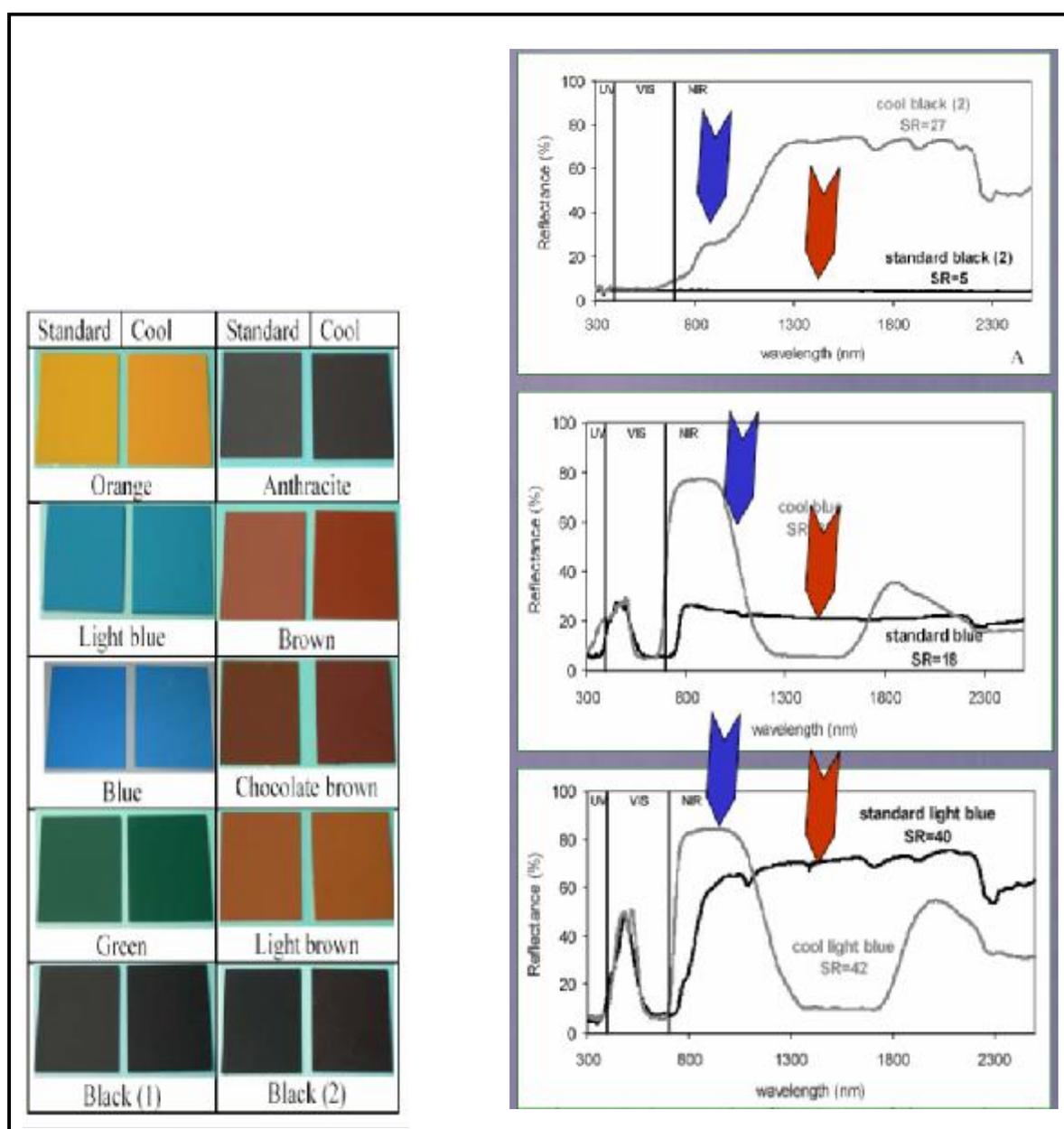
---

<sup>13</sup> **SANTAMOURIS.Mathéos**, "The role of materials. Impact on the temperature regime of cities", Ec-Asean Energy Facility (EAEF), Singapore, 2006.

Chapitre4: L'influence de la réflectivité des matériaux (albédo) sur le microclimat urbain et le confort extérieur.

température de l'air des après midi de journées d'été peuvent être abaissés d'une valeur de 4°C en changeant l'albédo des surfaces de 0.25 à 0.40 dans un climat chaud typique de mid-latitude. Taha rapporte qu'une moyenne de 2°C jusqu'à 4°C peut être possible par l'augmentation de l'albédo par 0.13 dans les zones urbanisées.

Des tests parallèles ont montré des températures de surfaces beaucoup plus basses pour les peintures fraîches. L'intervalle des différences de températures varie entre 2 et 10°C selon la réflectivité des matériaux et les radiations solaires incidentes.



**Fig 4-5:** Comparaison entre la réflectivité des matériaux standard et celle des matériaux frais.

**Source:** Santamouris, 2006

Afin d'améliorer le microclimat, des matériaux frais, sont généralement combinés avec d'autres techniques de rafraîchissement tel que: des pergolas et plantes, de l'ombrage externe, des bassins et des fontaines aussi bien que des techniques pour l'augmentation de l'écoulement de l'air.

#### **4-2-1-6-Evaluation des conditions de rayonnement dans les espaces urbains:**

Le besoin des gens à accroître leur vie sociale en relation avec un environnement physique confortable a provoqué la recrudescence de l'intérêt porté à la qualité des espaces urbains ouverts.

Les conditions de confort thermique dans les espaces urbains sont déterminées par une combinaison de facteurs socio-psychologique et physiques. Les objets qui constituent l'environnement urbain en incluant plusieurs paramètres tel que les matériaux de construction, les abris et la végétation, jouent un rôle important dans la modification du microclimat et des conditions de confort thermique.

Parmi plusieurs recherches menées dans le cadre du projet RUROS<sup>14</sup>, une méthode graphique simplifiée destinée à évaluer les conditions de rayonnement dans un contexte urbain a été développée sur la base de simulations numériques avec le logiciel Solene. Les résultats de cette méthode constituent une approximation de la MRT (mean Radiant Temperature) ou la température moyenne radiante, qui peut être utilisée pour calculer des indices de confort comme la PET ou d'autres.

Un intérêt particulier de la recherche visait l'étude des variations spatio-temporelles du champ de rayonnement selon l'utilisation de divers matériaux et de leurs propriétés physiques, qui est considéré comme variable principale.

Les matériaux étaient regroupés en deux classes dépendant de l'albédo et de la capacité thermique. Les matériaux frais sont normalement ceux possédant une couleur claire et une forte capacité thermique, tandis que les matériaux chauds diurnes sont ceux possédant une couleur sombre et une capacité thermique faible.

Le rayonnement est contrôlé par la couleur (albédo), la capacité thermique par la masse.

---

<sup>14</sup> " *Concevoir des espaces extérieurs en environnement urbain: Une approche bioclimatique*"  
RUROS – Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces-2002.

Chapitre4: L'influence de la réflectivité des matériaux (albédo) sur le microclimat urbain et le confort extérieur.

Les modifications du rayonnement ont été considérées par l'albédo. Plus précisément, un matériau clair réfléchissant 80% du rayonnement solaire incident et un matériau sombre ne réfléchissant que 20% ont été retenus.

Le Tab 4-1 représente les différentes valeurs d'albédo prises en considération:

	Albédo 0.1-0.3	Albédo 0.4-0.6	Albédo 0.7-0.9
Surfaces	Asphalte noir Béton sombre Pelouse Ardoise	Béton clair Cuivre oxydé Brique rouge Pierre	Pierre calcaire Marbre blanc Peinture blanche

**Tab 4-1:** Classification des matériaux en trois catégories en fonction de leur albédo.

**Source:** Concevoir des espaces extérieurs en environnement urbain (RUROS)

**4-2-1-7-Les travaux de "heat island group" du laboratoire "Lawrence Berkeley National Laboratory" LBNL:**

Des recherches en cours menées par l'équipe de l'îlot de chaleur (heat island group) du laboratoire LBNL, avec le leader Hashem Akbari, ont montré que l'utilisation des matériaux de construction à haute réflectivité (haut albédo) ainsi que la végétation urbaine peuvent considérablement conserver l'énergie de rafraîchissement (Taha 1988; Akbari et al.1993, 1997), en réalisant des économies qui peuvent être indirectement accumulées par la réduction de la température de l'air dans le voisinage ou la ville (Taha 1988). Aussi le haut albédo des surfaces et la végétation réduisent la quantité des radiations solaires incidentes canalisées dans la chaleur sensible (Oke 1978).

**4-2-2-L'albédo au niveau du toit:**

**4-2-2-1-L'influence de l'albédo des toits sur la température de surface du toit:**

Afin d'aboutir à des solutions passives qui peuvent atténuer les effets négatifs des îlots de chaleur par l'évaluation de la performance spectrale des matériaux utilisés dans les toitures des bâtiments, une étude a été menée par l'utilisation d'une variété de matériaux pour les toitures des constructions en Brésil<sup>15</sup>, en utilisant un spectrophotomètre avec accessoire de sphère intégré, et évaluant le gain de chaleur

---

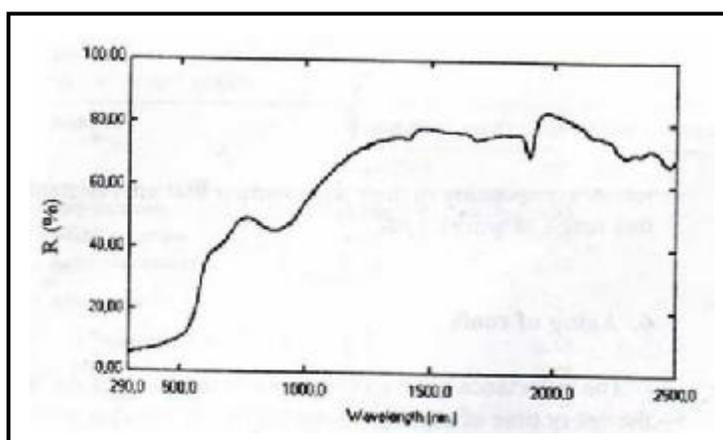
<sup>15</sup> PRADO R.T.A , FERREIRA F.L, "Measurement of albedo and analysis of its influence the surface temperature of building roof materials" Energy and Buildings 35(2005)295-300.

sur les toits , par le calcul des températures de surface que peut atteindre chaque matériau quand il est exposé au rayonnement solaire.

Dans la plupart des bâtiments, le toit est l'élément de construction le plus exposé au rayonnement solaire. Il est donc responsable de transférer la grande partie du flux de chaleur au bâtiment et à son environnement. Les surfaces avec albédo surélevé demeurent froides quand elles sont exposées au rayonnement solaire, parce qu'elles absorbent peu de rayonnement et émettent beaucoup de radiations thermiques à l'espace, par conséquent, elles transmettent peu de chaleur pour leur environnement.

Il a été déduit que les céramiques blanches et rouges sont les seuls matériaux parmi plusieurs mesurés qui avaient atteint des températures de surface plus basses que les températures de l'air. Par contre, les matériaux métalliques qui ont des performances similaires à celles des céramiques blanches et rouges, avec des valeurs d'albédo d'environ 55% ont montré des températures de surface beaucoup plus hautes. Cela s'est produit à cause de la basse émissivité des matériaux métalliques sans peinture qui émettent peu les radiations thermiques, et la perte de chaleur par convection ne peut pas les refroidir.

La réflectivité des céramiques rouges en fonction des longueurs d'ondes est schématisée par la Fig 4-6.



**Fig 4-6:** Courbe de réflexion pour les céramiques rouges.

**Source:**PRADO.R.T.A, FERREIRA.F.L, 2005

L'efficacité de l'albédo et l'émissivité des matériaux sont des paramètres qui peuvent être adoptés par les fabricants des matériaux utilisés dans les toitures, par des

#### Chapitre4: L'influence de la réflectivité des matériaux (albédo) sur le microclimat urbain et le confort extérieur.

processus d'amélioration continue, afin de diminuer les impacts atmosphériques de l'îlot de chaleur, et la demande d'énergie dans les centres urbains.

Dans certains pays, notamment les USA, il existe des études qui prennent en considération l'inclusion de règlement pour déterminer des paramètres limites de réflectivité et émissivité pour les matériaux utilisés dans les toits de constructions, des bâtiments commerciaux et industriels, qui d'habitude demandent beaucoup d'énergie. Le but de cette proposition est de diminuer la demande en énergie et de compenser les émissions de polluants d'autres sources génératrices de polluants, tel que les voitures par exemple.

\* Dans une étude menée dans le cadre de "heat island project" en 1995, Rosenfield et al.,<sup>16</sup> proposent l'utilisation d'une série de politiques pour des programmes<sup>17</sup> d'exécution de surfaces froides. Parmi lesquelles, la création des procédures de tests qui peuvent caractériser les matériaux "frais/froids", dans le but de créer une base de données qui peut aider les chercheurs, dessinateurs et utilisateurs. Une conscience collective pour un programme spécifique d'information, l'inclusion des toits frais/froid et l'ombre des arbres dans les critères d'ASHRAE<sup>18</sup> pour la performance d'énergie de bâtiments, la création de motivations par des conditions en fonction de leur utilité publique.

Rosenfield et al., citaient l'impact de l'îlot de chaleur sur l'utilisation de l'énergie. Quand une région de surfaces non ombrées, sèches et avec un bas albédo, est exposée à la lumière du soleil, les surfaces deviennent très chaudes, et à leur tour, échauffent l'air à travers la région.

Cet effet climatique est assez considérable. Les journées d'été, l'îlot de chaleur urbain avec des températures de 2 à 3k plus importantes que les zones environnantes sont constatées à travers les USA. A Los Angeles les pics de température sont de  $\approx 3k$  plus haute que leur niveau en 1940, et augmentent plus rapidement que 0.5k par décade

---

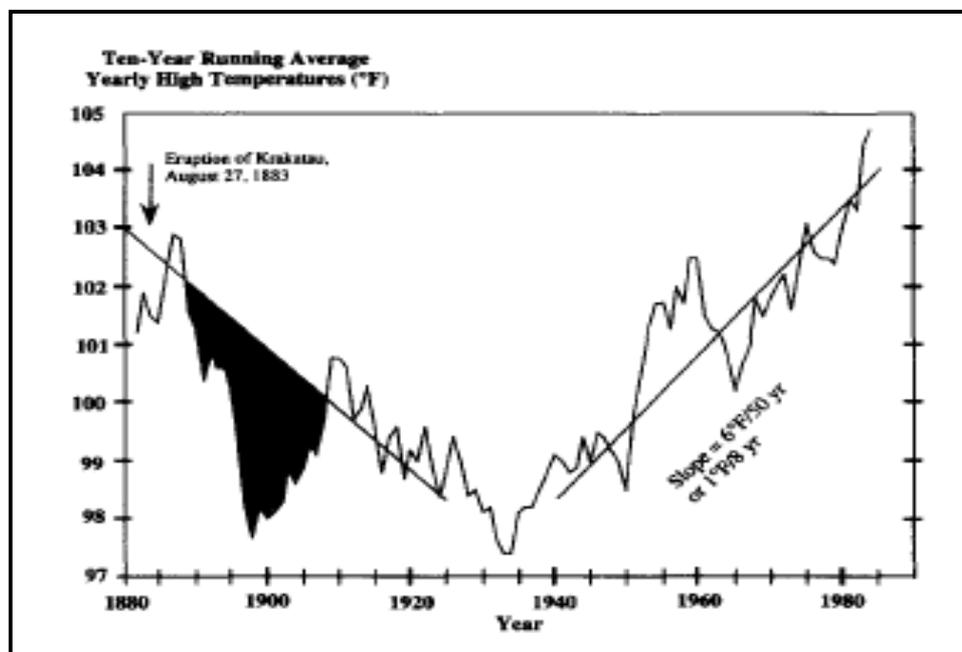
<sup>16</sup> ROSENFELD.Arthur.H, AKBARI.Hashem, BRETZ.Sarah, FISHMAN.Beth.L, KURN.Dan.M, SAILOR.David, TAHA.Haider, "Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, up dates" energy and buildings 22 (1995) 255-265.

<sup>17</sup> L'exécution des mesures de l'atténuation de l'îlot de chaleur occupe dans cette période une part très importante dans le plan d'action du changement du climat du président Clinton, pour contrôler les émissions des gaz à effet de serre, nécessitant une très bonne compréhension des profits quantitatifs de ces mesures de contrôle.

<sup>18</sup> ASHRAE : American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers.

Chapitre4: L'influence de la réflectivité des matériaux (albédo) sur le microclimat urbain et le confort extérieur.

comme montré dans la Fig 4-7. Ces hautes températures de l'air affectent fortement l'utilisation d'énergie et la qualité de l'air de la ville. Pour chaque augmentation de 1k, la température de l'air augmente au dessus de 18°C, le pic de la demande de rafraîchissement à Los Angeles augmente de 30%. L'îlot de chaleur estival de Los Angeles compte ainsi 1.4GW (gégawatt) du pic de puissance.



**Fig 4-7:** Dix ans continus moyens de haute température dans le centre de Los Angeles, CA (1882-1984)

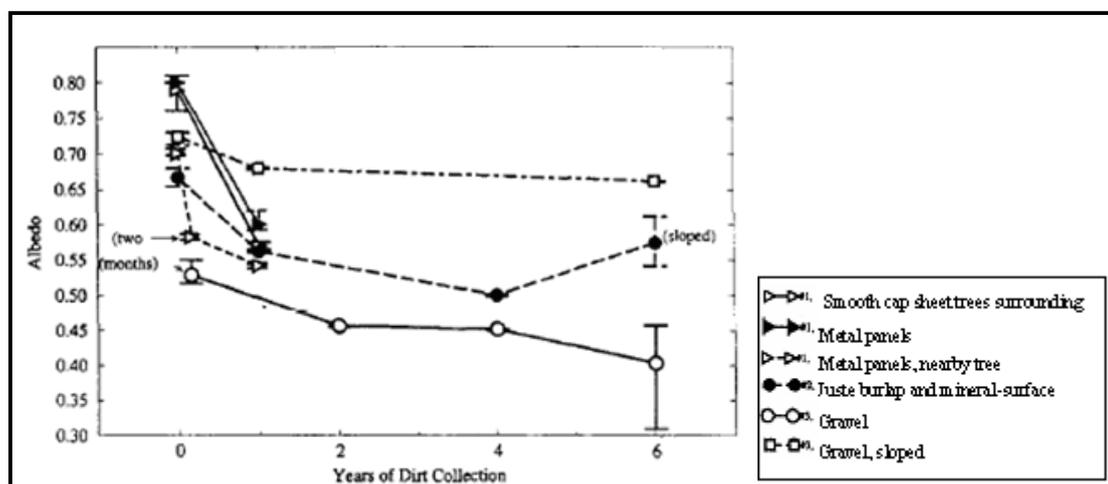
**Source:**Rosenfield et al.1995

Nationalement, l'îlot de chaleur lève la demande de conditionnement de l'air par environ 10GW, les payeurs établissent un taux de plusieurs millions de dollars par heure, et un milliard de dollars annuellement. Dans leur conclusion, ils décrivent les économies potentielles avec l'augmentation de l'albédo des surfaces et en augmentant la végétation urbaine (ombrage) comme des voies faciles pour conserver l'énergie, économiser l'argent et probablement réduire la pollution de l'air. Rosenfield et al.1995, ont montré que 20 à 40% des énergies directes peuvent être économiser en augmentant l'albédo d'un seul bâtiment, et une simulation numérique indique que les effets indirects d'une large échelle de changement d'albédo, pourra presque doublé les économies directes. A son potentiel maximum un programme de vigoureuses surfaces fraîches et l'ombre des arbres peut économiser annuellement 10 milliard de dollars en énergie et des coût d'équipement, et élimine 27 millions métriques d'émission de CO2.

L'utilisation de matériaux "froids" en conjonction avec l'augmentation des espaces verts est une alternative vive et à bas prix, qui peut être exécuter dans les surfaces urbaines et dans la construction de nouveaux bâtiments comme une stratégie pour réduire les effets nuisibles de l'îlot de chaleur. La première étape de l'application pratique de ces concepts est de trouver une conscience collective pour l'importance de l'utilisation de plusieurs matériaux efficaces, qui peuvent contribuer à l'atténuation des hautes températures dans les centres urbains et leurs conséquences, jointoiment à l'importance de la composition de l'enveloppe de l'environnement, et l'économie d'énergie et le confort thermique.

#### 4-2-2-2-L'albédo s'affaiblit avec l'âge:

La réflectivité des toitures tend à changer avec l'âge ou la durée d'utilisation. L'exposition au temps tend à diminuer la réflectivité des matériaux clairs et à augmenter la réflectivité des matériaux sombres. Une étude sur 10 toitures en Californie a été élaborée pour surveiller l'effet de l'âge, finie par conclure que la réflectivité des matériaux clairs diminuent d'environ 15% pendant la première année d'utilisation<sup>19</sup> Fig 4-8.



**Fig 4-8:** Exposition de trois toits peints, sur différentes sous-couches. Les années de collection de la saleté sont soit les années depuis que les toits étaient peints, soit depuis le dernier lavage approfondi. (Les toits sont plats).

**Source:**Bretz.S et Akbari.H, 1997 (Réadapté par auteur)

<sup>19</sup> BRETZ.Sarah, AKBARI.Hashem, "Long-term performance of high-albedo roof coatings", energy and buildings 25(1997) 159-167.

Des économies d'énergie de rafraîchissement de 10 à 70% ont été atteintes par l'application des peintures de haut albédo à des bâtiments résidentiels en Californie et en Floride. Sarah Bretz et Hashem Akbari, ont pu déduire que l'accumulation des saletés peut altérer la performance des toits à haut albédo telle que la mesure de l'efficacité de l'énergie, ils examinent quelques peintures à haut albédo à diverses phases de l'exposition pour déterminer la magnitude de cet effet. Ils concluent que la plupart des dégradations d'albédos surviennent au cours de la première année d'application, et même durant les deux premiers mois d'exposition. Sur un toit, 70% de la baisse d'albédo pour l'entière première année survient au cours des deux premiers mois. Après la première année, la dégradation ralentie, avec des données indiquant de petites pertes dans l'albédo après la deuxième année. Ils utilisent des données mesurées pour estimer les effets d'altération des toits blancs sur l'énergie du rafraîchissement saisonnier et estiment une réduction de 20 % pour les économies d'énergie de la première année pour toutes les années suivantes, (2-10). Bien que, le lavage des toits avec du savon est efficace pour restaurer l'albédo original, des calculs montrent que ce n'est pas rentable d'embaucher quelqu'un pour laver un toit à haut albédo seulement pour atteindre des économies d'énergie. A la place, il serait utile de développer et d'identifier des peintures à haut albédo résistantes à la saleté.

#### **4-2-2-3-Le lavage des toits conserve leur température fraîche:**

Les peintures de toits à haut albédo peuvent garder les constructions fraîches et ainsi réduisent l'énergie utilisée pour le conditionnement de l'air. Les peintures à haut albédo -qui sont très réfléchives- abaissent l'absorption de l'énergie solaire, réduisent les températures de surface et diminuent le transfert de chaleur dans le bâtiment.

Pour maximiser les économies de rafraîchissement, ces matériaux doivent:

- 1-avoir une haute réflectivité solaire.
- 2-avoir une haute émissivité à l'infrarouge.
- 3-maintenir ces propriétés pour plusieurs années.

Il y a peu de données sur le changement de la réflectivité des peintures à haut albédo, Puisque une peinture de toit ordinaire d'une bonne qualité survivra dix ans,

mais malgré cela, le groupe de l'îlot de chaleur " heat island group" a quantifié les effets de l'altération et l'accumulation de la saleté sur les peintures à haut albédo<sup>20</sup>.

Dans une étude, les chercheurs du groupe ont identifié les peintures à haut albédo, pour chaque peinture, ils séparent les toitures qui ont été revêtu par la peinture. Ils ont mesuré l'albédo de chaque toit à l'aide d'un pyranomètre. Quelques toits alors, ont été lavé par de l'eau et du savon dans la tentative de rendre à l'albédo sa valeur originale, et les mesures se répétaient.

La réduction moyenne de l'albédo après une année de salissure était de 0.15, allant de 0.04 à 0.23. La réduction d'albédo pour la plupart des toits qui ont collecté la saleté pendant deux, quatre et six ans était similaire, indiquant que l'albédo diminue le plus pendant la première année et que plus tard la réduction de l'albédo à travers les six ans peut être négligeable.

Certains distributeurs de peinture de toits recommandent d'appliquer d'autres couches de peinture après dix ans pour la raison de la diminution rapide de l'albédo après la dixième année, où il aura l'apparition de poussée microbienne.

#### **4-2-2-4-Les matériaux pour des toits frais:**

Une étude établie par H.Akbari<sup>21</sup> et al., pendant les étés de 1991 et de 1992, sur une maison et deux pavillons d'école à Sacramento, en Californie, avait pour objectif la surveillance de la puissance maximale et l'épargne d'énergie de refroidissement des toits à haut albédo. Ils ont rassemblé des données sur l'électricité utilisée pour le conditionnement de l'air, les températures intérieures et extérieures, l'humidité, les températures de surface du toit et du plafond, les températures intérieures et extérieures des murs, l'insolation et la direction et vitesse du vent.

L'application des enduits à haut albédo sur la maison a eu comme conséquence, l'épargne saisonnière de 2.2Kwh/j (80% d'utilisation de situation de base), et des réductions d'une demande maximale de 0.6 Kilowatt. Dans les pavillons d'école, l'énergie de refroidissement a été réduite de 3.1Kwh/j (35% d'utilisation de situation de base), et une demande maximale de 0.6kilowatt. Les bâtiments étaient modelés par

---

<sup>20</sup> <http://www.eetb.lbl.gov/HeatIsland/coolroofs/wash/>

<sup>21</sup> **AKBARI.Hashem, BRETZ.Sarah, KURN.Dan.M, HANFORD.Jamesm**, "Peak power and cooling energy savings of high-albedo roofs", energy and buildings 25(1997) 117-126.

le programme de DOE-2.1E. Les résultats de la simulation sous-estiment l'épargne d'énergie de refroidissement et les réductions de puissance maximale par près du double.

#### **4-2-3-L'albédo au niveau de la rue:**

##### **4-2-3-1-L'albédo des chaussées:**

"Albédo" ou réflectivité est le ratio de la quantité de lumière réfléchies d'un matériau par rapport à la quantité de lumière luisante sur le matériau. Dans le cas des chaussées, le plus bas albédo suggère que le maximum de lumière du soleil est absorbé par la chaussée. Cette lumière est convertie en une énergie thermique et la chaussée devient plus chaude. Une chaussée avec un haut albédo, une énergie moindre est ainsi plus fraîche.

Le groupe de l'îlot de chaleur urbain, "heat island group" a mesuré les albédos de divers pavements en béton et asphalte, les surfaces les plus récemment pavées ont un albédo de 0.04, parce que l'asphalte (bitume) couvre les agrégats, (un pavement typique d'asphalte et de béton est de 85% par volume d'agrégat minéral et 15% d'asphalte). Au cours de 5 ans, les albédos augmentent à une valeur moyenne de 0.12 parce que l'asphalte s'use révélant quelques agrégats.

##### **4-2-3-2-Influence de la géométrie urbaine, de l'orientation et des matériaux de construction sur la température de surface et de l'air:**

\* Aida, en collaboration avec Gotoh<sup>22</sup>, en l'an 1982, ont montré que la grandeur efficace de l'albédo diminue avec l'augmentation du rapport d'aspect d'au moins au-delà de  $H/W=2$ . Une simulation numérique bidimensionnelle a permis d'avoir des résultats très intéressants, concernant la relation entre l'albédo, le profil de la rue et la densité du plan. Dans cette étude, le réseau considéré est parallèle à la direction Nord-Sud. Il a été déduit par cette recherche qu'il existe une forte dépendance de l'albédo

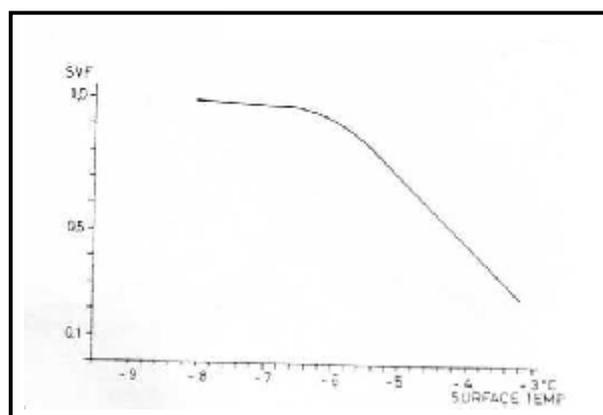
---

<sup>22</sup> AIDA.M et GOTOH.K (1982) in PAWLAK.Wlodzimerz, FORTUNIAK.Krzysztof, "Application of physical model to study effective albedo of the urban canyon" université de Lotz Poland,

par rapport au ration largeur du bâtiment /largeur de la rue (L/W) et donc sur la densité du plan ( $\rho$ ) qui représente le ratio surface toiture /surface totale<sup>23</sup>.

\* Une étude menée à Göteborg, en Suède, Par I.Eliasson<sup>24</sup>, sur la relation entre la géométrie urbaine et les températures de la surface et de l'air, en prenant comme échelle d'étude la ville et le canyon urbain, a été établie avec l'utilisation d'une station de mesure ordinaire et trois stations de mesures spéciales. Parmi les systèmes utilisés pour l'enregistrement des températures et des humidités ainsi que le vent, la thermographie infrarouge. La géométrie de la ville est décrite par le facteur d'ouverture au ciel (SVF: Sky View Factor). L'étude a révélé qu'en général, les résultats montrent une variation de température moindre que celles attendues. La température de surface varie de quelques degrés entre les différentes géométries urbaines, mais la variation de la température de l'air est très petite. Des études complémentaires sont prévues pour déterminer la variation de température à l'intérieur de la ville et entre la ville et la campagne.

La première partie de l'étude, a traité la relation entre la géométrie urbaine décrite par le SVF et la surface urbaine et la température de l'air. La Fig 4-9 montre les résultats des mesures.



**Fig 4-9:** Relation entre la température de surface et le SVF.

**Source:** Eliasson.I, 1991.

<sup>23</sup> AIDA.M et GOTOH.K in ACHOUR-BOUAKKAZ.Nawel, « La relation entre l'îlot de chaleur urbain, phénomène du changement climatique et la densité du plan bâti : cas de la ville d'Alger » mémoire de magister, université Mentouri Constantine, 2006, p76.

<sup>24</sup> ELIASSON.Ingegard, "Urban geometry, surface temperature and air temperature" Energy and buildings.15-16(1990/91) 141-145.

#### Chapitre4: L'influence de la réflectivité des matériaux (albédo) sur le microclimat urbain et le confort extérieur.

La ligne est droite pour les SVF moins que 0.9. Pour une valeur de SVF=0.9 la ligne est arrondie. C'est un effet de diminution de la température dans les espaces ouverts et la limite du SVF à 1.0. La température de l'air à 0.2 et 2m au dessus de la surface varie très peu (<1.0°C) à l'intérieur de la ville.

\* D'autres recherches, nombreuses ont été consacrées à la variation des températures de l'air en fonction de la géométrie des rue (Oke, 1988, Arnfield, 1990, Rauzier et Berger, 1991, Santamouris et el.1999). Les résultats ont démontré l'importance du prospect H/W, les températures de l'air moyennes les plus faibles étant enregistrées dans les rues canyons les plus étroites<sup>25</sup>.

\* Bourbia.F de son côté, et l'hors d'une campagne de mesure effectuée à El-oued, ville du sud est Algérien, dont le climat est chaud et sec, a pu arriver à déduire que les températures de surface du tissu traditionnel qui est caractérisé par ses rue étroites et sinueuses et ses constructions hautes et rapprochées sont moins importantes que celles enregistrées dans le tissu contemporain, qui se distingue par les larges voies et la hauteur modérée des construction. Ce qui confirme la corrélation entre la température de surface, la géométrie de la rue et le sky view factor.

Sous des conditions de basse latitude, la minimisation de la radiation solaire à l'intérieur de l'environnement urbain peut souvent être un critère désirable dans la conception urbaine. La dominance de la composante directe de l'irradiation solaire globale sous des conditions claires ensoleillées exige que l'accès solaire dans la rue soit moindre.

Il est bien connu que la taille et la proportion des espaces ouverts ont une grande influence sur le microclimat urbain. L'auteur a essayé d'analyser l'interaction entre la géométrie du canyon urbain et la radiation solaire incidente. L'effet de la hauteur des immeubles et la largeur de la rue sur les surfaces ombragées de la rue et du sol pour différentes orientations ont été également examinées et évaluées.

---

<sup>25</sup> **KITOUS.S, DAOUDI.N, BOUSSOUALIM.A, BENSALÉM.R, ADOLPHE.L,** "Pour un urbanisme climatique des villes: cas de la vallée du M'zab. Investigations sur les principes d'intégration ancestraux et recommandations pour une planification future", Living in deserts, 2006.

Le travail était basé sur des mesures de la température de l'air et de surface prises dans différentes rues canyon à la ville d'El Oued en Algérie.

Le tissu traditionnel est caractérisé par l'infime proportion des immeubles exposée à la radiation solaire intense pendant l'été. Cependant, le mouvement de la poussière et du sable dans la rue affectera le niveau du confort à l'intérieur du site traditionnel. Aussi l'absence de la végétation augmente la sécheresse de l'air. Le quartier contemporain est exposé au soleil longtemps pendant la journée et la couverture de plusieurs surfaces en asphalte noir cause une surchauffe de ces espaces ouverts au lieu de refléter l'énergie solaire vers l'espace.

Elle a trouvé que la température de l'air plus haute que 30°C se produit généralement à l'entour de 10.00h et la valeur maximale journalière est atteinte au environ de 15.00h. Des température de surface mesurées dans le canyon urbain contemporain étaient plus hautes que celles mesurées dans le canyon urbain traditionnel, et l'augmentation de la température en été était plus prononcée dans le canyon orienté est-ouest que celui orienté nord-sud.

\* Dans le milieu aride, à Ghardaia<sup>26</sup> par exemple, une étude de la variation des températures de l'air diurne en fonction du profil des rues montre des fluctuations de températures de l'air très faibles pour des prospects compris entre 2.7 et 6.2 (Kitous et al.2004). La différence de température de l'air n'excède pas les 1°C, hiver comme été. En revanche, les écarts thermiques peuvent être beaucoup plus importants, de l'ordre de 3°C entre ces rues et un canyon de prospect égal à 1.7. Ces résultats concordent avec d'autres recherches qui ont démontré par simulation numérique que le prospect H/W doit être égale ou supérieur à 2, c'est-à-dire relativement important, pour qu'une baisse de température se fasse sentir dans un canyon au cours des mois les plus chauds (Grundström et al. 2003)<sup>27</sup>. Concernant les températures de surface, les effets du prospect observés sont semblables à ceux des températures de l'air. Pour des rues de même orientation et de prospects variant entre 2.7 et 6.2, la différence de

---

<sup>26</sup> **KITOUS.S, DAOUDI.N, BOUSSOUALIM.A, BENSALÉM.R, ADOLPHE.L**, "Pour un urbanisme climatique des villes: cas de la vallée du M'zab. Investigations sur les principes d'intégration ancestraux et recommandations pour une planification future", living in deserts, 2006.

<sup>27</sup> **KITOUS.S, DAOUDI.N, BOUSSOUALIM.A, BENSALÉM.R, ADOLPHE.L**, "Pour un urbanisme climatique des villes: cas de la vallée du M'zab. Investigations sur les principes d'intégration ancestraux et recommandations pour une planification future", living in deserts, 2006.

température de surface de sol n'excède pas les 4°C en été. Des différences plus significatives, de l'ordre de 15°C, apparaissent néanmoins entre ces rues et un canyon plus large, de prospect égal à 1.7.

\* Le facteur orientation joue également un rôle important, en été par exemple, en raison de la hauteur du soleil, le principal gain de chaleur des surfaces verticales provient du rayonnement solaire diffus et réfléchi. A l'inverse, les parois horizontales sont fortement exposées à l'irradiation solaire directe et enregistrent les valeurs de températures les plus élevées. Pour les températures de l'air, leur distribution en fonction de l'orientation ne révèle aucune influence de cette dernière en été. En hiver, en revanche, l'effet de l'orientation est non négligeable puisque les rues orientées Est-Ouest présentent des températures de l'air supérieures de 1 à 2 °C en comparaison avec celles des rues Nord-Sud<sup>28</sup>.

\* Pour analyser l'effet d'albédo sur la température de surface, une série de simulations CFD (computational fluid dynamics) a été exécutée par: R.Priyadarsini et N.H.Wong<sup>29</sup>, sur une partie d'un quartier d'affaires (CBD area) à Singapour.

Il a été trouvé que pour une basse vitesse du vent, l'effet des matériaux sur la température de l'air au milieu d'un canyon étroit augmente de 2.5°C pour des façades ayant des matériaux de basse réflectivité.

L'utilisation des surfaces réfléchissantes (à haute réflectivité), réduit donc la somme des radiations solaires absorbées par l'enveloppe des bâtiments et des structures urbaines, et ainsi garder leurs surfaces fraîches .L'orientation des rues, le ratio H/W, et le matériau utilisé, définissent ensemble la température de surface du matériau. Bien que l'impact de la réflectivité solaire, et l'émissivité du matériau soient importants. En effet, la température du matériau est déterminée par l'équilibre thermique, avec les phénomènes de conduction et de convection pri en compte. Les

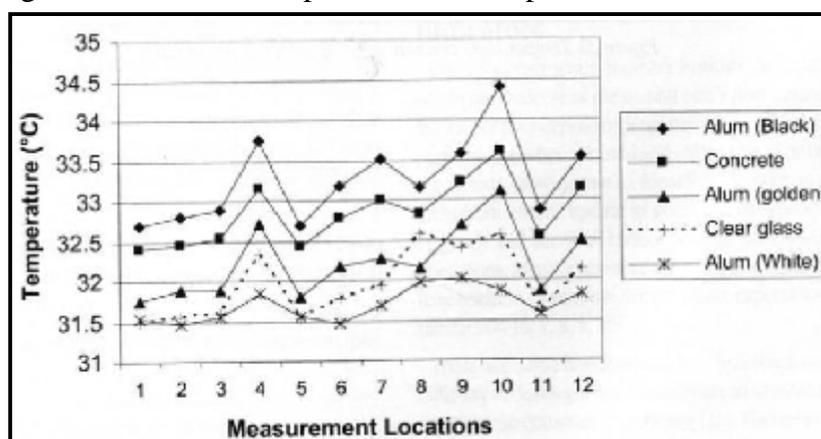
---

<sup>28</sup> Idem.

<sup>29</sup> **PRIYADARSINI.R, WONG.N.H.**, "Building surfaces and their effect on the urban thermal environment" Architectural science review, vol.48, N°.4, 2005, pp345-356.

températures de surface les plus élevées augmentent la température ambiante, l'intensité de convection est aussi la plus élevée. Cette augmentation de la température a un impact significatif sur l'utilisation de l'énergie de conditionnement de l'air dans les climats chauds, sachant que le périmètre à haute densité du quartier d'affaires (CBD area) montre une claire évidence du fait de l'îlot de chaleur urbain conséquent à Singapour, montrant une température à l'entour de 4°C plus élevée que le périmètre suburbain.

Les matériaux de façade et spécialement leurs couleurs jouent un rôle très important dans la formulation de l'environnement thermique à l'intérieur du canyon urbain, la Fig 4-10 montre les températures de l'air pour différents matériaux utilisés.

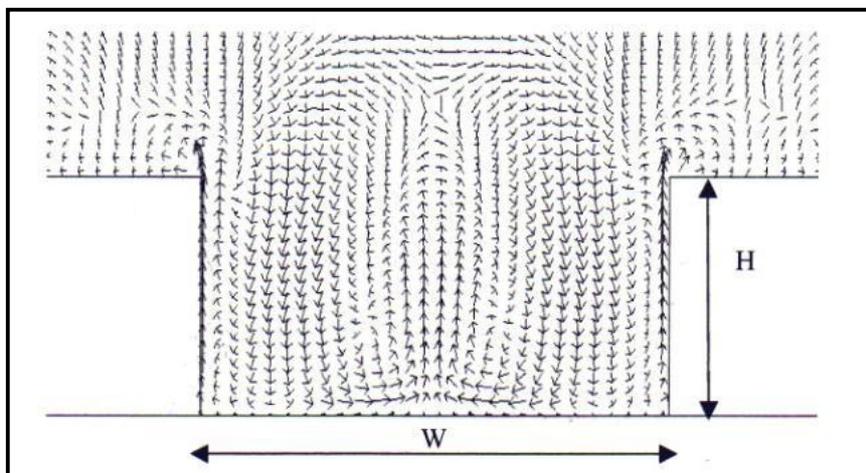


**Fig 4-10:** La variation des températures de l'air à l'intérieur du canyon avec l'utilisation d'une multitude de matériaux pour les façades.

**Source:** PRIYADARSINI.R, WONG.N.H, 2005

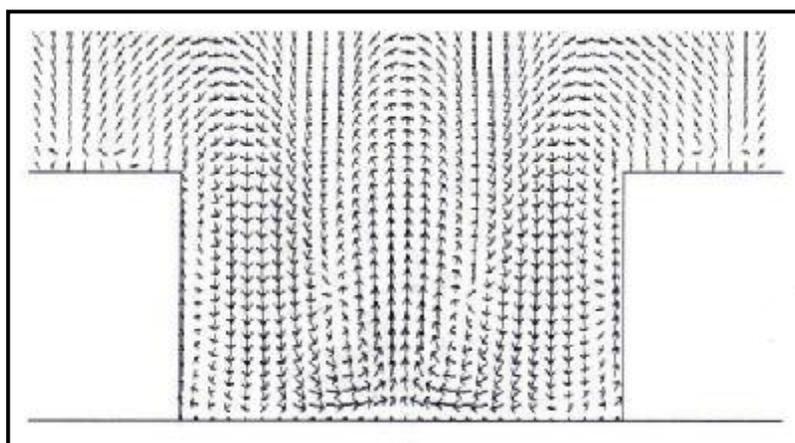
L'étude préliminaire a été effectuée avec de simples gabarits, en utilisant l'aluminium blanc et l'aluminium noir comme des matériaux de façade. Pour simplifier les analyses, les deux façades étaient supposées avoir la même température indépendamment de leur orientation. Des canyons avec différents ratios H/W avaient été sélectionnés pour cette étude, les résultats des canyons avec un ratio H/W de 0.4 et de 1.5 sont maintenus. Une série de simulations CFD a été portée avec ces matériaux comme des façades de bâtiments pour investiguer l'effet des matériaux sur la température de la texture à l'intérieur des canyons. Les simulations numériques étaient basées sur 2 équations modèle k-ε utilisant le logiciel CFX5.6. Le canyon typique trouvé au périmètre de la région du centre d'affaires est un canyon de 250m de longueur et 18m de hauteur. L'écoulement de l'air est supposé parallèle à l'axe de la

rue. Au centre du canyon, pour une haute vitesse de vent, les Fig 4-11 et 4-12 montrent la vitesse des vecteurs aux parties de croisement vertical du canyon pour l'aluminium noir et l'aluminium blanc respectivement.



**Fig 4-11:** Les vecteurs de vitesse au centre du canyon pour l'aluminium noir ( $H/W=0.4$ ,  $V_{\text{vent}}= 4\text{m/s}$ )

**Source:** PRIYADARSINI.R, WONG.N.H, 2005

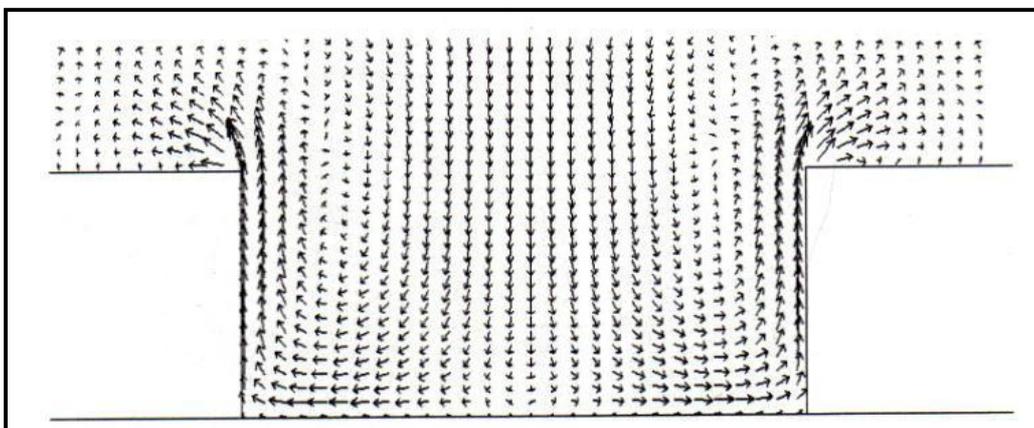


**Fig 4-12:** Les vecteurs de vitesse au centre du canyon pour l'aluminium blanc ( $H/W=0.4$ ,  $V_{\text{vent}}= 4\text{m/s}$ )

**Source:** PRIYADARSINI.R, WONG.N.H, 2005

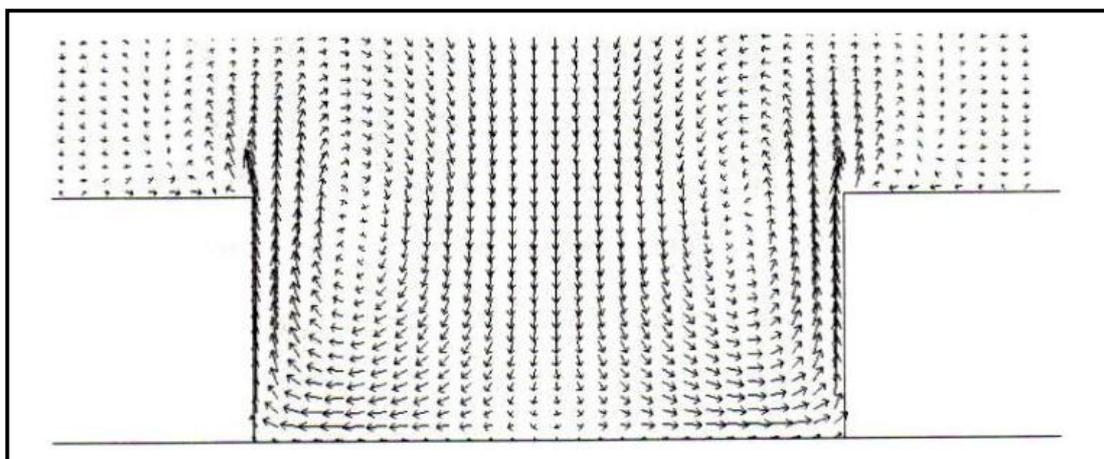
Les deux figures montrent que la vitesse des vecteurs se concentre vers le centre du canyon, et se déplace du haut vers le bas. Pour l'aluminium noir, les vecteurs à proximité du mur sont montants, tandis que pour l'aluminium blanc, les vecteurs à proximité du mur sont légèrement descendants, ce qui explique que la température juste à côté du mur reflète celle du mur, car le déplacement de l'air se fait du bas en haut quand il est chaud, et du haut vers le bas quand il est frais.

Pour de basses vitesses de vent (0.1m/s), Les vitesses dans tous les points diminuent avec la hauteur et c'est ce qui fait la différence avec le cas précédent (vitesse de 4m/s). Les profils des vecteurs au centre du canyon sont représentés par les Fig 4-13 et 4-14. Les profils des vecteurs pour les deux matériaux sont similaires.



**Fig 4-13:** Les vecteurs de vitesse au centre du canyon pour l'aluminium noir (H/W=0.4,  $V_{vent}= 0.1m/s$ )

**Source:** PRIYADARSINI.R, WONG.N.H, 2005



**Fig 4-14:** Les vecteurs de vitesse au centre du canyon pour l'aluminium blanc (H/W=0.4,  $V_{vent}= 0.1m/s$ )

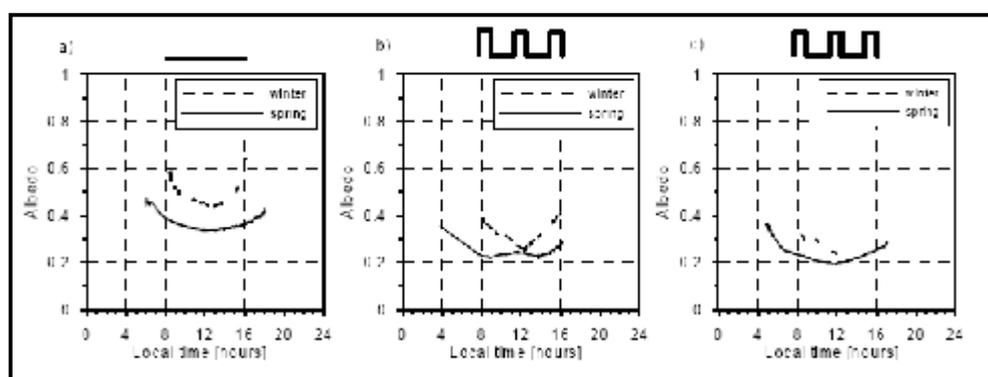
**Source:** PRIYADARSINI.R, WONG.N.H, 2005

Pour des plus hautes vitesses de vent, l'effet des matériaux sur l'environnement thermique urbain n'est pas significatif pour les canyons les plus larges. Cependant, les canyons étroits ont des températures plus hautes quand on utilise des surfaces de basse réflectivité.

\* L'influence de la géométrie urbaine sur l'albédo efficace du canyon urbain est une des questions les plus importantes de la climatologie urbaine. Ce problème a été examiné avec des modèles physiques (Aida 1982) et d'autres numériques. Les derniers considèrent seulement le nombre limité des réflexions des rayons solaires dans le canyon urbain. Dans les investigations récentes, la simulation de Monté Carlo est une technique très commune (Aida et Gotoh 1982) et d'autres solutions qui permettent de multiples réflexions (Sailor et Fan 2002).

Afin d'examiner l'influence des paramètres du canyon urbain sur son albédo efficace, W.Pawlak et K.Fortuniak, de l'université de Lotz en Pologne ont établi une application des modèles physiques pour étudier l'albédo efficace du canyon urbain. Pour ce but, le modèle physique du canyon urbain était construit en briques avec des mesures sur la surface horizontale, la hauteur du canyon (H), la largeur (W) et les changements d'azimut<sup>30</sup>. Les résultats préliminaires montrent que l'albédo efficace du canyon urbain est étroitement lié à la hauteur du soleil, l'azimut du soleil et le ratio entre rayonnement solaire diffus et direct. L'albédo efficace pour le canyon urbain avec  $H/W = 1$ , largeur du toit = 0.5 de W et une orientation nord-sud, pour des journées ensoleillées, les valeurs d'albédo sont de 15 à 20% plus basses en comparaison avec une surface horizontale. La seconde partie de cette étude contient une simulation de l'albédo efficace par la méthode de Monté Carlo.

Les résultats obtenus pour des canyons de différentes géométrie et orientation sont représentées par la Fig 4-15.

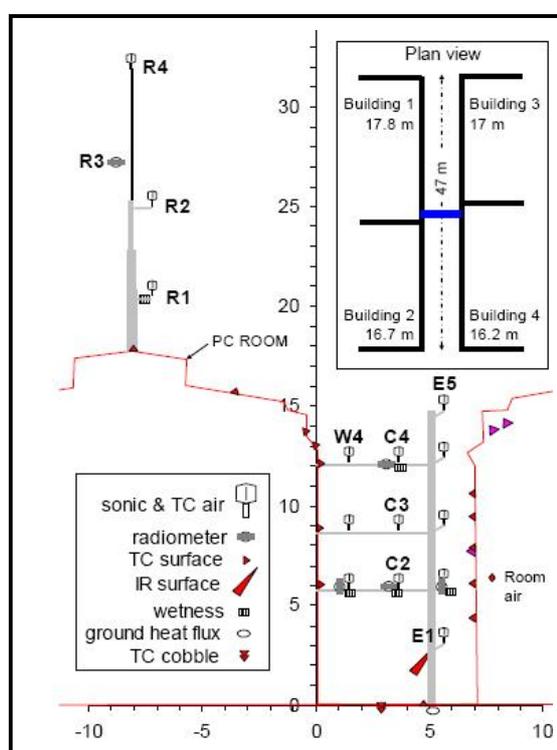


**Fig 4-15:** Le cours journalier de l'albédo efficace en hiver et au printemps à Lotz pour une surface plate (a), canyon  $H/W=1$ ,  $W_R = 0.5$ , orientation NS (b), canyon  $H/W=1$ ,  $W_R = 0.5W$ , orientation WE (c).

**Source:** W.PAWLAK et K.FORTUNIAK

<sup>30</sup> PAWLAK.Wlodzimerz, FORTUNIAK.Krzysztof, "Application of physical model to study effective albedo of the urban canyon" université de Lotz Poland.

\* Une autre étude récente, menée par Offerle.B<sup>31</sup> et al.,(2006), a été élaborée pour examiner la structure thermique d'air dans le canyon urbain, l'échange de la chaleur avec l'atmosphère sus-jacente, et les impacts possibles du chauffage extérieur sur la circulation d'air dans le canyon, à partir des mesures du vent et de la température à l'intérieur et au dessus d'un canyon profond (H/W =2.1). Les mesures ont été faite sur une gamme de saisons et principalement analysé pour des journées ensoleillées. Ce qui a permis l'étude des différences de température entre les murs d'opposition du canyon et entre le mur et l'air de plus de 15°C en été. Les instruments utilisés pour cette étude sont présentés par le schéma de la Fig 4-16.



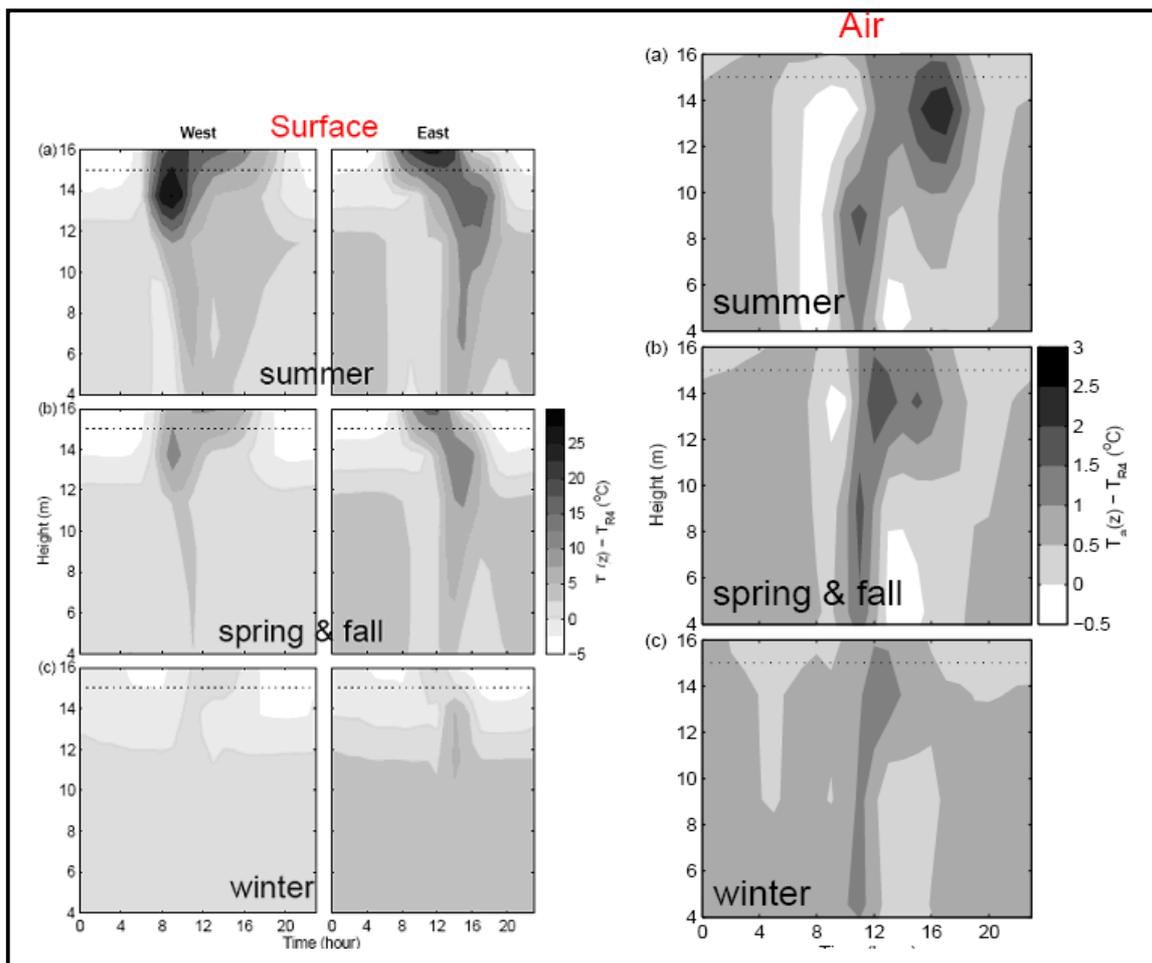
**Fig 4-16 :** Schéma du canyon et d'instrumentation. Les positions des instruments sont marquées W, C, E, ou R correspondant à l'ouest, le centre, l'est et le toit respectivement.

**Source:** OFFERLE.B et al., 2006

L'objectif de cette étude est d'investiguer la structure thermique observée (température de surface et de l'air) Fig 4-17, à l'intérieur du canyon urbain, et d'examiner sa relation aux saisons, flux d'air et flux thermiques à l'intérieur et au

<sup>31</sup> OFFERLE.B, ELIASSON.I, GRIMMOND.C.S.B, HOLMER.B " Surface heating in relation to air temperature, wind and turbulence in an urban street canyon", Boundary-Layer Meteorol.Springer science + Business Media B.V, 2006.

dessus du canyon. Les flux de chaleur modelés des différentes surfaces sont utilisés pour examiner comment les différentes surfaces contribuent aux flux observés.



**Fig 4-17:** Températures de surface et de l'air dans le canyon  
(a) été, (b) printemps et automne, (c) hiver. La ligne marque le sommet du canyon.  
**Source:** OFFERLE.B et al., 2006

Les chercheurs déduisent à la fin que la géométrie est un facteur crucial dans la détermination non seulement des flux mais aussi des distributions des températures dans le canyon urbains.

#### **4-2-3-3-Des températures basses pour des chaussées fraîches:**

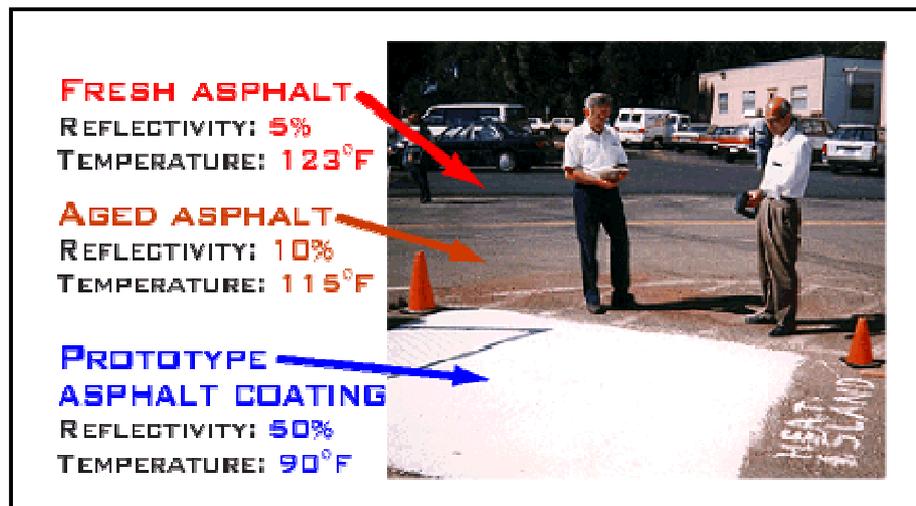
Parmi les causes principales de la réduction de la température de l'air en milieu urbain, est le trottoir frais.

Les matériaux sombres absorbent beaucoup de chaleur parvenue du soleil, comme quiconque qui porte un t-shirt noir pendant une journée ensoleillée. Les surfaces noires sous le soleil peuvent devenir plus que 70°K (40°C) plus chaude que les surfaces blanches les plus réfléchissantes. Les rues et les lots de parking sont

Chapitre4: L'influence de la réflectivité des matériaux (albédo) sur le microclimat urbain et le confort extérieur.

fréquemment pavés avec l'asphalte noir et d'autres matériaux sombres qui absorbent le maximum de lumière de soleil tombée dessus. L'énergie de la lumière du soleil est convertie en une énergie thermique et la chaussée devient chaude, surchauffant l'air autour d'elles et contribuant fortement à la formation du phénomène d'îlot de chaleur.

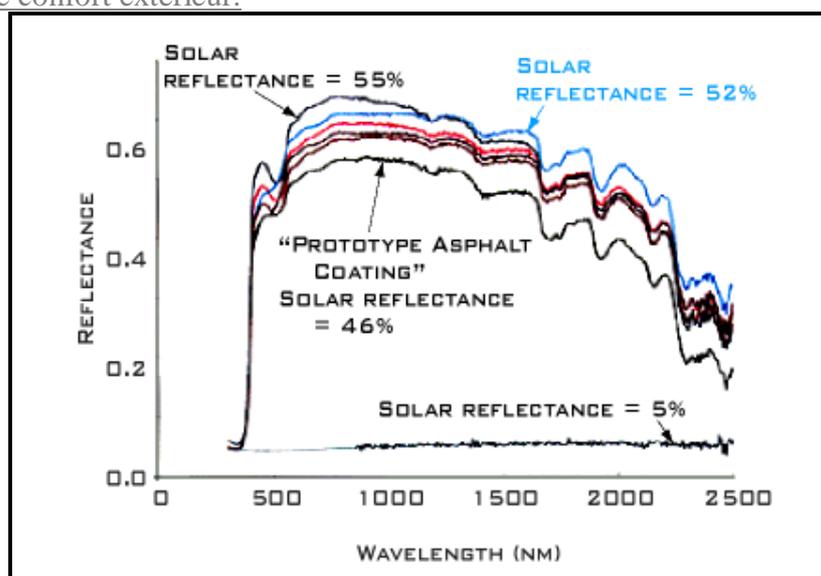
Deux membres du groupe de l'îlot de chaleur (heat island group), Mel Pomerantz et Hashem Akbari ont mesuré les températures de trois trottoirs à l'extérieur du laboratoire Fig 4-18. Les albédos étaient mesurés en même moment de la journée.



**Fig 4-18:**La mesure des températures des trottoirs avec divers albédos.  
**Source:**[http://eetd.lbl.gov/HeatIsland/Pavements/Lower temperatures/](http://eetd.lbl.gov/HeatIsland/Pavements/Lower%20temperatures/)

L'asphalte frais et sombre avait un albédo de 0.05 et une température de 123°F (51°C). L'asphalte plus clair et âgé avait un albédo de 0.15 et une température de 115°F (46°C).un prototype de couche d'asphalte a été développé en collaboration avec Reed & Graham, Inc., de San José en Californie. Cette couche avait un albédo de 0.51 et une température de 88°F (31°C) seulement.

Nous signalons que le prototype de la couche fraîche d'asphalte n'a pas été purement sélectionner sur la base de son albédo élevé, Pomerantz teste plusieurs formulations de couches et fini par choisir une d'entre elles, c'est celle qui avait les meilleurs propriétés combinées de la durabilité mécanique et la réflectivité, non pas juste la plus haute réflectivité. La couche doit être plus q'un réflecteur, elle doit fonctionner sous un abus rigoureux.



**Fig 4-19:** La réflectivité des prototypes choisis selon la longueur d'onde.

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

Le graphe ci-dessus (Fig 4-19), prouve que Pomerantz a eu cinq autres prototypes de couches d'asphalte avec des réflectivités plus élevées que celle choisie pour le test.

Pour la référence, le liant--le composé qui lie l'asphalte ensemble-- a une réflectivité solaire de 5%, beaucoup plus basse que n'importe quelle couche considérée. Ces couches ont été fournies par reed & Graham, Inc., De San José, en Californie.

D'après le groupe d'îlot de chaleur "heat island group", en moins de vingt ans d'entretien normal, les membres du groupe estiment que tous les trottoirs peuvent être remplacés par des trottoirs d'un albédo plus élevé. L'augmentation de l'albédo moyen de trottoir dans la région de Los Angeles à 0.25 a pu économiser 90 millions de dollars annuellement.

Les températures inférieures de trottoirs mènent également à de plus longues vies pour le trottoir, et économiser ainsi plus d'argent.

#### **4-3-L'albédo réduit l'effet de l'îlot de chaleur:**

Dans le centre ville, la grande majorité du sol est recouverte de bâtiments, de rues, etc... Qui sont construits en matériaux imperméables (ciment, béton, pierre, asphalte...). La couverture du sol naturelle peut être présente dans des parcs ou des jardins, mais ne représente souvent qu'une petite partie de la ville. La surface urbaine

Chapitre4: L'influence de la réflectivité des matériaux (albédo) sur le microclimat urbain et le confort extérieur.

est complexe et consiste en une mosaïque de matériaux différents. Chaque matériau a un albédo différent qui modifie la fraction d'énergie solaire réfléchi ou absorbée par la surface.

Le Tab 4.2 présente des valeurs d'albédo pour de différents types de surfaces naturelles et urbaines.

<b>Couverture de la Surface</b>	<b>Albédo</b>
Neige fraîche	75-95
Neige	40-60
Sable	18-28
Cultures agricoles	15-25
Prairies	16-20
Bois, forêts	14-20
Villes	14-18
Forêts denses	5-10
Eau	2-6

**Tab 4-2:** Quelques albédos (%) associés au spectre visible.

**Source:** Houghton, 1985

L'albédo mesure la quantité d'énergie solaire reflétée par la surface. Un albédo bas implique des températures de surface plus élevées puisqu'une plus grande quantité d'énergie est absorbée, ce qui favorise le développement des îlots de chaleur. À l'inverse, un albédo élevé entraîne des températures plus fraîches, ce qui aide à l'amortissement et l'atténuation des effets des îlots de chaleurs.

Une ville dans son ensemble a souvent un albédo très bas, de l'ordre de 10 à 15% (en comparaison avec l'albédo de la neige fraîche qui est supérieur à 80%), ce qui signifie qu'une grande partie de l'énergie solaire est absorbée par la ville. De plus, les matériaux dont sont faites les villes sont caractérisés par une capacité et une conductivité thermiques élevées.

Haider Taha, à travers une étude sur les caractéristiques des climats urbains et les causes et effets des îlots de chaleur, a mis l'accent sur le facteur albédo et son

impact, en plus d'autres paramètres tel que l'évapotranspiration et la chaleur anthropogénique.

Des simulations numériques à l'aide du modèle URBMET et des campagnes de mesures ont indiqué que l'augmentation de l'albédo ainsi que la couverture végétale réduisent la température de surface et de l'air d'une manière effective proche de la terre et modifient ainsi le climat proche de la surface<sup>32</sup>.

Les résultats des simulations météorologiques suggèrent que les villes peuvent renverser vraisemblablement les îlots de chaleur et compensent leur impact sur l'utilisation de l'énergie simplement par l'augmentation de l'albédo des matériaux de toitures et des chaussées ainsi que le reboisement des zones urbaines.

Les résultats proposent qu'une augmentation raisonnable de l'albédo urbain puisse arriver à une diminution de la température de l'air de plus de 2°C. Et avec une augmentation extrême de l'albédo, les diminutions localisées dans la température de l'air peuvent atteindre 4°C sous des circonstances quelconques.

Le phénomène de l'îlot de chaleur devenant de plus en plus intense dans les zones urbaines, modifiant le microclimat de ces zones, aggravant les phénomènes climatiques et causant tout genre de dommage, peut subir une réduction souhaitable de ces effets en changeant les matériaux utilisés dans les constructions, qui à leur tour peuvent mener à des effets bénéfiques directs et indirects pour l'homme et l'environnement. Les effets directs positifs sont la diminution de la température de l'air dans les zones urbaines, la réduction de la demande en énergie pour les systèmes de conditionnement d'air et la réduction de la pollution atmosphérique. L'effet indirect positif est la réduction de la demande de l'énergie produite.

Le microclimat autour des bâtiments est provoqué par le rayonnement solaire incident sur l'enveloppe des bâtiments. Les radiations thermiques de grandes longueurs d'ondes arrivant aux surfaces des bâtiments contribuent au développement des caractéristiques spécifiques du climat local tel que la température de l'air, l'humidité relative, et la vitesse du vent.

La réduction des températures de surface des matériaux contribue directement à l'atténuation des effets négatifs de l'îlot de chaleur. A travers des simulations et des

---

<sup>32</sup> **TAHA.Haider**, "Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and antropogenic heat", Energy and buildings 25 (1997) 99-103.

études de cas, il a été démontré que l'accroissement de l'albédo des surfaces urbaines et la plantation des arbres peuvent effectivement atténuer l'effet du phénomène d'îlot de chaleur. Une grande augmentation de l'albédo combiné avec l'ombrage des arbres peut réduire l'utilisation de l'énergie pour le conditionnement d'air de 40% dans les cas étudiés<sup>33</sup>.

#### **4-4-Les conséquences secondaires des matériaux fortement réfléchissants:**

Malgré que le choix des matériaux de construction réfléchissants est très conseillé pour créer un microclimat agréable et atténuer les effets de l'îlot de chaleur urbain, il a été constaté que cette réflexion pourra avoir des impacts et des effets négatifs sur les environnement immédiats, comme c'est le cas de la salle de concert Walt Disney par Frank Gehry au centre de Los Angeles. Le bâtiment a apparemment augmenté les températures de surface environnantes au sol de 60°C, et les surfaces indépendantes légères ont atteint des températures aussi hautes que 170°C (assez pour fondre quelques plastiques). Les voisins environnants se sont plaints des températures accrues dans leurs bâtiments et de l'éblouissement. Il y avait également de leur visuelle dans les intersections environnantes du trafic. Le bâtiment a été étudié et simulé; plusieurs solutions ont été considérées. Les changements résultants du bâtiment semblent avoir résolu le problème sans détruire les aspects visuels et conceptuels du bâtiment. Il y a des implications fortes pour le futur usage des matériaux spéculaires dans les bâtiments du centre, y compris des effets négatifs excentrant l'avantage supposé à l'effet d'îlot de chaleur.

L'effet des matériaux de construction sur l'utilisation d'énergie de ce propre bâtiment est souvent examiné, l'impact des matériaux sur l'environnement, dans l'ensemble est parfois examiné. Mais ce qui est rare, c'est l'inquiétude de l'impact du choix des matériaux sur les voisins immédiats. C'est inacceptable, particulièrement dans les environnements urbains.

La Fig 4-20 montre l'effet de la réflexion des bâtiments avec matériaux réfléchissants sur l'environnement immédiat.

---

<sup>33</sup> PRADO R.T.A , FERREIRA F.L, “*Measurement of albedo and analysis of its influence the surface temperature of building roof materials*” Energy and Buildings 35(2005)295-300.



**Fig 4-20:** La banque de Crocker, la banque de Deutsche et la réflexion de la banque Deutsche sur le bâtiment voisin.

**Source:** SCHILER.M et VALMONT.E, 2006

L'impact des matériaux réfléchissants sur les bâtiments environnants a été connu pendant un certain temps. Un des premiers cas était la banque de vallée du soleil à Phoenix, Arizona, qui a été seulement résolu quand la banque (le nouveau bâtiment réfléchissant) a acheté le bâtiment qui été devenu surchauffé par les réflexions. En outre beaucoup d'architectes croient cela, en réduisant le gain thermique dans leur propre bâtiment, ils réduisent automatiquement l'effet d'îlot de chaleur, sans considérer l'impact que leur bâtiment sur les surfaces et bâtiments environnants.

Tandis que changer l'albédo ou la réflectivité des surfaces de toit peut réduire l'îlot de chaleur, la seule réduction démontrable est venue de réduire la quantité de matériau de construction exposé, tel que le béton et l'asphalte. La végétation qui convertit la lumière du soleil (gain radiant de courtes longues) directement en plantant en masse, est la seule alternative connue pour être efficace, aussi longtemps qu'il y a de suffisamment d'humidité pour maintenir la végétation vivante et pour permettre à l'évapotranspiration de limiter le gain de chaleur sensible et l'augmentation de température.

Chapitre4: L'influence de la réflectivité des matériaux (albédo) sur le microclimat urbain et le confort extérieur.

\* Une étude menée par Nikolopoulou.M et al., dans le cadre du projet RUROS<sup>34</sup>, à Athènes en 2002, a révélé que les matériaux de surfaces constituent d'importants facteurs qui affectent à la fois les environnements thermique et visuel. Des couleurs pâles, de même que les surfaces réfléchissantes, peuvent empêcher une surchauffe de la surface mais peuvent également causer éblouissement et réflexion thermique sur les usagers de même que sur les surfaces ou bâtiments environnants. A l'inverse, les surfaces foncées peuvent s'échauffer mais seulement lorsqu'elles sont exposées à la radiation solaire. La plupart des surfaces végétales ne font pas que prévenir des réflexions mais contribuent aussi au refroidissement par évapotranspiration.

---

<sup>34</sup> " *Concevoir des espaces extérieurs en environnement urbain: Une approche bioclimatique*"  
RUROS – Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces-2002.

#### **4-5-Conclusion:**

Dans le milieu urbain, le cadre bâti de part les matériaux de construction modifie d'une manière nette le microclimat, et font que la propriété de la réflectivité des matériaux est une parmi d'autres plusieurs causes de la différence de température entre le milieu urbain et celui rural, ce qui engendre ce qu'on appelle le phénomène d'îlot de chaleur urbain.

Les études universelles menées dans le cadre de l'influence de la réflectivité des matériaux (albédo) sur le microclimat urbain et sur le confort thermique extérieur surtout à l'échelle de la rue ont données des résultats variés. Certains résultats comme ceux de Santamouris ont prouvés que la couleur et la texture contribuent directement à l'augmentation de la température de l'air, et d'autres comme ceux de Priyadarsini et Wong ont montré que pour une vitesse de vents très faible, dans un canyon étroit la température de l'air pourra être augmenté de 3°C pour des façades ayant des matériaux à basse réflectivité.

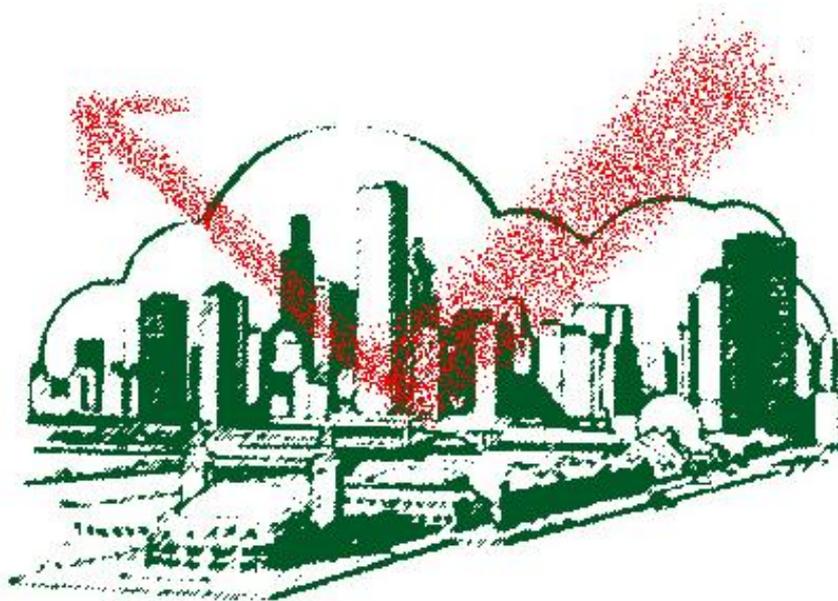
La contribution de l'albédo dans la modification du microclimat peut être aussi observé dans les travaux de haider Taha qui a fait une composition entre plusieurs paramètres jouant un rôle prépondérant dans l'atténuation du phénomène de l'îlot de chaleur et dont l'albédo fait partie intégrante.

D'autres recherches, qui visait surtout l'étude de l'influence de la géométrie de la rue ainsi que son orientation sur le microclimat et sur le confort thermique, ont pu dans la majorité des cas intégrer la notion d'albédo dans leur conclusion, en rappelant que la réflectivité des matériaux entrant dans la constitution des façades urbaines peut à son tour être très influente, et joue un rôle primordial dans la modification du microclimat.

Concernant le confort thermique extérieur qui est une notion liée directement au microclimat et spécialement à la température de l'air, il a été dédié que les matériaux de construction caractérisés par leur couleur ainsi que leur rugosité jouent un rôle très important et influencent d'une manière concrète sur l'ambiance extérieure.

## CHAPITRE 5:

*Simulation.....*



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

Les espaces urbains extérieurs de par leur diversité ne peuvent jouer le rôle qui leur est destiné (lieux de rencontre, sociabilité, déroulement de la vie citadine) sauf s'ils sont confortables. Le souci et l'intérêt des concepteurs, réalisateurs et décideurs politiques pour rendre la vraie fonction et valeur à ces espaces s'accroissent d'avantage.

Les matériaux de construction utilisés en milieu urbain en l'occurrence la rue sont un facteur parmi plusieurs qui participent à la détermination de la qualité de ces milieux. Le choix des matériaux du point de vue réflectivité (caractéristiques à savoir la couleur et la rugosité) occupe de plus en plus d'importance dès la conception et jusqu'au moment de la réalisation. Actuellement, les concepteurs et réalisateurs tiennent à ce que ces matériaux soient lisses et de couleurs claires pour refléter le maximum de radiations solaires et maintenir le milieu frais donc bénéficier d'un microclimat agréable, pour lutter contre l'isolement et essayer d'offrir aux gens des ambiances qui font accroître leur vie sociale en relation avec un environnement physique confortable.

L'effet de la réflectivité des matériaux sur le confort (ambiance) thermique extérieur a prouvé son efficacité de par une multitude de recherches récentes menées à travers le monde (voir chapitre 3). Ces études ont dans la plupart des cas eu recours à la simulation pour compléter leur expérience ou l'enrichir.

Pour notre cas d'études, nous avons directement eu recours à la simulation parce que les instruments utiles à la prise de mesures des différents paramètres ayant un rapport avec l'albédo à savoir l'albédomètre, le bilan mètre, le pyréliomètre, le pyranomètre, le pyrgéomètre, le spectrophotomètre, ...etc, qui permettent de donner une valeur directe de l'albédo ou même la mesure des différentes composantes du rayonnement solaire incident (directe, diffuse et globale), qui nous permettront de déduire sa valeur, ne sont pas disponibles.

De ce fait, la simulation a été développée en utilisant le logiciel Envi-met v3.0, qui a été exploité dans plusieurs travaux de recherche, qui fait l'objet de plusieurs études récentes dans le domaine de la climatologie urbaine, et qui permet l'obtention

d'une multitude de paramètres climatiques. L'évaluation du confort thermique extérieur a été établie par l'exploitation d'un programme développé par Höpfe et Mayer, c'est le programme PET\_neu.

Le présent chapitre sera entamé par l'étude climatique de la ville de Constantine, puis la présentation du site, en déterminant sa situation, ainsi que ses différentes caractéristiques sur divers plans (climatique, morphologique...etc), et enfin l'évaluation de l'impact de l'albédo sur le microclimat à savoir la température moyenne radiante, la température de surface, ....etc, et sur le confort thermique extérieur à savoir la valeur de la PET, après avoir donné un bref aperçu sur la structure du logiciel et le schéma de son programme.

On note à la fin que les résultats obtenus par la simulation peuvent être lu en 2D et en 3D à l'aide de l'exploitation d'un autre programme qui s'appelle Leonardo v3, et qui nécessite un micro-ordinateur assez puissant d'au moins 256 Mo de mémoire.

### **5-2-Analyse climatique de la ville de Constantine:**

La ville de Constantine se situe au nord-est algérien, à 36°17' de latitude Nord, et à 7° 23' de longitude Est. Elle est limitée par la wilaya de Skikda au nord, Annaba au nord-est, Guelma à l'est, Batna au sud, Sétif à l'ouest et Mila au nord ouest Fig 5-1. Sa position par rapport aux coordonnées Lambert est de 284 à 289 pour les abscisses et 4024 à 4029 pour les ordonnées.



**Fig 5-1:** Situation géographique de la ville de Constantine.

**Source:** Microsoft Encarta 2007, (réadapté par auteur)

La situation de Constantine, dans une zone limitée au sud par le Sahara avec son climat chaud et sec et au nord par la méditerranée avec son climat tempéré, lui permet d'avoir des caractéristiques spécifiques, d'où le climat continental qui règne sur la région des hauts plateaux et qui est un point commun de la majorité des régions internes du pays, qui sont influencé par les abaissements atmosphériques, provenant de l'ouest vers l'est et découlant du rapprochement des eaux chaudes de la méditerranée avec les eaux froides de l'atlantique.

D'après la classification donnée par Recommandations Architecturales (1993)<sup>1</sup>, la ville de Constantine est caractérisée par:

- § Un été plus chaud moins humide ou l'écart de température diurne est important.
- § Un hiver froid et sec, avec un écart de température diurne important.

<sup>1</sup> MINISTERE DE L'HABITAT, « *Recommandations Architecturales* », ENAG édition, Alger 1993, p9.

Et d'après la répartition des zones climatiques d'Algérie établie par Said Mazouz<sup>2</sup>, Constantine appartient à la zone C qui présente les hauts plateaux, déterminé par des températures supérieures à 30°C en été, un écart important (15-18) et en hiver, les températures tombent au dessous de 0.

Afin de mieux caractériser le climat de la ville de Constantine, il est utile d'analyser les différents paramètres qui le constituent, en interprétant les données météorologiques qui s'étalent sur une période de dix ans, relatives à la période (1996-2005).

La température de l'air marque pour une moyenne annuelle une valeur de 15.86°C, avec 34.5°C en juillet le mois le plus chaud de l'année, et 2.7°C en janvier le mois le plus froid. Les écarts types ne sont pas très contrastés, mais l'écart type annuel est important de l'ordre de 12.36°C, ce qui distingue la période chaude de la période froide. La première est chaude et sèche, elle s'étale du mois d'avril jusqu'à septembre, et l'autre est froide et humide, plus longue, elle s'étale d'octobre à mai. Dans cette période les températures mensuelles diurnes sont faibles tandis que celles nocturnes sont assez basses et pourront parfois descendre au dessous de zéro.

La moyenne annuelle de l'humidité est de 67.17%, Les valeurs moyennes maximales enregistrées sont de l'ordre de 94.2% en décembre le mois le plus humide et les valeurs moyennes minimales enregistrées sont de l'ordre de 24.9% pour juillet le mois le plus chaud et sec.

La durée d'insolation est très importante pendant toute l'année. Le rayonnement est de l'ordre de 7480wh/m<sup>2</sup>/jour sur une surface horizontale pendant le mois de juillet (ciel complètement dégagé), avec une fraction d'insolation importante de 80%. En hiver, le rayonnement solaire global atteint son maximum en janvier, avec une valeur de l'ordre de 2334Wh/m<sup>2</sup>/jour<sup>3</sup>, (ciel complètement couvert), et une fraction d'insolation de 45%.

---

<sup>2</sup> MAZOUZ.Said, « *Eléments de conception architecturale* », Office des Publications Universitaires, 2004, p177.

<sup>3</sup> CAPDEROU.M, " Atlas solaire de l'Algérie ", tome 2: aspect énergétique, OPU Alger, 1985, p61;399.

La vitesse de vent enregistrée dans la ville de Constantine, marque une faiblesse dominante pendant toute l'année. La courbe des vitesses des vents est irrégulière, on marque une variation entre 2.06 et 2.94m/s, avec une moyenne annuelle de 2.56m/s. Les vents dominants qui soufflent sur la ville sont de direction Nord ouest pour l'hiver, se sont des vents froids et humides, et de direction nord pour l'été, qui sont chauds et secs. La fréquence moyenne est de l'ordre de 45%.

En ce qui concerne les précipitations, qui sont influencées par les mouvements des vents et les changements de régime des températures, elles sont considérées comme un élément dans la classification des climats. Leur répartition à travers l'année marque une moyenne de 517.08mm, le pic est enregistré en mois de décembre avec une valeur de 83.9mm. Cette répartition fait distinguer une période de sécheresse qui s'étale du mois de juin à août, où elle sont très faibles et tombent sous forme d'orage. La moyenne minimale est marquée au mois de juillet avec une valeur de 3.89mm.

Le calcul de l'indice d'aridité I, d'après la formule de **de Martonne** qui est égal à:

$$I = P/T+10 \quad \dots\dots\dots\text{EQU5-1}$$

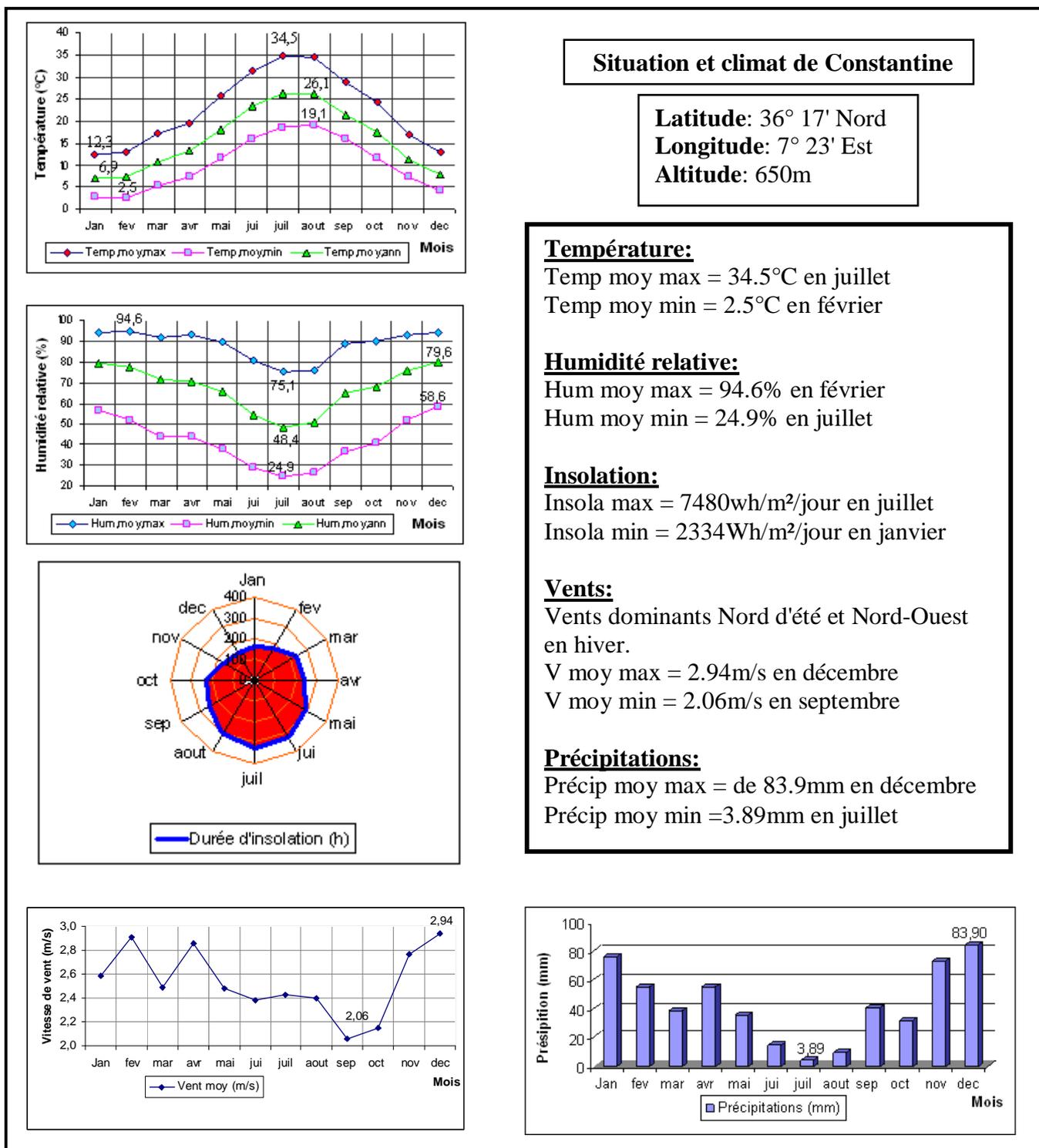
Où: P: Les précipitations moyennes annuelles.

T: La température moyenne annuelle.

a permis d'obtenir une valeur de  $I = 19.98$ .

I est compris entre 10 et 20, ce qui implique l'appartenance de la ville de Constantine à un climat **semi aride**.

La Fig 5-2 englobe les graphes de l'ensemble des paramètres du climat analysés précédemment.

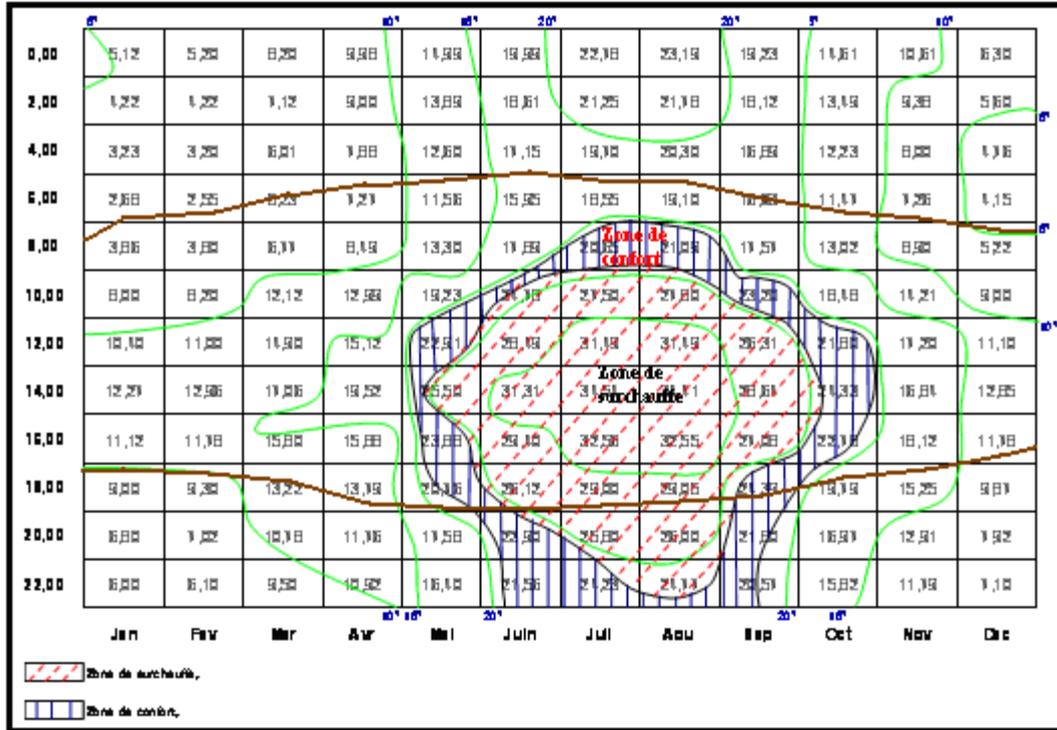


**Fig 5-2:** Interprétation des données météorologiques de la ville de Constantine. Période 1996-2005.

**Source:** ONM Constantine 2005, réadapté par auteur.

**Détermination des isothermes de la ville de Constantine:**

Le dessin des isothermes Fig 5-3, nous permet de déterminer les différentes zones (sous chauffe, confort, surchauffe), en fonction des tranches horaires propre à chaque mois.



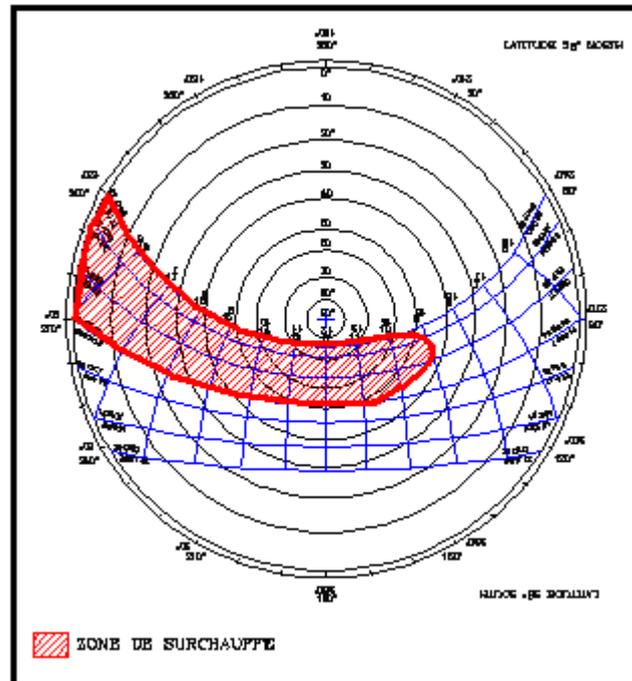
**Fig 5-3:** Matrice des isothermes par mois et en heures.

**Source:** Auteur

La matrice des isothermes fait ressortir trois zones distinctes:

- \* Une première zone de **sous-chauffe**, s'étalant du mois de janvier à avril, en englobant aussi les mois d'octobre et de décembre. C'est la période de l'année dans laquelle les températures sont au-dessous de la température de confort, ce qui nécessite le recours au chauffage d'appoint.
- \* Une deuxième zone de **confort**: elle comprend les mois de mai et octobre, et quelques infimes durées des mois de juin, juillet, août et septembre, c'est la période dans laquelle l'individu ressent le confort, sans avoir besoin d'un dispositif de réchauffement ou de refroidissement.
- \* Une troisième zone de **sur-chauffe**, comprenant les mois de juin, juillet, août et septembre, elle marque des température très élevées dépassant le seuil de confort, ce qui nécessite des occultations solaire ou une climatisation artificielle.

On pourra alors reporté les résultats de la matrice sur un diagramme polaire, correspondant à la latitude de la ville de Constantine, pour faire ressortir la zone de surchauffe de la région, qui est présenté par la figure ci-dessous (Fig 5-4).



**Fig 5-4:** Zone de surchauffe reportée sur le diagramme solaire.  
**Source:** Auteur

### **5-3-Présentation de l'aire d'études:**

#### **Situation du site:**

Le site choisi se situe au "Coudiat", en plein centre de la ville de Constantine. C'est un tissu colonial, caractérisé par sa trame en échiquier (damier), illustré par la Fig 5-5.

Le Coudiat est occupé par des immeubles à destination mixte (habitat, commerce et lieux de travail), d'une hauteur qui varie de 8 à 25 m.

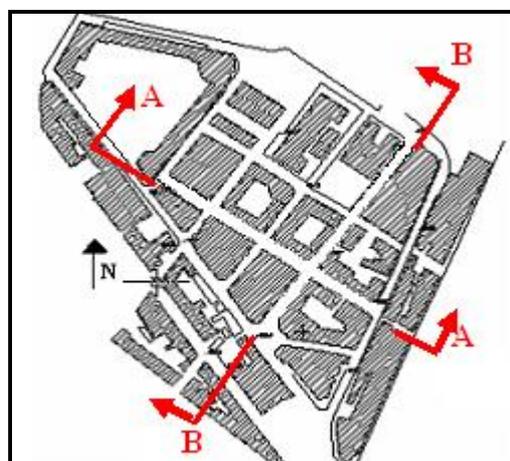


**Fig 5-5:** Situation géographique du site du Coudiat.

**Source:** Couverture aérienne de la ville de Constantine, DHW, 1995, (réadapté par auteur)

### Caractéristiques topographiques:

Le Coudiat est un site relativement plat comme indiqué par les coupes AA et BB effectuées au niveau du plan masse du site représenté par la Fig 5-6, mais relativement haut par rapport à l'environnement immédiat. C'est un haut plateau d'une altitude moyenne de 630m environ<sup>4</sup>.

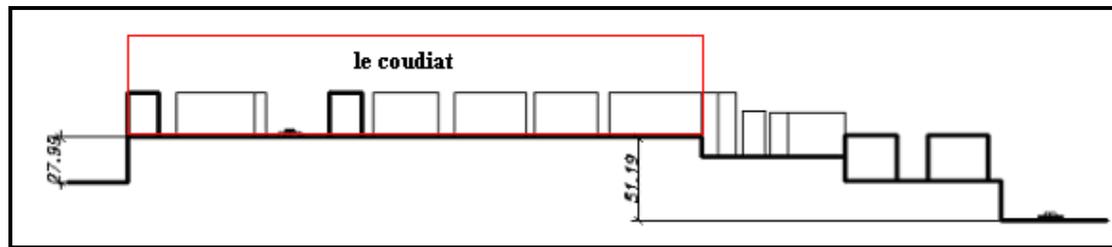


**Fig 5-6:** Indication des deux coupes AA et BB sur le plan masse du site.

**Source:**BOUCHERIBA.F, 2006 (réadapté par auteur)

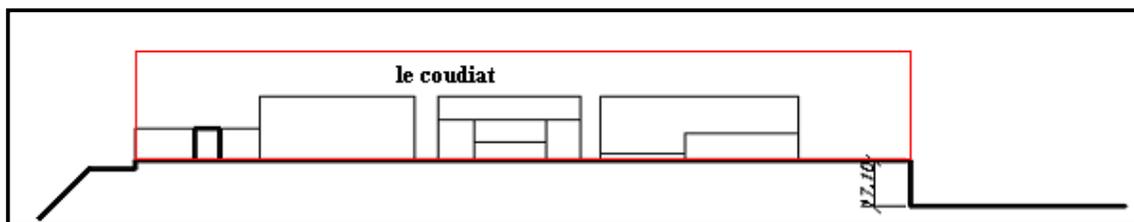
<sup>4</sup> BOUCHERIBA.Fouzia, « Impact de la géométrie des canyons urbains sur le confort thermique extérieur : cas du coudiat de Constantine », mémoire de magister, option bioclimatique, université Mentouri Constantine, 2006, p116-117.

Les Fig 5-7 et 5-8 qui schématisent les coupes établies sur le plan masse du site, montrent clairement que le site est plat, ce qui élimine l'impact du relief et son influence sur le microclimat du site.



**Fig 5-7:** Coupe AA.

**Source:** BOUCHERIBA.F, 2006

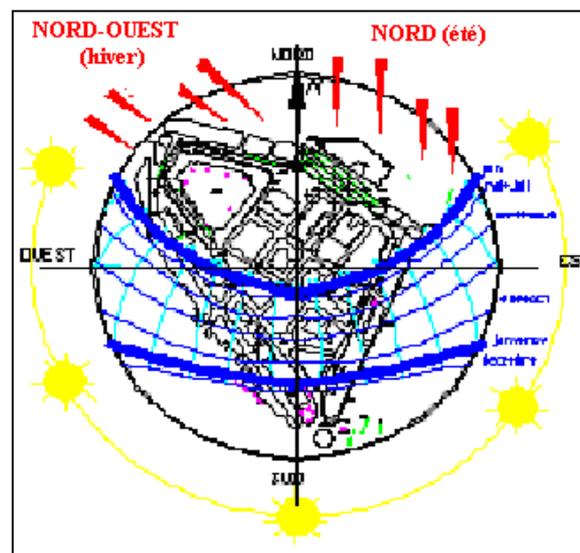


**Fig 5-8:** Coupe BB.

**Source:** BOUCHERIBA.F, 2006

### **Caractéristiques climatiques du site:**

Le site du Coudiat se caractérise par une exposition nette au soleil notamment sa partie sud, vu son importante altitude, il est exposé aux vents dominants nord d'été et nord-ouest d'hiver Fig 5-9.



**Fig 5-9 :** Trajectoire solaire et direction des vents affectant le site.

**Source:** BOUCHERIBA.F, 2006

**Caractéristiques des matériaux de surface:**

Les matériaux de construction utilisés dans le site du Coudiat sont riches et variés du point de vue texture, cette propriété est représentée par la couleur et la rugosité des matériaux, qui couvrent les chaussées et les façades, et dont la valeur d'albédo de chacune d'elles fera réfléchir la quantité d'énergie solaire de manière différente, ce qui jouera un rôle primordial dans l'échauffement des surfaces et de l'air et par conséquent sur l'ambiance thermique extérieure.

Le Coudiat, site de l'époque colonial, se caractérise par la construction en dur, la pierre est généralement le matériau de base utilisé pour la réalisation des murs de façades, et qui possède comme propriété la forte inertie thermique, une conductivité thermique de  $1.8 \text{ w/m}^\circ\text{C}$ , un important stockage de la chaleur le jour et sa restitution la nuit, et qui est dans la plupart des cas de texture lisse et de couleur claire blanche ou crème, les toitures sont faites par du béton (terrasse accessible en carreaux de béton et terrasse inaccessible en gravier). Les ouvertures sont en verre simple, dans la plupart des cas de couleur transparente avec une conductivité thermique de  $1.0 \text{ w/m}^\circ\text{C}$ , et les persiennes sont en bois colorées en bleu ou en marron, les voies et chaussées menant vers le site sont dans l'ensemble mécaniques, couvertes en asphalte de couleur noire et de conductivité thermique égale à  $0.7 \text{ w/m}^\circ\text{C}$ .

Le Tab 5-1 récapitule l'ensemble des valeurs d'albédo  $\alpha$  et d'émissivité  $\varepsilon$  rencontrées dans notre aire d'études:

Elément	Matériau	Couleur	Rugosité	Albédo	Emissivité
Chaussée	Asphalte	Noire	Rugueuse	0.05-0.20	0.95
Façades	Pierre avec peinture	Blanche et crème	Lisse à relativement rugueuse	0.50-0.90	0.85-0.95
Toitures	Carreaux de béton	Couleur naturelle du béton	Lisse à relativement rugueuse	0.10-0.35	0.71-0.90
	Gravier	Grise	Rugueuse	0.08-0.18	0.92
Ouvertures	Verre simple	Transparente	Lisse	0.08	0.87-0.94
	Persienne en bois	Bleue claire et marron	Rugueuse	0.20-0.35	0.85-0.95
Colonnes, murs et sol des galeries	Pierre	Nue	Rugueuse	0.20-0.35	0.85-0.95
		Grise, marron	Lisse	0.2-0.35	0.85-0.95
		Blanche, beige		0.5-0.9	0.85-0.95
	Mosaïque	Noire, verte	Lisse à rugueuse	0.02-0.35	0.85-0.98
	Marbre	Blanche, noire, beige, grise	Lisse	0.02-0.90	0.85-0.98
	Granito	Blanche tachetée en noir, gris et brique	Lisse	0.02-0.90	0.85-0.95
	Béton	Grise verdâtre	Rugueuse	0.10-0.35	0.71-0.90

**Tab 5-1 :** Tableau récapitulatif des matériaux utilisés dans le site avec leurs albédos et émissivité correspondants.

**Source:** OKE.T.R, 1978, (réadapté par auteur).

Et voici quelques illustrations Fig 5-10 sur les principaux matériaux rencontrés dans le site étudié, notamment ceux des façades et des chaussées.



**Fig 5-10 :** Matériaux de constructions existants dans le site étudié.

**Source:** Auteur 2007

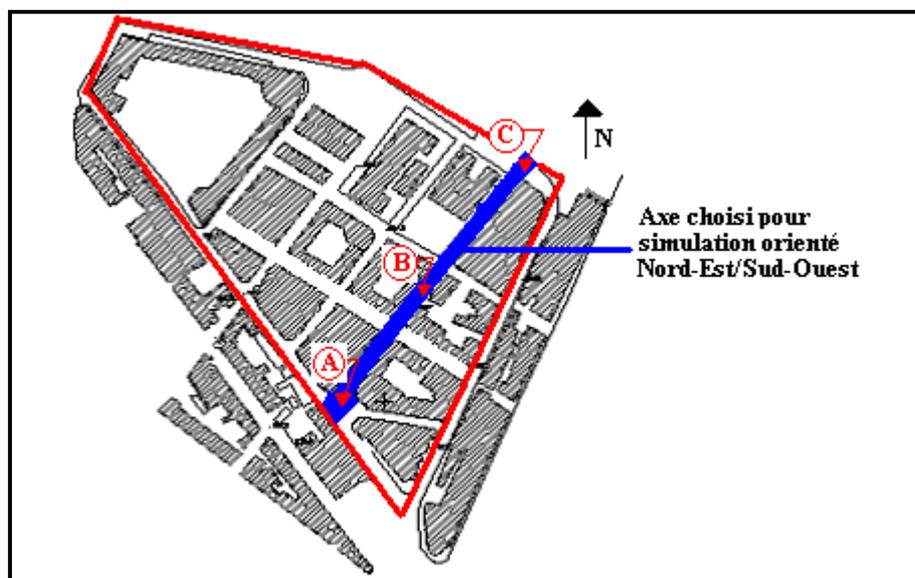
### **Trafic routier:**

Le Coudiat, notre aire d'étude connaît un flux mécaniques très important surtout pendant la journée et précisément durant les heures de pointes, vue que le site présente une concentration d'équipement d'ordre administratif, scolaire, commercial ainsi que l'habitat. Ce flux se répercute directement sur l'atmosphère environnante en la polluant et en augmentant sa température de l'air par l'impact des gaz à effet de serre, tel que Les dioxydes de carbone CO<sub>2</sub>, la vapeur d'eau H<sub>2</sub>O et autres.

Les principaux types de polluants générés par les véhicules sont le monoxyde de carbone (CO) causé principalement par les voitures à essence et les oxydes d'azote (NOx) produits tant par les moteurs à essence que diesel<sup>5</sup>, ainsi que la formation d'ozone O<sub>3</sub> qui est favorisée par le trafic, le soleil et l'absence du vent<sup>6</sup>. Ce qui nuit au confort thermique des piétons.

### **5-3-1-Présentation de l'axe d'études:**

Afin de mieux concrétiser notre problématique et pouvoir tester l'effet de l'albédo sur le canyon urbain, nous avons choisi l'axe représenté par la Fig 5-11.



**Fig 5-11:**Situation de l'axe d'étude par rapport au site étudié.

**Source:** Auteur.

C'est un axe orienté Nord-Est Sud-Ouest, il est représentatif pour notre cas d'étude parce qu'il représente l'espace canyon avec des matériaux de façades et de

<sup>5</sup> <http://www.nmarcoux.aol.com>

<sup>6</sup> <http://www.mon-environnement.com>

chaussée spécifiques, qu'on fera varier lors de la simulation, et aussi parce qu'il représente une variété du point de vue géométrie, en englobant trois espaces distincts , un espace dièdre, représenté par la station A, un canyon profond représenté par la station B et un espace complètement dégagé représenté par la station C, comme indiqué sur la Fig 5-12.



**Fig 5-12:** Situation des différentes stations sur l'axe d'études.

**Source:** Auteur.

#### **5-4-Critères du choix:**

Il y a plusieurs critères qui nous ont poussé à choisir précisément ce site, ces critères sont les suivants:

##### **Û La situation:**

Etant situé en plein centre de la ville de Constantine, le site du "Coudiat" est d'une grande importance vu qu'il est représentatif du point de vue analyse microclimatique.

##### **Û Absence de la végétation:**

L'absence totale de la végétation dans notre axe facilite la lecture des résultats, en évaluant l'influence de l'albédo sur le microclimat et sur le confort thermique extérieur sans prendre en considération l'impact de ce paramètre (végétation) qui est très important.

##### **Û L'albédo:**

La valeur d'albédo dans notre site diffère d'un matériau à un autre, mais le fait que le rayonnement solaire ne pénètre pas dans les galeries (ces dernières possèdent une variété dans les matériaux de construction, on trouve la pierre, la mosaïque, le marbre, les carreaux de béton, le granito...ect), cela nous permet de nous limiter aux valeurs d'albédo des surfaces de façades et de la chaussée reflétant la réalité du terrain et pouvoir enrichir l'étude par la simulation.

### **5-5-Simulation:**

La simulation dans le domaine de la climatologie urbaine est un sujet d'actualité, les recherches récentes visent à estimer le degré de confort senti par les piétons au niveau de la rue, ainsi que le degré de fréquentation.

La conception urbaine de nos jours vise à prendre en considération tous les paramètres qui influencent le microclimat urbain afin de bénéficier d'espaces extérieurs confortables, assurant bien être et satisfaction aux usagers. Parmi ces paramètres, le facteur albédo qui est d'une prime importance.

L'albédo ou la réflectivité joue un rôle primordial dans la qualité de l'espace extérieur précisément celle de la rue, qui est définie par sa géométrie, son orientation, et la couleur et texture de ses façades et de son sol.

Quels sont les meilleurs revêtements des façades et chaussées, qui offrent plus de confort thermique?

Afin de répondre à cette question, et aboutir aux objectifs précités, précisément dans le cas du climat semi-aride, représenté par des rues de types canyons au niveau d'un tissu colonial du Coudiat, dans la ville de Constantine, pendant la période estivale, la simulation a été développée en utilisant le logiciel Envi-met v3.0.

#### **5-5-1-Présentation du logiciel Envi-met:**

Envi-met, version 3.0, est un modèle microclimatique tridimensionnel développé par Michael Bruse, de l'institut de géographie à l'université de "Bochum" en Allemagne, en 1999.

Il est désigné pour simuler les interactions microclimatiques de la surface, des plantes et de l'air de l'environnement urbain, avec une résolution typique de 0.5 à 10m pour l'espace et 10s pour le temps. Les domaines d'applications de ce logiciels sont: la climatologie urbaine, l'architecture, l'urbanisme et la planification environnementale<sup>7</sup>.

Envi-met est un programme d'articles gratuits, basé sur de différents projets de recherches scientifiques et est par conséquent sous un développement continu.

---

<sup>7</sup> <http://www.envi-met.com>

Envi-met présente plusieurs avantages:

- 1-II simule les dynamiques microclimatiques avec un cycle journalier.
- 2-II permet le traitement de plusieurs structures urbaines: constructions de plusieurs tailles et de différentes formes et hauteurs accompagnées avec les moindres détails tel que galerie et auvents. La végétation chez Envi-met n'est pas seulement un simple obstacle poreux aux vents et aux radiations solaires, mais aussi il inclut les processus d'évapotranspiration et de la photosynthèse. Plusieurs types de végétation peuvent être utilisés, le sol est considéré comme un volume composé de plusieurs couches de différents types.
- 3-II présente une haute résolution spatiale et temporelle.
- 4-II demande un nombre limité des entrées et donne un nombre illimités de sorties<sup>8</sup>.

Envi-met est un modèle pronostique basé sur les lois fondamentales de la dynamique des fluides et de la thermodynamique.

Le modèle comprend la simulation de:

- § Le flux autour et entre les bâtiments.
- § Les processus d'échanges de la chaleur et de la vapeur sur la surface de la terre et sur les murs.
- § La turbulence.
- § Les paramètres de la végétation et les échanges effectués au niveau de la végétation.
- § La bioclimatologie.
- § La dispersion des particules<sup>9</sup>.

Un modèle tridimensionnelle non hydrostatique, Envi-met permet la simulation de l'interaction Surface-plante-air, pas seulement indépendante mais surtout à l'intérieur d'un environnement urbain. Le calcul du modèle inclus:

- Les flux de radiations de courtes et longues longueurs d'ondes en ce qui concerne l'ombre, la réflexion et la radiation des systèmes de bâtiments et de la végétation.

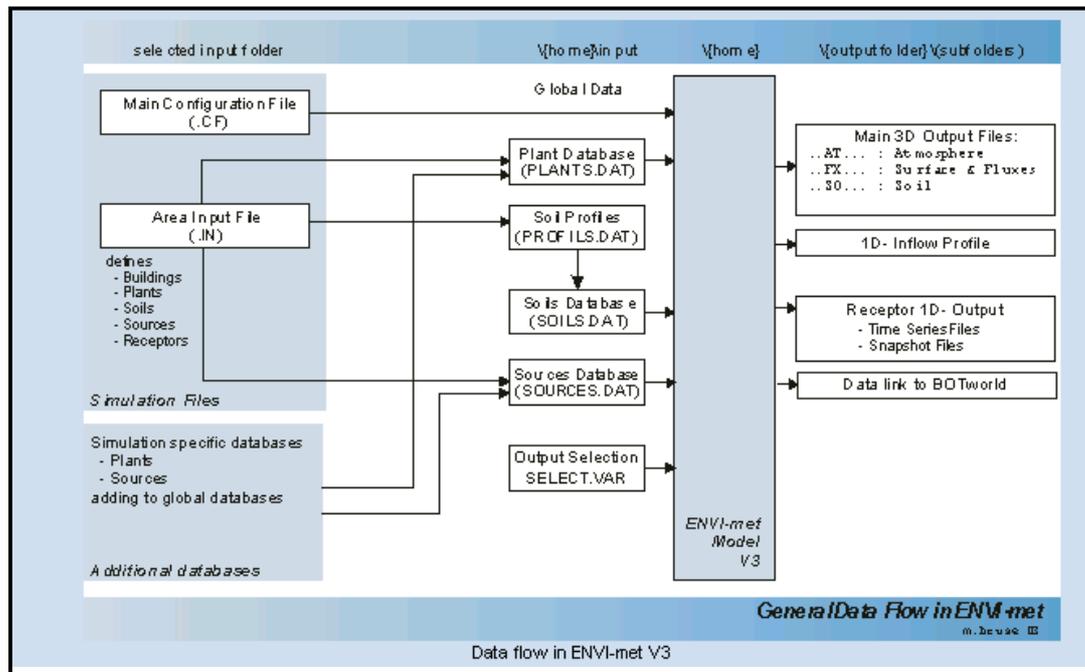
---

<sup>8</sup> **Ali Toudert.Fazia in: TEBBANI.Habiba**, «Impact de la végétation sur le microclimat et le confort thermique des espaces urbains publics- cas du cours de la révolution d'Annaba- » mémoire de magister, université Mentouri Constantine, 2006, p173.

<sup>9</sup> <http://www.envi-met.com>

- Transpiration, évaporation et flux de chaleur sensible de la végétation dans l'air y compris la simulation complète de tout les paramètres physiques des plantes (exemple: taux de la photosynthèse).
- La surface et la température des murs pour chaque point de la grille et du mur.
- L'eau et l'échange de chaleur à l'intérieur du sol.
- Calcul des paramètres biométéorologiques tel que la température moyenne radiante (MRT) ou le vote moyen prévisible de Fanger (PMV).
- Dispersion des gaz inertes et des particules y compris la sédimentation des particules aux surfaces des feuilles<sup>10</sup>.

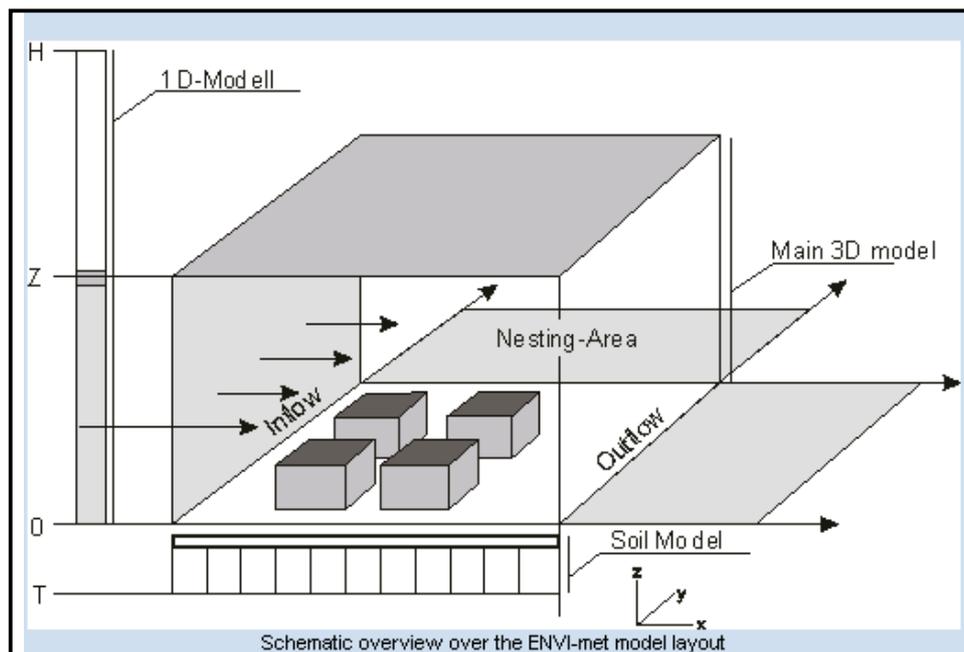
### Schéma du programme:



**Fig 5-13:** Schéma du programme Envi-met 3.

**Source:** Manuel de Envi-met 3.

<sup>10</sup> <http://www.envi-met.com>



**Fig 5-14:** Schéma du programme Envi-met 3. (architecture du modèle)  
**Source:** Manuel de Envi-met 3.

### **Les données d'entrées (inputs):**

#### **Fichier éditeur (.in) :**

Le fichier éditeur c'est votre surface de travail, c'est un programme qui permet d'introduire la structure urbaine dans le logiciel en la dessinant telle qu'elle est dans la réalité. Il contient ce qui suit:

#### **🔧 Editeur construction/végétation:**

Par cet éditeur on peut projeter les constructions définies par leurs hauteurs, tous les éléments saillants, ainsi que la végétation existante avec la sélection de ses différents types.

#### **🔧 Editeur sol:**

C'est le choix d'un type de sol qui coïncide avec la réalité en le sélectionnant dans la liste qui défile.

#### **🔧 Editeur récepteurs:**

Envi-met peut projeter jusqu'à 100 récepteurs, se sont des points qui donnent les paramètres d'un point Fig 5-15 à l'intérieur du model simulé de  $Z=0$  jusqu'à  $Z_{max}$ <sup>11</sup>.

<sup>11</sup> **TEBBANI.Habiba**, «Impact de la végétation sur le microclimat et le confort thermique des espaces urbains publics- cas du cours de la révolution d'Annaba- » mémoire de magister, université Mentouri Constantine, 2006, p179.



**Fig 5-15:** fichier éditeur d'un espace urbain.

**Source:** <http://www.envi-met.com>

### **Fichier de configuration (.cf):**

Ce fichier représente les caractéristiques principales du projet à simuler Fig 5-16, il contient :

- Ü Nom de la simulation.
- Ü Noms des fichiers entrées/sorties.
- Ü Adresse des fichiers de sorties.
- Ü La date de la simulation, le temps de son démarrage, sa durée et l'intervalle de temps lequell elle effectue des enregistrements.
- Ü Les paramètres du climat: direction et vitesse du vent, température atmosphérique initiale, humidité spécifique, humidité relative.
- Ü Les données propres à l'espace à simuler à savoir: La position, Turbulence, les caractéristiques du bâtiment, les récepteurs, les caractéristiques du sol...etc.

```

albedo2.CF
% ---- Basic Configuration File for ENVI-met  Version 3.0-----
% ---- MAIN-DATA Block ----
Name for Simulation (Text):           = albedo21:1simulation
Input file Model Area                 =[INPUT]\example\albedo2.in
Filebase name for Output (Text):     =albedo2
Output Directory:                    =d:\resultats albedo2
Start Simulation at Day (DD.MM.YYYY): =15.07.2007
Start Simulation at Time (HH:MM:SS):  =21:00:00
Total Simulation Time in Hours:       =6
Save Model State each ? min          =60
Wind Speed in 10 m ab. Ground [m/s]  =2
Wind Direction (0:N..90:E..180:S..270:W..) =0
Roughness Length z0 at Reference Point =0.1
Initial Temperature Atmosphere [K]    =301.05
Specific Humidity in 2500 m [g Water/kg air] =7
Relative Humidity in 2m [%]           =41
Database Plants                       =[input]\Plants.dat

( -- End of Basic Data --)
( -- Following: Optional data. The order of sections is free. --)
( -- Missing Sections will keep default data. --)
( Use "Add Section" in ConfigEditor to add more sections )
( Only use "=" in front of the final value, not in the description)
( This file is created for ENVI-met V3.0 or better )
[POSITION] _____ Where the area is located on earth
Longitude (+:east -:west) in dec. deg:  =+7.23
Latitude (+:northern -:southern) in dec.deg: =+36.17

```

**Fig 5-16:** exemple d'un fichier de configuration.

**Source:** Logiciel Envi-met.

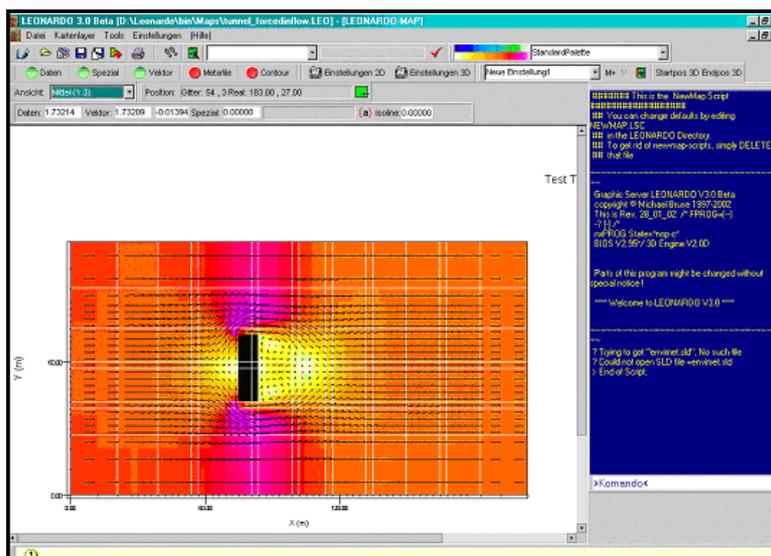
### Les sorties (outputs):

Envi-met peut générer une multitude de paramètres sous plusieurs répertoires les plus importants sont:

#### **📁 Fichier de sortie en 3D:**

Il contient les fichiers atmosphère, surface, récepteurs....etc.

Le logiciel Envi-met est associé à un autre programme qui s'appelle Léonardo 3.0 qui lit et visualise les résultats du travail effectué par ce logiciel Fig 5-17.



**Fig 5-17:** lecture des résultats par Léonardo.

**Source:** <http://www.envi-met.com>

### ✚ Fichier des récepteurs:

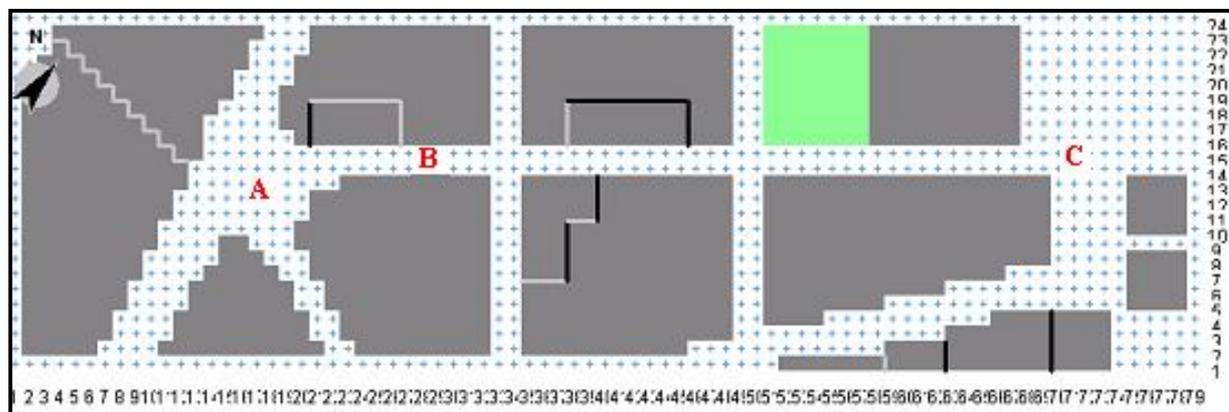
Ces fichiers permettent la définition des récepteurs à l'intérieur du model et de les voir de plus en plus en détail. Se sont de simples fichiers qui peuvent être visualisés avec un simple programme tel que Excel<sup>12</sup>.

### ✚ 1D fichier model:

Contient les données du profil vertical du model uni-dimensionnel de l'Envi-met dans un format ASII. Ces fichiers sont généralement utilisés pour la vérification et la résolution des problèmes qui peuvent figurer pendant la simulation<sup>13</sup>.

### 5-5-2-Simulation de l'axe étudié:

L'axe choisi, qui est orienté NE-SO, a été dessiné en choisissant une échelle convenable pour arriver à le schématisé tout entier et pouvoir refléter la réalité du terrain, les dimensions des différentes constructions ainsi que les hauteurs sont respectés et soigneusement reportés selon deux échelles distinctes, une planimétrique pour dessiner le plan, et l'autre altimétrique pour reporter les hauteur en élévation, on obtient alors le fichier dessin nommé pour notre cas albus.in, qui est le suivant Fig 5-18.



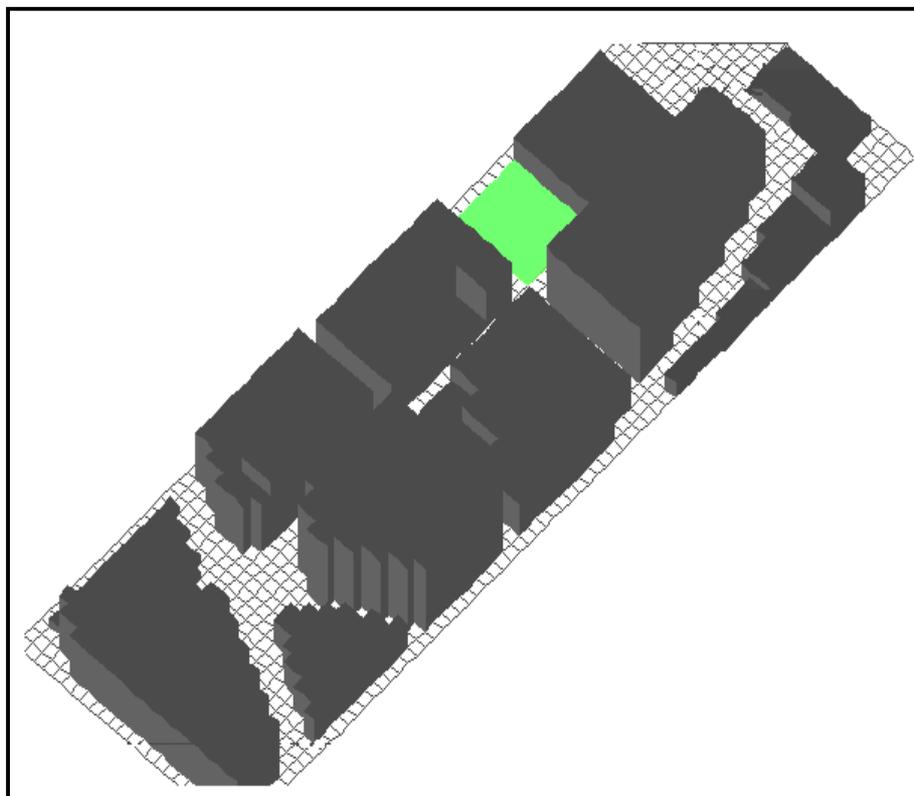
**Fig 5-18:** Dessin de l'axe étudié avec l'indication des différentes stations.

**Source:** BOUCHERIBA.F, 2006 (réadapté par auteur).

<sup>12</sup> **TEBBANI.Habiba**, «*Impact de la végétation sur le microclimat et le confort thermique des espaces urbains publics- cas du cours de la révolution d'Annaba-* » mémoire de magister, université Mentouri Constantine, 2006, p180.

<sup>13</sup> **BRUSE.Michael in: TEBBANI.Habiba**, «*Impact de la végétation sur le microclimat et le confort thermique des espaces urbains publics- cas du cours de la révolution d'Annaba-* » mémoire de magister, université Mentouri Constantine, 2006, p180.

Cet axe peut être aussi schématisé en 3D, comme présentée dans la figure qui suit (Fig 5-19):



**Fig 5-19 :** Dessin en 3D de l'axe étudié.  
**Source:**BOUCHERIBA.F, 2006

Après le dessin de l'axe, on procède à le configurer dans un fichier .cf, pour pouvoir lui attribuer les caractéristiques voulues, afin d'aboutir aux résultats qui peuvent guider cette recherche aux objectifs visés et pouvoir confirmer ou infirmer nos hypothèses tracées.

Le tableau ci-dessous (Tab 5-2), présente les principaux paramètres introduits au fichier .cf par les données inputs, qui servent avantageusement pour pouvoir aboutir à d'autres paramètres visés qui nous seront utiles, afin de pouvoir expliquer les phénomènes étudiés dans notre cas, et qui seront obtenus plus tard par les outputs. Ce sont les conditions générales dans lesquelles la simulation a été élaborée.

Situation	Coudiat, Constantine, Algérie Longitude: 7.23 EST. Latitude: 36.17 NORD. Altitude: 650m
Type de climat	Climat semi-aride: chaud et sec en été
Journée de simulation	Journée chaude typique d'été, le 15 juillet 2007.
Durée de simulation	De 02.00 à 00.00h (24.00heures)
Vitesse du vent	2m/s
Direction du vent	Nord
Transmission de chaleur des murs	0.379
Transmission de chaleur du toit	1.94
Albédo des murs	Des valeurs de 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 et 1
Albédo du toit	0.5

**Tab 5-2 :** Les différents paramètres introduits à l'axe simulé.

**Source:** Auteur

On note ici, qu'un autre paramètre très important qui est l'albédo du sol est modifié ailleurs dans la rubrique PROFILES.dat, en attribuant une valeur convenable à "a" qui représente road asphalt.

Après le lancement de la simulation pour des périodes qui couvrent toute la journée, c'est à dire 24 heures, en la démarrant chaque six heures successives, on a pu avoir des résultats qui pourront être lu par le programme Léonardo, en choisissant un intervalle bi-horaire.

### **5-5-3-Résultats obtenus et interprétation:**

Afin de vérifier les hypothèses posées, et clarifier l'impact de l'albédo sur le microclimat et sur le confort thermique extérieur, on a simulé un canyon urbain, situé au site du Coudiat de Constantine, qui s'insère dans un climat semi-aride, comme présenté précédemment.

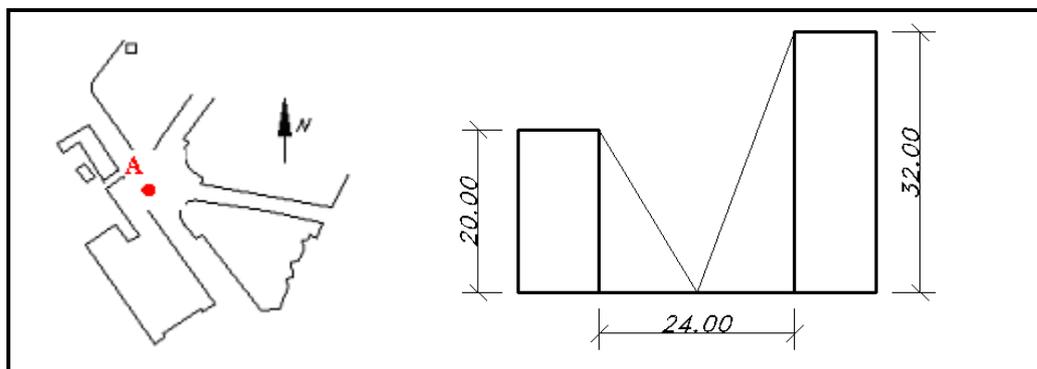
L'axe simulé est orienté NE-SO, pour une journée chaude d'été, incluse dans la zone de surchauffe. Les paramètres introduits sont: la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse et direction du vent données par les services météo, ainsi que la

valeur d'albédo propre aux murs de façades et au sol, reflétant la réalité du terrain et d'autres valeurs supposées pour tester l'effet de l'albédo et accomplir la simulation. Les paramètres obtenus sont: la température de surface, la température de l'air, la température moyenne radiante, déduites par Envi-met et lus par Léonardo, et la température physiologique équivalente (PET) déduite par un programme développé par les chercheurs P.Hôppe en 1996.

Pour les stations choisies sur l'axe NE-SO, sujet de notre simulation, elles correspondent à trois espaces de géométrie différentes qui sont, l'espace dièdre pour la station A, Fig 5-20 et 5-21, l'espace canyon pour la station B, Fig 5-22 et 5-23, et enfin l'espace dégagé pour la station C, Fig 5-24 et 5-25.



**Fig 5-20 :** Photo fish-eye de la station A situé sur l'axe NE-SO  
**Source:**BOUCHERIBA.F, 2006

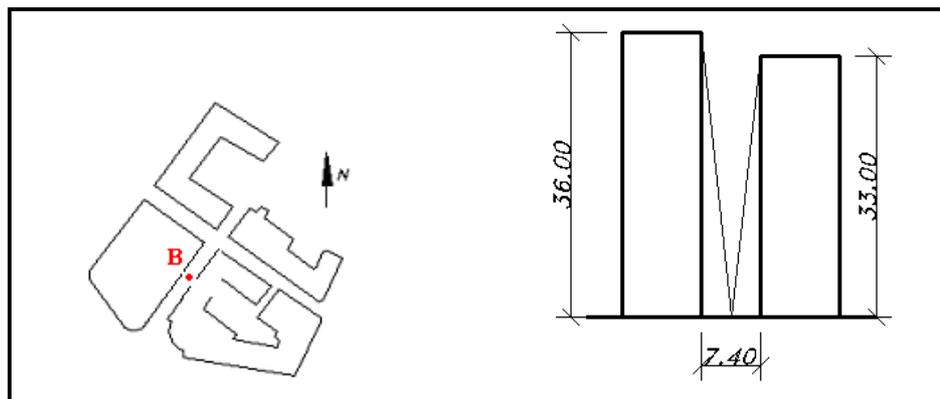


**Fig 5-21 :** Plan et coupe de la station A.  
**Source:**BOUCHERIBA.F, 2006

**La station A** est un espace dièdre, C'est-à-dire partiellement ouvert, qui se situe à l'intersection de trois axes, et qui présente un facteur d'ouverture au ciel égal à 0.23, et un ratio  $H/W = 1$ .



**Fig 5-22 :** Photo fish-eye de la station B situé sur l'axe NE-SO  
**Source:**BOUCHERIBA.F, 2006



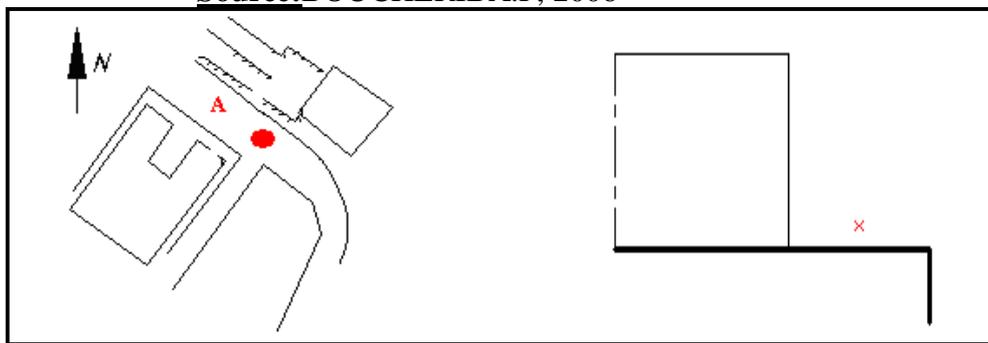
**Fig 5-23 :** Plan et coupe de la station B.  
**Source:**BOUCHERIBA.F, 2006

**La station B** est un canyon profond, qui présente un ratio  $H/W = 4.7$ , et un facteur d'ouverture au ciel égal à 0.12.



**Fig 5-24:** Photo fish-eye de la station B situé sur l'axe NE-SO

**Source:**BOUCHERIBA.F, 2006



**Fig 5-25 :** Plan et coupe de la station C.

**Source:**BOUCHERIBA.F, 2006

**La station C** est un espace dégagé, très ouvert, qui présente une ouverture au ciel arrivant à 0.58, et un ratio  $H/W < 1$ .

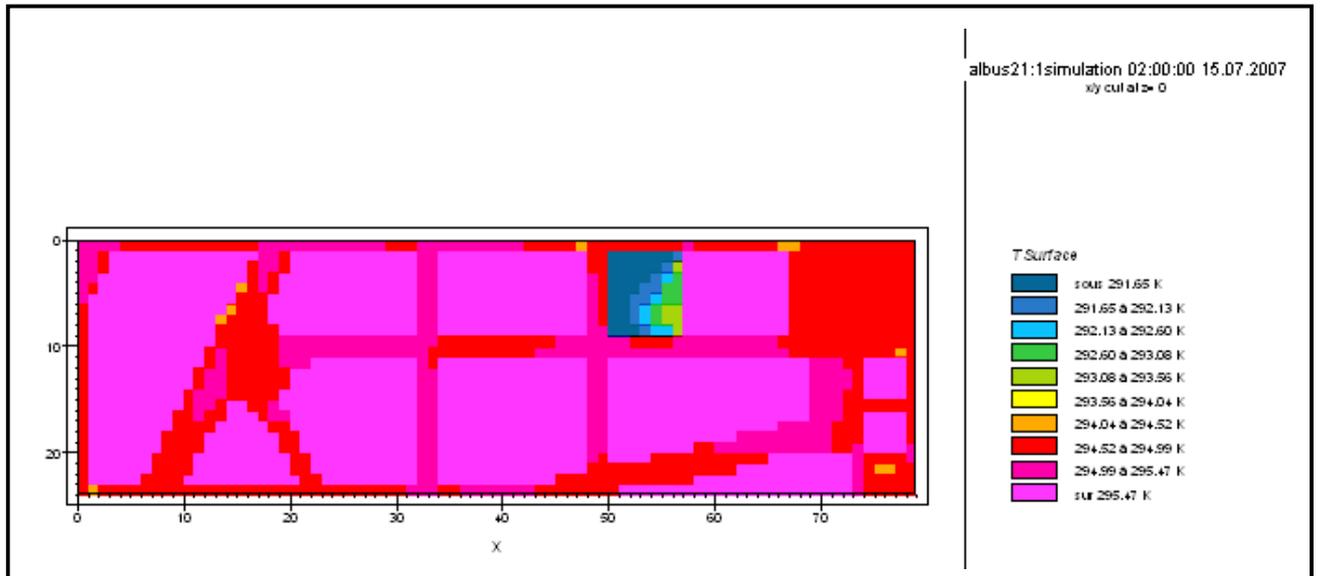
Le choix de cet axe a été dicté par la variété des espaces représentés par les différentes stations, en fixant pour chaque espace les facteurs de géométrie et d'orientation et en faisant varier la valeur d'albédo des surfaces des murs et du sol en lui attribuant des valeurs de 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, et 1.

Les résultats obtenus pour les trois stations concernant le microclimat à savoir: la température de surface, la température de l'air et la température moyenne radiante sont présentées dans ce qui suit :

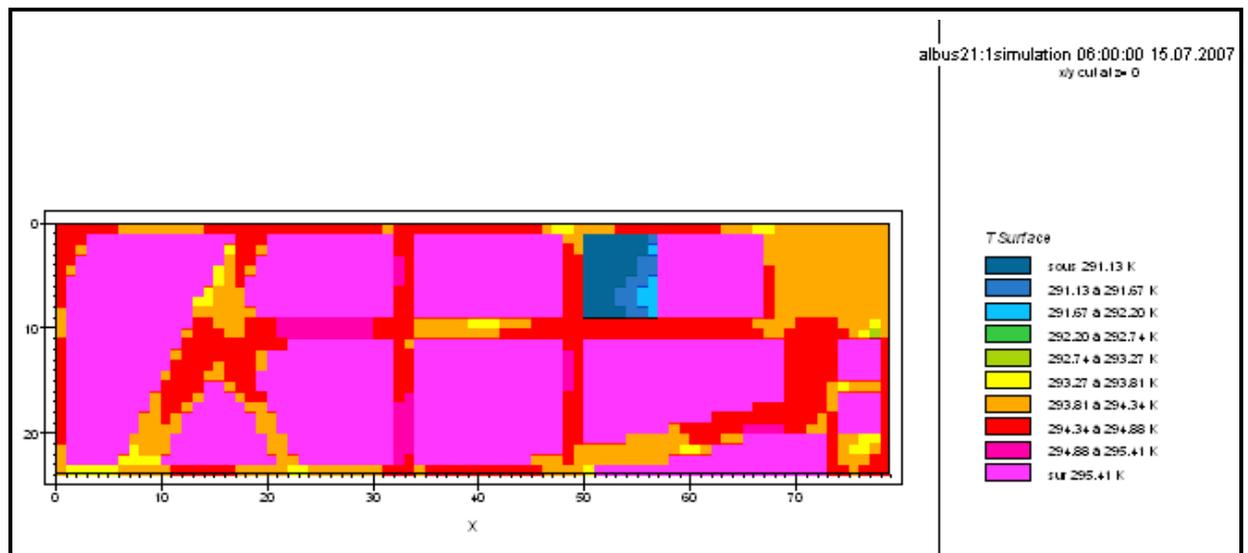
#### **5-5-3-1-La température de surface:**

La température de surface déduite par Envi-met, exprime la température des différentes surfaces du canyon, c'est-à-dire les surfaces des murs de façade et la surface du sol.

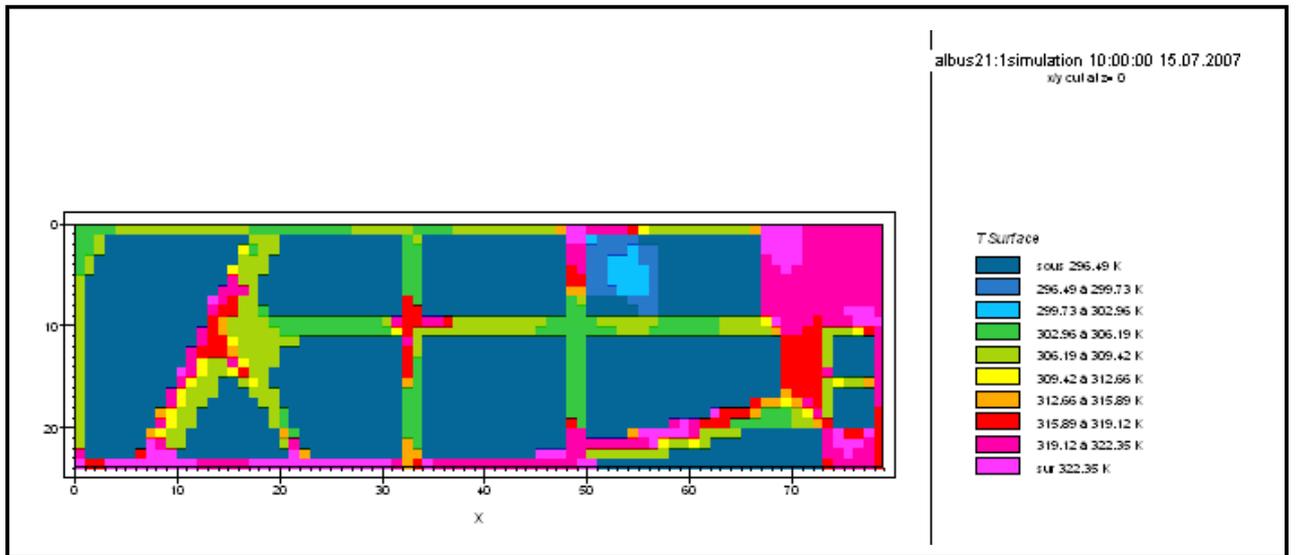
Nous choisissons ici quelques valeurs qui correspondent à différentes périodes de la journée propre à la valeur d'albédo de 0.2 par exemple, et qui exprime plus ou moins un changement dans le sens de la courbe indiquant la variation de la température en fonction des heures de la journée, ce sont des figures obtenus par Envi-met et lus par Léonardo, représentés par les Fig de 5-26 jusqu'à 5-32.



**Fig 5-26:** Température de surface pour un albédo de 0.2 à 02.00h du matin.  
**Source:** Léonardo 3.0

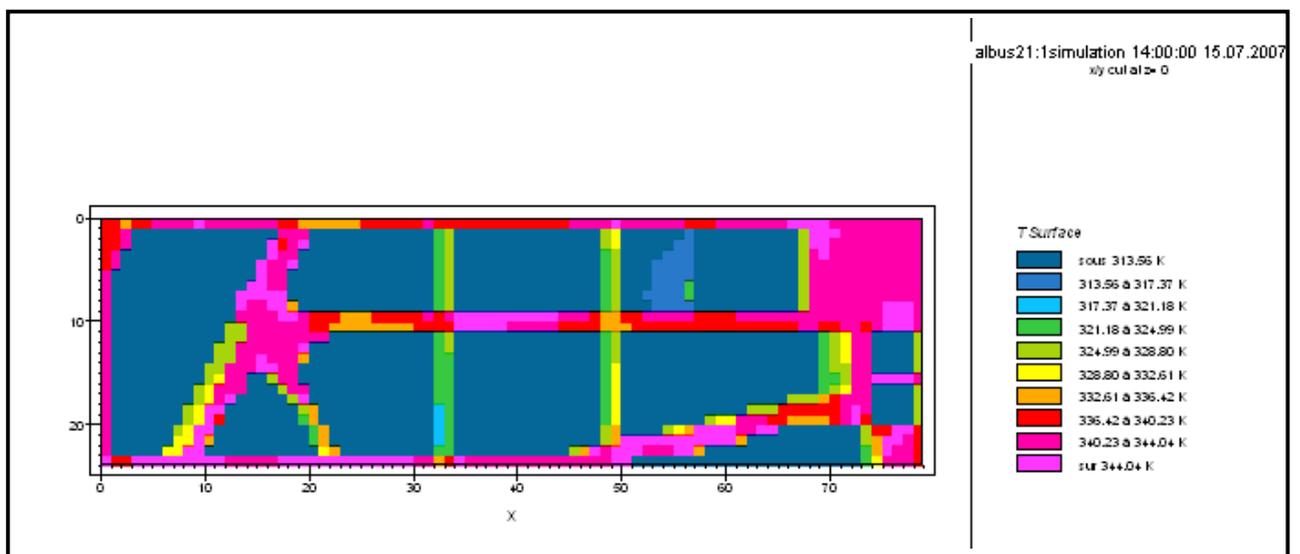


**Fig 5-27:** Température de surface pour un albédo de 0.2 à 04.00h du matin.  
**Source:** Léonardo 3.0



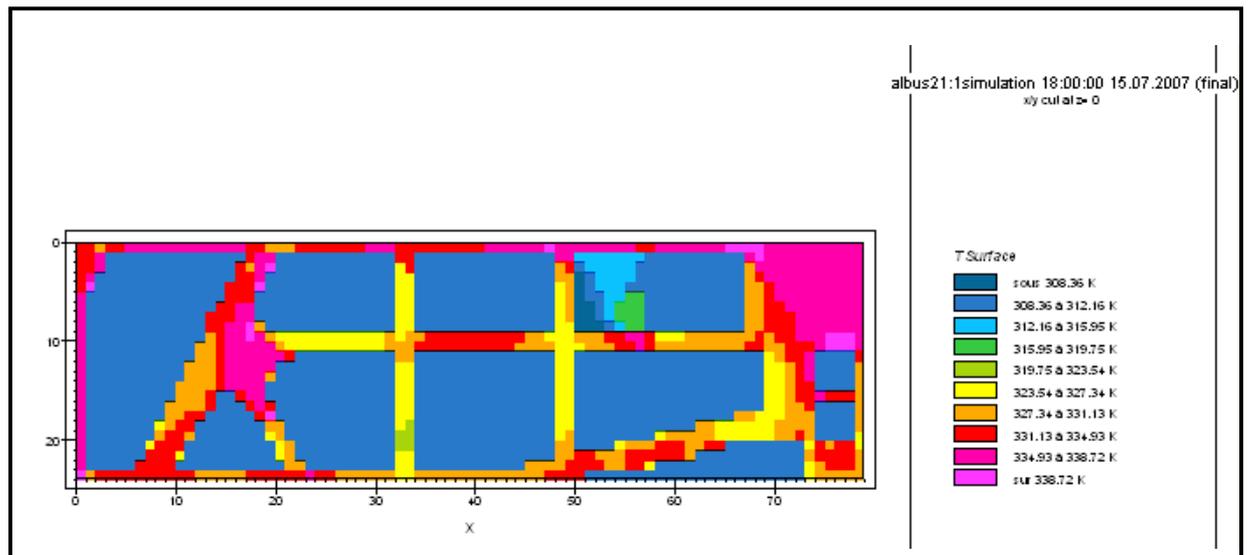
**Fig 5-28:** Température de surface pour un albédo de 0.2 à 10.00h du matin.

**Source:** Léonardo 3.0

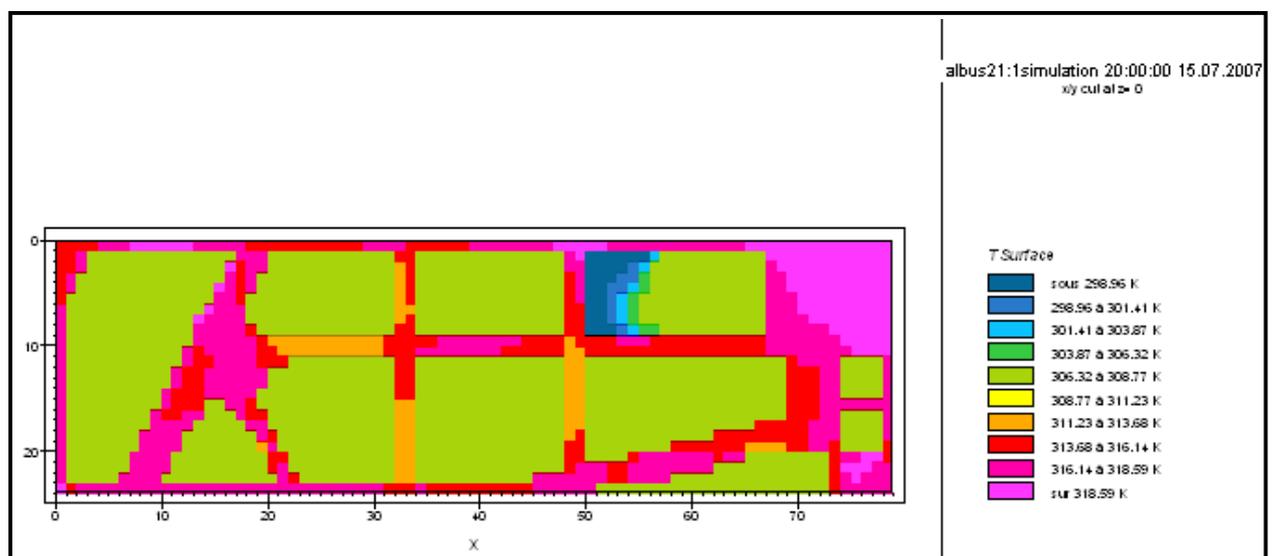


**Fig 5-29:** Température de surface pour un albédo de 0.2 à 14.00h.

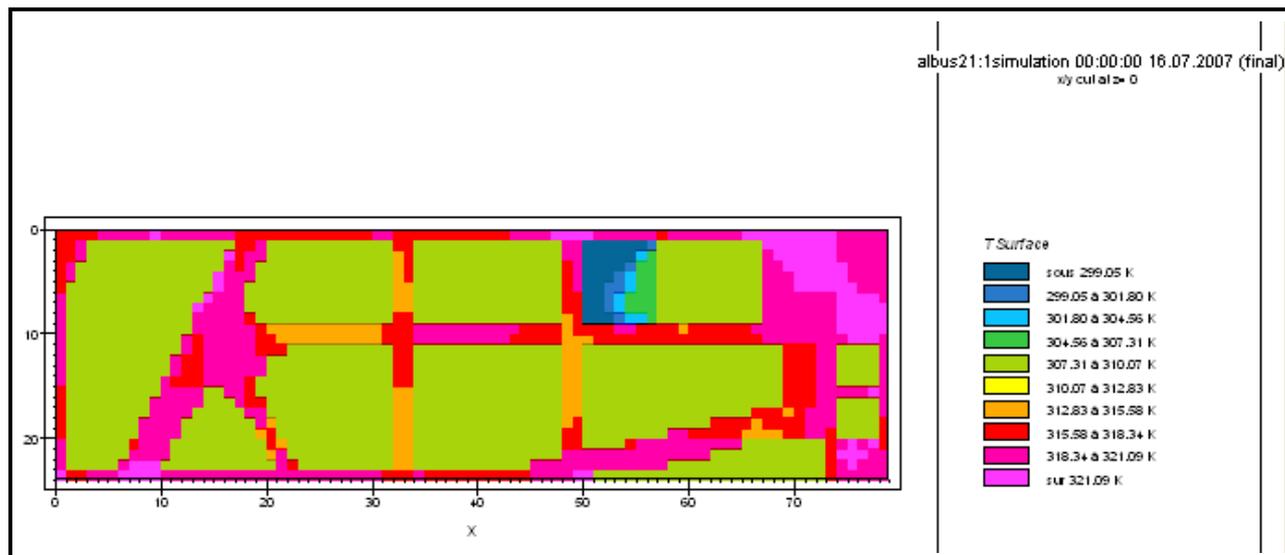
**Source:** Léonardo 3.0



**Fig 5-30 :** Température de surface pour un albédo de 0.2 à 18.00h.  
**Source:** Léonardo 3.0



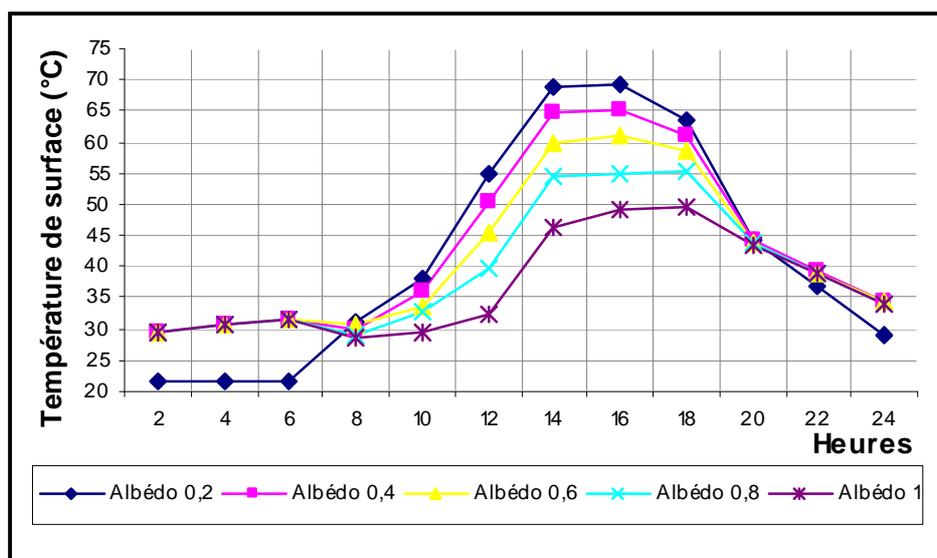
**Fig 5-31 :** Température de surface pour un albédo de 0.2 à 20.00h.  
**Source:** Léonardo 3.0



**Fig 5-32 :** Température de surface pour un albédo de 0.2 à 00.00h.  
**Source:** Léonardo 3.0

Les résultats de la simulation obtenus par l'application des valeurs d'albédo de 0.4, 0.6, 0.8 et 1 pour certaines heures de la journée sont présentés dans l'annexe III.

La combinaison de tout ces résultats, et plus précisément La lecture bi-horaire des résultats obtenus par l'utilisation des matériaux absorbant et d'autres tout à fait réfléchifs, en changeant la valeur d'albédo de manière croissante de 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 et 1 nous a permis d'établir pour la station A, le graphe suivant:



**Fig 5-33 :** Températures de surface pour différentes valeurs d'albédo pour une journée d'été. Station A.  
**Source:** Auteur

La station A qui représente un espace dièdre, c'est-à-dire partiellement dégagé, orienté vers le sud-ouest, exprime nettement l'effet de la nature du matériau sur la température de surface, on voit d'après la Fig 5-33 que la température de surface et la réflectivité du matériau (valeur d'albédo) sont inversement proportionnelles de 7.00h à 19.00h, période de 12 heures, dont plus de 6 heures représentent la durée d'ensoleillement de cet espace, cela s'explique par le fait que le rayonnement solaire soit réfléchi de plus en plus que le matériau augmente de réflectivité, ce qui garde sa surface fraîche. On enregistre par exemple une valeur de 68.98°C pour un albédo de 0.2 à 14.00h contre uniquement 46.41°C pour un albédo de 1 pendant la même heure de la journée, c'est-à-dire une différence de 22.57°C, et une valeur maximale de 69.17°C à 16.00h pour un albédo de 0.2 contre 49°C pour un albédo de 1 pour la même heure selon un ordre croissant ce qui fera une différence de 20.17°C, puis à partir de cette heure qui marque l'apogée de la courbe, commence l'ordre décroissant jusqu'à 19.00h, où les courbes des différentes valeurs d'albédo gardent le même ordre de variation.

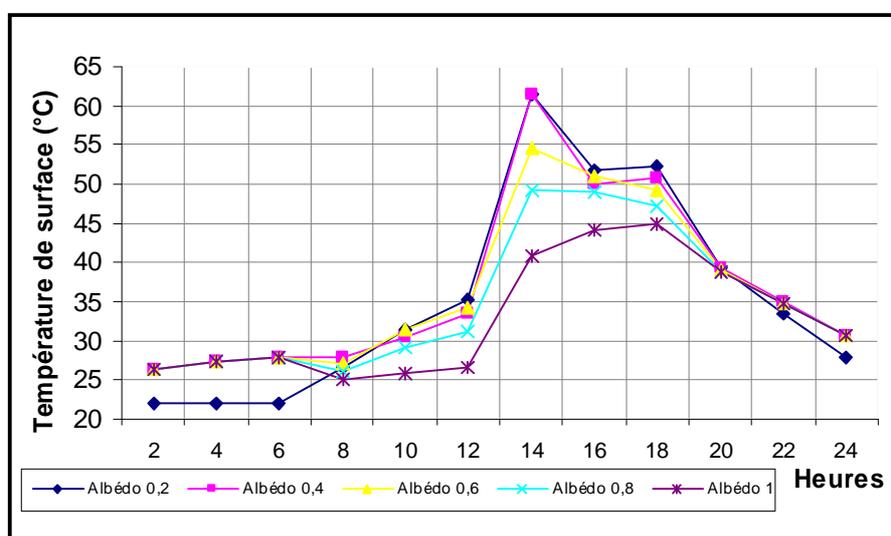
La période de 19.00h à 00.00h représente un très grand rapprochement dans les valeurs des températures de surface, selon un ordre décroissant dont les différences varient uniquement de 0.07 à 0.57°C, avec exceptionnellement la valeur d'albédo de 0.2 qui s'éloigne un peu en donnant des valeurs moindres avec une différence maximale qui arrive jusqu'à 4.93°C, cela peut s'expliquer par la simple raison qu'après le coucher du soleil, les différents types de matériaux restituent leur température emmagasinée vers le ciel, et se refroidissent d'une manière très proche sauf le matériau avec une valeur d'albédo de 0.2 qui se refroidit davantage plus que les autres, ce qui est dû au fait que l'énergie importante stockée pendant la journée se restitue d'une manière très intense la nuit, ce qui fera réchauffer l'air environnant et faire refroidir ce matériau.

La période de 02.00h jusqu'à 06.00h du matin, représente une conformité totale des températures de surface pour les valeurs d'albédo de 0.4, 0.6, 0.8 et 1 qui sont: 29.37 à 02.00h, 30.71 à 04.00h et 31.44 à 06.00h, à l'exception de la valeur d'albédo de 0.2 qui est moindre de presque 9°C par rapport aux autres valeurs et qui est de 21.60°C à 02.00h du matin, 21.51°C à 04.00h du matin et de 21.46°C à 06.00h du matin, cela peut s'expliquer par le fait que l'albédo ayant une faible valeur, donc une

plus grande capacité d'absorption, a permis au matériaux de façades d'emmagasiner la plus grande part de rayonnement solaire, ce qui les rend plus chaud pendant la journée, et durant la nuit , c'est le mécanisme inverse , le matériau restitue la chaleur emmagasiné vers le ciel, en réchauffant l'air environnant et en se refroidissant d'avantage.

Concernant la station B, elle présente des résultats semblables à ceux de la station A, avec la simple différence dans les températures, vue que la station B présente un espace canyon, il y a une exception qu'on peut voir nettement sur le graphe de la figure suivante (Fig 5-34), là où un pic de température de surface pourra être enregistré par les deux valeurs d'albédo de 0.2 et 0.4 avec une valeur de 61.36°C et 61.38°C respectivement à 14.00h, mais qui reste quand même moindre que la station A à cette même heure, car la géométrie de l'espace entre en jeu ici, en offrant des températures moins importantes pour l'espace canyon que l'espace plus ouvert (espace dièdre).

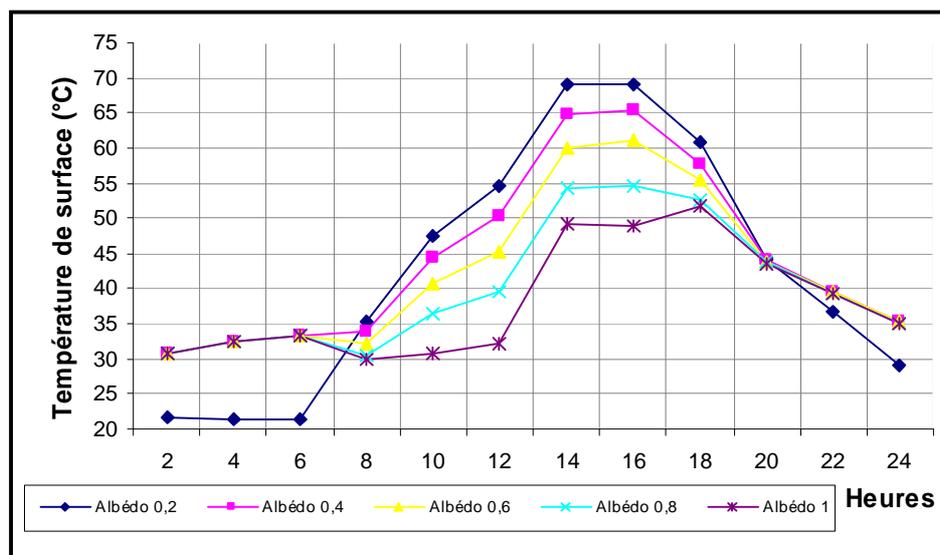
Le reste du graphe pour les différentes heures de la journée est semblable à celui de la station A.



**Fig 5-34 :** Températures de surface pour différentes valeurs d'albédo pour une journée d'été. Station B.

**Source:** Auteur

La variation des températures surfaciques, relatives à la station C, présentent de faibles fluctuations par rapport aux deux autres précitées, les différentes valeurs obtenues sont schématisées par la figure suivante (Fig 5-35).



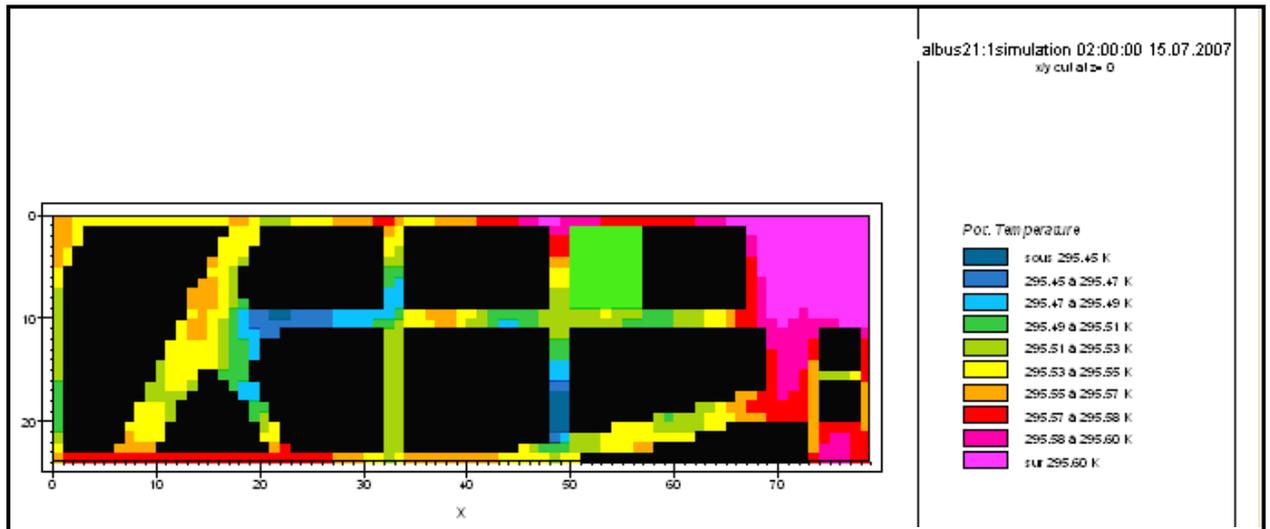
**Fig 5-35:** Températures de surface pour différentes valeurs d'albédo pour une journée d'été. Station C.

**Source:** Auteur

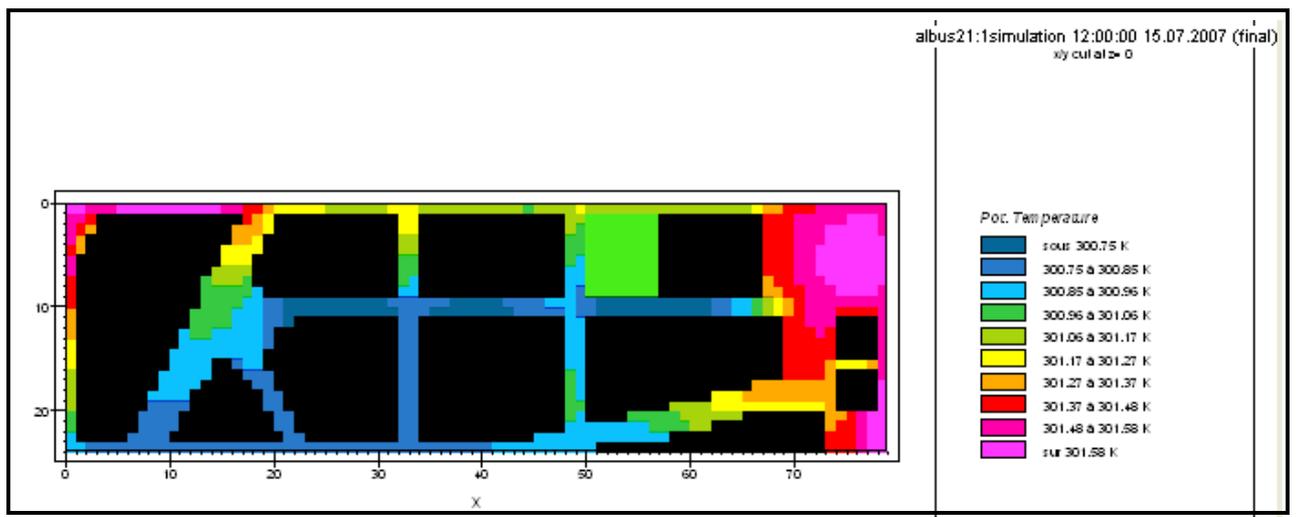
Concernant le graphe des températures de surface relatives à la station C, il est presque identique à celui obtenu pour la station A, vu qu'elle sont toutes les deux relativement dégagées, avec de simples variations presque négligeables.

### **5-5-3-2-La température de l'air:**

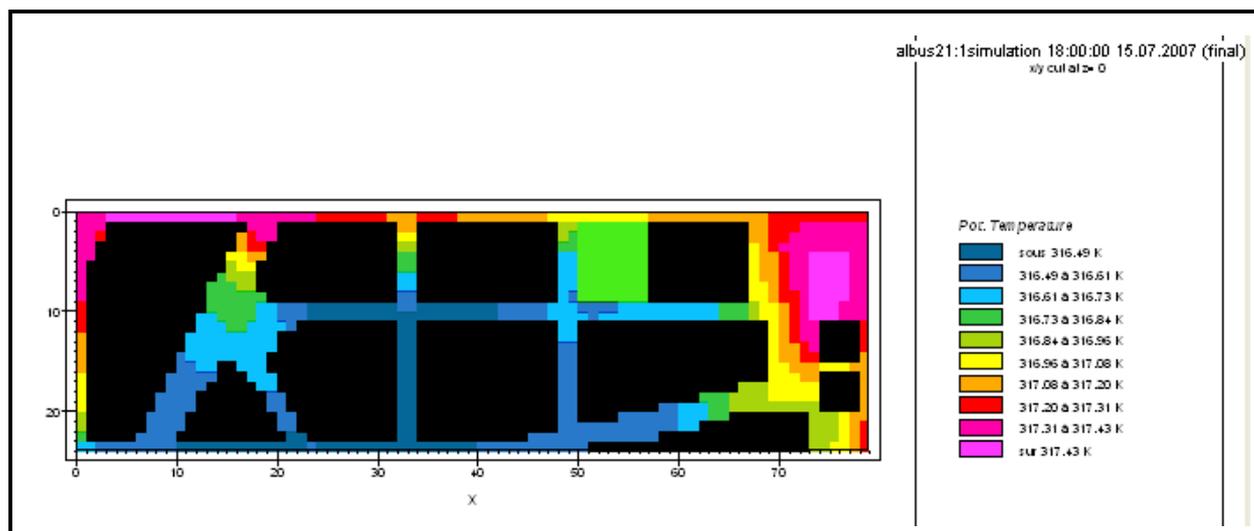
La température de l'air est un paramètre important à évaluer au niveau des différentes stations choisies, car il représente la température ambiante qui règne en ces espaces, ce qui permettra plus loin d'estimer le confort thermique des piétons. Les résultats obtenus par Envi-met et lus par Leonardo sont d'une manière récapitulative les suivants Fig 5-36 à 5-38, pour une valeur d'albédo indicative de 0.2 par exemple, et cela pour uniquement trois périodes de la journée, à 02.00h du matin, à 12.00h et à 18.00h.



**Fig 5-36 :** Température de l'air pour un albédo de 0.2 à 02.00h du matin.  
**Source:** Léonardo 3.0



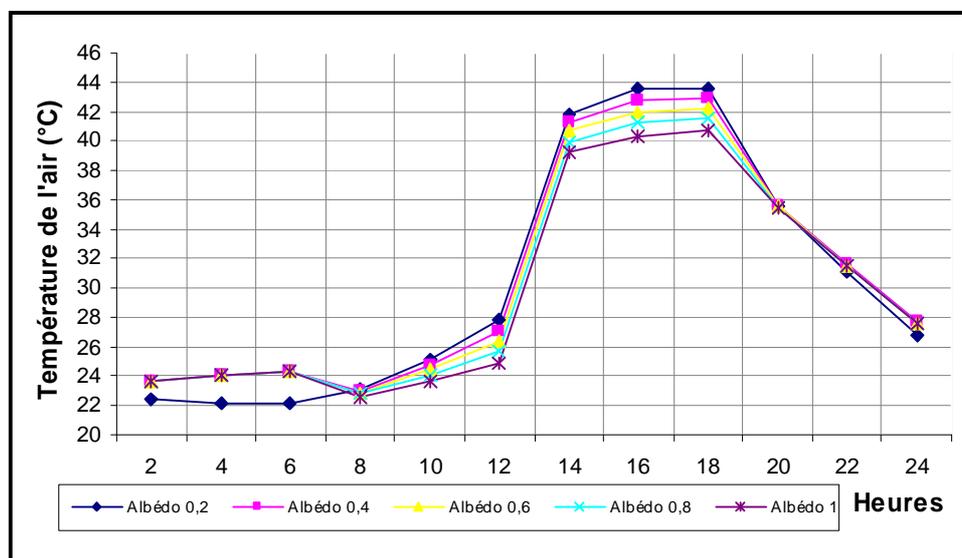
**Fig 5-37 :** Température de l'air pour un albédo de 0.2 à 12.00h.  
**Source:** Léonardo 3.0



**Fig 5-38 :** Température de l'air pour un albédo de 0.2 à 18.00h.  
**Source:** Léonardo 3.0

Les résultats de la simulation concernant les autres valeurs d'albédo, pour quelques heures de la journée, là où le graphe des températures de l'air change d'allure sont présentés dans l'annexe III.

La lecture bi-horaire de tous ces résultats concernant la température de l'air est représentée par les Fig 5-39, 5-40 et 5-41.



**Fig 5-39:** Graphe des résultats bi-horaires de la température de l'air pour une journée d'été. Station A.  
**Source:** Auteur.

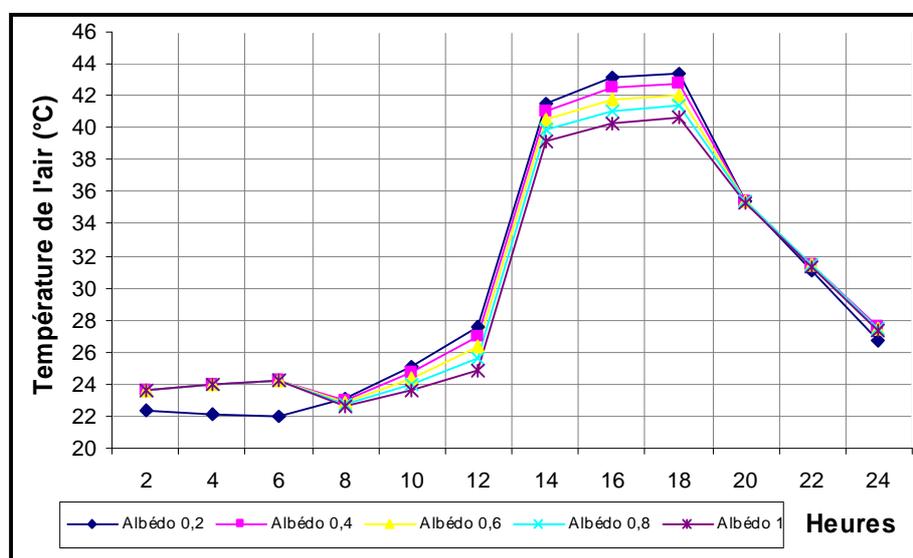
D'après le graphe (Fig 5-39), nous remarquons que la température de l'air prend la même allure que celle des surfaces, cela s'explique par l'échauffement de l'air par

convection dans le cas où la vitesse du vent est faible voir négligeable, qui est le cas de notre étude, car l'axe qu'on a choisi est orienté NE-SO, il est à l'abri des vents dominants d'été qui sont de direction nord.

Les valeurs maximales de température de l'air sont enregistrées dans l'après midi, en ayant pour valeur  $41.80^{\circ}\text{C}$  à 14.00h,  $43.51^{\circ}\text{C}$  à 16.00h et  $43.63^{\circ}\text{C}$  à 18.00°C pour un albédo égal à 0.2, contre des températures moindres pour la valeur d'albédo de 1 est qui sont respectivement  $41.25^{\circ}\text{C}$ ,  $42.81^{\circ}\text{C}$  et  $42.88^{\circ}\text{C}$  pour les même heures de la journée, ce qui fera une différence qui varie entre 2.53 et 3.14.

Les valeurs minimales sont enregistrées à 6.00h du matin , avec une valeur de  $22.11^{\circ}\text{C}$  pour un albédo de 0.2 contre une valeur de  $24.40^{\circ}\text{C}$  pour la valeur d'albédo de 1 pour la même heure, ce qui s'explique par le dégagement des radiations de longues longueurs d'ondes pendant toute la nuit par ces matériaux, ce qui garde leur température fraîches pendant le matin et par conséquent diminuer la température de l'air .

Pour la station B, les résultats obtenus nous ont permis d'établir le graphe suivant (Fig 5-40):



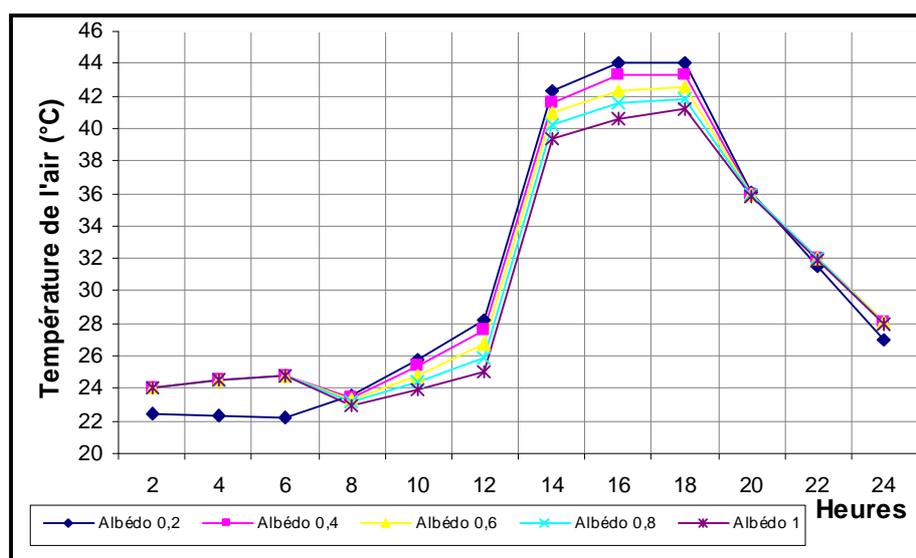
**Fig 5-40:** Graphe des résultats bi-horaires de la température de l'air pour une journée d'été. Station B.

**Source:** Auteur.

Pour l'espace canyon, la variation de la température de l'air est semblable à celle de l'espace dièdre, nous enregistrons une valeur maximale de  $43.34^{\circ}\text{C}$  à 18.00h pour

l'albédo le plus faible qui est 0.2, et une valeur maximale pour le matériau le plus réfléchissant représenté par l'albédo le plus fort qui est 1, en ayant pour valeur de 40.64°C pour la même heure ce qui fera une différence de 2.7°C. Ce qui coïncide avec les résultats obtenus par R.Priyadarsini et N.H.Wong en 2005, qui ont trouvé que pour un canyon étroit avec une faible vitesse de vent, la température de l'air pourra augmenter jusqu'à 2.5°C pour des façades ayant des matériaux à basse réflectivité comparé à d'autres façades ayant des matériaux à hautes réflectivité. Ce qui confirme nos résultats, car l'axe choisi est à l'abri du vent, puisque les vents dominants du nord de la région de Constantine, échappent à notre axe orienté NE-SO, donc la vitesse par laquelle il parcourt le canyon est faible.

Enfin, la station C présente des résultats très reprochés à celles de la station A, ils sont récapitulés par le graphe suivant (Fig 5-41):



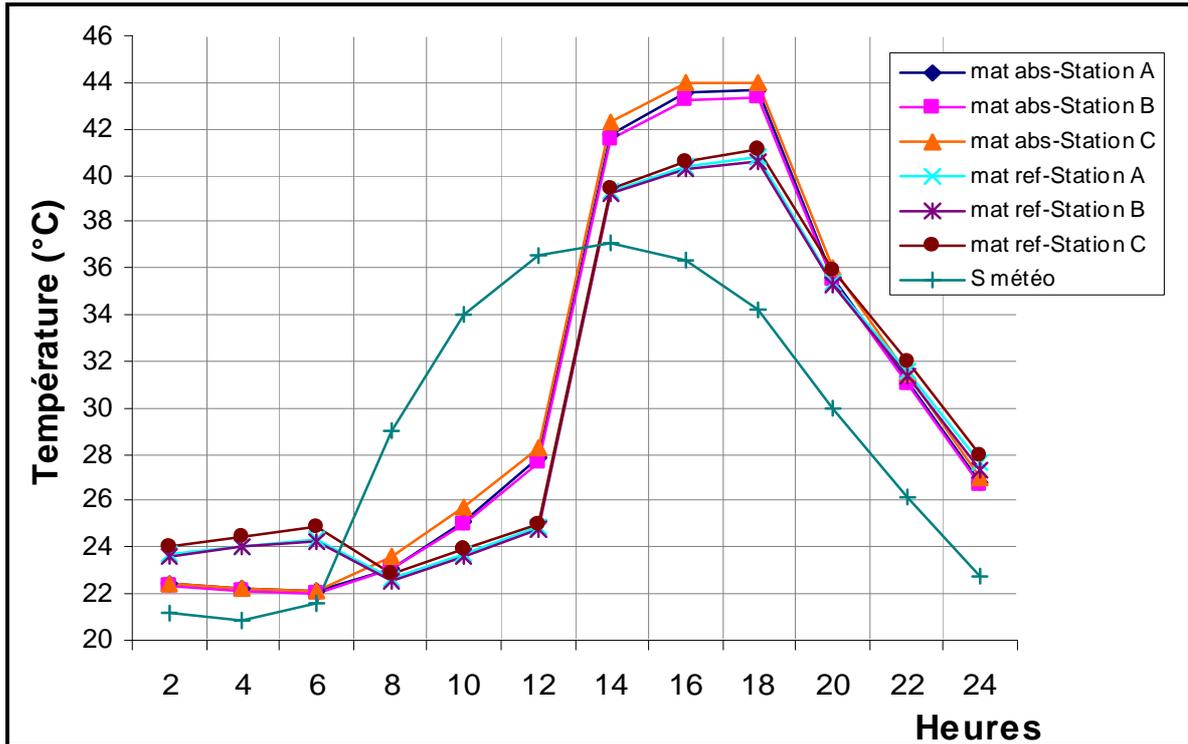
**Fig 5-41:** Graphe des résultats bi-horaires de la température de l'air pour une journée d'été. Station C.

**Source:** Auteur.

Les graphes des températures de l'air prennent la même allure pour les trois stations, cela pourra être justifié par la simple raison que les températures de l'air sont la résultante du mouvement de l'air d'une part et de la contamination des surfaces réchauffées d'autre part, donc elles ont pris la même allure pour les trois stations étudiées.

En faisant une comparaison entre les trois stations étudiées, concernant la température de l'air, nous pourrions faire éclaircir l'effet d'albédo sur l'espace canyon comparé aux deux autres espaces qui sont le semi-ouvert (dièdre) et l'ouvert (dégagé). Par cette comparaison, nous faisons rentrer aussi les données du service de la météo comme une référence. Nous avons choisi uniquement les valeurs d'albédo de 0.2 et 1 à titre indicatif pour pouvoir apercevoir clairement les différences.

Les résultats obtenus sont présentés par la Fig 5-42.



**Fig 5-42:** Graphe de la température de l'air pour une journée d'été pour les trois stations, ainsi que la station météo pour la valeur d'albédo de 0.2 et de 1.

**Source:** Auteur.

Nous pourrions à première vue dire que les températures simulées des trois stations et celle mesurée par la station météo présentent des différences perceptibles, pour les deux valeurs d'albédo. Par exemple entre les alentours de 6.00h du matin et 12.00h, les températures de la station météo sont nettement plus élevées que celles simulées avec un écart qui va de 5.93°C à 9°C pour l'albédo 0.2 et un écart encore plus important pour l'albédo de 1, qui va de 6.43°C à 11.8°C, et sont nettement plus basses pour le reste de la journée, c'est-à-dire, entre 14.00h et 06.00h du matin, avec une différence qui arrive jusqu'à 9.79°C à 18.00h pour l'albédo 0.2 et qui peut arriver jusqu'à 6.96°C pour la même heure avec l'albédo 1. Cet écart peut être expliqué par

l'existence d'un îlot de chaleur entre le centre urbain présenté par le site du Coudiat et la banlieue reflétée par la station météo située à la périphérie de la ville. Ce phénomène apparaît à partir de l'après midi, et s'étale pendant toute la nuit jusqu'au lever du soleil, avec un écart de  $9.49^{\circ}\text{C}$  entre le matériau absorbant d'une valeur d'albédo de 0.2 et la station météo à 18.00h, et un écart de  $6.96^{\circ}\text{C}$  entre le matériau le plus réfléchissant d'une valeur d'albédo de 1 et la station météo pour la même heure de la journée, en enregistrant une différence de  $2.83^{\circ}\text{C}$  entre le matériau absorbant qui est plus chaud et le matériau réfléchissant qui est plus frais pour la période de l'après midi. A partir de 19.00h, Les écart par rapport à la station météo demeurent jusqu'à 6.00h du matin, en enregistrant une différence de  $5.21^{\circ}\text{C}$  à 24.00h pour le matériau réfléchissant (albédo =1) contre une différence d'uniquement  $4.17^{\circ}\text{C}$  pour le matériau absorbant (albédo=0.2), en remarquant une inversion dans les température de l'air pour cette période c'est-à-dire que les matériaux de basse réflectivité présentent des températures plus basse que les autres, ce qui peut être expliqué par le fait que ces matériaux absorbants commencent à se refroidir d'une manière plus prononcée que les matériaux réfléchissants après le coucher du soleil en perdant d'avantage leur chaleur importante stockée pendant le jour.

Alors que la différence vis-à-vis de la station météo, elle pourra être justifiée par le fait que la campagne lâche la chaleur emmagasinée plus rapidement que la ville, et engendre un refroidissement plus prononcé en perdant plus vite l'énergie stockée sous forme de rayonnement infrarouge. Cependant, la ville qui est couverte par une enveloppe minérale, dont les chaussées sont en asphalte avec un très faibles albédo qui varie d'un cas à un autre et les façades des immeubles dont leur albédo varie d'un cas à un autre semble , en plus de l'importante durée d'ensoleillement a laquelle ses surface sont exposées, stocker une quantité importante de chaleur, et sa restitution pendant la nuit prend plus de temps, ce qui influe sur la température des surfaces et de l'air, avec des valeurs plus importantes que la campagne.

En revanche, après le lever du jour, vers les coups du 5.30h du matin, la campagne a tendance à se réchauffer plus rapidement, et de ce fait l'îlot de chaleur

urbain est moins prononcé en milieu de journée, et à ce moment là, la ville peut même être plus fraîche que la campagne<sup>14</sup>, comme indiqué par l'ensembles des courbes.

D'après les mêmes graphes, et concernant la comparaison des températures de l'air entres les trois stations, il est bien clair que l'ensemble des valeurs d'albédo donnent la même fluctuations des graphes. Cela veut dire que les températures obtenues par l'ensemble des valeurs d'albédo pour les trois stations sont presque semblables.

Nous remarquons que la station C qui représente l'espace le plus ouvert, enregistre des températures légèrement plus importantes que les deux autres, puis vient la station A, qui représente un espace plus ou moins ouvert, qui est l'espace dièdre avec des température moins élevé que la première et plus élevée que l'espace canyon, représenté par la station B.

En peut conclure que l'espace canyon représenté ici par la station B, développe un microclimat spécifique, et offre plus de fraîcheur que les deux autres espaces dièdre et dégagé, en enregistrant une différence de 1.7°C, qui à été mentionné par F.Boucheriba<sup>15</sup>, ayant effectué une étude sur la géométrie des canyons urbains et leur rôle sur le microclimat et sur le confort extérieur, en effectuant une campagne de mesure sur ce même axe étudié, qui est orienté NE-SO, du site du Coudiat.

### **5-5-3-3-La température moyenne radiante (MRT):**

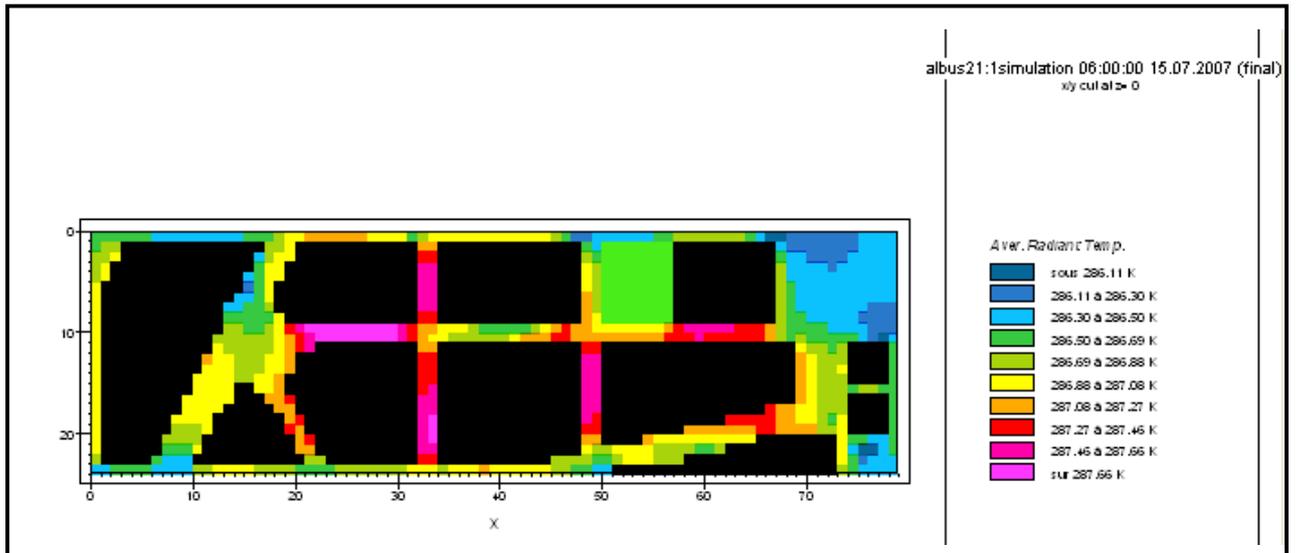
La température moyenne radiante qu'on a déjà définie clairement dans le chapitre3, présente la variable clé dans l'évaluation de la sensation thermique des espaces extérieurs.

Les résultats obtenus dans notre cas d'études sont récapitulés pour quelques heures de la journée, par exemple à 06.00h du matin, à 14.00h et à 20.00h, pour une valeur d'albédo égale à 0.2, dans ce qui suit Fig 5-43 à 5-45:

---

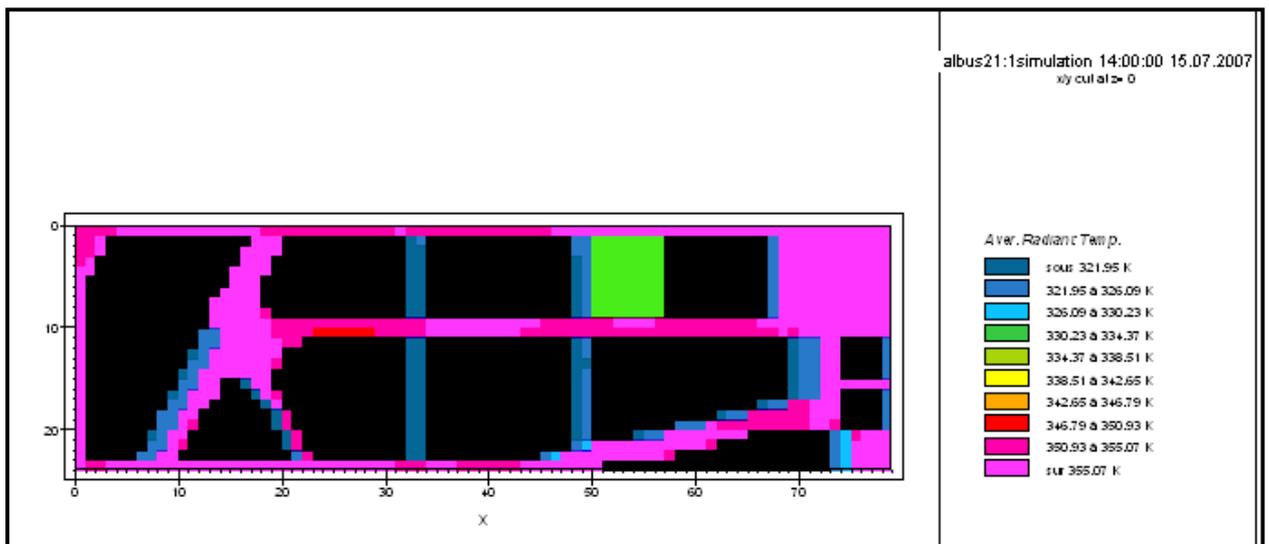
<sup>14</sup> RINGENBACH.Nicolas, « Bilan radiatif et flux de chaleur en climatologie urbaine : mesures, modélisation et validation sur Strasbourg » thèse de doctorat, université Louis Pasteur Strasbourg, 2004.

<sup>15</sup> BOUCHERIBA.Fouzia, « Impact de la géométrie des canyons urbains sur le confort thermique extérieur : cas du coudiat de Constantine » mémoire de magister, option bioclimatique, université Mentouri Constantine, 2006.



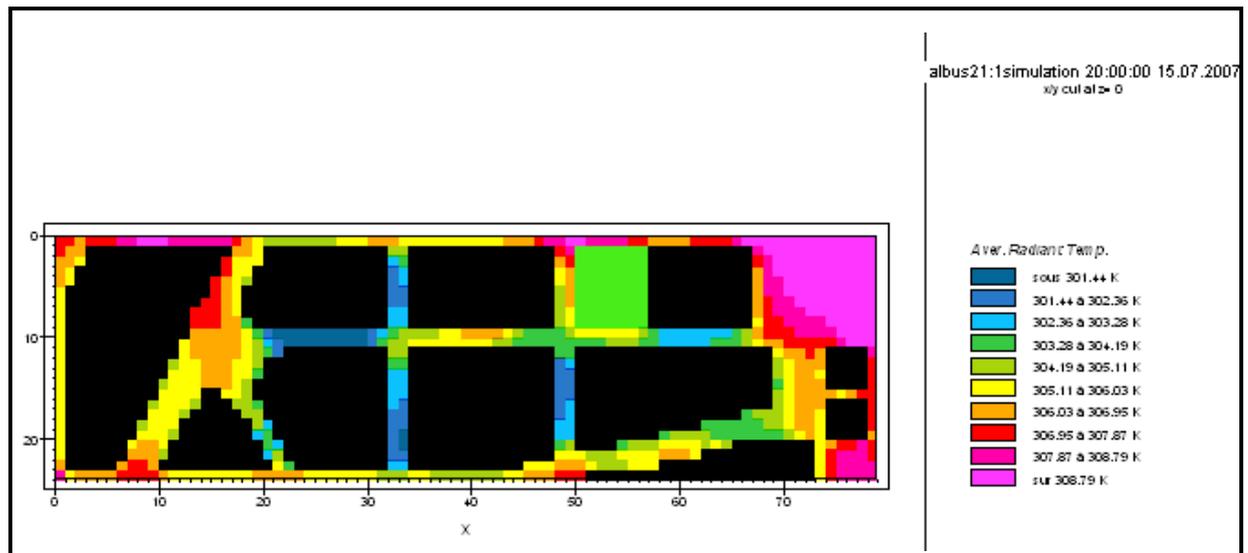
**Fig 5-43 :** Température moyenne radiante pour un albédo de 0.2 à 06.00h du matin.

**Source:** Léonardo 3.0



**Fig 5-44 :** Température moyenne radiante pour un albédo de 0.2 à 14.00h.

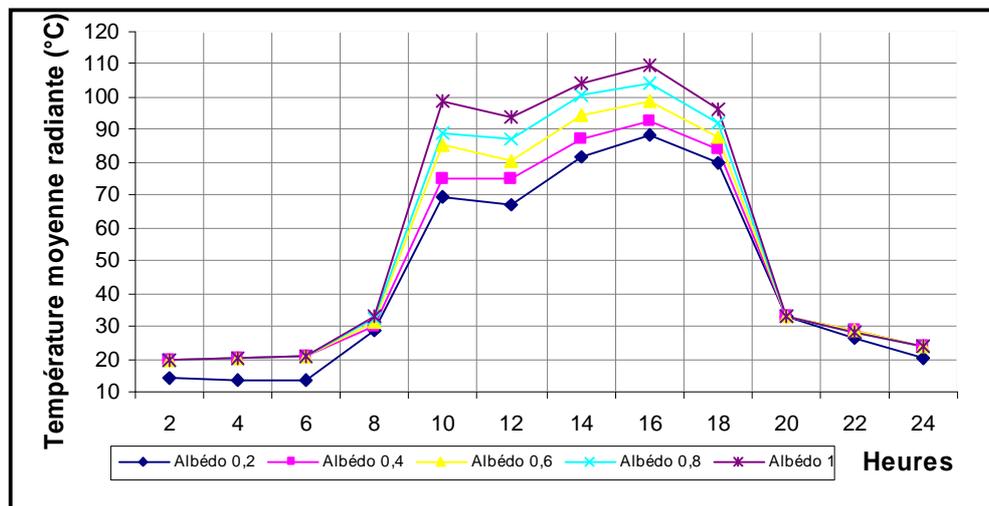
**Source:** Léonardo 3.0



**Fig 5-45 :** Température moyenne radiante pour un albédo de 0.2 à 20.00h.  
**Source:** Léonardo 3.0

Quelques autres figures représentant les variations de la température moyenne radiante déduits par Envi-met seront présentées dans l'annexe III.

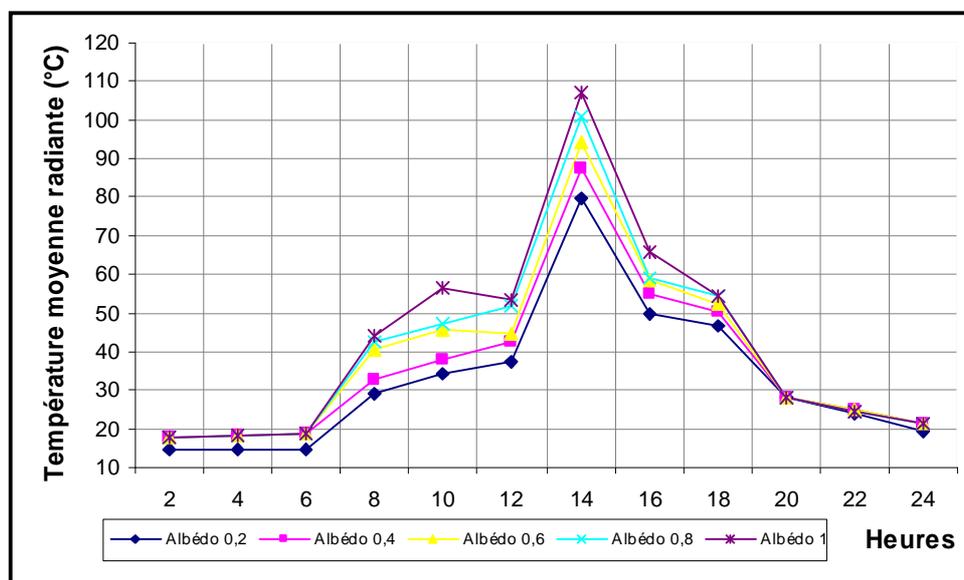
Ces résultats ont permis d'établir les graphes propres à la température moyenne radiante pour les trois stations, et qui sont représentées dans ce qui suit (Fig 5-46, 5-47 et 5-48).



**Fig 5-46:** Graphe des résultats bi-horaires de la température moyenne radiante pour une journée d'été. Station A.  
**Source:** Auteur.

La première chose à constaté ici, c'est que la température moyenne radiante est proportionnelle à la valeur d'albédo, c'est-à-dire qu'elle augmente d'avantage avec l'augmentation de la valeur d'albédo, ce qui explique que les réflexions dues au rayonnement solaire s'accroissent avec la couleur claire des matériaux qui est indiquée par la valeur très élevée de l'albédo, qui est pour son maximum dans notre cas égale à 1, ce qui représente un matériau complètement réfléchissant, en enregistrant une valeur de 109.40°C à 16.00h contre une valeur de 88.13°C à la même heure pour une valeur d'albédo de 0.2, ce qui résulte une différence de 21.27°C.

La station B qui représente un espace canyon, enregistre des températures moyennes radiantes très rapprochées de celles de la station A, elles sont représentées par le graphe suivant (Fig 5-47):

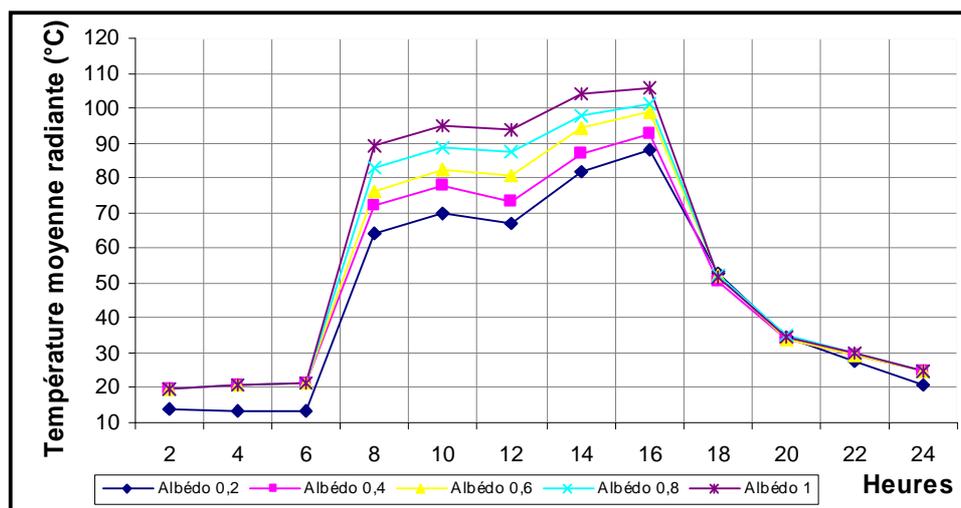


**Fig 5-47:** Graphe des résultats bi-horaires de la température moyenne radiante pour une journée d'été. Station B.

**Source:** Auteur.

Le pic des températures moyennes radiantes pour l'espace canyon enregistre des valeurs moindres que l'espace dièdre, avec un maximum pour la valeur d'albédo de 1 à 14.00h qui est de 107.14°C, et une valeur de 79.85°C pour un albédo de 0.2 à la même heure, ce qui résulte une différence de 27.29°C.

Pour ce qui est de la station C, elle présente des résultats semblables, ces résultats sont synthétisés par le graphe qui suit (Fig 5-48):



**Fig 5-48:** Graphique des résultats bi-horaires de la température moyenne radiante pour une journée d'été. Station C.  
**Source:** Auteur.

La station C marque des fluctuations semblables aux deux précédentes, la valeur maximale enregistrée est de 106.03°C à 16.00h pour l'albédo de 1 contre une valeur de 88.13°C pour la même heure, donc une différence de 17.9°C.

Nous remarquons que pour l'ensemble des stations, les résultats sont rapprochées, et c'est toujours la relation directement proportionnelle entre la valeur de la température moyenne radiante et celle de l'albédo de 06.00h du matin jusqu'à 19.00h. Nous remarquons que les courbes des différentes valeurs d'albédo se rapprochent beaucoup au début et vers la fin de la journée, c'est-à-dire entre 20.00h et 06.00h du matin à l'exception de la valeur d'albédo de 0.2 qui est moindre de presque 7°C, ce qui est expliqué par l'absence du rayonnement solaire, car le bilan radiatif reste négatif d'une demi heure à une heure après le lever du soleil et puis redevient négatif environ une heure après son coucher<sup>16</sup>.

Nos résultats coïncident avec d'autres études qui signalent que les températures moyennes radiantées les plus hautes sont dans les zones avec un haut albédo, comparé à des surfaces réfléchissantes moindres. Ce qui a été démontré par Y.Shiraishi<sup>17</sup> et al., en 2005.

<sup>16</sup> GUYOT. Gérard, « Climatologie de l'environnement » cours et exercices corrigés, éd. Dunod, 1999.

<sup>17</sup> SHIRAISHI Y et al., (2005) in CHATZIDIMITRIOU. Angeliki, CHRISOMALLIDOU. Niobe, YANNAS. Simos, "Ground surface materials and microclimates in urban open spaces" PLEA, The 23<sup>rd</sup> conference, Geneva, Switzerland, 2006.

Et concernant le confort thermique extérieur, il y a eu recours au programme "PET\_neu" développé par P.Höppe, où il a arrêté les intervalles du confort selon huit échelles de très froid à très chaud, et dont les paramètres d'entrée (input) sont obtenus par diverses voies. Certains sont déduits à partir de la simulation, tel que l'humidité spécifique et la température de l'air. L'humidité relative est obtenue à partir du digramme psychrométrique, (Le diagramme psychrométrique sera présenté dans l'annexe IV). Et enfin le paramètre de la pression atmosphérique obtenue à partir de l'équation suivante:

$$VPa = RH \times VPmax \dots\dots\dots EQU 5-1$$

avec:  $VPmax = 6.11 \times 10^{[7.45 \times Ta / (234.5 + Ta)]}$

Où: VPa : la pression atmosphérique.

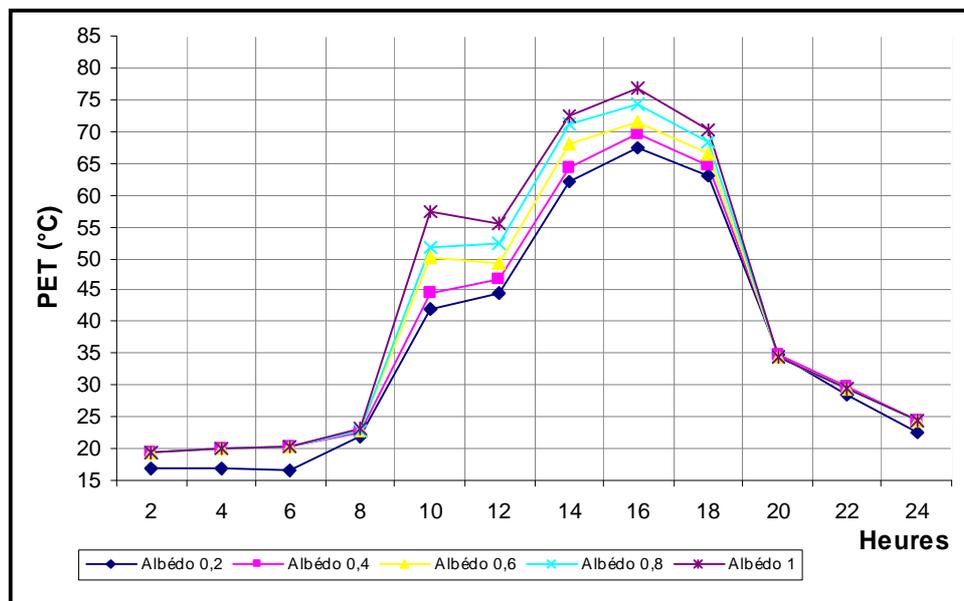
RH : l'humidité relative.

Ta : la température de l'air.

Tous ces paramètres sont nécessaires pour faire fonctionner le programme PET\_neu, qui fera ressortir plusieurs autres paramètres (output) entre autre la PET.

#### **5-5-3-4-La température physiologique équivalente (PET):**

Les résultats obtenus pour les trois stations sont présentées dans ce qui suit (Fig 5-49, 5-50 et 5-51) :

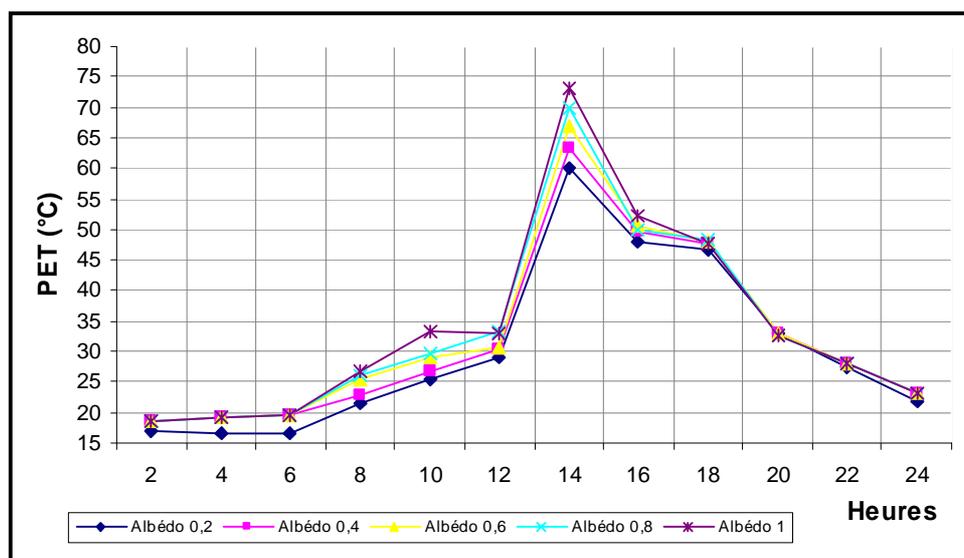


**Fig 5-49:** Graphe de la température physiologique équivalente (PET) pour une journée d'été Station A.

**Source:** Auteur

On remarque d'après la Fig 5-49 que la variation de la PET est directement proportionnelle à l'augmentation de la réflectivité. Pour l'espace dièdre (station A), une valeur maximale de la PET est enregistrée à 16.00h de l'ordre de 76.91°C pour le matériau à plus haute réflectivité (albédo = 1), contre une valeur 67.55°C pour le matériaux à faible réflectivité (albédo = 0.2), avec une différence de 9°C.

L'espace canyon désigné par la station B, présente les même allures des graphes représentant la variation des PET en fonction du temps pour les différentes valeurs d'albédo représenté par la Fig 5-50.

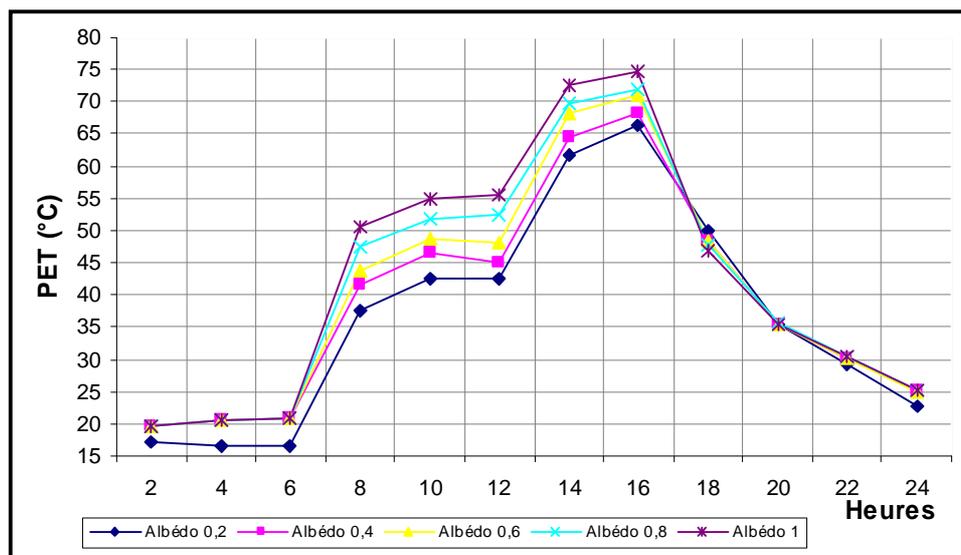


**Fig 5-50:** Graphe de la température physiologique équivalente (PET) pour une journée d'été. Station B.

**Source:** Auteur

Nous remarquons que pour une valeur maximale de l'ordre de 73.08°C d'un albédo de 1 à 14.00h, coïncide une valeur de l'ordre de 59.99°C d'un albédo de 0.2 à la même heure, ce qui fera une différence de l'ordre de 13.09°C.

La Fig 5-51 présente une variation de la PET identique à celle constaté par les deux stations précédentes, nous enregistrons à titre indicatif une valeur maximale de 74.84°C pour un albédo de 1 à 16.00h contre une valeur maximale de 66.51°C pour un albédo de 0.2 pour la même heure, donc une différence de 8.33°C.



**Fig 5-51:** Graphe de la température physiologique équivalente (PET) pour une journée d'été. Station C.

**Source:** Auteur

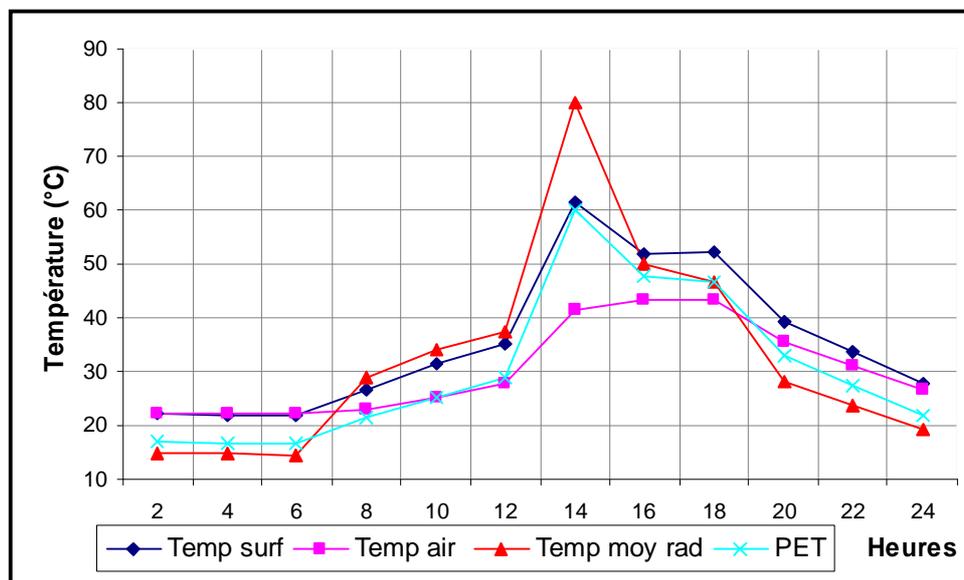
Concernant la température physiologique équivalente (PET), les trois stations marquent la même allure pour les différentes valeurs d'albédo, ce paramètre (PET) marque des fluctuations identiques à celles de la température moyenne radiante puisque il est en fonction de celle-ci. On remarque que la PET augmente avec l'augmentation de la valeur d'albédo.

Donc le confort supposé être atteint par la couverture minérale colorée en claire, n'est réellement pas atteint puisque l'ensemble des réflexions émises par les différentes surfaces environnantes quelles soient des façades des murs ou des chaussées ont contribué à une sensation d'inconfort senti par les piétons, qui est estimée par la valeur augmentée de la PET, leur contribution vis à vis du confort visuel n'est pas négligeable non plus du fait de la réduction de l'éblouissement dû au ciel, aux façades des immeubles environnants et au type de revêtement du sol. Les problèmes des surchauffes de même que l'éblouissement résultant de la clarté des matériaux employés pour les surfaces sont les principales raisons d'inconfort en été<sup>18</sup>.

<sup>18</sup> " *Concevoir des espaces extérieurs en environnement urbain: Une approche bioclimatique*"  
RUROS – Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces-, 2002, p46.

Cependant , le fait que les surfaces colorées en clair peuvent augmenter la quantité de radiation atteignant un corps exposé, soulèvent plusieurs questions à propos de leurs convenance pour leur utilisation dans les espaces extérieurs urbains, surtout concernant les conditions de confort des piétons<sup>19</sup>.

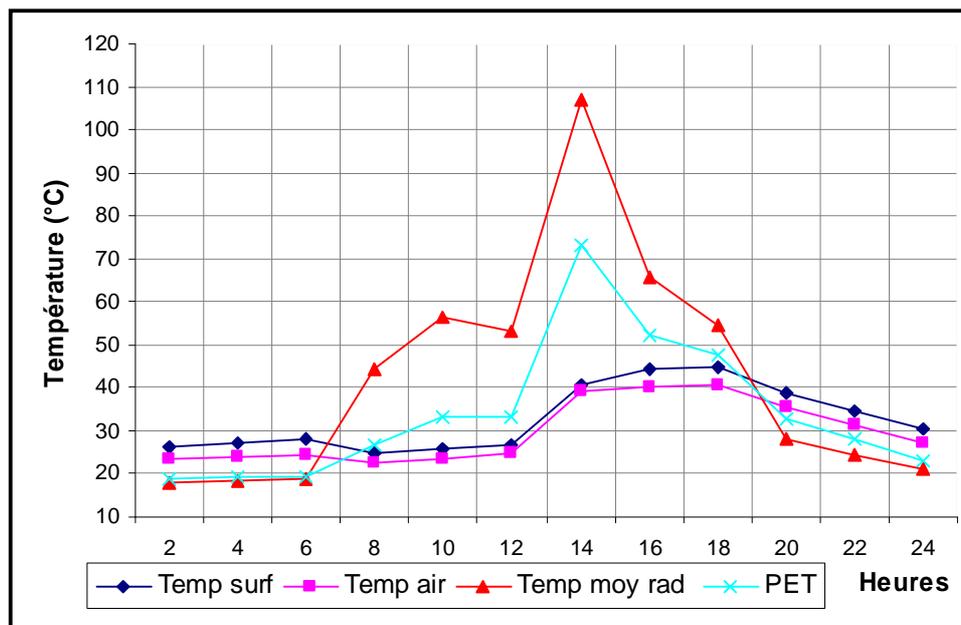
Avant de conclure ce chapitre et récapituler les résultats précités, nous synthétisant cette analyse par une comparaison entre les différents paramètres microclimatiques et celui du confort thermique extérieur. Nous obtenons les graphes présentés par les Fig 5-52 et 5-53 représentés ci-dessous, qui sont spécifiques à l'espace canyon désigné par la station B, uniquement pour les valeur d'albédo de 0.2 et 1 pour mieux expliquer les différences.



**Fig 5-52:** Comparaison entre les paramètres du microclimat et celui du confort thermique extérieur pour une journée d'été pour la valeur d'albédo de 0.2.

**Source:** Auteur

<sup>19</sup> CHATZIDIMITRIOU.Angeliki, CHRISOMALLIDOU.Niobe, YANNAS.Simos, "Ground surface materials and microclimates in urban open spaces" PLEA, The 23<sup>rd</sup> conference, Geneva, Switzerland, 2006.



**Fig 5-53:** Comparaison entre les paramètres du microclimat et celui du confort thermique extérieur pour une journée d'été pour la valeur d'albédo de 1.

**Source:** Auteur

D'après cette comparaison, nous remarquons que la température physiologique équivalente (PET) suit l'évolution de la température moyenne radiante qui est en relation directe avec la valeur d'albédo. Pour une valeur minimale égale à 0.2 de ce dernier (albédo), la température moyenne radiante maximale est d'une valeur de 79.85 à 14.00h contre une valeur maximale de 107.14°C pour un albédo égal à 1. Ce qui mène à une valeur maximale de PET pour l'albédo de 0.2 égale à 59.99°C contre une valeur maximale de 73.08°C pour un albédo de 1. Donc l'augmentation de la réflectivité des matériaux conduit à l'augmentation de la température moyenne radiante et par conséquent de la température physiologique équivalente (PET), ce qui mène à conclure que la haute réflectivité et les surfaces réfléchissantes des parois des murs de façades et du sol créent une sensation d'inconfort au niveau de la rue sentie par les piétons avec une valeur élevée de la PET.

Cependant, le microclimat évolue d'une manière inverse, d'après les graphes suscités Fig 5-52 et 5-53, la température de surface maximale de la valeur minimale de l'albédo qui est 0.2 est de 61.36°C contre une valeur maximale de 40.80°C pour un albédo de 1, qui est suivi par la température de l'air

**5-6: Conclusion:**

Ce chapitre, qui présente la partie la plus sensible et la plus délicate de notre recherche, a traité l'influence de la réflectivité des matériaux sur le microclimat et sur le confort thermique extérieur, par l'utilisation de simulation numérique en exploitant le logiciel Envi-met v3 et le programme PET\_neu.

Le but de ce chapitre est d'atteindre aux objectifs visés par la recherche ainsi que la révision des hypothèses tracées. Les résultats paraissent parfois très logiques et conformes à nos hypothèses préalablement établies, mais parfois inattendus ce qui nécessite une explication et une interprétation spécifique propre au cas étudié.

Dans notre cas, il a été démontré clairement que les matériaux réfléchissants, c'est-à-dire ayant un haut albédo, génèrent un microclimat spécifique, en gardant les surfaces urbaines (façades et sol) fraîches, ce qui se répercute sur la température de l'air. Concernant la température moyenne radiante, les résultats obtenus expliquent que la haute réflectivité engendre l'augmentation de la température moyenne radiante.

Donc, la simulation établie par ce chapitre a pu confirmer deux de nos hypothèses qui touchent le microclimat urbain, où l'augmentation de la réflectivité des matériaux fait atténuer les température de surfaces et de l'air, dans l'espace extérieur en général et dans la canyon urbain en particulier surtout quand il s'agit d'une faible vitesse de vent. Nos résultats pour ce volet d'étude sont conformes à plusieurs études tel que Santamouris.M(2004-2006), Hashem Akbari et l'ensemble de "heat island group"(1997-1999-2002), Chatzidimitriou.A et al.(2006), Prado .R.T.A et al.,(2005), Priyadarsini.R (2005), qui prouvent par des études expérimentales et des simulations numériques, que la couleur claire des matériaux de construction utilisés dans les revêtement des façades, des chaussées et des toitures , ainsi que leur surface lisse affectent la température de ces surface de manière très concrète ce qui se répercute sur la température de l'air.

La simulation a pu aussi infirmer une hypothèse qui s'agit du confort thermique extérieur, car il s'est avéré d'après les résultats obtenu que le confort se dégrade en augmentant la valeur de l'albédo et pas l'inverse, ainsi , l'augmentation de la réflectivité des matériaux par le choix et l'utilisation des couleurs claires et des

façades lisses et réfléchissantes augmentent les radiations solaires et les réflexions reçues par les piétons et donc avoir une sensation d'inconfort et de mal à l'aise, ce qui a été renforcé par plusieurs études récentes à l'échelle internationale menées par des chercheurs tel que M.Nikolopoulou en Grèce en 2004, et A.Chatzidimitriou et al en Grèce, en 2006.

**CONCLUSION GENERALE:**

*Conclusion générale.....et  
Recommandations.*



## **1- Introduction:**

L'architecture et l'urbanisme bioclimatiques visent à concevoir des espaces urbains agréables à vivre, et surtout offrir des ambiances confortables notamment du point de vue thermique. Les dernières décennies ont marqué des hausses de températures dans le milieu urbain qui peuvent aboutir d'après T.R.Oke (1977) à plus que 10°C par rapport au milieu rural, c'est ce qui engendre ce qu'on appelle le phénomène d'îlot de chaleur urbain.

De nos jours, La qualité des espaces publics urbains présente un intérêt majeur, et ce qu'on appelle la conception environnementale consiste à créer des zones urbaines offrant des espaces extérieurs confortables, en contribuant à une qualité de vie meilleure, par l'amélioration de la qualité de ces espaces et l'accentuation de la sociabilité et le déroulement de la vie citadine, contrairement à ce que connaît les espaces extérieurs irréflechis qui font accroître l'isolement et l'exclusion sociale.

Plusieurs recherches récentes à l'échelle internationale, visent à développer l'espace extérieur urbain en ayant soin de créer le confort et le bien être visé, par la prise en considération des paramètres microclimatiques qui jouent un rôle primordiale dans la détermination de la qualité de ces espaces, et dont plusieurs critères tel que la géométrie urbaine, la présence ou l'absence de la végétation, les plans d'eau, la nature des matériaux de construction notamment du point de vue réflectivité (albédo) et beaucoup d'autres facteurs interviennent pour dicter et caractériser la nature de ces espaces.

Le facteur "albédo" qui est notre sujet d'étude et son influence sur le microclimat urbain et sur le confort thermique extérieur au niveau d'une rue "canyon" a fait l'objet de notre recherche qui s'est établi dans le site du Coudiat de la ville de Constantine, région des haut plateaux, qui reflète un climat semi aride.

Cette recherche a eu lieu pour étudier le phénomène de réflectivité connu sous le nom d'albédo, qui désigne le pouvoir réfléchif des matériaux, c'est-à-dire le rapport entre le rayonnement solaire réfléchi par rapport au rayonnement solaire incident et qui avait pour objectif d'évaluer l'impact du choix des matériaux de construction et en particulier les revêtements des façades et des chaussées sur les paramètres

microclimatiques tel que la température de surface, la température de l'air et la température moyenne radiante et par conséquent sur le confort thermique des piétons en évaluant la température physiologique équivalente pendant la période estivale.

La recherche s'est établie en deux parties principales, la première théorique en faisant éclaircir les concepts et paramètres en relation avec notre sujet, puis d'élaborer une littérature review pour synthétiser une multitude de recherches récentes menée dans le sens de notre objectif. La deuxième consiste en une simulation numérique en utilisant deux programmes qui sont le logiciel "Eni-met v3" et le programme "PET\_neu".

L'objectif donc était d'évaluer l'impact de l'albédo sur le microclimat et sur le confort thermique extérieur.

Notre étude qui a pris comme cas d'étude des espaces de géométrie différente, l'espace dièdre et l'espace dégagé en plus de l'espace canyon, a fait sortir que l'albédo joue un rôle positif sur le microclimat, c'est à dire que l'augmentation de la valeur d'albédo qui représente la réflectivité des matériaux en attribuant des couleurs claires réfléchissantes, influence sur le microclimat en enregistrant des températures basses (fraîches) des surfaces, ainsi que les températures de l'air, qui sont aussi modérées.

Nous avons enregistré pour le cas du canyon urbain, des différences de température qui sont surtout marquées pendant la journée, avec un écart d'une moyenne de 12.29°C pour les température de surface, et un écart maximum de 2.7°C pour la température de l'air, entre le matériau à haut albédo (réflectif) par rapport au matériau à bas albédo (absorbant), en déduisant une relation inversement proportionnelle entre les deux facteurs, c'est-à-dire que plus la réflectivité des matériaux augmente (valeur maximale de 1) et plus la température de surface et de l'air diminuent et vice versa.

Concernant le troisième paramètre microclimatique qui est la température moyenne radiante, ce paramètre joue un rôle important dans le bilan thermique pendant les journées chaudes et ensoleillées d'été, vu qu'il reflète la somme des radiations et réflexions réémises par toutes les surfaces environnantes et dont les principales sont celles des bâtiments et du sol. La variation de ce paramètre marque une relation avec la réflectivité du matériau différente que celle des deux paramètres

précédents. La température moyenne radiante augmente en fonction de l'augmentation de la valeur d'albédo, à titre d'exemple, pendant la journée, et à l'heure où les radiations solaires sont les plus intenses, nous enregistrons un écart de 17.29°C entre un matériau à haut albédo d'une valeur de 1 par rapport à un matériau à faible albédo de 0.2, dans l'espace canyon, où le premier marque une valeur de TMR plus importante que le second.

Le deuxième volet de la simulation était d'atteindre le deuxième objectif qui est l'évaluation de l'effet de la réflectivité des matériaux sur le confort thermique extérieur, cette sensation qui demeure toujours difficile à estimer et peu abordé, et qui se calcule généralement à l'aide d'indices. Nous avons procédé par le programme "PET\_neu" pour évaluer la sensation de confort des piétons dans ces espaces extérieurs notamment la rue "canyon".

IL a été déduit que la PET prend la même allure que la température moyenne radiante, nous avons enregistré des écarts qui arrivent jusqu'à 13.09°C entre le matériau à haut albédo et celui à bas albédo, où le premier marque des valeurs d'albédo plus importantes que le deuxième.

Les différents résultats rassemblés de la présente recherche, laissent penser à un effet positif de la réflectivité élevée, qui est la modération du microclimat en faisant rafraîchir les températures des surfaces et de l'air d'une part, et à un effet négatif qui est la sensation d'inconfort au niveau des espaces extérieurs par l'augmentation des radiations réémises par les surfaces réfléchissantes entourant le piéton d'autre part.

Donc le choix judicieux des matériaux qu'on pourra qualifier de réfléchifs, avec une couleur claire réfléchissante et une texture lisse pourra participer à l'amélioration du microclimat dans les espaces extérieurs urbains notamment la rue, en gardant les surfaces urbaines fraîches, ce qui pourra réaliser le confort à l'intérieur des habitations, par contre à l'extérieur, ces matériaux participent à la dégradation du degré de confort par l'augmentation des radiations et réflexions reçues par les piétons, ce qui génère une ambiance thermique extérieure désagréable.

## **2-Recommandations:**

Afin d'encourager la conception environnementale qui vise à offrir des espaces extérieurs agréables, plusieurs paramètres entrent en jeu pour améliorer ces espaces et pouvoir leur attribuer la fonction de rencontre et de sociabilité et la qualité de confortable.

La conclusion de notre recherche nous incite à trouver des recommandations spécifiques, afin de bénéficier des qualités des matériaux à haut albédo, qui sont représentés par des surfaces claires réfléchissantes, et au même temps éviter leurs effets néfastes sur le confort thermique et l'ambiance extérieure.

Nous recommandons pour notre cas d'étude, l'avantage du facteur de l'ombrage par l'implantation d'une voûte végétale de part et d'autres de la rue, qui pourra protéger le piéton des nombreuses réflexions et radiations lors de son parcours, et qui pourra aussi jouer le rôle de fixateur de polluants, contre la pollution engendrée par les voitures, vu que le trafic routier au niveau du site est très important comme on a vu précédemment. La végétation sera de préférence à feuilles caduques pour profiter du soleil et de la lumière en hiver.

Pour les espaces extérieurs, nous recommandons d'une façon générale, l'accentuation de l'ombrage par des écrans végétaux et des pergolas, ainsi que l'implantation des plans d'eau.

## **3-Axes futurs de recherche:**

Le microclimat, la biométéorologie, l'architecture bioclimatique, la conception architecturale et environnementale qui prennent en considération les paramètres climatiques, sont tous des sujets d'actualité qui ouvrent plusieurs voies de recherches et des possibilités d'interventions sur les espaces extérieurs existant ou à projeter.

Afin de mieux maîtriser le microclimat et l'ambiance de ces espaces ainsi que les espaces intérieurs et offrir bien être et satisfaction aux usagers, et pouvoir intervenir positivement et efficacement sur les paramètres, nombreux qu'ils soient, naturels ou artificiels, qui influencent sur le microclimat et sur le confort thermique extérieur, le champs est ouvert sur plusieurs sujets et thèmes qui peuvent guider les chercheurs à des objectifs bien précis, entre autre:

- 1- L'étude de l'influence de la réflectivité des surfaces des murs de façades et du sol sur le microclimat et sur le confort thermique intérieur.
- 2- L'étude de l'impact de l'albédo au niveau du toit sur le confort thermique intérieur et sur la consommation énergétique.
- 3- Test de l'effet de l'albédo sur le microclimat urbain et sur le confort thermique extérieur dans des zones de différentes latitudes.
- 4- La possibilité de réaliser une carte d'albédo qui couvre tout le territoire national et qui donne la valeur adéquate à chaque région du pays.
- 5- Etude de l'effet de l'albédo en combinaison avec d'autres paramètres influençant le microclimat et le confort thermique extérieur tel que la végétation (espace vert, écran végétal, pergolas, toiture végétalisée), les plan d'eau (toit bassin, jet d'eau, cascade, fontaine, étang...ect), pas spécifiquement dans la rue " canyon", mais dans les espaces extérieurs d'une façon générale, en choisissant des espaces de géométrie différente, en faisant inclure le facteur SVF, en utilisant le logiciel Envi-met ou autres logiciels tel que Radtherm, RayMan, Solene et autres.

Tous ces points ouvrent une brèche à de futurs projets et constituent de nouveaux axes de recherches qui enrichiront et éclairciront le domaine de la climatologie urbaine, qui demeure un domaine récent et avec peu de recommandations surtout dans notre pays, qui présente une richesse dans les potentialités naturelle, notamment l'énergie solaire et aussi parce qu'il possède une variété concernant la nature du climat, en présentant une multitude de zone climatique bien distinctes.

## *Bibliographie.*

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

### OUVRAGES :

- 1- CAPDEROU.M, " *Atlas solaire de l'Algérie* ", tome 2: aspect énergétique, OPU Alger, 1985,
- 2- DE SABLET. Michel, « *Des espaces urbains agréables à vivre : places, rues, squares et jardins* » éd.Moniteur, 1991.
- 3- DESSUS.Benjamin, PHARABOD.François, « *L'énergie solaire* », éd. Que sais-je? 2002.
- 4- EVANS.Martin, « *Housing, Climate and Comfort* », Halsted press, 1980.
- 5- GANDEMER. Jacques et GUYOT. Alain, « *La protection contre le vent* », éd.CSTB, Paris, 1981.
- 6- GIVONI. B, « *L'homme, l'architecture et le climat* », éd. Moniteur, 1978.
- 7- GIVONI. Baruch, « *Passive and low energy cooling of buildings* », éd. John Wiley & sons, INC. USA, 1994.
- 8- GIVONI. Baruch, « *Climate considerations in building and urban design* » éd. John Wiley & sons, INC, 1998.
- 9- GUYOT. Gérard, « *Climatologie de l'environnement* » cours et exercices corrigés, éd. Dunod, 1999.
- 10- HUFTY. André, « *Introduction à la climatologie* », éd. Les presses de l'université Laval, 2001.
- 11- IZARD. Jean Louis, GUYOT. Alain, « *Archi, bio* » éd. Parenthèses, Paris, 1979.
- 12- KOENIGSBERGER.O.T, INGERSOLL.T.G, MAYHEW.Alan, SZOKOLAY.S.V, « *Manual of tropical housing and building* », Part 1. Climatic design. éd. Longman, 1973.
- 13- KREITH.F, « *Transmission de la chaleur et thermodynamique* », Masson et C<sup>ie</sup> éditions, 1967.
- 14- LAVIGNE.Pierre, BREJON.Paul, FERNANDEZ.Pierre, « *Architecture climatique. une contribution au développement durable* », tome 1: Bases physiques. éd. Edisud, 1994.
- 15- MAZOUZ.Said, « *Éléments de conception architecturale* », Office des Publications Universitaires, 2004.
- 16- MAZRIA. Edward, « *Le guide de l'énergie solaire passive* » éd. Moniteur, 1979.
- 17- Ministère de l'habitat, « *Recommandations architecturales* » éd. ENAG, 1993.
- 18- OKE.T.R, « *Boundary layer climates* », Methuen and co, 1978.

- 19- OLGYAY and OLGYAY**, « *Solar control and shading devices* », éd.Princeton university press, 1957.
- 20- OLGYAY. Victor**, « *Design with climate* », éd.Princeton university press, 1962.
- 21- SOL.A.I.R, architectes, ingénieurs**, « *Conception thermique de l'habitat. Guide pour la région Provence-Alpes-Côtes d'Azur* », agence française pour la maîtrise de l'énergie, éd.Edisud, 1988.
- 22- SZOKOLAY.S.V**, « *Environmental science handbook for architects and builders* », the construction press, 1980.
- 23- TABEAUD. Martine**, « *La climatologie* » éd.Armand Colin, 2000.
- 24- VAILLANT. J.R** , « *Utilisations et promesses de l'énergie solaire*»,éd.Eyrolles,1978.

### **PUBLICATIONS ET ARTICLES :**

- 1-AIDA.M**, "Urban albedo as a function of the urban structure-a model experiment (partI)", Boundary-Layer Meteor., 23, 4.5-413, 1982.
- 2- AKBARI.Hashem, BRETZ.Sarah, KURN.Dan.M, HANFORD.Jamesm**, "Peak power and cooling energy savings of high-albedo roofs", energy and buildings 25(1997) 117-126.
- 3- AKBARI.H, KURN.D.M, BRETZ.S.E, HANFORD.J.W**, "Peak power and cooling energy savings of shade trees", Energy and buildings 25 (1997) 139-148.
- 4-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, Volume 70, issue 3, 2001, p295-310.
- 5- ALEXANDRI.Eleftheria and JONES.Phil**, "Ponds, green roofs, pergolas and high albedo materials; which cooling technique for urban spaces? ", PLEA, The 23<sup>rd</sup> conference, Geneva, Switzerland, 2006.
- 6- ALI-TOUDERT.Fazia, MAYER.Helmut**, "Planning-oriented Assessment of Street Thermal Comfort in Arid Regions", PLEA 2004, Eindhoven, The Netherlands, The 21<sup>st</sup> Conference, 19-22 september 2004, p 1 of 6.
- 7- ALI-TOUDERT.Fazia, MAYER.Helmut**, "Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate", Building and Environment 14 (2006) 94-108.
- 8- ALI-TOUDERT.Fazia, MAYER.Helmut**, "Effects of asymmetry, galleries, overhanging façades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons", Solar Energy xxx (2007) xxx-xxx.

- 9- ALI-TOUDERT.Fazia, MAYER.Helmut**, " Street Design And Thermal Comfort in Hot and Dry Climate".
- 10- ANDRADE.Henrique**, "*Microclimatic variations of thermal comfort in a Lisbon city district*", PLEA, 2004.
- 11- BESSEMOULIN.Pierre, OLIVIERI.Jean**, "*Le rayonnement solaire et sa composante ultraviolette*", La météorologie 8<sup>e</sup> série –n°31-sep2000.
- 12- BRADLEY.A.V and THORNES.J.E**, "*Modelling spatial and temporal road surface temperatures in rural and urban areas*", Draft for paper 'GIS and modeling SVF and so on', 2002.
- 13- BRETZ.Sarah, AKBARI.Hashem**, "*Long-term performance of high-albedo roof coatings*", energy and buildings 25(1997) 159-167.
- 14- BRUSE.Michael**, "*Simulating human thermal comfort and resulting usage patterns of urban open spaces with a Multi-Agent System*", Wittkopf, St.and Tan.B.K.(eds.):Proceedings of the 24<sup>th</sup> International Conference on Passive and Low Energy Architecture PLEA (2007), p.699-706.
- 15- BOURBIA.F, AWBL.H.B**, "*Building cluster and shading in urban canyon for hot dry climate. Part 1 : Air and surface measurements*", renewable energy 29(2004) 249-262.
- 16- BOURBIA.F, AWBL.H.B**, "*Building cluster and shading in urban canyon for hot dry climate. Part 2 : Shading simulations*", renewable energy 29(2004) 291-301.
- 17- BOUGIATIOTI.Flora and OIKONOMOU.Aineias**, "*The use of different instrumentation for the measurement of surface temperature of samples of materials used in the "skin" of Greek cities*", PLEA 2004, Eindhoven, The Netherlands, The 21<sup>st</sup> Conference, 19-22 september 2004, p 1 of 6.
- 18- BOZONNET.Emmanuel, BELARBI.Rafik, ALLARD.Francis**, « *Impact du micro climat urbain sur les bâtiments : Circulation d'air et évaluation du rayonnement solaire à l'échelle d'une rue* »,XXIèmes Rencontres universitaires de génie-civil, La Rochelle, 2003.
- 19- BOZONNET.E, BELARBI.R, ALLARD.F**, "*Modelling solar effects on the heat and mass transfer in a street canyon, a simplified approach*", Solar Energy 79 (2005) 10-24.
- 20- BOZONNET.Emmanuel, BELARBI.Rafik, ALLARD.Francis**, « *Modélisation couplée des transferts thermoaérauliques à l'échelle d'une rue* ».
- 21- BOZONNET.Emmanuel, BELARBI.Rafik, ALLARD.Francis**, « *Modélisation thermo-aéraulique d'une rue de type canyon soumise au phénomène couplé de l'ensoleillement et du vent* ».

- 22- BOZONNET.Emmanuel, WURTZ.Etienne, BELARBI.Rafik, ALLARD.Francis,** « *Simulation thermo-aéraulique du microclimat urbain à l'échelle d'une rue de type canyon* ».
- 23- CHATZIDIMITRIOU.Angeliki, CHRISSOMALLIDOU.Niobe, YANNAS.Simos,** "Ground surface materials and microclimates in urban open spaces" PLEA, The 23<sup>rd</sup> conference, Geneva, Switzerland, 2006.
- 24- CORONEL.J.F, ALVAREZ.S,** "Experimental work and analysis of confined urban spaces", Solar Energy vol.70.N°3. pp. 263-273, 2001.
- 25- DE SOUZA.Léa.Cristina.Lucas, DA SILVA.Antônio.Nélson.Rodrigues,** "Applying GIS tools for analysing urban thermal environment", the 23<sup>rd</sup> Conference on Passive and Low Energy Architecture, PLEA (2006), Geneva, Switzerland.
- 26- DOULOS.L, SANTAMOURIS.M and LIVADA.I,** " Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials", Associate Editor Volker Wittwer, Solar energy 77 (2004) 231-249.
- 27- DUARTE.Denise, GONCALVES.Joana, MONTEIRO.Leonardo.M,** "Urban design and thermal comfort: Assessment of open spaces in Barra Funda, a brownfield site in São Paulo, by means of site measurements and predictive simulations".
- 28- DUCHESNE.Jean, BOUVIER.Vincent, DREUER.Celine,** " L'angle solide, un outil pour la lecture du paysage", septièmes rencontres de Théo Quant, janvier 2005.
- 29- EILERT.Patrick,** "High albedo (cool) roofs. Codes and standards enhancement(case)study", Pacific gas and electric company, San Francisco, 2000.
- 30- ELIASSON.Ingegard,** "Urban geometry, surface temperature and air temperature" Energy and buildings.15-16(1990/91) 141-145.
- 31- FISHMAN.Beth, TAHA.Haider, AKBARI.Hashem,** "Meso-Scale Cooling Effects of High Albedo Surfaces: Analysis of Meteorological Data from White Sands National Monument and White Sands Missile Range", may 20, 1994.
- 32- GAITANLN, MIHALAKAKOU.G, SANTAMOURIS.M,** "On the use of bioclimatic architecture principles in order to improve thermal comfort conditions in outdoor spaces", Building and Environment 42 (2007) 317-324.
- 33- GIVONI.Baruch, NOGUCHI.Mikiko, SAARONI.Hadas, POCHTER.Oded, YAACOV.Yaron, FELLER.Noa, BECKER.Stefan,** "Outdoor comfort research issues", energy and buildings 35 (2003) 77-86.

- 34- GULYAS.Agnes, UNGER.János, MATZARAKIS.Adreas**, "Assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: Modelling and measurements", *Building and Environment* 41 (2006)1713- 1722.
- 35-GULYAS.A, UNGER.J, BALAZS.B and MATZARAKIS.A**, "Analysis of the bioclimatic conditions within different surface structures in a medium-sized city (Szeged, Hungary)", *Acta climatologica et chronologica, Universitatis Szegediensis*, tom.36-37, 2003, 37-44.
- 36-HAMEL.Khalissa et MAZOUZ .Said**, "The compact city: an urban shape for sustainable city, in arid areas", Department of architecture, University of Biskra, B.P 145, Biskra, Algeria.
- 37- HARMAN.I, BEST.M.J, BELCHER.S**, "Radiative exchange in an urban street canyon" radiation paper, 2003.
- 38- HARMAN.Ian**, "Guide to the urban street canyon energy balance", 2004.
- 39- KANDEL.Robert**, "Le bilan radiatif de la terre ", *La recherche*, N° 241, mars 1992.
- 40- KHANDAKER SHABBIR .Ahmed**, "Comfort in urban spaces: defining the boundaries of outdoor thermal comfort for the tropical urban environments", *Energy and Buildings* 35 (2003) 103-110.
- 41- KITOUS.S, DAOUDI.N, BOUSSOUALIM.A, BENSALÉM.R, ADOLPHE.L**, "Pour un urbanisme climatique des villes: cas de la vallée du M'zab. Investigations sur les principes d'intégration ancestraux et recommandations pour une planification future", *Living in deserts*, 2006.
- 42- LIN.Tzu-Ping, HWANG.Ruey-Lung, CHENG.Ming-Jen**, " Effect of external ground surface materials on indoor thermal comfort", *PLEA*, The 23<sup>rd</sup> conference, Geneva, Switzerland, 2006.
- 43- MALVERTI.Xavier, PICARD.Aleth**, « Les saisons de la rue-Les saisons dans la ville », *Les annales de la recherche urbaine* N°61.
- 44- MASMOUDIS et MAZOUZ.M**, "Relation of geometry, vegetation and thermal comfort around buildings in urban settings, the case of hot arid regions", *energy and buildings* 36 (2004) 710-719.
- 45- MATZARAKIS.A, MAYER.H, IZIOMON.M.G**, "Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature", *Int J Biometeorol* (1999) 43:76-84.
- 46- MAYER.H, HÖPPE.P**, "Thermal Comfort of Man in Different Urban Environments", *Theor.Appl.Climtol*.38, 43-49 (1987).

- 47- MAYER.Helmut, HOLST.Thomas, ROST.Jutta, IMBERY.Florian, ALI Toudert.Fazia**, "*Thermal comfort conditions in an E-W oriented street canyon in Freiburg (Germany) during the European summer heatwave 2003*".
- 48- NAJJAR.G, KASTENDEUCH.P.P, RINGENBACH.N, COLIN.J.R, STOLL.M.P, NERRY.F, BERNARD.J, DE HATTEN.A, LUHAHE.R, VIVILLE.D**, « *Bilans radiatif et d'énergie dans un canyon urbain* », Annales de l'association internationale de climatologie, vol2, 2005.
- 49- NIKOLOPOULOU.Marialena, BAKER.Nick, STEEMERS.Koen**, "*Thermal comfort in outdoor urban spaces: Understanding the human parameter*", Solar energy vol.70, N°.3, pp.227-235, 2001.
- 50- NIKOLOPOULOU.Marialena, STEEMERS.Koen**, "*Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces*", Energy and buildings 35 (2003) 95-101.
- 51- NIKOLOPOULOU.Marialena, LYKOUDIS.Spyros**, "*Thermal comfort in outdoor urban spaces: Analysis across different European countries*", Building and environment 41 (2006) 1455-1470.
- 52- NUNEZ.M, OKE.T.R**, "*The energy balance of an urban canyon*", journal of applied meteorology 1977; 16:11-9.
- 53- OFFERLE.B, ELIASSON.I, GRIMMOND.C.S.B, HOLMER.B** "*Surface heating in relation to air temperature, wind and turbulence in an urban street canyon*", Boundary-Layer Meteorol.Springer science + Business Media B.V, 2006.
- 54- OKE.T.R**, "*Street design and urban canopy layer climate*", Energy and buildings 11(1988)103-113.
- 55- PAWLAK.Wlodzimerz, FORTUNIAK.Krzysztof**, "*Application of physical model to study effective albedo of the urban canyon*" université de Lotz Poland.
- 56- PEARLMUTTER.D, BITAN.A, BERLINER.P**, « *Microclimatic analysis of « compact » urban canyons in an arid zone* », Atmospheric environment 33, 1999, 4143-4150.
- 57- POMERANTZ.M, PON.B, AKBARI.H, CHANG.S.C**, "*The effect of pavements' temperatures on air temperatures in large cities*" Heat island group, Lawrence BERKELEY National Laboratory, Berkeley, 2000.
- 58- PRADO R.T.A , FERREIRA F.L**, "*Measurement of albedo and analysis of its influence the surface temperature of building roof materials*" Energy and Buildings 35(2005)295-300.

- 59- PRIYADARSINI.R, WONG.N.H,** “*Building surfaces and their effect on the urban thermal environment*” Architectural science review, vol.48, N°.4, 2005, pp345-356.
- 60- ROBERTS.Sarah.M, OKE.T.R, LEMONSU.A, GRIMMOND.C.S.B, JACKSON.P,** “*Sensitivity of surface-atmosphere energy exchanges within urban areas derived from simulations*”,
- 61- ROSENFELD.Arthur.H, AKBARI.Hashem, BRETZ.Sarah, FISHMAN.Beth.L, KURN.Dan.M, SAILOR.David, TAHA.Haider,** “*Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, up dates*” energy and buildings 22 (1995) 255-265.
- 62- "** *Concevoir des espaces extérieurs en environnement urbain: Une approche bioclimatique*” **RUROS – Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces-2002.**
- 63- SANTAMOURIS.Matheos,** “*Natural techniques to improve indoor and outdoor comfort during the warm period-A review*”, Passive cooling of buildings, Advances of solar energy, London, 2005.
- 64- SANTAMOURIS.M, KLITSIKAS.N, NIAHOU.K,** “*Ventilation of street canyons and its impact on passive cooling design*”, group buildings environment studies.
- 65- SCHILER.Marc, VALMONT.Elizabeth,** “*Urban environmental glare: the secondary consequence of highly reflective materials*”, PLEA, The 23<sup>rd</sup> conference, Geneva, Switzerland, 2006.
- 66- SHASHUA-BAR.L and HOFFMAN.M.E,** “*Geometry and orientation aspects in passive cooling of canyon streets with trees*” PLEA, Cambridge, UK (2000), pages 483-488.
- 67- SHASHUA-BAR.L, HOFFMAN.M.E,** “*Vegetation as a climatic component in the design of an urban street . An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees*”, Energy and building 31 (2000) 221-235.
- 68- SPAGNOLO.Jennifer, DE DEAR.Richard,** “*A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia*”, Building and Environment 38 (2003) 721-738.
- 69- STRACHAN.P.A et VANDAELE.L,** “*Case studies of outdoor testing and analysis of building components*”, Building and environment 43 (2008) 129-142.
- 70- TAHA.Haider,** “*Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and antropogenic heat*”, Energy and buildings 25 (1997) 99-103.
- 71- TAHA.Haider, DOUGLAS.Sharon, HANCY.Jay,** “*Mesoscale meteorological and air quality impacts of increased urban albedo and vegetation*”, Energy and Buildings 25 (1997) 169-177.
- 72- TAREB,** « *Energie dans l’environnement urbain- Architecture basse énergie* » chapitre 4.

**MEMOIRES ET THESES :**

- 1-ABDOU.Saliha**, « *Investigation sur l'intégration climatique de l'habitat traditionnel en région aride et semi-aride d'Algérie-cas de Constantine et de Ouargla* », thèse de doctorat, université de Constantine, 2003-2004.
- 2- ACHOUR-BOUAKKAZ.Nawel**, « *La relation entre l'îlot de chaleur urbain, phénomène du changement climatique et la densité du plan bâti : cas de la ville d'Alger* » mémoire de magister, université Mentouri Constantine, 2006.
- 3- ALI TOUDERT.Fazia**, « *Dependence of outdoor thermal comfort on street design in hot and dry climate* » thèse de doctorat, université de Freiburg, 2005.
- 4- BENSAAD.Nadia**, « *La rue, formes urbaines et pratiques sociales: cas de la rue Belouizdad-Boudjeriou à Constantine* » mémoire de magister, université Mentouri Constantine, 2001.
- 5- BOUCHERIBA.Fouzia**, « *Impact de la géométrie des canyons urbains sur le confort thermique extérieur : cas du coudiat de Constantine* » mémoire de magister, option bioclimatique, université Mentouri Constantine, 2006.
- 6- BOURBIA. Fatiha**, « *Building cluster and shading in hot dry climate* ». Thèse de Doctorat. University of reading. 1999.
- 7- BOZONNET.Emmanuel**, « *Impact des microclimats urbains sur la demande énergétique des bâtiments cas de la rue canyon* » thèse de doctorat, université de la rochelle, 2005.
- 8- DE HATTEN.Anne**, « *Mise en évidence des caractéristiques générales de l'îlot de chaleur urbain strasbourgeois : élaboration d'une base de données climatiques* » mémoire de maîtrise de géographie, université Louis Pasteur Strasbourg, 2002.
- 9- GLOCKNER.Stéphane**, « *Contribution à la modélisation de la pollution atmosphérique dans les villes* », thèse de doctorat, université BordeauxI, 2000.
- 10- GOUIZI.Yamina**, « *Effet d'un groupe de bâtiments sur l'écoulement de l'air (vent) et le confort des piétons dans les espaces extérieurs. cas d'étude : ensembles de bâtiments collectifs des ZHUN à Biskra* », mémoire de magister, université Mohamed kheidar Biskra, 2003.
- 11- JEROME.Colin**, « *Définition d'une approche de la modélisation de la rugosité aérodynamique en milieu urbain* ».Thèse de maîtrise de la géographie, université Louis Pasteur de Strasbourg, 2001.
- 12- MASMOUDI.Soraya**, « *Relation entre géométrie urbaine, végétation et confort thermique extérieur : cas de la place dans les régions arides à climat chaud et sec* » mémoire de magister, université Mahamed Kheidar Biskra, 2003.

- 13- MAZOUZ. S**, « *L'intégration des facteurs physiques de l'environnement dans le processus de conception architecturale* » thèse de doctorat d'état, université de Constantine, 2000.
- 14- MEDJELEKH.Dalel**, « *Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment –cas de l'habitat de l'époque coloniale à Guelma-*», mémoire de magister, université Mentouri Constantine, 2006.
- 15- MILOUS.Ibtissem**, « *la ville et le développement durable identification et définition des indicateurs de la durabilité d'une ville –cas de Constantine-* » mémoire de magister, université Mentouri Constantine, 2006.
- 16- NOUIBAT.Brahim**, « *Adaptation d'un COS optimal à l'habitation individuelle en milieu aride et semi aride (cas de Boussaâda)* », mémoire de magister, université Mohamed Kheidar Biskra, 1997.
- 17- RINGENBACH.Nicolas**, « *Bilan radiatif et flux de chaleur en climatologie urbaine : mesures, modélisation et validation sur Strasbourg* » thèse de doctorat, université Louis Pasteur Strasbourg, 2004.
- 18- SEGHIROU.Belkacem**, « *Vers une approche environnementale de l'espace urbain : influence des règles du prospect sur les formes urbaines en milieux arides et semi-arides. Cas de Biskra* », mémoire de magister, université Mohamed Kheidar Biskra, 2002.
- 19- TAYER.Abdelhakim**, « *Espaces de communication et climat* » mémoire de magister, université Mohamed Kheidar Biskra, 1996.
- 20- TEBBANI.Habiba**, « *Impact de la végétation sur le microclimat et le confort thermique des espaces urbains publics- cas du cours de la révolution d'Annaba-* » mémoire de magister, université Mentouri Constantine, 2006.

#### **WEB-SITES :**

<http://www.wikipedia.org/wiki/climat>

<http://www.u-picardie.fr/beauchamp/mbg6/radiatif.html>

[http://www.atmosphere.mpg.de/enid/3\\_Nuages\\_particules\\_et\\_climat/\\_bilan\\_radiatif\\_24s.html](http://www.atmosphere.mpg.de/enid/3_Nuages_particules_et_climat/_bilan_radiatif_24s.html)

[http://www.inrp.fr/lamap/?page\\_Id=108&Element\\_Id=487&DomainScienceType\\_Id=14](http://www.inrp.fr/lamap/?page_Id=108&Element_Id=487&DomainScienceType_Id=14)

<http://www.atmosphere.mpg.de/enid/35225c194f1c64f60f6fb4cba6d9149f,55a304092d09/3>

[Nuages et soleil/ Albe do 1rc.html](http://www.atmosphere.mpg.de/enid/35225c194f1c64f60f6fb4cba6d9149f,55a304092d09/3_Nuages_et_soleil/_Albe_do_1rc.html)

<http://yosemite.epa.gov/oar/globalwarming.nsf/content/ActionsLocalHeatIslandEffect.html>

<http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/euleb/fr/glossary/index1.html>

<http://perso.orange.fr/doc.doc/thermo.html>

[http://www.futura-sciences.com/newsmetabolisme-humain-modeliste-grace-biologie-systemes\\_10401.php](http://www.futura-sciences.com/newsmetabolisme-humain-modeliste-grace-biologie-systemes_10401.php)

[http://fr.wikibooks.org/wiki/les\\_principales\\_voies\\_du\\_m%C3%A9tabolisme](http://fr.wikibooks.org/wiki/les_principales_voies_du_m%C3%A9tabolisme)

<http://www.meteo.fr/>

<http://www.effet-de-serre.gouv.fr/>

<http://www.wmo.ch/>

<http://www.nmarcoux.aol.com>

<http://www.mon-environnement.com>

<http://www.eetb.lbl.gov/HeatIsland/coolpavements/>

### **COLLOQUES ET SEMINAIRES :**

**1-4-GRIMMOND.Sue**, "*Current state and future prospects of field measurements*", International Workshop on Countermeasures to Urban Heat Islands, 2006.

**2-GRUNDSTROM.Karin, JOHANSSON.Erik, MRAISSI.Mohamed et OUAHRANI.Djamel**, "*Climat et urbaisme – la relation entre le confort thermique et la forme du cadre bâti –*".

**3- LEMONSU Aude**, "*Modélisation des processus de surface et de la couche limite en milieu urbain*", Séminaire A.LEMONSU, 2005.

**4- SANTAMOURIS.Mathéos**, "*The role of materials. Impact on the temperature regime of cities*", Ec-Asean Energy Facility (EAEF), Singapore, 2006.

*Annexes.....*

## **Annexe I: Glossaire**

### **\* La couche limite atmosphérique (CLA) ou planétaire :**

L'influence de la surface de la terre est effectivement limitée à 10 km en bas de l'atmosphère, dans une couche qui s'appelle troposphère<sup>1</sup>.

La troposphère est scindée en deux parties: une couche limite de sa partie basse coiffée d'une couche libre.

La couche libre est la partie supérieure de la troposphère dans laquelle le vent est déterminé par de grands mouvements d'ensemble à l'échelle de la planète. Il résulte de l'équilibre entre les forces de pression et la force de Coriolis due à la rotation de la terre. Le vent est appelé dans cette zone vent géostrophique<sup>2</sup>.

La hauteur de la couche limite atmosphérique qui varie en permanence dans le temps et dans l'espace est comprise en moyenne entre de 1 à 2 kilomètres pendant le jour à 100m ou moins la nuit, dépendant du taux de la chaleur et du refroidissement<sup>3</sup>

### **\* La couche limite urbaine (CLU) :**

Puisque l'air s'écoule vers la ville, il rencontre une série de conditions limites nouvelles et très différentes de la campagne.

Cela résulte de la formation de la couche limite urbaine, qui est basée sur le niveau des toits, Elle se traite dans une échelle locale à une échelle méso, dont les caractéristiques sont régies par la nature de la surface urbaine générale<sup>4</sup>.

La couche limite urbaine est un cas particulier de la couche limite atmosphérique. Ce qui la différencie nettement de la CLA, est l'existence au dessus des villes d'un flot de chaleur. Donc, l'ensemble de la structure de l'atmosphère urbaine apparaît comme un large dôme courbé sur l'ensemble de la masse urbaine. Cette masse est appelée « couche limite urbaine »<sup>5</sup>.

### **\* La canopée urbaine (CU):**

C'est la partie basse de la couche limite urbaine, à proximité directe du sol, dans laquelle sont étudiés les écoulements entre les bâtiments. Elle est liée à la hauteur et à la densité des constructions et des obstacles naturels qui jalonnent l'espace urbain, et traitée à une échelle micro.

---

<sup>1</sup> **BOURBIA, Fatima**, " *Building cluster and shading in hot dry climate*", Thèse de Doctorat. University of reading, 1999, p10.

<sup>2</sup> **GLOCKNER, Stéphane**, " *Contribution à la modélisation de la pollution atmosphérique dans les Villes*". Thèse de doctorat. Université Bordeaux, 2000, p13.

<sup>3</sup> Idem 1.

<sup>4</sup> Idem 1, p10.

<sup>5</sup> Idem 2, p15.

## **Annexe II: Appareils utilisés pour la mesure du rayonnement solaire.**

### **Comment mesurer le rayonnement solaire (appareils et unités):**

Le rayonnement solaire est mesuré par différents moyens et différentes manières, selon les applications, mais d'une façon générale, l'ensoleillement est caractérisé par l'une des trois grandeurs suivantes:

- L'énergie globale reçue par une surface fixe d'orientation définie.
- L'intensité du rayonnement direct normal incident sur une surface orientée en permanence vers le soleil, ou bien l'énergie qui en résulte sur une période donnée.
- La durée d'ensoleillement, durée journalière, mensuelle ou annuelle pendant laquelle le rayonnement direct est supérieur à un seuil arbitraire de  $100\text{W/m}^2$ .<sup>6</sup>

Les appareils utilisés, appelés autrefois *actinomètre* et maintenant *radiomètres* (un radiomètre étant un appareil servant à mesurer un rayonnement, quel qu'il soit), sont soit des appareils mesurant directement la chaleur reçue sur une surface donnée (se sont les calorimètres), soit des appareils étalonnés par comparaison. Ces derniers utilisent l'effet thermique, ou thermo-électrique, ou photo-électrique, ou encore chimique du rayonnement solaire; ce sont les appareils les plus pratiques et permettant le plus facilement l'enregistrement des mesures.

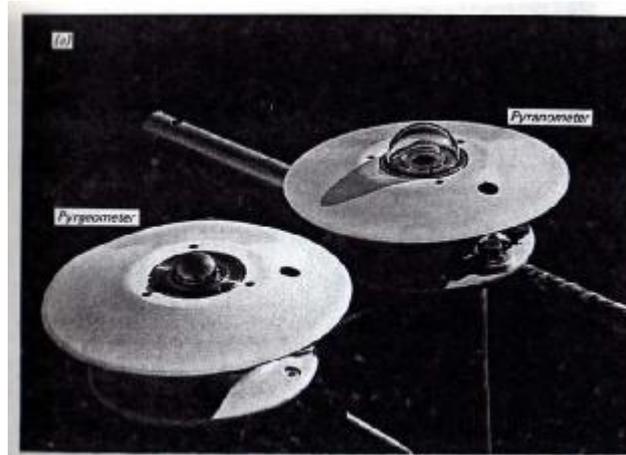
Le rayonnement global au sol sur une surface horizontale est mesuré par un radiomètre appelé *pyranomètre* qui reçoit tout le rayonnement de l'hémisphère supérieur, c'est un appareil statique dont le détecteur est protégé par une ou deux fenêtres hémisphériques. C'est l'appareil de mesure le plus répandu.

Il existe aussi des *pyranomètres* pour mesurer le seul rayonnement diffus. Tous ces appareils sont étalonnés en millivolts/milliwatts/m<sup>2</sup> au moyen d'appareils étalons de référence. On a pu constater avec les *pyranomètres* quelques sources d'erreurs, liées à l'azimut et à la hauteur du soleil, ainsi qu'à la température. Cependant, avec les fabrications actuelles, on peut obtenir une précision de 2% dans les mesures courantes du rayonnement global quotidien, à condition que l'appareil soit bien entretenu et régulièrement contrôlé<sup>7</sup>.

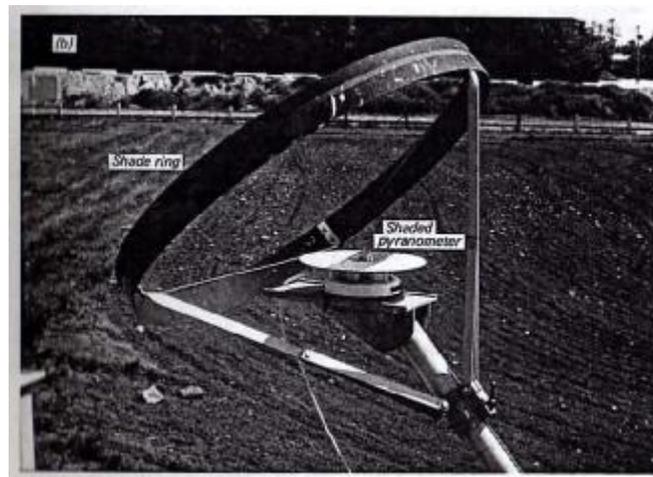
<sup>6</sup> DESSUS.Benjamin, PHARABOD.François, «L'énergie solaire», éd. Que sais-je? 2002, p20.

<sup>7</sup> VAILLANT. J.R , «Utilisations et promesses de l'énergie solaire »,éd.Eyrolles,1978, p44.

Un radiomètre qui mesure le rayonnement solaire direct seul est appelé *pyrhéliomètre*. C'est un appareil muni d'un mécanisme d'orientation qui permet de diriger constamment une thermopile en direction du soleil. Un diaphragme limite les rayons utiles aux rayons provenant du disque solaire et de la région circumsolaire (ouverture angulaire 5.7°).



**Fig II-1:** Un pyranomètre (gauche) et un pyrgéomètre (droite)  
**Source:** Oke.T.R, 1976



**Fig II-2:** Pyranomètre et anneau d'ombre.  
**Source:** Oke.T.R, 1976

Pour déterminer les durées d'ensoleillement (les météorologistes disent "insolation" de préférence à "ensoleillement"), on utilise l'effet thermique ou bien l'effet actinique du rayonnement, en enregistrant les traces laissées sur un papier par les rayons solaires focalisés. Les appareils sont alors appelés *héliographes*. La

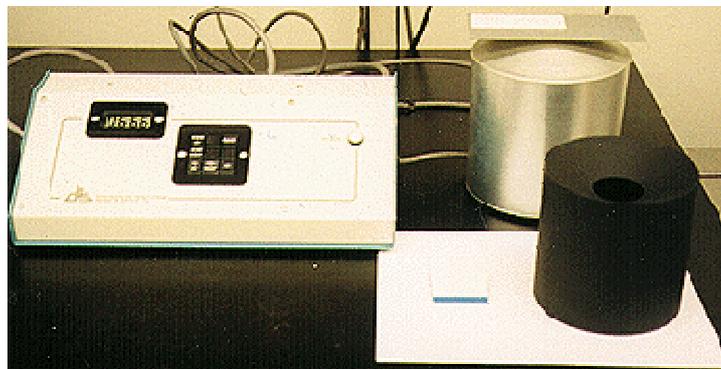
méthode consiste à faire tracer par le soleil une ligne brûlée sur un papier au moyen d'une lentille sphérique. La durée d'ensoleillement s'exprime en heure.

Il ya aussi ce qu'o appelle:

**Albédographe** : Albédomètre enregistreur.

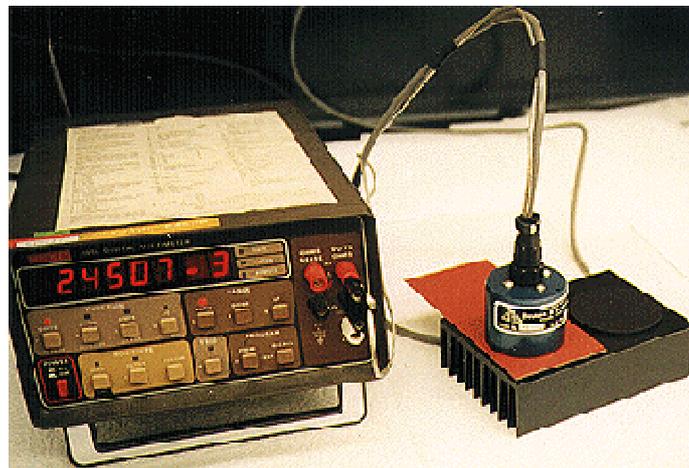
**Albédomètre** : instrument de mesure du pouvoir réflecteur ou de l'albédo d'une surface. Il est utilisé pour obtenir les albédos des nuages ou de diverses couvertures du sol: herbe, neige, etc.

Actuellement la mesure de l'albédo au niveau du toit se fait à l'aide d'instruments très sophistiqués, entre autre le réflectomètre et l'émissomètre.



**Fig II-3:** Photo d'un réflectomètre.

**Source:** [http://www.Heat Island Group Cool Roofs Instrumentation.htm](http://www.Heat_Island_Group_Cool_Roofs_Instrumentation.htm)



**Fig II-4:** Photo d'un émissomètre

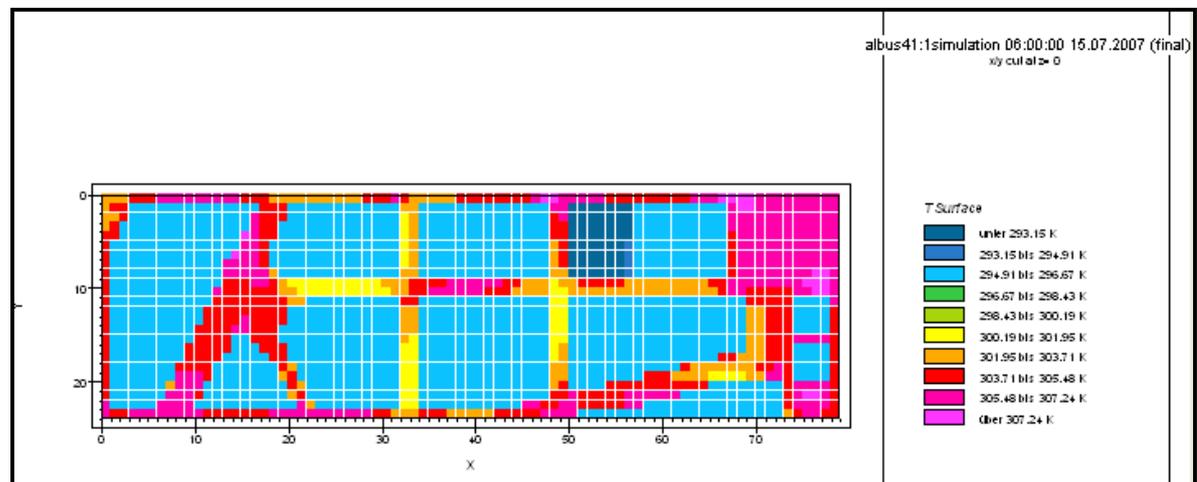
**Source:** [http://www.Heat Island Group Cool Roofs Instrumentation.htm](http://www.Heat_Island_Group_Cool_Roofs_Instrumentation.htm)

**Annexe III: Les résultats de la simulation en appliquant les différentes valeurs d'albédo:**

**1-Température de surface:**

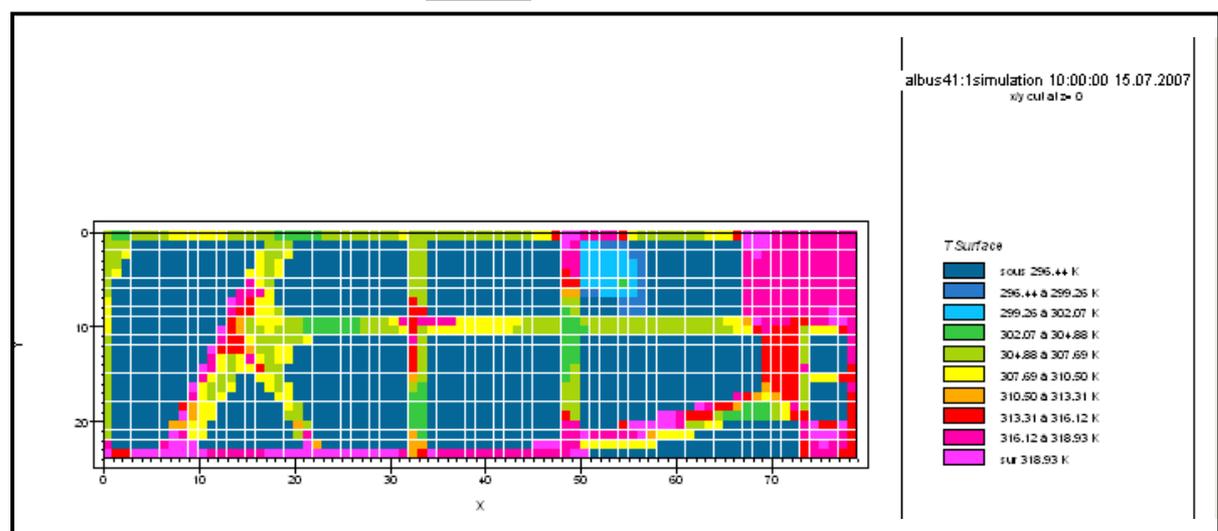
**Température de surface pour un albédo de 0.4:**

Pour la valeur d'albédo égale à 0.4, les résultats déduits à partir d'Envi-met, et lus par Léonardo pour certaines heures de la journée sont les suivants:



**Fig III-1:** Température de surface pour un albédo de 0.4 à 06.00h du matin.

**Source:** Léonardo 3.0



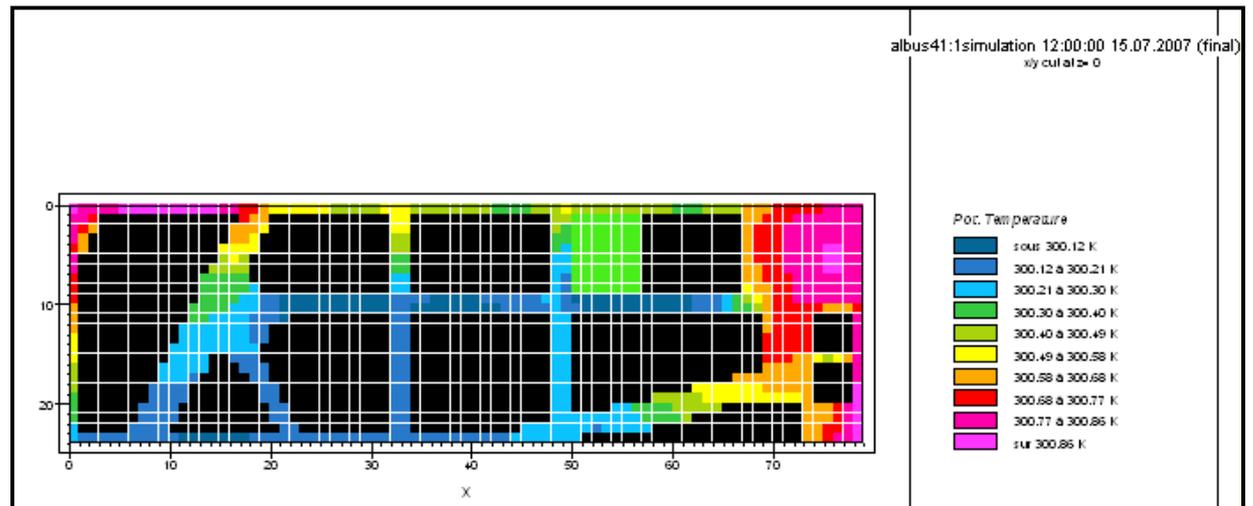
**Fig III-2:** Température de surface pour un albédo de 0.4 à 10.00h du matin.

**Source:** Léonardo 3.0

## 2-Température de l'air:

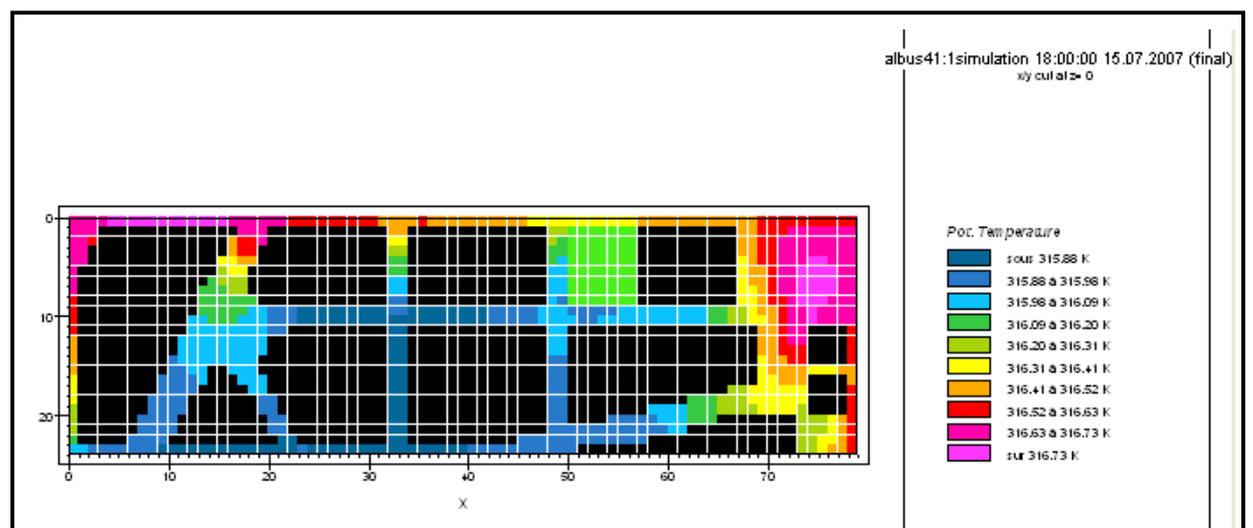
### Température de l'air pour un albédo de 0.4:

Pour une valeur d'albédo égale à 0.4, on présente les résultats de la même période indiquée précédemment.



**Fig III-3:** Température de l'air pour un albédo de 0.4 à 12.00h.

**Source:** Léonardo 3.0



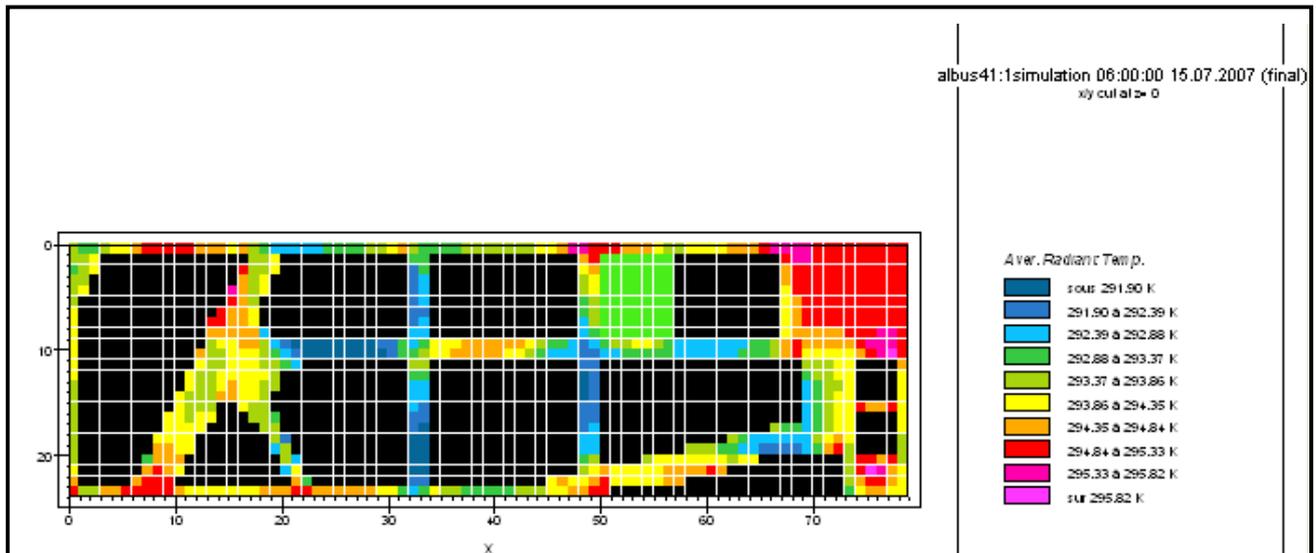
**Fig III-4:** Température de l'air pour un albédo de 0.4 à 18.00h.

**Source:** Léonardo 3.0

### 3-Température moyenne radiante:

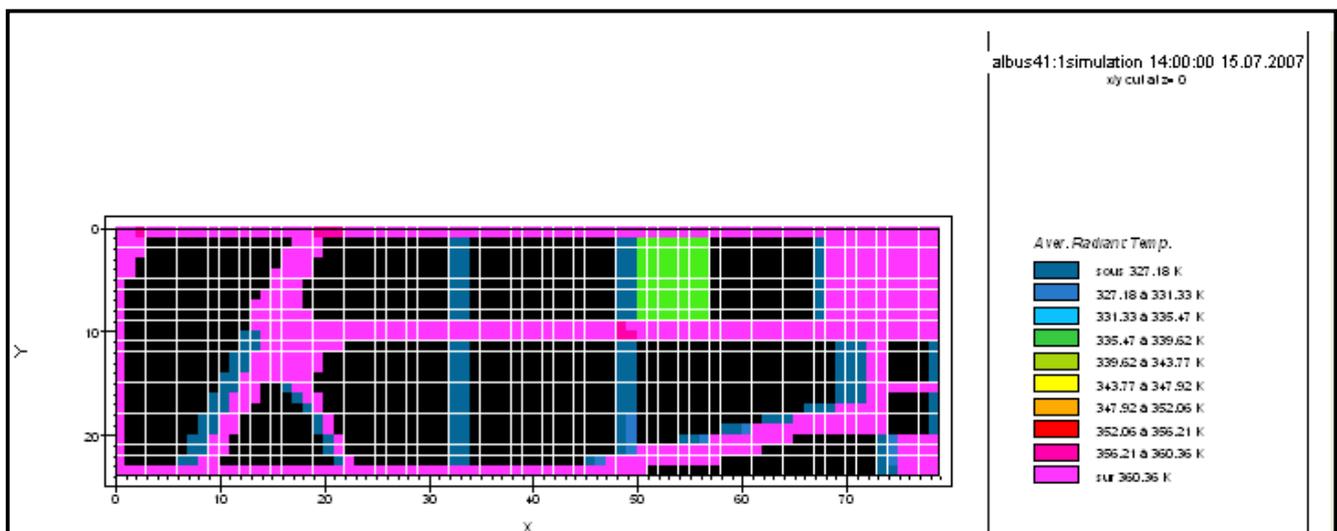
#### Température moyenne radiante pour un albédo de 0.4:

Pour une valeur d'albédo égale à 0.4, on présente les résultats de la même période indiquée précédemment, on aura:



**Fig III-5:** Température de l'air pour un albédo de 0.4 à 02.00h du matin.

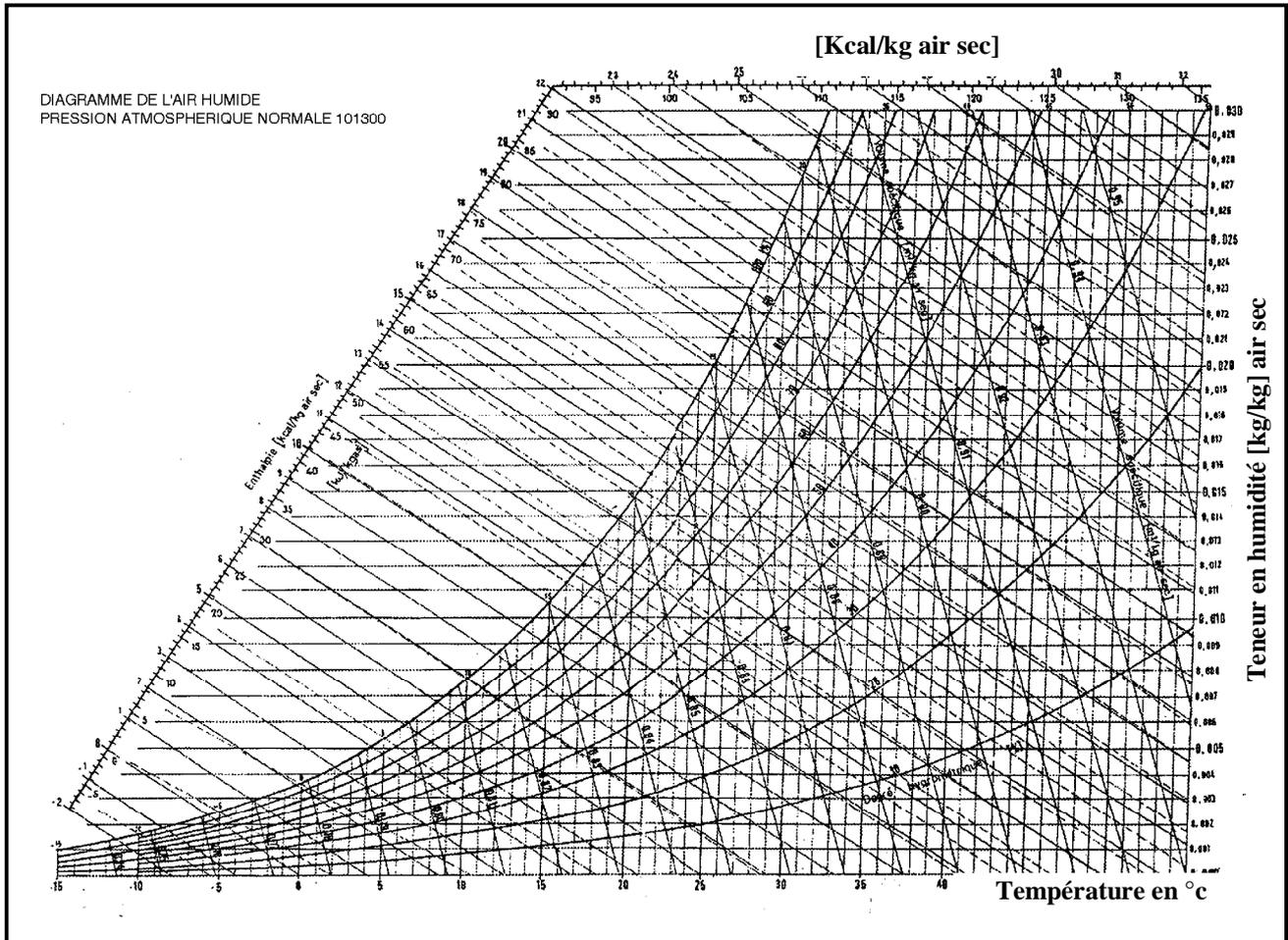
**Source:** Léonardo 3.0



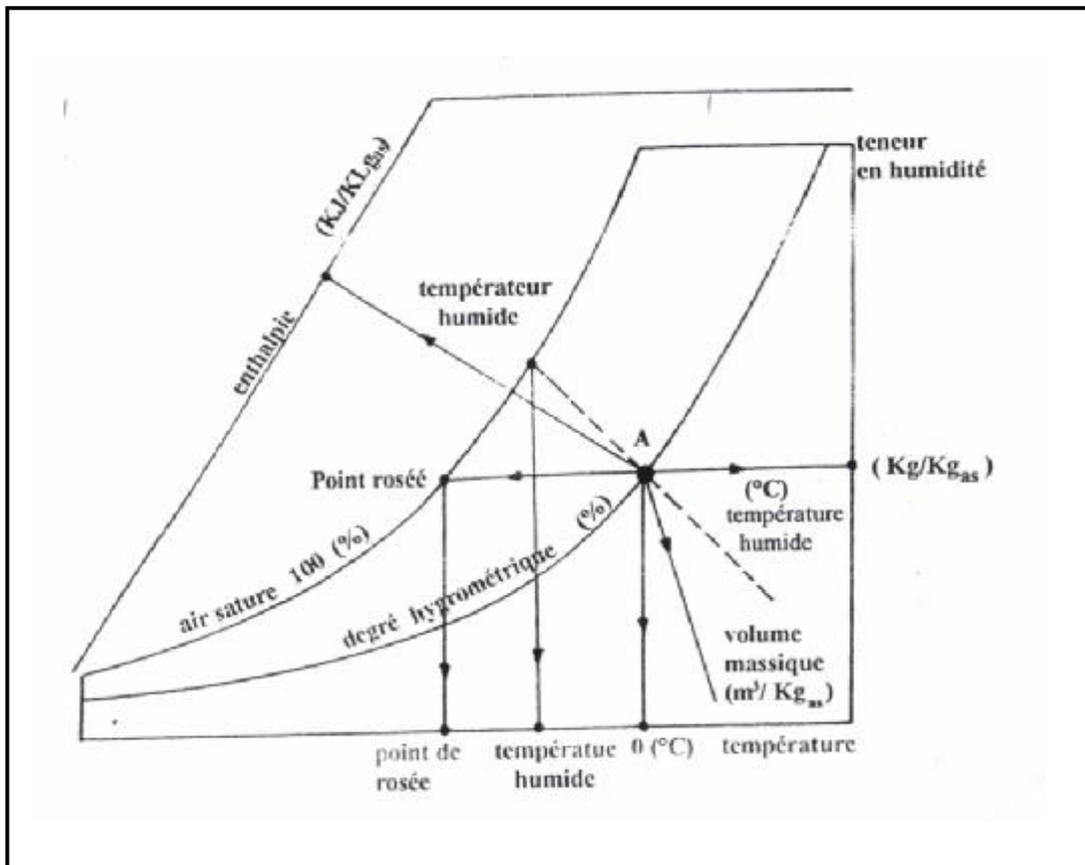
**Fig III-6:** Température de l'air pour un albédo de 0.4 à 14.00h.

**Source:** Léonardo 3.0

**Annexe IV: Le diagramme psychrométrique utilisé pour calculer l'humidité relative:**



**Fig IV-1:** Diagramme psychrométrique  
**Source:** DTR.C3-4



**Fig IV-2:** Lecture du diagramme psychrométrique  
**Source:** DTR.C3-4

*Résumés.*

## Résumé

L'architecture bioclimatique vise à concevoir des espaces intérieurs et extérieurs agréables à vivre et confortables, en prenant en considération les éléments climatiques, afin d'économiser l'énergie en réduisant le recours au chauffage et à la climatisation pour conditionner l'air.

La croissance urbaine est un modificateur des conditions climatiques propre à une région donnée. Plusieurs facteurs entre autre l'imperméabilisation des espaces, sont à l'origine des modifications climatiques locales. En effet, la minéralisation des espaces urbains et la réduction des espaces verts qui furent remplacés par des chaussées, des toits et des façades dont les matériaux absorbent la chaleur et augmentent les rejets en grande longueur d'onde, provoquent le réchauffement de ces espaces.

La rue, comme tout espace extérieur génère des ambiances thermiques à partir des conditions climatiques. Dans les régions arides et semi-arides, surtout dans les tissus récents là où les constructions sont espacées et les espaces urbains très ouverts et très exposés au soleil, il s'avère que la rue fait partie des éléments les plus touchés par la dégradation du degré de confort.

La présente recherche étudie l'effet de la réflectivité des matériaux (albédo) sur le microclimat urbain et sur le confort thermique extérieur au niveau du canyon urbain, en attribuant plusieurs valeurs à l'albédo, du plus bas reflétant un matériau absorbant au plus haut reflétant un matériau réfléchissant, et voir leur influence sur les paramètres du microclimat tel que les températures de surface et de l'air et la température moyenne radiante, ainsi que leur impact sur le confort thermique extérieur, en estimant la valeur de la PET.

Une simulation a été effectuée sur un axe se situant au Coudiat de Constantine, s'insérant dans le climat semi-aride, par le biais de deux programmes numériques, le logiciel Envi-met.v3 pour l'évaluation de l'impact de l'albédo sur le microclimat et le programme PET\_neu pour évaluer son impact sur le confort thermique extérieur.

Les résultats montrent que la haute réflectivité des matériaux par le choix des surfaces claires réfléchissantes, offre un microclimat agréable, cependant les problèmes de surchauffe de même que l'éblouissement résultant de la clarté de ces matériaux sont les principales causes d'inconfort.

**Mots clés et concepts:** Ilot de chaleur urbain, rue "canyon", albédo, Envi-met, microclimat, confort thermique extérieur, PET.

## Summary

Bioclimatic architecture aims at conceiving interior and external spaces pleasant to live and comfortable, by taking into account the climatic elements, in order to save energy by reducing the recourse to the heating and air-conditioning to condition the air.

The urban growth is a modifier of the climatic conditions for to a given area. Several factors amongst other things the proofing of spaces, are at the origin of the local climatic modifications. Indeed, the mineralization of urban spaces and the reduction of the parks which were replaced by roadways, roofs and frontages whose materials absorb heat and increase the rejections in big wavelength, cause the reheating of these spaces.

The street, as any external space generates thermal environments starting from the climatic conditions. In the arid and semi-arid areas, especially in fabrics recent where constructions are spaced and urban spaces very open and very exposed with the sun, it proves that the street belonged to the elements most touched by the degradation of the degree of comfort.

Present research studies the effect of the reflectivity of the materials (albedo) on the urban microclimate and outdoor thermal comfort with the level of the urban canyon, by allotting several values to the albedo, of low reflecting a material absorbing with highest reflecting a reflective material, and to see their influence on the parameters of the microclimate such as the temperatures of surface and of the air and the mean radiant temperature, like their impact on external thermal comfort with assessment of physiological equivalent temperature.

A simulation was carried out on an axis being at Coudiat of Constantine, forming part of the semi-arid climate, by the means of two numerical programs, the software Envi-met .v3 for the evaluation of the impact of the albedo on the microclimate and PET\_neu program for evaluate its impact on outdoor thermal comfort.

The results show that the high reflectivity of materials by the choice of clear surfaces reflective, offers a pleasant microclimate, however the problems of overheating just as the dazzling resulting from the clearness of these materials are the principal causes of discomfort.

**Key words and concepts:** Urban heat island, Street "canyon", albedo, Envi-met, microclimate, outdoor thermal comfort, PET.

## ملخص

الهندسة البيومناخية تهدف إلى تصور فضاءات داخلية و خارجية ممتعة للحياة وذات رفاهية، بأخذ بعين الاعتبار العناصر المناخية، من أجل تحقيق اقتصاد في الطاقة وذلك بالتقليل من استعمال المدفئة و التكيف للتحكم في الهواء.

يعتبر النمو العمراني سببا مغيرا للشروط المناخية الخاصة بمنطقة معينة. عدة عوامل، من بينها تكثيم الفضاءات، هي أصل التحولات المناخية المحلية. في الواقع، تمعدن الفضاءات العمرانية و التقليل من الفضاءات الخضراء التي بدلت بطرقات ، أسقف و واجهات ذات مواد بناء تمتص الحرارة و ترفع من رد الموجات الطويلة، هي السبب في رفع حرارة هذه الفضاءات.

الطريق، ككل فضاء خارجي يولد بيئة حرارية انطلاقا من الشروط المناخية. في المناطق الجافة و شبه الجافة، خاصة في الأنسجة الحديثة المميزة ببنائاتها المتباعدة و فضاءاتها العمرانية المفتوحة جدا والمعرضة جدا للشمس، اتضح أن الطريق يمثل جزءا من العناصر الأكثر تعرضا لتقهقر درجة الرفاهية.

هذا البحث يدرس أثر انعكاسية مواد البناء على المناخ المحلي العمراني و على الرفاهية الحرارية الخارجية على مستوى المجاري العمرانية، و ذلك بمنح عدة قيم للإنعكاسية، من القيمة الدنيا التي تمثل مادة ماصة، إلى القيمة القصوى التي تمثل مادة عاكسة، و ملاحظة تأثيرها على عناصر المناخ المحلي مثل حرارة المساحات و الجو و كذا معدل الحرارة المشعة بالإضافة إلى تأثيرها على الرفاهية الحرارية الخارجية و ذلك بتقييم الحرارة الفيزيولوجية المعادلة.

تم القيام بمحاكاة على محور متواجد في موقع الكدية بمدينة قسنطينة، المدمجة في المناخ شبه الجاف، بواسطة برنامجين رقميين، البرنامج " Envi-met " لتقييم أثر الإنعكاسية على المناخ المحلي و البرنامج " PET\_neu " لتقييم أثرها على الرفاهية الحرارية الخارجية.

النتائج تظهر بأن الإنعكاسية العالية لمواد البناء عن طريق اختيار مساحات فاتحة و عاكسة، تعطي مناخ محلي لطيف، في حين أن المشاكل الناجمة عن فرط السخونة و كذا الانبهار بفعل أشعة الشمس الناتجة عن هذه المواد هي الأسباب الرئيسية لفقدان الرفاهية.

### الكلمات المفتاحية:

جزيرة حرارة عمرانية، طريق " مجرى عمراني"، انعكاسية، Envi-met، مناخ محلي، الرفاهية الحرارية الخارجية، الحرارة الفيزيولوجية المعادلة.