

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



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

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

Spécialité (Option) : Etablissements humains en milieux arides et semi arides

Intitulé

**L'influence des facteurs climatiques sur la modification de l'îlot de
chaleur urbain dans une rue « canyon, dièdre et dégagée »,
Cas des lotissements Biskra.**

Présentée par :

BOUKHABLA Moufida

Soutenue publiquement le 06/10/2015

Devant le jury composé de :

Pr. ZEMMOURI. N
Pr. ALKAMA. D
Pr. MOUMMI. N
Pr. DIB. B
Pr. ROUAG. D
Dr. BEN CHIKH. H

Professeur
Professeur
Professeur
Professeur
Professeur
Maitre de Conférences 'A'

Président
Rapporteur
Examineur
Examineur
Examineur
Examineur

Université de Biskra
Université de Biskra
Université de Biskra
Université de Batna
Université de Constantine3
Université de Laghouat

AVANT PROPOS

Que toutes les personnes qui ont aidé de près ou de loin au déroulement et à l'aboutissement de ce travail trouvent ici le témoignage de ma reconnaissance. Je tiens à remercier tout particulièrement :

M^{er}. ALKAMA. D, pour la direction de cette thèse, l'énergie considérable déployée au cours de ce travail, le temps consacré et l'aide précieuse apportée tout au long de ce travail.

M^{er}. MOUMMI. N, Professeur Université Mohamed Khidder (BISKRA) et directeur du laboratoire LGE (Laboratoire de Génie Mécanique), pour m'avoir accueilli dans son laboratoire et dirigé ce travail avec une remarquable attention. La qualité de ses conseils a énormément contribué à l'aboutissement de ce travail.

M^{er}. BELAKEHAL. A, Université Mohamed Khidder (BISKRA), pour l'aide et la mise à disposition de matériel.

Messieurs :Pr. ZEMMOURI. N, Pr. MOUMMI. N, Pr. DIB. B, Pr. ROUAG. D, Dr. BEN CHIKH. H, d'avoir bien voulu accepter de faire partie du jury et de l'intérêt porté à ce travail.

Ma famille, pour leur soutien tout au long de ce travail de thèse.

Enfin, tous ceux qui ont vu de près ou de loin ce travail et qui n'ont pas été cités ci-dessus.

Numéro du tableau	Titre	Pages
CHAPITRE I		
Tableau 1	Echelles de climat	09
CHAPITRE III		
Tableau 2	Albédo des surfaces urbaines	59
Tableau 3	Valeurs d'émissivité pour des surfaces rencontrées en milieu urbain	60
Tableau 4	Propriétés thermiques des matériaux naturels et de construction	61
Tableau 5	Albédo & facteur d'émission de différents matériaux	78
CHAPITRE IV		
Tableau 6	Température moyenne durant la décennie 1999 – 2008	108
Tableau 7	L'humidité relative moyenne durant la décennie 1999 – 2008	110
Tableau 8	Totale des précipitations durant la décennie 1999 – 2008	111
Tableau 9	Détermination de l'indice d'aridité de la ville de Biskra durant la décennie 1999 – 2008	114
Tableau 10	Les données climatiques de la ville de Biskra 2004.	115
CHAPITRE V		
Tableau 11	Emplacement des stations de mesures à la ville de Biskra.	133
ANNEXES		
Tableau 12	Mesure de paramètres climatiques, station 1 (rue canyon)	
Tableau 13	Mesure de paramètres climatiques, station 2 (rue dièdre).	
Tableau 14	Mesure de paramètres climatiques, station 3 (rue dégagé).	
Tableau 15	Mesure de paramètres climatiques, station 4 (rue canyon).	
Tableau 16	Mesure de paramètres climatiques, station 5 (rue dièdre).	
Tableau 17	Mesure de paramètres climatiques, station 6 (rue dégagé).	
Tableau 18	les paramètres climatiques mesurés et le bilan énergétique, Rn, station 1 (rue canyon)	
Tableau 19	les paramètres climatiques mesurés et le bilan énergétique, Rn, station 2 (Rue dièdre).	
Tableau 20	les paramètres climatiques mesurés et le bilan énergétique, Rn, station 3 (Rue dégagé).	
Tableau 21	les paramètres climatiques mesurés et le bilan énergétique, Rn, station 4 (Rue canyon).	
Tableau 22	les paramètres climatiques mesurés et le bilan énergétique, Rn, station 5 (Rue dièdre).	
Tableau 23	les paramètres climatiques mesurés et le bilan énergétique, Rn, station 6 (Rue dégagé).	

Numéro de la figure	Titre	Page
CHAPITRE I		
Figure 1	Profil d'un îlot de chaleur urbain	15
Figure 2	coupe d'un îlot de chaleur urbain	16
Figure 3	structure verticale de l'atmosphère urbaine pour des vents supérieurs et inférieurs à 3m/s.	17
Figure 4	schéma de la couche limite urbaine	18
Figure 5	Intensité d'un îlot de chaleur urbain de la couche limite urbaine sur 24h.	19
Figure 6	Canyon urbain	20
Figure 7	schéma de la couche de canopée urbaine et la couche de surface	21
CHAPITRE II		
Figure 8	Rue grecque, Chios, Ile grecque, Athènes, Grèce	45
Figure 9	Tracé des rues de la ville de Timgad	46
Figure 10	pavage des voies romaines	47
Figure 11	Vue sur la ville d'Avignon au XVIIème siècle, Concentration forte et anarchique des rues	49
Figure 12	Rue de Sighișoara (Roumanie) datant de la période médiévale	49
Figure 13	rue d'Herculanum	51
Figure 14	Le gabarit des rues selon le projet de Haussmann	52
CHAPITRE III		
Figure 15	Schéma d'un canyon urbain	58
Figure 16	Le piège radiatif des rues	64
Figure 17	Rayonnement solaire et rayonnement infrarouge en milieu urbain	65
Figure 18	Profit de la circulation de l'air en fonction du rapport de la hauteur moyenne de la rue et de sa largeur	66
Figure 19	Distribution schématique du rayonnement solaire incident dans différents scénarios d'H/L	67
Figure 20	Transfert de flux en surface	69
Figure 21	Végétalisation du pourtour du bâtiment	76
CHAPITRE IV		
Figure 22	Typologie de l'habitat de la ville de Biskra	93
Figure 23	Vue sur l'habitat de type traditionnel	94
Figure 24	Plan indiquant l'habitat de type traditionnel.	94
Figure 25	Vue sur l'habitat de type colonial.	95
Figure 26	Plan indiquant l'habitat de type colonial.	95
Figure 27	Vue sur l'habitat de type recasement.	96
Figure 28	Plan indiquant l'habitat de type recasement.	96
Figure 29	Vue sur l'habitat de type contigüe.	97
Figure 30	Plan indiquant l'habitat de type contigüe.	97
Figure 31	Vue sur l'habitat de type auto construit non planifié.	98
Figure 32	Plan indiquant l'habitat de type auto construit non planifié.	98
Figure 33	Vue sur l'habitat de type auto construit planifié (lotissement).	99
Figure 34	Plan indiquant l'habitat de type auto construit planifié (lotissement).	99
Figure 35	Vue sur l'habitat de type villa.	100

Liste des figures :

Figure 36	Plan indiquant l'habitat de type villa.	100
Figure 37	Vue sur l'habitat de type grand ensembles.	101
Figure 38	Plan indiquant l'habitat de type grand ensembles	101
Figure 39	Vue sur l'habitat de type individuel préfabriqué	102
Figure 40	Plan indiquant l'habitat de type individuel préfabriqué.	102
Figure 41	Vue sur l'habitat de type bidon villes.	103
Figure 42	Plan indiquant l'habitat de type bidon villes.	103
Figure 43	Habitat auto construit planifié (lotissement).	104
Figure 44	Situation géographique de la ville de Biskra	105
Figure 45	Les zones climatiques d'été en Algérie	106
Figure 46	Les zones climatiques d'hiver en Algérie.	107
Figure 47	La moyenne de température de la ville de Biskra de l'année 2008	108
Figure 48	La moyenne de température durant la décennie 1999 – 2008	109
Figure 49	La moyenne de l'humidité relative de la ville de Biskra de l'année 2008	109
Figure 50	La moyenne de l'humidité relative durant la décennie 1999 – 2008	110
Figure 51	La Répartition annuelle des précipitations de la ville de Biskra de l'année 2008	111
Figure 52	Répartition des précipitations durant la décennie 1999 – 2008	111
Figure 53	Vitesse moyenne des vents de la ville de Biskra de l'année 2008	112
Figure 54	La rose des vents de la ville de Biskra durant la décennie 1999 – 2008	113
Figure 55	L'indice d'aridité de la ville de Biskra durant la décennie 1999 – 2008.	114
Figure 56	Isothermes indiquant les différentes zones thermiques	116
Figure 57	Diagramme d'Olgyay	117
Figure 58	Diagramme de Givoni	118
Figure 59	Diagramme solaire indiquant la trajectoire solaire, et la zone de surchauffe pour la ville de Biskra – latitude 34°48'	119
Figure 60	Choix des stations de mesures par rapport à l'ensemble de la ville.	127
Figure 61	Les rues où les stations de mesure sont placées	128
Figure 62	Vue sur la station de mesure N°1	130
Figure 63	Coupe sur la station de mesure N°1, La hauteur des constructions = 14,8m La largeur de la rue = 6,50m	130
Figure 64	Vue sur la station de mesure N°2.	130
Figure 65	Coupe sur la station de mesure N°2, La hauteur des constructions = 8m La largeur de la rue = 8m	130
Figure 66	Vue sur la station de mesure N°3.	131
Figure 67	Coupe sur la station de mesure N°3, La hauteur des constructions = 5m La largeur de la rue = 14,5m	131
Figure 68	Vue sur la station de mesure N°4	131
Figure 69	Coupe sur la station de mesure N°4, La hauteur des constructions = 14m La largeur de la rue = 6,5m	131
Figure 70	Vue sur la station de mesure N°5.	132
Figure 71	Coupe sur la station de mesure N°5, La hauteur des constructions = 9m La largeur de la rue = 9m	132

Liste des figures :

Figure 72	Vue sur la station de mesure N°6	132
Figure 73	Coupe sur la station de mesure N°6, La hauteur des constructions = 6m La largeur de la rue = 14,5m	132
Figure 74	Transfert de flux en surface	140
Figure 75	Instrument de mesure « Thermo-Anémomètre à hélice LV 110 ».	142
Figure 76	Instrument de mesure « Thermomètre infrarouge».	142
Figure 77	Instrument de mesure « multimètre ».	143
Figure 78	Instrument de mesure « Thermo-hygromètre HD100 ».	143
CHAPITRE VI		
Figure 79	Coupes de sous sol en béton et en asphalte.	148
Figure 80	Les températures de l'air dans les stations N°1 et N°2 et la température météorologique.	150
Figure 81	Les températures de l'air dans les stations N°5 et N°6 et la température météorologique.	151
Figure 82	Les températures de l'air dans les stations N°3 et N°4 et la température météorologique.	152
Figure 83	L'humidité relative dans les stations N°1 et N°2 et l'humidité relative de la station météorologique.	153
Figure 84	L'humidité relative dans les stations N°5 et N°6 et l'humidité relative dans la station météorologique.	154
Figure 85	L'humidité relative dans les stations N°3 et N°4 et l'humidité relative dans la station météorologique.	155
Figure 86	La température surfacique de mur dans les stations N°1 et N°2.	156
Figure 87	La température surfacique de mur dans les stations N°5 et N°6	157
Figure 88	La température surfacique de mur dans les stations N°3 et N°4	158
Figure 89	La température surfacique de sol en asphalte dans les stations N°1 et N°2.	159
Figure 90	La température de sol en béton dans les stations N°5 et N°6.	160
Figure 91	La température de sol en asphalte dans la station N°3, et dans le sol en béton dans la station N°4	161
Figure 92	La vitesse de l'air dans les stations N°1 et N°2 et la vitesse de l'air dans la station météorologique	162
Figure 93	La vitesse de l'air dans les stations N°5 et N°6 et la vitesse de l'air dans la station météorologique	163
Figure 94	La vitesse de l'air dans les stations N°3 et N°4 et la vitesse de l'air météorologique.	164
Figure 95	La température moyenne radiante dans les stations N°1 et N°2.	165
Figure 96	La température moyenne radiante dans les stations N°5 et N°6	166

Liste des figures :

Figure 97	La température moyenne radiante dans les stations N°3 et N°4.	167
Figure 98	cycle de flux de chaleur latente, sensible et conductive, et le bilan énergétique de sol dans une rue canyon, sol en asphalte	169
Figure 99	cycle de flux de chaleur latente, sensible et conductive, et le bilan énergétique de sol dans une rue dièdre, sol en asphalte.	170
Figure 100	cycle de flux de chaleur latente, sensible et conductive, et le bilan énergétique de sol dans une rue dégagé, sol en asphalte.	171
Figure 101	cycle de flux de chaleur latente, sensible et conductive, et le bilan énergétique de sol dans une rue canyon, sol en béton.	172
Figure 102	cycle de flux de chaleur latente, sensible et conductive, et le bilan énergétique de sol dans une rue dièdre, sol en béton.	173
Figure 103	cycle de flux de chaleur latente, sensible et conductive, et le bilan énergétique de sol dans une rue dégagé, sol en béton	174

Les paramètres de bilan énergétique :

R_n : Rayonnement net	W/m^2
H : Flux de chaleur sensible	W/m^2
$L_v E$: Flux de chaleur latente	W/m^2
G : Flux de chaleur dans le sol	W/m^2
J : Flux de chaleur absorbé par la végétation	W/m^2
E : Flux massique de vapeur d'eau	W/m^2
h_c : Coefficient de convection thermique	
T_a : Température de l'air	K
$T_{surf\ sol}$: Température de surface sol	K
V_{vent} : Vitesse du vent	m/s
K_E : Coefficient de Transfer de masse convective	
ρ : Masse volumique de l'air	$\rho_{air} = 1.18kg.m^{-3}$
c_p : Chaleur spécifique massique de l'air	$c_p = 1004J/kg.K$
L_v : Chaleur latente de vaporisation de l'eau	$L_v = 2.4 * 10^6 j/kg$
M_W : Masse molaire de la vapeur d'eau	$M_W = 18,01g * mol^{-1}$
R : Constante des gaz parfaits	$R = 8.32j.K^{-1}.mol^{-1}$
P_{VS} : La pression de vapeur saturante	kPa
P_v : La pression de vapeur	kPa
Hr : Humidité relative	%
K : Conductivité thermique du sol	$W/m/K$
T_1 : Température moins chaude	K
T_2 : Température plus chaude	K
z_1 : Niveau de T_1	m
z_2 : Niveau de T_2	m

SOMMAIRE

CONTENU	PAGE
INTRODUCTION GENERALE.....	01
PROBLEMATIQUE.....	01
HYPOTHESES DE RECHERCHE.....	03
OBJECTIFS.....	03
STRUCTURE DE RECHERCHE	04
METHODOLOGIE DE RECHERCHE.....	04
SYMETRIE DE LA RECHERCHE.....	05
CONTRIBUTION SCIENTIFIQUE.....	05
BIBLIOGRAPHIE.....	07
CHAPITRE I : ETAT DE L'ART: REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	
INTRODUCTION.....	08
De la climatologie à la climatologie urbaine	08
Influence d'une ville sur son environnement	09
Prise en compte du microclimat urbain dans l'aménagement urbain et l'architecture : quelques exemples.....	11
L'îlot de chaleur urbain	14
Caractéristiques de l'îlot de chaleur urbain	15
Caractéristiques temporelles et spatiales de l'îlot de chaleur urbain	15
Les différentes échelles d'étude des îlots de chaleur urbains	17
La couche limite urbaine (UBL)	17
La couche de canopée urbaine (UCL)	19
La couche de surface (SL)	20
Formalisation du bilan énergétique à l'échelle d'une ville	22
Conditions optimale de développement du phénomène	23
Causes du phénomène d'îlot de chaleur urbain	23
Rôle des propriétés radiatives et thermiques des matériaux	24
Rôle de la géométrie des rues	24
Rôle de l'exposition des surfaces au rayonnement solaire	25
Pollution atmosphérique	25
Méthodes employées dans l'identification des îlots de chaleur urbains : La combinaison Mesures / modélisation	25

Mesures	26
Modélisation	29
Modèles : synthèse bibliographique des modèles de simulations développés pour la climatologie urbaine	30
Les simulations TEB	31
Les simulations LUMPS	32
Les simulations SHIM	33
Les simulations URBAN 3	33
Les simulations CSU MM	34
Les simulations SOLENE	34
Les simulations ENVI-met	35
CONCLUSION	37
BIBLIOGRAPHIE.....	38
CHAPITRE II : L'ETUDE CHRONOLOGIQUE DE LA GENESE DE LA RUE	
INTRODUCTION.....	42
Définition de la rue	43
Le développement de la rue à travers l'histoire	44
La rue des villes Greco - Romaines	44
La rue des villes Arabo – musulmanes : lieu de sociabilité	47
La rue des villes au 17ème siècle	48
La ville médiévale (début 17ème siècle) : élément de stratification sociale	48
La Renaissance (moitié 17ème siècle)	50
La rue des villes au 18ème siècle	50
La rue des villes au 19ème siècle	51
La rue des villes au 20ème siècle.....	53
CONCLUSION.....	54
BIBLIOGRAPHIE.....	55
CHAPITRE III : IMPACT DES CARACTERISTIQUES PHYSIQUE ET GEOMETRIQUES DE LA RUE SUR LE MICROCLIMAT URBAIN.	
INTRODUCTION.....	56
Mesure des variations du microclimat urbain en relation avec les éléments de la rue	57
Nature des matériaux de construction	58

Albédo	58
Émissivité.....	60
Propriétés thermiques caractéristiques.....	60
Environnement climatique dans une rue.....	61
La température moyenne radiante (MRT).....	62
L'humidité relative.....	63
La température de l'air ambiant.....	63
Impacts radiatifs.....	63
Impact éolien.....	65
La relation entre la géométrie de la rue et la pénétration des rayons solaires au niveau de la rue	66
La relation entre les composants de la rue et le transfert radiatifs au niveau de la rue	67
Bilan énergétique dans le milieu urbain.....	68
À l'échelle d'une surface	68
À l'échelle urbaine	69
Flux de chaleur sensible (H)	70
Flux de chaleur latente (LE).....	70
Flux de chaleur dans le sol et les bâtiments (G).....	71
La notion d'adaptation	71
L'adaptation climatique de la rue.....	72
Applications urbaines expérimentales de stratégies d'atténuations de l'îlot de chaleur urbain	72
Plans d'urbanismes adaptés à la formation du microclimat	73
Rafraîchissement des milieux urbains.....	74
Mesures atténuant le réchauffement des rues	75
Végétalisation.....	76
Infrastructures urbaines.....	77
Matériaux réfléchissants	77
Architecture bioclimatique	78
Isolation et étanchéité des bâtiments	78
Inertie thermique	79
Vitrages.....	79
Protections solaires	80

Réduction de la chaleur anthropique.....	80
Contrôle de la production de chaleur dans le bâtiment.....	80
Appareils de bureautique.....	81
Appareils électroménagers	81
Gestion des eaux de pluie et perméabilité des sols.....	81
Réduction du parc automobile en milieu urbain.....	82
Bâtiments passifs : contrôle de la demande de climatisation.....	83
CONCLUSION.....	85
BIBLIOGRAPHIE.....	86
CHAPITRE IV : PRESENTATION DE L'ENVIRONNEMENT D'ETUDE	
INTRODUCTION.....	91
Présentation du corpus d'analyse.....	92
Premier enquête.....	92
Caractéristiques du bâti et de voirie de chaque type d'habitat.....	94
Tissu traditionnel.....	94
Habitat colonial.....	95
Recasement	96
Type contigüe	97
Habitat auto construit non planifié	98
Habitat auto construit planifié (lotissement)	99
Habitat type villa	100
Grands ensembles.....	101
Habitat individuel préfabriqué.....	102
Bidon villes.....	103
Deuxième enquête.....	103
Analyse climatique de la ville de Biskra.....	105
Choix de la ville de Biskra.....	105
Situation et climat de Biskra : Ville carrefour a climat rude.....	105
Les paramètres climatiques de la ville de Biskra.....	107
La température de l'air	107
L'humidité relative.....	109
L'insolation	110

Les précipitations.....	110
Les vents	112
L'indice d'aridité.....	113
Détermination des isothermes de la ville de Biskra.....	115
Les logiques de production du cadre bâti à Biskra sous la contrainte de ses données climatiques	119
Epoque précoloniale : Architecture vernaculaire.....	119
Epoque coloniale : production en damier.....	120
Epoque post coloniale	120
Production étatique : produit en zoning.....	120
Production populaire : produit informel.....	121
L'îlot de chaleur urbain dans la ville de Biskra	121
CONCLUSION.....	122
BIBLIOGRAPHIE.....	123
CHAPITRE V: PROCESSUS METHODOLOGIQUE	
INTRODUCTION.....	124
Choix des stations de mesure urbaines.....	125
Critères du choix des stations de mesure.....	126
La situation	126
L'absence de végétation.....	126
Morphologie.....	127
Description du site.....	127
Station de mesure N°1 (Rue canyon $H > 2L$, sol en asphalte).....	128
Station de mesure N°2 (Rue dièdre $H=L$ ou $H=0,5L$, sol en asphalte)	128
Station de mesure N°3 (Rue dégagée $H > 0,25L$, sol en asphalte).....	129
Station de mesure N°4 (Rue canyon $H > 2L$, sol en béton).....	129
Station de mesure N°5 (Rue dièdre $H=L$ ou $H=0,5L$, sol en béton).....	130
Station de mesure N°6 (Rue dégagée $H > 0,25L$, sol en béton).....	130
Les stations de mesures urbaines.....	132
Les paramètres climatiques mesurés.....	134
La température de l'air.....	134
La température de surface sol.....	134

La température de surface mur	135
La température moyenne radiante	135
L'humidité relative	136
La vitesse de l'air.....	136
L'échelle de bilan d'énergie évalué.....	137
Evaluation de bilan énergétique du sol.....	137
Equation du flux de chaleur sensible H.....	137
Flux de chaleur Latente LVE.....	138
Flux de chaleur conductif G	138
Campagne de mesure.....	139
Instrument de mesure.....	139
Taille de l'échantillon sélectionné.....	142
Problèmes rencontrés durant la recherche.....	142
CONCLUSION.....	143
BIBLIOGRAPHIE.....	144
CHAPITRE VI: INVESTIGATION	
INTRODUCTION.....	145
Campagne de mesure et conditions climatiques.....	146
Résultats obtenus et interprétation.....	147
La température de l'air : L'orientation de la rue E-O Rue canyon et dièdre.....	148
La température de l'air : L'orientation de la rue NE-SO Rue dièdre et dégagée.....	149
La température de l'air : L'orientation de la rue N-S & NO-SE Rue dégagée et canyon	150
L'humidité relative : L'orientation de la rue E-O Rue canyon et dièdre.....	151
L'humidité relative : L'orientation de la rue NE-SO Rue dièdre et dégagée.....	152
L'humidité relative : L'orientation de la rue N-S & NO-SE Rue dégagée et canyon	153
La température de mur : L'orientation de la rue E-O Rue canyon et dièdre.....	154
La température de mur : L'orientation de la rue NE-SO Rue dièdre et dégagée.....	155
La température de mur : L'orientation de la rue N-S & NO-SE Rue dégagé et canyon.....	156
La température de sol en asphalte : L'orientation de la rue E-O	

Rue canyon et dièdre.....	157
La température de sol en béton: L'orientation de la rue NE-SO Rue dièdre et dégagée.....	158
La température de sol : L'orientation de la rue N-S & NO-SE Rue dégagée et canyon.....	159
La vitesse de l'air : L'orientation de la rue E-O Rue canyon et dièdre.....	160
La vitesse de l'air : L'orientation de la rue NE-SO Rue dièdre et dégagé.....	161
La vitesse de l'air : L'orientation de la rue N-S & NO-SE Rue dégagée et canyon.....	162
La température moyenne radiante : L'orientation de la rue E-O Rue canyon et dièdre.....	163
La température moyenne radiante : L'orientation de la Rue NE-SO Rue dièdre et dégagée.....	164
La température moyenne radiante : L'orientation de la rue N-S & NO- SE Rue dégagée et canyon	165
Station No.1.....	167
Station No.2.....	168
Station No.3.....	169
Station No.4.....	170
Station No.5.....	171
Station No.6.....	172
CONCLUSION.....	173
BIBLIOGRAPHIE.....	175
CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS.	
Conclusion générale	176
Recommandations.....	182
BIBLIOGRAPHIE.....	184
Annexe 1	
Annexe 2	

Introduction :

Dans les villes à climat aride, l'objectif est toujours d'éviter les rayons solaires directs et de rechercher l'ombre et la fraîcheur. Ces villes se développent rapidement, l'industrialisation, les activités anthropiques et l'élévation du trafic du moteur augmentent la consommation d'énergie et la pollution atmosphérique, abaissent la qualité environnementale et climatique et engendrent un surchauffe des centres urbains ¹, ce qui engendre des effets néfastes sur la santé humaine, ainsi que des effets très dangereux sur la flore et la faune urbaines et leurs diversités. Les effets de cette accélération de l'urbanisation atteignent également la qualité de l'air, de l'eau et du microclimat ².

Cependant, dans les tissus urbain récents, les espaces urbains sont généralement très ouverts agressés de toutes parts et à toute heure par un soleil chaud. Il s'avère que parmi l'ensemble des espaces urbains les rues et les places sont les plus touchées par les rayons solaires. Leur conception actuelle est soumise à des considérations autres que climatiques. Et les rues telles qu'elles sont conçues désignées par le terme « canyons, dégagés et dièdres », contribuent à la formation de ce phénomène microclimatique propre aux milieux urbains appelé « îlot de chaleur urbain », et ce, de part leur géométries et leurs orientations.

Ce constat nous incite à essayer de mieux comprendre comment la conception de l'espace extérieur urbain notamment la « rue » peut affecter le climat urbain.

Problématique:

Parce qu'elle présente une forte concentration des populations et des activités, en évolution et augmentation constantes, la ville en milieux arides constitue un système complexe, la forme urbaine crée un microclimat spécifique des villes, caractérisé principalement par l'îlot de chaleur urbain.

L'îlot de chaleur urbain est crée par le contraste entre la ville et sa périphérie, les deux interagissant avec l'atmosphère.

1- P.Littlefair, D.Hall et A.Spanton. Actions urbaines de recherches, de planification pour améliorer l'accès solaire, le refroidissement passif et le microclimat.2002 in <http://www.lemma.ulg.ac.be>
2- ROHINTON, Emmanuel. Urban Heat Island And Cooling Load .1999

La végétation dans la périphérie de la ville et la structure urbaine se comportent très différemment en termes de cumul et de captage d'énergie et d'échanges avec l'atmosphère.

Lors des choix d'aménagements urbains, il est pertinent de disposer des thèmes précis, pour évaluer à priori des scénarios d'aménagement urbains, en tenant compte du réchauffement de l'air, parce que le climat fait partie intégrante de l'architecture bioclimatique. Les qualités du climat sont des données primordiales de la conception bioclimatique.

L'analyse des caractéristiques de la climatologie urbaine nous a incités à éclaircir le phénomène de l'îlot de chaleur urbain qui est notre point de départ de la problématique relative au microclimat urbain.

L'ampleur du phénomène dépend de nombreux paramètres urbanistiques tels que taille et couleur des bâtiments, matériaux utilisés, largeur et orientation des rues, densité de l'habitat, etc.

Pour protéger contre cet îlot de chaleur urbain il faut choisir une forme urbaine optimale. Il y'a une relation entre les caractéristiques microclimatiques et la forme urbaine c'est à dire les corrélations entre la forme urbaine et divers aspects des performances environnementales en fonction des facteurs solaire et éolien ainsi que la consommation d'énergie.

Les paramètres environnementaux qui ont été identifiés comme jouant un rôle majeur sur le réchauffement climatique dans le contexte urbain à une échelle locale, sont ceux qui sont directement influencés par les altérations microclimatiques dues à l'urbanisation. Les facteurs micro climatiques clefs comprennent la température de l'air et de surface (effet d'îlot de chaleur urbain), la température moyenne radiante, la vitesse de l'air et l'humidité relative.

Donc, il y a une grande variabilité des facteurs qui contribuent à la surchauffe de l'air en milieu urbain. Notre présente recherche s'est accentuée sur la géométrie et l'orientation des rues.

Pour cela on pose deux questions :

- Quel est l'influence de la géométrie de la rue (hauteur des immeubles qui la délimite et largeur de la chaussée) et son orientation sur la modification du microclimat urbain ?

- Quel est le comportement et l'ampleur du bilan d'énergie des sols selon le type de revêtement de sol en béton et sol en asphalte dans des rues de géométrie différentes ?

Hypothèses de recherche :

Beaucoup de recherches passées sur l'îlot de chaleur urbain dans les climats arides et semi arides, ont mis l'accent sur le bilan énergétique de sol ainsi que l'importance de l'orientation et la géométrie (définie par le ratio de la hauteur moyenne des immeubles sur la largeur moyenne des rues H/L) en tant que cause principale de ce phénomène (SHASHUA. L, 2000). Son impact est concrétisé par le fait que :

- Le réchauffement de l'air dans un milieu urbain est considérablement influencé par les caractéristiques géométriques de la rue.
- L'orientation de la rue affecte directement la température de l'air.
- L'ampleur du bilan d'énergie du sol est tributaire de la nature du revêtement des sols dans des rues de géométrie différente.

Objectifs:

Le travail a été organisé autour des objectifs suivants :

- Réaliser une base de données des paramètres climatique (la température de l'air, la température moyenne radiante, la vitesse de l'air, l'humidité relative, ainsi que la température de surface) grâce à une campagne de mesures sur terrain.
- Analyser et interpréter les résultats de l'investigation, afin d'étudier l'influence de facteurs climatiques sur la modification de l'îlot de chaleur urbain (réchauffement de l'air) dans des rues de géométries différentes.
- Démontrer que la régulation thermique du microclimat urbain dans un climat aride comme celui de la ville de Biskra peut être obtenu au niveau de la rue par des choix judicieux de l'orientation et de la géométrie de celle-ci.
- Démontrer que la fluctuation du bilan d'énergie du sol avec un revêtement en asphalte et en béton est fonction de la géométrie et l'orientation de la rue.

- SHASHUA . L, Hoffman Bar et M.E. . *Geometry and orientation aspects in passive cooling of canyon streetswith trees*". Passive low energy in architecture. 2000. p.483-488

Structure de recherche :

La recherche est divisée en deux grandes parties : une partie théorique issue d'une recherche bibliographique répartie en trois chapitres à travers laquelle l'objectif était de cerner et comprendre les éléments théoriques de base (état de l'art - revue bibliographique -, la rue à travers l'histoire, l'impact de la géométrie de la rue sur le microclimat urbain) qui contribuent à la canalisation de la présente recherche vers les objectifs ciblés. Puis un chapitre présente l'environnement d'étude. Une deuxième partie qui concerne le volet pratique et qui consiste en une campagne de mesure effectuée sur terrain faisant l'objet du cinquième chapitre. Cette partie de la recherche s'est basée sur le choix d'un tissu urbain existant qualifié de représentatif (habitat auto construit planifié type lotissement) dans lequel une série de mesure a été effectuée : La température de l'air et la vitesse de l'air à l'aide d'un instrument de mesure appelé « Thermo-Anémomètre à hélice LV 110 ». La température de surface sol et mur par le biais d'un instrument appelé « Thermomètre infrarouge ». La température de sous-sol avec un instrument appelé « multimètre HAOYUE M890C⁺ ». La température moyenne radiante et l'humidité relative par le biais d'un instrument appelé « Thermo-hygromètre HD100 », dans le but d'évaluer l'influence des facteurs climatiques sur les modifications du microclimat urbain dans des rues de géométrie et d'orientations différentes.

Méthodologie de recherche :

Ce travail de thèse est focalisé sur l'influence des facteurs climatiques dans un milieu urbain sur le réchauffement de l'air, ses mesures et ses modélisations. Il se propose de contribuer à l'approfondissement des connaissances des mécanismes d'échange d'énergie dans la canopée urbaine en suivant une démarche de mesures et modélisation. Parce que dans une zone urbaine, l'air est le plus souvent chaud et les caractéristiques de la surface sont fortement liés à la nature des matériaux, l'orientation et la géométrie des rues et présentent de ce fait une forte variabilité spatiale. La démarche utilisée dans cette recherche est commencé par une synthèse bibliographique pour avoir traité les modifications liées à une ville sur son environnement climatique.

Il s'avère que parmi l'ensemble des espaces urbains les rues et les places sont les plus touchées par le réchauffement de l'air. Et les rues telles qu'elles sont conçues

désignées par le terme canyons urbains, contribuent à la formation de ce phénomène microclimatique propre aux milieux urbains appelé « îlot de chaleur urbain », et ce, de part leur géométrie et leurs orientations ³.

Pour ce faire une approche morphologique s'avère indispensable à l'étude de l'impact de la morphologie urbaine sur le micro climat urbain.

Symétrie de la recherche :

Les recherches en climatologie urbaine utilisent deux méthodes largement complémentaires : une méthode descriptive, qui consiste en une acquisition de paramètres climatologique (température de l'air, humidité, vitesse de l'air,...), et une autre méthode physique, qui s'appuie sur la modélisation numérique pour interpréter les paramètres et comportement climatique. La finalité de ces recherches est de comprendre les mécanismes d'interaction entre une zone urbaine et la circulation dans les basses couches de l'atmosphère. Notre recherche utilise la méthode descriptive pour mieux appréhender les problèmes du réchauffement de l'air dans un milieu urbain. La température moyenne radiante qui représente le bilan thermique pour les journées ensoleillées et chaudes d'été.

Contribution scientifique :

L'interaction entre le climat et la ville est logiquement devenue une des préoccupations les plus importantes. En effet, le climat urbain actuel est fortement perturbé par la structure même de la ville, par les matériaux de surface employés et par les activités anthropiques qui s'y développent. Notre contribution a permis de développer une méthodologie et des procédures dans le côté des études thermiques dont les applications en micro climatologie urbaine sont immédiates. Nous essayons dans cette étude d'envisager l'impact de la ville sur le climat à une échelle que nous avons qualifiée de microclimatique.

3- **DE HATTEN Anne**, Mise en évidence des caractéristiques générales de l'îlot de chaleur urbain Strasbourgeois, Thèse de maîtrise de Géographie, Université Louis Pasteur de Strasbourg, 2002, p10.

En nous plaçant au niveau de la rue, les interactions entre l'environnement bâti et le paysage urbain sont immédiates et peuvent induire des phénomènes qu'il est nécessaire de bien comprendre de manière à pouvoir faire des propositions constructives pour diminuer les conséquences néfastes de réchauffement de l'air. Ainsi, nous essayons d'étudier les différents phénomènes de transfert de chaleur en milieu urbain. Cette connaissance théorique, a permis de définir certaines notions et a mis en exergue la complexité des échanges radiatifs en ville. En analysant les principaux résultats d'études menées dans le domaine de la Micro climatologie urbaine, nous mettons en évidence le comportement thermique de certaines rues, référencées de « Canyon, Dièdre et Dégagé », et relever certaines spécificités du microclimat comme l'îlot de chaleur urbain. Des tentatives de caractérisation de ce phénomène visent à le relier à la géométrie et à l'orientation des rues.

BIBLIOGRAPHIE

- **DE HATTEN Anne**, Mise en évidence des caractéristiques générales de l'îlot de chaleur urbain Strasbourgeois, Thèse de maîtrise de Géographie, Université Louis Pasteur de Strasbourg, 2002, p10.
- **P.LITTLEFAIR, D.HALL et A.SPANTON**. Actions urbaines de recherches, de planification pour améliorer l'accès solaire, le refroidissement passif et le microclimat.2002 in <http://www.lema.ulg.ac.be>
- **ROHINTON, Emmanuel**. Urban Heat Island And Cooling Load .1999
- **SHASHUA . L, Hoffman Bar et M.E.** . *Geometry and orientation aspects in passive cooling of canyon streetswith trees*". Passive low energy in architecture. 2000. p.483-488

CHAPITRE I : ETAT DE L'ART : REVUE
BIBLIOGRAPHIQUE .

Introduction :

La ville a toujours été considérée comme étant le lieu par excellence de la civilité et de l'urbanité¹. Ce travail s'inscrit dans l'une des thématiques de recherche qui concerne la mise en relation des ambiances climatiques et des ensembles bâties. Plus précisément le climat peut constituer un élément déterminant dans l'architecture lorsqu'il est à contrainte unique. Par contre s'il est à caractéristiques conflictuelles il faut chercher un compromis selon les facteurs climatiques dominants du lieu². Les analyses qui traitent des effets des morphologies urbaines en relation avec le microclimat urbain sont, à notre connaissance, assez rares. Probablement parce que c'est une question qui ne peut intéresser, au premier chef, que les auteurs de cette morphologie, c'est à dire les auteurs des projets urbains. C'est donc auprès des travaux, dont les préoccupations sont assez proches de la production opérationnelle du cadre bâti, que l'on peut retrouver une approche du rapport entre éléments de la forme urbaine associant ses géométries et orientations des rues et les paramètres microclimatiques.

Passons brièvement en revue les principales recherches qui traitent de cette question, et ce qu'elles apportent pour le développement de notre recherche.

1. De la climatologie à la climatologie urbaine :

Depuis une trentaine d'année, des nombreux travaux de recherche en climatologie urbaine se sont succédé, selon deux types d'approches complémentaires :

- Les méthodes descriptives, qui consistent en une acquisition de paramètres climatiques standards (température de l'air, vitesse de l'air, humidité,...), et qui les traitent de manière statistique.
- Les méthodes physiques, qui s'appuient sur la modélisation pour interpréter les paramètres et comportement climatiques tels qu'ils résultent des mesures et observations.

L'objectif de ces recherches est de comprendre les mécanismes d'interaction entre une zone urbaine et la circulation dans les basses couches de l'atmosphère.

¹ MALVERTI Xavier et PICARD Aleth, les saisons dans la ville, 1990, p115.

² ABDOU. Saliha, Investigation sur l'intégration climatique dans l'habitation traditionnelle en régions arides et semi arides d'Algérie: Cas du Ksar d'Ouargla et de la médina de Constantine. Thèse de doctorat U:Cons 2004.

1.1 Influence d'une ville sur son environnement :

Le climat dépend des facteurs cosmiques, géographiques et des facteurs locaux. Pour la compréhension du concept climat, la notion d'échelle du climat s'est introduite avec une fraction de l'espace sous un ordre de grandeur varié. « *Il y a donc un climat planétaire, quelques climats zonaux, un grand nombre de climats régionaux et une multitude de microclimats* ». Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques de chacun d'eux :³

Echelle du climat	Ex. de mécanismes caractéristiques	Espace géographique	Extension horizontale	Extension verticale	Durée de vie des processus
Globale	Radiation solaire, circulation générale (atmosphère)	Planète	20.000 Km	40 Km	1 an
Zonale	Flux d'ouest, mousson, CIT *	Zone	5.000 Km	15 Km	Quelques semaines
Synoptique	Anticyclone, perturbation	Portion de continent/océan	3.000 à 1.000 Km	15Km	90 h
Régional méso climat	Ascendance orographique, brise de mer, tempête	Pays	300 à 50 Km	12 à qq Km	48 à 5 h
Local topo climat	Orage, brise de versant, inversion thermique	Vallée, ville	5 Km	100 m	24 à 1 h
Microclimat	Turbulence	Site de clairière, rue	10 m	2 m	

Tableau, I.1 : Echelles de climat
Source : TABEAUD, Martine, 2000.

Le climat spécifique aux villes dit : « microclimat urbain » résulte de processus rapides d'urbanisation d'où l'intérêt de bien le comprendre afin de l'intégrer dans le cadre de la planification urbaine en tant que concept nouveau. Aujourd'hui, où le projet urbain est devenu d'actualité, des questions se posent à nouveau et les réponses doivent être traitées à partir des connaissances acquises en matière de « microclimatique urbaine », qui devient par conséquent un sujet de recherche.

³ TABEAUD, Martine, *La climatologie*, Edition ARMAND COLIN, Paris, 2000, p 156-157.

Le contexte urbain offre un environnement riche et varie qui influence, d'une part la manière avec laquelle nous utilisons les espaces urbains (mouvement, séquence et activité) et d'autre part, notre perception aux excitations thermiques (Steemers et al, 2004, p.85). Par ailleurs, (Grimmond et al 2002) affirment qu'une mauvaise adaptation climatique des environnements urbains a souvent pour conséquence l'utilisation d'une climatisation active et ainsi une augmentation de la consommation énergétique. La ville se différencie des zones non ou faiblement bâties par : la production d'énergie anthropique, quantité d'énergie due au chauffage des habitations, à la circulation automobile et aux industries. La réduction de la vitesse du vent dans les basses couches. La nette diminution de l'évapotranspiration due à la réduction de la végétation, ainsi qu'à l'imperméabilisation de la majorité des surfaces. Et un important stockage de chaleur an journée en raison des propriétés thermiques des matériaux des constructions.

Cette recherche s'inscrit tout d'abord dans l'univers des investigations portant sur la diversité environnementale en milieux urbains. Elle vise à étudier et analyser le rapport entre la morphologie urbaine (géométrie et orientation des rues) et les microclimats urbains (modifications de l'îlot de chaleur urbain) dans les espaces extérieurs par des mesures sur terrain et simulation. En milieux urbains, les paramètres microclimatiques tels que la température de l'air et de surface, la température moyenne radiante, la vitesse de l'air et l'humidité relative varient instantanément en fonction de l'espace et du temps. Ces variations, souvent influencées par la morphologie urbaine exprimée dans notre recherche par l'orientation et la géométrie des rues qui est définie par le ratio H/L et donc par la valeur du facteur d'ouverture au ciel (SVF).

Cette divergence permet d'évaluer l'impact de ces deux paramètres sur l'ambiance thermique extérieur dont la manifestation la plus célèbre est l'îlot de chaleur urbain. Les espaces extérieurs concernés par cette recherche sont les rues.

-**STEEMERS K. et STEANE M.A.**, Environmental Diversity in Architecture, Spon Press, Great Britain, 2004.

- **GRIMMOND C.S.B., OKE T.R.**, turbulent heat fluxes in urban areas : observation and a Local-Scale Urban Meteorological Parametrization Scheme (LUMPS), journal of applied meteorology, 2002, 41 : 792-810.

La géométrie et l'orientation de ces espaces présentent un intérêt majeur pour contribuer à l'appréhension des problèmes du réchauffement de l'air dans un milieu urbain. Dans cette optique, plusieurs recherches démontrent que les paramètres microclimatiques sont de prime importance du point de vue des variations de l'îlot de chaleur urbain dans un milieu urbain.

1.2 Prise en compte du microclimat urbain dans l'aménagement urbain et l'architecture : quelques exemples

L'étude de (Katzschner, 1988) concernant la ville de Hannoversch-Münden (Allemagne) se focalise sur la ventilation au sein de la ville et par voie de conséquence sur la dispersion des polluants. Une cartographie de la ville avec les zones de faibles ou fortes ventilations et les couloirs de ventilation permet à (Katzschner, 1988) de conclure que Hannoversch-Münden peut difficilement accueillir des industries polluantes à ses alentours sans risquer une pollution de l'air importante. Cette étude montre que de telles cartographies peuvent être mises en relation avec le zonage effectué régulièrement en aménagement urbain. (Givoni, 1998) s'est intéressé aux considérations d'ordre climatique dans le bâtiment et l'aménagement urbain. Son ouvrage, conséquent, aborde à la fois la climatologie du bâtiment (notions de confort intérieur, éléments architecturaux influençant le confort intérieur, propriétés des matériaux et performance thermique des bâtiments, les systèmes de chauffage passif au soleil, le refroidissement passif, ou encore les caractéristiques climatiques de maisons types) et la climatologie urbaine (caractéristiques générales, effets de l'aménagement urbain, ou encore effets des espaces végétalisés) avant de proposer des indications pour la construction des bâtiments et l'aménagement urbain. La structure d'une ville peut être contrôlée par la planification urbaine et l'aménagement urbain ; il est alors possible selon (Givoni, 1998) de modifier le climat urbain par le biais des règles d'urbanisme et par la conception des zones périurbaines voisines et des nouvelles villes.

-**KATZSCHNER Lutz**, The Urban Climate as a Parameter for Urban Development. Energy and Buildings, vol.11, 1988, pp.137-147.

-**GIVONI, B.**, Climate considerations in building and urban design, John Wiley & Sons, New York, 1998.

Il met ainsi en avant différents critères tels que la localisation géographique de la ville, sa taille, la densité de constructions, la nature de la surface, la taille des bâtiments, l'orientation et la largeur des rues, etc. Ses indications, qui concernent quatre types de climat (chaud et sec, chaud et humide, froid, et froid en hiver, chaud et humide en été), abordent à la fois le bâtiment et l'aménagement urbain, avec cependant une forte prédominance du premier. Cette dernière partie s'apparente plus à un ensemble de règles de bon sens qu'à une analyse des conséquences d'une transformation du cadre bâti.

(Scherer et al, 1999) se sont intéressés aux concepts et méthodes pour analyser et évaluer le climat urbain dans un but d'optimisation des procédés de planification urbaine. Ils se sont plus particulièrement intéressés à la région de Bâle (Suisse) et ont produit des cartes climatiques de cette région (distinguant plusieurs types de secteurs) pour permettre aux aménageurs de prendre en compte le climat urbain et ses interactions avec les structures urbaines.

Pour chaque section climatique, un guide d'aménagement abordant les questions de ventilation, de qualité de l'air et de conditions thermiques a été proposé.

Dhakal et Hanaki, 2002) se sont intéressés à l'influence des rejets de chaleur anthropique sur l'environnement thermique urbain de Tokyo. Les rejets de chaleurs dus aux bureaux, commerces, habitats ont été simulés avec l'aide du logiciel de modélisation DOE-2.

L'approche utilisée ici prend en compte la chaleur stockée dans la constitution des bâtiments. Un système géographique a été utilisé pour connaître la distribution de rejet de chaleur dans tout Tokyo. Les analyses à l'échelle méso du climat urbain ont été menées avec un modèle qui s'appuie sur le « Colorado State University Mesoscale Model ». Les possibles améliorations de l'environnement thermique urbain ont été étudiées par le biais de deux types de scénarii en relation au management des sources de chaleur et des modifications de la surface urbaine.

-SCHERER D., FEHRENBACH U., BEHA H.-D., PARLOW E., Improved concepts and methods in analysis and evaluation of the urban climate for optimizing urban planning processes. *Atmospheric Environment*, 1999, vol.33, pp. 4185-4193.

-DHAKAL S., HANAKI K., Improvement of urban thermal environment by managing heat discharge sources and surface modification in Tokyo, *Energy and Buildings*, 2002, vol.34, pp.13-23.

Les modélisations ont été effectuées pour une journée d'été. La meilleure amélioration pour la température moyenne de la journée trouvée est de 0,47°C et ceci en mettant de la végétation sur le sol autour des bâtiments de Tokyo. De même, l'élévation maximale de la température moyenne pour la nuit a été de 0,11°C et ceci en déversant toute la chaleur au niveau du sol (chaleur issue notamment des systèmes d'air conditionné). Une simulation a été effectuée avec la situation climatique du 22 juillet 1989. L'influence du rejet de chaleur dans l'environnement a été analysée en simulant le climat à l'échelle meso avec et sans ce rejet de chaleur. Il a été trouvé que l'influence de la chaleur anthropique était, plus importante la nuit et tôt le matin, et la différence maximale de 3,4°C a été obtenue à minuit. Dans la journée, l'effet de la chaleur anthropique est moins intense (environ 1°C de 9h00 à 16h00) à cause du fort rayonnement solaire. Plusieurs scénarii ont ensuite été modélisés, touchant soit au management des sources de chaleur ou à la modification des surfaces :

- Scénario E-1 : Evacuer toute la chaleur par le haut des immeubles,
 - Scénario E-2 : Evacuer toute la chaleur par le bas des immeubles (dans les six premiers mètres),
 - Scénario E-3, E-4 et E-5 : Modification des systèmes de climatisation ou d'air conditionné.
 - Scénario E-6 : Rejeter toute la chaleur, issue des systèmes d'air conditionné notamment, des bâtiments au niveau du sol, c'est-à-dire dans les deux premiers mètres au-dessus de la surface du sol,
 - Scénario S-1 : Une amélioration modérée de l'albédo (l'albédo des toits est fixé à 0,30 au lieu de 0,18 du cas normal, celui des routes à 0,25 au lieu de 0,18, et celui des autres surfaces construites à 0,25),
 - Scénario S-2 : Une amélioration conséquente de l'albédo (l'albédo des toits est à 0,70, celui des routes et des autres surfaces construites à 0,30),
 - Scénario S-3 : Mettre de la végétation sur le sol autour des bâtiments.
- Tous les scénarii ont provoqué une diminution de la température sauf pour les scénarii E-22 et E-6 qui favorisent en fait l'échange de chaleur entre le sol et l'air. En général, les scénarii qui présentent une modification de la surface ont plus d'impact que ceux qui modifient uniquement l'énergie sauf bien sûr pour les cas extrêmes comme une totale

absence de rejet de chaleur (impact positif) ou un rejet uniquement par le sol (impact négatif).

(Baumüller et al, 2005) font une analyse très complète de la formation du climat urbain et de ses conséquences sur la dispersion des polluants. Ils proposent des cartes climatiques et de la qualité de l'air - pour la région de Stuttgart (Allemagne) par exemple - qui s'accompagne de recommandations pour l'aménagement, en relation notamment avec la ventilation. Ce travail s'apparente à celui effectué par (Scherer et al, 1999) présenté précédemment.

1.3 L'îlot de chaleur urbain :

Le climat dans la ville se différencie de celui des régions suburbaines étant donné que la géométrie des villes, les matériaux utilisés et les sources de chaleur artificielles contribuent à créer un microclimat particulier (Givoni, 1998; Oke, 1987; et Santamouris, 2001). Même au sein d'une agglomération, le microclimat peut être différent selon la morphologie des quartiers (Ait-Ameur, 2002; Eliasson, 1996).

Le terme îlot de chaleur urbain caractérise un secteur urbanisé où les températures de l'air et des surfaces sont supérieures à celles de la périphérie rurale (USEPA)⁴. Les différences de température entre la ville et les espaces ruraux l'entourant peuvent alors être considérables, dépassant les 10 degrés pour les grandes agglomérations. Pour la ville de Strasbourg, on enregistre par exemple une différence de 8°C quelques heures après le coucher de soleil pour la journée du 11 août 1998 (De Hatten, 2002). Le phénomène d'îlot de chaleur urbain apparaît dans toutes les villes.

⁴ United States Environmental Protection Agency.

-**BAUMÜLLER J., HOFFMAN U., REUTER U.**, Climate booklet for urban development, References for zoning and planning, Baden-Württemberg Innenministerium, 2005 [réf. du 29 mars 2008], 380 p. Disponible sur : <http://www.staedtebauliche-klimafibel.de/>

-**SCHERER D., FEHRENBACH U., BEHA H.-D., PARLOW E.**, Improved concepts and methods in analysis and evaluation of the urban climate for optimizing urban planning processes. Atmospheric Environment, 1999, vol.33, pp. 4185-4193.

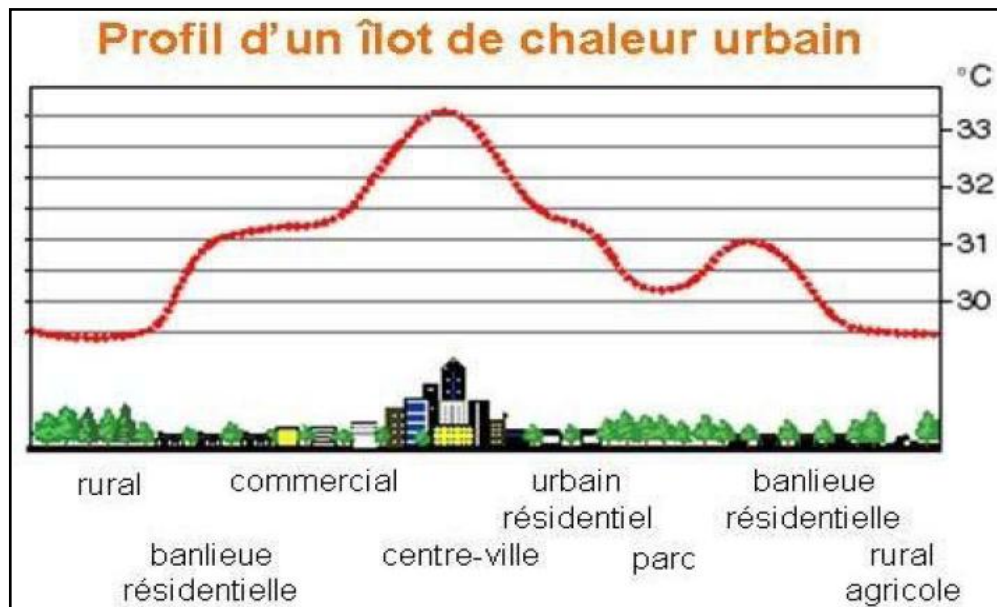
-**GIVONI, B.**, Climate considerations in building and urban design, John Wiley & Sons, New York, 1998.

-**SANTAMORIS M.**, Energy climate in the urban built environment, James & James, London, 2001.

-**AIT-AMEUR K.**, Characterization of the microclimate in urban public spaces through the validation of a morpho-climatic indicator system, Design with the Environment, Proceedings of PLEA (Passive Low Energy Architecture), 2002, pp. 305-311.

-**DE HATTEN Anne**, Mise en évidence des caractéristiques générales de l'îlot de chaleur urbain Strasbourgeois. Thèse de maîtrise de Géographie. Université Louis Pasteur de Strasbourg. 2002.

Il s'agit de la manifestation climatique la plus évidente de l'urbanisation. C'est le résultat de la totalité des changements microclimatiques apportés par les modifications humaines sur une zone urbaine (Landsberg, 1981).



Figure, I.1: Profil d'un îlot de chaleur urbain
Source: USEPA.

1.3.1 Caractéristiques de l'îlot de chaleur urbain :

1.3.1.1 Caractéristiques temporelles et spatiales de l'îlot de chaleur urbain :

La forme et la taille de l'îlot de chaleur urbain varient dans l'espace et dans le temps, en fonction des conditions météorologiques, et des caractéristiques propres à la ville. On définit l'intensité d'un îlot de chaleur urbain par la différence de température de l'air de la zone urbaine étudiée avec la température d'un point de mesure de référence situé dans la périphérie rurale (Oke, 1973). On la note ΔT_{u-r} et elle s'exprime en degré Celsius.

$$\Delta T_{u-r} = T_u - T_r$$

T_u : température de l'air de la zone urbaine étudiée

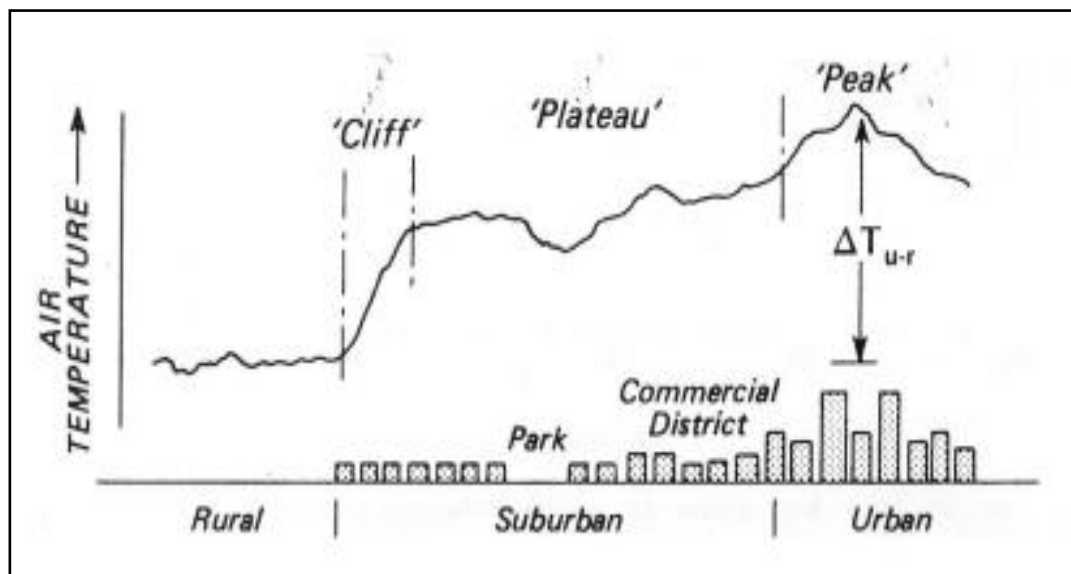
T_r : température de l'air du point de mesure de référence dans la périphérie rurale de la zone urbaine étudiée.

-United States Environmental Protection Agency (USEPA), Reducing urban heat islands: compendium of strategies, urban heat island basics. USEPA, Washington, DC, 2008, 19 p.

-LANDSBERG H.E., The urban climate, Academic Press, 1981, 275p.

-OKE T.R., City size and the urban heat island, Atmospheric environment, aout 1973, Vol. 7, n°8, pp, 769-779.

L'îlot de chaleur urbain est le plus marqué dans les parties les plus densément bâties, qui correspondent en général au centre ville (Figure I.2). L'intensité des îlots de chaleur urbains varie selon les villes. Elle dépend du climat, de la topographie, de la population, de la morphologie et de l'activité des villes (Fan et Sailor, 2005). En moyenne, sur une année, pour des villes ayant un climat tempéré, l'intensité des îlots de chaleur urbains est de l'ordre de 2°C (Taha, 1997). En été, ΔT_{u-r} peut s'élever jusqu'à 10°C (Lachance et al, 2006). ΔT_{u-r} Augmente avec la superficie et la population de la ville (Arnfield, 2003). La nuit, au moment où l'effet de chaleur urbain apparaît le mieux, la différence de température entre ville et campagne apparaît inversement proportionnelle à la vitesse du vent et à la couverture nuageuse (Oke, 1987). Par ailleurs, l'extension spatiale de l'îlot de chaleur urbain est assez bien corrélée avec la direction et la vitesse du vent (Fischer, 2001).



Figure, I.2: coupe d'un îlot de chaleur urbain.
Source: Ringenbach Nicolas, 2004, (d'après Oke, 1978).

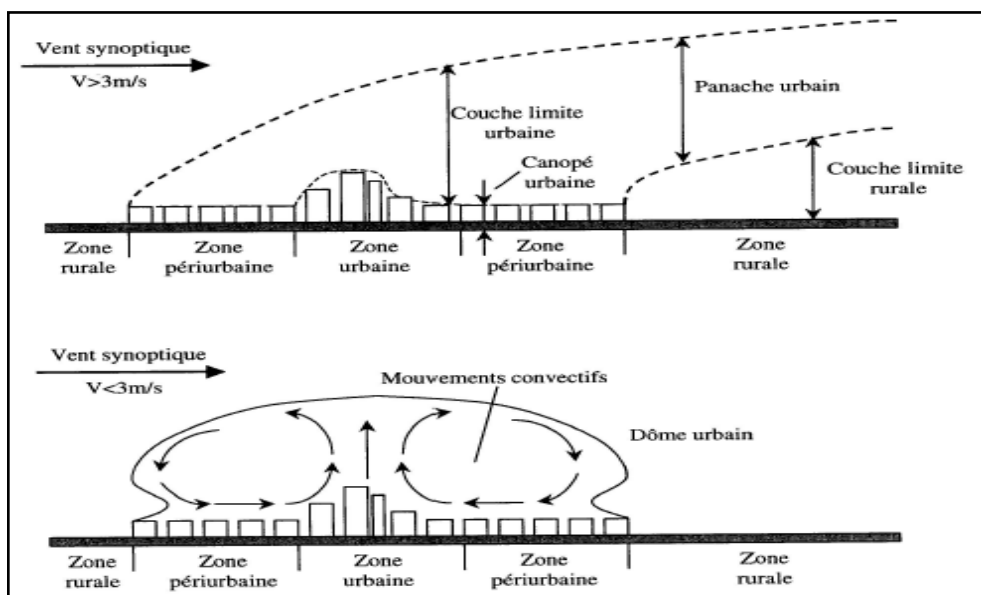
- FAN H., SAILOR D. J., Modelling the impacts of anthropogenic heating on the urban climate of Philadelphia : a comparison of implementations in two PBL schemes, Atmospheric environment, 2005, n°9, pp. 73-84.
- TAHA H., Urban Climates and heat islands : albedo, evapotranspiration and anthropogenic heat, Energy and buildings, 1997, Vol. 25, n° 2, pp. 99-103.
- ARNFIELD A. J., Two decades of urban climate research : a review of turbulences, exchanges of energy and water ant the urban heat island, International journal of climatology, 2003, n°23, pp.1-26.
- OKE T.R., Boundary layer climates, Sec Edition, Methuen, London and New York, 1987.

1.3.1.2 Les différentes échelles d'étude des îlots de chaleur urbains :

L'effet d'îlot de chaleur urbain peut être envisagé comme un phénomène global, touchant toute l'aire urbaine. Il peut aussi présenter des variations d'intensité en fonction du lieu, de l'heure et de la méthode d'observation. Afin d'appréhender ces variations, il est possible d'aborder la problématique des îlots de chaleur urbains selon différentes échelles spatiales. Les méthodes de mesure des phénomènes microclimatiques urbains, ont permis de différencier trois couches dans le tissu urbain et son atmosphère (Oke, 2004) :

- La couche limite urbaine ou Urban Boundary Layer (UBL)
- La couche de canopée urbaine ou Urban Canopy Layer (UCL)
- La couche de surface ou Surface Layer (SL)

Ces couches correspondent chacune à une échelle verticale distincte (voir figure, I.3).



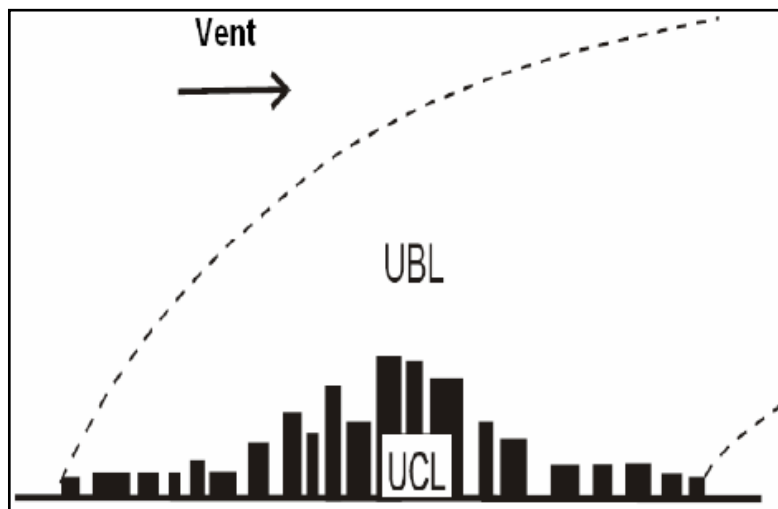
Figure, I.3 : structure verticale de l'atmosphère urbaine pour des vents supérieurs et inférieurs à 3m/s. Source: Ringebach Nicolas, 2004, (d'après Mestayer, Anquetin, 1995).

A) La couche limite urbaine (UBL) :

La couche limite urbaine est constituée par la couche d'air située au dessus des bâtiments du tissu urbain (voir figure, I.4).

-OKE T.R., initial guidance to obtain representative meteorological observations a turban sites, World Meteorological Organisation, Instruments and observing methods, report n°81, 2004.

L'échelle considérée ici est méso urbaine et de l'ordre de kilomètre (Oke, 2004). Elle présente des caractéristiques différentes des couches d'air situées au dessus des zones rurales : température plus élevée et composition chimique caractérisée par de fortes concentrations en polluants atmosphérique.

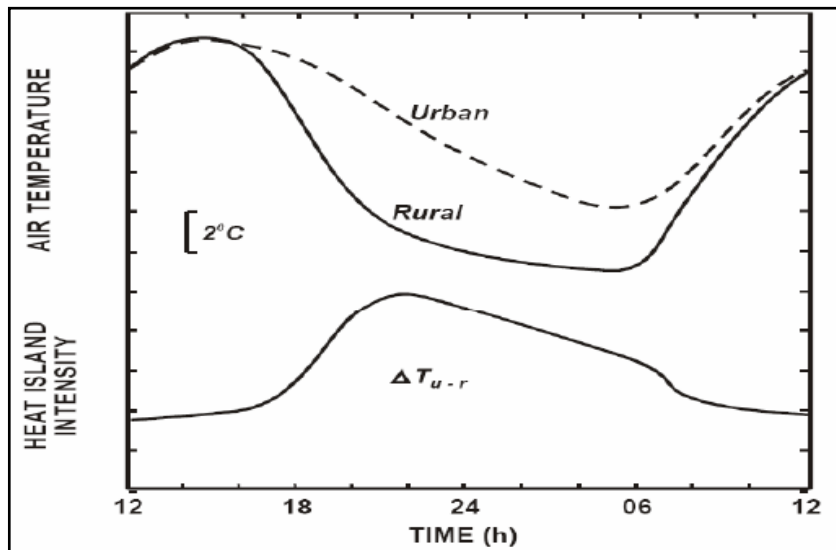


Figure, I.4: schéma de la couche limite urbaine
Source: Voogt, 2007.

L'étude du phénomène d'îlot de chaleur urbain au niveau de la couche limite urbaine implique de ne considérer qu'un îlot unique, surplombant la ville et caractérisé par une température globale de l'air plus élevée que dans la périphérie rurale (Weng et al, 2004) (Voir figure, I.5).

-**OKE T.R.**, initial guidance to obtain representative meteorological observations a turban sites, World Meteorological Organisation, Instruments and observing methods, report n°81, 2004.

-**WENG G., LU D., SCHUBRING J.**, Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies, Remote sensing of environment, février 2004, Vol.89, n°4, pp.467-483.



Figure, I.5: Intensité d'un îlot de chaleur urbain de la couche limite urbaine sur 24h.
Source: Mills, 2005.

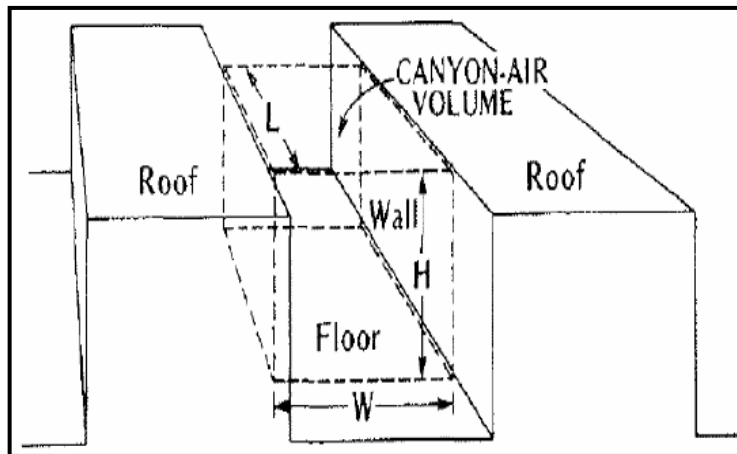
B) La couche de canopée urbaine (UCL) :

La couche de canopée urbaine est constituée du volume d'air compris entre les bâtiments, le sol et une surface imaginaire située au dessus du toit des bâtiments (Szpirglas et Voogt, 2003). L'échelle considérée ici est infra urbaine et de l'ordre de dizaine de mètre (Oke, 2004). L'unité urbaine de référence pour l'étude des phénomènes microclimatiques de la couche de canopée urbaine est le canyon urbain. Le canyon urbain est l'espace entre deux bâtiments adjacents, qui s'étend le long d'un tronçon de voie, et dont les limites horizontales sont le sol et le toit de bâtiments (Nunez et Oke, 1977) (Voir figure, I.6).

-SZPIRGLAS J., VOOGT J.A., A validation and performance assessment of the surface heat island model, in FACULTY OF GEOGRAPHICAL SCIENCES, Fifth International Conference on Urban Climate, 1-5 septembre 2003, Lodz, Lodz, Poland : University of Lodz, 2003.

-OKE T.R., initial guidance to obtain representative meteorological observations a turban sites, World Meteorological Organisation, Instruments and observing methods, report n°81, 2004.

-NUNEZ M, OKE T.R, The energy balance of an urban canyon, journal of applied meteorology, 1977, 16 :11-19.



Figure, I.6: Canyon urbain
Source: Nunez ET Oke, 1977.

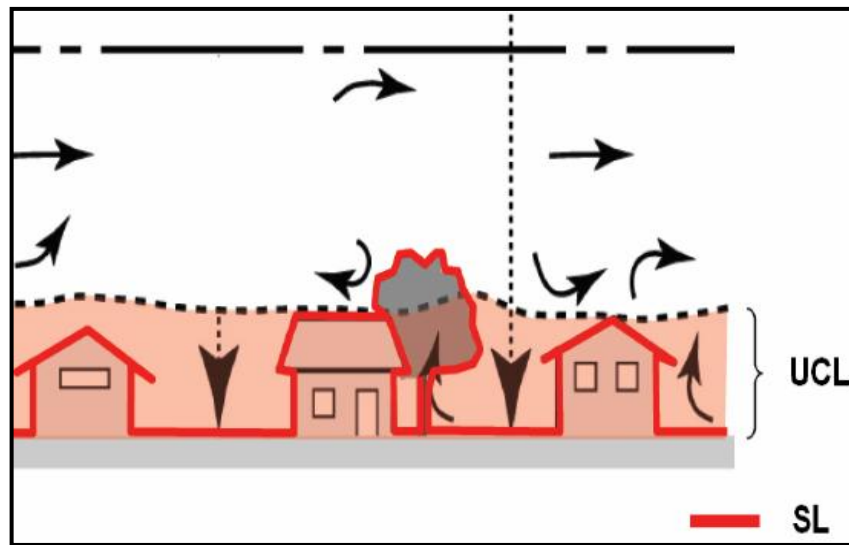
L'îlot de chaleur urbain de la couche de canopée urbaine concerne la manifestation du phénomène dans les canyons urbains. Sa compréhension nécessite l'étude du volume d'air du canyon urbain ainsi que ses échanges avec les surfaces. A cette échelle, le phénomène est caractérisé par une variabilité spatiale importante (Nakamura et Oke, 1988) qui se manifeste particulièrement en journée.

C) La couche de surface (SL) :

La mesure de la température des surfaces en ville grâce à la télédétection a permis de mettre en évidence une troisième couche d'étude des microclimats urbains. Il s'agit de la couche de surface. Elle comprend toutes les surfaces horizontales de la ville et la fine couche d'air (quelques cm) située au dessus des surfaces. La température au niveau de cette couche d'air est fortement influencée par les échanges thermiques avec les surfaces (Nakamura et Oke, 1988). (Voir figure, I.7).

NUNEZ M, OKE T.R., The energy balance of an urban canyon, journal of applied meteorology, 1977, 16 :11-19.

-NAKAMURA Y., OKE T.R., Wind, temperature and stability conditions in an eastwest oriented urban canyon, Atmospheric Environment, 1988, vol. 22, n° 12, pp. 2691-2700.



Figure, I.7: schéma de la couche de canopée urbaine et la couche de surface.
Source: Voogt, 2007.

L'échelle considérée au sein de la couche de surface est micro urbain (Oke, 2004). Elle est de l'ordre de quelques mètres voire quelques centimètres. Au sein même de la ville, chaque surface et chaque objet, ainsi que leur proche environnement, possèdent un microclimat qui leur est propre. Les températures de surface et les températures de l'air peuvent varier sur des distances très courtes. Ainsi, c'est au sein de la couche de surface que l'on va rencontrer les plus grandes variabilités spatiales du phénomène d'îlot de chaleur urbain (Chudnovsky et al, 2004).

Dans la couche de surface, la formation et l'intensité des îlots de chaleur urbains sont gouvernées par les propriétés radiatives et thermiques des matériaux et la géométrie des rues (Arnfield, 2003).

-**OKE T.R.**, initial guidance to obtain representative meteorological observations a turban sites, World Meteorological Organisation, Instruments and observing methods, report n°81, 2004.

-**CHUDNOVSKY A., E. BEN-DOR E., SAARONI H.**, Diurnal thermal behaviour of selected urban objects using remote sensing measurements, Energy and Buildings, novembre 2004, vol. 36, n° 11, pp. 1063-1074.

-**ARNFIELD A. J.**, Two decades of urban climate research : a review of turbulences, exchanges of energy and water ant the urban heat island, International journal of climatology, 2003, n°23, pp.1-26.

1.3.2 Formalisation du bilan énergétique à l'échelle d'une ville :

L'équilibre thermique en milieu urbain est généralement exprimé par le mécanisme de transfert de chaleur favorisant l'équilibre du système. (Santamouris, 2001) propose une équation pour exprimer la balance thermique en milieu urbain.

$$Q_r + Q_r = Q_E + Q_L + Q_S + Q_A \quad \text{Où:}$$

Q_r = Flux de l'énergie solaire. Ce dernier est la combinaison entre le rayonnement de courte longueur d'onde (rayonnement solaire directe) et le rayonnement de grande longueur d'onde (rayonnement transmis par les éléments opaques tels que les murs, les rues et les bâtiments).

Q_T = Chaleur anthropique, cette forme de chaleur est souvent transmise par le système de transport les industries et autres sources de chaleur.

Q_E = chaleur sensible. Il s'agit de la chaleur transmise par convection.

Q_L = chaleur latente (forme d'énergie libérée dans l'atmosphérique, par exemple durant le processus d'évapotranspiration)

Q_S = l'énergie stockée;

Q_A = l'énergie net transférée vers ou à partir du système sous forme de chaleur sensible ou l'attente (transfert par l'advection.)

Le bilan thermique en milieu urbain est influencé également par l'advection, c'est-à-dire, par le déplacement d'une masse d'air dans le sens horizontal ou proche.

Souvent la chaleur anthropique est alliée aux systèmes de transport, à la production de l'énergie et aux autres sources de chaleur (activités industrielles, éclairage artificiel, chauffage et climatisation des bâtiments.) En environnement urbain, elle influence la température de l'air et amplifie l'intensité d'ilot de chaleur urbain. Cette forme de chaleur varie en fonction des saisons. Par exemple au centre ville de New York, elle varie entre 20 à 40 W/m² durant la période estivale et de 70 à 210 W/m².

Le bilan radiatif (R) en environnement urbain s'exprime par l'addition du rayonnement de grande et courte longueur d'onde émis par le ciel et l'atmosphère, mais aussi du rayonnement de grande longueur d'onde émis par les éléments de la surface terrestre.

-SANTAMORIS M., Thermal Balance in the urban environment, Energy and climate in the urban built environment, James & James, London, 2001, pp. 39-47.

Dans un milieu urbain, ce bilan radiatif est influence par plusieurs éléments. Par exemple, dans les villes industrielles la durée d'ensoleillement et le rayonnement solaire sont réduits de 10 à 20 % comparativement aux campagnes avoisinantes (Landsberg, 1981, cite par Santamoris, 2001, p.43).

1.3.4 Conditions optimale de développement du phénomène :

Les conditions optimales de développement d'îlot de chaleur urbain sont de nature météorologique. La condition la plus importante permettant au climat urbain de se différencier de celui des zones rurales voisines est une configuration anticyclonique stable (Landsberg, 1981), caractérisée par un ciel dégagé et des vitesses de vents très faibles, inférieures à 3 m/s (Terjung et O'rourke, 1980). Lorsque ces conditions sont réunies, l'intensité des îlots de chaleur urbains atteint sa valeur maximale (Landsberg, 1981). En effet, sous ce type de ciel, c'est en majorité du rayonnement direct (rayonnement solaire principalement) qui frappe les surfaces. Ce type de rayonnement se caractérise par une plus grande intensité que le rayonnement diffus (Bessemoulin et Olivieri, 2000).

1.3.5 Causes du phénomène d'îlot de chaleur urbain :

La perturbation du milieu naturel par l'urbanisation engendre des phénomènes microclimatiques à la base des îlots de chaleur urbains. La rétention de la chaleur par le tissu urbain et de par ces caractéristiques structurelles et morphologiques, la ville est capable de stocker et de piéger la chaleur issue du rayonnement solaire.

-LANDSBERG H.E., The urban climate, Academic Press, 1981, 275p.

-SANTAMORIS M., Energy climate in the urban built environment, James & James, London, 2001.

-TERJUNG W. H., O'ROURKE P.A., Simulating the causal elements of urban heat islands, Boundary-Layer Meteorology, août 1980, vol. 19, n° 1.

-BESSEMOULIN P., OLIVIERI J., Le rayonnement solaire et sa composante ultraviolette, La Météorologie, 8e série-no31. Septembre 2000, p. 42.

1.3.5.1 Rôle des propriétés radiatives et thermiques des matériaux :

Les matériaux utilisés dans la construction des bâtiments et le revêtement des sols ont des propriétés optiques et thermiques favorisant la rétention de la chaleur par le tissu urbain. La journée, les propriétés optiques des matériaux de la ville gouvernant le stockage de la chaleur issue du rayonnement solaire incident direct. Ce processus va participer à l'augmentation de la température des surfaces (Oke et Maxwell, 1975) et ainsi au phénomène d'îlot de chaleur urbain dans la couche de surface. Afin de représenter ces propriétés, les auteurs utilisent une grandeur appelée albédo. L'albédo correspond au pouvoir de réflexion d'une surface exposée à la lumière (Taha, 1997). C'est une grandeur comprise entre 0 et 1. A partir de la fin de la journée et pendant toute la nuit, ces caractéristiques vont être responsables de l'émission, sous forme de rayonnement infra rouge, de l'énergie stocker par les matériaux durant la journée (Ackerman, 2007).

1.3.5.2 Rôle de la géométrie des rues :

La géométrie des rues contribue à l'accumulation et à la rétention de la chaleur. La journée, les rayons solaires incidents sont piégés dans les rues par les multiples réflexions qu'ils subissent sur les parois verticales de rue. Ceci participe au Stockage de la chaleur dans les matériaux constitutifs du canyon (Nakamura et Oke, 1988). A partir de la fin de la journée, et durant toute la nuit, la faible ouverture vers le ciel dans les rues, va entraîner la capture de la chaleur réémise par les surfaces (Oke, 1981). Le facteur de vue du ciel (SVF) est une grandeur qui permet d'apprécier l'interface hémisphérique de contact direct entre une surface située au centre de la rue et le ciel (Nakamura et Oke, 1988). Plus le SVF est faible plus l'interface est petite. Dans les rues on peut rencontrer des SVF très faibles, traduisant l'obstruction de l'horizon par les bâtiments. Plus le SVF sera faible, plus la chaleur s'échappera difficilement.

-**OKE T.R., MAXWELL G.B.**, Urban heat island dynamics in Montreal and Vancouver, Atmospheric Environment, février 1975, Vol. 9, n°2, pp. 191-200.

-**TAHA H.**, Urban Climates and heat islands : albedo, evapotranspiration and anthropogenic heat, Energy and buildings, 1997, Vol. 25, n° 2, pp. 99-103.

-**ACKERMAN S.**, Urban heat island, University of Wisconsin, Space science and engineering center, 2007 [visité en mai 2008]. Disponible sur Internet : http://icecap.us/images/uploads/URBAN_HEAT_ISLAND.pdf

-**NAKAMURA Y., OKE T.R.**, Wind, temperature and stability conditions in an east west oriented urban canyon, Atmospheric Environment, 1988, vol. 22, n° 12, pp. 2691-2700.

La géométrie d'une rue est caractérisée par son aspect ratio H/L (Oke, 1981). Il s'agit du rapport de la hauteur moyenne des bâtiments délimitant la rue (H) sur la largeur de la rue (L).

1.3.5.3 Rôle de l'exposition des surfaces au rayonnement solaire :

L'exposition des surfaces au rayonnement solaire incident direct va influencer sur l'intensité du phénomène de rétention de la chaleur. Plus les surfaces seront exposées, plus la chaleur stockée ou piégée sera importante. C'est la morphologie du tissu urbain qui gouverne l'exposition au rayonnement solaire.

1.3.5.4 Pollution atmosphérique :

Toutes les villes présentent des concentrations de polluants atmosphériques supérieures à celles du milieu rural. Cette pollution interagit avec le rayonnement solaire atteignant le tissu urbain. En absorbant le rayonnement solaire incident dans les faibles longueurs d'onde, la pollution diminue le rayonnement solaire incident reçu par les surfaces mais réémet des rayonnements infra rouge. Ce processus contribue à réduire la quantité d'énergie absorbée par les surfaces (Arnfield, 2000) mais réchauffe l'air des zones urbanisées polluées. De récentes études ont montré que la différence de température entre une zone polluée et une zone non polluée est faible et peut prendre des valeurs positives ou négatives (Arnfield, 2003).

1.4 Méthodes employées dans l'identification des îlots de chaleur urbains : La combinaison Mesures / modélisation :

Afin de déterminer aux échelles des rues et du fragment urbain les liens et les mécanismes au système urbain, et d'étudier les différences entre le milieu urbain et le milieu rural, un certain nombre de démarches combinent mesures et modélisation.

-OKE T.R., Canyon geometry and the nocturnal urban heat island : Comparison of scale model and field observations. *Journal of climatology*, 1981, vol.1, p. 237-254.

-ARNFIELD A.J., a simple model of urban canyon energy budget and its validation, *physical geography*, 2000, 21 : 305-326.

-ARNFIELD A. J., Two decades of urban climate research : a review of turbulences, exchanges of energy and water ant the urban heat island, *International journal of climatology*, 2003, n°23, pp.1-26.

1.4.1 Mesures :

Dans le but de mieux comprendre les phénomènes microclimatiques urbains, (Nunez et Oke 1977) ont effectué les premières mesures dans une rue canyon isolée dans la ville de Vancouver (Canada). Par la suite, de nombreuses études similaires se sont succédées avec pour objectif d'étudier l'influence de la morphologie urbaine sur les apports et échanges énergétiques et sur le microclimat.

A l'échelle de la rue, (Eliasson 1996) mène une étude quantitative dans la ville de Göteborg, située à l'ouest de la Suède. Il s'agissait de comprendre la relation entre la géométrie urbaine et la variation des températures dans deux secteurs urbains du centre ville : le secteur nord expose une largeur moyenne des rues de 7 m, des hauteurs de bâtiments qui varient entre 10 m et 15 m et un facteur de ciel vu¹ des rues canyons qui varie entre 0,25 et 0,45. Le deuxième secteur, situé sur la partie sud de la ville, présente une géométrie irrégulière avec des largeurs de rues qui varient entre 13 m et 45 m. Les hauteurs de bâtiments dans ce secteur de la ville varient entre 17 m et 22 m. Les valeurs du facteur de ciel vu des rues canyons varient entre 0,5 et 0,9. Les résultats de cette recherche montrent que le facteur de vue du ciel affecte plutôt la température nocturne de la surface. Ils montrent aussi un phénomène d'îlot thermique urbain. Il s'agit ici du différentiel de température entre le centre ville et le grand parc avoisinant qui est de 4°C en moyenne. Ce différentiel est du même ordre que celui constaté entre la température urbaine et rurale qui varie entre 3,5°C et 6°C.

Au Brésil, les résultats de la recherche menée par (Dos Santos et Villas Boas 2000) affirment que les surfaces imperméables (l'asphalte et le béton), la densité et les hauteurs importantes des constructions sont les paramètres les plus importants qui influencent l'accumulation de la chaleur et la ventilation urbaine.

-NUNEZ M, OKE T.R, The energy balance of an urban canyon, journal of applied meteorology, 1977, 16 :11-19.

-ELIASSON I., Urban nocturnal temperatures, street geometry and land use, Atmospheric Environment, 1996, Vol. 30, N° . 3, pp. 379-392.

-DOS SANTOS. R-M et VILLAS BOAS. M, Urban morphology and thermal comfort conditions in the central area of Belo Horizonte, Architecture, City, Environment, Proceedings of PLEA (Passive Low Energy Architecture), 2000, pp. 630-63.

Ils montrent également que, sur une base d'observation de 24 heures, le centre ville présente des valeurs de température très importantes et des valeurs d'humidité relative moins importantes.

En revanche, les valeurs de température les moins importantes et les plus importantes valeurs de l'humidité relative sont enregistrées à 4,50 km du centre ville.

La morphologie urbaine, qui se rapporte aux formes tridimensionnelles, à l'orientation et à l'espacement des bâtiments dans une ville, joue également un rôle dans la formation des îlots de chaleur urbains (USEPA, 2008). Les grands bâtiments et les rues étroites peuvent nuire à la bonne ventilation des centres urbains, car ils créent des canyons où s'accumule et reste captive la chaleur occasionnée par le rayonnement solaire et les activités humaines (Coutts et al, 2008). En effet, la réduction du facteur de vue du ciel limite les pertes radiatives nettes des bâtiments et des rues (Pigeon et al, 2008). De plus, la morphologie urbaine peut également influencer la circulation automobile et encourager ainsi les apports de chaleur et de pollution de l'air de ce mode de transport que représente le véhicule automobile (Oke, 1988).

Le bâti est responsable, de par l'obstacle qu'il représente, de la perturbation des masses d'air au niveau de la couche de canopée urbaine (Chudnovsky, 2004). La géométrie des canyons urbains, caractérisée par l'Aspect Ratio H/W, va gouverner les turbulences dans l'écoulement vertical par convection des masses d'air (Oke, 1999).

-**United States Environmental Protection Agency (USEPA)**, Reducing urban heat islands: compendium of strategies, urban heat island basics. USEPA, Washington, DC, 2008, 19 p.

-**COUTTS A.M., BERINGER J., TAPPER N.**, Changing urban climate and CO2 emissions: implications for the development of policies for sustainable cities, Urban Policy and Research, In Press, 2008.

-**PIGEON G., LEMONSU A., MASSON V., HIDALGO J.** De l'observation du microclimat urbain à la modélisation intégrée de la ville, La Météorologie, No. 52, 2008, pp. 39-47.

-**OKE T.R.**, Street design and urban canopy layer climate, Energy and Buildings, 1988, Vol. 11, pp. 103-113.

-**CHUDNOVSKY A., E. BEN-DOR E., SAARONI H.**, Diurnal thermal behaviour of selected urban objects using remote sensing measurements, Energy and Buildings, novembre 2004, vol. 36, n° 11, pp. 1063-1074.

-**OKE T.R., SPRONKEN-SMITH R.A., JAUREGUI E., GRIMMOND C.S.B.**, « The energy balance of central Mexico City during the dry season », Atmospheric Environment, octobre 1999, vol. 33, n° 24-25, pp. 3919-3930.

(Nakamura et Oke 1988) se sont intéressés aux conditions climatiques au sein d'un canyon. A partir de mesures régulières des températures de l'air et de surface, et du vent au sein d'un canyon, ils ont étudié le développement temporel et spatial de la température de l'air (et des différences de température) au sein du canyon. L'étude a été menée dans une rue canyon de l'Université de Kyoto au Japon. Le canyon est orienté est-ouest.

La vitesse horizontale du vent a été mesurée à la fois au-dessus des toits et à l'intérieur du canyon.

En ce qui concerne les différences entre la température de l'air au-dessus des toits et à l'intérieur du canyon, les mesures montrent une variation des différences durant la journée: l'air au niveau du toit est légèrement plus froid le jour et plus chaud la nuit que l'air au sein de la rue. Les différences sont plus importantes le jour du côté nord du canyon car il est directement exposé au rayonnement solaire. Cependant les différences de température de l'air entre l'intérieur du canyon et le dessus sont faibles puisque toujours inférieures à 1°C et souvent inférieures à 0,5°C.

La différence entre la température de l'air et celle de la surface est pour sa part plus importante et surtout pour le mur orienté sud, soumis au rayonnement solaire, pour lequel la différence peut atteindre de jour 12°C et qui reste supérieur à 3°C la nuit. Pour le mur orienté au nord qui reçoit uniquement du rayonnement solaire diffus, la différence entre la température de surface et celle de l'air est faible et négative en milieu de journée quand l'air est réchauffé entre autres par le transfert de chaleur du mur au nord du canyon.

En ce qui concerne la distribution spatiale de la température de l'air à l'intérieur du canyon, celle-ci est fortement influencée par le fait que le mur au nord et le sol sont les principaux lieux d'absorption du rayonnement solaire. Leur rôle comme source de chaleur sensible pour l'air du canyon continue également la nuit. On constate en effet le développement de turbulences à partir de $H/W=1$. Ainsi, plus l'Aspect Ratio sera élevé plus les turbulences dans le canyon urbain vont contribuer au réchauffement de l'air dans la canopée urbaine.

-NAKAMURA Y., OKE T.R., Wind, temperature and stability conditions in an east west oriented urban canyon, Atmospheric Environment, 1988, vol. 22, n° 12, pp. 2691-2700.

(Oke 1981) a également fait une corrélation entre l'intensité maximale de l'îlot de chaleur urbain et la géométrie du canyon urbain, exprimée en fonction de la hauteur des bâtiments (H) et la distance entre les bâtiments (W) par le ratio H/W :

$$\Delta T_{max} = 7.54 + 3.97 \ln \left(\frac{H}{W} \right) \quad (^\circ C) \quad \text{(Formule 1)}$$

Il a également utilisé le facteur de vue du ciel (Sky view factor – SVF) pour caractériser cette géométrie et suggéré ainsi la formule suivante :

$$\Delta T_{max} = 15.27 - 13.88 * SVF \quad (^\circ C) \quad \text{(Formule 2)}$$

Cette dernière formule suppose en quelque sorte que l'îlot de chaleur urbain est principalement lié à la perte réduite de chaleur des rues étroites et encaissées par rapport à des milieux plus ouverts.

1.4.2 Modélisation :

L'étude de la relation entre la morphologie urbaine et le climat est très complexe et pour sa modélisation, elle requiert un grand nombre de variables. (Adolphe. L 2001) propose de modéliser ce lien à l'échelle du tissu urbain à travers les paramètres morphologiques, notamment la rugosité, la porosité et la sinuosité urbaine. Deux tissus urbains différents situés au centre-ville de Toulouse (France) ont fait l'objet d'une étude comparative. Les résultats de cette étude montrent, à l'aide de la simulation numérique, que la dynamique urbaine (transformation historique de la morphologie urbaine) a un effet significatif sur la formation et la transformation des microclimats urbains.

Pour (Adolphe. L 2001), la configuration urbaine de la ville est la résultante d'une interrelation très complexe entre plusieurs paramètres, tels que la situation géographique, la situation socio-économique, la géométrie, la typologie, la culture,...etc. La nature de cette interrelation semble différente pour chaque nouveau tissu urbain.

-**OKE T.R.**, Canyon geometry and the nocturnal urban heat island : Comparison of scale model and field observations. Journal of climatology, 1981, vol.1, p. 237-254.

-**ADOLPHE L.**, Modelling the link between built environment and urban climate: towards simplified indicators of the city environment, Building Simulation, Proceedings of 1BPSA (International Building Performance Simulation Association), 2001, pp. 679-684.

Il affirme que la variation importante de la morphologie urbaine à l'échelle « *microscopique* » a un effet direct sur le climat extérieur et intérieur: la vitesse du vent, la température de l'air, l'échange du rayonnement solaire et la lumière naturelle.

À l'échelle « *macroscopique* » cette variation influence les conditions du confort extérieur, modifie l'équilibre thermique et éclairage artificiel des bâtiments, amplifie l'effet d'îlot de chaleur urbain et le confinement de la pollution atmosphérique.

1.4.2.1 Modèles : synthèse bibliographique des modèles de simulations développés pour la climatologie urbaine :

Le modèle de rayonnement dans un canyon urbain mis au point par Arnfield en 1976 fut l'un des premiers à être utilisé. Il calcule les rayonnements solaire et infrarouge sur les différentes facettes d'un canyon, à partir des échanges entre les façades entre elles et entre les façades et les sources externes de rayonnement. La validité de ce modèle de rayonnement a été effectuée à partir de mesures d'albédo (Arnfield, 1988) et de mesures de flux en grande longueur d'onde (Voogt, 1991).

Par la suite, un certain nombre de modèles ont été élaborés : des modèles permettent de calculer le bilan d'énergie d'un canyon urbain à partir du bilan des différentes facettes qui le constituent (Terjung, O'Rourke, 1980 ; Mills, 1993 ; Arnfield, 2000).

-**ARNFIELD A. J.**, Numerical modelling of urban surface radiative parameters, papers in climatology : the Cam Allen Memorial Volume, Davies JA (ed). Discussion paper N°7, département of Geography, Mc Master University, 1976.

- **ARNFIELD A.J.**, validation of an estimation model for urban surface albedo, physical geography, 1988, 9 : 361-372.

- **VOOGT J.A, OKE T.R.**, validation of an urban canyon radiation model for nocturnal long- wave fluxes, boundary-layer meteorology 54 : 347-361.

-**TERJUNG W. H., O'ROURKE P.A.**, Simulating the causal elements of urban heat islands, Boundary-Layer Meteorology, août 1980, vol. 19, n° 1.

-**ARNFIELD A.J.**, a simple model of urban canyon energy budget and its validation, physical geography, 2000, 21 : 305-326.

A titre d'exemple, celui de (Mills, 1993) simule le flux de chaleur sensible au sommet du canyon, ainsi que la température de surface et le bilan radiatif sur les facettes du canyon. Ce modèle s'appuie sur la combinaison du modèle à vent, du modèle de rayonnement dans un canyon urbain d'Arnfield, 1982, et d'une estimation de l'évolution de la température de l'air à l'intérieur du canyon. Ces travaux ont notamment montré l'importance de la géométrie des rues et des matériaux (Arnfield, 1990, Oke et al, 1991).

A) Les simulations TEB :

Le modèle TEB (Town Energy Budget), (Masson, 2006), permet d'obtenir des prévisions de température à l'échelle infra urbaine. Il modélise les échanges thermiques entre surfaces urbaines et atmosphère. TEB prend en compte un schéma simplifié du bâti en 2D, de typologie de routes, de murs et de toits pour chaque quartier, une composition de l'atmosphère simplifiée entre les bâtiments, et les détails de phénomènes physiques influant sur le micro climat urbain (évaporation, échanges radiatif de chaleur, évaporation, etc.). TEB ne prend en compte que les surfaces urbaines minérales.

Il est basé sur une approche de rue-canyon destinée à prendre en compte la complexité du milieu en évaluant séparément les contributions respectives des rues, façades et toits aux flux et leurs températures de surface. Dans le modèle TEB, les toits sont supposés plats et toutes les orientations de rues sont supposées coexister. Chacun des 3 éléments, rues, façades et toits, est traité dans son ensemble sans avoir recours à aucun maillage.

Dans le domaine solaire, le bilan radiatif des rues et façades repose pour chaque rue-canyon sur le calcul du rayonnement direct moyen reçu en effectuant une pondération entre parties ensoleillées et parties à l'ombre, puis sur son intégration sur l'ensemble des orientations. Le rayonnement diffus est estimé à partir des réflexions multiples en introduisant les facteurs de forme.

-MILLS G. M., simulation of the energy budget of an urban canyon -1, model structure and sensitivity test, atmospheric environment, 1993, B27 : 157-170.

-ARNFIELD A.J., canyon geometry, the urban fabric and nocturnal cooling : a simulation approach, physical geography, 1990, 11 : 220-239.

-MASSON V., Urban surface modelling and the mesoscale impact of cities, Theoretical and Applied Climatology, 2006, vol. 84, n° 1-3, pp. 35-45.

Dans le domaine des grandes longueurs d'onde le calcul du bilan radiatif met en jeu la température moyenne de chacune des 3 surfaces du canyon et repose également sur l'utilisation de facteurs de forme (du ciel et des parois), le piégeage du rayonnement étant limité à une seule réémission. En plus des dimensions du canyon, l'albédo et l'émissivité des surfaces sont les paramètres clé dans cette étape du calcul. Le calcul des termes de conduction et de stockage repose sur une discrétisation en 3 couches de chacun des milieux et sur les équations de transfert thermique bien connues. Le calcul des flux turbulents est basé sur un schéma classique de résistances et faisant intervenir les températures, humidité et vitesse du vent à l'intérieur du canyon, ces derniers étant déduits de leurs valeurs au-dessus de la canopée urbaine.

La résolution des bilans d'énergie des rues, façades et toits permet enfin de calculer les flux et leurs températures moyennes de surface. Il est important pour la suite de souligner ici que le mode de calcul fait de celles-ci des températures aérodynamiques.

L'absence de traitement individuel des rues selon leur orientation, de même que le non partition explicite des zones urbaines végétales fait de la version actuelle de TEB un outil inadapté à nos objectifs.

B) Les simulations LUMPS :

Le modèle LUMPS (Local Scale Urban Meteorological Parametrization Scheme) consiste en une série d'équations permettant de calculer les flux de chaleurs dans l'environnement urbain à échelle locale, à savoir le flux de stockage, ainsi que les flux de chaleur sensible et latente (Grimmond, Oke, 2002). Les données d'entrées sont relativement limitées. Il s'agit :

- Du rayonnement net, qui détermine les limites énergétiques pour les autres flux du bilan d'énergie.
- D'une connaissance du type de surface (aires de végétation, constructions,...) ainsi que l'espace qu'elles occupent.
- De la morphométrie, c'est-à-dire la hauteur et la densité des différents éléments.

- GRIMMOND C.S.B., OKE T.R., turbulent heat fluxes in urban areas : observation and a Local-Scale Urban Meteorological Parametrization Scheme (LUMPS), journal of applied meteorology, 2002, 41 : 792-810.

- De quelques paramètres météorologiques standards comme la température de l'air, l'humidité, la pression ou la vitesse du vent.

Le modèle LUMPS a été testé en comparaison avec des observations de terrain collectées dans 7 villes nord-américaines (Grimmond, Oke, 2002), et les résultats sont apparus meilleurs. Cependant, il convient de préciser que les effets du vent et des sources importantes de chaleur anthropique sont mal pris en compte, et que dans notre situation où l'effet du vent est important, LUMPS ne peut être utilisé.

C) Les simulations SHIM :

Le modèle SHIM (Surface Heat Island Model), simule le refroidissement nocturne des murs, des toits et des routes à l'intérieur d'un canyon urbain, c'est-à-dire les émissions infra rouges de la ville en régime permanent (Szpirglas et Voogt, 2003). Il permet d'obtenir une représentation des îlots de chaleur urbains nocturnes en conditions optimales. Ce modèle n'est valable que pour des vitesses de vent proche de 0 m/s.

D) Les simulations URBAN 3 :

Le modèle URBAN 3, simule les émissions infra rouges de la ville en régime permanent. Il permet d'obtenir une représentation des îlots de chaleurs urbains nocturnes en conditions optimales (Terjung et O'Rourke, 1980). Ce modèle n'est valable que pour des vitesses de vent proche de 0 m/s.

- **GRIMMOND C.S.B., OKE T.R.**, turbulent heat fluxes in urban areas : observation and a Local-Scale Urban Meteorological Parametrization Scheme (LUMPS), journal of applied meteorology, 2002, 41 : 792-810.

-**SZPIRGLAS J., VOOGT J.A.**, A validation and performance assessment of the surface heat island model, in FACULTY OF GEOGRAPHICAL SCIENCES, Fifth International Conference on Urban Climate, 1-5 septembre 2003, Lodz, Lodz, Poland : University of Lodz, 2003.

-**TERJUNG W. H., O'ROURKE P.A.**, Simulating the causal elements of urban heat islands, Boundary-Layer Meteorology, août 1980, vol. 19, n° 1.

E) Les simulations CSU MM :

Le modèle CSU MM (Colorado State University Mesoscale Model), est un modèle mathématique mis au point à partir d'équations d'équilibre énergétique de la ville. Il s'agit d'une simulation des phénomènes atmosphériques permettant d'obtenir la distribution de température ou de chaleur (en W/m^2) au sein d'un système tridimensionnel. Il est utilisé dans de nombreuses études et investigations des îlots de chaleur, en particulier lorsque l'on souhaite traiter la question de la chaleur anthropique, de l'évapotranspiration ou de l'albédo, par une approche thermodynamique et atmosphérique (Taha, 1997 ; Ichinose et al, 1999 ; Mills, 2005).

F) Les simulations SOLENE :

Le logiciel SOLENE est un modèle thermo-radiatif qui a été développé par le laboratoire CERMA (Centre de Recherche Méthodologique d'Architecture) à Nantes suite à des recherches sur les paramètres solaires, lumineux et radiatifs des projets architecturaux et urbains. SOLENE s'appuie sur une modélisation 3D des volumes construits et intègre de nombreux calculs qui permettent de tenir compte des effets solaires, lumineux et thermiques de la forme urbaine sur les conditions et le confort en extérieur. Son principal intérêt est de permettre l'analyse des interactions entre la forme urbaine et ses dimensions environnementale et climatique, et ce en corrélant des données géométriques de la forme urbaine (agencement, direction, densité, profil des rues, type de bâti...) avec des propriétés physiques de l'espace bâti (rugosité, perméabilité de l'air, ouverture au ciel, exposition solaire, potentiel de lumière...) (Groleau et al, 2003).

Les applications de SOLENE sont variées et il propose divers modes de visualisation pour rendre compte des comportements observés dans l'espace et le temps.

-**TAHA H.**, Urban Climates and heat islands: albedo, evapotranspiration and anthropogenic heat, Energy and buildings, 1997, Vol. 25, n° 2, pp. 99-103.

-**ICHINOSE T., SHIMODOZONO K., HANAKI K.**, Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo, Atmospheric Environment, octobre 1999, vol. 33, n° 24-25, pp. 3897- 3909.

-**MILLS G. M.**, The Urban Canopy Layer Heat Island. IAUC Teaching Resources, 2005.

-**GROLEAU Dominique, FRAGNAUD Fernand, ROSANT Jean-Michel**, Simulation of the radiative behavior of an urban quarter of Marseille with SOLENE model. In: Fifth International Conference on urban climate, Lodz, Pologne, 1-5 septembre 2003.

Ainsi SOLENE permet, à partir d'une scène géométrique 3D complexe, de calculer des durées d'ensoleillement, des flux d'énergie solaire, des températures de paroi ou encore des niveaux d'éclairement intérieurs et extérieurs en prenant en compte les transparences, les effets de masques, les modèles de ciels spécifiques et les inter-réflexions (Musy et al, 2006). Il permet également de traiter des fonctions diverses d'analyse de l'éclairement comme les facteurs de ciel, etc. ou encore les problèmes de rayonnement thermique (solaire et thermique infra rouge) permettant d'évaluer les températures de surface des parois et d'appréhender le niveau de confort en extérieur. Champs de vitesse et température de l'air à 1,5m de hauteur sont également calculés.

J) Les simulations ENVI-met :

ENVI-met (Environmental Meteorology) a été développé au sein du Groupe de Recherche en climatologie (GRC) au département de géographie de l'université de Bochum en Allemagne par Michael Bruse. Ce modèle simule les interactions entre différentes surfaces urbaines, la végétation et l'atmosphère. Il permet ainsi d'analyser l'impact sur le microclimat de modifications de l'environnement urbain à petite échelle (arbres, cours intérieures végétalisées, etc.). (Bruse, 1999 ; www.envi-met.com/). ENVI-met est un modèle 3D qui s'appuie sur une grille géométrique. La résolution horizontale est entre 0,5m et 5m pour une maille. Au total, la grille entière (le maillage) peut avoir une dimension de 250x250x25 mailles pour les ordinateurs récents. Cela permet de couvrir une zone de 100mx100m jusqu'à 1kmx1km. ENVI-met n'est donc pas conçu pour modéliser le climat d'une ville entière mais seulement d'un quartier.

ENVI-met s'appuie sur la résolution numérique des équations de la mécanique des fluides et sur le bilan d'énergie. En d'autres termes, il calcule l'écoulement du vent autour des différentes structures urbaines ainsi que les autres variables associées au bilan d'énergie et aux processus de transfert atmosphérique (calcul des ombres, de la réflexion, de la turbulence, de l'évaporation des plantes, etc.) (Bruse, 2004).

-MUSY Marjorie, RAMOS Fabien, SIRET Daniel, MOREAU Guillaume, MARENNE Christian, Développement d'un SIG 3D dédié au diagnostic des potentialités environnementales des bâtiments. *Revue Internationale de Géomatique*, 2006, vol.16, n°1, p. 71-91.

-BRUSE Michael, ENVI-met V3.0, a microscale urban model. *IAUC Newsletter* [en ligne], juin 2004, n°5, [réf. du 10 octobre 2006], pp. 2-4. Disponible sur : <http://www.urbanclimate.org/>

En plus de ces éléments, le modèle simule également la dispersion des particules ou encore le confort thermique en extérieur. L'interface utilisée pour entrer les paramètres de simulation (pas de temps, implantation du bâti, hauteur des bâtiments, type de végétation, sources de pollution, etc.) est plutôt simple d'utilisation et permet de visualiser en deux dimensions la zone urbaine à modéliser. La simulation, qui peut être effectuée sur un ordinateur de bureau, peut prendre entre quelques heures et quelques jours selon la modélisation effectuée. Un outil de visualisation (LEONARDO) permet ensuite de visualiser les résultats de la modélisation, en 2D comme en 3D (Bruse, 2004).

-BRUSE Michael, Simulating microscale climate interactions in complex terrain with a highresolution numerical model: A case study for the Sydney CBD Area (Model Description), In: Proceedings International Conference on Urban Climatology and International Congress of Biometeorology, Sydney, Australia, 8-1, Novembre 1999, 6 p.

Conclusion :

La conception urbaine bioclimatique nécessite l'analyse du comportement de l'ensemble des paramètres climatiques vis-à-vis des différentes formes urbaines. Les géométries urbaines, les types de matériaux couvrant les surfaces (façades des immeubles, toitures et chaussées) ainsi que la diversité d'occupation des sols et leur nature au niveau des villes sont également d'une importance certaine étant donné qu'ils affectent sensiblement le bilan thermique et énergétique en milieu urbain.

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'antiquité⁵. Actuellement les études récentes visent à atténuer la chaleur dans le milieu urbain, de trouver les liens et les mécanismes internes au système urbain, et d'étudier les différences entre le milieu urbain et le milieu rural 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.

L'évaluation du microclimat urbain au moyen de simulation numérique est devenue un sujet d'actualité. Les programmes de simulation divers ouvrent des axes de recherches assez impressionnants et permettent de vérifier et d'évaluer les théories les plus récentes ayant trait à la bioclimatique urbaine et architecturales. Les logiciels de simulation, nous a permis d'évaluer une multitude de paramètres climatiques simultanément. et ce, afin d'aboutir à des projets qu'on peut qualifier de bioclimatiques, et qui répondront le mieux aux exigences des usagers, particulièrement dans les espaces extérieurs notamment au niveau de la rue qui est le plus petit fragment de la structure urbaine dans ses dimensions physique et géométriques. La chronologie historique de la genèse de la rue sera mise en exergue au niveau du chapitre suivant.

⁵ IZARD Jean Louis, GUYOT Alain, *Archi. bio*, éditions Parentheses, Paris, 1979, p 96.

BIBLIOGRAPHIE

- ABDOU Saliha**, Investigation sur l'intégration climatique dans l'habitation traditionnelle en régions arides et semi arides d'Algérie: Cas du Ksar de Ouargla et de la médina de Constantine. Thèse de doctorat U:Cons 2004.
- ACKERMAN S.**, Urban heat island, University of Wisconsin, Space science and engineering center, 2007 [visité en mai 2008]. Disponible sur Internet : [http://icecap.us/images/uploads/URBAN HEAT ISLAND.pdf](http://icecap.us/images/uploads/URBAN_HEAT_ISLAND.pdf)
- ADOLPHE L.**, Modelling the link between built environment and urban climate: towards simplified indicators of the city environment, Building Simulation, Proceedings of 1BPSA (International Building Performance Simulation Association), 2001, pp. 679-684.
- AIT-AMEUR K.**, Characterization of the microclimate in urban public spaces through the validation of a morpho-climatic indicator system, Design with the Environment, Proceedings of PLEA (Passive Low Energy Architecture), 2002, pp. 305-311.
- ARNFIELD A. J.**, Numerical modelling of urban surface radiative parameters, papers in climatology : the Cam Allen Memorial Volume, Davies JA (ed). Discussion paper N°7, department of Geography, Mc Master University, 1976.
- **ARNFIELD A.J.**, validation of an estimation model for urban surface albedo, physical geography, 1988, 9 : 361-372.
- ARNFIELD A.J.**, canyon geometry, the urban fabric and nocturnal cooling : a simulation approach, physical geography, 1990, 11 : 220-239.
- ARNFIELD A.J.**, a simple model of urban canyon energy budget and its validation, physical geography, 2000, 21 : 305-326.
- ARNFIELD A. J.**, Two decades of urban climate research : a review of turbulences, exchanges of energy and water and the urban heat island, International journal of climatology, 2003, n°23, pp.1-26.
- BAUMÜLLER J., HOFFMAN U., REUTER U.**, Climate booklet for urban development, References for zoning and planning, Baden-Württemberg Innenministerium, 2005 [réf. du 29 mars 2008], 380 p. Disponible sur : <http://www.staedtebauliche-klimafibel.de/>
- BESSEMOULIN P., OLIVIERI J.**, Le rayonnement solaire et sa composante ultraviolette, La Météorologie, 8e série-no31. Septembre 2000, p. 42.
- BRUSE Michael**, Simulating microscale climate interactions in complex terrain with a highresolution numerical model: A case study for the Sydney CBD Area (Model Description), In: Proceedings International Conference on Urban Climatology and International Congress of Biometeorology, Sydney, Australia, 8-1, Novembre 1999, 6 p.

- BRUSE Michael**, ENVI-met V3.0, a microscale urban model. *IAUC Newsletter* [en ligne], juin 2004, n°5, [réf. du 10 octobre 2006], pp. 2-4. Disponible sur : <http://www.urbanclimate.org/>
- COUTTS A.M., BERINGER J., TAPPER N**, Changing urban climate and CO2 emissions: implications for the development of policies for sustainable cities, Urban Policy and Research, In Press, 2008.
- CHUDNOVSKY A., E. BEN-DOR E., SAARONI H.**, Diurnal thermal behaviour of selected urban objects using remote sensing measurements, *Energy and Buildings*, novembre 2004, vol. 36, n° 11, pp. 1063-1074.
- DE HATTEN Anne**, Mise en évidence des caractéristiques générales de l'îlot de chaleur urbain Strasbourgeois. Thèse de maîtrise de Géographie. Université Louis Pasteur de Strasbourg. 2002.
- DHAKAL S., HANAKI K.**, Improvement of urban thermal environment by managing heat discharge sources and surface modification in Tokyo, *Energy and Buildings*, 2002, vol.34, pp.13-23.
- DOS SANTOS. R-M et VILLAS BOAS. M**, Urban morphology and thermal comfort conditions in the central area of Belo Horizonte, *Architecture, City, Environment, Proceedings of PLEA (Passive Low Energy Architecture)*, 2000, pp. 630-63.
- ELIASSON I.**, Urban nocturnal temperatures, street geometry and land use, *Atmospheric Environment*, 1996, Vol. 30, N° . 3, pp. 379-392.
- **FAN H., SAILOR D. J.**, Modelling the impacts of anthropogenic heating on the urban climate of Philadelphia : a comparison of implementations in two PBL schemes, *Atmospheric environment*, 2005, n°9, pp. 73-84.
- FISHER L.**, étude de paramètres climatiques pertinents en vue de l'amélioration de la prévision des pointes de pollution par l'ozone dans l'agglomération de Strasbourg, thèse de doctorat de l'université Louis Pasteur (Strasbourg I), 2001.
- GIVONI, B.**, Climate considerations in building and urban design, John Wiley & Sons, New York, 1998.
- **GRIMMOND C.S.B., OKE T.R.**, turbulent heat fluxes in urban areas : observation and a Local-Scale Urban Meteorological Parametrization Scheme (LUMPS), *journal of applied meteorology*, 2002, 41 : 792-810.
- GROLEAU Dominique, FRAGNAUD Fernand, ROSANT Jean-Michel**, Simulation of the radiative behavior of an urban quarter of Marseille with SOLENE model. In: Fifth International Conference on urban climate, Lodz, Pologne, 1-5 septembre 2003.
- ICHINOSE T., SHIMODOZONO K., HANAKI K.**, Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo, *Atmospheric Environment*, octobre 1999, vol. 33, n° 24-25, pp. 3897- 3909.

- IZARD Jean Louis, GUYOT Alain**, Archi. Bio, éditions Parenthèses, Paris, 1979, p 96.
- KATZSCHNER Lutz**, The Urban Climate as a Parameter for Urban Development. Energy and Buildings, vol.11, 1988, pp.137-147.
- LANDSBERG H.E.**, The urban climate, Academic Press, 1981, 275p.
- MALVERTI Xavier et PICARD Aleth**, Les saisons dans la ville, 1990, p115.
- MASSON V.**, Urban surface modelling and the mesoscale impact of cities, Theoretical and Applied Climatology, 2006, vol. 84, n° 1-3, pp. 35-45.
- MILLS G. M.**, The Urban Canopy Layer Heat Island. IAUC Teaching Resources, 2005.
- MILLS G. M.**, simulation of the energy budget of an urban canyon -1, model structure and sensitivity test, atmospheric environment, 1993, B27 : 157-170.
- MUSY Marjorie, RAMOS Fabien, SIRET Daniel, MOREAU Guillaume, MARENNE Christian**, Développement d'un SIG 3D dédié au diagnostic des potentialités environnementales des bâtiments. Revue Internationale de Géomatique, 2006, vol.16, n°1, p. 71-91.
- NAKAMURA Y., OKE T.R.**, Wind, temperature and stability conditions in an eastwest oriented urban canyon, Atmospheric Environment, 1988, vol. 22, n° 12, pp. 2691-2700.
- NUNEZ M, OKE T.R.**, The energy balance of an urban canyon, journal of applied meteorology, 1977, 16 :11-19.
- OKE T.R.**, City size and the urban heat island, Atmospheric environment, aout 1973, Vol. 7, n°8, pp, 769-779.
- OKE T.R., MAXWELL G.B.**, Urban heat island dynamics in Montreal and Vancouver, Atmospheric Environment, février 1975, Vol. 9, n°2, pp. 191-200.
- OKE T.R.**, Street design and urban canopy layer climate, Energy and Buildings, 1988, Vol. 11, pp. 103-113.
- OKE T.R.**, Canyon geometry and the nocturnal urban heat island : Comparison of scale model and field observations. Journal of climatology, 1981, vol.1, p. 237-254.
- OKE T.R., SPRONKEN-SMITH R.A., JAUREGUI E., GRIMMOND C.S.B.**, « The energy balance of central Mexico City during the dry season », Atmospheric Environment, octobre 1999, vol. 33, n° 24-25, pp. 3919-3930.
- OKE T.R.**, Boundary layer climates, Sec Edition, Methuen, London and New York, 1987.

- OKE T.R.**, initial guidance to obtain representative meteorological observations a turban sites, World Meteorological Organisation, Instruments and observing methods, report n°81, 2004.
- PIGEON G., LEMONSU A., MASSON V., HIDALGO J.** De l'observation du microclimat urbain à la modélisation intégrée de la ville, *La Météorologie*, No. 52, 2008, pp. 39-47.
- SANTAMORIS M.**, Energy climate in the urban built environment, James & James, London, 2001.
- SANTAMORIS M.**, Thermal Balance in the urban environment, Energy and climate in the urban built environment, James & James, London, 2001, pp. 39-47.
- SCHERER D., FEHRENBACH U., BEHA H.-D., PARLOW E.**, Improved concepts and methods in analysis and evaluation of the urban climate for optimizing urban planning processes. *Atmospheric Environment*, 1999, vol.33, pp. 4185-4193.
- SZPIRGLAS J., VOOGT J.A.**, A validation and performance assessment of the surface heat island model, in FACULTY OF GEOGRAPHICAL SCIENCES, Fifth International Conference on Urban Climate, 1-5 septembre 2003, Lodz, Lodz, Poland : University of Lodz, 2003.
- STEEMERS K. et STEANE M.A.**, Environmental Diversity in Architecture, Spon Press, Great Britain, 2004.
- TABEAUD Martine**, La climatologie, Edition ARMAND COLIN, Paris, 2000, p 156-157.
- TAHA H.**, Urban Climates and heat islands : albedo, evapotranspiration and anthropogenic heat, *Energy and buildings*, 1997, Vol. 25, n° 2, pp. 99-103.
- TERJUNG W. H., O'ROURKE P.A.**, Simulating the causal elements of urban heat islands, *Boundary-Layer Meteorology*, août 1980, vol. 19, n° 1.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA)**, Reducing urban heat islands: compendium of strategies, urban heat island basics. USEPA, Washington, DC, 2008, 19 p.
- **VOOGT J.A, OKE T.R.**, validation of an urban canyon radiation model for nocturnal long- wave fluxes, *boundary-layer meteorology* 54 : 347-361.
- WENG G., LU D., SCHUBRING J.**, Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies, *Remote sensing of environment*, février 2004, Vol.89, n°4, pp.467-483.

CHAPITRE II : L'ETUDE CHRONOLOGIQUE
DE LA GENESE DE LA RUE.

Introduction :

L'espace public est un composant fondamental de la ville, les rues et les places sont des lieux où s'expose l'architecture et où se déroule la vie quotidienne des citoyens. Ces espaces, n'ont cessé d'être au centre de la préoccupation des chercheurs : urbanistes, architectes, paysagistes, météorologues...etc., dont l'objectif est de déterminer les différents facteurs pouvant affecter le bien-être physique et psychique des usagers : « *La ville n'est pas seulement faite de fonctions, de droits d'usage des sols et de rapports sociaux, c'est aussi des formes et des paysages qui stimulent négativement ou positivement notre sensibilité* »¹. L'évolution des villes à travers l'histoire, témoignent que « *les espaces non bâtis essentiellement les rues et les places constituaient des entités autonomes et closes, produisant des effets esthétiques particuliers* »². De nombreux récits voient dans la ville le lieu par excellence d'un cadre de vie meilleur. On a avancé par exemple que : « *les gens des villes semblent vouloir rendre leurs cités confortables et mettre au point des dispositifs permettant de protéger le piéton de la nature, notamment des excès de chaque saison : de la pluie, de la boue, du vent, du froid, de la chaleur et de l'humidité* »³.

Ce présent chapitre s'articule autour du passé de l'un des éléments structurant de la ville : la rue. Ce composant urbain, vu qu'il est l'espace extérieur le plus mouvementé ; de circulation et d'activités, lui assurer le confort adéquat, non seulement à des fins urbanistiques mais également environnementales et climatiques. L'objectif du présent chapitre est de mettre l'accent sur la genèse et la conception de la rue à travers l'histoire. Pour ce faire, ce chapitre dresse une panoplie d'une formation sur la rue des villes Greco Romaines tant qu'élément structurant de ces établissements humains. Successivement, il tacle la réalité de la rue de la ville Arabo-musulmanes. La rue de la ville du 17^{ème} siècle est largement disséquée par l'autopsie effectuée sur la ville médiévale et celle de la Renaissance. Plus loin encore, une présentation succincte de cet élément structurant de la ville libérale du 18^{ème} siècle à la ville moderne du 20^{ème} siècle.

¹ SAIDOUNI Maouia, Eléments d'introduction à l'urbanisme, Alger, Casbah édition, 2000, p65.

² SAIDOUNI Maouia, Eléments d'introduction à l'urbanisme, Alger, Casbah édition, 2000, p32.

³ MALVERTI Xavier et PICARD Aleth, Les saisons de la ville, 1990, P114

1. Définition de la rue :

Le discours sur la rue présente deux tendances différentes, la première la considère comme espace libre, intervalle, selon cette vision le simple chemin sur le sol constitue une rue. Un tel modèle fait abstraction du contenu social et esthétique de l'espace rue. De même, que sous la réaction de processus de concentration qui a marqué les villes, cette forme est née. Cette réaction consistait à aérer la densité d'implantation des bâtiments, tout en favorisant les développements directionnels. Donc, différencier les fonctions urbaines et les localiser en les reliant par des axes de communication pratique. La deuxième tendance, la rue devient un lieu de rencontre, d'échange dédiée entre individus, c'est le cas des rues méditerranéennes. Dans de tels espaces la conception spatiale est génératrice d'ambiance adaptée au climat et favorisant une vie communautaire intense.

D'autres approches insistent sur le caractère de figure urbaine de la rue, ces approches basées essentiellement sur l'analyse visuelle, la rue afin de devenir forme véritable, doit posséder un caractère de figure (Norberg SCHULZ, 1985).

L'origine étymologique de "rue", est le mot latin "ruga", nom garde en Italien et dans d'autres langues romanes et qui par déformation est devenue "rue". "Ruga" veut dire ride; on pourrait dire que la rue est une cicatrice laissée par l'histoire. Cet espace de la rue est fondamentalement le lieu d'une histoire. 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 taille⁴.

D'après le petit Larousse : « la rue » : voie publique aménagée, dans une agglomération, entre les maisons, les immeubles ou les propriétés closes".⁵

⁴ <http://www.linternaute.com/dictionnaire/fr/definition/rue-1/>

⁵ Le petit Larousse illustré 2006.

-NORBERG-SCHULZ Ch, habité. Vers une architecture figurative, édition moniteur, paris, 1985.

2. 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'histoire⁶.

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.

2.1 La rue des villes Greco - Romaines :

Les villes gréco-romaines se sont très tôt munies de leurs dispositifs de rues après la saturation des places publiques : l'Agora et le Forum qui constituaient les centres politiques, administratifs, commerciaux et des lieux de rassemblement par excellence. Cependant, et après le développement des activités commerciales, il s'est avéré inévitable d'élargir les rues qui auparavant étaient tellement étroites qu'elles ne pouvaient permettre le passage de deux personnes en même temps (BESAAD Nadia, 2001). Athènes, symbole de la civilisation Grecque est considéré comme la ville la plus civilisée du monde ancien. Elle contenait des espaces publics qui activaient la vie sociale et économique et un tracé parfaitement orthogonal des rues : les rues principales de la ville s'étendaient du nord au sud contrairement aux rues secondaires qui s'étendait de l'est à l'ouest. Cette organisation permettait à la fois une protection contre les effets indésirables du climat et profiter des éléments désirables de celui-ci. (TAYAR A-Hakim, 1996). (Voir figure, II.1).

⁶ <http://calenda.revues.org>

-**BESAAD Nadia**, La rue, forme urbaine et pratiques sociales ; cas de la rue Belouizdad Boudjeriou à Constantine, mémoire de Magistère, Université de Constantine, 2001, p17.

-**TAYAR A-Hakim**, Espace de communication et climat, mémoire de Magistère, Université de Biskra, 1996, p8.



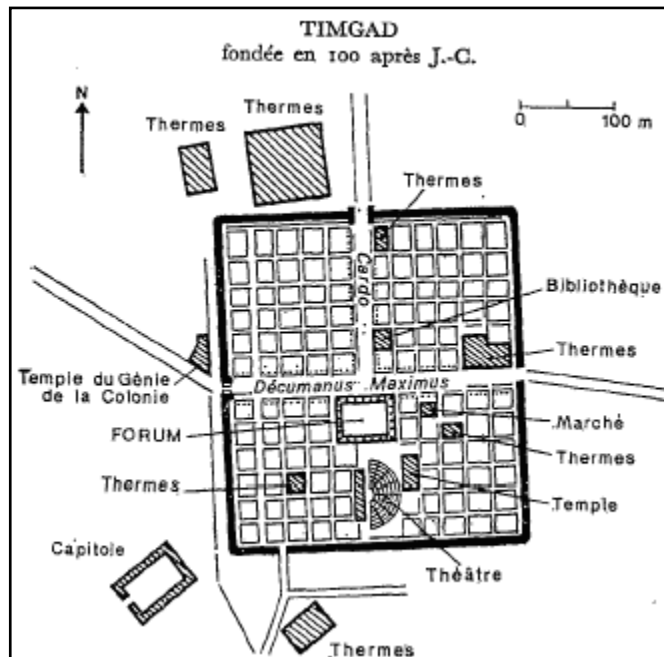
Figure, II.1: Rue grecque, Chios, Ile grecque, Athènes, Grèce.
Source: <http://photos.linternaute.com>

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 environnants⁷, faisait au fil du temps l'objet de divers aménagement riches et monumentaux pour les espaces extérieurs urbains, notamment à Athènes.

Les romains ont été les vrais promoteurs de l'élargissement des rues, et la conception du réseau routiers de leurs villes obéissait à des normes urbanistiques : dont la régularité et la hiérarchisation sont les principes les plus remarquables et esthétiques (voir figure, II.2) : en déterminant la richesse et le pouvoir de l'empire romain et climatiques en assurant un certain degré de confort extérieur à la population⁸.

⁷ 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.

⁸ BESAAD Nadia, La rue, forme urbaine et pratiques sociales ; cas de la rue Belouizdad Boudjeriou à Constantine, Thèse de Magistère, Université de Constantine, 2001, p18.



Figure, II.2 : Tracé des rues de la ville de Timgad.
Source: Microsoft Encarta 2007

Et comme la conception des trottoirs semble être l'un des premiers éléments de ce confort, les Romains les utilisaient déjà. Les rues de Rome sont pavées de blocs de silex de formes polygonales et disposants de trottoirs pour divers usages (Voir figure, II.3). De même que de grosses pierres posées en travers de la chaussée formait refuge pour les piétons en cas de fortes pluies.⁹

⁹ MALVERTI Xavier et PICARD Aleth, Les saisons de la ville, 1990, P 115.



Figure, II.3: pavage des voies romaines.

Source:<http://galilee.over-blog.com/photos/rue-romaine.jpg>-voyage Italie 2004-2005

2.2 La rue des villes Arabo – musulmanes : lieu de sociabilité :

Le passé est bien visible dans la structure de la ville. Traditionnellement la ville musulmane a des quartiers spécialisés : on y distingue une partie centrale où sont situés la forteresse : la casbah, la ville musulmane : la médina.¹⁰ Le fait que les pays du monde islamique sont en général chauds et secs, la nécessité immédiate consistait à trouver un mode d'organisation spatiale qui devrait protéger la population contre un soleil brûlant et un vent chaud emportant sable et poussière. Pour éviter la nature rude de ce climat, 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 possibilités d'ombrage 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

¹⁰ PELLETIER Jean, DELFANTE Charles, Villes et urbanisme dans le monde, Armand Colin Editeur, Paris, 2000, P123.

soleil d'une part et pour minimiser la possibilité d'ouverture vers l'extérieur d'autre part. Dans la médina, pas de plan régulier, un réseau de rues tortueuses et d'impasses, toujours étroites et aux murs aveugles où les rares fenêtres sont grillagées par les moucharabiehs. (PELLETIER J et DELFANTE Ch., 2000).

La rue étroite bordée de part et d'autre de construction assurant un ombrage mutuel des façades, offre pour les piétons une protection du soleil ardent et du vent chaud. 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. La largeur des rues se basait sur le moyen de transport qui existait à l'époque qu'est le chameau.

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. (BENADJI Amar, 1999).

2.3 La rue des villes au 17^{ème} siècle :

2.3.1 La ville médiévale (début 17^{ème} siècle) : élément de stratification sociale :

La période médiévale et précisément au début du XVII^e siècle, aucun principe d'organisation ne dictait la conception des rues. Les rues médiévales étaient généralement sinueuses, irrégulière, épousant les accidents du terrain et reflétant les vicissitudes de l'histoire (voir figure, II.4). La ville médiévale, limitée par ses fortifications, progressait selon un modèle concentrique, ajoutant à la première enceinte, historique, une deuxième enceinte de défense militaire qui distinguait clairement l'espace ville de l'espace rural. Très dense, close et souvent chaotique, elle opérait également une confusion totale entre le travail et le logement, ignorant complètement la conception des rues et voies de transport¹¹.

¹¹ Encyclopédie Encarta, 2007.

- PELLETIER Jean, DELFANTE Charles, Villes et urbanisme dans le monde, Armand Colin Editeur, Paris, 2000, P123.

- BENADJI Amar, Adaptation climatique ou culturelle en zone aride, Université de Biskra, 1999, p44.



Figure, II.4 : Vue sur la ville d'Avignon au XVII^{ème} siècle, Concentration forte et anarchique des rues
Source : Encyclopédie Encarta, 2007.

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 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. (Voir figure, II.5).



Figure, II.5: Rue de Sighisoara (Roumanie) datant de la période médiévale.
Source: Encyclopédie Encarta, 2007.

2.3.2 La Renaissance (moitié 17^{ème} siècle) :

Contrairement aux rues étroites et irrégulières des villes médiévales, l'urbanisme de la Renaissance accentuait les rues larges, régulières, en étoile ou en circonférence (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), mettant en perspective l'espace urbain. Une ville comme Ferrare, en Italie, présentait ainsi des rues droites et des angles droits, mais intégrées dans des blocs de construction asymétriques liés à la dynamique et à l'histoire ancienne de la cité.¹²

2.4 La rue des villes au 18^{ème} siècle :

Dès le 18^{ème} siècle, les traités d'urbanisme s'interrogent sur le confort des rues. P. Patte, dans son ouvrage : mémoire sur les objets les plus importants de l'architecture, publié en 1759, propose de construire des trottoirs et des arcades le long des rues et des places des marchés, qui sont les espaces les plus fréquentés des villes.

Le préfet Rambuteau, exprime l'inconfort de la rue à la fin du 18^{ème} siècle en disant que : « *dès qu'il pleuvait, la plupart des rues se transformaient en rivières qu'il fallait traverser sur des planches* » (voir figure, II.6). Un vrai danger menaçait les chevaux et les piétons.¹³

¹² Encyclopédie Encarta, 2007.

¹³ MALVERTI Xavier et PICARD Aleth, Les saisons de la ville, 1990, P115.



Figure, II.6 : rue d'Herculanum
Exemple d'utilisation des planches pour se protéger des eaux de pluies
Source : Encarta, 2005

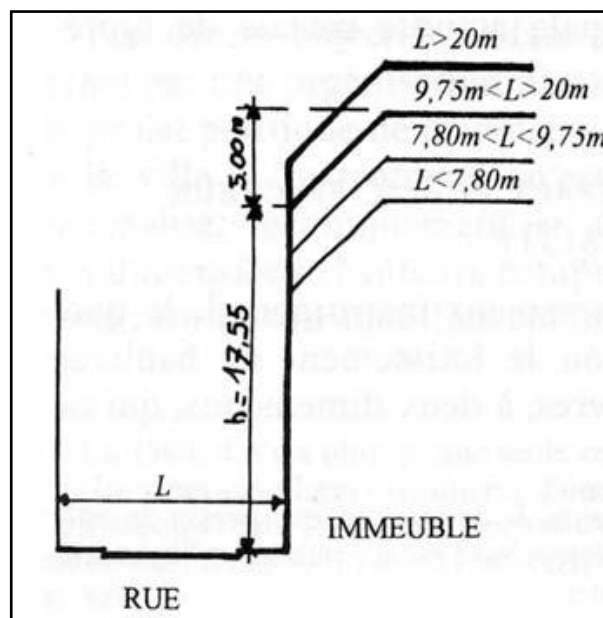
2.5 La rue des villes au 19^{ème} siècle :

La rue de la période moderne, traduisait le souci et l'intérêt particulier lié à son adaptation au climat. En 1844, avant même la construction des nouvelles villes, le maréchal Bugeaud¹⁴, 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 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 où 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.

¹⁴ MALVERTI Xavier et PICARD Aleth, les saisons de la ville, 1990, p116.

Il a fallu attendre 1845 pour voir voter la 1^{ère} loi rendant obligatoire la construction des trottoirs dans les nouvelles rues. Au centre de Paris, l'architecte Hector Horeau¹⁵, 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.

Avant les travaux de Haussmann, Paris était une ville médiévale aux ruelles étroites, insalubres malsaines et mal famées. Pour remédier à cette situation, le baron expropria, indemnisa, défonça, abattit et rebâtit sans compter. Les transformations de Paris vont durer jusqu'en 1870 et permettront la réalisation d'un programme de 165 km de voies nouvelles sur un total de 855. La largeur des voies passe en moyenne de 12 à 24 mètres dans l'ancien Paris et de 13 à 18 dans les arrondissements annexés en 1859. Les rues connaissent ainsi de nouveaux prospects (Voir figure, II.6).



Figure, II.6 : Le gabarit des rues selon le projet de Haussmann
source : THIBERGE, 2002.

¹⁵ PENEAU, J. P., Morphologie urbaine et climat urbain, Energie et climat urbain : actes de journée du CUEPE, 1995, p19.

La construction d'arcades le long des rues pour protéger les piétons des eaux de pluie, préoccupait beaucoup les architectes tout au long du XIX^e 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.

2.6 La rue des villes au 20^{ème} siècle :

Pendant le XX^e 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 dit¹⁶ 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.

¹⁶ MALVERTI Xavier et PICARD, Aleth, les saisons de la ville, 1990, p116.

Conclusion

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 bien être 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 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 a été le fruit de profondes réflexions et est loin d'être le fait du hasard. Dans la ville Gréco romaine les rues principales s'étendaient du nord au sud contrairement aux rues secondaires qui s'étendait de l'est à l'ouest. Pour éviter la nature rude du climat dans la ville Arabo musulmane est composée d'un tissu urbain compact et d'un réseau de rues tortueuses et d'impasses toujours étroites. La ville médiévale, limitée par des fortifications, L'espace ville est très dense, close et souvent chaotique, elle opérait également une confusion totale entre le travail et le logement, ignorant complètement la conception des rues et voies de transport. Les rues à cette époque étaient spécialisées dans des activités particulières. Contrairement aux rues étroites et irrégulières des villes médiévales, l'urbanisme de la Renaissance accentuait les rues larges et régulières, en étoile ou en circonférence. Au 18^{ème} siècle, les traités d'urbanisme s'interrogent sur le confort des rues par la construction des trottoirs et des arcades le long des rues. La rue de la période moderne, traduisait le souci et l'intérêt particulier lié à son adaptation au climat. Projeter assez d'ombre pour garantir des ardeurs du soleil, la construction des trottoirs dans les rues, La construction d'arcades le long des rues pour protéger les piétons du soleil et des pluies torrentielles. Pendant le XX^e 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.

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, ce qui fera l'objet du prochain chapitre.

BIBLIOGRAPHIE

- **BENADJI Amar**, Adaptation climatique ou culturelle en zone aride, Université de Biskra, 1999, p44.
- BESAAD Nadia**, La rue, forme urbaine et pratiques sociales ; cas de la rue Belouizdad Boudjeriou à Constantine, mémoire de Magistère, Université de Constantine, 2001, p17.
- **MALVERTI Xavier et PICARD Aleth**, Les saisons de la ville, 1990, P114, 115,116.
- **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 semiarides- cas de Biskra », mémoire de magister, université Mohamed Khidder Biskra, 2002, p13.
- NORBERG-SCHULZ Ch**, habité. Vers une architecture figurative, édition moniteur, paris, 1985.
- **PELLETIER Jean, DELFANTE Charles**, Villes et urbanisme dans le monde, Armand Colin Editeur, Paris, 2000, P123.
- PENEAU, J. P.**, Morphologie urbaine et climat urbain, Energie et climat urbain : actes de journée du CUEPE, 1995, p19.
- **SAIDOUNI Maouia**, Eléments d'introduction à l'urbanisme, Alger, Casbah édition, 2000, p32-65.
- TAYAR A-Hakim**, Espace de communication et climat, mémoire de Magistère, Université de Biskra, 1996, p8.
- THIBERGE, C.**, La ville en creux, éditions du Linteau, Paris, 2002, 335p.

.....

CHAPITRE III: IMPACT DES
CARACTERISTIQUES PHYSIQUE ET
GEOMETRIQUES DE LA RUE SUR LE
MICROCLIMAT URBAIN.

.....

Introduction :

La ville est un écosystème complexe que la multiplicité des définitions reflète bien. Elle est « *territoire et population, cadre matériel et unité de vie collective, configuration d'objets physiques et nœuds de relations entre sujets sociaux* » (Grafmeyer, 1995). La ville, pour reprendre les représentations systémiques et éco-systémiques existantes (Bossel, 1999. Bonan, 2002), allie ainsi à la fois des dimensions fonctionnelles (l'habitat, les loisirs, l'éducation, l'emploi), une diversité de lieux (bâti, non bâti, etc.) et des groupes sociaux (des individus d'origines diverses et ayant des intérêts différents). De plus, la ville évolue au sein d'un environnement « naturel » avec lequel elle interagit en permanence. Le climat fait partie intégrante de cet environnement et, par le passé, la conception des bâtiments et, par extension, des villes s'est souvent faite avec une volonté d'adéquation avec celui-ci (Givoni, 1978). Les infrastructures urbaines (routes, trottoirs, stationnements) peuvent constituer jusqu'à 45% de la surface des espaces urbains (Christen, A et R Vogt. 2004). Les matériaux utilisés dans leur construction ont des propriétés qui provoquent le stockage de la chaleur au sein d'un milieu urbain.

Des matériaux alternatifs peuvent minimiser le phénomène de l'îlot de chaleur urbain. Le but de l'implantation de techniques alternatives est de se rapprocher au mieux des milieux dits naturels, c'est-à-dire des surfaces perméables, végétalisées, pouvant réfléchir au maximum les rayons solaires sans les transformer en chaleur.

La connaissance des applications urbaines expérimentales de stratégies d'atténuation de l'îlot de chaleur urbain ainsi que les mesures atténuant le réchauffement des rues est fondamental dans toutes les études de micro climat urbain, et ça fait l'objet de ce chapitre.

-GRAFMEYER, Yves., *Sociologie urbaine*. Paris : Nathan, 1995, 128 p. (collection 128).

-BOSSSEL, Hartmut., *Indicators for Sustainable Development: Theory, Method, Applications*. A Report to the Balaton Group. Winnipeg (Canada): *International Institute for Sustainable Development*, 1999, 125 p.

-BONAN, Gordon., *Ecological climatology – concepts and applications*. Cambridge University Press, 2002, 678 p.

-CHRISTEN, A et R Vogt., *Energy and radiation balance of a central European city*. *International Journal of Climatology*, 2004, no24, p. 1395-1421.

1. Mesure des variations du microclimat urbain en relation avec les éléments de la rue :

Nous présentons dans les développements qui suivent quelques travaux qui visaient l'évaluation des effets climatiques sur l'échelle de la rue.

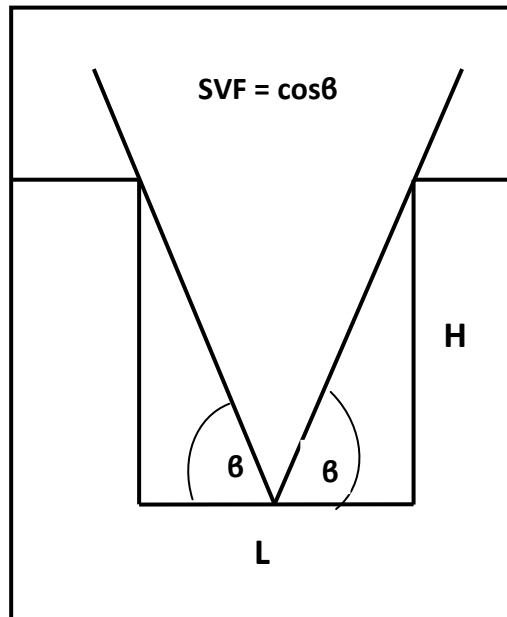
1.1 Facteur de vue du ciel :

Le facteur de vue du ciel¹ est une cause de variation de l'intensité de l'îlot de chaleur urbain est la structure géométrique tridimensionnelle de la surface urbaine. Les rues en milieu urbain peuvent être caractérisées de manière quantitative par le rapport d'aspect (rapport entre la hauteur des bâtiments H et la largeur des rues L) qui est inversement proportionnel au facteur de vue du ciel des éléments de la rue. (Oke, 1981) montre que plus le rapport d'aspect d'un site de mesures est élevé, plus la différence de température avec un site rural est grande. Ce rapport permet de caractériser la capture des rayons solaires lors de leurs multiples réflexions sur les façades verticales du canyon. Il constitue également une bonne approximation du SVF (Mills, 2005). Le facteur de ciel exprimé selon (Oke, 1981) est une expression simplifiée du facteur qui considère une symétrie parfaite du canyon. (Voir figure, III.1).

¹**Facteur de vue du ciel** : Le facteur de vue du ciel est la mesure de l'angle solide de vue du ciel depuis un espace urbain. Il est une mesure de l'ouverture vers le ciel d'une texture urbaine et a une influence sur divers phénomènes climatologiques tels que l'îlot de chaleur urbain, l'éclairage naturel et l'absorption de chaleur.

-**OKE T.R.**, Canyon geometry and the nocturnal urban heat island : Comparison of scale model and field observations. *Journal of climatology*, 1981, vol.1, p. 237-254.

-**MILLS G. M.**, *The Urban Canopy Layer Heat Island*. IAUC Teaching Resources, 2005.



Figure, III. 1: Schéma d'un canyon urbain
Source: Mills, 2005, réadapté par auteur.

1.2 Nature des matériaux de construction :

Les matériaux de construction sont également une cause de l'îlot de chaleur urbain. En effet, ils emmagasinent la chaleur au cours de la journée et la rediffusent progressivement en soirée et durant la nuit lorsque la température extérieure diminue. Ce phénomène s'explique par leurs propriétés thermiques. Ils engendrent une température au sein du milieu urbain supérieure au milieu rural de référence, qui emmagasine beaucoup moins d'énergie solaire. (Oke, 1981) a montré, à l'aide d'une simulation physique, que l'écart de température entre un modèle réduit de ville et une surface en bois est plus fort lorsque le matériau utilisé pour la « maquette » est du béton.

1.2 Albédo :

L'un des paramètres influençant le phénomène est l'albédo. Il est défini par le rapport de l'énergie solaire réfléchiée par une surface par rapport à l'énergie solaire qu'elle reçoit. L'albédo s'exprime sur une échelle variant de zéro à un.

-OKE T.R., Canyon geometry and the nocturnal urban heat island : Comparison of scale model and field observations. *Journal of climatology*, 1981, vol.1, p. 237-254.

Une valeur nulle correspond au noir qui absorbe l'intégralité de l'énergie qu'il reçoit et une valeur unitaire correspond à une surface blanche diffusant dans toutes les directions et n'absorbant rien du rayonnement électromagnétique visible qu'elle reçoit. Selon la conductivité thermique, cette énergie réchauffe le matériau qui restitue la chaleur à l'air ambiant sous forme de chaleur sensible. Plus la surface sera chaude, plus l'air ambiant le sera.

Chaque matériau a une valeur spécifique d'albédo. Le Tableau, III.1 indique ces valeurs pour des surfaces présentes habituellement dans les villes.

Matériaux	Albédo
Asphalte	0,05 _ 0,20
Murs :	
Béton	0,10 _ 0,35
Briques	0,20 _ 0,40
Pierres	0,20_ 0,35
Toiture :	
Goudron et gravier	0,08 _ 0,18
Tuile	0,10 _ 0,35
Ardoise	0,10

Tableau, III. 1: Albédo des surfaces urbaines
Source: Aida et Gotoh, 1982, réadapté par auteur.

Les valeurs présentées au Tableau 1 montrent que l'asphalte absorbe la majeure partie du rayonnement solaire qu'il reçoit comparativement aux autres matériaux. En ce qui concerne les valeurs d'albédo de la végétation, une étude allemande a mesurée des valeurs entre 0,25 et 0,30 pour les arbres et entre 0,15 et 0,18 pour les surfaces gazonnées (Peck, Taylor et Conway, 1999).

-Peck, AB, GB Taylor et JE Conway., « Obscuration of the Parsec-scale Jets in the compact symmetric Object ». *ApJ*, 1999, no521, 103 p.

1.2.3 Émissivité :

Surface	Emissivité ϵ
Asphalte	0,95
Béton	0,71 _ 0,91
Aires urbaines	0,85 _ 0,96
Son sec à mouillé	0,98 _ 0,90
Pelouse haute à basse	0,90 _ 0,95

Tableau, III.2 : Valeurs d'émissivité pour des surfaces rencontrées en milieu urbain
Source : Uherek, 2005, réadapté par auteur.

Une autre propriété influençant les îlots de chaleur est l'émissivité. Il s'agit de l'aptitude d'un matériau à échanger de la chaleur par rayonnement. Le (Tableau, III.2) répertorie les valeurs d'émissivité pour les matériaux les plus couramment utilisés en milieu urbain.

1.2.4 Propriétés thermiques caractéristiques :

(Le Tableau, III.3) énumère les grandeurs thermiques caractéristiques de matériaux présents en zone rurale et en zone urbaine. On considère la masse volumique ρ , la capacité thermique massique c , la capacité thermique volumique C (avec $C = c \times \rho$), la conductivité thermique λ , et l'effusivité thermique μ (avec $\mu = \sqrt{\lambda \times c}$) qui indique la vitesse à laquelle la température d'un matériau varie et exprime la capacité de celui-ci à absorber ou à restituer de la chaleur (Pigeon, 2007).

Les valeurs du Tableau 3 montrent que les matériaux urbains (asphalte et béton par exemple) ont une capacité thermique volumique C ainsi qu'une conductivité thermique λ plus élevés que les matériaux ruraux.

-Pigeon, G., « Les échanges surface-atmosphère en zone urbaine- Projets clu-escompte et Capitoul ». Mémoire de doctorat. Université Paul Sabatier Toulouse III, écoledoctorale des sciences de l'univers, de l'environnement et de l'espace, Toulouse (France), 2007, 172 p.

En conséquence, ils ont une meilleure effusivité thermique μ (définissant la capacité d'un matériau à échanger de la chaleur avec son environnement) qui favorise ainsi le stockage et le relâchement de la chaleur durant la nuit (Grimmond et Oke, 1995 et 1999; Christen et Vogt, 2004).

Matériaux	Caract.	ρ (Kg/m ³) *10 ³	c (J/kg/K) *10 ³	C (J/M3/K) *10 ⁶	λ (W/m/K)	μ (J/m ² /s ^{0,5} /K)
Sol sableux (40% pore)	Sec	1,6	0,80	1,28	0,30	620
	Saturé	2,0	1,48	2,96	2,20	2550
Sol argileux (40% pore)	Sec	1,6	0,89	1,42	0,25	600
	Saturé	2,0	1,55	3,10	1,58	2210
Tourbe (80% pore)	Sec	0,3	1,92	0,58	0,06	190
	Saturé	1,10	3,65	4,02	0,50	1420
Asphalte	---	2,11	0,92	1,94	0,075	1205
Béton	Dense	2,40	0,88	2,11	1,51	1785
Pierre	---	2,68	0,84	2,25	2,19	2220
Brique	---	1,83	0,75	1,37	0,83	1065
Tuile	Argile	1,92	0,92	1,77	0,84	1220
Bois	Dense	0,81	1,88	1,52	0,19	535
polystyrène	---	0,02	0,88	0,02	0,03	25

Tableau, III. 3: Propriétés thermiques des matériaux naturels et de construction
Source: Pigeon, 2007, réadapté par auteur.

1.3 Environnement climatique dans une rue :

Au niveau de la rue, le bilan énergétique influence la fluctuation de la température. En effet, le rayonnement solaire incident sur les surfaces urbaines est absorbé puis transformé sous forme de chaleur sensible.

-Grimmond, CSB et TR Oke., Comparison of heat fluxes from summertime observations in four North American cities. *Journal of Applied Meteorological*, 1995, no34, p. 873-889.

-Grimmond, CSB. et TR Oke., Heat storage in urban areas: observations and evaluation of a simple model. *Journal of Applied Meteorological*, 1999, no38, p. 922-940.

-Christen, A et R Vogt., Energy and radiation balance of a central European city. *International Journal of Climatology*, 2004, n°24, p. 1395-1421.

Une grande quantité du rayonnement solaire est reçue par les toitures et les murs verticaux des bâtiments tandis qu'une petite quantité est reçue par le sol.

Les murs, les toitures et le sol émettent de la chaleur par rayonnement de grande longueur d'onde vers le ciel. L'intensité du rayonnement est fonction du facteur de ciel vu de la surface. Donc théoriquement, la température des surfaces est fonction du facteur de ciel vu. A l'échelle du canyon, (Elaison, 1996) affirme que la structure physique de la ville a un effet significatif sur la température de la surface. Les résultats de cette recherche montrent une forte corrélation entre le facteur de ciel vu et la température de la surface. Par contre, (Arnfield, 1999, cite par Santamouris, 2001) montre que la température de la surface varie selon la géométrie urbaine. Les résultats de cette recherche montrent une différence de température de la surface de 4 K entre deux sites urbains de densité urbaine différente (ratio H/L; 0,5 - 0,2).

1. 3.1 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. 1999), définissent la température moyenne radiante comme étant une température uniforme d'une surface environnante donnée par la radiation d'un corps noir (coefficient d'émission $\epsilon = 1$) qui résulte dans le gain de la même énergie du corps humain comme des flux de radiations dominants.

-ELIASSON I., Urban nocturnal temperatures, street geometry and land use, *Atmospheric Environment*, 1996, Vol. 30, N°. 3, pp. 379-392.

-SANTAMORIS M., *Thermal Balance in the urban environment, Energy and climate in the urban built environment*, James & James, London, 2001, pp. 39-47.

-MATZARAKIS.A, MAYER.H, IZIOMON.M.G, Applications of a universal thermalindex: physiological equivalent temperature, *Int J Biometeorol*, 1999, 43:76-84.

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.

1.3.2 L'humidité relative:

L'atmosphère contient toujours de l'eau. Le terme humidité relative désigne la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air et s'exprime en pourcentage du maximum d'humidité possible pour les conditions existantes (température).

1.3.3 La température de l'air ambiant :

La température de l'air est la mesure de la vitesse à laquelle les atomes et les molécules de l'atmosphère se déplacent (quantité d'énergie dans l'air).

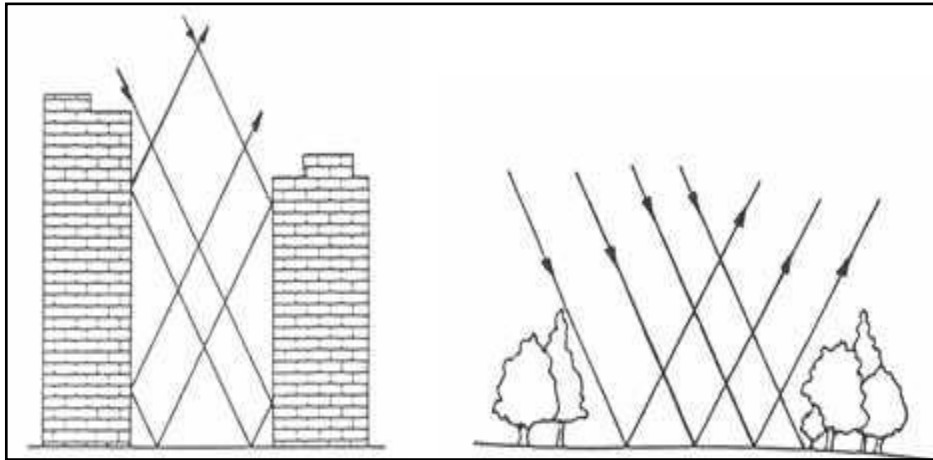
Les températures T sont exprimées en degrés Celsius (°C). Les climatologues préfèrent le degré Celsius (utilisé en Europe) au degré Fahrenheit (utilisé en Amérique) car il a l'avantage de marquer le point de gel à 0°C. Lorsque l'on parle de températures, il est utile de préciser les minima (vers 3h du matin) et les maxima (vers 14h) pour apprécier l'amplitude thermique journalière. On enregistre les températures sous abri, à 1,80 m de hauteur, dans un lieu bien aéré.

1.3.4 Impacts radiatifs :

La géométrie de la ville est un facteur essentiel de la particularité climatique du milieu urbain. Les rues et les hautes parois verticales forment ce que l'on nomme les canyons urbains (Nunez et Oke, 1977. Oke, 1978) et constituent de véritables pièges radiatifs (Voir figure, III.2).

-NUNEZ M. OKE, T.R., The energy balance of an urban canyon. *Journal of Applied climatology*, vol.16, n°1, 1977.

-OKE T.R., *Boundary Layer Climates*. London: Methuen & Co Ltd, 1978, 372 p.



Figure, III. 2: Le piège radiatif des rues
Source: Griffiths, 1976.

En premier lieu, le rayonnement solaire, réfléchi par les différentes parois, ne parvient à ressortir vers l'atmosphère que partiellement. Les surfaces se réchauffent ainsi sous l'action des rayons. Ce piégeage influence également la valeur de l'albédo du couvert urbain, comme nous le verrons au chapitre suivant, valeur qui est diminuée puisque l'albédo est défini comme le rapport de l'énergie solaire incidente réfléchie par une surface sur cette même énergie incidente. Ainsi, quand le rayonnement solaire arrive sur une surface opaque, une partie de l'énergie est réfléchie (cette fraction correspond à l'albédo = α), et le reste est absorbé ($1 - \alpha$).

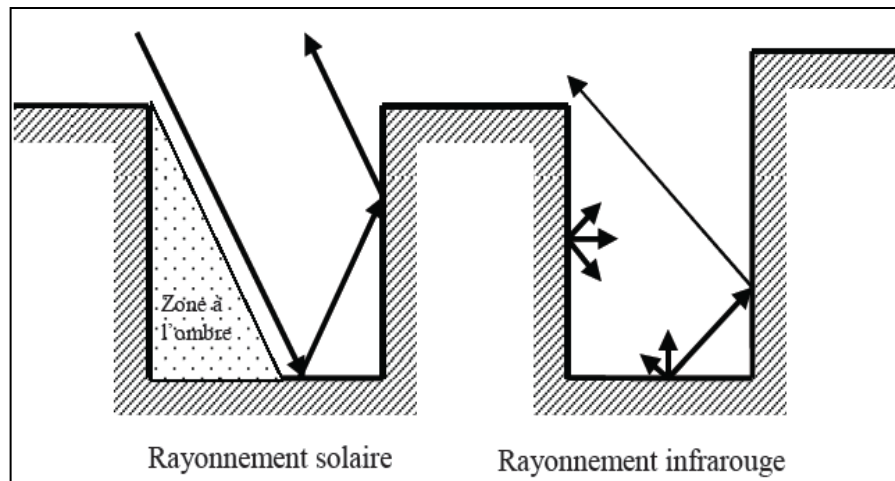
Les surfaces avec un faible albédo deviennent alors plus chaudes que celles avec un fort albédo. Cette définition s'applique aussi bien à des surfaces uniformes qu'à des milieux plus hétérogènes et complexes comme les zones urbaines.

Le rayonnement infrarouge émis par les surfaces chauffées, et fonction de l'émissivité² des matériaux, reste également en partie piégé à l'intérieur du canyon réchauffant ainsi l'air ambiant et les matériaux (lorsque ce rayonnement frappe un corps quelconque, une partie peut être réfléchie, une autre transmise à travers le corps, et le reste est absorbé sous forme de chaleur).

Ainsi, si les surfaces urbaines, du fait de l'ombre des bâtiments les uns sur les autres, sont soumises à un rayonnement solaire direct la plupart du temps moindre qu'en

²L'émissivité d'une surface est le rapport de l'énergie qu'elle rayonne par celle qu'un corps noir rayonnerait à la même température. C'est donc une mesure de la capacité d'un corps à absorber et à réémettre l'énergie rayonnée. Dans le cas du corps noir, qui absorbe et réémet toute l'énergie, $\epsilon = 1$. Et pour un corps quelconque, de température uniforme, on aura $\epsilon < 1$.

milieu rural, elles sont soumises à des rayonnements solaire réfléchi et infrarouge plus importants (voir figure, III.3).



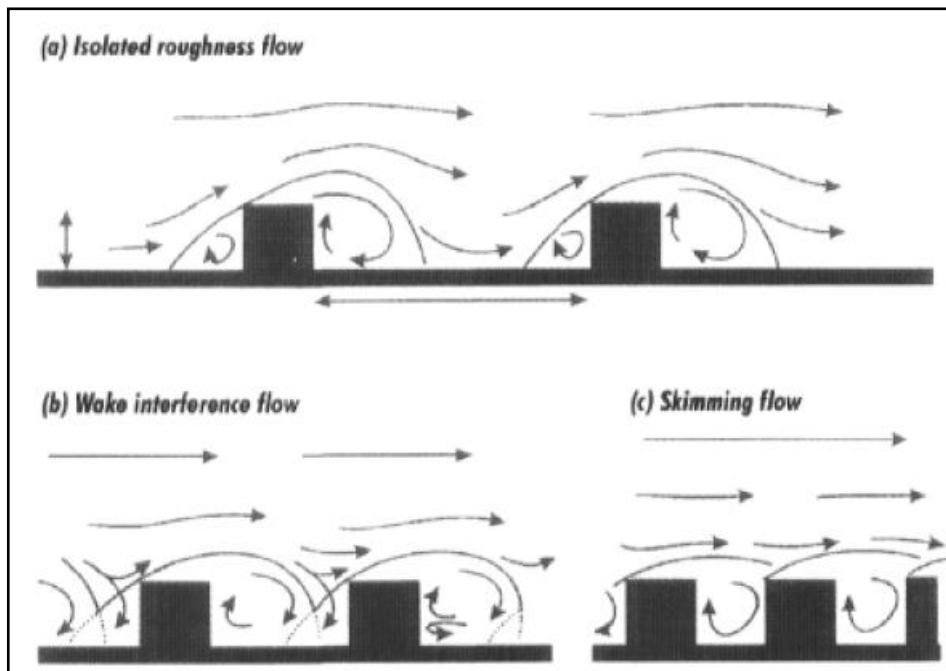
Figure, III.3: Rayonnement solaire et rayonnement infrarouge en milieu urbain.
Source: Robinson, 2006.

Plusieurs indicateurs peuvent être utilisés pour définir l'importance de ces perturbations radiatives (Robinson, 2006). Le facteur de vue du ciel est l'un d'eux et peut être calculé pour chaque surface.

1.3.5 Impact éolien :

La porosité d'un tissu urbain conditionne la pénétration du vent dans le tissu spécialement à travers les rues. Le vent arrivant sur l'agglomération avec une vitesse plus faible que sa vitesse d'origine est soumise à une variation de sa trajectoire ainsi que de sa vitesse. Des survitesses peuvent en effet apparaître dans un canyon urbain. Le ratio H/L peut modifier l'écoulement initial du vent, c'est-à-dire son écoulement avant d'atteindre l'espace. Une fois dans l'espace (lorsque les dimensions urbaines le pénètrent), les façades environnantes peuvent canaliser le vent, le freiner et entraîner des mouvements tourbillonnaires au pied des constructions (voir figure, III.4).

-ROBINSON Darren., Urban morphology and indicators of radiation availability. *Solar Energy*, vol.80, 2006, p.1643.

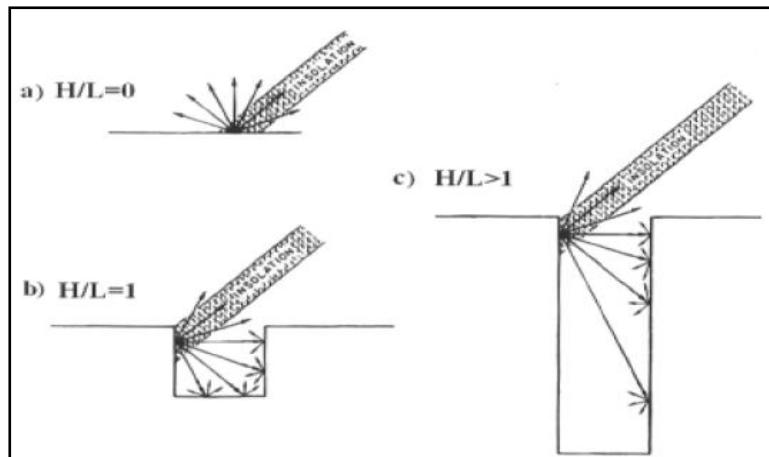


Figure, III.4 : Profil de la circulation de l'air en fonction du rapport de la hauteur moyenne de la rue et de sa largeur.
Source : Santamouris, 2001, p.76.

1.4 La relation entre la géométrie de la rue et la pénétration des rayons solaires au niveau de la rue :

La pénétration des rayons solaires est fonction des dimensions horizontales des rues. Par exemple, une grande ouverture dans le tissu urbain rend ces rues favorables au captage du rayonnement solaire. Des échanges convectifs surfaciques peuvent apparaître en conséquence et entraîner alors l'élévation des températures radiantes. Par contre une faible ouverture des rues due au regroupement spatial pour une forte densité d'occupation horizontale de l'espace induit un faible pourcentage de ciel vu. Cela réduit le temps d'exposition des espaces au rayonnement du spectre solaire. Par ailleurs, l'étroitesse des rues favorise la distribution des zones d'ombre. Elle produit de plus des zones souvent plus fraîches le matin qu'en fin d'après-midi. Les températures de rayonnement varient ainsi considérablement dans ce type de configurations. Le rapport entre la hauteur moyenne de l'espace et sa plus petite largeur permet d'évaluer la plus petite distance entre façades susceptibles d'être exposées ou non aux rayonnements solaires. Il permet ainsi de quantifier le rapport entre les surfaces

verticales et horizontales pouvant être impliquées dans les échanges énergétiques de l'espace (Voir figure, III.5).



Figure, III.5: Distribution schématique du rayonnement solaire incident dans différents scénarios d'H/L

Source : Givoni, 1998, p.248.

1.5 La relation entre les composants de la rue et le transfert radiatifs au niveau de la rue :

Selon l'orientation, la localisation géographique, la saison, le rôle de chacun de composants de la rue prend plus ou moins d'importance. Les matériaux des toitures par leur albédo ont un impact important sur l'îlot de chaleur (Simpson, 1997; Akbari, 2003). L'influence de leur forme, de leur orientation et de leur végétalisation ont été étudiées (Runsheng, 2003; Tang, 2006; Niachou, 2001).

-SIMPSON J.R., MCPHERSON E.G., 1997. The effects of roof albedo modification on cooling loads of scale model residences in Tucson, Arizona. *Energy Build*, 1997, vol. 25, n° 2. p. 127-137.

-AKBARI H, SHEA Rose L., TAHA H., Analyzing the land cover of an urban environment using high-resolution orthophotos. *Landscape Urban Plann*, 2003, vol. 63, n° 1. p. 1-14.

-RUNSHENG T, MEIR I.A., ETZION Y., An analysis of absorbed radiation by domed and vaulted roofs as compared with flat roofs. *Energy Build*. 2003, vol. 35, n° 6. p. 539-548.

-TANG R, MEIR I.A., WU T., Thermal performance of non air-conditioned buildings with vaulted roofs in comparison with flat roofs. *Build. Environ*, 2006, vol. 41, n° 3. p. 268-276.

-NIACHOU A, PAPAKONSTANTINO K, SANTAMOURIS M., Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. *Energy Build*, 2001, vol. 33, n° 7. p. 719-729.

En ce qui concerne les façades, les études portent sur la couleur, la conductivité et l'ombrage (Givoni, 1972 ; Bossel, 1999).

Pour les fenêtres, les vitrages ou ouvrants traditionnels sont en général adaptés au climat. Cependant l'évolution des matériaux verriers a permis l'augmentation des surfaces vitrées. Des solutions techniques telles que des vitrages réversibles ont été imaginées (Erell, 2008). La conception des brise-soleil et des masques est facilitée par de nombreux modèles, outils graphiques ou logiciels (Synnefa, 2007).

Les arbres agissent comme masque au soleil et au vent et la végétation influence la balance énergétique par l'apport de chaleur latente. Si de nombreuses solutions ont été étudiées, il ne suffit pas d'en cumuler les effets. Une toiture réfléchive ou végétalisée n'a pas le même impact sur la consommation énergétique selon le niveau d'isolation. Il s'agit donc de composer avec ces dispositions une solution adaptée au contexte climatique, au type de bâtiment et à son usage.

1.6 Bilan énergétique dans le milieu urbain :

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 peut être abordé selon différentes échelles.

1.6.1 À l'échelle d'une surface :

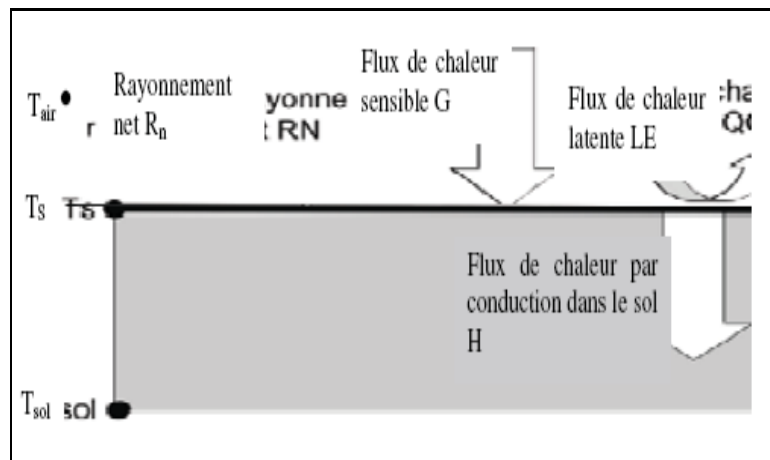
Un deuxième type de bilan régit les échanges de chaleur au sein d'un milieu, il s'agit du bilan d'énergie. Les composantes de cette équation sont présentées schématiquement par la Figure suivante :

-**GIVONI B., HOFFMAN M.E.**, Prediction of the thermal behavior of full scale buildings : first research report to the US National Bureau of Standards. Rapport de recherche, *Technion Haifa : Buildings research stations*, 1972.

-**BOSSEL, Hartmut.**, Indicators for Sustainable Development: Theory, Method, Applications. A Report to the Balaton Group. Winnipeg (Canada): *International Institute for Sustainable Development*, 1999, 125 p.

- **Erell E.**, The application of urban climate research in the design of cities, *Advances in building energy research*, *earthscan*, 2008, 2: 95-121.

-**Synnefa, A., Santamouris, M., Apostolakis, K.**, On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment, *Solar Energy*, Vol. 81, No. 4, pp. 488-497, 2007.



Figure, III.6: Transfert de flux en surface.
Source : Musy, 2007.

À l'échelle surfacique, le bilan d'énergie se définit selon l'équation suivante :

$$R_n = H + LE + G \quad (1)$$

Où :

R_n : rayonnement net (en W/m^2)

G : flux de chaleur sensible (en W/m^2)

LE : le flux de chaleur latente (évaporation et évapotranspiration) (en W/m^2)

H : flux de chaleur dans le sol (transfert de conduction dans le sol) (en W/m^2).

1.6.2 À l'échelle urbaine :

L'existence d'îlots de chaleur résulte également de la modification du bilan d'énergie en ville comparativement à la campagne (augmentation de la chaleur anthropique, diminution du flux de chaleur latente). Une partie de l'énergie nette arrivant à la surface sert à réchauffer le sol par conduction, une autre à l'évaporation de l'eau, une autre à modifier l'atmosphère par convection, et une autre pour les processus photochimiques de l'assimilation chlorophyllienne des végétaux. Ce bilan d'énergie en campagne est défini selon l'équation (2).

$$R_n + F = H + LE + G \quad (2)$$

Où :

Rn : rayonnement net (en W/m^2)

H : flux de chaleur sensible (en W/m^2)

LE : flux de chaleur latente (en W/m^2)

G : flux de chaleur dans le sol et les bâtiments (en W/m^2) (correspondant à la quantité d'énergie stockée dans le sol et les matériaux, dépendant de leur caractéristique à transmettre et à stocker de l'énergie).

F : flux de chaleur anthropique (en W/m^2)

1.6.3 Flux de chaleur sensible (H) :

Le flux de chaleur sensible est une des causes majeures de la présence d'un îlot de chaleur urbain. Il est alimenté à la fois par les rejets de chaleur d'origine anthropique et par la chaleur stockée au sein du sol et des bâtiments (G). Ces derniers permettent à (H) de rester positif, même pendant la nuit. Comme le signale Ringenbach (2004), « *le refroidissement radiatif plus rapide que la baisse de la température de l'air met en évidence le rôle du flux de chaleur sensible dans le réchauffement de l'atmosphère* ».

Le flux de chaleur sensible (H) et la chaleur stockée (G) constituent en journée 90% des flux échangés au sein d'un site fortement urbanisé (Roberts et al. 2004).

1.6.4 Flux de chaleur latente (LE) :

La production du flux de chaleur latente (énergie dépensée pour l'évaporation de l'eau) dépend directement de la disponibilité de l'eau en surface. Le flux latent provient principalement de l'évaporation de l'eau ou de l'évapotranspiration du sol naturel et des végétaux.

-RINGENBACH, Nicolas.,*Bilan radiatif et flux de chaleur en climatologie urbaine : mesures, modélisation et validation sur Strasbourg*. Thèse : climatologie et temps, Strasbourg I, 2004, 167 p.-
ROBERTS, Sarah M. OKE, TR. LEMONSU, A. GRIMMOND, CSB. JACKSON, P., Sensitivity of surface-atmosphere energy exchanges within urban areas derived from simulations. In : 84th AMS Annual Meeting : Symposium on planning, nowcasting, and forecasting in the urban zone, *Seattle, Etat-Unis, 12-15 janvier 2004*.

Comme nous l'avons déjà évoqué, ce flux induit un abaissement de la température de l'eau puis un abaissement de la température d'air du fait des échanges convectifs entre la surface de l'eau et l'air.

La réduction des phénomènes évapotranspiratoires en milieu urbain a pour conséquence un flux de chaleur latente la plupart du temps inférieur par rapport à celui présent dans les milieux ruraux voisins. Dans certaines situations, par exemple en cas de gel, on assiste à une inversion de ce phénomène du fait de la grande diminution des phénomènes évapotranspiratoire en milieu rural.

L'imperméabilisation du milieu urbain et la diminution de la présence de végétaux modifient considérablement les flux de chaleur sensible et latente et des ordres de grandeur peuvent être avancés.

1.6.5 Flux de chaleur dans le sol et les bâtiments (G) :

Les phénomènes radiatifs et thermiques conduisent à une accumulation de la chaleur au sein des matériaux et du sol. Cette énergie est restituée à l'atmosphère principalement durant la nuit et constitue durant cette période une des principales sources d'énergie (Ringebach, 2004). La campagne, du fait, entre autres, d'un stock d'énergie moindre, se refroidit beaucoup plus rapidement.

1.7 La notion d'adaptation :

Depuis longtemps l'équilibre thermique a été utilisé pour prédire les conditions thermiques dans un environnement climatique urbain. Il s'agit, en effet, des facteurs contextuels (fonction du bâtiment, climat, saison).

L'adaptation dans le cadre des changements climatiques consiste à « faire évoluer les activités humaines et les écosystèmes afin de limiter les dommages que pourront occasionner les changements climatiques qui n'auront pu être évités et, dans quelques cas, de saisir les opportunités créées par les évolutions favorables de certaines régions ou secteurs d'activité » (ADEME, 2007).

-RINGENBACH, Nicolas., *Bilan radiatif et flux de chaleur en climatologie urbaine : mesures, modélisation et validation sur Strasbourg*. Thèse : climatologie et temps, Strasbourg I, 2004, 167 p.

-ADEME., *Gestion du risque climatique et adaptation aux changements. Ademe et vous – Recherche*, n°1, 25 juillet 2007 [réf. du 10 octobre 2008], 6 p. Disponible sur : <http://www2.ademe.fr>

L'adaptation dans le cadre de cette recherche est définie comme une décroissance graduelle des effets climatiques néfastes dans un environnement urbain, y compris toutes les actions qui le rendent plus apte à survivre dans un tel environnement.

1.7.1 L'adaptation climatique de la rue :

Le souci de l'adaptation climatique des principes urbanistiques dans le passé prenait souvent un caractère spontané. Certaines règles cependant avaient déjà été adoptées et appliquées, comme le montrent les idées de Vitruve, en disant que : « les édifices seront convenablement disposés, il a été tenu compte avant tout des orientations et des inclinaisons du ciel ou on les veut bâtir, car ils doivent être autrement construits en Egypte qu'en Espagne...., parce qu'il y en a qui sont proches du cours du soleil, d'autres qui en sont éloignés et d'autres qui sont entre les deux extrémités..., il faut disposer les bâtiments et concevoir les rues en raison de la diversité des pays et des climats ».³

Au sujet des tracés des rues, Vitruve recommande : « *d'éviter d'abord que les vents habituels enfilent directement les rues, parce qu'ils sont toujours nuisibles, ou par leur froid qui blesse, ou par leur humidité qui nuit à la santé..., il faut donc tracer les alignement des rues entre deux régions pour ne point être incommodé de la violence des vents car s'ils parcouraient les rues directement, il n'y a point de doute que leur impétuosité déjà si grande dans l'air libre et ouvert augmenterait beaucoup étant resserrée dans les rues étroites, c'est pourquoi, on tournera les rues de telle sorte que les vents donnant sur les angles qu'elle forment se rampent et se dissipent* ».

1.7.2 Applications urbaines expérimentales de stratégies d'atténuations de l'îlot de chaleur urbain :

Le phénomène d'îlot de chaleur urbain est lié à des facteurs incontrôlables dus aux effets temporaires variables tels que la vitesse et direction du vent, l'éclairement solaire et les rejets anthropogéniques. Parmi les facteurs contrôlables on retrouve la végétation, ou la morphologie urbaine avec en particulier la densité, la hauteur des

³ Izard & Guyot, Archi bio. Parenthèse édition, 1979, p96.

bâtiments et les facteurs de vue du ciel des surfaces urbaines, ainsi que les propriétés radiatives, de perméabilité et thermiques des matériaux utilisés.

La distribution maîtrisée de ces termes de stockage, de « puits » et de « source » agit sur le bilan énergétique de la surface urbaine. L'ensemble des solutions d'atténuation visent à limiter les rejets anthropiques liés à aux systèmes énergétiques des bâtiments.

1.7.3 Plans d'urbanismes adaptés à la formation du microclimat :

La rue est l'interface entre le bâtiment, son ambiance intérieure et celle de l'espace extérieur situé sous la canopée urbaine. Lors de sa conception, on peut considérer deux problématiques, qui sont les effets du microclimat de la rue:

- Sur l'activité humaine dans les espaces extérieurs (confort extérieur et qualité de l'air).
- Sur les performances énergétiques des bâtiments

Les objectifs que l'on veut atteindre dans chacun des cas révèlent souvent des aménagements incompatibles. Pour cette raison, (Erell, 2008) incite à une définition claire des activités à dédier à des zones urbaines spécifiques dans l'optique d'y développer des microclimats convenables. Dans le cas des applications de confort urbain, les vitesses des vents importantes constatées aux pieds de constructions élevées fournirait le champ aéraulique suffisant pour contrôler la pollution émise par une rue passante et la disperser (Erell, 2008).

L'orientation des rues est régulée par rapport aux vents dominants alors que d'autres paramètres, tels que la hauteur et la distance entre les bâtiments servent à respecter le droit à l'ensoleillement de chaque bâtiment. Chaque région climatique a développé des spécificités dans l'agencement de ses rues et de ses bâtiments.

Dans les villes à climat aride, l'étroitesse des rues est encore plus accentuée afin de conserver des espaces abrités du soleil pour permettre la déambulation des piétons dans des conditions de confort extérieur acceptables durant la période estivale.

- **Erell E.**, The application of urban climate research in the design of cities, *Advances in building energy research*, *earthscan*, 2008, 2: 95-121.

Cet aspect architectural permet de conserver une température plus fraîche durant la journée, mais une fois la nuit tombée, la chaleur accumulée par le bâti environnant est diffusée dans la rue qui accumule la chaleur sans pouvoir s'en débarrasser par échanges radiatif avec la voûte céleste ou par les écoulements d'air. (Johansson, 2006) a mesuré la température de l'air dans des rues profondes pendant les périodes d'hiver à Fès au Maroc où le rapport des dimensions hauteur sur largeur était de 10.

La température de l'air y était inférieure à celle des environs ruraux pendant le jour et la dépassait de 2-3°C pendant la nuit.

1.7.4 Rafrachissement des milieux urbains :

L'ensemble de ces aspects ont été rassemblés pour produire un ensemble de recommandations destinées aux acteurs (décideurs politiques, autorité d'aménagement urbain. (Sailor et Dietsch, 2005) ont développé un outil informatique pour assister les aménageurs, les urbanistes et les responsables de la qualité de l'air dans leur évaluation du potentiel des stratégies de diminution de l'îlot de chaleur urbain à agir sur le climat urbain, la qualité de l'air et la consommation énergétique au sein de leurs villes. Les utilisateurs de cet outil peuvent sélectionner une ville parmi les deux cents répertoriées, uniquement aux Etats-Unis. Les stratégies comprennent des constructions et des matériaux de voirie à fort albédo et de la végétation urbaine. L'utilisateur peut tester plusieurs scénarios combinant ou non ces différentes stratégies ou spécifier une certaine diminution de température, l'outil lui proposant alors différents moyens d'actions. Cet outil appelé «mitigation impact screening tool » (MIST), s'appuie sur une base de données concernant vingt villes, pour lesquelles une simulation numérique des différentes stratégies a été effectuée à l'aide du modèle MM5 du National Center for Atmospheric Research qui est un modèle atmosphérique d'échelle méso.

-**JOHANSSON E.**, "Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dryclimate: A study in Fès, Morocco," *Building and Environment*, 2006, 41(10): 1326-1338.

-**SAILOR, David J. DIETSCH, Nikolaas.** The urban heat island mitigation impact screeningtool (MIST). *Mitigation impact screening tool* [en ligne]. 2005 [réf. du 26 mars 2007], 22p. Disponible sur : <http://www.heatislandmitigationtool.com/>

Pour la relation avec les concentrations en ozone, une méthode statistique a été utilisée.

La modélisation énergétique s'est appuyée sur les Cooling Degree Days (CDD), ou degrés jours climatisation, et les Heating Degree Days (HDD), ou degrés jours chauffage, tenant compte ainsi de l'énergie non consommée en été mais de l'usage supérieure en hiver. Les résultats pour les autres villes sont extrapolés à partir des modélisations sur ces vingt villes. Sailor et Dietsch précisent bien le degré important d'incertitude de leur outil et leur intention de donner uniquement un premier ordre de grandeur aux aménagements.

(Alcoforado, 2006) et (Alcoforado et al. 2006) se sont intéressés aux procédures à mettre en œuvre et aux indications à donner pour améliorer la qualité climatique des villes et diminuer l'intensité de l'îlot de chaleur urbain. Leur travail s'est notamment appliqué à la ville de Lisbonne (Portugal). Ils soulignent l'importance de l'acquisition de données climatiques urbaines, de l'analyse des caractéristiques du climat urbain et de la sélection des stratégies adéquates pour l'aménagement, pour contribuer à la qualité du climat en ville. Pour Lisbonne, ils se sont penchés sur les problèmes d'ordre climatique suivant : l'îlot de chaleur urbain, le vent, et la pollution de l'air. Ils ont découpé Lisbonne selon des zones homogènes du point de vue de la conception urbaine et pour chacune de ces zones des préconisations pour diminuer l'îlot de chaleur, limiter la pollution urbaine et améliorer la qualité du vent ont été données.

1.8 Mesures atténuant le réchauffement des rues :

Diverses mesures peuvent être mises en œuvre pour minimiser l'intensité de la chaleur au niveau des rues. Les mesures envisageables peuvent être classées selon quatre catégories :

- végétalisation;
- infrastructures urbaines;

-ALCOFORADO, Maria João., Planning procedures towards high climatic quality cities. Example referring to Lisbon. *Finisterra*, 2006, vol. XLI, n°82, p. 49-64.

-ALCOFORADO, Maria João. LOPES, Antonio. ANDRADE, Henrique. VASCONCELOS, João. VIERA, Rute., Climatic guidelines for urban planning in Lisbon. In: *Sixth International Conference on Urban Climate*, Göteborg, Suède, 12-16 juin, 2006.

- réduction de la chaleur anthropique;
- gestion des eaux de pluie et perméabilité des sols.

1.8.1 Végétalisation :

L'approche par végétalisation des espaces urbains est certainement l'une des mesures les plus pratiquées actuellement. Par mimétisme avec le milieu rural de référence, Cette approche vise à redonner de l'espace aux végétaux. La végétation permet de garder un sol plus frais et d'éviter le rayonnement solaire direct, réfléchi et diffus pouvant affecter la fraîcheur du bâtiment (Voir figure, III.7) (Akbari et al, 2001).



Figure, III.7 : Végétalisation du pourtour du bâtiment.

Source : Revue : Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains, Institut national de santé publique du Québec, juillet 2009.

Selon (Dimoudi et Nikolopoulou 2003), l'apport de végétation dans les milieux urbanisés peu végétalisés offre des gains importants de fraîcheur. Également, une rangée d'arbres diminue la température de l'air environnant de 1 °C, tandis la création d'un parc au centre-ville en remplacement de bâtiments générerait une baisse de température de l'air environnant de 2 °C à plus de 6 °C.

-AKBARI H., POMERANTZ M., TAHA H., Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas, *Solar energy*, Vol. 70, p. 95.2001.

-DIMOUDI A., NIKOLOPOULOU M., Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits, *Energy and Buildings*, 2003, Vol. 35, No. 1, p. 69.

(Luxmore et al, 2005) ont modélisé les gains de fraîcheur générés par l'emploi de végétation sur les bâtiments formant les canyons urbains de la ville. Ils ont conclu que plus le climat de la ville est chaud et sec, plus grands seront les gains de fraîcheur. Cela dit, les villes au climat chaud et humide peuvent également profiter de murs végétaux pour abaisser la température des canyons urbains de quelques degrés Celsius.

1.8.2 Infrastructures urbaines :

Les bâtiments qui intègrent la protection contre la chaleur ont généralement des ouvertures pourvues de protections solaires, des matériaux réfléchissants et parfois d'ingénieux systèmes de rafraîchissement naturel.

1.8.3 Matériaux réfléchissants :

Plus un matériau a une réflectivité (albédo) élevée et une émissivité élevée, moins il risque d'emmagasiner de la chaleur et de la diffuser dans l'atmosphère ou à l'intérieur du bâtiment par l'entremise des parois et du toit (Paroli et Gallagher, 2008; Synnefa, 2007).

La réflectivité des surfaces détermine la capacité des surfaces à refléter le rayonnement solaire. L'albédo est représenté sur une échelle de 0 à 1. Un haut albédo, par exemple 0,70, signifie que la surface réfléchit une grande quantité du rayonnement solaire. L'émissivité est la propriété d'un matériau à diffuser l'énergie qu'il accumule. L'énergie qui n'est pas diffusée contribue au réchauffement des surfaces. Le coefficient d'émissivité d'un matériau est fonction de son état de surface, et pour un métal, de son degré d'oxydation. Ce coefficient est également exprimé par une valeur située entre 0 et 1 (tableau, III.4).

LUXMORE D., JAYASINGHE M.T.R., MAHENDRAN M. , Mitigating temperature increases in high lot density sub-tropical residential developments, *Energy and Buildings*, 2005, Vol. p. 1212.

-Paroli, R.M., Gallagher, J., Les toits verts, les toits blancs et les toits hauteperformance : distinguer les faits de la fiction, *Canadian Property Management* : B.C./Alberta Edition, Vol. 16, No. 1, pp. 1-4. 2008.

-SYNNEFA, A., Santamouris, M., Apostolakis, K., On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment, *Solar Energy*, Vol. 81, No. 4, pp. 488-497, 2007.

Un matériau d'émissivité faible est un meilleur isolant thermique (Liébard et DeHerde, 2005).

Matériau	Facteur d'émission	Albédo
Aluminium poli	0,1	0,9
Béton sale	0,9	0,2
Bois foncé	0,95	1,5
Brique rouge	0,9	0,3
Cuivre terni	0,4	0,4
Marbre blanc	0,9	0,6
Peinture blanche	0,9	0,8
Plâtre	0,9	0,9

Tableau, III.4: Albédo & facteur d'émission de différents matériaux.
Source : Liébard et DeHerde, 2005, réadapté par auteur.

1.9 Architecture bioclimatique :

Les principes de l'architecture bioclimatique permettent de protéger le bâtiment des surchauffes en période estivale, car ils tiennent compte des contraintes climatiques.

De la conception de l'enveloppe jusqu'à l'orientation du bâtiment, l'architecture bioclimatique met tout en œuvre pour assurer le confort thermique des occupants, protégeant ainsi les personnes les plus vulnérables de la chaleur (Liébard et DeHerde, 2005).

1.9.1 Isolation et étanchéité des bâtiments :

Bien qu'elles soient des paramètres associés aux climats chauds, l'isolation et l'étanchéité sont aussi incontournables pour assurer le contrôle de la fraîcheur à l'intérieur du bâtiment.

-Liébard, A., DeHerde, A.,*Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques : concevoir, édifier et aménager avec le développement durable.*Le Moniteur, Paris, 776 p, 2005.

-Liébard, A., DeHerde, A.,*Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques : concevoir, édifier et aménager avec le développement durable.*Le Moniteur, Paris, 776 p, 2005.

Elles servent à éviter la pénétration du froid ou de la chaleur dans le bâtiment par les murs, la toiture, le sol ou les vitrages et donc à atténuer l'inconfort thermique des occupants (Déoux, 2004).

1.9.2 Inertie thermique:

« *L'inertie thermique d'un matériau mesure sa capacité à accumuler de la chaleur et à en différer la restitution après un certain temps : c'est le temps de déphasage* » (Liébard et DeHerde, 2005). L'inertie est caractérisée par la rapidité avec laquelle la chaleur va pénétrer dans un matériau (ou diffusivité) et par la capacité du matériau à absorber ou à restituer la chaleur (ou effusivité). Plus la diffusivité est grande, plus la chaleur mettra du temps à traverser l'épaisseur du matériau. Plus l'effusivité est élevée, plus le matériau absorbera de l'énergie sans se réchauffer substantiellement. Pour réduire la quantité de chaleur transmise dans un bâtiment, l'idéal est que les matériaux de l'enveloppe présentent une faible diffusivité et une forte effusivité.

1.9.3 Vitrages :

Les vitrages sont les points faibles de l'isolation thermique d'un bâtiment en été comme en hiver (Armstrong et al., 2008). Des vitrages à faible gain solaire existent et pourraient régler le problème de la surchauffe en été. Toutefois, leur utilisation entraînerait une perte de gain solaire en hiver et donc une hausse de la demande énergétique. L'idéal en conditions climatiques chaudes est de tirer profit de l'ensoleillement l'hiver et de s'en protéger l'été par des protections solaires diverses.

-DEOUX, S., DEOUX, P., *Guide de l'Habitat Sain*. Medieco Editions, 537 p, 2004.

-Liébard, A., DeHerde, A., *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques : concevoir, édifier et aménager avec le développement durable*. Le Moniteur, Paris, 776 p, 2005.

-ARMSTRONG, M.M., Elmahdy, A.H., Swinton M.C., Parekh A., Sélection de vitrages de fenêtres de type résidentiel pour un rendement énergétique optimal, *Solution constructive*, No. 71, Décembre, 2008.

1.9.4 Protections solaires :

En plus de la végétation qui, comme indiqué précédemment, est un excellent moyen de protéger l'enveloppe du bâtiment de l'ensoleillement direct, d'autres solutions existent afin de limiter l'apport de chaleur du rayonnement solaire. Il s'agit des protections solaires des vitrages et du bâtiment.

Les protections solaires sont des dispositifs qui s'installent à l'extérieur, autour des fenêtres ou sur celles-ci afin de bloquer l'entrée du rayonnement solaire estival, tout en laissant entrer la lumière (contrairement aux protections intérieures). Le recours aux masques solaires fixes demande un dimensionnement précis afin de ne pas perdre les bénéfices de l'ensoleillement en saison hivernale (éviter d'installer un pare-soleil trop long qui bloquera l'entrée du rayonnement solaire en hiver, lorsque le soleil est bas). Bien qu'elles soient beaucoup moins efficaces pour protéger l'intérieur du bâtiment de la surchauffe estivale, les protections intérieures telles que les toiles opaques ou les stores devront être claires et couvrir toute la surface de la fenêtre (Oliva et Courgey, 2006).

1.10 Réduction de la chaleur anthropique :

La production de chaleur anthropique telle que la chaleur émise par les véhicules, les climatiseurs et l'activité industrielle est un autre facteur contribuant au développement d'îlots de chaleur, notamment dans les milieux urbains denses où les activités se concentrent. Selon une analyse de (Taha, 1997), la chaleur anthropique peut être responsable d'une augmentation de 2 à 3 °C dans les centres urbains.

1.10.1 Contrôle de la production de chaleur dans le bâtiment :

La production de chaleur à l'intérieur d'un bâtiment contribue à sa surchauffe en période estivale, notamment lorsqu'elle s'ajoute au rayonnement solaire direct ou à la mauvaise isolation thermique du bâtiment. Les appareils électroménagers, les lampes et les ordinateurs, par exemple, transforment l'énergie qu'ils consomment en chaleur.

-**OLIVA, J.P., COURGEY, S.**, La conception bioclimatique : des maisons économes et confortables en neuf et en réhabilitation. Terre vivante, 240 p., 2006.

-**TAHA, H.**, Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat, *Energy and Buildings*, Vol. 39, No. 11, pp. 1167-1174, 1997.

Ces apports de chaleur internes ne sont pas simultanés et représentent plutôt une source de chaleur diffuse dans les bâtiments.

1.10.2 Appareils de bureautique :

Tous les appareils électriques émettent de la chaleur même quand ils sont en mode veille. L'utilisation de matériel informatique ayant une bonne efficacité énergétique est donc fortement recommandée. De plus, afin de minimiser l'apport de chaleur, il importe d'éteindre et de débrancher les appareils lorsqu'ils ne sont pas utilisés. Un ordinateur de table avec un écran cathodique peut augmenter la température d'une pièce de 3 °C en une journée. Les ordinateurs portables et les écrans plats dégagent jusqu'à dix fois moins de chaleur que les ordinateurs avec écran cathodique (Ressources naturelles Canada, 2009; Salomon et Aubert, 2004).

1.10.3 Appareils électroménagers :

L'îlot de chaleur urbain a un impact sur la demande en énergie, notamment en raison de la climatisation et de la réfrigération. Les apports de chaleur intérieure réchauffent rapidement l'air ambiant surtout si les bâtiments sont faits de matériaux à faible inertie (ne pouvant absorber beaucoup de chaleur).

Par de chaudes journées, il est approprié de limiter l'utilisation des électroménagers tels que le lave-vaisselle, le lave-linge et le sèche-linge, de les mettre en route lorsqu'ils sont pleins et de les faire fonctionner en mode économique (exemple : laver le linge à 30 °C nécessite de deux à trois fois moins d'énergie qu'un lavage à 60 °C).

1.10.4 Gestion des eaux de pluie et perméabilité des sols :

Plusieurs études établissent une corrélation entre le taux d'humidité des sols et l'atténuation des îlots de chaleur urbains.

-RESSOURCES NATURELLES CANADA, 2009, Guide d'achat ENERGY STAR. Accessible au: <http://oe.nrcan.gc.ca/publications/equipement/m27-01-2227f.cfm?attr=12>. Consulté le 1er avril 2009.

-SALOMON, T., AUBERT, C., *La fraîcheur sans clim*. Terre Vivante, Paris, 160 p., 2004.

En effet, grâce à l'évaporation, les sols humides ont des capacités de rafraîchissement semblables à celles de la végétation, et leurs températures de surface sont plus fraîches que celles des sols secs (Lakshmi et al., 2000; Donglian et Pinker, 2004).

Afin de favoriser l'humidification des sols en milieux urbains et d'assurer une disponibilité en eau pour les végétaux, plusieurs pratiques de gestion durable des eaux pluviales et de maîtrise de la pollution de l'eau existent et s'inscrivent dans l'approche de développement à faible impact. Le développement à faible impact favorise les aménagements à petite échelle qui permettent la gestion des eaux pluviales à la source afin d'éviter la pollution due au ruissellement (Endreny, 2008).

Pour être efficaces et sécuritaires, les aménagements à petite échelle doivent faire l'objet d'études préalables. La proximité d'une nappe phréatique, la granulométrie du sol et les risques de pollution sont autant de facteurs à considérer lors de l'instauration de mesures visant l'infiltration des eaux pluviales dans le sol. S'il s'agit de l'aménagement d'un site où les sédiments et les polluants sont présents (stationnements et sites industriels), un suivi et un entretien rigoureux doivent être effectués. Les études aideront à prévenir la contamination des aquifères souterrains et à éviter l'infiltration de faible intensité qui favorise le ruissellement accru à l'instar des surfaces imperméables (Gregory et al., 2006).

1.10.5 Réduction du parc automobile en milieu urbain :

Les automobiles et véhicules contribuent à l'émission de chaleur en milieu urbain. La chaleur totale émise par les véhicules peut rester prisonnière des canyons urbains mal ventilés, réduisant par le fait même le confort thermique des citoyens.

-**LAKSHMI, V., Zehrhuhs, D., Jackson, T.**, Observations of land surface temperature and its relationship to soil moisture during SGP99, *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2000. IEEE 2000 International, Vol. 3, pp. 1256-1258, 2000.

-**DONGLIAN, S., Pinker, R.T.**, Case study of soil moisture effect on land surface temperature retrieval, *Geoscience and Remote Sensing Letters*, IEEE, Vol. 1, No. 2, pp. 127-130, 2004.

-**ENDRENY, T.**, Naturalizing urban watershed hydrology to mitigate urban heat-island effects, *Hydrological processes*, Vol. 22, No. 3, pp. 461-463, 2008.

-**GREGORY, J.H., Dukes, M.D., Jones, P.H., Miller, G.L.**, Effect of urban soil compaction on infiltration rate, *Journal of soil and water conservation*, Vol. 61, No. 3, pp. 117-123, 2006.

Les émissions des véhicules contribuent également à la formation du smog urbain et au réchauffement climatique (Musy, 2007). Une bonne planification du transport est essentielle afin de minimiser l'apport de chaleur dans les milieux urbains (Christen et al., 2004).

1.10.6 Bâtiments passifs : contrôle de la demande de climatisation :

La climatisation des domiciles est en hausse. Il existe des solutions d'emplacement moins énergivores et plus durables pour rafraîchir l'air intérieur des bâtiments. En effet, il est possible de recourir à différentes techniques de climatisation passive afin de rafraîchir un bâtiment qui n'a pas été conçu pour se protéger des températures très chaudes. La ventilation peut être assurée par des moyens naturels (ventilation naturelle) ou mécaniques (ventilation de pulsion ou par extraction). Pour qu'un occupant se sente confortable lorsque les températures ne sont pas élevées, la vitesse de l'air devrait être d'environ 0,2 m/s. Si les températures deviennent plus chaudes et plus humides, elle pourrait augmenter afin de soulager l'occupant. En effet, la vitesse de l'air influence les échanges de chaleur par convection et permet l'évaporation à la surface de la peau (Niachou, 2001).

La ventilation naturelle est de deux types, soit la ventilation transversale et la ventilation à tirage naturel ou sur ventilation nocturne. La ventilation transversale s'effectue en ouvrant les fenêtres ou les portes situées sur des murs opposés, ce qui permet aux courants d'air de circuler dans les pièces.

-**MUSY, M.**, Adjustment of Urban Microclimate for the Improvement of Open Space Comfort and Building. Energy Consumption. In *The 2nd International conference on the urban development in the 21st century: urban local identity in the process of globalization*. Wuhan (China), 16-18 Novembre 2007.

-**CHRISTEN, A et R Vogt.**, Energy and radiation balance of a central European city. *International Journal of Climatology*, 2004, n°24, p. 1395-1421.

-**NIACHOU A, PAPAKONSTANTINO K, SANTAMOURIS M.**, Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. *Energy Build*, 2001, vol. 33, n° 7. p. 719-729.

Plus la différence de température entre l'air extérieur et intérieur est grande, plus la capacité de climatisation est optimisée. Il a été observé, lors de la vague de chaleur de 2003 en Europe, que la surmortalité a été plus importante dans les appartements à orientation unique ne permettant pas une ventilation transversale (Déoux, 2004).

-DEOUX, S., DEOUX, P., *Guide de l'Habitat Sain*. Medieco Editions, 537 p, 2004.

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. La connaissance des composants de la rue est un des points essentiels pour comprendre la formation du microclimat urbain et les échanges énergétiques à l'origine de celui-ci.

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 côtés, constituent ce 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.

Dans ce chapitre nous avons traité aussi 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.

D'après les applications urbaines expérimentales de stratégies d'atténuations de l'îlot de chaleur urbain, il s'est avéré que l'ensemble des solutions d'atténuation visent à limiter les rejets anthropiques liés aux systèmes énergétiques des bâtiments.

D'autres mesures peuvent aussi atténuer le réchauffement des rues, il s'agit de la végétalisation, les infrastructures urbaines, la réduction de la chaleur anthropique, la gestion des eaux de pluie et perméabilité des sols. Ces facteurs contribuent d'une façon efficace à modérer la température de l'air, donc à modifier le microclimat d'une manière considérable. La présentation de la ville de Biskra climatiquement entant que cas d'étude sera détaillée dans le prochain chapitre.

BIBLIOGRAPHIE

- AIDA, M and K Gotoh.**, « Urban albedo as a function of the urban structure, a 2-dimensional numerical simulation (part II) ». *Boundary layer meteorology*, 1982, no23, p. 415-424.
- ADEME.**, Gestion du risque climatique et adaptation aux changements. *Ademe et vous – Recherche*, n°1, 25 juillet 2007 [réf. du 10 octobre 2008], 6 p. Disponible sur : <http://www2.ademe.fr>
- AKBARI H, SHEA Rose L., TAHA H.**, Analyzing the land cover of an urban environment using high-resolution orthophotos. *Landscape Urban Plann*, 2003, vol. 63, n° 1. p. 1-14.
- AKBARI H., POMERANTZ M., TAHA H.**, Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas, *Solar energy*, Vol. 70, p. 95.2001.
- ALCOFORADO, Maria João.**, Planning procedures towards high climatic quality cities. Example referring to Lisbon. *Finisterra*, 2006, vol. XLI, n°82, p. 49-64.
- ALCOFORADO, Maria João. LOPES, Antonio. ANDRADE, Henrique. VASCONCELOS, João. VIERA, Rute.**, Climatic guidelines for urban planning in Lisbon. In: *Sixth International Conference on Urban Climate*, Göteborg, Suède, 12-16 juin, 2006.
- ARMSTRONG, M.M., Elmahdy, A.H., Swinton M.C., Parekh A.**, Sélection de vitrages de fenêtres de type résidentiel pour un rendement énergétique optimal, *Solution constructive*, No. 71, Décembre, 2008.
- BELAKEHAL A., TABET AOUL K.**, Shading and shadowing : Concepts for an interactive strategy between solar control and aesthetics in the design of the facade. Reference to arid zones. *Renew. Energy*, 1996, vol. 8, n° 1-4. p. 323-326.
- BONAN, Gordon.**, *Ecological climatology – concepts and applications*. Cambridge University Press, 2002, 678 p.
- BOSSEL, Hartmut.**, Indicators for Sustainable Development: Theory, Method, Applications. A Report to the Balaton Group. Winnipeg (Canada): *International Institute for Sustainable Development*, 1999, 125 p.
- CHRISTEN, A et R Vogt.**, Energy and radiation balance of a central European city. *International Journal of Climatology*, 2004, n°24, p. 1395-1421.
- CRAUL, P.J.** Soil compaction on heavily used sites, *Journal of Arboriculture*, Vol. 20, No. 2, pp. 69-74, 1994.

- DEOUX, S., DEOUX, P.,***Guide de l'Habitat Sain*. Medieco Editions, 537 p, 2004.
- DIMOUDI A., NIKOLOPOULOU M.,** Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits, *Energy and Buildings*, 2003, Vol. 35, No. 1, p. 69.
- DONGLIAN, S., Pinker, R.T.,** Case study of soil moisture effect on land surface temperature retrieval, *Geoscience and Remote Sensing Letters*, IEEE, Vol. 1, No. 2, pp. 127-130, 2004.
- ELIASSON I.,** Urban nocturnal temperatures, street geometry and land use, *Atmospheric Environment*, 1996, Vol. 30, N°. 3, pp. 379-392.
- ENDRENY, T.,** Naturalizing urban watershed hydrology to mitigate urban heat-island effects, *Hydrological processes*, Vol. 22, No. 3, pp. 461-463, 2008.
- **ERELL E.,**The application of urban climate research in the design of cities, Advances in building energy research, *earthscan*, 2008, 2: 95-121.
- GIVONI B.,***Climate considerations in building and urban design*, John Wiley & Sons, New York, 1998.
- GIVONI, B.,** *L'Homme, l'Architecture et le Climat*. Paris : Editions du Moniteur, 1978, 460 p.
- GRAFMEYER, Yves.,***Sociologie urbaine*. Paris : Nathan, 1995, 128 p. (collection 128).
- GREGORY, J.H., Dukes, M.D., Jones, P.H., Miller, G.L.,** Effect of urban soil compaction on infiltration rate, *Journal of soil and water conservation*, Vol. 61, No. 3, pp. 117-123, 2006.
- GIVONI B., HOFFMAN M.E.,** Prediction of the thermal behavior of full scale buildings : first research report to the US National Bureau of Standards. Rapport de recherche, *Technion Haifa : Buildings research stations*, 1972.
- GRIFFITHS John F.,** *Climate and the Environment, The atmospheric impact on man*. London: Paul Elek, 1976, 148 p.
- GRIMMOND, CSB et TR Oke.,**Comparison of heat fluxes from summertime observations in four North American cities. *Journal of Applied Meteorological*, 1995, no34, p. 873-889.
- GRIMMOND, CSB. et TR Oke.,** Heat storage in urban areas: observations and evaluation of a simple model. *Journal of Applied Meteorological*, 1999, no38, p. 922-940.
- IZARD & Guyot,***Archi bio*. Parenthèse édition, 1979, p 96.

-JOHANSSON E., "Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dryclimate: A study in Fès, Morocco," *Building and Environment*, 2006, 41(10): 1326-1338.

-LAKSHMI, V., Zehrhuhs, D., Jackson, T., Observations of land surface temperature and its relationship to soil moisture during SGP99, Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2000. IEEE 2000 International, Vol. 3, pp. 1256-1258, 2000.

-LAVIGNE. P., « Architecture climatique, une contribution au développement durable » Ed. Sud. Aix en Provence. 1994. P.11.

-Liébard, A., DeHerde, A., *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques : concevoir, édifier et aménager avec le développement durable*. Le Moniteur, Paris, 776 p, 2005.

-LUXMORE D., JAYASINGHE M.T.R., MAHENDRAN M., Mitigating temperature increases in high lot density sub-tropical residential developments, *Energy and Buildings*, 2005, Vol. p. 1212.

-MATZARAKIS.A, MAYER.H, IZIOMON.M.G, Applications of a universal thermalindex: physiological equivalent temperature, *Int J Biometeorol*, 1999, 43:76-84.

-MILLS G. M., *The Urban Canopy Layer Heat Island*. IAUC Teaching Resources, 2005.

-MUSY, M., Adjustment of Urban Microclimate for the Improvement of Open Space Comfort and Building. Energy Consumption. In *The 2nd International conference on the urban development in the 21st century: urban local identity in the process of globalization*. Wuhan (China), 16-18 Novembre 2007.

-NIACHOU A, PAPAKONSTANTINO K, SANTAMOURIS M., Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. *Energy Build*, 2001, vol. 33, n° 7. p. 719-729.

-NUNEZ M. OKE, T.R., The energy balance of an urban canyon. *Journal of Applied climatology*, vol.16, n°1, 1977.

-OKE T.R., *Boundary Layer Climates*. London: Methuen & Co Ltd, 1978, 372 p.

-OKE T.R., Canyon geometry and the nocturnal urban heat island : Comparison of scale model and field observations. *Journal of climatology*, 1981, vol.1, p. 237-254.

-OKE T.R., *Boundary layer climates*, Sec Edition, Methuen, London and New York, 1987.

- OLIVA, J.P., COURGEY, S.,** La conception bioclimatique : des maisons économes et confortables en neuf et en réhabilitation. Terre vivante, 240 p., 2006.
- Paroli, R.M., Gallagher, J.,** Les toits verts, les toits blancs et les toits hauteperformance : distinguer les faits de la fiction, *Canadian Property Management* : B.C./Alberta Edition, Vol. 16, No. 1, pp. 1-4. 2008.
- PENEAU. J-P.,***Morphologie urbaine et climat urbain.* Ed. Moniteur, Paris, 1988, p.177
- Peck, AB, GB Taylor et JE Conway.,** « Obscuration of the Parsec-scale Jets in the compact symmetric Object ». *ApJ*, 1999, no521, 103 p.
- Pigeon, G.,** « *Les échanges surface-atmosphère en zone urbaine- Projets clu-escompte et Capitoul* ». Mémoire de doctorat. Université Paul Sabatier Toulouse III, école doctorale des sciences de l'univers, de l'environnement et de l'espace, Toulouse (France), 2007, 172 p.
- RINGENBACH, Nicolas.,***Bilan radiatif et flux de chaleur en climatologie urbaine : mesures, modélisation et validation sur Strasbourg.* Thèse : climatologie et temps, Strasbourg I, 2004, 167 p.
- ROBERTS, Sarah M. OKE, TR. LEMONSU, A. GRIMMOND, CSB. JACKSON, P.,** Sensitivity of surface-atmosphere energy exchanges within urban areas derived from simulations. In : 84th AMS Annual Meeting : Symposium on planning, nowcasting, and forecasting in the urban zone, *Seattle, Etat-Unis, 12-15 janvier 2004.*
- ROBINSON Darren.,** Urban morphology and indicators of radiation availability. *Solar Energy*, vol.80, 2006, p.1643.
- RUNSHENG T, MEIR I.A., ETZION Y.,** An analysis of absorbed radiation by domed and vaulted roofs as compared with flat roofs. *Energy Build.* 2003, vol. 35, n° 6. p. 539-548.
- RESSOURCes NATURELLES CANADA,** 2009, Guide d'achat ENERGY STAR. Accessible au : <http://oee.nrcan.gc.ca/publications/equipement/m27-01-2227f.cfm?attr=12>. Consulté le 1er avril 2009.
- SAILOR, David J. DIETSCH, Nikolaas.** The urban heat island mitigation impact screening tool (MIST). *Mitigation impact screening tool* [en ligne]. 2005 [réf. du 26 mars 2007], 22p. Disponible sur : <http://www.heatislandmitigationtool.com/>
- SALOMON, T., AUBERT, C.,***La fraîcheur sans clim.* Terre Vivante, Paris, 160 p., 2004.
- SANTAMORIS M.,***Thermal Balance in the urban environment, Energy and climate in the urban built environment,* James & James, London, 2001, pp. 39-47.

-SIMPSON J.R., MCPHERSON E.G., 1997. The effects of roof albedo modification on cooling loads of scale model residences in Tucson, Arizona. *Energy Build*, 1997, vol. 25, n° 2. p. 127-137.

-SYNNEFA, A., Santamouris, M., Apostolakis, K., On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment, *Solar Energy*, Vol. 81, No. 4, pp. 488-497, 2007.

-TAHA, H., Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat, *Energy and Buildings*, Vol. 39, No. 11, pp. 1167-1174, 1997.

-TANG R, MEIR I.A., WU T., Thermal performance of non air-conditioned buildings with vaulted roofs in comparison with flat roofs. *Build. Environ*, 2006, vol. 41, n° 3. p. 268-276.

-UherekElmar., 2005. En ligne.

<http://www.atmosphere.mpg.de/enid/0,55a304092d09/Climate_in_brief/_Climate_in_Cities_2t9.html >. MPI for chemistry. Mainz. Consulté le 09 juin 2012.

.....

CHAPITRE IV : PRESENTATION DE
L'ENVIRONNEMENT D'ETUDE.

.....

Introduction :

Construire avec le climat a constitué toujours la grande préoccupation des acteurs de l'acte architectural et urbanistique, notamment, dans les milieux arides et semi arides. Le concepteur, architecte ou urbaniste est appelé à lier les dimensions techniques et esthétiques de son œuvre à une autre dimension insurmontable qui est le climat.

Dans le but d'une meilleure compréhension de la façon optimale d'utilisation des paramètres climatiques dans la production architecturale et urbaine, la caractérisation climatique d'un tissu urbain pose la question du choix des points de mesures les plus représentatifs du point de vue de la climatologie du site. Pour cela une étude typologique était nécessaire afin de caractériser les différenciations géométriques entre les rues, afin de choisir les points de mesures. Puis l'étude climatique du site d'étude.

I. Présentation du corpus d'analyse :

Pour que les mesures soient plus significatives, on cherche un type d'habitat proche du centre ville qui contient les paramètres suivants :

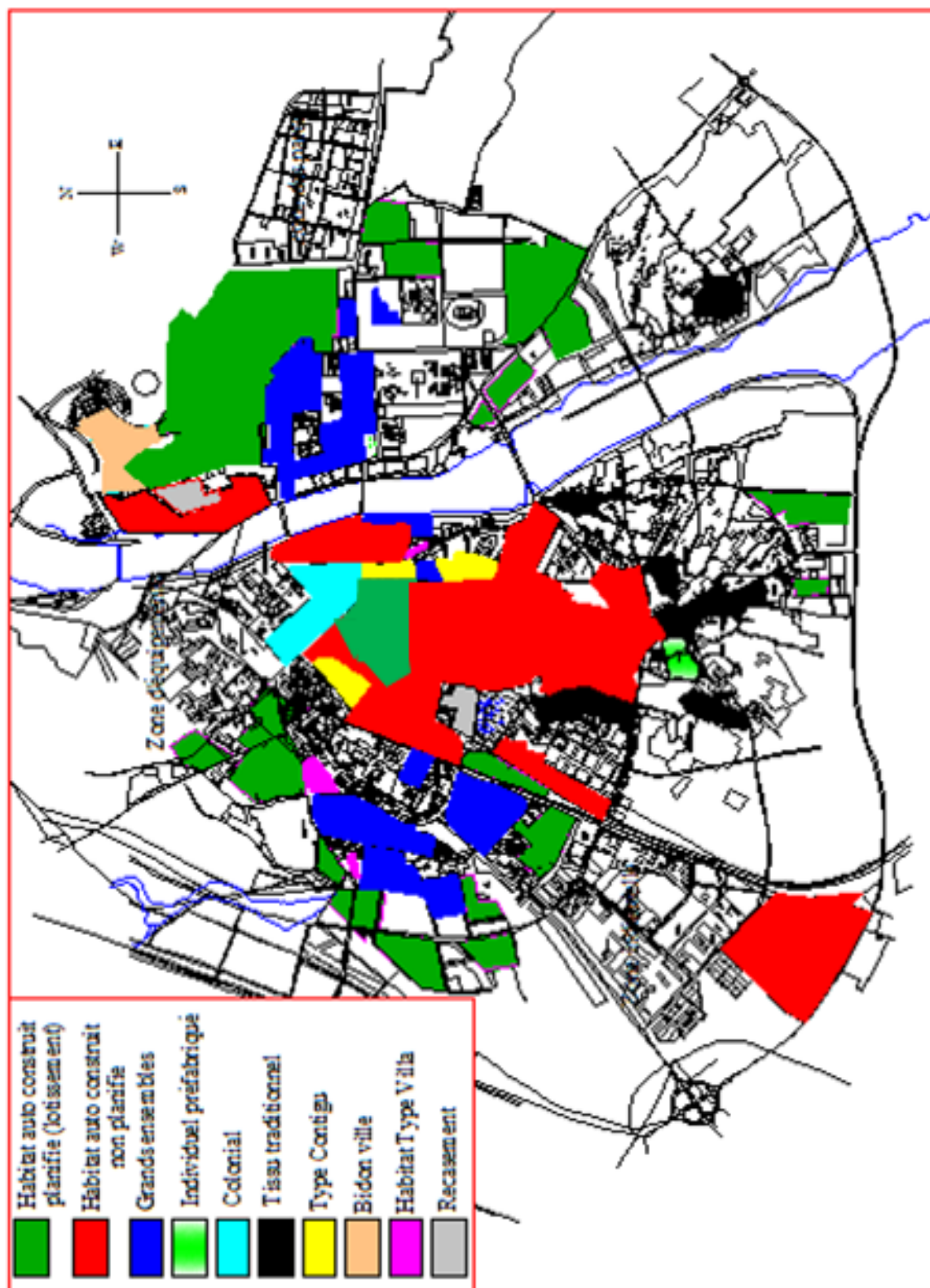
- A) Le ratio H/L de la voirie (la coupe de la rue).
- B) Le revêtement de sol de la rue.
- C) L'orientation de la rue.
- D) L'existence de verdure.

Afin de saisir minutieusement, une analyse typologique des tissus urbains de la ville de Biskra s'impose.

I. 1) Premier enquête :

Montrer la typologie de l'habitat de la ville de Biskra, pour voir les caractéristiques du bâti ainsi que celles des voiries. On a réalisé une carte qui montre la typologie de l'habitat- basant sur l'étude faite par ALKAMA D. 1995 dans sa thèse de magistère intitulé : Analyses typologiques de l'habitat, cas de Biskra - sur le P.D.A.U de la ville de Biskra. (Voir Figure, IV. 1).

-ALKAMA Djamel, analyses typologiques de l'habitat, cas de Biskra, thèse de magister, institut d'architecture, centre universitaire de Biskra, 1995.



Figure, IV.1 : Typologie de l'habitat de la ville de Biskra.
 Source : L'auteur, d'après la thèse d'ALKAMA. D, 1995.

I. 1-1) Caractéristiques du bâti et de voirie de chaque type d'habitat :

I. 1-1-1) Tissu traditionnel :

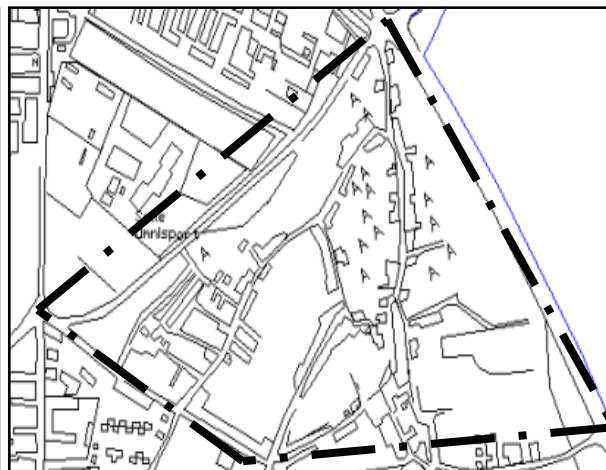
Comme le décrit Alkama D, l'habitat traditionnel de Biskra se distingue par sa parfaite intégration à l'intérieur de la palmeraie. Où il s'organise sous forme de groupements éparpillés.

La lecture de la structure urbaine de ce type d'habitat, nous a permis de distinguer la présence de l'îlot sous forme de groupements linéaires, en un premier lieu. En réalité, ces derniers sont composés en eux même de plusieurs unités de bâti. La rue et la ruelle se présentent comme élément de dégagement, avec un état de d'irrégularités formelles sinueuses, qui reflète la spontanéité dans la construction qui est eu même réalisée par. ALKAMA dans sa thèse de magister dit : « *En effet, nos observations nous ont permis de distinguer un état de vieillissement dû à la fatigue des matériaux, au manque d'entretien et de restauration des anciennes constructions... D'où on note que l'introduction des nouveaux matériaux à base de béton a donné l'apparition à de nouveaux éléments architectoniques inspirés de l'architecture contemporaine (balcon, fenêtre ouverte sur l'extérieur)* ». Ce tissu connaît plusieurs facettes de transformations comme elle l'évoque LAOUAR Dounia, 2008. (Voir figures, IV.2, IV.3).



Figure, IV.2 : Vue sur l'habitat de type traditionnel.

Source : L'auteur.



Figure, IV.3 : Plan indiquant l'habitat de type traditionnel.

Source : L'auteur, d'après le P.D.A.U de la ville de Biskra.

-ALKAMA Djamel, analyses typologiques de l'habitat, cas de Biskra, thèse de magister, institut d'architecture, centre universitaire de Biskra, 1995.

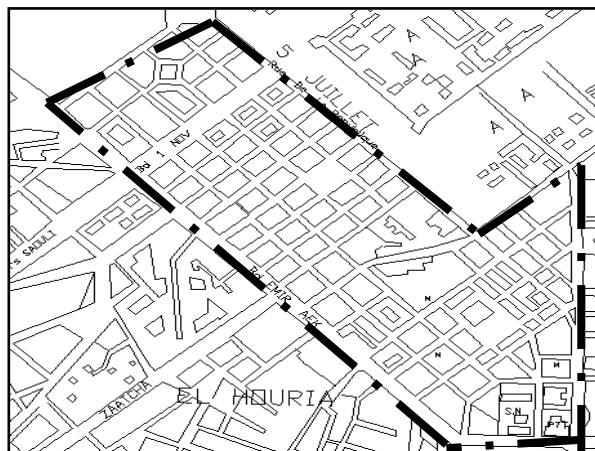
I. 1-1-2) Habitat colonial :

Ce type d'habitat se présente sous forme d'une série d'îlots conçus à base d'un tracé parcellaire en damier, donnant une armature urbaine formée de rues uniformes et identiques à caractère carrossable.

De plus, ces rues sont orientées dans deux directions Est -Ouest et Nord-Sud qui semble mieux répondre aux conditions climatiques. Toutes les constructions du damier ont été construites en premier lieu en toub tine, avec des façades extérieures protégées en mortier de ciment pour les préserver des intempéries. Ces techniques de construction connaissent actuellement une disparition au profit de nouvelles, notamment, les poteaux poutres en béton armé, avec le parpaing et la brique comme des matériaux de remplissages pour les murs intérieurs et extérieurs et les hourdis pour les planchers. . (Voir figures, IV.4, IV.5).



Figure, IV.4 : Vue sur l'habitat de type colonial.
Source : L'auteur.

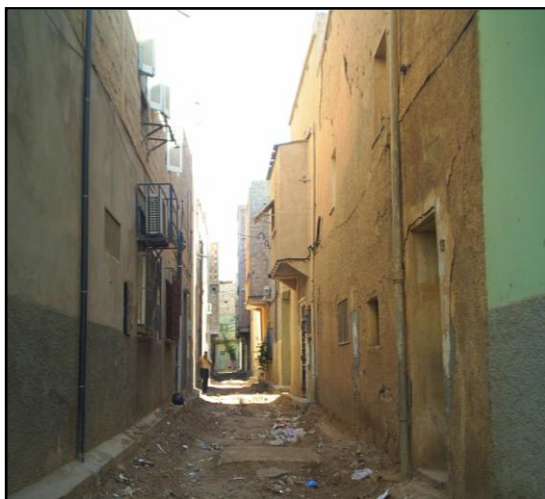


Figure, IV.5 : Plan indiquant l'habitat de type colonial.
Source : L'auteur, d'après le P.D.A.U de la ville de Biskra.

I. 1-1-3) Recasement :

Ce type d'habitat est réalisé dans un contexte économique spécifique et pour objectif de recaser des classes sociales démunies. Selon ALKAMA D, 1995 il y'a trois générations dans ce type d'habitat.

La première génération localisée au quartier de Z'mala transformé totalement en maisons urbaines denses en deux niveaux avec des terrasses accessibles et dotées de petites ouvertures, ainsi que l'utilisation de nouveaux matériaux de constructions accoter de l'utilisation des techniques de réalisation traditionnelle qui se base sur les murs porteurs en toub avec des épaisseurs importantes et les planchers en bois permettant la surélévation d'un étage avec terrasse accessible. La deuxième génération localisée au sud du quartier, (d'El boukhari) est caractérisée par une structure urbaine très dense de deux à trois niveaux avec de nouveaux matériaux à base de béton. Alors que, l'aspect extérieur de la troisième génération est formé de maisons identiques d'un seul niveau et sans ouvertures extérieures. (Voir figures, IV.6, IV.7).



Figure, IV.6 : Vue sur l'habitat de type recasement.

Source : L'auteur.



Figure, IV.7 : Plan indiquant l'habitat de type recasement.

Source : L'auteur, d'après le P.D.A.U de la ville de Biskra.

-ALKAMA Djamel, analyses typologiques de l'habitat, cas de Biskra, thèse de magister, institut d'architecture, centre universitaire de Biskra, 1995.

I. 1-1-4) Type contigüe :

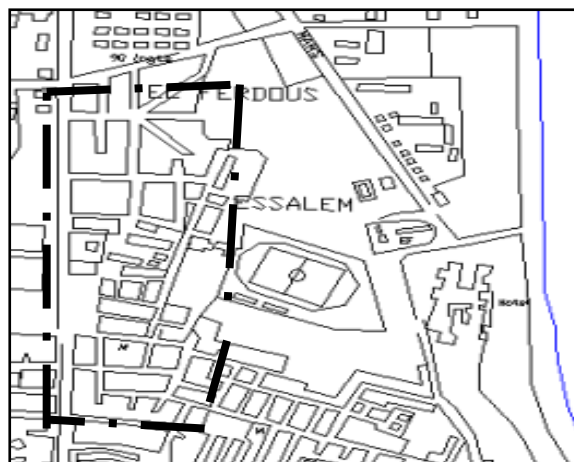
Selon ALKAMA D, 1995 dans sa thèse de magistère, ce type d'habitat est divisé en deux générations. La première remonte à la fin de la période colonial conçue à base d'un tracé parcellaire peut régulier, caractérisé par une unité urbaine irrégulière donnant lieux à la naissance d'une diversité de rues et des ruelles dans toutes les directions. La deuxième génération a pris naissance au début des années de la période postindépendance. Elle se caractérise par une structure aléatoire, la structure urbaine de cette génération prend souvent une forme géométrique irrégulière, donnant l'apparition à des îlots de formes très diversifiées et par la même des rues, des ruelles et des impasses de dimensions variées.

La première génération présente un respect d'hauteur dans la construction, qui se limite à deux niveaux, sans l'existence d'éléments avancés tels que les balcons, les chambres avancées. Cet aspect se caractérise, d'autre part, par la dotation de chaque habitation d'un petit jardin devant son entrée et aussi par le mimétisme de la couleur de ses façades. En effet, cet aspect de régularité extérieur est entrain de connaître une altération due à la démolition et la reconstruction avec de nouveaux matériaux. Par contre, la deuxième génération présente des façades urbaines, composées d'une diversité de formes géométrique. Le matériau de construction utilisé dans la première génération est le toub, mais ce matériau se trouve immédiatement remplacé par d'autres, notamment, le poteau poutre en béton armé et les parpaings. (Voir figures, IV.8, IV.9).



Figure, IV.8 : Vue sur l'habitat de type contigüe.

Source : L'auteur.



Figure, IV.9: Plan indiquant l'habitat de type contigüe.

Source : L'auteur, d'après le P.D.A.U de la ville de Biskra.

I. 1-1-5) Habitat auto construit non planifié :

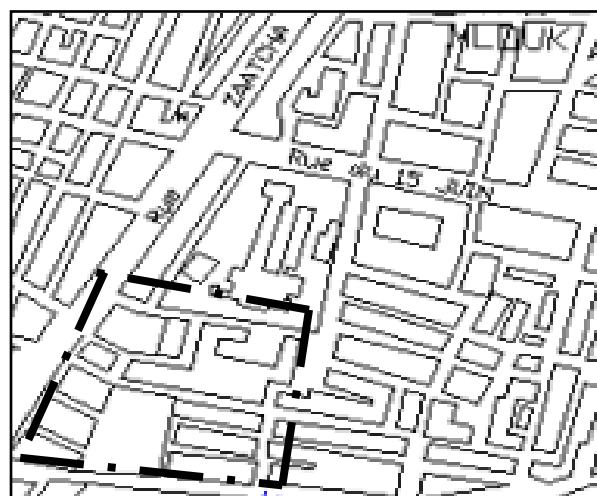
Le produit de ce type d'habitat ne répond à aucune norme de réglementation urbaine, la recherche du respect d'alignement n'est pas toujours réussie par manque de précision dans l'implantation. Donnant la naissance à des rues et des ruelles et des impasses, qui structurent l'unité de base urbaine par leurs intersections, ALKAMA D, dans sa thèse de magister dit : « *En effet, le tracé de l'îlot ne fait sa réelle configuration, qu'après que tout le bâti prend place, en lui affectant une irrégularité formelle, avec une tendance vers l'îlot rectangulaire des lotissements* ».

Les constructions se composent de un à trois niveaux, avec un aspect inachevé.

La construction utilise le poteau- poutre en béton armé comme système constructif. Les matériaux de construction utilisés se sont des matériaux nouveaux « le béton ». (Voir figures, IV.10, IV.11).



Figure, IV.10 : Vue sur l'habitat de type auto construit non planifié.
Source : L'auteur.



Figure, IV.11: Plan indiquant l'habitat de type auto construit non planifié.
Source : L'auteur, d'après le P.D.A.U de la ville de Biskra.

-ALKAMA Djamel, analyses typologiques de l'habitat, cas de Biskra, thèse de magister, institut d'architecture, centre universitaire de Biskra, 1995.

I. 1-1-6) Habitat auto construit planifié (lotissement) :

La structure spatiale de ce type d'habitat se présente comme un produit fini d'une procédure d'aménagement urbaine conçue au préalable, selon un zoning. A partir de cela, on définit les tracés des axes routiers et celles des îlots. Donc, c'est un produit évolutif avec un tracé parcellaire conçu par les services techniques.

Il se juxtapose de part et d'autre par rapport aux axes routiers, et consistants en la réunion dos à dos de rangées de parcelles accolées les unes aux autres. Les constructions sont des habitations individuelles de deux ou trois niveaux, ouverts sur la rue. L'îlot est structuré dans des formes géométriques, généralement rectangulaires ou trapézoïdales, formant une structure urbaine en barres avec des rues parallèles carrossable. Le seul système constructif utilisé dans ce cas est le poteau poutre en béton armé avec des murs en parpaings ou en brique creuse. La plupart des rues sont orientées Nord-Sud. Cependant les matériaux de constructions dans les murs extérieurs sont souvent à base de béton maigre tel que le parpaing ou de la brique creuse. Ainsi que l'utilisation des claustras ou de la ferronnerie comme élément de décor sur les balcons et les murs des terrasses accessibles. Le résultat est que le système constructif et les matériaux de construction de ce type lui confèrent un aspect extérieur similaire. (Voir figures, IV.11, IV.12).



Figure, IV.11 : Vue sur l'habitat de type auto construit planifié (lotissement).
Source : L'auteur.



Figure, IV.12 : Plan indiquant l'habitat de type auto construit planifié (lotissement).
Source : L'auteur, d'après le P.D.A.U de la ville de Biskra.

I. 1-1-7) Habitat type villa :

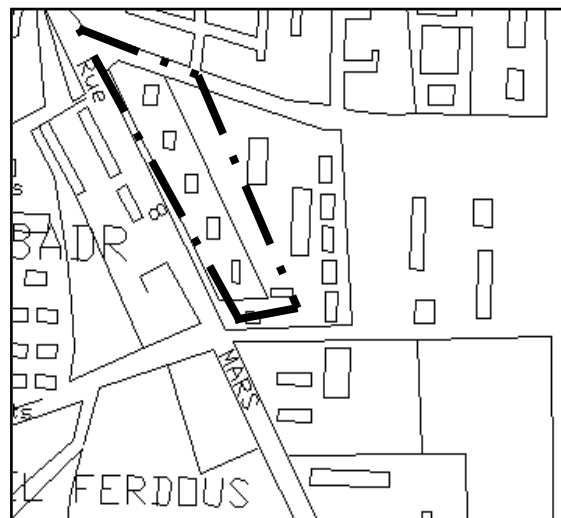
Selon ALKAMA, 1995 il y'a trois aspects dans la forme de ce type d'habitat.

Un premier aspect de forme éclatée et extravertie, un deuxième aspect de forme linéaire et introvertie en un seul niveau et un troisième aspect avec une riche composition volumétrique en deux niveaux et extravertie. Les rues se sont présentées comme espace de transition de l'espace public vers l'espace privé. Le système constructif utilisé est en poteaux poutres en béton armé, les parpaings et la brique creuse sont utilisés au niveau des murs extérieurs. (Voir figures, IV.13, IV.14).



Figure, IV.13 : Vue sur l'habitat de type villa.

Source : L'auteur.



Figure, IV.14 : Plan indiquant l'habitat de type villa.

Source : L'auteur, d'après le P.D.A.U de la ville de Biskra.

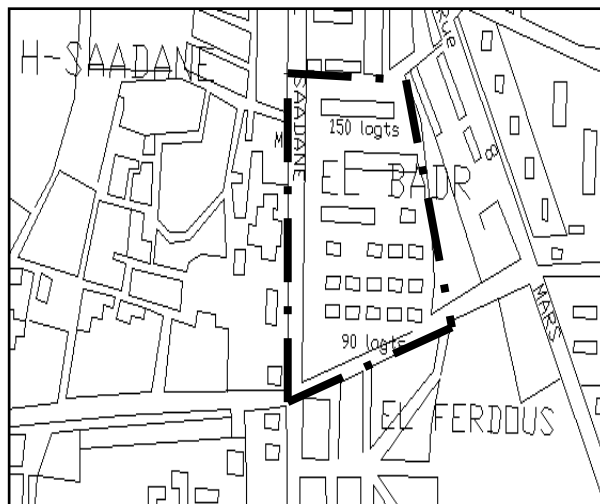
-ALKAMA Djamel, analyses typologiques de l'habitat, cas de Biskra, thèse de magister, institut d'architecture, centre universitaire de Biskra, 1995.

I. 1-1-8) Grands ensembles :

Ils sont un produit fini composé de barres implantées d'une manière lâche ; ce qui ne laisse pas apparaître l'unité de composition urbaine "l'îlot". Ce type d'habitat se présente sous forme de groupements de trois à quatre blocs autour d'un espace prévu généralement comme parking ou espace de jeux. Les blocs sont disposés côte à côte et de part et d'autre des grands axes, pour former de très larges boulevards. La notion de la rue est totalement disparue et remplacée par les grandes allées. (Voir figures, IV.15, IV.16).



Figure, IV.15 : Vue sur l'habitat de type grand ensembles.
Source : L'auteur.



Figure, IV.16 : Plan indiquant l'habitat de type grand ensembles.
Source : L'auteur, d'après le P.D.A.U de la ville de Biskra.

I. 1-1-9) Habitat individuel préfabriqué :

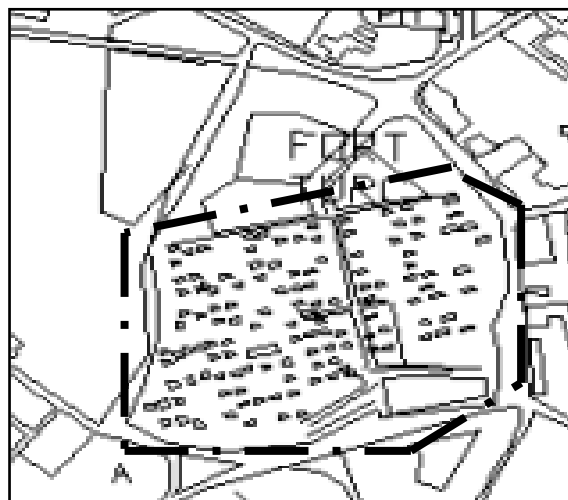
Sa première apparition remonte aux débuts des années 80 comme base de vie pour les coopérants qui ont réalisé l'usine de câblerie. Puis transformés en logement de fonction pour les travailleurs du secteur. Comme l'habitation qui prend une forme géométrique rectangulaire en plan et coiffée d'une toiture en double pente.

L'aspect extérieur aussi se présente identique pour toutes les habitations. Les matériaux de construction sont le produit de l'industrie, comme l'amiante de ciment qui est utilisé dans les panneaux des murs et les cloisons et dans la couverture de la toiture. Ainsi que la laine de verre est utilisé comme matériaux isolant, et l'acier dans l'assemblage des panneaux de la construction. Ce type d'habitat prend place sur une plate-forme, qu'on réalise dans un schéma de structure de voirie de servitude et d'infrastructure de base. (Voir figures, IV.17, IV.18).



Figure, IV.17 : Vue sur l'habitat de type individuel préfabriqué.

Source : L'auteur.



Figure, IV.18 : Plan indiquant l'habitat de type individuel préfabriqué.

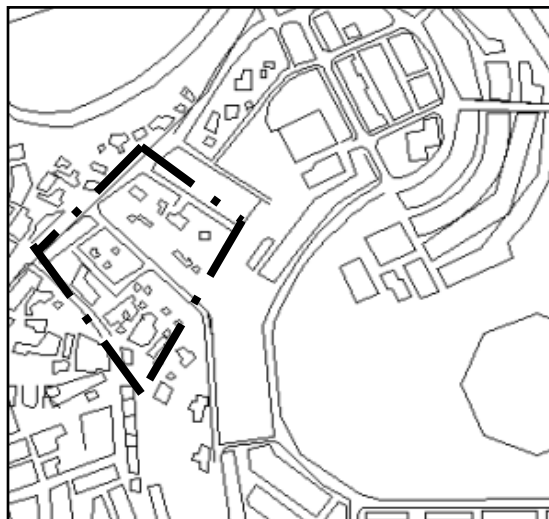
Source : L'auteur, d'après le P.D.A.U de la ville de Biskra.

I. 1-1-10) Bidon villes :

Ce caractérise par sa précarité et le manque des infrastructures et l'ambiguïté de sa structure urbaine. Aucune forme lisible de rue ou de ruelle ou d'impasses. Les matériaux de constructions sont constitués généralement par des matériaux mixtes récupérés des déchets industriels et d'emballage, telles que les tôles de zinc, les caisses en bois et quelques autres matériaux locaux tel que le parpaing. (Voir figures, IV.19, IV.20).



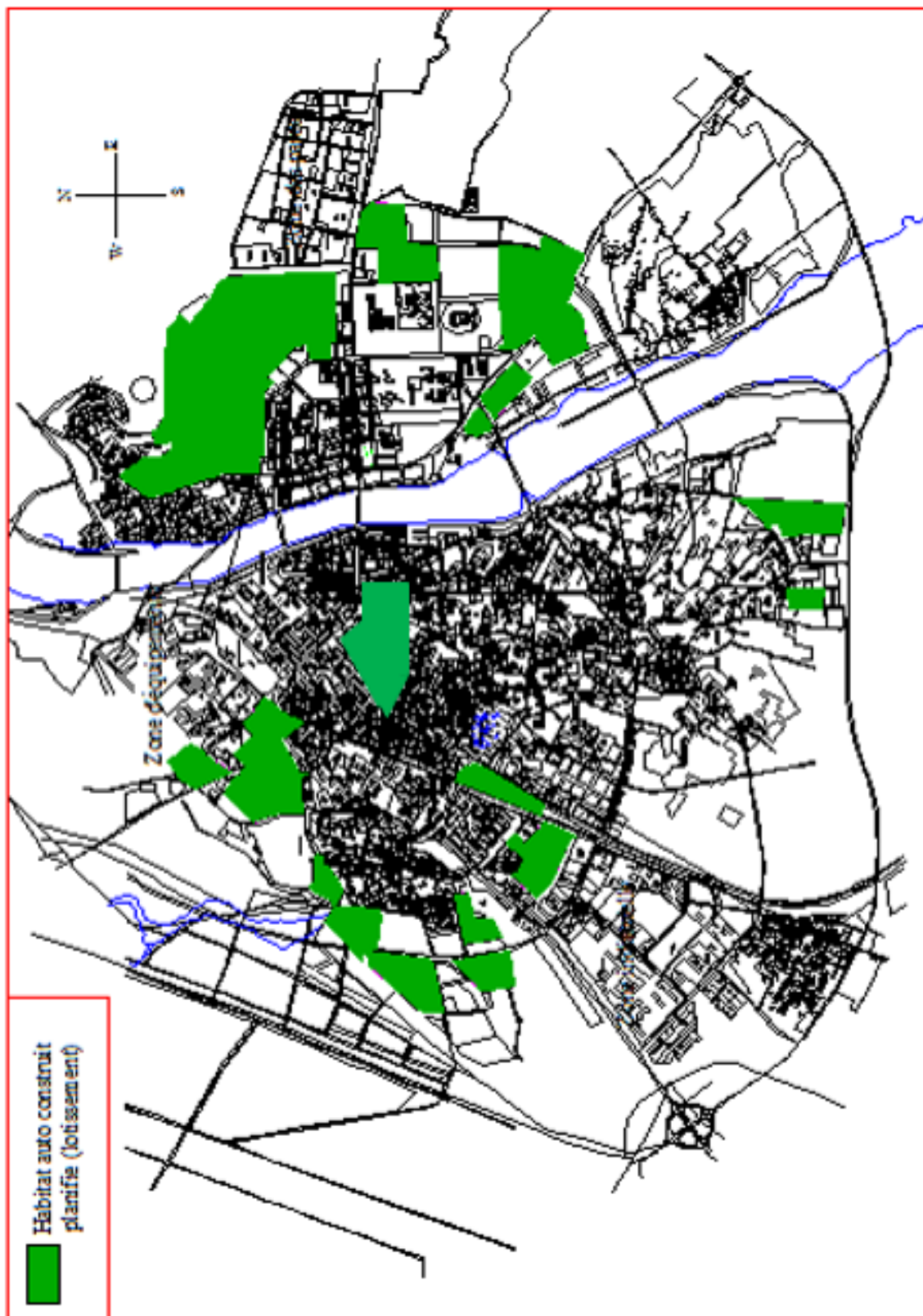
Figure, IV.19: Vue sur l'habitat de type bidon villes.
Source : L'auteur.



Figure, IV.20 : Plan indiquant l'habitat de type bidon villes.
Source : L'auteur, d'après le P.D.A.U de la ville de Biskra.

I. 2) Deuxième enquête :

Prendre l'habitat auto construit planifié (lotissement) comme type de tissu urbain offre ces variables (l'orientation et la géométrie de la rue est bien définie où la hauteur et la largeur des rues sont relativement respectées), le revêtement de sol de la rue en asphalté et en béton et l'absence de verdure. Figure, IV.21.



Figure, IV.21. : Habitat auto construit planifié (lotissement).
Source : L'auteur.

I. 3) Analyse climatique de la ville de Biskra :

I. 3.1) Choix de la ville de Biskra :

Le choix de l'investigation sur la ville de Biskra est motivé par les considérations suivantes :

Sa valeur historique ;

Son climat chaud et sec durant la période estivale qui s'étale sur plus de huit mois avec une pique de température qui atteint plus de 43°C ;

Le tassement de l'écart entre les températures diurnes et nocturnes pendant l'été ;

Le changement des modes de construction, du traditionnel, colonial, technique de construction moderne.

I. 3.2) Situation et climat de Biskra : Ville carrefour a climat rude

La ville de Biskra se situe au sud-est algérien, à 34°48' de latitude Nord, et à 5°44' de longitude Est. Elle est limitée au Nord par la Wilaya de Batna, à l'Est par Khenchela, à l'Ouest par M'Sila et Djelfa et au Sud par la Wilaya de Ouargla. (Voir figure, IV.22).



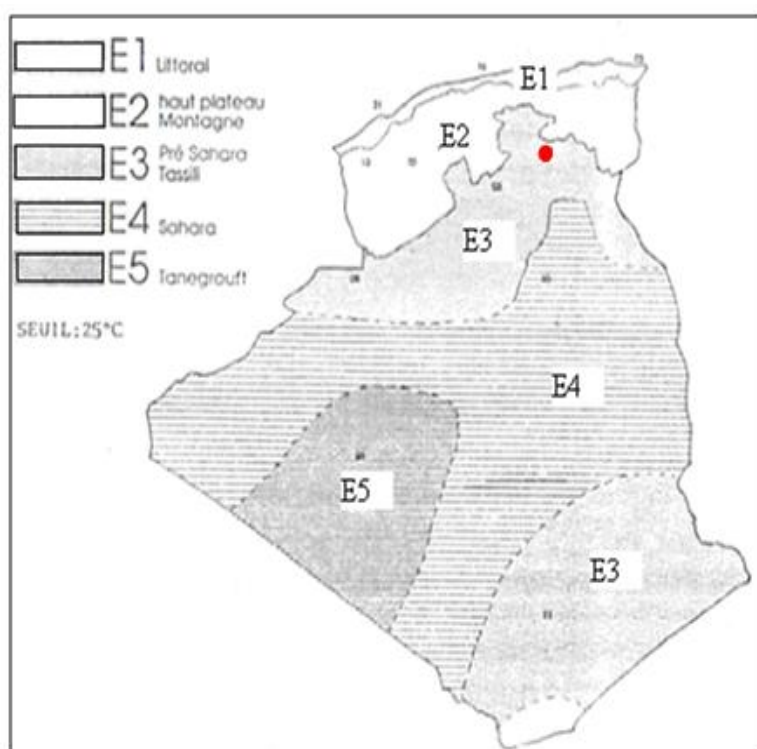
Figure, V.22 : Situation géographique de la ville de Biskra.

Source : Microsoft Encarta 2007, (réadapté par auteur).

La situation de la ville de Biskra, dans une zone charnière entre le Tell avec son climat continental qui règne sur la région des hauts plateaux et qui est un point commun de la majorité des régions internes du pays, et le Sahara avec son climat chaud et sec, lui permet d'avoir des caractéristiques spécifiques.

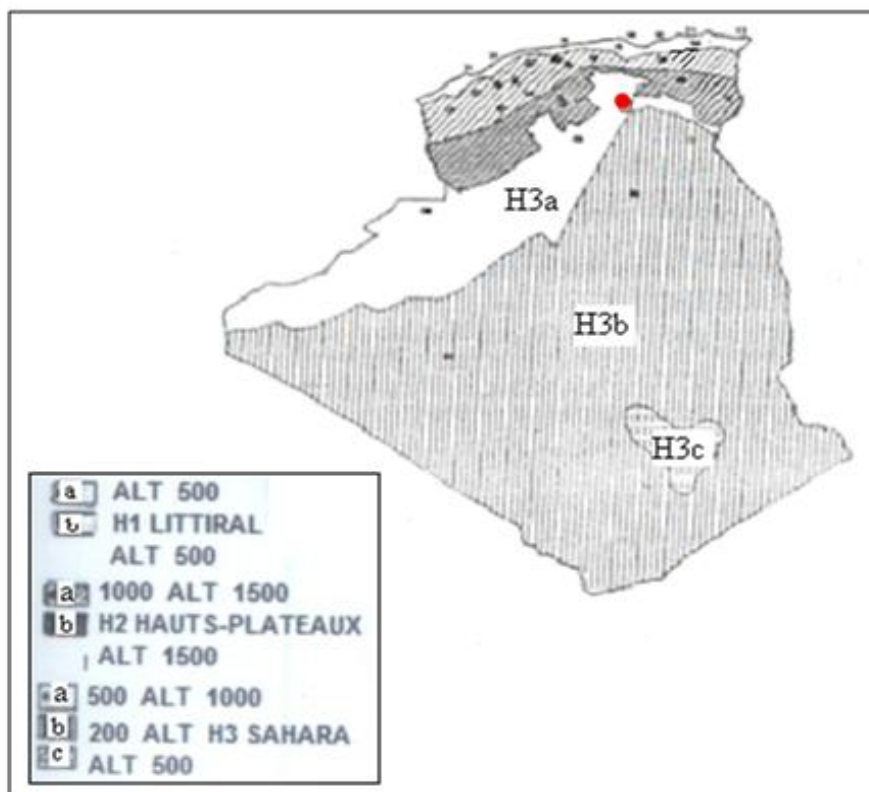
D'après la classification donnée par Recommandations Architecturales (1993), et les deux figures indiquant les zones climatiques d'été (Voir figure, IV.23) et les zones climatiques d'hiver (Voir figure, IV.24), la ville de Biskra est caractérisée par :

- Un été très chaud et sec (zone E3) ou l'écart de température diurne est important.
- Un hiver très froid la nuit par rapport au jour (zone H3a), avec un écart de température entre le jour et la nuit important.



Figure, IV.23 : Les zones climatiques d'été en Algérie.

Source : Ministère de l'habitat, Recommandations Architecturales, 1993.



Figure, IV.24 : Les zones climatiques d'hiver en Algérie.

Source : Ministère de l'habitat, Recommandations Architecturales, 1993.

Et d'après la répartition des zones climatiques d'Algérie établie par MAZOUZ Saïd, Biskra appartient à la zone D qui présente le pré-Sahara et Sahara, déterminé par de température moyenne maximale atteint 45° et entre 20-30 en hiver variation saisonnière de 20° . Sous l'effet de la latitude les hivers deviennent de plus en plus froids.

I. 3.3) Les paramètres climatiques de la ville de Biskra :

Afin de mieux caractériser le climat de la ville de Biskra, il est utile d'analyser les différents paramètres qui le constituent.

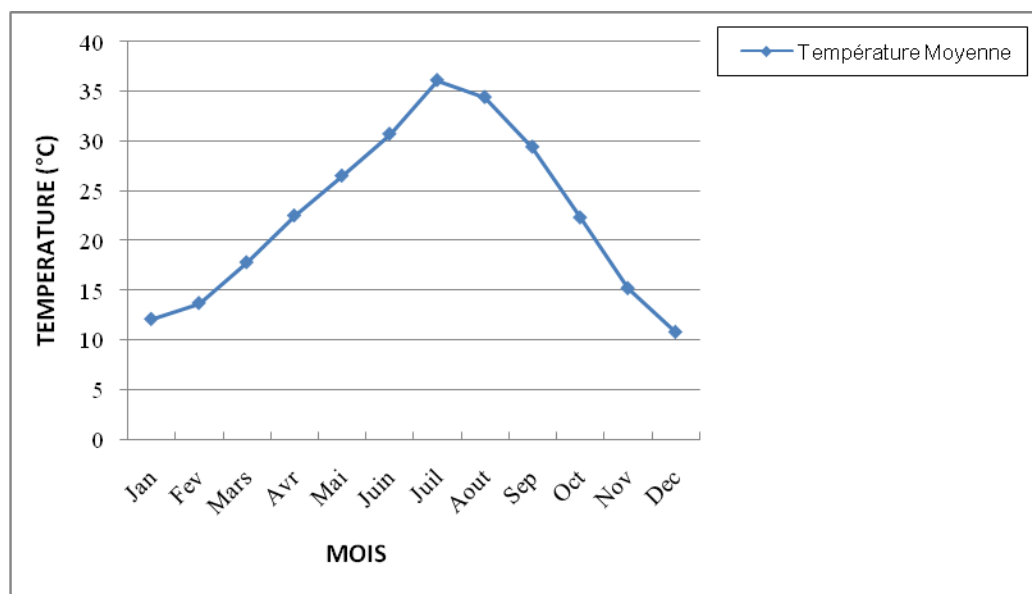
I. 3.3-1) La température de l'air :

Selon les données climatiques de la ville de Biskra de l'année 2008 (obtenues de la station météorologique) ; la température moyenne annuelle est de 22.6°C .

-MAZOUZ Saïd, Eléments de conception architecturale, Office des Publications universitaires, 2004, p177.

-Office national de la météorologie

Avec 36,1°C en juillet pour le mois le plus chaud et 12,1°C en janvier pour le mois le plus froid (Voir figure, IV.25). La courbe des températures moyennes mensuelles évolue d'une manière régulière, selon le graphe, il y'a une période très chaude qui s'étale du mois de juin au mois de septembre.

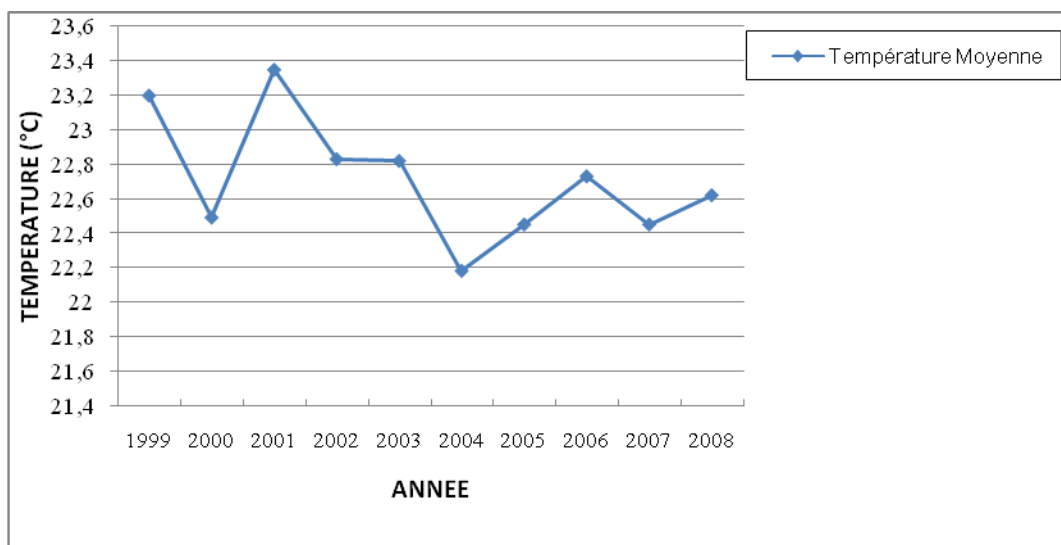


Figure, IV.25 : La moyenne de température de la ville de Biskra de l'année 2008.
Source : L'auteur, d'après les données météorologique de la station de Biskra.

La moyenne de température durant la décennie 1999 – 2008 est de l'ordre de 22.71°C.
(Voir figure, IV.26).

Année	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Température moyenne (°C)	23.2	22.49	23.35	22.83	22.82	22.18	22.45	22.73	22.45	22.62

Tableau, IV.1 : Température moyenne durant la décennie 1999 – 2008.
Source : Office National de la Météorologie, Réadapté par auteur.

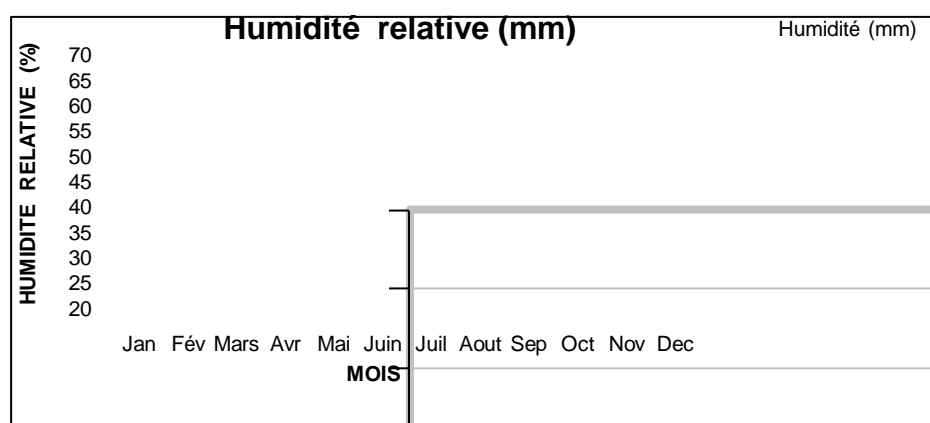


Figure, IV.26 : La moyenne de température durant la décennie 1999 – 2008.

Source : L'auteur, d'après les données météorologique de la station de Biskra.

I. 3.3-2) L'humidité relative :

La courbe de l'humidité relative croit dans le sens inverse que celle des températures, les moyennes mensuelles ne dépassent pas 40% pour les périodes humides ce qui laisse penser à un climat hivernal sec (Voir figure, IV.27). La moyenne annuelle de l'humidité relative est de 42.83% (pour l'année 2008), la valeur moyenne enregistrée de cette année est de l'ordre de 24% pour juillet le mois le plus chaud et sec.



Figure, IV.27 : La moyenne de l'humidité relative de la ville de Biskra de l'année 2008.

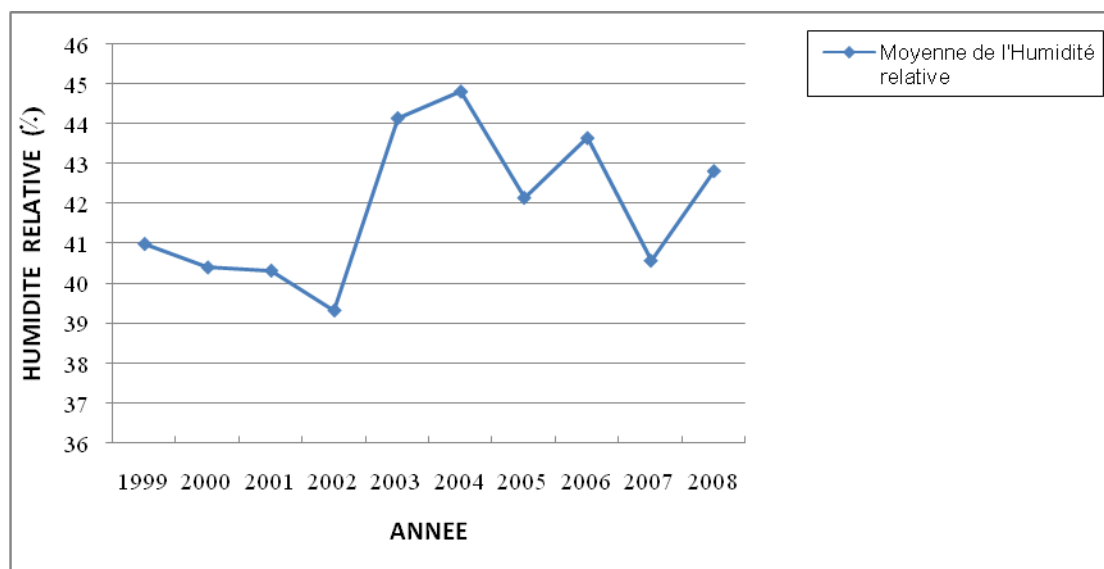
Source : L'auteur, d'après les données météorologique de la station de Biskra.

La moyenne de l'humidité relative durant la décennie 1999- 2008 est de l'ordre de 41.92% (Voir figure, IV.28).

Année	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Moyenne de l'Humidité (%)	41	40.41	40.33	39.33	44.16	44.83	42.16	43.66	40.58	42.83

Tableau, IV.2 : L'humidité relative moyenne durant la décennie 1999 – 2008.

Source : Office National de la Météorologie, Réadapté par auteur.



Figure, IV.28: La moyenne de l'humidité relative durant la décennie 1999 – 2008.

I. 3.3-3) L'insolation :

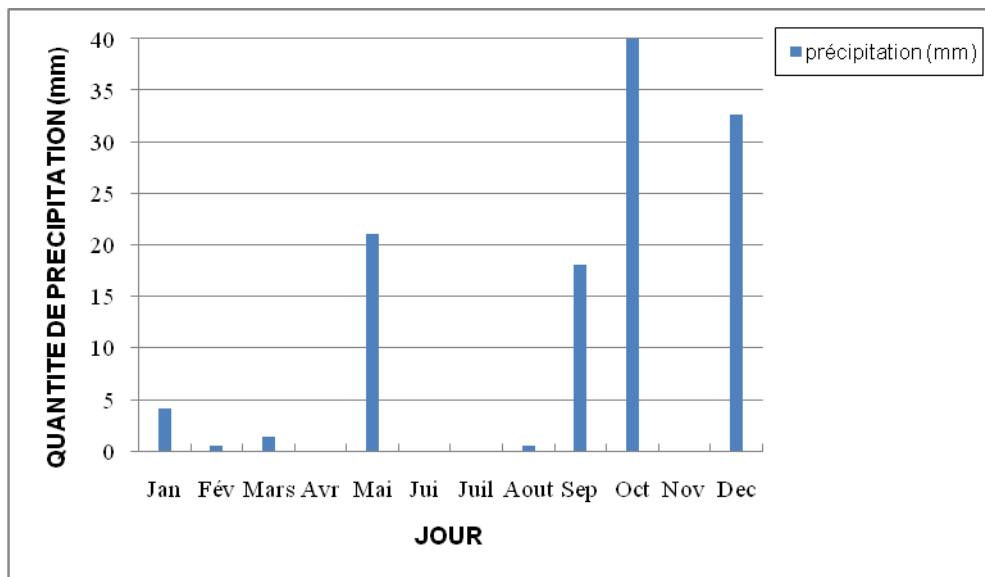
La durée d'insolation est très importante pendant toute l'année. Elle est de l'ordre de 276 h/mois en moyenne durant les quarante un ans précédents (1967 – 2008).¹

Le rayonnement solaire global atteint son maximum en mois de juillet avec une durée moyenne de 360.5 h.

I. 3.3-4) Les précipitations :

Pour une année (2008 par exemple), la répartition annuelle des précipitations est marquée par une période longue de sécheresse (neuf mois : janvier, février, mars, avril, mai, juin, juillet, août, et septembre) où les précipitations sont nulles ou très faibles ne dépasse pas 20 mm. (Voir figure, IV.29).

1- Office National de la Météorologie, Biskra.

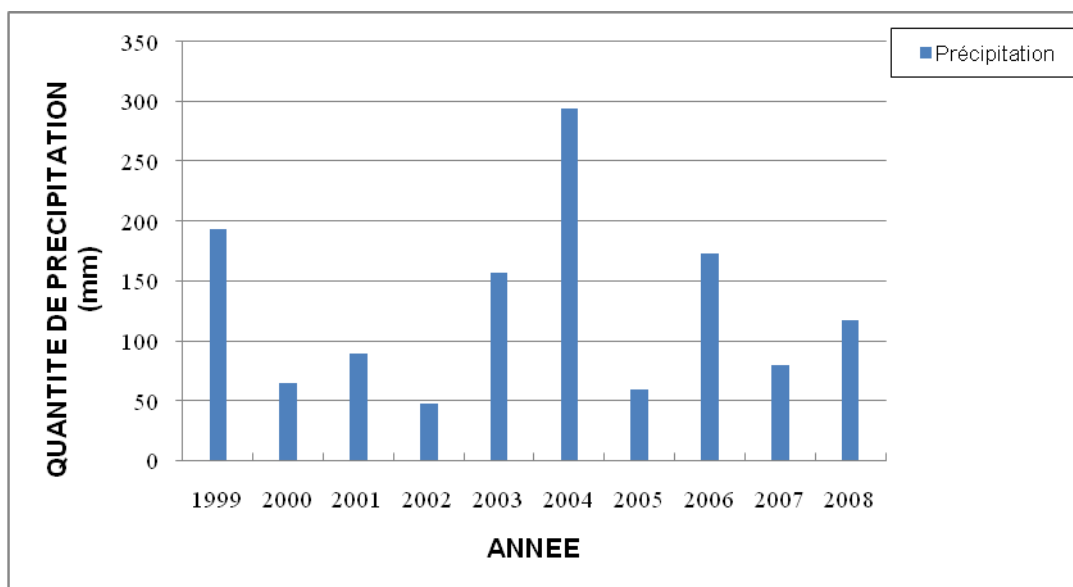


Figure, IV.29 : La Répartition annuelle des précipitations de la ville de Biskra de l'année 2008. Source : L'auteur, d'après les données météorologique de la station de Biskra.

Et pour une décennie (1999 – 2008) les précipitations totales ne dépassent pas 300 mm. (Voir figure, IV.30).

Année	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Quantité (mm)	193	64.5	88.8	47	156.9	294.1	58.8	173	79.3	117.5

Tableau, IV.3 : Totale des précipitations durant la décennie 1999 – 2008. Source : Office National de la Météorologie, Réadapté par auteur.

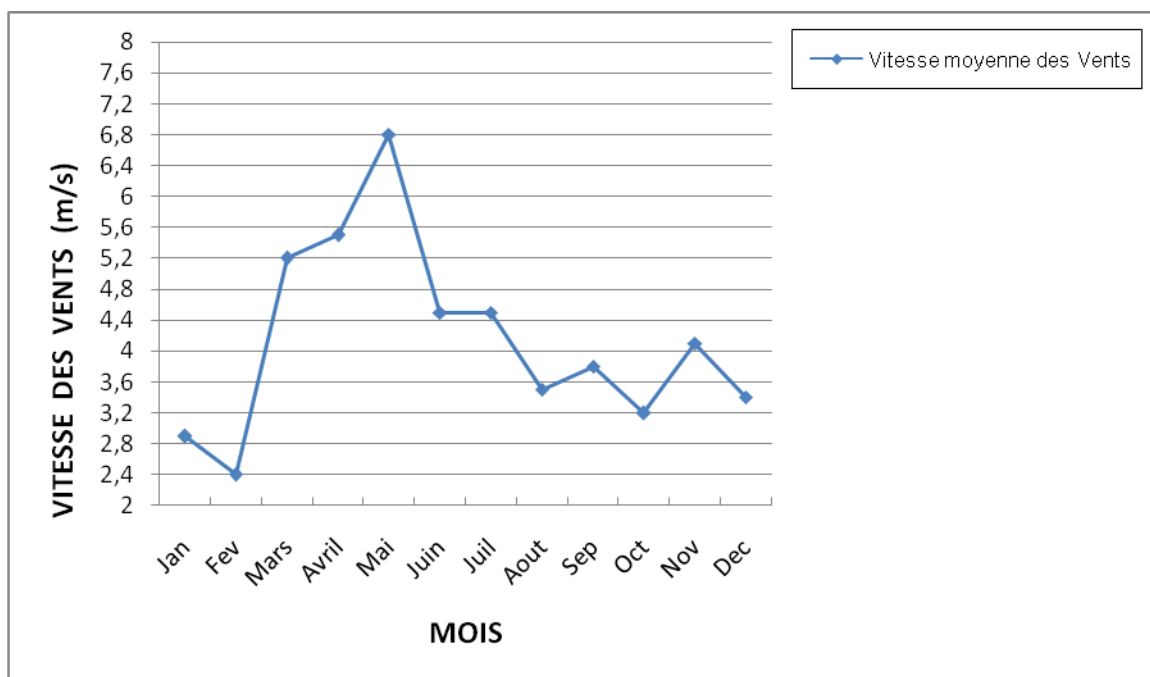


Figure, IV.30 : Répartition des précipitations durant la décennie 1999 – 2008. Source : L'auteur, d'après les données météorologique de la station de Biskra.

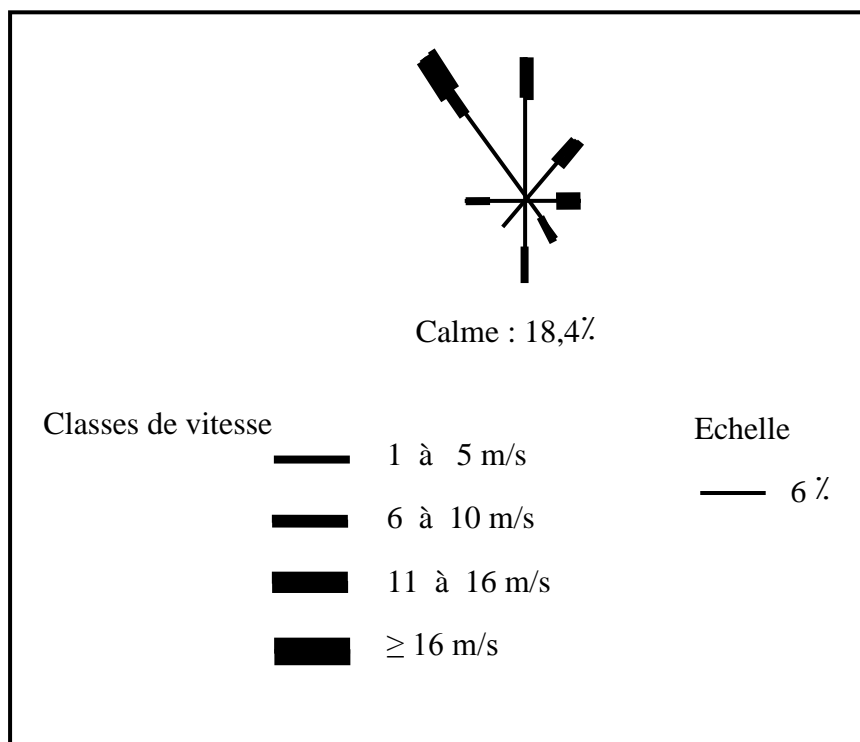
I. 3.3-5) Les vents :

La vitesse de vent enregistrée dans la ville de Biskra, marque une faiblesse dominante pendant toute l'année (2008). La courbe des vitesses des vents est irrégulière (Voir figure, IV.31), on marque une variation entre 2.9 et 6.8m/s, avec une moyenne annuelle de 3.88m/s.

La rose de vent de la ville (Voir figure, IV.32) réalisée sur la période qui s'étale entre 1999 et 2008 montre que les vents dominants qui soufflent sur la ville sont de direction Nord ouest pour l'hiver, se sont des vents froids et humides avec une fréquence de 12 % et une vitesse atteint 6 à 10 m/s.



Figure, IV.31 : Vitesse moyenne des vents de la ville de Biskra de l'année 2008.
Source : L'auteur, d'après les données météorologique de la station de Biskra.



Figure, IV.32 : La rose des vents de la ville de Biskra durant la décennie 1999 – 2008.
Source : Office National de la Météorologie, Biskra, réadapté par auteur.

I. 3.3-6) L'indice d'aridité :

L'aridité est un phénomène climatique impliquant une pluviométrie faible. L'indice d'aridité de De Martonne, permet de déterminer le degré d'aridité d'une région.

Pour le calculer, on utilise la formule :

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

P : désigne les précipitations totales annuelles ;

T : la température moyenne annuelle ;

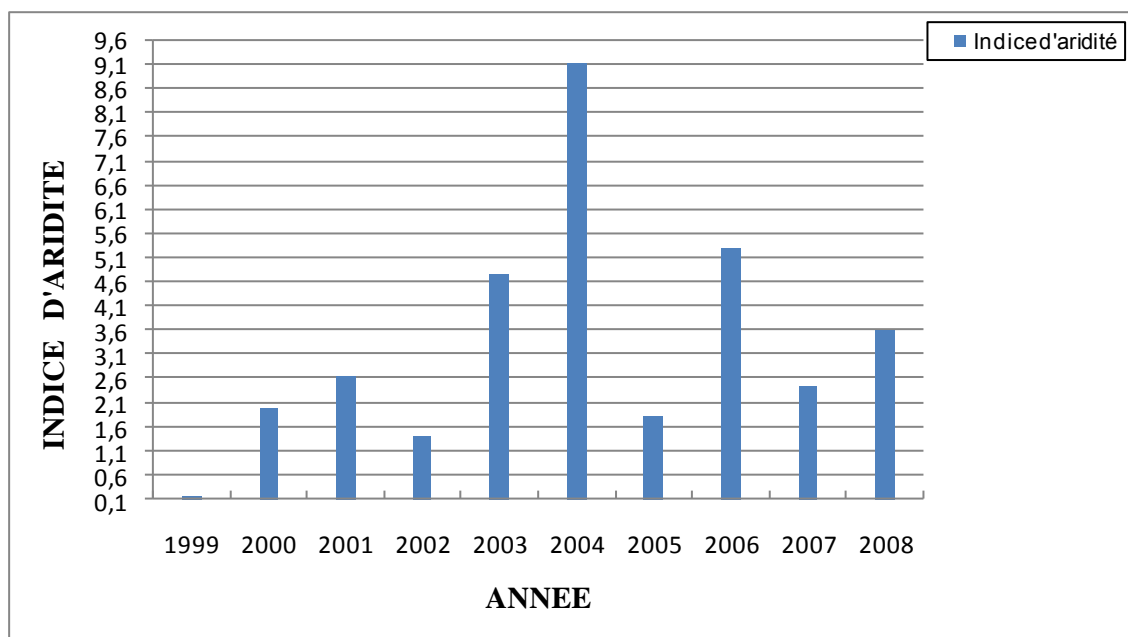
La lecture de cet indice se fait comme suit :

- $I < 5$: c'est l'indice d'aridité absolue ou hyper aridité ;
- $5 < I < 10$: c'est l'indice d'aridité ;
- $10 < I < 20$: c'est l'indice de semi aridité ;
- $I > 20$: c'est l'indice d'humidité ;

Selon les données climatiques de dix ans (1999 – 2008) de la ville de Biskra obtenues de l'Office National de la Météorologie on peut réaliser un histogramme déterminant la valeur de l'indice d'aridité de la ville de Biskra durant cette période. (Voir figure, IV.33).

Année	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Précipitations totales	5.8	64.5	88.8	47	156.9	294.1	58.8	173	79.3	118.4
Température moyenne	23.21	22.49	23.35	22.83	22.82	22.18	22.45	22.73	22.45	22.62
L'indice d'aridité	0.17	1.98	2.66	1.43	4.78	9.13	1.81	5.28	2.44	3.62

Tableau, IV.4 : Détermination de l'indice d'aridité de la ville de Biskra durant la décennie 1999 – 2008.
Source : L'auteur, d'après les données de l'Office National de la Météorologie, Biskra.



Figure, IV.33 : L'indice d'aridité de la ville de Biskra durant la décennie 1999 – 2008.
Source : L'auteur.

La moyenne de l'indice d'aridité durant la décennie 1999 – 2008 est de l'ordre de 3.33

La ville de Biskra, située dans **une région aride** avec tous les éléments qui caractérisent cette région.

I. 4) Détermination des isothermes de la ville de Biskra :

À partir de données climatiques de la ville de Biskra de l'année 2004 (Voir figure, IV.34), le dessin des isothermes (Voir figure, IV.35), nous permet de déterminer les différentes zones (sous chauffe, confort, surchauffe), en fonction des tranches horaires propre à chaque mois.

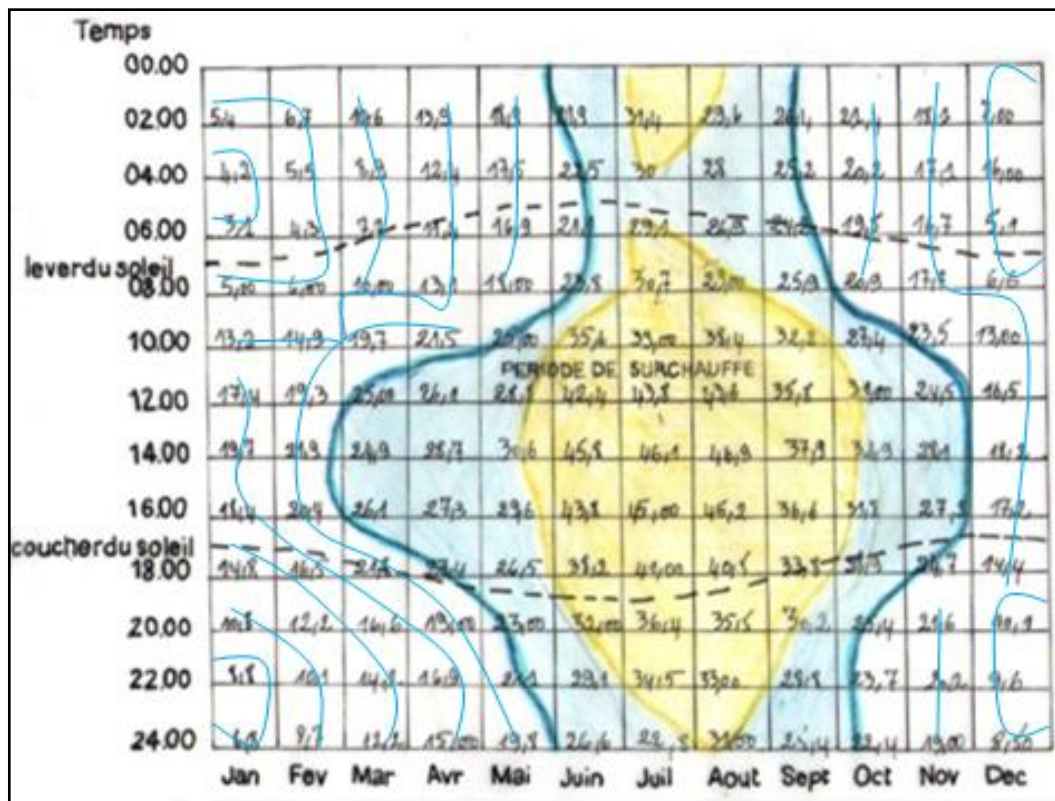
Moyennes des températures minimales (C°)												
	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sept	Oct	Nov	Dec
Moy	3,1	4,1	7,7	11,4	16,9	21,1	29,1	26,9	24,2	19,5	16,7	5,1

Moyennes des températures maximales (C°)												
	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sept	Oct	Nov	Dec
Moy	19,7	21,9	27,9	28,7	30,6	45,8	46,1	46,9	24,2	32,9	28,1	18,2

Moyennes des humidités (%)												
	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sept	Oct	Nov	Dec
H min	52	41	40	32	36	25	24	33	23	30	38	53
H max	80	73	70	62	58	50	45	45	65	72	80	82

Tableau, IV.5 : Les données climatiques de la ville de Biskra 2004.

Source : L'auteur, d'après les données de l'Office National de la Météorologie, Biskra.



Figure, IV.34: Isothermes indiquant les différentes zones thermiques

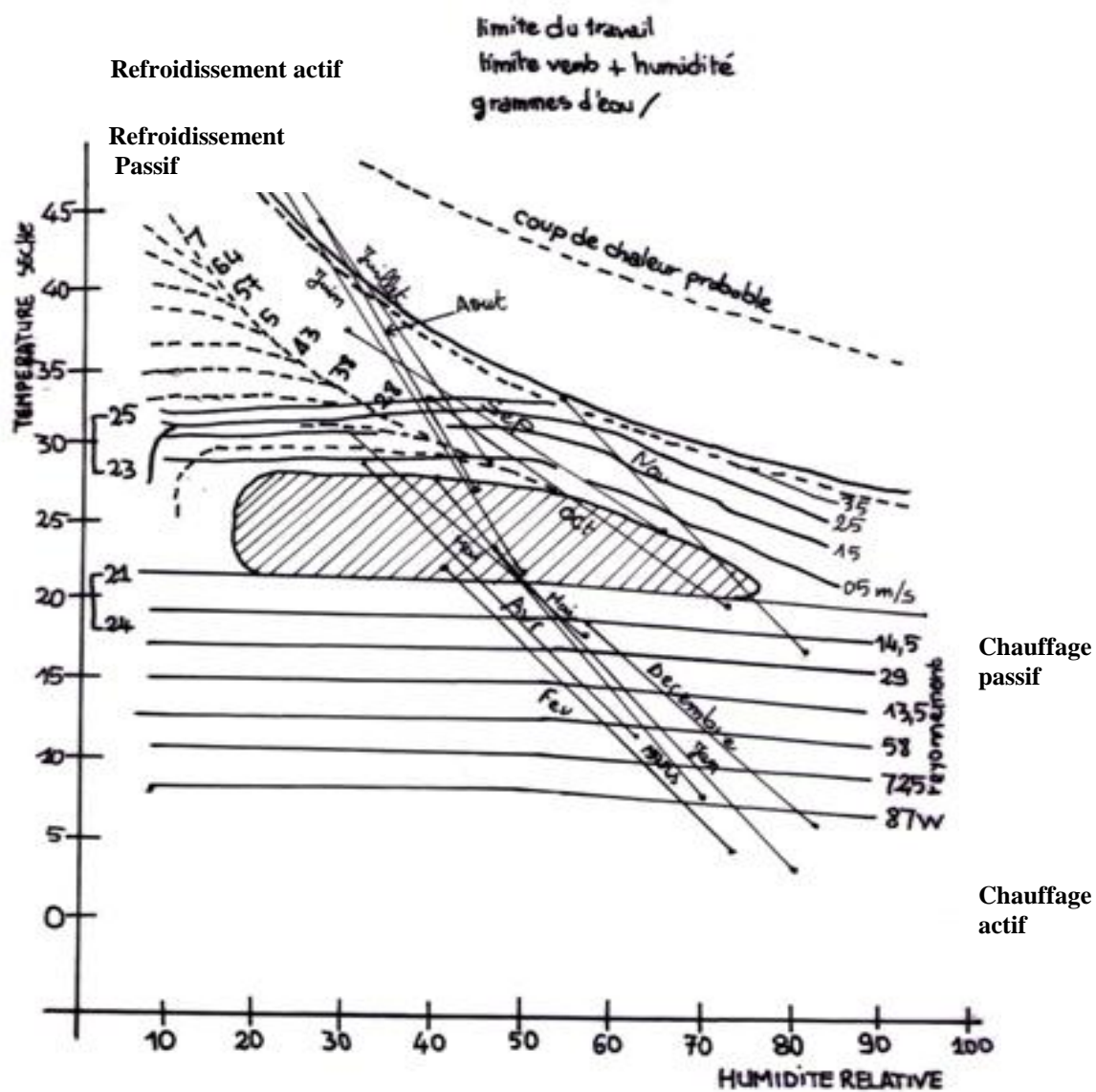
La matrice des isothermes fait ressortir trois zones distinctes :

- Une première zone de **sous-chauffe**, s'étalant du mois de janvier et février, en englobant aussi le mois 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 mars avril et novembre, et quelques durées des mois de mai et octobre, 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, et quelques durées des mois de mai et octobre, elle marque des températures très élevées dépassant le seuil de confort, ce qui nécessite des occultations solaire et une climatisation artificielle.

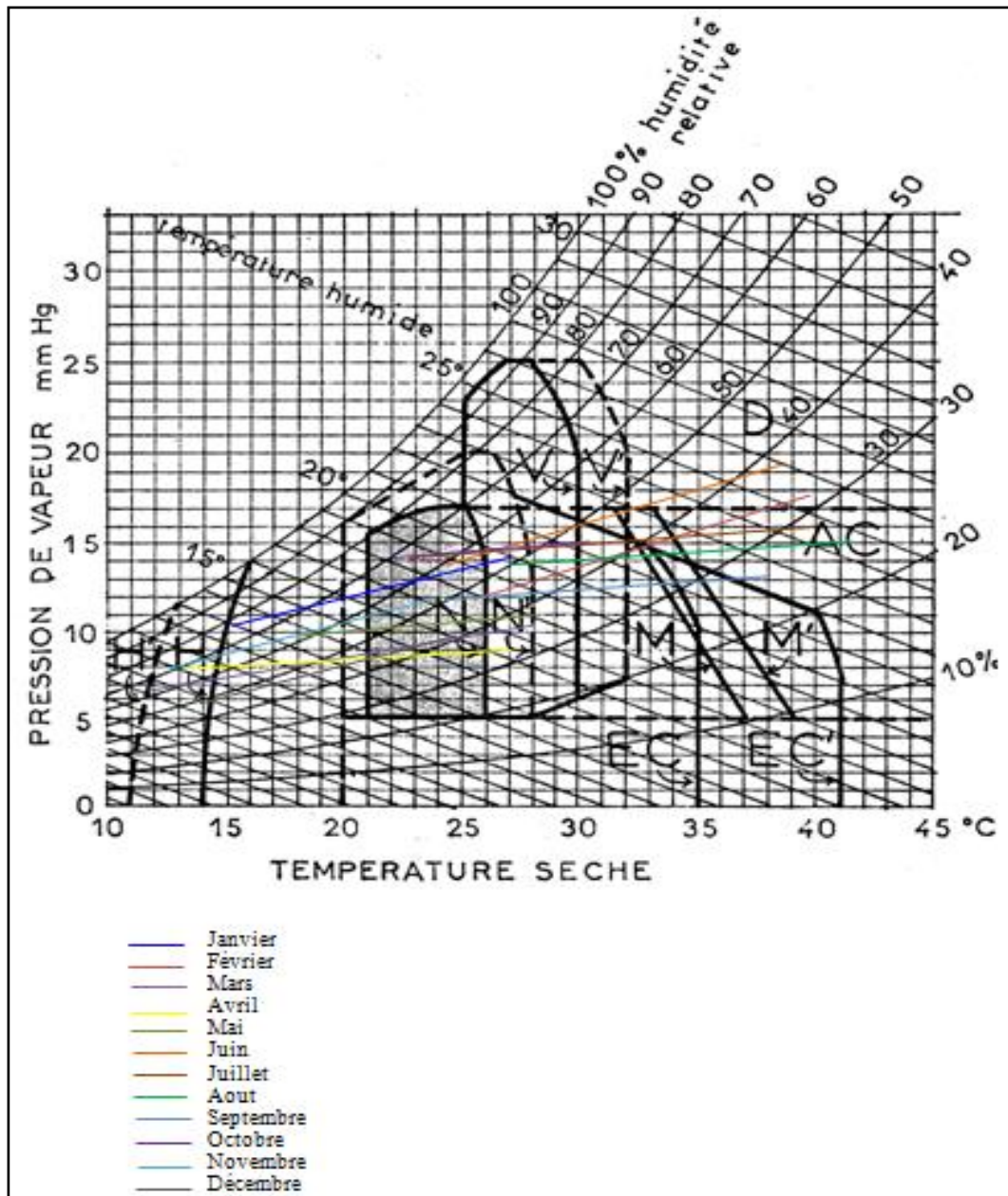
SZOKOLAY.S.V, « Environmental science handbook for architects and builders », the construction press, 1980.

D'après la matrice des isothermes on a trouvé que le mois de juillet est le mois le plus chaud de l'année dans la ville de Biskra.

On peut obtenir les mêmes résultats des différentes zones (sous chauffe, confort, sur chauffe) on appliquant le diagramme d'Olgay (Voir figure, IV.36) et le diagramme de Givoni (Voir figure, V.37).



Figure, V.35: Diagramme d'Olgay.

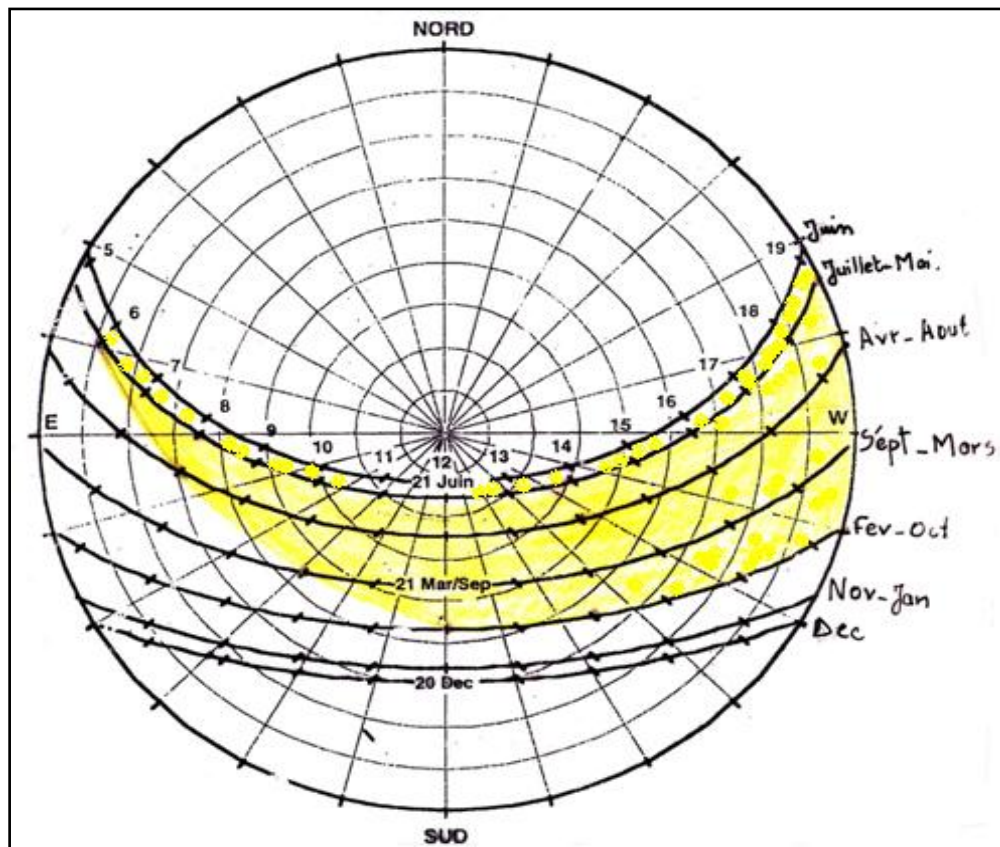


Figure, V.36: Diagramme de Givoni.

On pourra alors reporter les résultats de la matrice des isothermes sur un diagramme solaire, correspondant à la latitude de la ville de Biskra, pour faire ressortir la zone de surchauffe de la région, qui est présenté par la figure ci-dessous (Voir figure, IV.38).

Le diagramme solaire, montre que la trajectoire solaire est plus importante en été (21 Juin jour le plus long de l'année) qu'en hiver (20 décembre, jour le plus court de l'année).

-GIVONI. B, « *L'homme, l'architecture et le climat* », éd. Moniteur, 1978.



Figure, IV.37: Diagramme solaire indiquant la trajectoire solaire, et la zone de surchauffe pour la ville de Biskra – latitude 34°48'.

I. 5) Les logiques de production du cadre bâti à Biskra sous la contrainte de ses données climatiques :

I. 5-1) Epoque précoloniale : Architecture vernaculaire

Les implantations tiraient profit de la proximité de la palmeraie. Parfois la palmeraie entourait entièrement le bâti. « *L'intégration de ce type d'habitat dans la palmeraie avec une logique de linéarité et d'éparpillement en groupements, la présence d'eau d'irrigation en permanence font de la palmeraie un élément de protection des habitations, contre les vents chauds, les vents de sables, les effets du rayonnement solaire et le vent froid du nord qui sont des éléments déterminants dans cette région* ». (ALKAMA D, 1995).

-ALKAMA Djamel, analyses typologiques de l'habitat, cas de Biskra, thèse de magister, institut d'architecture, centre universitaire de Biskra, 1995.

L'ombre portée des palmiers constitue aussi une enveloppe qui protège les habitations de l'insolation et l'évaporation excessive de l'eau d'irrigation. En plus, la forme compacte de ses groupements d'habitations, ses rues, ruelles et impasses sinueuses créent de l'ombre et minimisent les surfaces extérieures exposées au rayonnement solaire et rend les habitations protégées de toute insolation ou effet de nuisance climatique.

I. 5-2) Epoque coloniale : production en damier

La ville coloniale et son caractère de force et rigidité constitue de véritables modèles prédestinés à l'imitation. Ce type de tissu urbain reprend quelques techniques et matériaux de construction locaux, tels les murs porteurs en toub. La structure urbaine de ce type de tissu urbain se présente sous forme d'une série d'îlots conçus à base d'un tracé parcellaire en damier, « *donnant une armature urbaine formée de rues uniformes et identiques à caractère carrossable* » (ALKAMA D, 1995). Les rues orientées nord sud servent à protéger les constructions des radiations solaires directes de l'est et de l'ouest. Ajouter à cela, l'inertie thermique des matériaux de construction à base de terre de pierre qui participent vivement à la réalisation d'un certain confort thermique, en retardant la pénétration de la chaleur surtout pendant le jour.

I. 5-3) Epoque post coloniale :

Il y'a deux périodes où chacune a affecté un tissu urbain distinct. Donnant lieu à l'apparition d'un ou plusieurs types de tissus urbains de morphologie et d'organisation spatiale très distincte :

I. 5-3-1) Production étatique : produit en zoning

Dans le type d'habitat planifié dit lotissement beaucoup de constructions sont orientées est/ouest. Le mode d'organisation spatiale extraverti avec ses baies donnant sur extérieur sont exposent l'espace habité d'avantage au rayonnement solaire. Ajouter à cela la faible inertie thermique des matériaux constructions en béton. L'habitat collectif ne réalise aucun confort thermique au climat chaud et sec. Ceci est dû à son organisation urbaine en blocs éparpillés qui fait que la plus grande partie de leurs murs sont exposés au rayonnement solaire. Surtout quand l'immeuble est orienté est-ouest. Où le rayonnement solaire est maximum, celui de la région de Biskra est de l'ordre de 1.7 (Office national de la météorologie).

-ALKAMA Djamel, analyses typologiques de l'habitat, cas de Biskra, thèse de magister, institut d'architecture, centre universitaire de Biskra, 1995.

La forme extravertie de l'espace habité l'expose de manière directe au rayonnement solaire. Ajouter à cela l'effet de conduction thermique des matériaux de construction qui sont de faible inertie thermique.

La localisation de l'habitat type villa à la périphérie de la ville, sous forme d'habitat extravertie, la rendre exposée au rayonnement solaire en été. Ajouter a cela l'effet des matériaux de construction de faible inertie thermique de ce fait l'isolation thermique à elle seule n'arrive pas à réaliser une protection, surtout des cotés, est et ouest.

I. 5-3-2) Production populaire : produit informel

Les constructions dans le type d'habitat auto construit non planifié, sont construites en matériaux de faible inertie et sans aucune isolation laissent pénétrer la chaleur, aux espaces intérieurs. Aussi ses façades extraverties orientés vert l'est et l'ouest non protégées facilitent la pénétration du flux thermique, et les vents chauds de sud est pendant la période de l'été. Selon (ALKAMA D, 1995), le caractère extraverti dans les habitations de type contigu, avec des grandes ouvertures orientées dans toutes directions sans aucune protection, facilite la pénétration du flux de chaleur à l'intérieur des maisons.

I. 6) L'îlot de chaleur urbain dans la ville de Biskra :

Pour faire l'étude de ce phénomène on va choisir le mois de juillet pendant une journée complète 24 heures pour mieux le comprendre. Cette étude exige l'identification des paramètres urbains, dans notre cas la géométrie de la rue, qui conduisent à l'emménagement de la chaleur sur les différentes surfaces urbaines et sa capacité à restituer la chaleur en grandes ondes sous forme de rayonnement infrarouge. Donc, le refroidissement nocturne est essentiel pour le contrôle des températures urbaines nocturnes, de surface et de l'air. « *La propriété de refroidissement est donnée par la capacité d'un tissu urbain à restituer la chaleur emmagasinée durant la journée.*

Cette influence s'est révélée décisive dans la constitution de l'îlot de chaleur urbain au niveau globale de la ville ». (ALI TOUDERT F, 2000).

-ALKAMA Djamel, analyses typologiques de l'habitat, cas de Biskra, thèse de magister, institut d'architecture, centre universitaire de Biskra, 1995.

-ALI TOUDERT Fazia, ouverture au ciel : concept pour le contrôle solaire et énergétique en milieu urbain, séminaire international : espace saharien et développement durable, Biskra 14, 15 et 16 novembre, 2000.

Conclusion :

En conclusion, le climat de Biskra apparaît à travers les chiffres comme un climat dur, caractérisé par un hiver froid, et un été chaud et sec. Des précipitations faibles en hiver et rare en été. Où se manifeste le mois de juillet le plus chaud de l'année, donc la période adéquate de l'étude du phénomène de l'îlot de chaleur urbain.

Dans le but d'associer les conclusions du présent chapitre à la réalité de la croissance urbaine de la ville, qui nous aidera certainement à saisir les caractéristiques de la rues dans le tissu urbain, on à procéder à un travail de terrain sur des points distinctes existants situés à la ville de Biskra, pour ce, on doit présenter le site d'investigation et la procédure de mesure de paramètres climatiques et de calcule de bilan énergétique des sols, ainsi que la relation entre la géométrie et l'orientation de la rue avec le fluctuation de paramètres climatiques et le bilan énergétique des sols, dans un processus méthodologique ce qui fera l'objet de prochain chapitre.

BIBLIOGRAPHIE

- ALI TOUDERT Fazia**, ouverture au ciel : concept pour le contrôle solaire et énergétique en milieu urbain, séminaire international : espace saharien et développement durable, Biskra 14, 15 et 16 novembre, 2000.
- ALKAMA Djamel**, analyses typologiques de l'habitat, cas de Biskra, thèse de magister, institut d'architecture, centre universitaire de Biskra, 1995.
- CAPDEROU.M**, " *Atlas solaire de l'Algérie* ", tome 3: aspect énergétique, OPU Alger, 1986,
- GIVONI. B**, « *L'homme, l'architecture et le climat* », éd. Moniteur, 1978.
- MAZOUZ Saïd**, Eléments de conception architecturale, Office des Publications universitaires, 2004, p177.
- Ministère de l'habitat**, Recommandations Architecturales, ENAG édition, Alger, 1993, P9, P10, P11.
- Office national de la météorologie
- SZOKOLAY.S.V**, « *Environmental science handbook for architects and builders* », the construction press, 1980.

.....

CHAPITRE V : PROCESSUS

METHODOLOGIQUE

.....

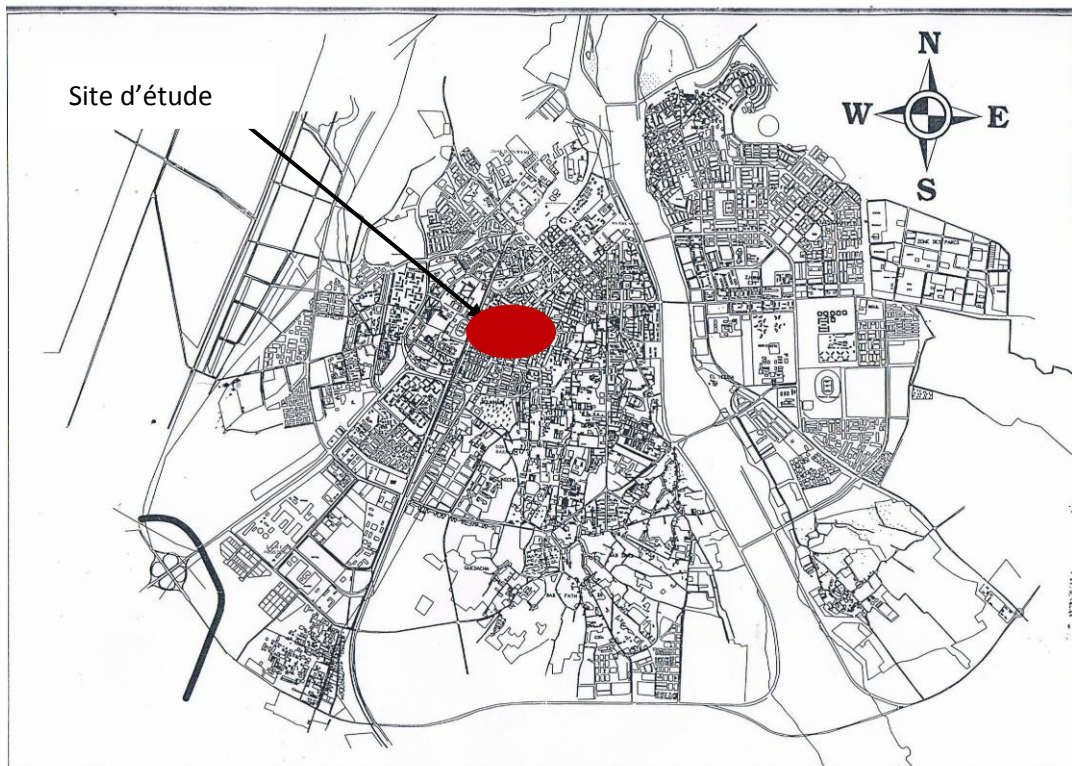
I. Introduction

Pour trouver les réponses aux questions qu'on a posaient concernant l'effet de la géométrie et l'orientation de la rue, et la modification du bilan d'énergie du sol, sur l'îlot de chaleur urbain. Une expérimentation s'avère nécessaire. Ceci nécessite une investigation sur terrain. Pour ce faire on élaborera une méthode de recherche qui nous permettra certainement de vérifier les hypothèses posées précédemment.

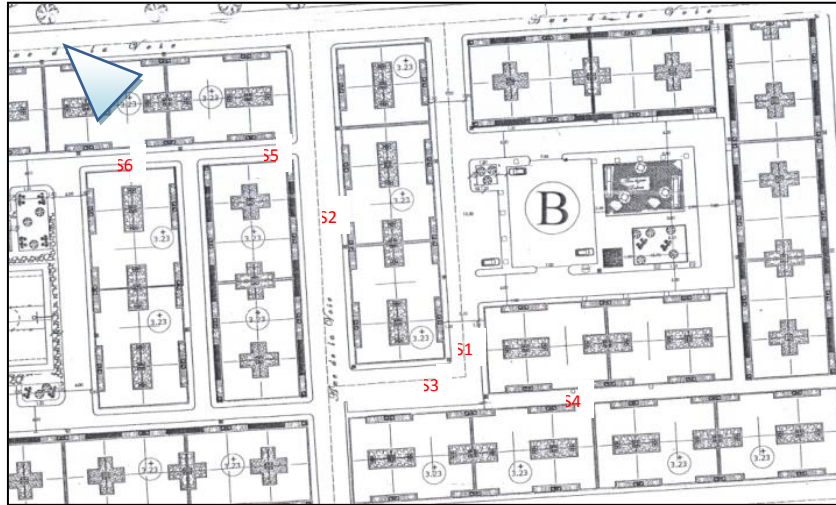
La présente recherche se base sur la compréhension de climat urbain ce qui nécessite une meilleure connaissance des aspects thermiques dans la rue. Cependant la caractérisation climatique d'un tissu urbain pose la question du choix des points de mesures les plus représentatifs du point de vue de la climatologie du site. L'expérimentation est inspirée d'une méthode universelle, utilisée dans de nombreuses études antérieures, notamment, le travail mené par RINGENBACH N, 2004.

I. 1) Choix des stations de mesure urbaines :

Le choix des stations de mesure au nombre de six est limité par le nombre de type de la géométrie des rues (rue canyon, rue dièdre et rue dégagée) à la ville de Biskra. Basé sur le fait de vouloir étudier l'impact de la géométrie de la rue et son orientation sur l'îlot de chaleur urbain (hypothèse 1 et 2). Ainsi que la détermination de la modification du bilan d'énergie du sol (avec deux types différents : sol en asphalte et sol pavé en béton), en milieu urbain selon la morphologie urbaine définie par la géométrie des rues (rue canyon, dièdre et dégagée) et son impact sur le réchauffement de l'air (hypothèse 3).



Figure, V.1 : Choix des stations de mesures par rapport à l'ensemble de la ville.
Source : L'auteur (d'après le P.D.A.U de la Ville de Biskra).



Figure, V.2: Les rues où les stations de mesure sont placées.

Source: L'auteur.

I. 2) Critères du choix des stations de mesure :

Les critères du choix de ces stations de mesure ont été les suivants :

A) La situation :

La situation de site d'investigation à la ville de Biskra est un principe de base pour le traitement du microclimat urbain et voir l'impact de la géométrie de la rue (types de rue) et son orientation sur l'îlot de chaleur urbain, ainsi, que la modification du bilan d'énergie des sols selon la géométrie des rues et les types des sols (sol en béton et sol en asphalte) et son impact sur l'îlot de chaleur urbain. Et pour que le site d'investigation soit aussi représentatif que possible, sa situation géographique est d'une grande importance.

B) L'absence de végétation :

L'absence de végétation a permis d'aborder l'investigation, en évaluant l'influence de la géométrie de la rue sur le microclimat sans tenir compte de l'impact de ce paramètre.

C) Morphologie :

Le site d'investigation à la ville de Biskra est un site relativement plat. D'une altitude moyenne de 89 m¹. La grande importance de ce critère consiste au fait de pouvoir négliger l'impact du relief au sein du site.

Ainsi que, les paramètres spatiaux : dans une station de mesure donnée ; la hauteur des deux façades de la rue, la texture des deux façades de la rue (les matériaux de construction), la couleur de texture des deux façades de la rue, le revêtement de sol de la rue, L'orientation de la rue, sont homogènes.

I. 3) Description du site :

Cette étude s'applique au cas de la ville de Biskra, appartenant aux régions arides à climat chaud et sec en Algérie. Son climat aride se caractérise par : Des fluctuations annuelles et journalières importante entre les températures maximale et minimale. Entre le mois le plus froid et le mois le plus chaud, l'amplitude thermique dépasse 20°C. L'amplitude journalière pour la saison chaude avoisine 22°C. Le rayonnement solaire est intense est de l'ordre de 10h/jour. L'humidité relative moyenne est de l'ordre de 47% et reste faible, ne dépassant guère 60% en hiver. Les précipitations sont irrégulièrement faibles (120 mm). (Cote, 2005).

Le terrain d'étude que nous avons retenu est cinq rues de géométrie différente situées à la ville de Biskra - Algérie - (Figure, V.2).

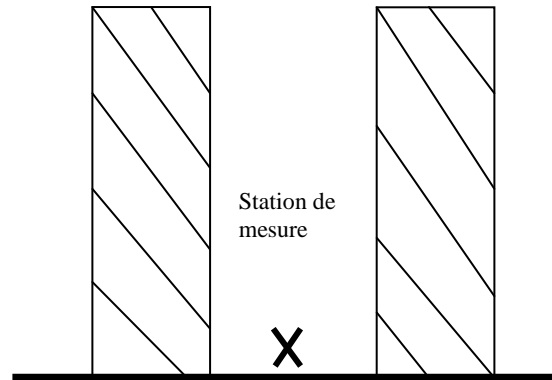
Les coupes schématiques de chaque station pour voir la hauteur des rues sont présentées ci-dessous :

¹ Office National de la Météorologie, Biskra
-COTE. Marc, La ville et le désert, Karthala, 2005, Paris.

- Station de mesure N°1 (Rue canyon $H > 2L$, sol en asphalte) :



Figure, V.3: Vue sur la station de mesure N°1.
Source: L'auteur.

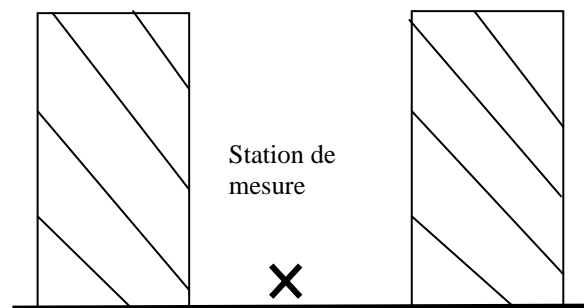


Figure, V.4: Coupe sur la station de mesure N°1,
La hauteur des constructions = 14,8m
La largeur de la rue = 6,50m
Source: L'auteur.

- Station de mesure N°2 (Rue dièdre $H=L$ ou $H=0,5L$, sol en asphalte) :



Figure, V.5: Vue sur la station de mesure N°2.
Source: L'auteur.



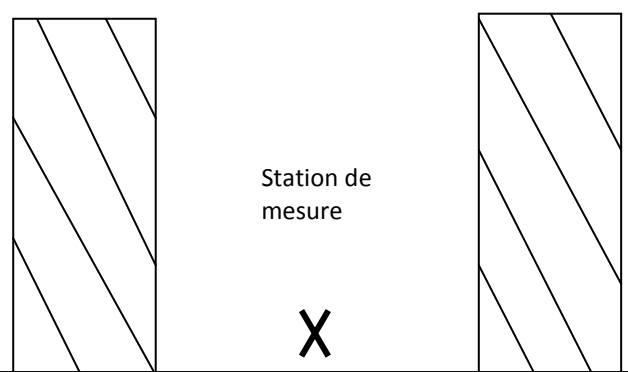
Figure, V.6: Coupe sur la station de mesure N°2,
La hauteur des constructions = 8m
La largeur de la rue = 8m
Source: L'auteur.

- Station de mesure N°3 (Rue dégagée $H > 0,25L$, sol en asphalte) :



Figure, V.7: Vue sur la station de mesure N°3.

Source: L'auteur.

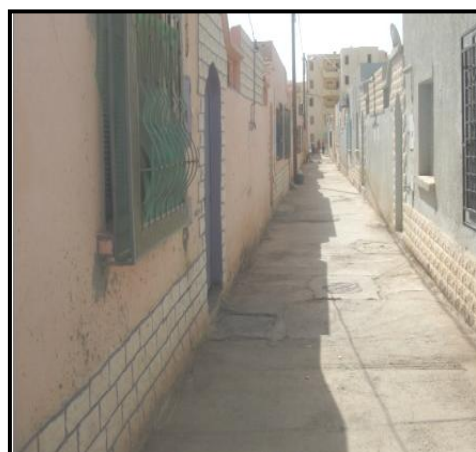


Figure, V.8: Coupe sur la station de mesure N°3,
La hauteur des constructions = 5m

La largeur de la rue = 14,5m

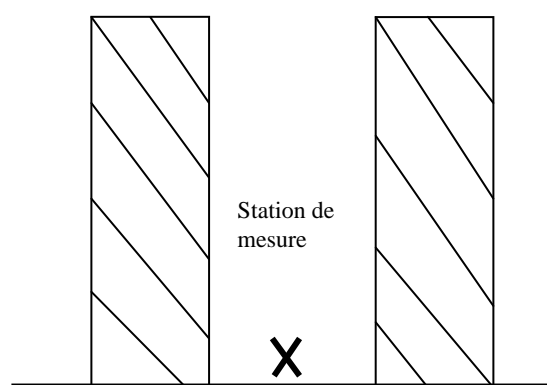
Source: L'auteur.

- Station de mesure N°4 (Rue canyon $H > 2L$, sol en béton):



Figure, V.9: Vue sur la station de mesure N°4.

Source: L'auteur.



Figure, V.10: Coupe sur la station de mesure N°4,
La hauteur des constructions = 14m

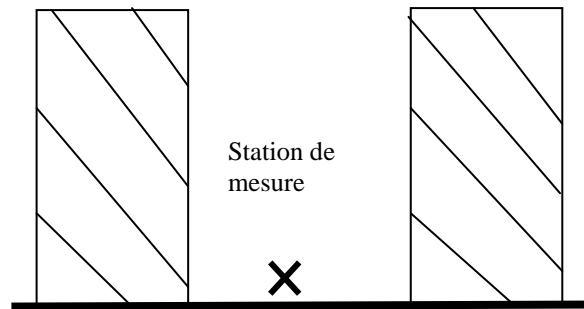
La largeur de la rue = 6,5m

Source: L'auteur.

- Station de mesure N°5 (Rue dièdre $H=L$ ou $H=0,5L$, sol en béton):



Figure, V.11: Vue sur la station de mesure N°5.
Source: L'auteur.

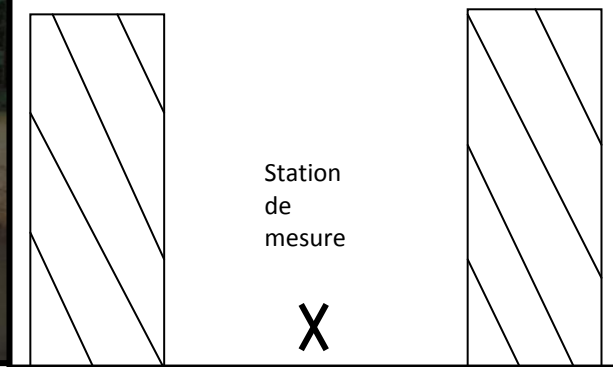


Figure, V.12: Coupe sur la station de mesure N°5,
La hauteur des constructions = 9m
La largeur de la rue = 9m
Source: L'auteur.

- Station de mesure N°6 (Rue dégagée $H>0,25L$, sol en béton):



Figure, V.13: Vue sur la station de mesure N°6.
Source: L'auteur.



Figure, V.14: Coupe sur la station de mesure N°6,
La hauteur des constructions = 6m
La largeur de la rue = 14,5m
Source: L'auteur.

Dont les caractéristiques thermique est physique des sols sont les suivants : sol pavé en béton de ciment sa conductivité thermique $k=1.80 \text{ w.m}^{-1}.\text{k}^{-1}$, son émissivité varie entre 0.71 et 0.90 (Faverjon, 2003), sa couleur est gris verdâtre, rugueux, et un sol en gravé bitumé, sa conductivité thermique $k=1.90 \text{ w.m}^{-1}.\text{k}^{-1}$, son émissivité est de l'ordre de 0.90 à 0.98. (Choimet, 2004), sa couleur est noire, rugueux. Dont les caractéristiques thermique est physique des sols sont les suivants : sol pavé en béton de ciment sa conductivité thermique $k=1.80\text{w.m}^{-1}\text{k}^{-1}$, son émissivité varie entre 0.71 et 0.90 ², sa couleur est gri verdâtre, rugueux, et un sol en gravé bitumé, sa conductivité thermique $k=1.90\text{w.m}^{-1}.\text{k}^{-1}$, son émissivité est de l'ordre de 0.90 à 0.98 ³, sa couleur est noire, rugueux.

Les détails géométriques de chaque station sont présentés ci-dessous (Figure, V.2).

-Station No. 1: Caractériser par une géométrie canyon ($H>2L$). L'orientation de la rue est: E-O. Le sol en asphalte.

-Station No. 2: Caractériser par une géométrie dièdre ($H=0,5L$ ou $H=L$). L'orientation de la rue est: E-O. Le sol en asphalte.

-Station No. 3: Caractériser par une géométrie dégagé ($H>0,25L$). L'orientation de la rue est: N–S. Le sol en asphalte.

-Station No. 4: Caractériser par une géométrie canyon ($H>2L$). L'orientation de la rue est: NO–SE. Le sol en béton.

-Station No. 5: Caractériser par une géométrie dièdre ($H=0,5L$ ou $H=L$). L'orientation de la rue est: NE- SO. Le sol en béton.


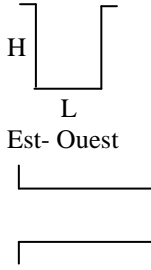


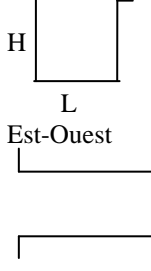


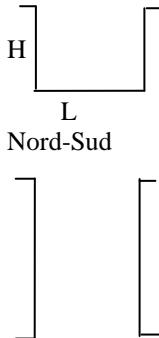

-Station No. 6: Caractériser par une géométrie dégagé ($H>0,25L$). L'orientation de la rue est: NE– SO. Le sol en béton.


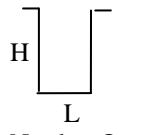
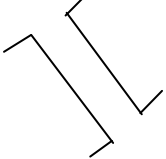


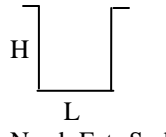
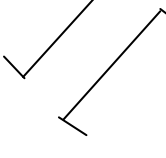
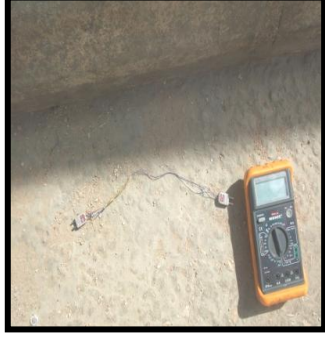

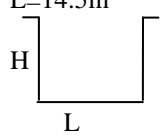
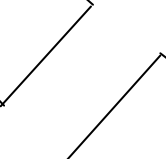

² FAVERJON.G., les nouveaux précis Thermodynamique PCSI, Bréal, Paris, 2003.

³ CHOIMET. N., les nouveaux précis Thermodynamique PC-PSI, Bréal, Paris, 2004.

I. 4) Les stations de mesures urbaines :

Les détails géométriques de chaque station sont présentés ci-dessous :

Station N°1 : Rue canyon $H > 2L$		
<p>Vue sur la station :</p> 	<p>Géométrie et orientation de la station : $H=14.80m$ $L=6.50m$</p>  <p>Est- Ouest</p>	<p>Type de sol : asphalte</p> 
Station N°2: Rue dièdre $H = L$ ou $H = 0,5L$		
<p>Vue sur la station :</p> 	<p>Géométrie et orientation de la station : $H=8m$ $L=8m$</p>  <p>Est-Ouest</p>	<p>Type de sol : asphalte</p> 
Station N°3: Rue dégagée $H > 0,25L$		
<p>Vue sur la station :</p> 	<p>Géométrie et orientation de la station : $H=5m$ $L=14.50m$</p>  <p>Nord-Sud</p>	<p>Type de sol : asphalte</p> 

Station N°4: Rue canyon $H > 2L$		
<p>Vue sur la station :</p> 	<p>Géométrie et orientation de la station :</p> <p>H=14m L=6.50m</p>  <p>Nord Ouest Sud Est</p> 	<p>Type de sol : Béton</p> 
Station N°5: Rue dièdre $H = L$ ou $H = 0,5L$		
<p>Vue sur la station :</p> 	<p>Géométrie et orientation de la station :</p> <p>H=9m L=9m</p>  <p>Nord Est -Sud Ouest</p> 	<p>Type de sol : Béton</p> 
Station N°6 : Rue dégagée $H > 0,25L$		
<p>Vue sur la station :</p> 	<p>Géométrie et orientation de la station :</p> <p>H=6m L=14.5m</p>  <p>Nord Est -Sud Ouest</p> 	<p>Type de sol : Béton</p> 

Tableau, V.1: Emplacement des stations de mesures à la ville de Biskra.
Source : L'auteur.

I. 4.1) Les paramètres climatiques mesurés :

La structure urbaine, qui comprend à la fois la morphologie, la géométrie, la forme du cadre bâti, ainsi que les matériaux utilisés pour la construction des bâtiments et des différentes infrastructures urbaines, a une large influence, comme nous allons le voir.

I. 4.1.1) La température de l'air :

La température dépend d'abord des apports solaires, mais aussi de la pression atmosphérique, de la teneur en eau, des échanges possibles avec les corps environnants (sol par exemple). Elle peut être modifiée avec le changement d'altitude, où elle décroît en moyenne de 0.65°C par 100m de dénivelé. (TABEAUD. M, 2000)

I. 4.1.2) La température de surface sol :

La nature de la surface sol minéralisé joue un rôle important dans l'intensité des modifications climatiques. Nous allons regarder plus précisément ici l'influence des surfaces minérales (asphalte et béton).

Les propriétés thermiques et radiatives des matériaux utilisés en milieu urbain ont une incidence importante sur le bilan thermique de ce dernier. La réflectivité (ou albédo) des matériaux vis-à-vis du rayonnement solaire, tout comme leur émissivité, sont les paramètres radiatifs les plus importants. Selon (Santamouris, 2005), (Yap, 1975) rapporte dans son article que les différences systématiques entre les émissivités des surfaces urbaines et rurales sont responsables d'une partie de l'îlot de chaleur. (Oke et al. 1991), toujours selon (Santamouris, 2005), estime au contraire que le rôle de l'émissivité est mineur et met l'accent sur l'importance des propriétés thermiques des matériaux.

-**TABEAUD Martine**, La climatologie, Paris: Edition Armand Colin, 2000, p 28-30.

-**SANTAMOURIS. Matheos**, *Passive cooling of buildings*. Advances of solar energy, ISES, James and James Science Publishers, London, 2005.

-**YAP. D**, Seasonal excess urban energy and the nocturnal heat island – Toronto. *Theoretical and Applied Climatology*, vol.23, n° 1-2, 1975, p. 69-80.

-**OKE, T.R. JOHNSON, G.T. STEYN, D.G. WATSON, I.D**, Simulation of surface urban heat islands under 'ideal' conditions at night – part 2: Diagnosis and causation. *Boundary Layer Meteorology*, vol.56, n°3, 1991, p. 275-294.

I. 4.1.3) La température de surface mur :

Comme le signale (Givoni, 1998), les propriétés des matériaux du bâtiment gouvernent la relation entre la température moyenne intérieure des bâtiments, la variation et la tendance de la température extérieure de l'air. Trois propriétés de l'enveloppe du bâtiment gouvernent cette relation : la conduction de la chaleur au travers de l'enveloppe, la capacité thermique et l'absorption (ou réflexion) de l'énergie solaire atteignant l'enveloppe. La conductivité thermique, la chaleur spécifique et la densité des matériaux, ainsi que l'épaisseur des éléments du bâtiment permettent de qualifier ces deux premières propriétés. La réponse au rayonnement solaire est déterminée par l'absorptivité de la surface (ou, à l'inverse, son albédo), qui dépend principalement de la couleur extérieure et des conditions d'ombre.

I. 4.1.4) La température moyenne radiante :

Matzarakis et al., en 1999, définissent la température moyenne radiante 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 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.

-GIVONI, B., *Climate considerations in building and urban design*, John Wiley & Sons, New York, 1998.

-MATZARAKIS.A, MAYER.H, IZIOMON.M.G, "Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature ", *Int J Biometeorol*, 1999, 43:76-84.

I. 4.1.5) L'humidité relative :

Le rapport entre la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air et la quantité maximale qu'il peut contenir à une température donnée s'appelle l'humidité relative, exprimée en %. On distingue aussi l'humidité absolue en g/m^3 . « *L'air est une éponge dont l'avidité croît avec la température* » (DEVUYST. P, 1979).

Une autre façon d'évaluer l'humidité de l'air est de calculer le point de rosé. Exprimé en ($^{\circ}C$), ce dernier est la température à laquelle la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air est égale à la quantité maximale de vapeur d'eau que l'air peut contenir à cette température.

I. 4.1.6) La vitesse de l'air :

La forme urbaine, avec ses immeubles et l'importante rugosité du sol, a un impact sur la vitesse du vent et sa turbulence en augmentant le frottement pour l'écoulement d'air. Ainsi, pour une même hauteur d'environ 20m au-dessus du sol, on observe une vitesse moyenne d'environ 20 à 30% moins importante en ville qu'en milieu rural. En revanche, la turbulence est accrue de l'ordre de 50 à 100% (Sacré, 1983).

La ville est également génératrice de vent. Largement explicitées dans divers ouvrages de Gisèle Escourrou, les « brises de campagne » sont dues à la forte différence de température entre le centre de l'agglomération et sa périphérie. Ce sont des vents locaux dont la formation est assez semblable à celle des brises de mer ou de terre. Les masses d'air se déplacent des parties les plus froides vers les parties les plus chaudes de l'agglomération créant ainsi un vent de faible vitesse (entre 1 et 4 m/s).

-DEVUYST. Paul, *Météorologie et prévision du temps*, Paris : Edition Eyrolles, 1979, p32.

-SACRE. Christian, *Le confort dans les espaces extérieurs : analyse microclimatique*. Nantes : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, division climatologie, 1983, 138 p.

-ESCOURROU. Gisèle, *Le climat et la ville*. Editions Nathan, 1991, 190 p.

I. 4.2) L'échelle de bilan d'énergie évalué:

Le bilan d'énergie peut être abordé selon différentes échelles (à l'échelle d'une surface et à l'échelle urbaine), dans notre cas on calculera le bilan énergétique à l'échelle de surface sol. L'existence de réchauffement de l'air résulte de la modification du bilan d'énergie du sol en milieu urbain. Une partie de l'énergie nette arrivant à la surface sert à réchauffer le sol par conduction, une autre à l'évaporation de l'eau, une autre à modifier l'atmosphère par convection. Et parce que notre site d'investigation manque de végétation, donc les processus photochimiques de l'assimilation chlorophyllienne des végétaux sont négligés dans notre cas, par conséquent le bilan d'énergie à l'échelle surfacique se définit selon l'équation suivante :

$$Rn = H + LvE + G + J \quad (1)$$

Les conditions climatiques du site considéré sont soumises au climat aride. Les situations qui nous intéressent correspondent aux trois jours chauds sous les conditions typiques d'été. Donc, Les mesures se feront pendant trois journées : 8, 9 et 10 juillet 2012 (journées incluses dans la zone de surchauffe dans la ville de Biskra (Boukhabla, Alkama, 2010).

I. 4.3) Evaluation de bilan énergétique du sol :

On suppose que l'on est en régime permanent, de ce faite, les sondes seront fixées sont aucune altération tout la période de mesure.

Pour un calcul précis de l'ensemble des échanges énergétiques sol-environnement, on fait recours aux équations suivantes :

I. 4.4) Equation du flux de chaleur sensible H:

Ce flux de chaleur du à la convection du vent, est calculé par la relation suivante :

$$H = h_c (T_a - T_{surf\ sol}) \quad (2)$$

$$h_c = 0,5 + 1,2 \sqrt{v_{vent}} \quad (3)$$

h_c est le coefficient de transfert convectif.

-BOUKHABLA. Moufida, ALKAMA. Djamel, impact de la géométrie des rues sur les fluctuations thermiques extérieures, mémoire de magistère, 2010, université Mohamed khidder Biskra.

I. 4.5) Flux de chaleur Latente L_vE :

Il est calculé par la relation de Stefan basée sur la théorie de transfert de masse appelée aussi théorie de film donnée par :

$$L_vE = [(L_v.K_E.M_W)/(R.T_a)] * [P_{vs}(T_{surf\ sol}) - P_v(T_a)] \tag{4}$$

$$P_{vs}(T) = \exp^{(25,5058-(5204,9/T))} \tag{5}$$

$$P_v(T_a) = Hr P_{vs}(T_a) \tag{6}$$

L'hypothèse de Louis consiste à poser que :

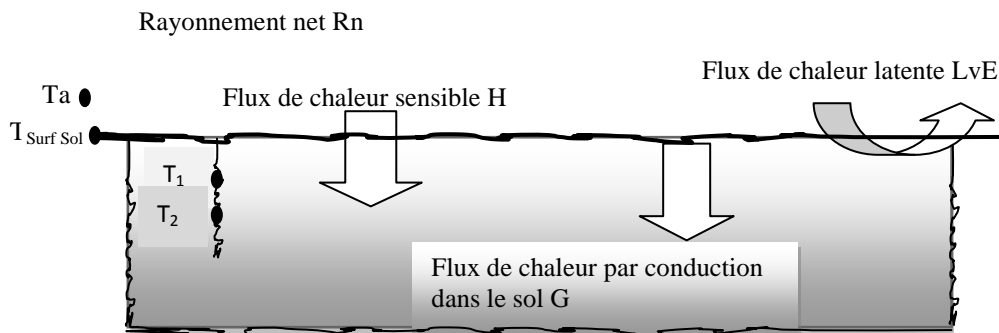
$$K_E = hc (\rho . Cp) \tag{7}$$

I. 4.6) Flux de chaleur conductif G :

Le flux de chaleur dans le sol est défini par Oke selon l'équation suivante :

$$G = -K (T_2-T_1) / (Z_2-Z_1) \tag{8}$$

Le bilan énergétique de sol régit les échanges de chaleur au sein d'un milieu. Les composantes de cette équation sont présentées schématiquement par la (voir figure, VI.3)



Figure, V.15: Transfert de flux en surface.
 Source: L'auteur.

Le signe – dans le flux de chaleur conductif indique le transfert dans la direction de la température décroissante.

Si : $T_1 > T_2$ le signe devient « - »

Si : $T_1 < T_2$ le signe devient « + ».

En remplaçant chaque quantité dans l'équation du bilan énergétique (1), on peut finalement écrire le bilan énergétique imposé sur cette même surface sol.

$$Rn = \frac{Lv \cdot K_e \cdot Mw}{R \cdot T_a} (P_{vs}(T_{surf\ sol}) - Pv(T_a)) + h_c \cdot (T_a - T_{surf\ sol}) + K \frac{(T_2 - T_1)}{(Z_1 - Z_2)} \quad (9)$$

Cette expression tient compte de la température de l'air extérieur, du rayonnement global incident, de vitesse du vent, de la température de surface sol, de la température de surface sous-sol et enfin de l'humidité relative de l'atmosphère.

I. 5) Campagne de mesure :

I. 5.1) Instrument de mesure :

Le travail de terrain effectué à l'intérieur des tissus urbains décrits ci-dessus, consiste en une campagne de mesure de plusieurs paramètres climatiques : la température de l'air et la vitesse de l'air à l'aide d'un instrument de mesure appelé « Thermo-Anémomètre à hélice LV 110 », avec sonde à hélice de diamètre 100mm et capteur de température intégré. Échelle : 0.20 à 35.0 m/s et -20.0 à +80.0°C. Sa résolution : 0.01 m/s de 0.20 à 3.00 m/s, 0.1 m/s de 3.1 à 35.0 m/s et 0.1°C. Son exactitude : $\pm 3\%$ x mesure ± 0.1 m/s de 0.20 à 3.00 m/s, $\pm 3\%$ x mesure ± 0.2 m/s au-delà et $\pm 2\%$ x mesure ± 0.20 °C. (Voir figure, V.4).



Figure, V.16 : Instrument de mesure « Thermo-Anémomètre à hélice LV 110 ».
Source : L'auteur.

La température de surface sol et mur par le biais d'un instrument appelé « Thermomètre infrarouge » échelle : $-32^{\circ}\text{C}\sim 380^{\circ}\text{C}$. (Voir figure, V.5).



Figure, V.17 : Instrument de mesure « Thermomètre infrarouge».
Source : L'auteur.

La température de sous-sol avec un instrument appelé « multimètre HAOYUE M890C⁺ » doté d'une sonde pour la mesure des températures surfacique. (Voir figure, V.6). Échelle : -20 à 1370°C avec une exactitude : $\pm 0.5\%$



Figure, V.18 : Instrument de mesure « multimètre ».
Source : L'auteur.

La température moyenne radiante et l'humidité relative par le biais d'un instrument appelé « Thermo-hygromètre HD100 », avec sonde d'humidité à capteur capacitif et capteur de température intégré. Echelle : 5.0 à 95.0% HR et -20.0 à -80.0°C. Sa résolution : 0.1% HR et 0.1°C. Son exactitude : $\pm 2\%$ x mesure $\pm 1.8\%$ HR et $\pm 2\%$ x mesure $\pm 0.3^\circ\text{C}$. (Voir figure, V.7).



Figure, V.19 : Instrument de mesure « Thermo-hygromètre HD100 ».
Source : L'auteur.

I. 5.2) Taille de l'échantillon sélectionné :

Les échantillons investis sont des parties de tissus urbains. L'échantillonnage de cette étude est un "échantillonnage non probabiliste".

Les échantillons retenus sont des échantillons typiques⁴, c'est-à-dire qu'ils sont sélectionnés selon leurs degrés de représentativité.

I. 6) Problèmes rencontrés durant la recherche :

Notons que la définition de la surface rurale de référence n'est pas aisée non plus, puisqu'elle doit être dégagée de toute influence urbaine. Le problème de l'occupation du sol se pose également, notamment lorsque le couvert est sujet à un comportement variable selon la saison. Cette notion de surface rurale reste par ailleurs imprécise, puisqu'elle peut aussi bien être assimilée à un sol nu qu'à une forêt dense.

⁴ L'échantillonnage typique c'est le prélèvement d'un échantillon de la population par la sélection des éléments exemplaires de celle-ci.

Conclusion

L'uniformité des systèmes constructifs et les matériaux de construction, en plus de la régularité des rues, reste l'une des caractéristiques pertinentes de tissu urbain choisi. Pour cette raison, ce tissu urbain devient le plus adaptable pour étudier l'impact de la géométrie et l'orientation de la rue sur l'îlot de chaleur urbain, ainsi que les types de sol (sol pavé en béton et sol en asphalte) pour déterminer la modification de bilan énergétique des sols sur l'îlot de chaleur urbain.

L'objectif de cette expérimentation est de donner une grandeur aux différents paramètres climatiques du tissu étudié. Pour comparer la température de l'air à l'intérieur de la ville avec celle donnée par la station météorologique comme température de référence, ainsi de voir l'impact de la géométrie et l'orientation de la rue sur la température de l'air dans le but de détecter les échanges thermiques entre les surfaces où se manifeste l'îlot de chaleur urbain.

L'expérience consiste en une obtention de mesures par des campagnes de mesure, investie dans des cas choisis selon un échantillonnage non probabiliste typique, ce que devient l'axe de prochain chapitre.

BIBLIOGRAPHIE

- BOUKHABLA. Moufida, ALKAMA. Djamel**, impact de la géométrie des rues sur les fluctuations thermiques extérieures, mémoire de magistère, 2010, université Mohamed khidder Biskra.
- CHOIMET. N.**, les nouveaux précis Thermodynamique PC-PSI, Bréal, Paris, 2004
- COTE. Marc**, La ville et le désert, Karthala, 2005, Paris.
- DEVUYST. Paul**, Météorologie et prévision du temps, Paris : Edition Eyrolles, 1979, p32.
- ESCOURROU. Gisèle**, *Le climat et la ville*. Editions Nathan, 1991, 190 p.
- FAVERJON. G.**, les nouveaux précis Thermodynamique PCSI, Bréal, Paris, 2003
- GIVONI, B.**, *Climate considerations in building and urban design*, John Wiley & Sons, New York, 1998.
- MATZARAKIS.A, MAYER.H, IZIOMON.M.G**, "Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature ", Int J Biometeorol, 1999, 43:76-84.
- Office National de la Météorologie, Biskra
- OKE, T.R. JOHNSON, G.T. STEYN, D.G. WATSON, I.D**, Simulation of surface urban heat islands under 'ideal' conditions at night – part 2: Diagnosis and causation. *Boundary Layer Meteorology*, vol.56, n°3, 1991, p. 275-294.
- SACRE. Christian**, *Le confort dans les espaces extérieurs : analyse microclimatique*. Nantes : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, division climatologie, 1983, 138 p.
- SANTAMOURIS. Matheos**, *Passive cooling of buildings*. Advances of solar energy, ISES, James and James Science Publishers, London, 2005.
- TABEAUD Martine**, La climatologie, Paris: Edition Armand Colin, 2000, p 28-30.
- YAP. D**, Seasonal excess urban energy and the nocturnal heat island – Toronto. *Theoretical and Applied Climatology*, vol.23, n° 1-2, 1975, p. 69-80.

.....

CHAPITRE VI: INVESTIGATION

.....

Introduction :

La présente recherche ayant trait à l'impact de la géométrie et l'orientation de la rue sur les paramètres climatiques, ainsi que, l'ampleur et le comportement du bilan énergétique des sols selon la nature de revêtement du sol (béton et asphalte) sur les paramètres climatiques ne peuvent être consolidée qu'à travers un travail de terrain en choisissant comme site d'investigation la ville de Biskra qui présente les caractéristiques physiques et géométriques recherchées.

Dans un premier lieu, on va étudier l'impact de la géométrie et l'orientation de la rue sur les paramètres climatiques dans la ville de Biskra et l'ampleur du bilan énergétique du sol selon le revêtement du sol sur les paramètres climatiques, par la mesure de la température de l'air et la vitesse de l'air à l'aide d'un instrument de mesure appelé « Thermo-Anémomètre à hélice LV 110 ». La température de surface sol et mur par le biais d'un instrument appelé « Thermomètre infrarouge ». La température de sous-sol avec un instrument appelé « multimètre HAOYUE M890C⁺ ». La température moyenne radiante et l'humidité relative par le biais d'un instrument appelé « Thermo-hygromètre HD100 ». Dans des stations de mesures appartenant à un environnement climatique similaire. Pour cela, les mesures des paramètres climatiques seront mesurées sur une campagne de mesure qui s'étale sur trois journées : 8, 9 et 10 juillet 2012. Dans six stations de mesures ont fait l'objet de cette campagne. Puis, on calculera le bilan énergétique à l'échelle de surface sol. L'existence de réchauffement de l'air résulte de la modification du bilan d'énergie du sol en milieu urbain selon la géométrie et l'orientation de la rue. « *L'urbanisation modifie le bilan énergétique normal, c'est-à-dire que la quantité d'énergie solaire absorbée par le substratum¹ et son utilisation est différente* » (Escourrou, 1991).

Ce qu'on va explorer dans ce chapitre.

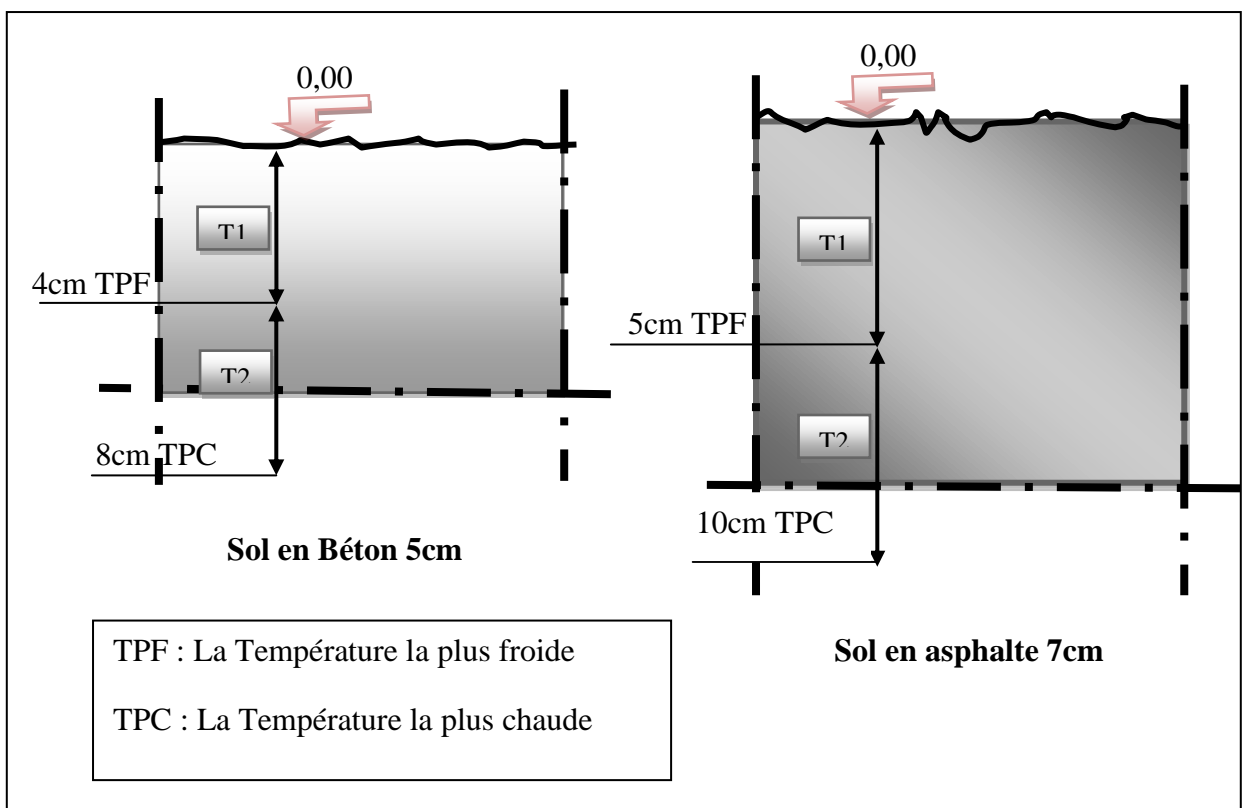
¹ Le substratum représente la surface terrestre : sols, végétation, surface en eau, etc.
-ESCOURROU, Gisèle. *Le climat et la ville*. Editions Nathan, 1991, 190 p.

I. Campagne de mesure et conditions climatiques :

L'étude de la géométrie et l'orientation de la rue sur le comportement du bilan énergétique de sol et sur le réchauffement de l'air commence par creusé le sol de béton et d'asphalte et en mesurant la température du sol et de sous-sol.

Dans les stations de mesure appartenant à un environnement climatique semblable. Pour déterminer le niveau de l'emplacement d'un instrument de mesure, une campagne de mesure pilote a été établie pour déterminer à quel niveau commence la fluctuation des températures selon le niveau de sol en asphalte avec l'épaisseur de 7cm, et en béton avec l'épaisseur de 5cm.

Niveau de 5cm pour mesurer le T1 comme température la plus froide et de 10cm pour mesurer le T2 comme température la plus chaude pour le sol d'asphalte. Nivelez alors de 4cm pour mesurer le T1 comme température la plus froide et de 8cm pour mesurer le T2 comme température la plus chaude pour le sol de béton.



Figure, VI.1: Coupes de sous sol en béton et en asphalte.

Source: L'auteur.

Les paramètres climatiques et les températures de sous-sol étaient mesurés chaque deux heures pendant les trois jours. Le ciel était clair ; la durée d'ensoleillement a été estimée à 7h20 avec une évaporation moyenne de 14.5mm (office national de météorologie). La lecture de la température est faite par les sondes et l'appareil de mesure montre le résultat. Pendant l'opération de mesure le dispositif n'est pas laissé au soleil, protégé par la nuance d'un objet fixe, lorsque l'opération est finie le dispositif de mesure sera enlevé du site de mesure.

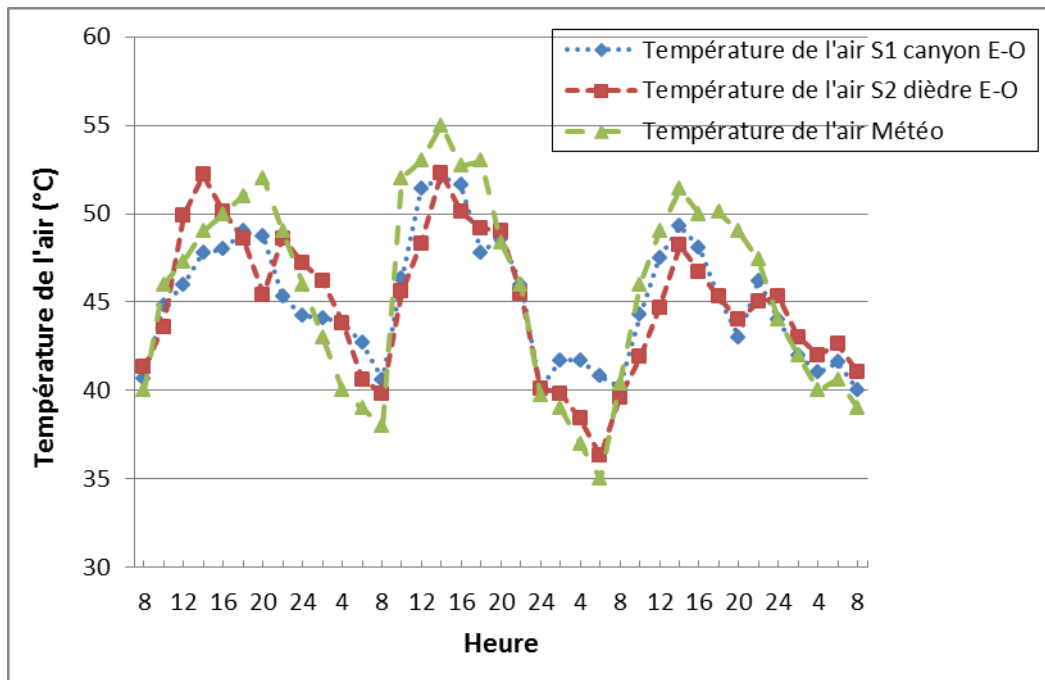
I. Résultats obtenus et interprétation :

Afin de vérifier les hypothèses posées, et clarifier le rôle de l'orientation et la géométrie des rues ainsi que la nature du revêtement des sols sur les paramètres climatiques, on a interprété des résultats spécifiques à notre cas d'étude qui ont été découverts.

- ❖ L'impact de la géométrie et l'orientation de la rue sur la température de l'air :

I. 1. La température de l'air : L'orientation de la rue E-O

Rue canyon et dièdre



Figure, VI.2: Les températures de l'air dans les stations N°1 et N°2 et la température météorologique.

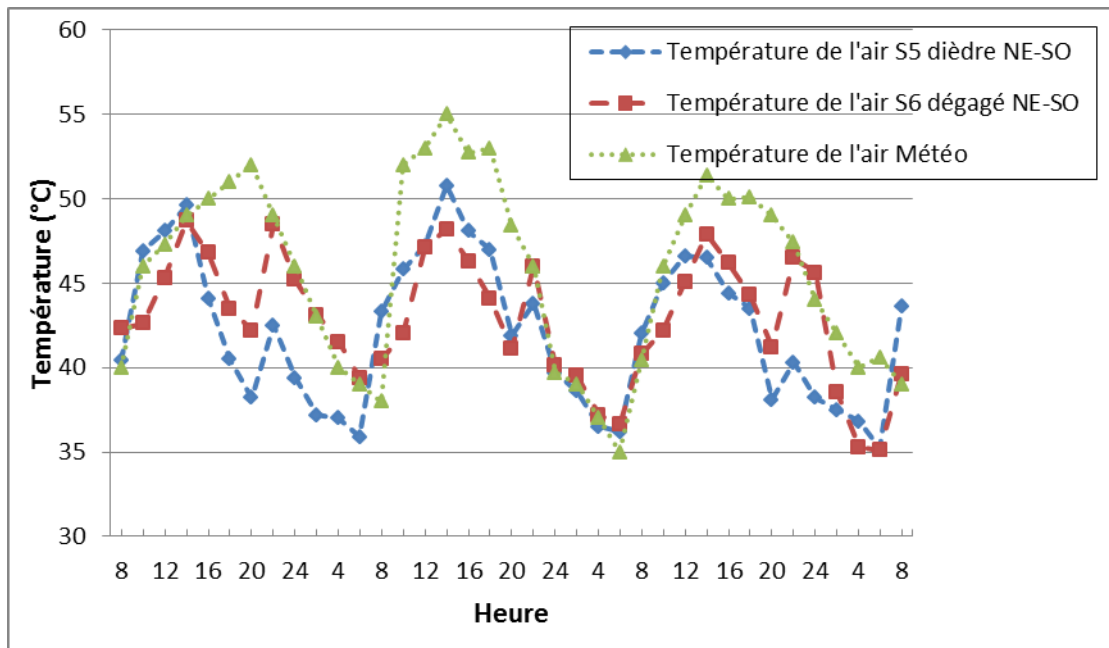
Source: L'auteur.

Il peut voir que pour l'orientation E-O, la station N°1 (rue canyon) et la station N°2 (rue dièdre) les valeurs mesurées sont plus hautes que ceux enregistrés par la station météorologique située dans un site ouvert dans la banlieue de la ville de 8h00 à 15h30 et de 19h30 à 6h00. Pour la station N°2 (rue dièdre), l'augmentation de températures apparaît de 10h00 à 16h00 et de 22h30 à 8h00. Pour la station N°1 (rue canyon) l'augmentation de température observée de 8h00 à 16h00. Nous notons du figure 1 que les valeurs des températures météorologique sont inférieurs à toutes les valeurs enregistrées aux stations (S1 et S2) de 23h00 à 4h00.

La ville peut être encore plus fraîche que les banlieues, comme indiqué le graphe. Au début de la nuit et de 20h00 à 22h00 l'îlot de chaleur urbain devient plus prononcé jusqu'à 6h00 du matin.

I. 2. La température de l'air : L'orientation de la rue NE-SO

Rue dièdre et dégagée



Figure, VI.3: Les températures de l'air dans les stations N°5 et N°6 et la température météorologique.

Source: L'auteur.

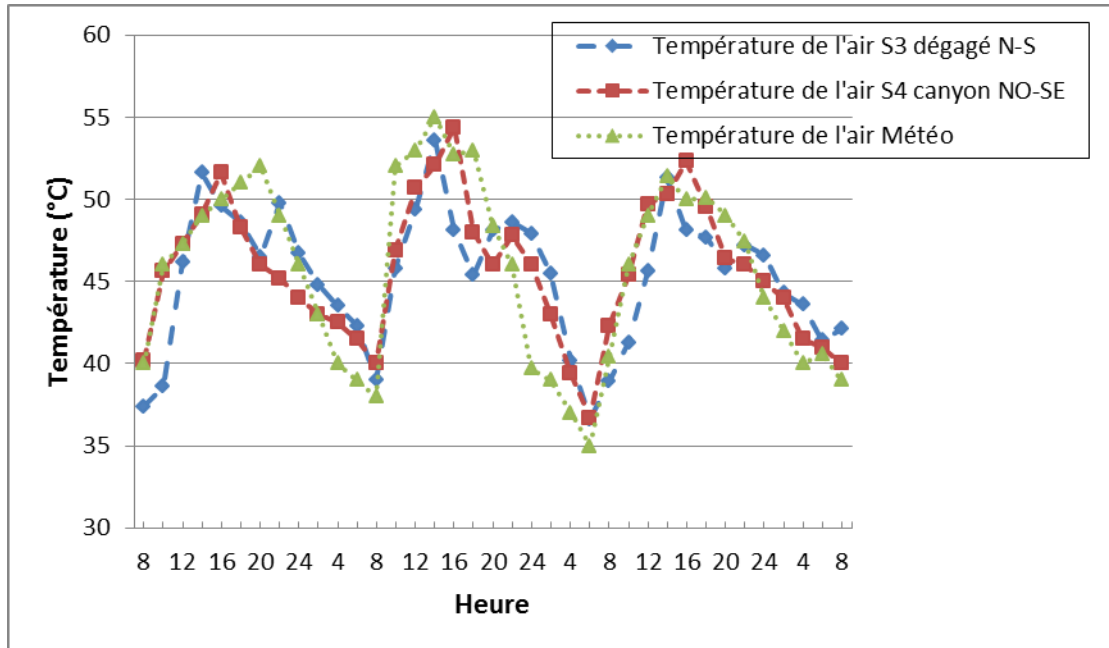
Pour la station N°5, l'augmentation de la température de l'air est observée de 8h00 à 15h00. Le fait que les températures ont enregistré à la station N°6 est devenu plus haut que la température météorologique seulement après le minuit, est due à l'orientation de la rue (NE-SO) et aux caractéristiques extérieures environnantes.

Il y a eu des relations entre les caractéristiques du microclimat, la forme physique urbaine et les divers aspects de l'environnement, du vent et de la consommation d'énergie solaires (Denis et Gerard 1976). La protection de la station N°5 des vents dominants contribue à l'augmentation de la température de l'air. Pour la station N°6 située dans une rue dégagé orienté (NE-SO), avec la basse vitesse du vent, la température de l'air peut augmenter jusqu'à 6°C à 22h00 comparé à la station N°5 située dans une rue dièdre orientée (NE-SO), parce que la station N°6 est abritée du vent dominant du Sud-Est. Ceci illustre clairement l'effet de la géométrie de la rue sur l'intensité de l'îlot de chaleur urbain.

-Denis, J., and D. Gerard. 1976. Hygrothermique du Ba'timent: Chauffage Ventilation et Climatisation. SISN.

I. 3. La température de l'air : L'orientation de la rue N-S & NO-SE

Rue dégagée et canyon



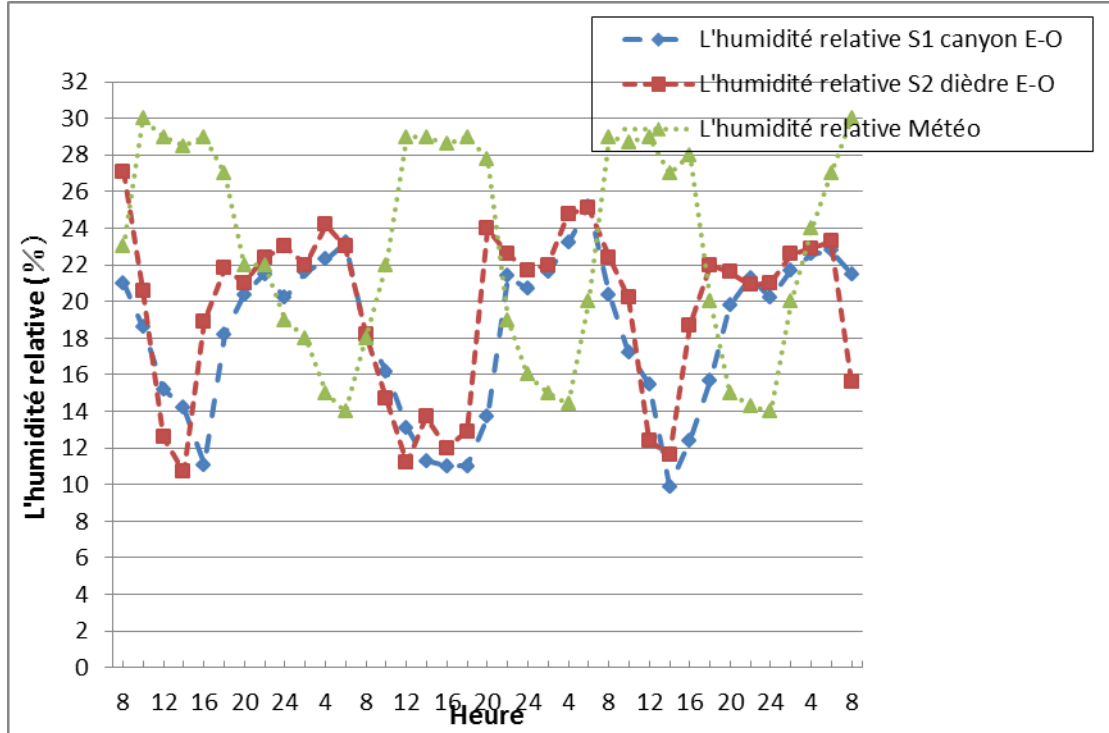
Figure, VI.4: Les températures de l'air dans les stations N°3 et N°4 et la température météorologique.

Source: L'auteur.

Au cours de la nuit, la chaleur absorbée pendant le jour par les matériaux de construction est restituée à l'air environnant et mènent à l'augmentation de sa température. La température de l'air enregistrée dans la station N°3 (rue dégagée orientée N-S) est plus haute que la température de l'air à la station N°4 (rue canyon orientée NO-SE) (Voir figure VI.4). Ceci peut être expliqué par le fait que la station N°3 est complètement protégée contre les vents dominants d'été, tandis que la station N°4 est influencée par le vent du Sud-Est dans la ville de Biskra. Les bâtiments sont construits du béton. Il est clairement remarquer que la température de l'air mesuré dans les deux stations est plus haute que ceux enregistrés à la station météorologique au cours de la nuit et avant l'après-midi.

I. 4. L'humidité relative : L'orientation de la rue E-O

Rue canyon et dièdre



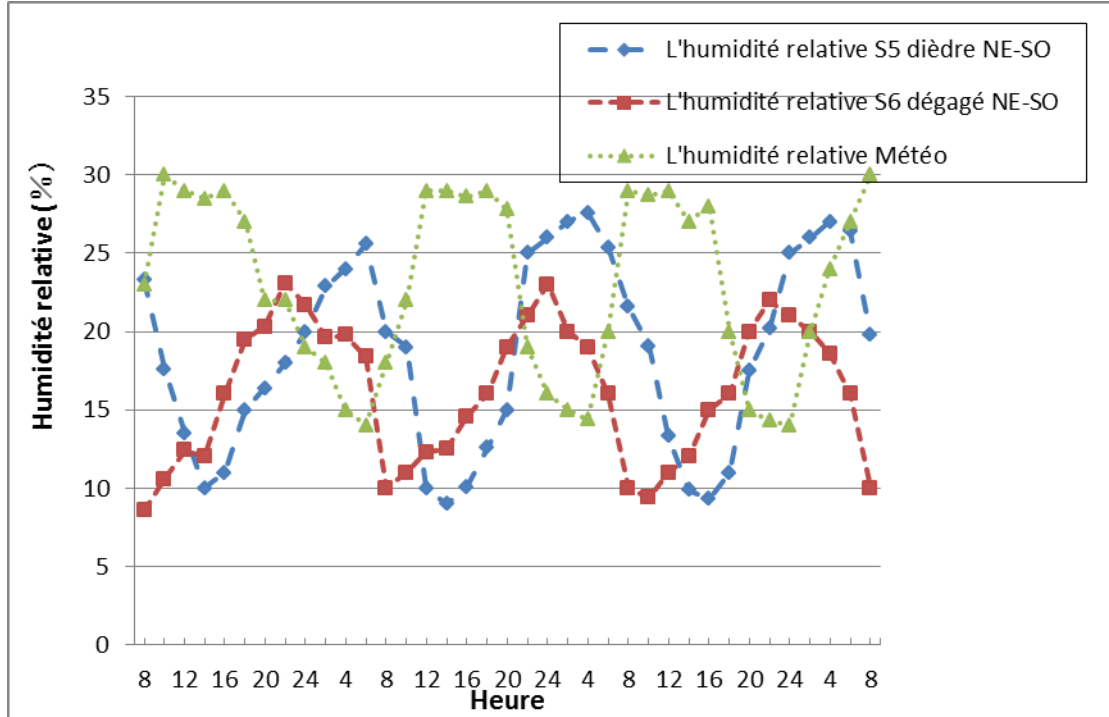
Figure, VI.5: L'humidité relative dans les stations N°1 et N°2 et l'humidité relative de la station météorologique.

Source: L'auteur.

La rue dièdre présente des valeurs plus élevées d'humidité relative que la rue canyon. Il y a une différence de 22% entre la rue de canyon et la rue dièdre à 02h00. L'humidité relative dans la station N°1 situé dans une rue canyon orienté E-O entre une valeur minimale de 11% à 16h00 et une valeur maximale de 25% à 06h00, soit une amplitude de 14%. Alors que l'humidité relative dans la station N°2 situé dans une rue dièdre orientée E-O atteint son maximum de 24% à 02h00 et son minimum de 12% à 14h00, soit une amplitude de 12%.

I. 5. L'humidité relative : L'orientation de la rue NE-SO

Rue dièdre et dégagée



Figure, VI.6: L'humidité relative dans les stations N°5 et N°6 et l'humidité relative dans la station météorologique.

Source: L'auteur.

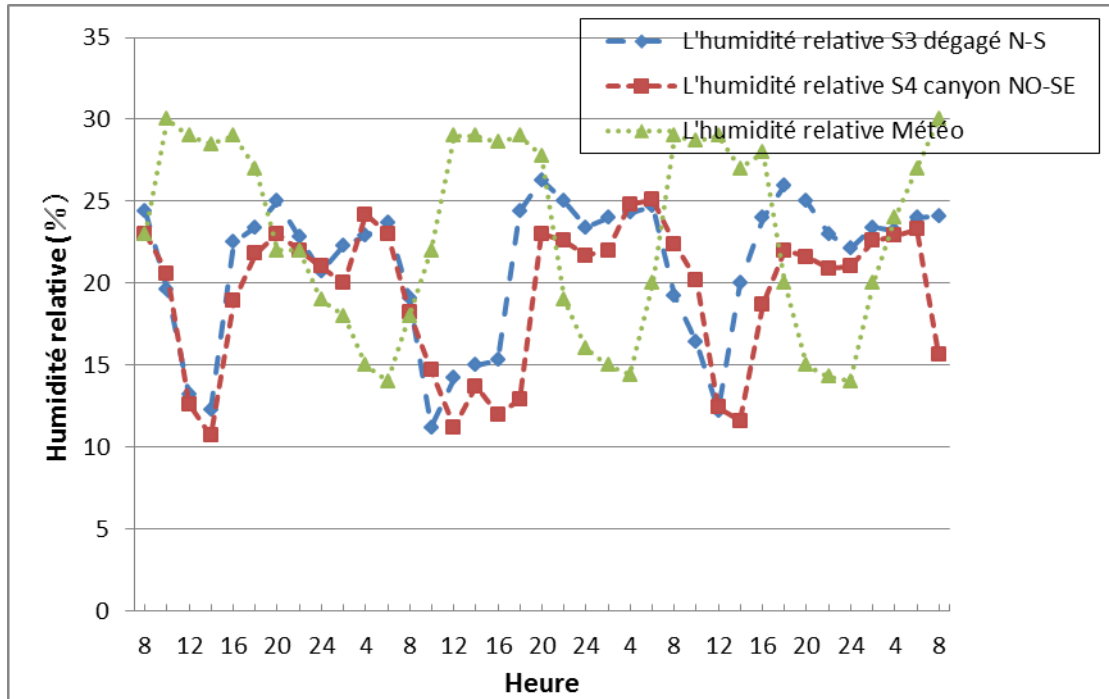
L'ampleur de l'humidité relative dans la station météorologique est plus élevée que l'humidité relative dans la rue dièdre et la rue dégagée de 08h00 à 18h00.

L'humidité relative dans la rue dièdre station N°5 orienté NE-SO, est en général moins importante que celle mesurée dans la rue dégagée station N°6 orienté NE-SO (figure, VI.6) et ce pendant la période de 20h00 à 06h00. Ceci, est dû au fait que :

- Absence totale de végétation et de toute source de rafraîchissement ou d'ombrage.
- L'importante durée d'insolation liée au faible albédo des matériaux couvrant le sol et les façades imperméables.

I. 6. L'humidité relative : L'orientation de la rue N-S & NO-SE

Rue dégagée et canyon



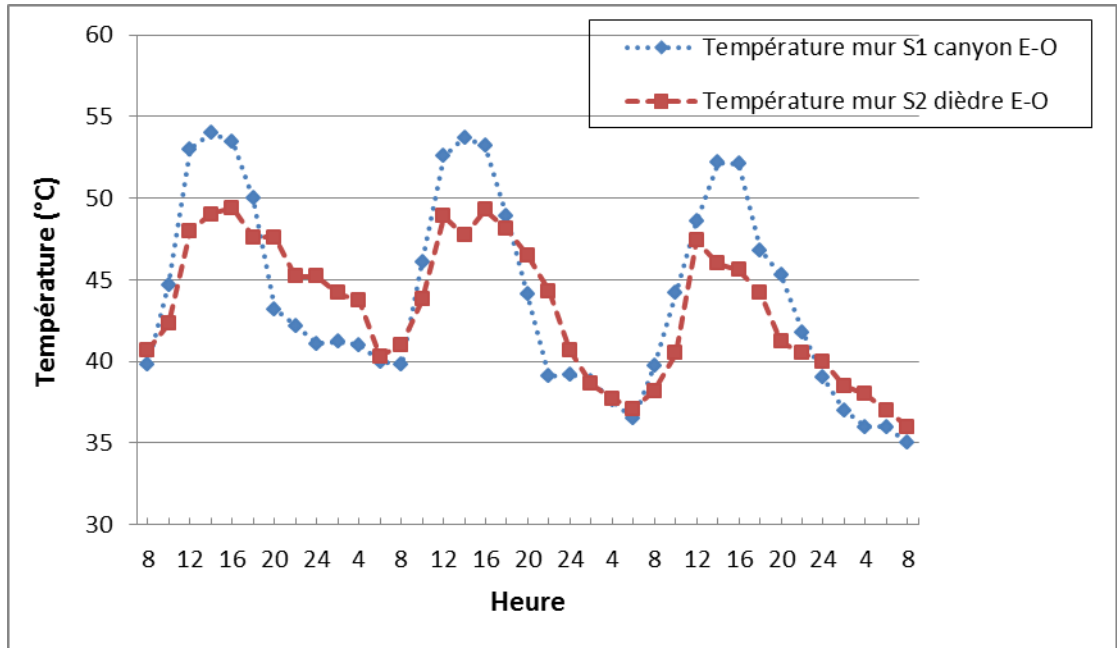
Figure, VI.7: L'humidité relative dans les stations N°3 et N°4 et l'humidité relative dans la station météorologique.

Source: L'auteur.

On constate une nette augmentation de l'humidité relative enregistré au niveau de la station météorologique pendant la journée de 08h00 du matin à 20h00 par rapport à l'humidité relative dans les stations N°3 et N°4 pour la même heure, cette augmentation liée à l'apport des surfaces perméables au niveau de banlieue. Et une diminution de l'humidité relative météorologique de 20h00 à 06h00 du matin par rapport à l'humidité relative dans les stations N°3 et N°4. L'humidité relative dans la station N°4 rue canyon orientée NO-SE est plus élevée que celle enregistrée dans la station N°3 située dans une rue dégagée orientée N-S de 02h00 du matin à 08h00 du matin.

I. 7. La température de mur : L'orientation de la rue E-O

Rue canyon et dièdre



Figure, VI.8: La température surfacique de mur dans les stations N°1 et N°2.

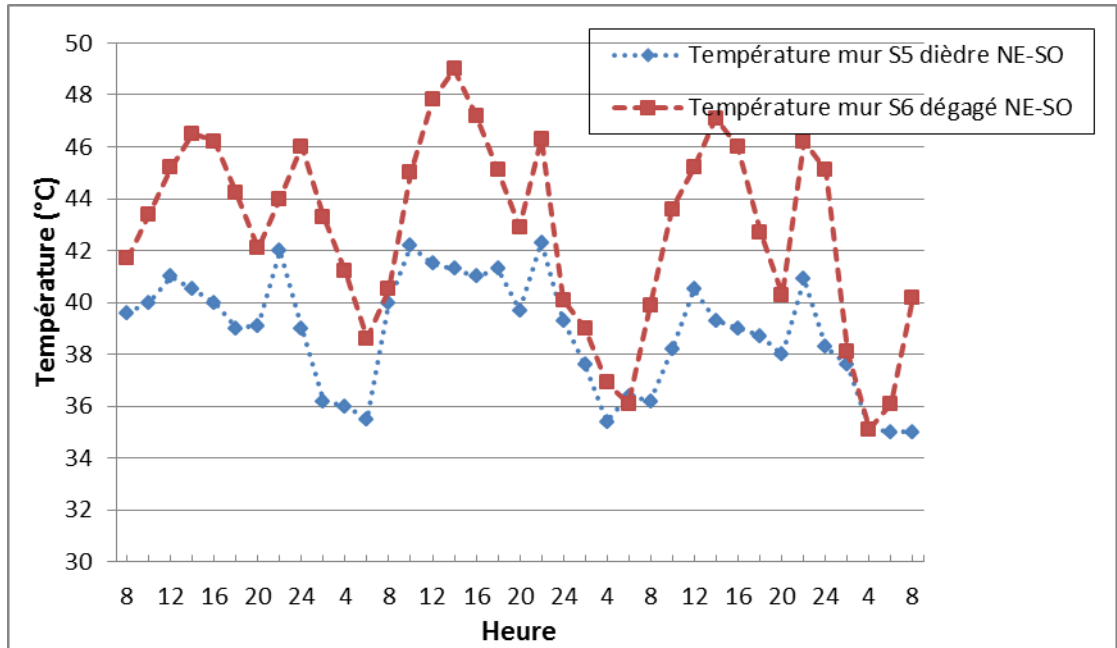
Source: L'auteur.

Nous remarquons que la station N°2 qui représente l'espace le plus ouvert, qui est l'espace dièdre enregistre des températures surfacique de mur légèrement plus importantes que la station N°1 de 20h00 à 06h00 du matin.

Au cours de la nuit, la chaleur absorbée par les matériaux de construction restitué à l'air environnant et mènent à l'augmentation de sa température. La température de mur dans la station N°1 rue canyon orientée E-O est plus haute que la température surfacique de mur dans la station N°2 située dans une rue dièdre orientée E-O de 10h00 jusqu'à 16h00, l'écart de température entre les deux stations arrive jusqu'à 6,3°C (Voir figure VI.8).

I. 8. La température de mur : L'orientation de la rue NE-SO

Rue dièdre et dégagée



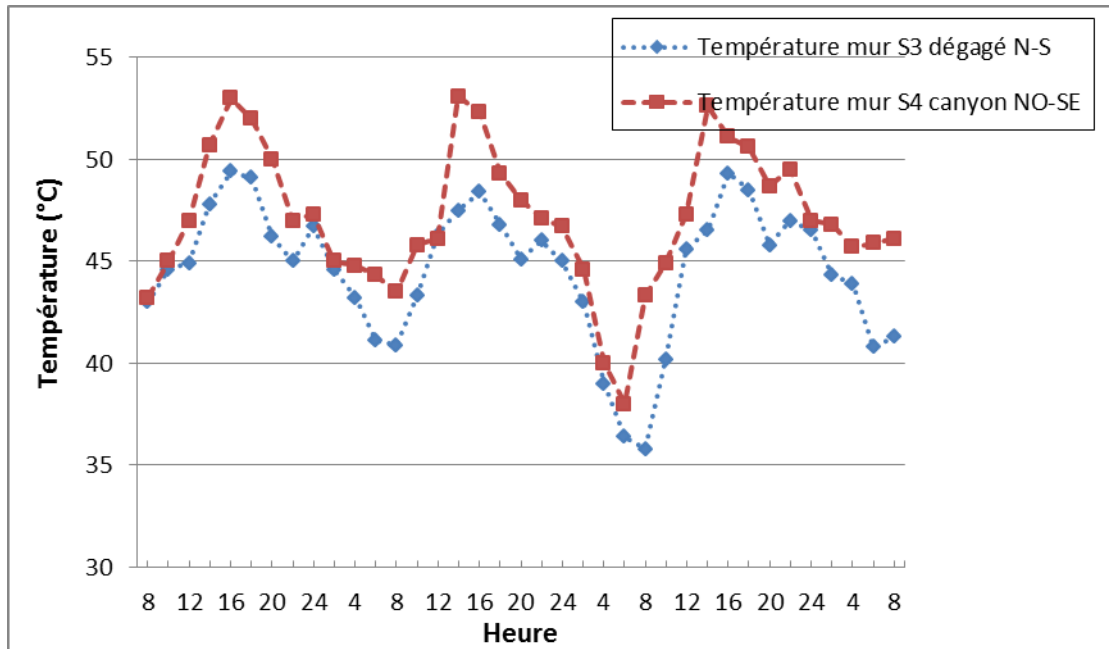
Figure, VI.9: La température surfacique de mur dans les stations N°5 et N°6.

Source: L'auteur.

Nous pourrions à première vue dire que la température surfacique de mur dans la station N°5 et celle mesurée dans la station N°6 présente des différences perceptibles. Il est clairement apparent de la figure VI.9 que la température de mur mesurée dans la station N°5 située dans une rue dièdre orienté NE-SO est plus haute que la température de mur enregistrée dans la station N°6 située dans une rue dégagé orienté NE-SO. Après le lever du jour, vers les coups du 06h00 du matin, le mur de la station N°6 a tendance à se réchauffer plus rapidement, et de ce fait l'écart de température est plus prononcé en milieu de journée, arrive jusqu'à 5,5°C à 14h00, et à ce moment-là, le mur de la station N°5 rue dièdre peut être plus fraîche que le mur de la station N°6 rue dégagé dans la même orientation NE-SO, comme indiqué le graphe.

I. 9. La température de mur : L'orientation de la rue N-S & NO-SE

Rue dégagé et canyon

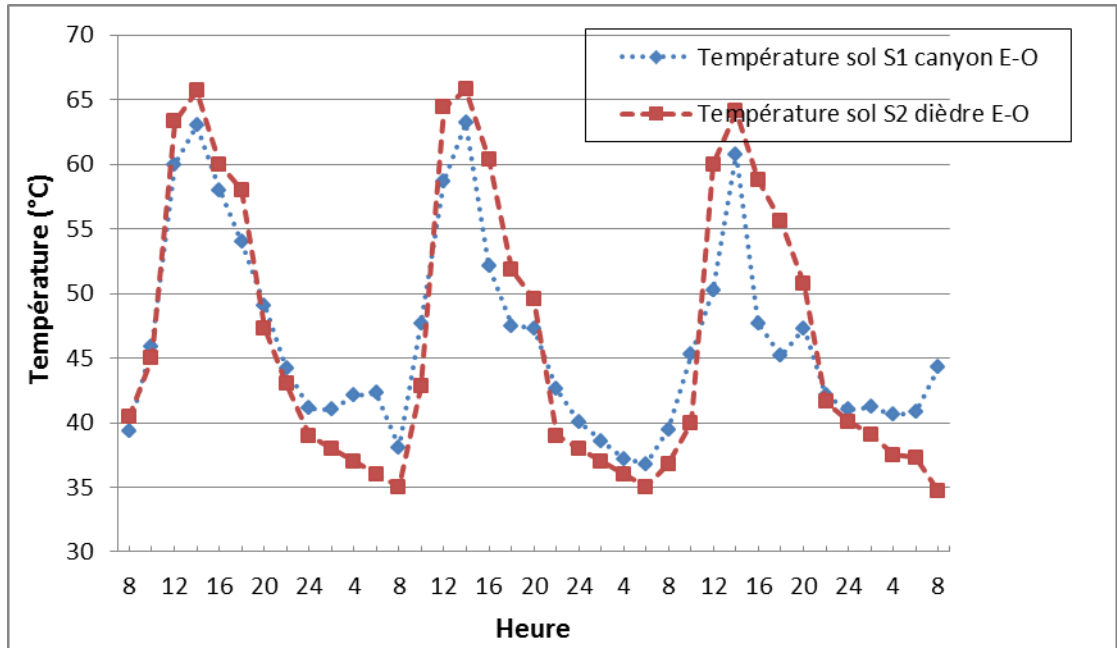


Figure, VI.10: La température surfacique de mur dans les stations N°3 et N°4.
Source: L'auteur.

La température de mur dans la station N°3 située dans une rue dégagé orienté N-S suit la même allure que la température de mur mesurée dans la station N°4 rue canyon orientée NO-SE. A partir de 14h00, les écarts entre les deux températures demeurent jusqu'à 18h00, en enregistrant une différence de 5,8°C à 14h00, la station N°3 située dans une rue dégagé orientée N-S présente des températures surfacique de mur plus basses que les températures surfacique de mur pour la station N°4 située dans une rue canyon orienté NE-SO, ce qui peut être expliqué par le fait que le mur absorbant de la station N°3 commence à se refroidir d'une manière plus prononcée que le mur absorbant de la station N°4, et après le coucher du soleil en perdant d'avantage sa chaleur importante stockée pendant le jour.

I. 10. La température de sol en asphalté : L'orientation de la rue E-O

Rue canyon et dièdre

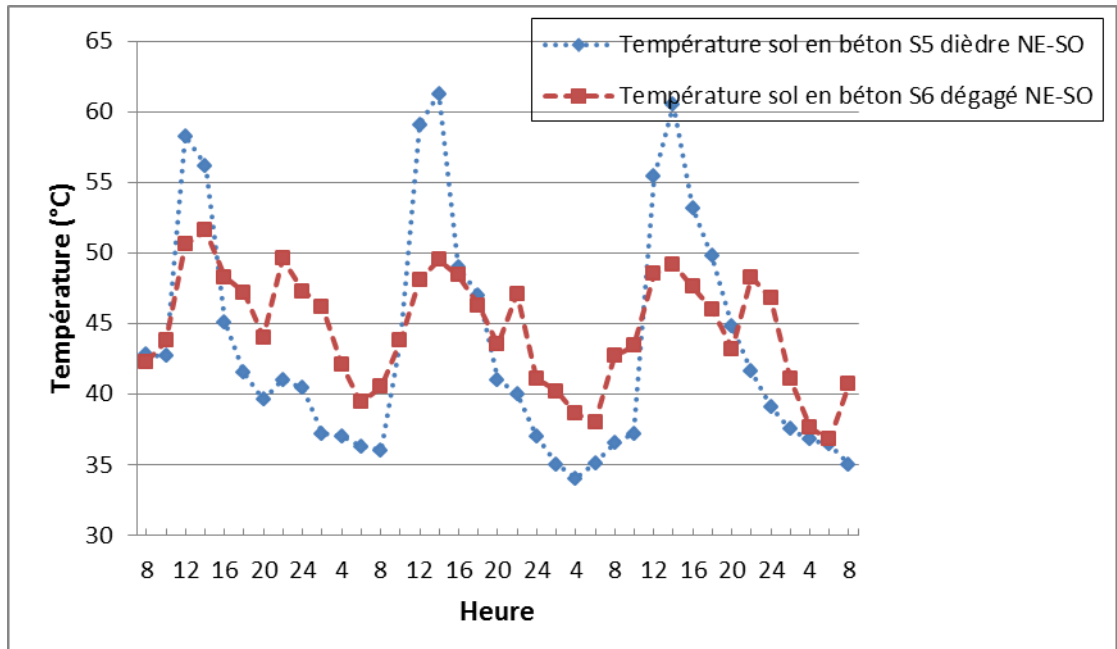


Figure, VI.11: La température surfacique de sol en asphalté dans les stations N°1 et N°2.
Source: L'auteur.

Parmi les causes principales de l'augmentation de la température de l'air en milieu urbain, est la chaussée chaude. Les stations N°1 et N°2 situées respectivement dans une rue canyon et dans une rue dièdre sont pavés avec l'asphalté noir matériau sombre qui absorbe 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'elle et contribuant fortement à la formation du phénomène d'îlot de chaleur urbain. Concernant l'orientation de la rue E-O, la température de sol dans la rue dièdre est plus chaude que la température de sol dans la rue canyon de 12h00 à 20h00. Tandis que la température de sol dans la rue dièdre est plus fraîche que la température de sol dans la rue canyon de 22h00 à 10h00.

I. 11. La température de sol en béton: L'orientation de la rue NE-SO

Rue dièdre et dégagée



Figure, VI.12: La température de sol en béton dans les stations N°5 et N°6.

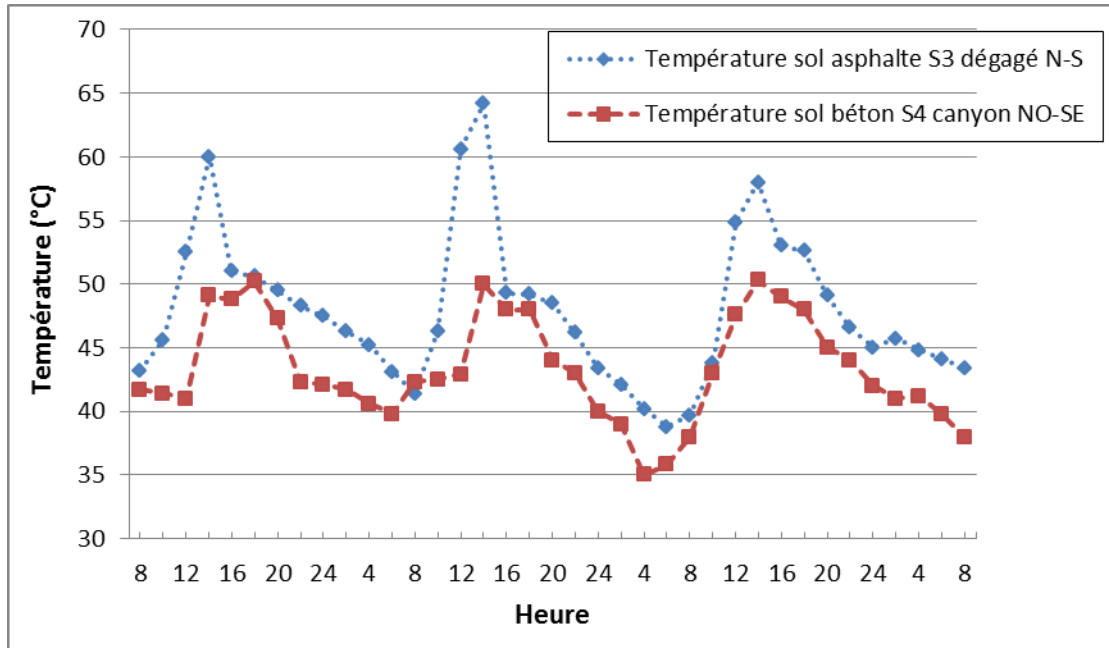
Source: L'auteur.

Le matériau de sol en béton joue un rôle très important dans la formulation de l'environnement thermique à l'intérieur de la rue suivant sa géométrie.

La station N°5 qui représente un espace dièdre, c'est-à-dire partiellement dégagé, orienté NE-SO, exprime nettement l'effet de la nature du matériau sur la température de surface, on voit d'après la Figure VI.11 que la température de surface sol atteint 62°C à 14h00. On enregistre une valeur de 51,6°C pour la station N°6 située dans une rue dégagée orientée NE-SO à 22h00 contre uniquement 40°C pour la station N°5 située dans une rue dièdre orientée NE-SO pendant la même heure de la journée, c'est-à-dire une différence de 11,6°C.

I. 12. La température de sol : L'orientation de la rue N-S & NO-SE

Rue dégagée et canyon



Figure, VI.13: La température de sol en asphalté dans la station N°3, et dans le sol en béton dans la station N°4.

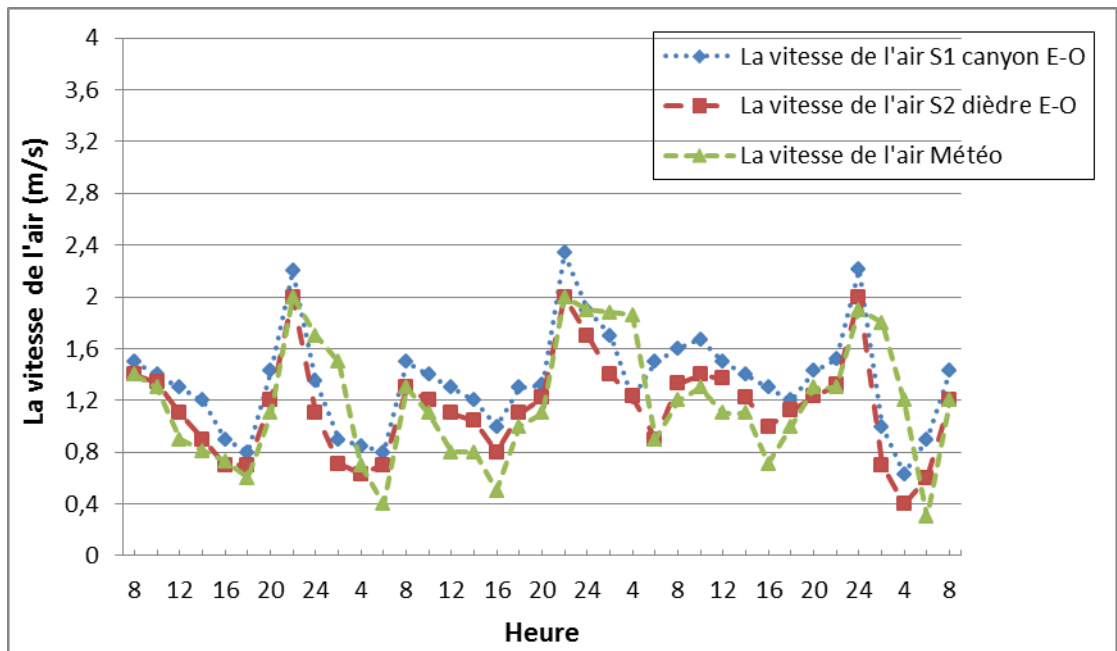
Source: L'auteur.

La température de surface sol en asphalté station N°3 rue dégagée orientée N-S semble être plus haute que la température de surface sol en béton station N°4 rue canyon orientée NO-SE. Le pic de température est enregistré à 14h00 égale à 64,3°C.

Le béton est un matériau chaud, il est caractérisé par un haut facteur de réflectivité aux radiations solaires et une haute émissivité. Il réduit la quantité des radiations solaires absorbées par le sol et garde ainsi leur surface plus fraîches par rapport à l'asphalté. Entre les alentours de 10h00 du matin et 12h00, les températures de la surface sol en asphalté dans la station N°3 sont nettement plus élevées que celles de la station N°4 avec un écart qui va de 5,3°C à 14°C. Et sont nettement plus basses pour le reste de la journée, c'est-à-dire, entre 16h00 et 04h00 du matin, avec une différence qui arrive jusqu'à 4°C à 22h00.

I. 13. La vitesse de l'air : L'orientation de la rue E-O

Rue canyon et dièdre



Figure, VI.14: La vitesse de l'air dans les stations N°1 et N°2 et la vitesse de l'air dans la station météorologique.

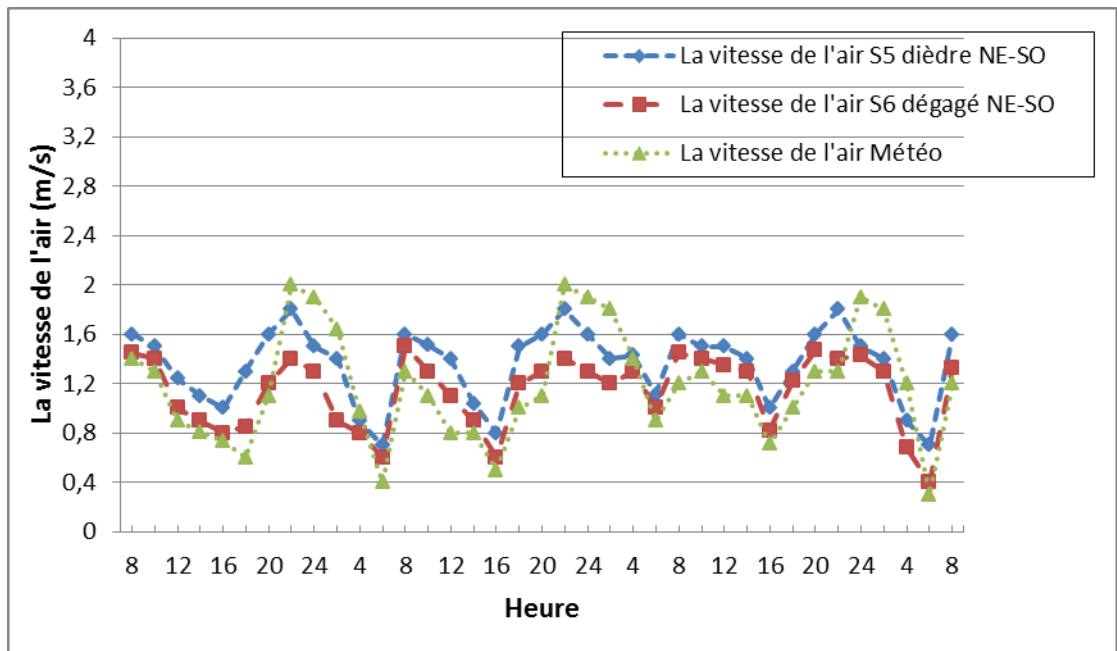
Source: L'auteur.

La figure VI.13 présente une variation de la vitesse de l'air dans les stations N°1 espace canyon orienté E-O et la station N°2 espace dièdre orienté E-O. Nous enregistrons à titre indicatif une valeur maximale de 2,3m/s à 23h00 dans la station N°1, contre une valeur maximale de 2,1m/s pour la même heure dans la station N°2, donc une différence de 0,2m/s.

La vitesse de l'air au niveau de la station météorologique est très élevée par rapport à la vitesse de l'air enregistré dans les deux stations N°1 espace canyon orienté E-O et la station N°2 espace dièdre orienté E-O de minuit à 03h00. Ceci peut être expliqué par l'existence d'un îlot de chaleur urbain entre le centre urbain présenté par le site de mesure et la banlieue reflétée par la station météo située à la périphérie de la ville. Ce phénomène apparaît pendant la période de la nuit.

I. 14. La vitesse de l'air : L'orientation de la rue NE-SO

Rue dièdre et dégagé



Figure, VI.15 : La vitesse de l'air dans les stations N°5 et N°6 et la vitesse de l'air dans la station météorologique.

Source: L'auteur.

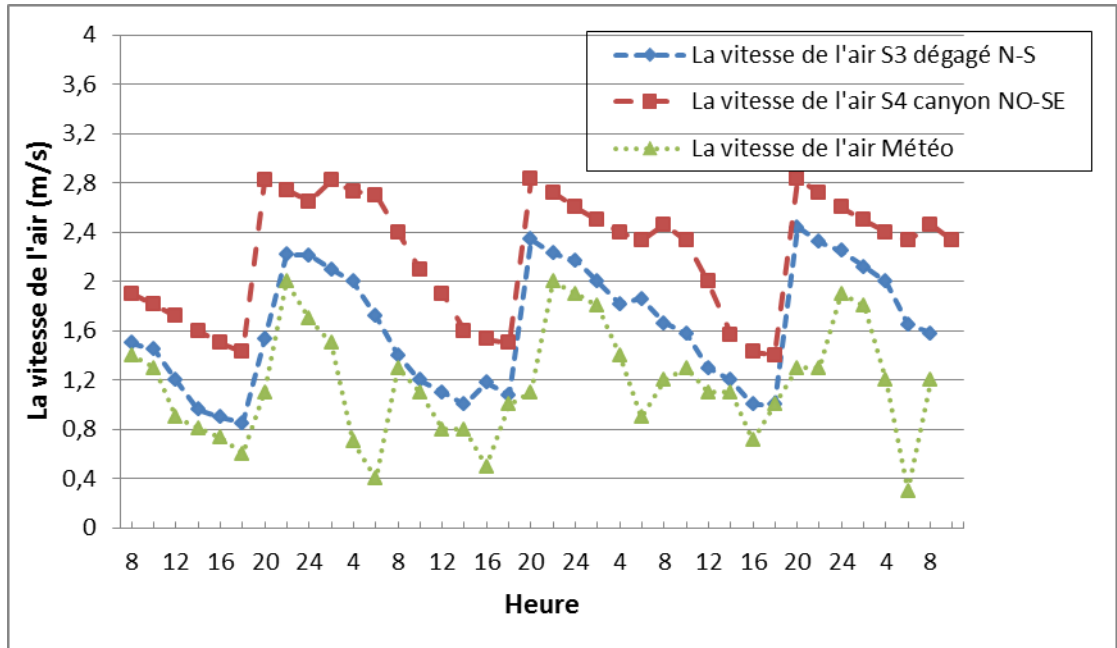
La figure, VI.15 montre que le gradient de la vitesse de l'air entre le début et la fin de la rue dièdre est plus important que celui de la rue dégagé avec une même orientation qui est NE-SO, la différence entre les deux vitesses égal à 0,3 m/s à 22h00. ceci, nous confirme ce que Yochiba.A, Tommaga.K et Watani.S ont pu prouver à travers une étude établie sur le bilan énergétique à l'intérieur d'un canyon urbain où ils ont abouti au fait qu'une rue large contribue à la diminution de la vitesse de l'air. (Yochiba, 1990).

La vitesse de l'air enregistrée dans la station météorologique est plus basse que la vitesse de l'air à la station N°5 et la station N°6 de 08h00 à 22h00 (Voir figure VI.15). Tandis que la station météorologique enregistre une valeur de la vitesse de l'air plus importante que les stations N°5 et N°6 de 22h00 à 02h00.

-Yoshida A, Tominaga K, Watani S. *Field measurements on energy balance of an urban canyon in the summer season.* Energy and Buildings 1990-91;15-16:417-23.

I. 15. La vitesse de l'air : L'orientation de la rue N-S & NO-SE

Rue dégagée et canyon



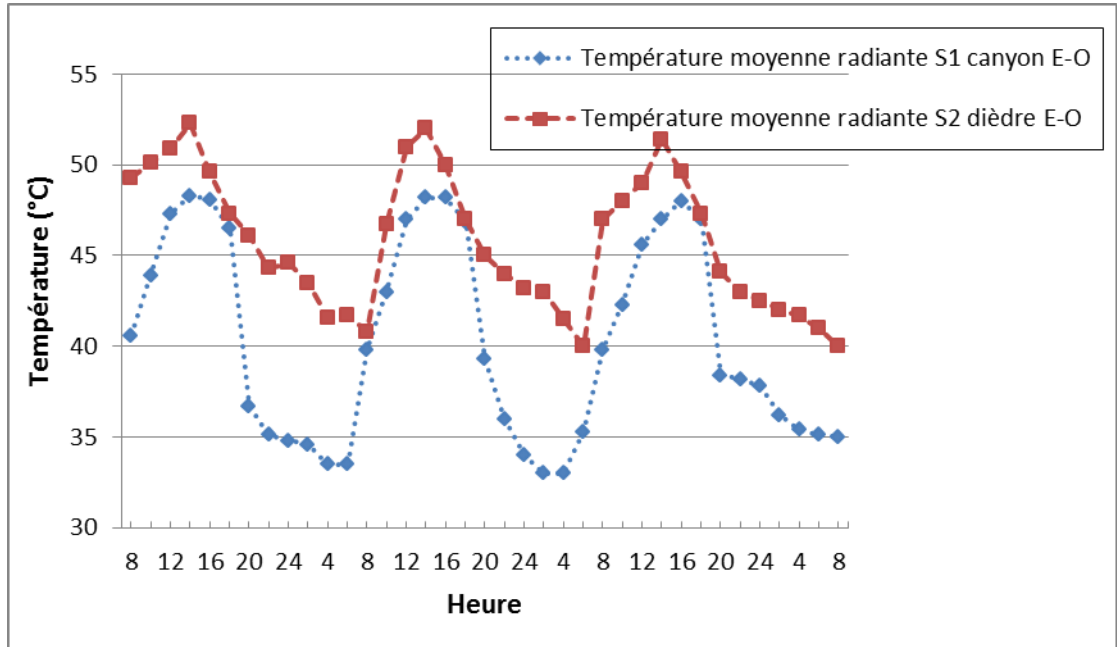
Figure, VI.16: La vitesse de l'air dans les stations N°3 et N°4 et la vitesse de l'air météorologique.

Source: L'auteur.

La figure VI.16 montre que l'orientation NO-SE offre plus de fraîcheur dans le cas de la rue canyon où se situe la station N°4 par rapport à la station N°3 rue dégagée orientée N-S. Ceci est dû à l'écoulement des vents dominants N-O ce qui permet une meilleure ventilation. La vitesse de l'air dans la station N°4 est nettement plus élevée que celle de la station N°3, l'écart entre les deux vitesses égale à 1,29m/s à 20h00.

Le gradient de la vitesse de l'air à la station N°3 située dans une rue dégagée orientée N-S est égale à 1,6 m/s plus importante que celui du canyon orienté NO-SE où se situe la station N°4 à 22h00.

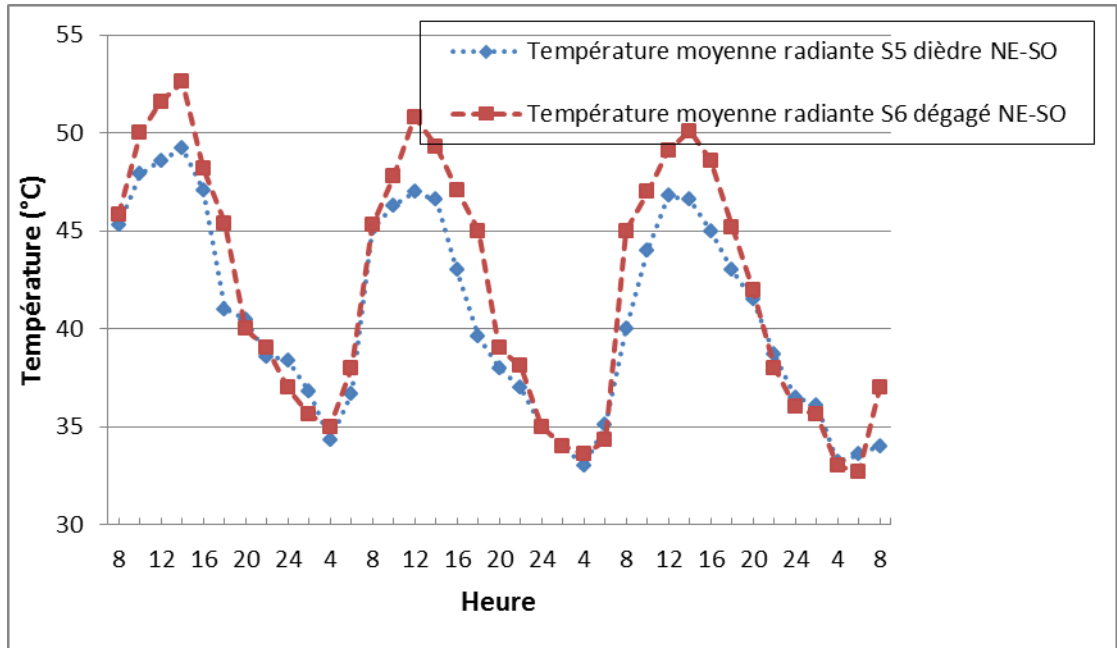
I. 16. La température moyenne radiante : L'orientation de la rue E-O
Rue canyon et dièdre



Figure, VI.17: La température moyenne radiante dans les stations N°1 et N°2.
Source: L'auteur.

La température moyenne radiante présente la variable clé dans l'évaluation de la sensation thermique des espaces extérieurs. La première chose à constater ici, c'est que la température moyenne radiante dans la station N°1 espace canyon orienté E-O est proportionnelle à la température moyenne radiante dans la station N°2 espace dièdre orienté E-O, c'est-à-dire qu'elle augmente d'avantage dans la station N°1 avec l'augmentation dans la station N°2. En enregistrant une valeur de 34,8°C à 04h00 du matin dans la station N°1 contre une valeur de 42,6°C dans la station N°2 à la même heure, ce qui résulte une différence de 7,8°C. Au coucher de soleil à 19h00 la température moyenne radiante dans la station N°1 est très rapprochées de celles de la station N°2, (Voir figure VI.17).

I. 17. La température moyenne radiante : L'orientation de la Rue NE-SO
Rue dièdre et dégagée

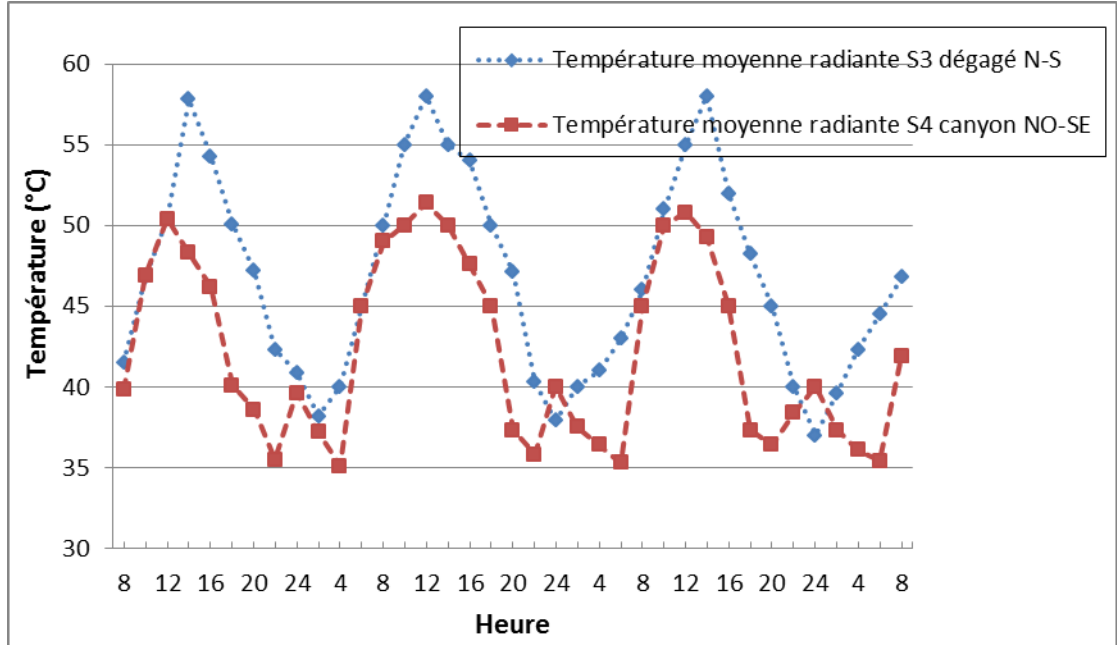


Figure, VI.18: La température moyenne radiante dans les stations N°5 et N°6.
Source: L'auteur.

L'espace dièdre désigné par la station N°5, présente la même allure de graphe représentant la variation de température moyenne radiante de l'espace dégagé désigné par la station N°6 en fonction du temps.

Le pic des températures moyennes radiantes pour l'espace dièdre enregistre des valeurs moindres que l'espace dégagé, avec un maximum de 49,3°C à 14h00 pour la station N°5 située dans une rue dièdre orientée NE-SO, et une valeur de 53,4°C pour la station N°6 située dans une rue dégagée orientée NE-SO, ce qui résulte d'une différence de 4,1°C, à la même heure. Nous remarquons que les courbes des températures moyennes radiantes se rapprochent beaucoup au début et vers la fin de la journée, c'est-à-dire entre 20h00 et 06h00 du matin.

I. 18. La température moyenne radiante : L'orientation de la rue N-S &
NO- SE Rue dégagée et canyon



Figure, VI.19: La température moyenne radiante dans les stations N°3 et N°4.
Source: L'auteur.

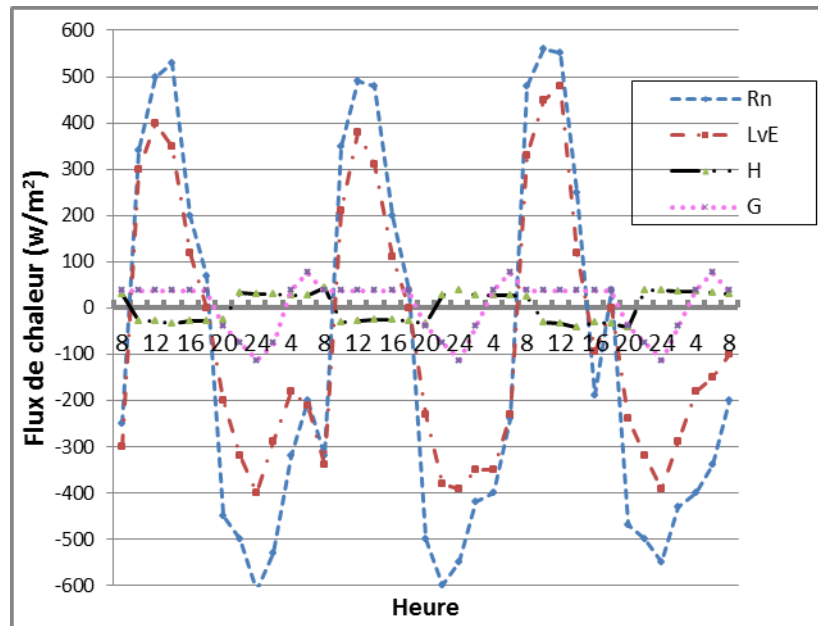
La station N°3 espace dégagé situé dans une rue orientée N-S marque des fluctuations de température moyenne radiante très élevée à la station N°4 espace canyon situé dans une rue orientée NO-SE, la valeur maximale enregistrée est de 58,7°C à 16h00, contre une valeur de 51,6°C pour la même heure, donc une différence de 7,1°C. Nous remarquons que les courbes des deux températures moyennes radiantes se rapprochent beaucoup de 08h00 du matin à 12h00.

❖ L'impact de comportement et de l'ampleur de bilan d'énergie des sols selon le type de leur revêtement (asphalte et béton) sur le réchauffement de l'air :

Les figures de 25 à 30 prouvent que dans toutes les stations de mesure, une corrélation élevée existe entre le bilan énergétique du sol et le flux de chaleur latente déterminé par évaporation. (MONTEITH J.L., 1991) a été supposé que le coefficient de transfert de chaleur et la vapeur d'eau sont identiques.

-MONTEITH J.L., UNSWORTH M.H., 1991, *Principles of environmental physics*. New York: Edward Arnold, 291 p.

Station No.1:



Figure, VI.20 : cycle de flux de chaleur latente, sensible et conductive, et le bilan énergétique de sol dans une rue canyon, sol en asphalte.

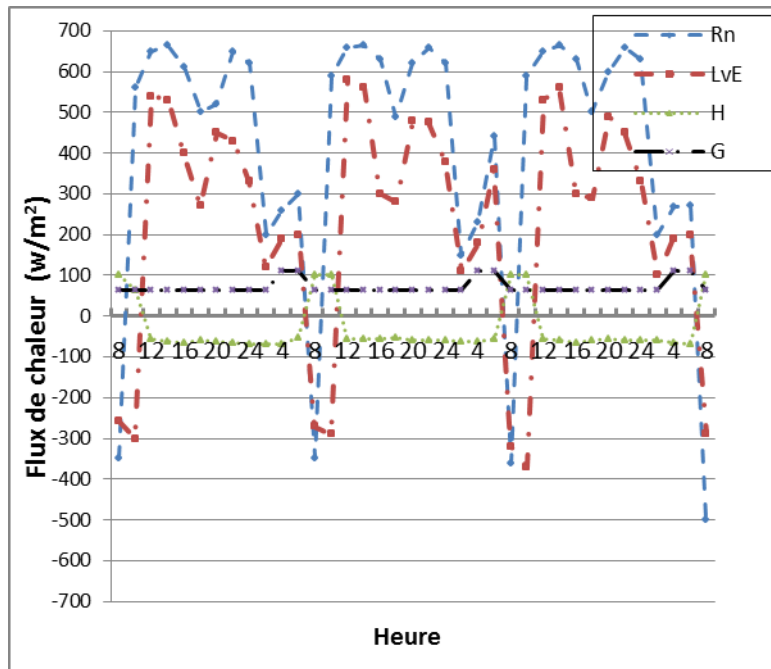
Source : L'auteur

L'ampleur du flux de chaleur latente (LvE) est grande, qui représente plus de 80% de bilan énergétique (Rn). Les changements de flux entre (Rn) et (LvE) indiquent que le bilan énergétique (Rn) change de manière significative avec une différence maximum entre les deux flux égale à 180W/m^2 (à 14h00 au cours de la journée) (Figure VI.20). La valeur maximale du (Rn) est 564W/m^2 . À la nuit la différence entre les deux flux égale à 220W/m^2 à 22h00. Le flux de chaleur sensible (H) est la cause principale de la présence d'un îlot de chaleur urbain.

Il est actionné par la libération de la chaleur anthropique et la chaleur stockée dans le sol (G). Ce dernier permet à (H) de rester positif au cours de la nuit de 20h00 à 08h00. (RINGENBACH., 2004) dit que, le refroidissement radiatif est fixe que la diminution de la température de l'air, visible le rôle de flux de chaleur sensible dans le réchauffement de l'atmosphère; Le bilan énergétique (Rn) et le flux de chaleur latente (LvE) peuvent être progressifs : à 14h00 dans une rue canyon orientée Est-Ouest le sol en l'asphalte, (LvE) atteint une valeur maximale égale à 480W/m^2 et (Rn) égale à 564W/m^2 . (Figure VI.20).

-RINGENBACH.Nicolas, 2004, *Bilan radiatif et flux de chaleur en climatologie urbaine : mesures, modélisation et validation sur Strasbourg*, thèse de doctorat, université Louis Pasteur Strasbourg.

Station No.2:



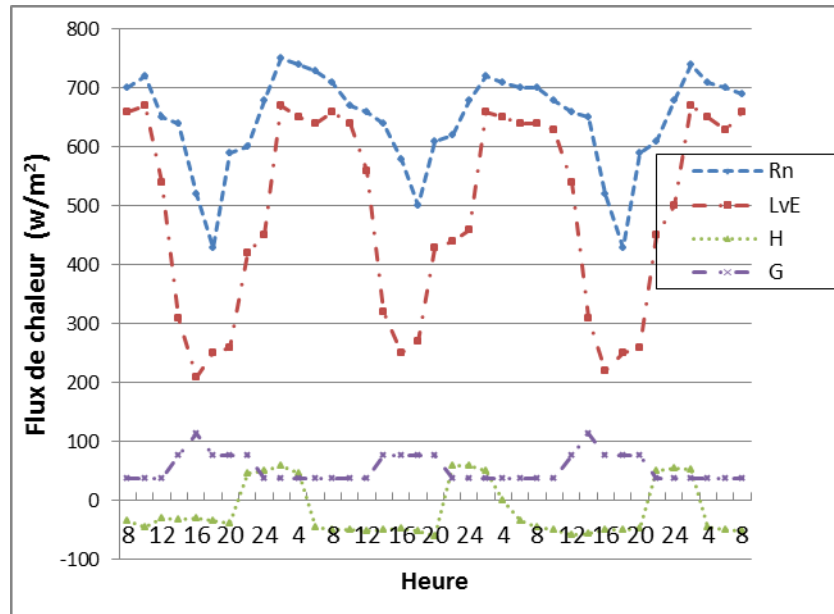
Figure, VI. 21 : cycle de flux de chaleur latente, sensible et conductive, et le bilan énergétique de sol dans une rue dièdre, sol en asphalte.

Source : L'auteur

Rue dièdre orientée Est-Ouest, le climat est chaud et sèche, le manque de végétation dans la ville de Biskra est bien réfléchi sur la courbe représentant (Rn), égal à 664 W/m^2 à 14h00, après le coucher du soleil et à partir de 20h00, le bilan énergétique du sol (Rn) augmente égal à 660 W/m^2 à 22h00, ceci est expliqué par le retour de la chaleur urbaine au cours de la nuit. Au cours de la journée, le flux de chaleur latente (LvE) graduellement augmente et atteint une valeur maximale égale à 534 W/m^2 à 14h00.

Pendant la période nocturne (LvE) avait également augmenté mais légèrement. Le flux de chaleur conductive (G) et le flux de chaleur sensible (H) sont stables pendant les trois jours. Le bilan énergétique (Rn) de la rue dièdre orientée Est-Ouest varie plus que le flux de chaleur sensible (H) et le flux de chaleur conductive (G). Le flux de chaleur latente (LvE) atteint des valeurs négatives jusqu'à -370 W/m^2 , (Voir la figure VI.21). Dans une rue dièdre orientée Est-Ouest le flux de chaleur latente (LvE) représente 50% du bilan énergétique (Rn).

Station No.3 :

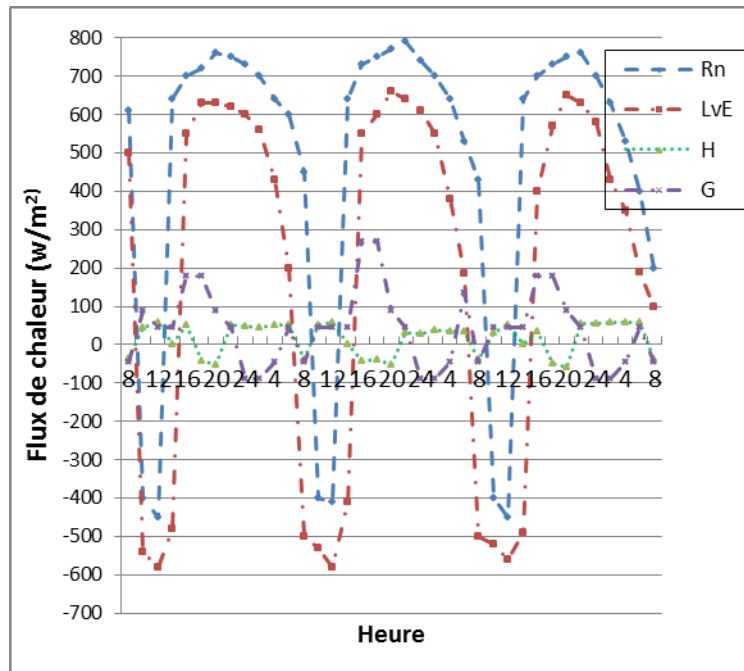


Figure, VI. 22 : cycle de flux de chaleur latente, sensible et conductive, et le bilan énergétique de sol dans une rue dégagée, sol en asphalte.

Source : L'auteur

La station N°.3 est un espace ouvert avec sol en asphalte, orientée Nord-Sud, le bilan énergétique (R_n) et le flux de chaleur latente (LvE) sont plus élevés que le flux de chaleur conductive (G) et le flux de chaleur sensible (H) pendant la période de mesure, l'apogée du bilan énergétique enregistré au premier jour 720W/m^2 à 02h00 (Voir figure VI.22), ceci est due à l'absence totale de n'importe quelle source de rafraîchissement ou d'ombrage, et la durée importante de l'ensoleillement et la surface importante d'asphalte exposée au rayon solaire directe, produisent un grand stockage de la chaleur au cours de la journée et de son retour la nuit, qui contribue de manière significative au surchauffe de nuit d'été. Il est possible de noter que le flux de chaleur sensible (H) n'est jamais négatif au cours de la nuit de 20h00 jusqu'à 06h00, suggérant que la libération du stockage de chaleur de la nuit soit suffisante pour maintenir un flux positif. La différence entre le flux de chaleur sensible (H) et le bilan énergétique (R_n) aussi montre le temps de départ de la libération de l'énergie stockée au cours de la journée. Le retard environ six heures entre les apogées de (H à 22h00 égal à 60W/m^2) et (R_n à 04h00 égal à 720W/m^2) indique une asymétrie quotidienne dans les deux graphes.

Station No.4 :

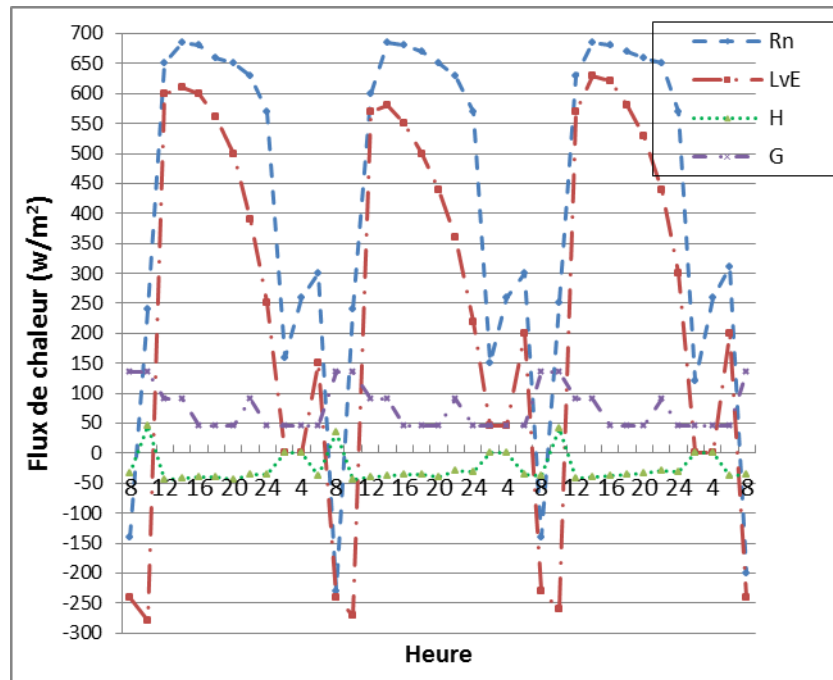


Figure, VI. 23 : cycle de flux de chaleur latente, sensible et conductive, et le bilan énergétique de sol dans une rue canyon, sol en béton.

Source : L'auteur

L'influence du vent dominant viennent du Nord Ouest – Sud Est apparaît au bilan énergétique (R_n) et le flux de chaleur latente (L_vE), de 08h00 à 06h00. (L_vE) et (R_n) baisse graduellement. Ce vent favorisant le rejet de la chaleur dans l'atmosphère au cours de la nuit et donc le flux de chaleur sensible (H) devient positif. Dans la rue canyon avec le sol en béton, le bilan énergétique atteint sa valeur maximale à 16h00 ($720W/m^2$) au cours de la journée. Le bilan énergétique est généralement augmenté, le flux de chaleur latente également est augmenté et l'ampleur de flux de chaleur conductive (G) souvent retardé particulièrement dans la transition aux valeurs négatives dans le début de soirée de 20h00 jusqu'à 04h00.

Station No.5 :

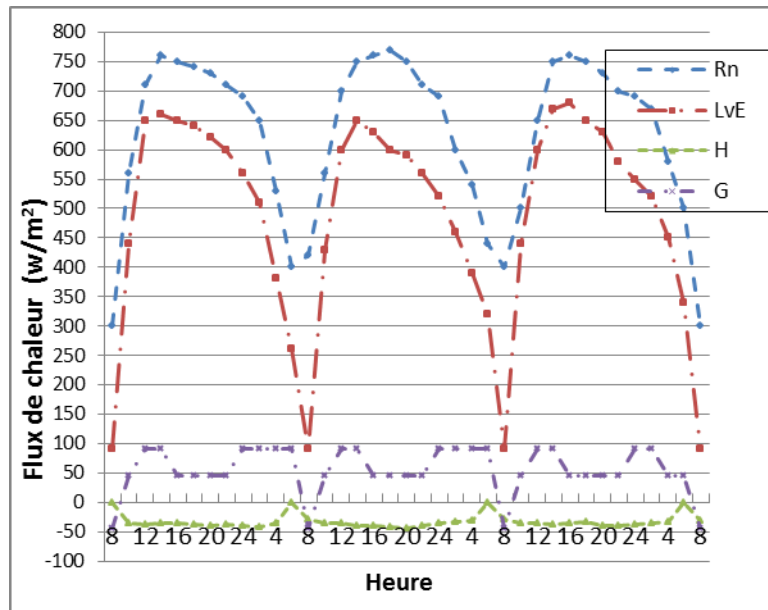


Figure, VI. 24 : cycle de flux de chaleur latente, sensible et conductive, et le bilan énergétique de sol dans une rue dièdre, sol en béton.

Source : L'auteur

Dans une rue dièdre orientée Nord-Est - Sud-Ouest avec sol en béton, le flux de chaleur conductive (G) n'est jamais négatif. Le flux de chaleur sensible (H) égal à 0W/m^2 de minuit jusqu'à 04h00, positif de 08h00 jusqu'à 12h00 et négatif de 12h00 au minuit. Il atteint sa valeur maximale à 10h00 égal à 45W/m^2 . Le flux de chaleur latente est négatif de 08h00 à 10h00. Le bilan énergétique (Rn) est le plus haut dans le milieu de la journée et les apogées sensibles du bilan énergétique sont enregistrés à 14h00 égal à 685W/m^2 . L'ampleur de flux de chaleur latente (LvE) est moins que le bilan énergétique pendant la journée aux conditions thermiques stables. Dans le contraire, à la nuit et entre 22h00 et 04h00 où le bilan énergétique est positif le flux de chaleur latente devient négatif. Les changements journaliers de (Rn) sont plus sensibles que d'autres flux, pour cette raison le bilan énergétique est le résultat des autres flux.

Station No.6 :



Figure, VI. 25 : cycle de flux de chaleur latente, sensible et conductive, et le bilan énergétique de sol dans une rue dégagée, sol en béton.

Source : L'auteur

Le flux de chaleur conductive est toujours positif ; à 08h00 le flux de chaleur conductive (G) devient négatif. Le flux de chaleur sensible (H) est négatif, et à 06h00 égal à 0W/m². Ceci est probablement relié au fort piégeage de jour de la chaleur dans une rue dégagée orientée Nord Est - Sud Ouest. Le flux de chaleur sensible commence plus tard pendant le matin et demeure bas avec une grande ampleur à partir de 08h00 à 04h00. Les résultats suggèrent que la chaleur stockée dans les zones urbaines ait commencé à être retournée à l'atmosphère pendant l'après-midi où le bilan énergétique est plus haut, la réduction du chaleur stockée dans le sol et le maintien de flux de chaleur conductive positif et font le flux de chaleur sensible négatif. Les différences dans l'ampleur entre les valeurs de l'apogée de trois flux : le bilan énergétique (Rn), le flux de chaleur latente (LvE) et le flux de chaleur conductive (G) se rapportent aux profils de trois flux de matin, à 14h00 le bilan énergétique enregistre 760W/m², le flux de chaleur latente (LvE) égale à 670W/m² et le flux de chaleur conductive (G) stocke 90W/m². Le flux de chaleur latente a dominé le bilan énergétique tout au long de la journée, en raison de l'évaporation élevée dans la rue orientée Nord Est – Sud Ouest.

Conclusion

Cette recherche a un rôle pour exécuter l'analyse approfondie sur l'impact de la géométrie et l'orientation des rues sur le réchauffement de l'air, ainsi que l'évaluation de l'ampleur et du comportement du bilan énergétique dans des rues des différentes géométries et de son impact sur les fluctuations thermiques externes. Par conséquent, ce document se concentre sur des mesures sur le terrain de la température d'air, la température du sol et de mur, de l'humidité relative, la vitesse du vent et la température du sous-sol à deux niveaux selon le type du sol en asphalté ou en béton dans six stations de mesure situées dans des rues de géométrie différente (canyon, dièdre et dégagé) qui ont été effectués de 8 au 10 juillet 2012 (trois jours typiques en été), les mesures ont réalisés selon un intervalles Bi-horaires.

Une comparaison des résultats dans notre cas, il a été démontré clairement que la rue canyon génère un microclimat spécifique, c'est-à-dire, en gardant les surfaces urbaines (mur et sol) fraîches, ce qui se répercute sur la température de l'air. L'écart de température entre la rue canyon et la rue dièdre orientées E-O arrive jusqu'à 6,3°C de 10h00 à 16h00. La rue dégagée orienté NE-SO, avec la basse vitesse du vent, la température de l'air peut augmenter jusqu'à 6°C à 22h00 comparé à la rue dièdre avec la même orientation. Par contre, La rue dièdre présente des valeurs plus élevées d'humidité relative que la rue canyon. Il y a une différence du 22% entre la rue canyon et la rue dièdre à 02h00 dans l'orientation E-O. L'humidité relative dans la rue canyon orientée NO-SE est plus élevée que celle enregistrée dans la rue dégagée orientée N-S de 02h00 du matin à 08h00 du matin, ceci est à cause de l'orientation de la rue canyon vers les vents dominants NO. Concernant la température moyenne radiante, les résultats obtenus expliquent que la le pic des températures pour l'espace dièdre enregistre des valeurs moindre que l'espace dégagé, avec un maximum de 49,3°C à 14h00 pour la rue dièdre orienté NE-SO, et une valeur de 53,4°C pour la rue dégagé orienté NE-SO.

Pendant l'été, la chaleur solaire est absorbée par les sols, les murs et les toits, entraînant la surface et les températures de l'air environnantes augmenter de manière significative par rapport au zones rurales, ayant pour résultat le phénomène de l'îlot de chaleur urbain. L'impact de comportement et de l'ampleur de bilan d'énergie des sols selon le type de leur revêtement (asphalté et béton) sur le réchauffement de l'air. Il y'a

une différence importante entre les géométries des rues étudiées : à 14h00 dans des rues canyons orientés Est-Ouest avec sol en asphalte, le flux de chaleur latente (LvE) constitue 80% des flux de jour échangés dans un site fortement urbanisé. (LvE) atteint une valeur maximale égale à 480W/m^2 et à Rn égale à 564W/m^2 . La rue dièdre orientée Est-Ouest avec sol en asphalte, le climat est chaud et sec réfléchi sur la courbe représentant (Rn), égal à 664W/m^2 à 14h00, le bilan énergétique (Rn) varie plus que le flux de chaleur sensible (H) et le flux de chaleur conductive (G), le flux de chaleur latente (LvE) représente 50% du bilan énergétique (Rn). Cependant, le flux de chaleur latente (LvE) est une partie dominante dans le bilan énergétique et peut atteindre 70% de bilan énergétique (Rn) dans une rue dégagé orientée Nord-Sud avec en asphalte ($\text{LvE} = 670\text{W/m}^2$). Dans une rue canyon avec sol en béton le bilan énergétique est généralement augmenté, le flux de chaleur latente également est augmenté et l'ampleur de flux de chaleur conductive (G) souvent retardé particulièrement dans la transition aux valeurs négatives dans le début de soirée de 20h00 jusqu'à 04h00. Dans la rue dièdre orientée Nord Est-Sud Ouest avec sol en béton, le flux de chaleur conductive (G) n'est jamais négatif. Dans la rue dégagé orientée Nord Est-sud Ouest identifié par le sol en béton le flux de chaleur sensible (H) est négatif, égal à 0W/m^2 à 06h00.

La réduction des températures de surface des matériaux contribue directement à l'atténuation des effets négatifs de l'îlot de chaleur urbain.

BIBLIOGRAPHIE

- COTE MARC, *La ville et le désert*, Karthala, 2005, Paris.
- CHOIMET. N., 2004, *les nouveaux précis Thermodynamique PC-PSI*, Bréal, Paris.
- DENIS, J., and D. GERARD., *Hygrothermique du Batiment: Chauffage Ventilation et Climatisation*. 1976, SISN.
- ESCOURROU, Gisèle. *Le climat et la ville*. Editions Nathan, 1991, 190 p.
- EICHINGER. W.E, NICHOLS. J., PRUEGER. J.H., HIPPS. L.E., *Like Evaporation estimation in arid environment*, Hydrosience- Engineerin g, Repport N430, 2003, University of Iowa.
- FENNESSEY. N.M, VOGEL. R.M., *Regional model of potential evaporation and reference evapotranspiration for the northeast USA*, Journal of Hydrology, 1996, 337-354.
- FAVERJON. G., *les nouveaux précis Thermodynamique PCSI*, Bréal, 2003, Paris.
- MONTEITH J.L., UNSWORTH M.H., 1991, *Principles of environmental physics*. New York: Edward Arnold, 291 p.
- MESTAYER. P.G., ANQUETIN. S., *Climatology of cities. In Diffusion and Transport of pollutants in Atmospheric Mesoscale Flow Fields* . A. Gyr F.S. Rys editors, ERCOFTAC Series, Kluwer Academics Press, 1994, p. 165-189.
- SAIGHI. M., *Nouveau modèle de transfert hydrique dans le système sol-plante-atmosphère*, Thèse de Doctorat, 2002, Université des sciences et technologies Houari Boumediene-USTHB.
- Office national de meteorologie.
- RINGENBACH.Nicolas, *Bilan radiatif et flux de chaleur en climatologie urbaine : mesures, modélisation et validation sur Strasbourg*, thèse de doctorat, 2004, université LouisPasteur Strasbourg.
- Yoshida A,Tominaga K,Watani S. *Field measurements on energy balance of an urban canyon in the summer season*. Energy and Buildings 1990–91;15–16:417–23.

Conclusion générale :

En raison du réchauffement de l'air augmenté dans le climat du monde, l'importance des formes urbaines est devenue nécessaire. C'est dû au fait que l'ingénierie urbaine a un impact sur la détermination des conditions du microclimat urbain, aussi bien que sur le climat urbain dans son ensemble.

Dans les régions arides et chaudes, les facteurs climatiques qui doivent être pris en considération sont : la température et le rayonnement solaire, où l'évolution de la construction est reflétée dans l'expansion des villes, la multiplicité de bâtiments et l'augmentation des sources de chaleur qui ont un impact sur le microclimat. Ce phénomène est connu comme l'îlot de chaleur urbain. 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. On a essayé d'analyser l'interaction entre la géométrie des rues 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 examinés et évalués.

Nous rappelons que cette recherche a nécessité trois parties précédemment détaillées, une partie théorique issue d'une analyse bibliographique répartie en quatre chapitres : Cette partie fut entamée par une étude bibliographique (état de l'art), l'intérêt était d'assurer une bonne connaissance et une meilleure compréhension de la conception urbaine bioclimatique nécessite l'analyse du comportement de l'ensemble des paramètres climatiques vis-à-vis des différentes formes urbaines. Les géométries urbaines, les types de matériaux couvrant les surfaces (façades des immeubles, toitures et chaussées) ainsi que la diversité d'occupation des sols et leur nature au niveau des villes sont également d'une importance certaine étant donné qu'ils affectent sensiblement le bilan énergétique en milieu urbain et par conséquent l'îlot de chaleur urbain.

Puis, on a procédé à une approche analytique sur la rue à travers l'histoire (l'étude chronologique de la genèse de la rue), on a mis l'accent sur la genèse et la conception de la

rue à travers l'histoire. Pour ce faire, ce chapitre dresse une panoplie d'une formation sur la rue des villes Greco Romaines en tant qu'élément structurant de ces établissements humains. Successivement, il tacle la réalité de la rue de la ville Arabo-musulmanes. La rue de la ville du 17^{ème} siècle est largement disséquée par l'autopsie effectuée sur la ville médiévale et celle de la Renaissance. Plus loin encore, une présentation succincte de cet élément structurant de la ville libérale du 18^{ème} siècle à la ville moderne du 20^{ème} siècle, dont l'objectif est de s'approfondir dans la compréhension de sa participation à la fluctuation de température extérieure.

L'impact des caractéristiques physique et géométriques de la rue sur le microclimat urbain, a fait l'objet d'un diagnostic dans un chapitre dont l'objectif était de mieux comprendre les différents types de rue et leur classification du point de vue de leur géométrie en fonction de ses dimensions sa largeur et son hauteur qui la caractérisent, ainsi que, leur caractéristiques physiques pour atténuer leur effet en zones arides, en mettant l'accent sur les effets climatiques qu'elle génère notamment thermiques et radiatifs.

On a consacré un chapitre entier à l'adaptation climatique de la rue, pour présenter les éléments ayant trait à la détermination de l'îlot de chaleur urbain. Les matériaux utilisés dans leur construction ont des propriétés qui provoquent le stockage de la chaleur au sein d'un milieu urbain. Le but de l'implantation de techniques alternatives est de se rapprocher au mieux des milieux dits naturels, c'est-à-dire des surfaces perméables, végétalisées, pouvant réfléchir au maximum les rayons solaires sans les transformer en chaleur. Ainsi que la connaissance des applications urbaines expérimentales de stratégies d'atténuations de l'îlot de chaleur urbain ainsi que les mesures atténuant le réchauffement des rues est fondamental dans toutes les études de micro climat urbain.

Procéder à une recherche pratique sur terrain a exigé une analyse climatique sur la ville de Biskra ce qui nous a permis la classification du climat de Biskra, ainsi que l'aboutissement à des orientations qui peuvent éventuellement dicter des principes de base de la conception urbaine bioclimatique. Cette approche a été basée sur des méthodes d'analyse climatiques et bioclimatiques universelles.

Une deuxième partie contient deux chapitres : l'un a concerné la procédure méthodologique présentant l'air d'étude et se base sur la compréhension de climat urbain ce qui nécessite une meilleure connaissance des aspects thermiques dans la rue. Cependant la caractérisation

climatique d'un tissu urbain pose la question du choix des points de mesures les plus représentatifs du point de vue de la climatologie du site. L'expérimentation est inspirée d'une méthode universelle, utilisée dans de nombreuses études antérieures. Les situations qui nous intéressent correspondent aux trois jours chauds sous les conditions typiques d'été. Donc, Les mesures se feront pendant trois journées : 8, 9 et 10 juillet 2012 journées incluses dans la zone de surchauffe dans la ville de Biskra selon l'étude climatique de la ville de Biskra tout en expliquant la taille de l'échantillon sélectionné. L'autre chapitre a concerné une investigation sur un tissu urbain existant, pour ce, une importante campagne de mesure a eu lieu sur des axes routiers. La mesure de la température de l'air et la vitesse de l'air à l'aide d'un instrument de mesure appelé « Thermo-Anémomètre à hélice LV 110 ». La température de surface sol et mur par le biais d'un instrument appelé « Thermomètre infrarouge ». La température de sous-sol avec un instrument appelé « multimètre HAOYUE M890C+ ». La température moyenne radiante et l'humidité relative par le biais d'un instrument appelé « Thermo-hygromètre HD100 ». Dans six stations de mesures appartenant à un environnement climatique similaire. Puis, on calculera le bilan énergétique à l'échelle de surface sol. L'existence de réchauffement de l'air résulte de la modification du bilan d'énergie du sol en milieu urbain selon la géométrie et l'orientation de la rue.

Le premier résultat obtenu par cette investigation est la présence d'un îlot de chaleur urbain dans des périodes de nuit différentes, la température de l'air au centre-ville dépasse largement celle de la banlieue mesurée par la station météorologique. Il peut voir que pour l'orientation E-O, la rue canyon et la rue dièdre les valeurs mesurées sont plus hautes que ceux enregistrées par la station météorologique située dans un site ouvert dans la banlieue de la ville. Pour la rue dégagé orienté NE-SO, avec la basse vitesse du vent, la température de l'air peut augmenter jusqu'à 6°C à 22h00 comparé à la rue dièdre orientée NE-SO, parce que la rue dégagé est abritée du vent dominant du Sud-Est. Ceci illustre clairement l'effet de la géométrie de la rue sur l'intensité de l'îlot de chaleur urbain. La température de l'air enregistrée dans la rue dégagé orientée N-S est plus haute que la température de l'air à la rue canyon orientée NO-SE. Ceci peut être expliqué par le fait que la rue dégagé est complètement protégée contre les vents dominants d'été, tandis que la rue canyon est influencée par le vent du Sud-Est dans la ville de Biskra.

La rue dièdre présente des valeurs plus élevées d'humidité relative que la rue canyon. L'humidité relative dans la rue dièdre orienté NE-SO, est en général moins importante que

celle mesurée dans la rue dégagé orienté NE-SO et ce pendant la période de 20h00 à 06h00. Ceci, est dû au fait que : -Absence totale de végétation et de toute source de rafraîchissement ou d'ombrage. -L'importante durée d'insolation liée au faible albédo des matériaux couvrant le sol et les façades imperméables. On constate une nette augmentation de l'humidité relative enregistré au niveau de la station météorologique pendant la journée de 08h00 du matin à 20h00 par rapport à l'humidité relative dans la rue dégagé orienté N-S et la rue canyon orienté NO-SE pour la même heure, cette augmentation liée à l'apport des surfaces perméables au niveau de banlieue.

La rue dièdre enregistre des températures surfacique de mur plus importantes que la rue canyon de 20h00 à 06h00 du matin. La température de mur mesurée dans la rue dièdre orienté NE-SO est plus haute que la température de mur enregistrée dans la rue dégagé orienté NE-SO. Parmi les causes principales de l'augmentation de la température de l'air en milieu urbain, est la chaussée chaude. La rue canyon et la rue dièdre sont pavés avec l'asphalte noir matériau sombre qui absorbe 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'elle et contribuant fortement à la formation du phénomène d'îlot de chaleur urbain. Concernant l'orientation des deux rues E-O, la température de sol dans la rue dièdre est plus chaude que la température de sol dans la rue canyon de 12h00 à 20h00. Tandis que la température de sol dans la rue dièdre est plus fraîche que la température de sol dans la rue canyon de 22h00 à 10h00. Le matériau de sol en béton joue un rôle très important dans la formulation de l'environnement thermique à l'intérieur de la rue suivant sa géométrie. La rue dièdre orienté NE-SO, exprime nettement l'effet de la nature du matériau sur la température de surface, la température de surface sol atteint 62°C à 14h00. On enregistre une valeur de 51,6°C pour la rue dégagé orienté NE-SO à 22h00 contre uniquement 40°C pour la rue dièdre orienté NE-SO pendant la même heure de la journée, c'est-à-dire une différence de 11,6°C.

La vitesse de l'air au niveau de la station météorologique est très élevé par rapport à la vitesse de l'air enregistré dans la rue canyon orienté E-O et la rue dièdre orienté E-O de minuit à 03h00. La vitesse de l'air enregistrée dans la station météorologique est plus basse que la vitesse de l'air à la rue dégagé orienté NE-SO station N°5 et la rue dièdre orienté NE-SO de 08h00 à 22h00. Tandis que la station météorologique enregistre une valeur de la vitesse de l'air plus importante que la rue dégagé et la rue dièdre de 22h00 à 02h00. La vitesse de l'air

dans la rue orienté NO-SE est plus élevée que celle de la rue dégagé orienté N-S, l'écart entre les deux vitesses égale à 1,29m/s à 20h00.

Concernant La température moyenne radiante qui présente la variable clé dans l'évaluation de la sensation thermique des espaces extérieurs. La première chose à constater ici, c'est que la température moyenne radiante dans la rue canyon orienté E-O est proportionnelle à la température moyenne radiante dans la rue dièdre orienté E-O, c'est-à-dire qu'elle augmente d'avantage dans la rue canyon avec l'augmentation dans la rue dièdre. Le pic des températures moyennes radiantes pour la rue dièdre enregistre des valeurs moindre que la rue dégagé, avec un maximum de 49,3°C à 14h00 pour la rue dièdre orienté NE-SO, et une valeur de 53,4°C pour la rue dégagé orienté NE-SO, ce qui résulte une différence de 4,1°C, à la même heure. La rue dégagé orientée N-S marque des fluctuations de température moyenne radiante très élevé à la rue canyon orientée NO-SE,

Dans ce qui concerne l'impact de comportement et de l'ampleur de bilan d'énergie des sols selon le type de leur revêtement (asphalte et béton) sur le réchauffement de l'air les résultats prouvent que dans toutes les stations de mesure, une corrélation élevée existe entre le bilan énergétique du sol et le flux de chaleur latente déterminé par évaporation.

Dans la rue canyon orienté E-O le sol en asphalte, l'ampleur du flux de chaleur latente (LvE) est grande, qui représente plus de 80% de bilan énergétique (Rn). Les changements de flux entre (Rn) et (LvE) indiquent que le bilan énergétique (Rn) change de manière significative avec une différence maximum entre les deux flux égale à 180W/m² (à 14h00 au cours de la journée). La valeur maximale du (Rn) est 564W/m². À la nuit la différence entre les deux flux égale à 220W/m² à 22h00. Le flux de chaleur sensible (H) est la cause principale de la présence d'un îlot de chaleur urbain. Il est actionné par la libération de la chaleur anthropique et la chaleur stockée dans le sol (G). Ce dernier permet à (H) de rester positif au cours de la nuit de 20h00 à 08h00.

Dans la rue dièdre orientée E-O, le climat est chaud et sèche, le manque de végétation dans la ville de Biskra est bien réfléchi sur la courbe représentant (Rn), égal à 664 W/m² à 14h00, après le coucher du soleil et à partir de 20h00, le bilan énergétique du sol (Rn) augmente égal à 660W/m² à 22h00, ceci est expliqué par le retour de la chaleur urbaine au cours de la nuit. Dans cette rue le flux de chaleur latente (LvE) représente 50% du bilan énergétique (Rn).

La rue dégagé avec sol en asphalte, orientée N-S, le bilan énergétique (Rn) et le flux de chaleur latente (LvE) sont plus élevés que le flux de chaleur conductive (G) et le flux de

chaleur sensible (H) pendant la période de mesure, l'apogée du bilan énergétique enregistré au premier jour $720\text{W}/\text{m}^2$ à 02h00, ceci est due à l'absence totale de n'importe quelle source de rafraîchissement ou d'ombrage, et la durée importante de l'ensoleillement et la surface importante d'asphalte exposée au rayon solaire directe, produisent un grand stockage de la chaleur au cours de la journée et de son retour la nuit, qui contribue de manière significative au surchauffe de nuit d'été.

Dans la rue canyon orienté NO-SE avec sol en béton l'influence du vent dominant viennent du NO-SE apparaît au bilan énergétique (R_n) et le flux de chaleur latente (L_vE), de 08h00 à (R_n) baisse graduellement. Ce vent favorisant le rejet de la chaleur dans l'atmosphère au cours de la nuit et donc le flux de chaleur sensible (H) devient positif. Dans la rue canyon avec le sol en béton, le bilan énergétique atteint sa valeur maximale à 16h00 ($720\text{W}/\text{m}^2$) au cours de la journée.

Dans une rue dièdre orientée N-E-S-O avec sol en béton, le flux de chaleur conductive (G) n'est jamais négatif. Le flux de chaleur sensible (H) égal à $0\text{W}/\text{m}^2$ de minuit jusqu'à 04h00, positif de 08h00 jusqu'à 12h00 et négatif de 12h00 au minuit. Il atteint sa valeur maximale à 10h00 égal à $45\text{W}/\text{m}^2$. Le flux de chaleur latente est négatif de 08h00 à 10h00. Le bilan énergétique (R_n) est le plus haut dans le milieu de la journée et les apogées sensibles du bilan énergétique sont enregistrés à 14h00 égal à $685\text{W}/\text{m}^2$. L'ampleur de flux de chaleur latente (L_vE) est moins que le bilan énergétique pendant la journée aux conditions thermiques stables.

Le flux de chaleur conductive est toujours positif ; à 08h00 le flux de chaleur conductive (G) devient négatif. Le flux de chaleur sensible (H) est négatif, et à 06h00 égal à $0\text{W}/\text{m}^2$. Ceci est probablement relié au fort piégeage de jour de la chaleur dans une rue dégagé orientée NE-SO avec sol en béton. Le flux de chaleur sensible commence plus tard pendant le matin et demeure bas avec une grande ampleur à partir de 08h00 à 04h00. Les résultats suggèrent que la chaleur stockée dans les zones urbaines ait commencé à être retournée à l'atmosphère pendant l'après-midi où le bilan énergétique est plus haut, la réduction du chaleur stockée dans le sol et le maintien de flux de chaleur conductive positif et font le flux de chaleur sensible négatif.

L'apparition d'un îlot de chaleur urbain dépend de nombreux paramètres. Le bilan énergétique permet d'évaluer l'influence de ces paramètres sur l'emmagasinement énergétique et, indirectement, sur l'îlot de chaleur urbain. De tels recherche et résultats

plausibles sont nécessaires pour trouver des moyens fiables et de déterminer exactement le bilan énergétique dans un milieu urbain pour réduire le réchauffement de l'air dans l'avenir. Afin de protéger la ville contre l'îlot de chaleur urbain, nous devrions rechercher des formes urbaines appropriées. En d'autres termes, rechercher la géométrie de la rue appropriée qui empêche contre l'îlot de chaleur urbain.

Recommandations :

D'autres axes de recherche s'ouvrent et beaucoup d'interrogations peuvent être résolus. En peut citer quelques pistes de recherche comme suit :

- Type des matériaux réfléchissants utilisés pour les toitures et les murs ainsi que l'influence de différentes techniques : des toitures végétales, Bassins d'eau en toiture, un écran végétal sur le mur... dans la réduction de température extérieure.
- Le calcul des indicateurs morphologiques notamment la forme des rues pourrait être raffiné et d'autres indicateurs tel que le SVF (facteur de vue du ciel) pourrait être intégrés afin de permettre une étude exhaustive de la relation morphologie urbaine/microclimat.
- L'étude du rapport entre la consommation énergétique des bâtiments et les microclimats urbains pourrait également compléter cette étude. En milieu urbain, la formation et la transformation des microclimats sont affectées par la structure physique de la ville, mais aussi par l'énergie consommée par les bâtiments qui est ensuite transférée sous forme de chaleur vers l'extérieur. Cette chaleur amplifie la température extérieure déterminant les conditions thermiques extérieures pour les usagers des espaces publics.
- Microclimats urbains et opportunités d'adaptation des occupants des bâtiments sont interdépendants. Cette interdépendance mériterait d'être explorée. L'intégration de ces nouveaux paramètres permettrait une meilleure intelligibilité de la relation entre la morphologie urbaine (géométrie des rues) et microclimats. L'étude de cette relation fournirait des éléments objectifs essentiels à la conception des bâtiments et les espaces publics extérieurs en vue de contribuer au développement durable de nos villes.
- Les techniques nécessaires à la connaissance des caractéristiques radiatives des matériaux.

- Le comportement du matériau vis-à-vis de la conservation de l'eau peut également être examiné (propriétés d'absorption d'eau et de refroidissement par évaporation).

En conclusion, les objectifs précédemment tracés ont été atteints et les hypothèses mises en place ont été largement vérifiées.

BIBLIOGRAPHIE

- AIDA, M and K Gotoh.**, « Urban albedo as a function of the urban structure, a 2-dimensional numerical simulation (part II) ». *Boundary layer meteorology*, 1982, no23, p. 415-424.
- ADEME.**, Gestion du risque climatique et adaptation aux changements. *Ademe et vous – Recherche*, n°1, 25 juillet 2007 [réf. du 10 octobre 2008], 6 p. Disponible sur : <http://www2.ademe.fr>
- ABDOU Saliha**, Investigation sur l'intégration climatique dans l'habitation traditionnelle en régions arides et semi arides d'Algérie: Cas du Ksar de Ouargla et de la médina de Constantine. Thèse de doctorat U:Cons 2004.
- ACKERMAN S.**, Urban heat island, University of Wisconsin, Space science and engineering center, 2007 [visité en mai 2008]. Disponible sur Internet : [http://icecap.us/images/uploads/URBAN HEAT ISLAND.pdf](http://icecap.us/images/uploads/URBAN_HEAT_ISLAND.pdf)
- ADOLPHE L.**, Modelling the link between built environment and urban climate: towards simplified indicators of the city environment, *Building Simulation, Proceedings of 1BPSA (International Building Performance Simulation Association)*, 2001, pp. 679-684.
- AIT-AMEUR K.**, Characterization of the microclimate in urban public spaces through the validation of a morpho-climatic indicator system, *Design with the Environment, Proceedings of PLEA (Passive Low Energy Architecture)*, 2002, pp. 305-311.
- ALI TOUDERT Fazia**, ouverture au ciel : concept pour le contrôle solaire et énergétique en milieu urbain, séminaire international : espace saharien et développement durable, Biskra 14, 15 et 16 novembre, 2000.
- ALKAMA Djamel**, analyses typologiques de l'habitat, cas de Biskra, thèse de magister, institut d'architecture, centre universitaire de Biskra, 1995.
- AKBARI H, SHEA Rose L., TAHA H.**, Analyzing the land cover of an urban environment using high-resolution orthophotos. *Landscape Urban Plann*, 2003, vol. 63, n° 1. p. 1-14.
- AKBARI H., POMERANTZ M., TAHA H.**, Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas, *Solar energy*, Vol. 70, p. 95.2001.
- ALCOFORADO, Maria João.**, Planning procedures towards high climatic quality cities. Example referring to Lisbon. *Finisterra*, 2006, vol. XLI, n°82, p. 49-64.
- ALCOFORADO, Maria João. LOPES, Antonio. ANDRADE, Henrique. VASCONCELOS, João. VIERA, Rute.**, Climatic guidelines for urban planning in Lisbon. In: *Sixth International Conference on Urban Climate*, Göteborg, Suède, 12-16 juin, 2006.
- ARMSTRONG, M.M., Elmahdy, A.H., Swinton M.C., Parekh A.**, Sélection de vitrages de fenêtres de type résidentiel pour un rendement énergétique optimal, *Solution constructive*, No. 71, Décembre, 2008.

- ARNFIELD A. J.**, Numerical modelling of urban surface radiative parameters, papers in climatology : the Cam Allen Memorial Volume, Davies JA (ed). Discussion paper N°7, departement of Geography, Mc Master University, 1976.
- **ARNFIELD A.J.**, validation of an estimation model for urban surface albedo, physical geography, 1988, 9 : 361-372.
- ARNFIELD A.J.**, canyon geometry, the urban fabric and nocturnal cooling : a simulation approach, physical geography, 1990, 11 : 220-239.
- ARNFIELD A.J.**, a simple model of urban canyon energy budget and its validation, physical geography, 2000, 21 : 305-326.
- ARNFIELD A. J.**, Two decades of urban climate research : a review of turbulences, exchanges of energy and water ant the urban heat island, International journal of climatology, 2003, n°23, pp.1-26.
- BELAKEHAL A., Tabet AOUL K.**, Shading and shadowing : Concepts for an interactive strategy between solar control and aesthetics in the design of the facade. Reference to arid zones. *Renew. Energy*, 1996, vol. 8, n° 1-4. p. 323-326.
- **BENADJI Amar**, Adaptation climatique ou culturelle en zone aride, Université de Biskra, 1999, p44.
- BESAAD Nadia**, La rue, forme urbaine et pratiques sociales ; cas de la rue Belouizdad Boudjeriou à Constantine, mémoire de Magistère, Université de Constantine, 2001, p17.
- BAUMÜLLER J., HOFFMAN U., REUTER U.**, Climate booklet for urban development, References for zoning and planning, Baden-Württemberg Innenministerium, 2005 [réf. du 29 mars 2008], 380 p. Disponible sur : <http://www.staedtebauliche-klimafibel.de/>
- BESSEMOULIN P., OLIVIERI J.**, Le rayonnement solaire et sa composante ultraviolette, La Météorologie, 8e série-no31. Septembre 2000, p. 42.
- BONAN, Gordon.**, *Ecological climatology – concepts and applications*. Cambridge University Press, 2002, 678 p.
- BOUKHABLA. Moufida, ALKAMA. Djamel**, impact de la géométrie des rues sur les fluctuations thermiques extérieures, mémoire de magistère, 2010, université Mohamed khidder Biskra.
- BOSEL, Hartmut.**, Indicators for Sustainable Development: Theory, Method, Applications. AReport to the Balaton Group. Winnipeg (Canada): *International Institute for Sustainable Development*, 1999, 125 p.
- BRUSE Michael**, Simulating microscale climate interactions in complex terrain with a highresolution numerical model: A case study for the Sydney CBD Area (Model Description), In: Proceedings International Conference on Urban Climatology and International Congress of Biometeorology, Sydney, Australia, 8-1, Novembre 1999, 6 p.
- BRUSE Michael**, ENVI-met V3.0, a microscale urban model. *IAUC Newsletter* [en ligne], juin 2004, n°5, [réf. du 10 octobre 2006], pp. 2-4. Disponible sur : <http://www.urbanclimate.org/>

- CAPDEROU.M,** " *Atlas solaire de l'Algérie* ", tome 3: aspect énergétique, OPU Alger, 1986,
- CHRISTEN, A et R Vogt.,** Energy and radiation balance of a central European city. *International Journal of Climatology*, 2004, n°24, p. 1395-1421.
- CHOIMET. N.,** les nouveaux précis Thermodynamique PC-PSI, Bréal, Paris, 2004
- COTE. Marc,** La ville et le désert, Karthala, 2005, Paris.
- CRAUL, P.J.** Soil compaction on heavily used sites, *Journal of Arboriculture*, Vol. 20, No. 2, pp. 69-74, 1994.
- COUTTS A.M., BERINGER J., TAPPER N,** Changing urban climate and CO2 emissions: implications for the development of policies for sustainable cities, *Urban Policy and Research*, In Press, 2008.
- CHUDNOVSKY A., E. BEN-DOR E., SAARONI H.,** Diurnal thermal behaviour of selected urban objects using remote sensing measurements, *Energy and Buildings*, novembre 2004, vol. 36, n° 11, pp. 1063-1074.
- DE HATTEN Anne,** Mise en évidence des caractéristiques générales de l'îlot de chaleur urbain Strasbourgeois. Thèse de maîtrise de Géographie. Université Louis Pasteur de Strasbourg. 2002.
- DEOUX, S., DEOUX, P.,***Guide de l'Habitat Sain.* Medieco Editions, 537 p, 2004.
- DEVUYST. Paul,** *Météorologie et prévision du temps*, Paris : Edition Eyrolles, 1979, p32.
- DENIS, J., and D. GERARD.** *Hygrothermique du Batiment: Chauffage Ventilation et Climatisation.* 1976, SISN.
- DHAKAL S., HANAKI K.,** Improvement of urban thermal environment by managing heat discharge sources and surface modification in Tokyo, *Energy and Buildings*, 2002, vol.34, pp.13-23.
- DOS SANTOS. R-M et VILLAS BOAS. M,** Urban morphology and thermal comfort conditions in the central area of Belo Horsonte, *Architecture, City, Environment, Proceedings of PLEA (Passive Low Energy Architecture)*, 2000, pp. 630-63.
- EICHINGER. W.E, NICHOLS. J., PRUEGER. J.H., HIPPS L.E.,** *Like Evaporation estimation in arid environment*, Hydroscience- Engineerin g, Repport N430, 2003, University of Iowa.
- ELIASSON I.,** Urban nocturnal temperatures, street geometry and land use, *Atmospheric Environment*, 1996, Vol. 30, N° . 3, pp. 379-392.
- ENDRENY, T.,** Naturalizing urban watershed hydrology to mitigate urban heat-island effects, *Hydrological processes*, Vol. 22, No. 3, pp. 461-463, 2008.
- ERELL E.,**The application of urban climate research in the design of cities, *Advances in building energy research, earthscan*, 2008, 2: 95-121.

- ESCOURROU. Gisèle**, *Le climat et la ville*. Editions Nathan, 1991, 190 p.
- **FAN H., SAILOR D. J.**, Modelling the impacts of anthropogenic heating on the urban climate of Philadelphia : a comparison of implementations in two PBL schemes, *Atmospheric environment*, 2005, n°9, pp. 73-84.
- FAVERJON. G.**, les nouveaux précis Thermodynamique PCSI, Bréal, Paris, 2003
- FENNESSEY. N.M, VOGEL. R.M.**, *Regional model of potential evaporation and reference evapotranspiration for the northeast USA*, *Journal of Hydrology*, 1996, 337-354.
- FISHER L.**, étude de paramètres climatiques pertinents en vue de l'amélioration de la prévision des pointes de pollution par l'ozone dans l'agglomération de Strasbourg, thèse de doctorat de l'université Louis Pasteur (Strasbourg I), 2001.
- GIVONI, B.**, *Climate considerations in building and urban design*, John Wiley & Sons, New York, 1998.
- GIVONI, B.**, *L'Homme, l'Architecture et le Climat*. Paris : Editions du Moniteur, 1978, 460 p.
- GRAFMEYER, Yves.**, *Sociologie urbaine*. Paris : Nathan, 1995, 128 p. (collection 128).
- GREGORY, J.H., Dukes, M.D., Jones, P.H., Miller, G.L.**, Effect of urban soil compaction on infiltration rate, *Journal of soil and water conservation*, Vol. 61, No. 3, pp. 117-123, 2006.
- GIVONI B., HOFFMAN M.E.**, Prediction of the thermal behavior of full scale buildings : first research report to the US National Bureau of Standards. Rapport de recherche, *Technion Haifa : Buildings research stations*, 1972.
- GIVONI, B.**, *Climate considerations in building and urban design*, John Wiley & Sons, New York, 1998.
- GRIFFITHS John F.**, *Climate and the Environment, The atmospheric impact on man*. London: Paul Elek, 1976, 148 p.
- GRIMMOND, CSB et TR Oke.**, Comparison of heat fluxes from summertime observations in four North American cities. *Journal of Applied Meteorological*, 1995, no34, p. 873-889.
- GRIMMOND, CSB. et TR Oke.**, Heat storage in urban areas: observations and evaluation of a simple model. *Journal of Applied Meteorological*, 1999, no38, p. 922-940.
- **GRIMMOND C.S.B., OKE T.R.**, turbulent heat fluxes in urban areas : observation and a Local-Scale Urban Meteorological Parametrization Scheme (LUMPS), *journal of applied meteorology*, 2002, 41 : 792-810.
- GROLEAU Dominique, FRAGNAUD Fernand, ROSANT Jean-Michel**, Simulation of the radiative behavior of an urban quarter of Marseille with SOLENE model. In: Fifth International Conference on urban climate, Lodz, Pologne, 1-5 septembre 2003.
- ICHINOSE T., SHIMODOZONO K., HANAKI K.**, Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo, *Atmospheric Environment*, octobre 1999, vol. 33, n° 24-25, pp. 3897- 3909.

- IZARD Jean Louis, GUYOT Alain**, Archi. Bio, éditions Parenthèses, Paris, 1979, p 96.
- JOHANSSON E.**, "Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dryclimate: A study in Fès, Morocco," *Building and Environment*, 2006, 41(10): 1326-1338.
- KATZSCHNER Lutz**, The Urban Climate as a Parameter for Urban Development. *Energy and Buildings*, vol.11, 1988, pp.137-147.
- LANDSBERG H.E.**, The urban climate, Academic Press, 1981, 275p.
- LAKSHMI, V., Zehrhuhs, D., Jackson, T.**, Observations of land surface temperature and its relationship to soil moisture during SGP99, Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2000. IEEE 2000 International, Vol. 3, pp. 1256-1258, 2000.
- LAVIGNE. P.**, « Architecture climatique, une contribution au développement durable » Ed. Sud. Aix en Provence. 1994. P.11.
- LIEBARD, A., DEHERDE, A.**, *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques : concevoir, édifier et aménager avec le développement durable*. Le Moniteur, Paris, 776 p, 2005.
- LUXMORE D., JAYASINGHE M.T.R., MAHENDRAN M.**, Mitigating temperature increases in high lot density sub-tropical residential developments, *Energy and Buildings*, 2005, Vol. p. 1212.
- MALVERTI Xavier et PICARD Aleth**, Les saisons dans la ville, 1990, p115.
- MASSON V.**, Urban surface modelling and the mesoscale impact of cities, *Theoretical and Applied Climatology*, 2006, vol. 84, n° 1-3, pp. 35-45.
- MAZOUZ Saïd**, *Eléments de conception architecturale*, Office des Publications universitaires, 2004, p177.
- MINISTERE DE L'HABITAT**, *Recommandations Architecturales*, ENAG édition, Alger, 1993, P9, P10, P11.
- MILLS G. M.**, The Urban Canopy Layer Heat Island. IAUC Teaching Resources, 2005.
- MILLS G. M.**, simulation of the energy budget of an urban canyon -1, model structure and sensitivity test, atmospheric environment, 1993, B27 : 157-170.
- MUSY MARJORIE, RAMOS FABIEN, SIRET DANIEL, MOREAU GUILLAUME, MARENNE CHRISTIAN**, Développement d'un SIG 3D dédié au diagnostic des potentialités environnementales des bâtiments. *Revue Internationale de Géomatique*, 2006, vol.16, n°1, p. 71-91.
- MUSY, M.**, Adjustment of Urban Microclimate for the Improvement of Open Space Comfort and Building. Energy Consumption. In *The 2nd International conference on the urban development in the 21st century: urban local identity in the process of globalization*. Wuhan (China), 16-18 Novembre 2007.
- 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 semiarides- cas de Biskra », mémoire de magister, université Mohamed Khidder Biskra, 2002, p13.

-MATZARAKIS.A, MAYER.H, IZIOMON.M.G, Applications of a universal thermalindex: physiological equivalent temperature, *Int J Biometeorol*, 1999, 43:76-84.

-MONTEITH J.L., UNSWORTH M.H., 1991, *Principles of environmental physics*. 1991, New York: Edward Arnold, 291 p.

-MESTAYER. P.G., ANQUETIN. S., *Climatology of cities. In Diffusion and Transport of pollutants in Atmospheric Mesoscale Flow Fields* . A. Gyr F.S. Rys editors, ERCOFTAC Series, Kluwer Academics Press p. 1994, 165-189.

-NAKAMURA Y., OKE T.R., Wind, temperature and stability conditions in an eastwest oriented urban canyon, *Atmospheric Environment*, 1988, vol. 22, n° 12, pp. 2691-2700.

-NUNEZ M, OKE T.R, The energy balance of an urban canyon, *journal of applied meteorology*, 1977, 16 :11-19.

-NORBERG-SCHULZ Ch, habité. Vers une architecture figurative, édition moniteur, paris, 1985.

-NIACHOU A, PAPAKONSTANTINO K, SANTAMOURIS M., Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. *Energy Build*, 2001, vol. 33, n° 7. p. 719-729.

-Office national de la météorologie

-OKE T.R., City size and the urban heat island, *Atmospheric environment*, aout 1973, Vol. 7, n°8, pp, 769-779.

-OKE T.R., MAXWELL G.B., Urban heat island dynamics in Montreal and Vancouver, *Atmospheric Environment*, février 1975, Vol. 9, n°2, pp. 191-200.

-OKE T.R., Street design and urban canopy layer climate, *Energy and Buildings*, 1988, Vol. 11, pp. 103-113.

-OKE T.R., Canyon geometry and the nocturnal urban heat island : Comparison of scale model and field observations. *Journal of climatology*, 1981, vol.1, p. 237-254.

-OKE T.R., SPRONKEN-SMITH R.A., JAUREGUI E., GRIMMOND C.S.B., « The energy balance of central Mexico City during the dry season », *Atmospheric Environment*, octobre 1999, vol. 33, n° 24-25, pp. 3919-3930.

-OKE T.R., *Boundary layer climates*, Sec Edition, Methuen, London and New York, 1987.

-OKE T.R., initial guidance to obtain representative meteorological observations a turban sites, World Meteorological Organisation, Instruments and observing methods, report n°81, 2004.

- OKE, T.R. JOHNSON, G.T. STEYN, D.G. WATSON, I.D.**, Simulation of surface urban heat islands under ‘ideal’ conditions at night – part 2: Diagnosis and causation. *Boundary Layer Meteorology*, vol.56, n°3, 1991, p. 275-294.
- OLIVA, J.P., COURGEY, S.**, La conception bioclimatique : des maisons économes et confortables en neuf et en réhabilitation. Terre vivante, 240 p., 2006.
- Paroli, R.M., Gallagher, J.**, Les toits verts, les toits blancs et les toits hauteperformance : distinguer les faits de la fiction, *Canadian Property Management* : B.C./Alberta Edition, Vol. 16, No. 1, pp. 1-4. 2008.
- PELLETIER Jean, DELFANTE Charles**, Villes et urbanisme dans le monde, Armand Colin Editeur, Paris, 2000, P123.
- PENEAU, J. P.**, Morphologie urbaine et climat urbain, Energie et climat urbain : actes de journée du CUEPE, 1995, p19.
- PIGEON G., LEMONSU A., MASSON V., HIDALGO J.** De l’observation du microclimat urbain à la modélisation intégrée de la ville, *La Météorologie*, No. 52, 2008, pp. 39-47.
- Pigeon, G.**, « *Les échanges surface-atmosphère en zone urbaine- Projets clu-escompte et Capitoul* ». Mémoire de doctorat. Université Paul Sabatier Toulouse III, écoledoctorale des sciences de l’univers, de l’environnement et de l’espace, Toulouse (France), 2007, 172 p.
- PENEAU. J-P.**, *Morphologie urbaine et climat urbain*. Ed. Moniteur, Paris, 1988, p.177
- Peck, AB, GB Taylor et JE Conway.**, « Obscuration of the Parsec-scale Jets in the compact symmetric Object ». *ApJ*, 1999, no521, 103 p.
- RINGENBACH, Nicolas.**, *Bilan radiatif et flux de chaleur en climatologie urbaine : mesures, modélisation et validation sur Strasbourg*. Thèse : climatologie et temps, Strasbourg I, 2004, 167 p.
- ROBERTS, Sarah M. OKE, TR. LEMONSU, A. GRIMMOND, CSB. JACKSON, P.**, Sensitivity of surface-atmosphere energy exchanges within urban areas derived from simulations. In : 84th AMS Annual Meeting : Symposium on planning, nowcasting, and forecasting in the urban zone, *Seattle, Etat-Unis, 12-15 janvier 2004*.
- ROBINSON Darren.**, Urban morphology and indicators of radiation availability. *Solar Energy*, vol.80, 2006, p.1643.
- RUNSHENG T, MEIR I.A., ETZION Y.**, An analysis of absorbed radiation by domed and vaulted roofs as compared with flat roofs. *Energy Build.* 2003, vol. 35, n° 6. p. 539-548.
- RESSOURCES NATURELLES CANADA**, 2009, Guide d’achat ENERGY STAR. Accessible au : <http://oee.nrcan.gc.ca/publications/equipement/m27-01-2227f.cfm?attr=12>. Consulté le 1er avril 2009.
- SAILOR, David J. DIETSCH, Nikolaas.** The urban heat island mitigation impact screening tool (MIST). *Mitigation impact screening tool* [en ligne]. 2005 [réf. du 26 mars 2007], 22p. Disponible sur : <http://www.heatislandmitigationtool.com/>
- SALOMON, T., AUBERT, C.**, *La fraîcheur sans clim.* Terre Vivante, Paris, 160 p., 2004.

- SANTAMORIS M.**, *Thermal Balance in the urban environment, Energy and climate in the urban built environment*, James & James, London, 2001, pp. 39-47.
- SACRE. CHRISTIAN**, *Le confort dans les espaces extérieurs : analyse microclimatique*. Nantes : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, division climatologie, 1983, 138 p.
- SANTAMOURIS. MATHEOS**, *Passive cooling of buildings*. Advances of solar energy, ISES, James and James Science Publishers, London, 2005.
- SAIGHI M.**, *Nouveau modèle de transfert hydrique dans le système sol-plante- atmosphère*, Thèse de Doctorat, Université des sciences et technologies Houari Boumediene- 2002, USTHB.
- SIMPSON J.R., MCPHERSON E.G.**, 1997. The effects of roof albedo modification on cooling loads of scale model residences in Tucson, Arizona. *Energy Build*, 1997, vol. 25, n° 2. p. 127-137.
- SYNNEFA, A., SANTAMOURIS, M., APOSTOLAKIS, K.**, On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment, *Solar Energy*, Vol. 81, No. 4, pp. 488-497, 2007.
- **SAIDOUNI MAOUIA**, *Eléments d'introduction à l'urbanisme*, Alger, Casbah édition, 2000, p32-65.
- SANTAMORIS M.**, *Energy climate in the urban built environment*, James & James, London, 2001.
- SANTAMORIS M.**, *Thermal Balance in the urban environment, Energy and climate in the urban built environment*, James & James, London, 2001, pp. 39-47.
- SCHERER D., FEHRENBACH U., BEHA H.-D., PARLOW E.**, Improved concepts and methods in analysis and evaluation of the urban climate for optimizing urban planning processes. *Atmospheric Environment*, 1999, vol.33, pp. 4185-4193.
- SZPIRGLAS J., VOOGT J.A.**, A validation and performance assessment of the surface heat island model, in FACULTY OF GEOGRAPHICAL SCIENCES, Fifth International Conference on Urban Climate, 1-5 septembre 2003, Lodz, Lodz, Poland : University of Lodz, 2003.
- STEEMERS K. et STEANE M.A.**, *Environmental Diversity in Architecture*, Spon Press, Great Britain, 2004.
- TABEAUD Martine**, *La climatologie*, Edition ARMAND COLIN, Paris, 2000, p 156-157.
- TAHA H.**, Urban Climates and heat islands : albedo, evapotranspiration and anthropogenic heat, *Energy and buildings*, 1997, Vol. 25, n° 2, pp. 99-103.
- TERJUNG W. H., O'ROURKE P.A.**, Simulating the causal elements of urban heat islands, *Boundary-Layer Meteorology*, août 1980, vol. 19, n° 1.
- TAYAR A-Hakim**, *Espace de communication et climat, mémoire de Magistère*, Université de Biskra, 1996, p8.

- THIBERGE, C.**, La ville en creux, éditions du Linteau, Paris, 2002, 335p.
- TANG R, MEIR I.A., WU T.**, Thermal performance of non air-conditioned buildings with vaulted roofs in comparison with flat roofs. *Build. Environ*, 2006, vol. 41, n° 3. p. 268-276.
- SANTAMORIS M.**, *Thermal Balance in the urban environment, Energy and climate in the urban built environment*, James & James, London, 2001, pp. 39-47.
- SIMPSON J.R., MCPHERSON E.G.**, 1997. The effects of roof albedo modification on cooling loads of scale model residences in Tucson, Arizona. *Energy Build*, 1997, vol. 25, n° 2. p. 127-137.
- SYNNEFA, A., Santamouris, M., Apostolakis, K.**, On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment, *Solar Energy*, Vol. 81, No. 4, pp. 488-497, 2007.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA)**, Reducing urban heat islands: compendium of strategies, urban heat island basics. USEPA, Washington, DC, 2008, 19 p.
- UherekElmar.**, 2005. En ligne.
<http://www.atmosphere.mpg.de/enid/0,55a304092d09/Climate_in_brief/_Climate_in_Cities_2t9.html>. MPI for chemistry. Mainz. Consulté le 09juin 2012.
- **VOOGT J.A, OKE T.R.**, validation of an urban canyon radiation model for nocturnal long-wave fluxes, *boundary-layer meteorology* 54 : 347-361.
- WENG G., LU D., SCHUBRING J.**, Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies, *Remote sensing of environment*, février 2004, Vol.89, n°4, pp.467-483.
- YAP. D.**, Seasonal excess urban energy and the nocturnal heat island – Toronto. *Theoretical and Applied Climatology*, vol.23, n° 1-2, 1975, p. 69-80.
- YOSHIDA. A,TOMINAGA, K,WATANI. S**, *Field measurements on energy balance of an urban canyon in the summer season*. *Energy and Buildings* 1990–91;15–16:417–23.
- **SHASHUA . L, Hoffman Bar et M.E.** . *Geometry and orientation aspects in passive cooling of canyon streetswith trees*”. *Passive low energy in architecture*. 2000. p.483-488
- SZOKOLAY.S.V**, « *Environmental science handbook for architects and builders* », the construction press, 1980.

Annexe 1

Station °1 Tableau 1: Mesure de paramètres climatiques, station 1 (rue canyon).

Heure	Température de l'air (°C)	Température surfacique de sol (°C) (Asphalte)	Température surfacique de mur (°C)	Humidité relative (%)	Vitesse de l'air (m/s)	Température moyenne radiante (C°)
08h	40.7	39.4	39,8	21.0	0.51	40,6
10h	44.8	45.9	44,7	18.6	0.30	43,9
12h	46	47.8	53	15.2	0.25	47,3
14h	47.8	50.3	54	14.2	0.20	48,3
16h	46.7	45.3	53,5	11.1	0.15	48,1
18h	43.2	43.2	50	18.2	0.30	46,5
20h	48.7	49.1	43,2	20.4	1.20	36,7
22h	45.3	44.2	42,2	21.5	1.30	35,1
24h	44.2	41.1	41,1	20.2	1.35	34,8
02h	44.1	41	41,2	21.6	0.90	34,6
04h	43.8	42.1	41	22.3	0.85	33,5
06h	42.7	42.3	40	23.2	0.80	33,5
08h	40.6	38.1	39,8	18.2	1.20	39,8
10h	46.3	47.7	46,1	16.2	0.90	43
12h	51.4	58.7	52,6	13.1	0.58	47
14h	52.1	63.2	53,7	11.3	0.52	48,2
16h	51.6	52.1	53,2	11.0	0.51	48,2
18h	47.8	47.5	48,9	11.0	0.61	46,9
20h	48.6	47.3	44,1	13.7	1.32	39,3
22h	43.2	42.6	39,1	21.4	2.34	36
24h	40.1	40.1	39,2	20.7	3.7	34
02h	41.7	38.6	38,8	21.6	3.2	33
04h	41.7	37.2	37,6	23.2	2.50	33
06h	40.8	36.8	36,5	25.2	1.84	35,3
08h	40.2	39.5	39,7	20.4	0.80	39,8
10h	44.3	45.3	44,2	17.2	0.60	42,3
12h	47.5	50.3	48,6	15.5	0.65	45,6
14h	49.3	60.8	52,2	9.9	0.77	47
16h	48.1	47.7	52,1	12.4	0.60	48
18h	45.3	45.2	46,8	15.7	0.80	47
20h	49.2	47.3	45,3	19.8	0.81	38,4
22h	46.2	42.1	41,8	21.3	0.84	38,2
24h	45.9	41	39	20.2	0.90	37,8
02h	46.1	41.2	37	21.7	0.85	36,2
04h	45.3	40.6	36	22.6	0.63	35,4
06h	44.2	40.8	36	22.8	0.50	35,1
08h	45.1	44.3	35	21.5	0.45	35

Station °2 Tableau 2: Mesure de paramètres climatiques, station 2 (rue dièdre).

Heure	Température de l'air (°C)	Température surfacique de sol (°C) (Asphalte)	Température surfacique de mur (°C)	Humidité relative (%)	Vitesse de l'air (m/s)	Température moyenne radiante (C°)
08h	41.3	40.4	40,7	24.4	-218,5	49,3
10h	43.6	40.1	42,3	18.3	-1024	50,1
12h	49.9	63.3	48	12.2	+8613,9	50,9
14h	52.2	65.7	49	8.6	+7415,4	52,3
16h	50.1	50.0	49,4	8.4	+333,3	49,6
18h	48.6	48.3	47,6	18.3	+38	47,3
20h	45.4	47.3	47,6	19.2	+710,2	46,1
22h	48.6	48.4	45,2	22.2	-52,7	44,3
24h	47.2	46.3	45,2	20.1	-486,7	44,6
02h	46.2	46.4	44,2	22.7	+38	43,5
04h	43.8	44.5	43,7	23.1	+76	41,6
06h	40.6	41.8	40,3	23.8	+497,3	41,7
08h	39.8	43	41	18.5	+1214,2	40,8
10h	45.6	42.8	43,8	16.2	-1132,1	46,7
12h	48.3	64.4	48,9	11.5	+12395	51
14h	52.3	65.8	47,7	11.7	+6684	52
16h	50.1	60.4	49,3	13.2	+4003,7	50
18h	49.2	51.8	48,1	14.2	+1156,2	47
20h	41.3	49.6	46,5	16.7	+3308,8	45
22h	45.5	46.2	44,3	20.2	+375,7	44
24h	40.1	42	40,7	21.7	+973,6	43,2
02h	39.8	39.9	38,6	22.3	+38	43
04h	38.4	38.8	37,7	23.2	+38	41,5
06h	36.3	37.6	37,1	25.1	+351	40
08h	39.6	36.8	38,2	19.4	-525,6	47
10h	41.9	38.9	40,5	17.2	-931,3	48
12h	44.7	60	47,4	15.3	+12216,3	49
14h	48.2	64.1	46	9.9	+14155,9	51,4
16h	46.7	58.8	45,6	11.1	+8525,7	49,6
18h	45.3	55.6	44,2	13.7	+6283,1	47,3
20h	39.8	50.7	41,2	18.7	+4330,8	44,1
22h	40.1	41.6	40,5	22.3	+408,6	43
24h	39.7	40.1	40	20.1	145,1	42,5
02h	38.7	39.1	38,5	21.3	+150	42
04h	36.5	37.5	38	22.4	+267,9	41,7
06h	36.1	37.3	37	24.2	+277,3	41
08h	35	34.7	36	22.7	-2,2	40

Station °3 Tableau 3: Mesure de paramètres climatiques, station 3 (rue dégagé).

Heure	Température de l'air (°C)	Température surfacique de sol (°C) (Asphalte)	Température surfacique de mur (°C)	Humidité relative (%)	Vitesse de l'air (m/s)	Température moyenne radiante (C°)
08h	37,4	43,2	43	24,4	0,47	41,5
10h	38,6	45,6	44,6	19,6	0,78	46,8
12h	46,2	47,3	44,9	13,2	1,46	50,4
14h	51,6	53,2	47,8	12,3	0,96	57,8
16h	49,6	51	49,4	15,2	0,9	54,3
18h	48,6	50,6	49,1	21,1	0,85	50,1
20h	46,5	49,5	46,2	21,3	0,51	47,2
22h	49,8	48,3	45	22,8	0,46	42,3
24h	46,7	47,5	46,7	20,7	0,61	40,9
02h	44,8	46,3	44,6	21,9	0,7	38,2
04h	43,5	45,2	43,2	22,3	0,78	40
06h	42,3	43,1	41,1	22,9	0,79	45
08h	39	41,4	40,9	23,7	0,8	50
10h	45,8	46,3	43,3	19,1	1,2	55
12h	49,4	60,6	46,3	11,2	2,5	58
14h	53,6	64,2	47,5	14,2	0,88	55
16h	48,1	49,3	48,4	15	1,3	54
18h	45,4	49,2	46,8	15,3	1,08	50
20h	48,1	48,5	45,1	24,4	3,1	47,1
22h	48,6	46,2	46	26,3	3,2	40,3
24h	47,9	43,4	45	22,6	1,83	37,9
02h	45,5	42,1	43	23,4	1,6	40
04h	40,2	40,2	39	24	0,93	41
06h	36,6	38,8	36,4	24,3	0,68	43
08h	38,9	39,7	35,8	24,7	0,43	46
10h	41,3	43,8	40,2	19,2	0,25	51
12h	45,6	54,9	45,6	16,4	0,98	55
14h	51,3	57,5	46,5	12,2	1,58	58
16h	48,1	52,6	49,3	15,7	0,87	52
18h	47,7	52,6	48,5	19,3	0,77	48,2
20h	45,8	49,1	45,8	19,8	0,6	45
22h	47,2	46,6	47	23,2	0,52	40
24h	46,6	45	46,5	20,4	0,5	37
02h	44,3	45,7	44,3	22,1	0,35	39,6
04h	43,6	44,8	43,9	23,4	0,2	42,3
06h	41,4	44,1	40,8	23,2	0,1	44,5
08h	42,1	43,4	41,3	24	0,15	46,8

Station °4 Tableau 4: Mesure de paramètres climatiques, station 4 (rue canyon).

Heure	Température de l'air (°C)	Température surfacique de sol (°C) (béton)	Température surfacique de mur (°C)	Humidité relative (%)	Vitesse de l'air (m/s)	Température moyenne radiante (C°)
08h	40,2	41,7	43,2	27,1	1,15	39,8
10h	45,6	41,4	45	20,6	0,80	46,9
12h	47,3	41	47	12,6	0,39	50,4
14h	49,1	49,1	50,7	10,7	0,40	48,3
16h	51,6	48,8	53	18,9	0,41	46,2
18h	48,3	50,2	52	21,8	0,43	40,1
20h	42,1	47,3	50	25,5	0,46	38,6
22h	46,3	42,3	47	29,2	0,47	35,5
24h	45,1	42,1	47,3	31,4	0,36	39,6
02h	45	41,7	45	26,3	0,32	37,2
04h	44,6	40,6	44,8	24,2	0,30	35,1
06h	43,2	39,8	44,3	23	0,29	45
08h	41,4	42,3	43,5	18,2	0,52	49
10h	46,9	42,5	45,8	14,7	0,90	50
12h	50,7	42,9	46,1	11,2	1,01	51,4
14h	52,1	52,1	53,1	13,7	0,29	50
16h	54,4	51,7	52,3	12	1,30	47,6
18h	48	53,6	49,3	12,9	0,18	45
20h	41,2	48,5	48	26,4	2,30	37,3
22h	47,8	45,1	47,1	22,6	2,20	35,8
24h	46,03	45,8	46,7	21,7	1,50	40
02h	44,9	43,3	44,6	22	1,20	37,5
04h	39,4	38,4	40	24,8	0,80	36,4
06h	36,7	35,8	38	25,1	0,43	35,3
08h	42,3	43,5	43,3	22,4	0,30	45
10h	45,4	44,8	44,9	20,2	0,60	50
12h	49,7	47,6	47,3	12,4	0,65	50,8
14h	50,3	50,3	52,6	11,6	0,81	49,3
16h	52,3	51,3	51,1	18,7	0,50	45
18h	49,5	53,6	50,6	22	0,29	37,3
20h	46,4	49,8	48,7	21,6	0,90	36,4
22h	49,3	47,1	49,5	20,9	1,25	38,4
24h	47,2	46,8	47	21	0,80	40
02h	47,1	43,6	46,8	22,6	0,50	37,3
04h	45,6	41,2	45,7	22,9	0,30	36,1
06h	44,2	39,8	45,9	23,3	0,20	35,4
08h	42,1	43,7	46,1	15,6	0,10	41,9

Station °5: Tableau 5: Mesure de paramètres climatiques, station 5 (rue dièdre).

Heure	Température de l'air (°C)	Température surfacique de sol (°C) (béton)	Température surfacique de mur (°C)	Humidité relative (%)	Vitesse de l'air (m/s)	Température moyenne radiante (C°)
08h	40,4	42,8	39,6	23,3	1,04	45,3
10h	46,9	42,7	40	17,6	1,1	47,9
12h	48,1	58,3	41	13,5	1,24	48,6
14h	49,6	56,2	40,5	14,8	1,1	49,2
16h	44,1	45,10	40	16,9	1	47,1
18h	40,5	41,5	39	18,5	0,85	41
20h	38,2	39,6	39,1	20	0,73	40,5
22h	42,5	46,2	42	20,5	0,62	38,6
24h	39,4	40,4	39	22,7	0,24	38,4
02h	37,2	37,2	36,2	22,9	0,20	36,8
04h	37	37	36	24	0,10	34,3
06h	35,9	36,3	35,5	25,6	0,16	36,7
08h	43,3	46,5	40	18,4	0,95	45,1
10h	45,8	43,8	42,2	12,3	1,3	46,3
12h	47,2	59,1	41,5	11,2	1,63	47
14h	50,8	61,3	41,3	12,4	1,04	46,6
16h	48,1	49	41	10,1	0,8	43
18h	47	48,3	41,3	12,6	0,62	39,6
20h	41,9	46,1	39,7	25	3	38
22h	43,8	45,2	42,3	27,4	3,2	37
24h	39,7	41,1	39,3	20,8	3	35
02h	38,6	38,6	37,6	18,6	2,62	34
04h	36,5	36,5	35,4	16,8	1,43	33
06h	36,2	37,2	36,4	25,4	1,11	35,1
08h	39,6	36,5	36,2	21,6	0,80	40
10h	40	37,2	38,2	19,1	0,45	44
12h	42,7	55,4	40,5	13,3	2,70	46,8
14h	46,5	60,5	39,3	9,9	0,90	46,6
16h	44,4	53,2	39	10,2	0,35	45
18h	43,5	49,8	38,7	12,8	0,3	43
20h	38,1	44,8	38	17,5	0,38	41,5
22h	40,3	41,6	40,9	20,2	1,32	38,7
24h	38,2	39,1	38,3	22,6	0,92	36,5
02h	37,5	37,5	37,6	20,8	0,90	36,1
04h	36,8	36,8	35,1	16,7	0,66	33,2
06h	35,2	36,4	35	19,8	0,98	33,6
08h	43,6	35	35	19,8	0,31	34

Station °6: Tableau 6: Mesure de paramètres climatiques, station 6 (rue dégagé).

Heure	Température de l'air (°C)	Température surfacique de sol (°C) (béton)	Température surfacique de mur (°C)	Humidité relative (%)	Vitesse de l'air (m/s)	Température moyenne radiante (C°)
08h	42,3	42,3	41,7	8,58	1,45	45,8
10h	42,6	43,8	43,4	10,60	0,96	50
12h	45,3	50,6	45,2	12,4	0,87	51,6
14h	48,7	51,6	46,5	11,2	0,6	52,6
16h	46,8	48,3	46,2	16	0,3	48,2
18h	43,5	47,2	44,2	19,5	0,85	45,4
20h	42,2	44	42,1	20,3	1,2	40
22h	48,5	49,6	44	23,1	1,5	39
24h	45,2	47,3	46	21,7	0,97	37
02h	43,1	46,2	43,3	19,6	0,73	35,6
04h	41,5	42,1	41,2	19,8	0,54	35
06h	39,4	39,4	38,6	18,4	0,36	38
08h	39	40,5	40,5	17,8	0,97	45,3
10h	41,8	43,8	45	15,9	0,8	47,8
12h	47,1	48,1	47,8	11,1	0,72	50,8
14h	48,2	49,5	49	11,4	2,34	49,3
16h	46,3	48,4	47,2	11	1,75	47,1
18h	44,1	46,3	45,1	12,9	0,54	45
20h	41,1	43,5	42,9	24,4	3,1	39
22h	46	47,1	46,3	27,2	3,2	38,1
24h	40,1	41,1	40,1	21,2	3,7	35
02h	39,5	40,2	39	18,3	1,95	34
04h	37,2	38,6	36,9	20,1	1,66	33,6
06h	36,6	38	36,1	26,1	0,7	34,3
08h	40,8	42,7	39,9	26,8	0,68	45
10h	42,2	43,4	43,6	27,2	0,5	47
12h	45,1	48,5	45,2	12,3	1,02	49,1
14h	47,9	49,2	47,1	11,1	0,8	50,1
16h	46,2	47,6	46	11	0,61	48,6
18h	44,3	46	42,7	13,4	0,58	45,2
20h	41,2	43,2	40,3	16,8	0,3	42
22h	46,5	48,3	46,2	19,9	1,11	38
24h	45,6	46,8	45,1	17,3	0,81	36
02h	38,5	41,1	38,1	15,2	0,72	35,6
04h	35,3	37,6	35,1	18,6	0,68	33
06h	35,1	36,8	36,1	20,3	0,4	32,7
08h	39,6	40,7	40,2	22,3	0,91	37

Annexe 2

Station °1 : Tableau 1: les paramètres climatiques mesurés et le bilan énergétique, Rn, station 1 (rue canyon).

Heure	Température de l'air (°C)	Température surfacique de sol (°C) (Asphalte)	Température de sous-sol (°C) (Asphalte)		Humidité relative (%)	Vitesse de l'air (m/s)	Bilan énergétique Rn (w/m ²) (Asphalte)	Flux de chaleur latente (LvE) (w/m ²)	Flux de chaleur sensible (H) (w/m ²)	Flux de chaleur conductive (G) (w/m ²)
			à 5cm	à 10cm						
08h	40.7	39.4	34	35	21.0	0.51	-295,3	--335	+1,7	+38
10h	44.8	45.9	38	39	18.6	0.30	+741,4	+303,6	-1,2	+38
12h	46	47.8	41	41	15.2	0.25	+537,9	+501,9	-1,9	+38
14h	47.8	50.3	43	44	14.2	0.20	+752	+716,5	-2,5	+38
16h	46.7	45.3	42	43	11.1	0.15	-289,5	-328,8	+1,3	+38
18h	43.2	43.2	41	42	18.2	0.30	+38	0	0	+38
20h	48.7	49.1	40	39	20.4	1.20	+162,7	+201,4	-0,7	-38
22h	45.3	44.2	37	35	21.5	1.30	-547,6	-473,6	+2	-76
24h	44.2	41.1	39	36	20.2	1.35	-1347,8	-1239,6	+5,8	-114
02h	44.1	41	36	34	21.6	0.90	-1132,1	-1061,1	+5	-76
04h	43.8	42.1	33	34	22.3	0.85	-540	-580,7	+2,7	+38
06h	42.7	42.3	32	34	23.2	0.80	-154,4	-231,5	+1,1	+76
08h	40.6	38.1	34	34	18.2	1.20	-794,3	-836,8	+4,5	+38
10h	46.3	47.7	39	39	16.2	0.90	+617,5	+581,7	-2,2	+38
12h	51.4	58.7	43	43	13.1	0.58	+3755,5	+3727,8	-10,3	+38
14h	52.1	63.2	44	45	11.3	0.52	+6061,6	+6061,6	-15,1	+38
16h	51.6	52.1	42	43	11.0	0.51	+248,8	+211,4	-0,6	+38
18h	47.8	47.5	41	42	11.0	0.61	+38	0	0	+38
20h	48.6	47.3	40	39	13.7	1.32	-686,4	-650,8	+2,4	-38
22h	43.2	42.6	38	36	21.4	2.34	-377,5	-302,9	+1,4	-76
24h	40.1	40.1	37	34	20.7	3.7	-114	0	0	-114
02h	41.7	38.6	35	34	21.6	3.2	-1591,7	-1561,9	+8,2	-38
04h	41.7	37.2	33	34	23.2	2.50	-1592,7	-1639,5	+9,3	+38
06h	40.8	36.8	32	34	25.2	1.84	-1434,1	-1518,6	+8,5	+76
08h	40.2	39.5	35	35	20.4	0.80	-166	-205,1	+1,1	+38
10h	44.3	45.3	38	39	17.2	0.60	+368,9	+332,3	-1,4	+38
12h	47.5	50.3	41	41	15.5	0.65	+1204,9	+1132,6	-4,1	+38
14h	49.3	60.8	44	45	9.9	0.77	+6513	+6492,8	-17,8	+38
16h	48.1	47.7	42	43	12.4	0.60	-112,4	-150,9	+0,5	+38
18h	45.3	45.2	41	42	15.7	0.80	+38	0	0	+38
20h	49.2	47.3	40	39	19.8	0.81	-845,2	-810,2	+3	-38
22h	46.2	42.1	37	35	21.3	0.84	-1552,4	-1469,9	+6,5	-76
24h	45.9	41	39	36	20.2	0.90	-1845,7	-1739,7	+8	-114
02h	46.1	41.2	36	35	21.7	0.85	-1748,2	-1718,7	+7,8	-38
04h	45.3	40.6	34	35	22.6	0.63	-1422,3	-1467,1	+6,8	+38
06h	44.2	40.8	33	35	22.8	0.50	-890,8	-971,3	+4,5	+7,6
08h	45.1	44.3	35	35	21.5	0.45	-200,5	-239,5	+1	+38

Station °2 : Tableau 2: les paramètres climatiques mesurés et le bilan énergétique, Rn, station 2 (Rue dièdre).

Heure	Température de l'air (°C)	Température surfacique de sol (°C) (Asphalte)	Température de sous-sol (°C) (Asphalte)		Humidité relative (%)	Vitesse de l'air (m/s)	Bilan énergétique Rn (w/m ²) (Asphalte)	Flux de chaleur latente (LvE) (w/m ²)	Flux de chaleur sensible (H) (w/m ²)	Flux de chaleur conductive (G) (w/m ²)
			à 5cm	à 10cm						
08h	41.3	40.4	35	35	24.4	-218,5	-218,5	-257,8	+1,3	+38
10h	43.6	40.1	36	37	18.3	-1024	-1024	-1067,2	+5,2	+38
12h	49.9	63.3	39	40	12.2	+8613,9	+8613,9	+8598	-22,1	+38
14h	52.2	65.7	38	38	8.6	+7415,4	+7415,4	+7395	-17,6	+38
16h	50.1	50.0	36	37	8.4	+333,3	+333,3	+296,3	-1	+38
18h	48.6	48.3	37	38	18.3	+38	+38	0	0	+38
20h	45.4	47.3	38	39	19.2	+710,2	+710,2	+674,9	-2,7	+38
22h	48.6	48.4	39	40	22.2	-52,7	-52,7	-91	+0,3	+38
24h	47.2	46.3	40	41	20.1	-486,7	-486,7	-526,7	+2	+38
02h	46.2	46.4	39	40	22.7	+38	+38	0	0	+38
04h	43.8	44.5	36	38	23.1	+76	+76	0	0	+76
06h	40.6	41.8	34	35	23.8	+497,3	+497,3	+461,6	-2,3	+38
08h	39.8	43	35	36	18.5	+1214,2	+1214,2	+1182	-5,8	+38
10h	45.6	42.8	37	38	16.2	-1132,1	-1132,1	-1175,3	+5,2	+38
12h	48.3	64.4	38	39	11.5	+12395	+12395	+12389,1	-32,1	+38
14h	52.3	65.8	36	37	11.7	+6684	+6684	+6661,7	-15,7	+38
16h	50.1	60.4	35	36	13.2	+4003,7	+4003,7	+3976,5	-10,8	+38
18h	49.2	51.8	37	38	14.2	+1156,2	+1156,2	+1122	-3,8	+38
20h	41.3	49.6	38	39	16.7	+3308,8	+3308,8	+3284,3	-13,5	+38
22h	45.5	46.2	39	40	20.2	+375,7	+375,7	+339	-1,3	+38
24h	40.1	42	40	41	21.7	+973,6	+973,6	+940,2	-4,6	+38
02h	39.8	39.9	37	38	22.3	+38	+38	0	0	+38
04h	38.4	38.8	35	36	23.2	+38	+38	0	0	+38
06h	36.3	37.6	34	34	25.1	+351	+351	+314,9	-1,9	+38
08h	39.6	36.8	35	36	19.4	-525,6	-525,6	-566,8	+3,2	+38
10h	41.9	38.9	36	37	17.2	-931,3	-931,3	-974,3	+5	+38
12h	44.7	60	37	38	15.3	+12216,3	+12216,3	+12214,9	-36,6	+38
14h	48.2	64.1	38	39	9.9	+14155,9	+14155,9	+14154,7	-36,8	+38
16h	46.7	58.8	36	37	11.1	+8525,7	+8525,7	+8513,2	-25,5	+38
18h	45.3	55.6	37	30	13.7	+6283,1	+6283,1	+6265,8	-20,7	+38
20h	39.8	50.7	39	39	18.7	+4330,8	+4330,8	+4310,4	-17,6	+38
22h	40.1	41.6	40	41	22.3	+408,6	+408,6	+372,5	-1,9	+38
24h	39.7	40.1	41	42	20.1	145,1	145,1	+107,6	-0,5	+38
02h	38.7	39.1	39	40	21.3	+150	+150	+112,6	-0,6	+38
04h	36.5	37.5	37	39	22.4	+267,9	+267,9	+193	-1,1	+76
06h	36.1	37.3	36	38	24.2	+277,3	+277,3	+202,5	-1,2	+76
08h	35	34.7	35	36	22.7	-2,2	-2,2	-40,4	+0,2	+38

Station °3: Tableau 3: les paramètres climatiques mesurés et le bilan énergétique, Rn, station 3 (Rue dégagé).

Heure	Température de l'air (°C)	Température surfacique de sol (°C) (Asphalte)	Température de sous-sol (°C) (Asphalte)		Humidité relative (%)	Vitesse de l'air (m/s)	Bilan énergétique G (w/m ²) (Asphalte)	Flux de chaleur latente (LvE) (w/m ²)	Flux de chaleur sensible (H) (w/m ²)	Flux de chaleur conductive (G) (w/m ²)
			à 5cm	à 10cm						
08h	37,4	43,2	34	35	24,4	0,47	+1525	+1494,6	-7,6	+38
10h	38,6	45,6	37	38	19,6	0,78	+2324,7	+2297,6	-10,91	+38
12h	46,2	47,3	39	40	13,2	1,46	+580,2	+544,3	-2,14	+38
14h	51,6	53,2	41	43	12,3	0,96	+76	0	0	+76
16h	49,6	51	39	42	15,2	0,9	+328,7	+215,6	-0,98	+114
18h	48,6	50,6	37	39	21,1	0,85	+1965,6	+1896	-6,42	+76
20h	46,5	49,5	36	38	21,3	0,51	+1162,2	+1090,2	-4,07	+76
22h	49,8	48,3	39	41	22,8	0,46	+1241,4	+1169,9	-4,5	+76
24h	46,7	47,5	41	42	20,7	0,61	+165952	+1628	-6,8	+38
02h	44,8	46,3	37	38	21,9	0,7	+1861,4	+1831,6	-8,2	+38
04h	43,5	45,2	36	37	22,3	0,78	+1263,7	+1231,4	-5,7	+38
06h	42,3	43,1	35	36	22,9	0,79	+621,5	+586,3	-2,8	+38
08h	39	41,4	36	37	23,7	0,8	+766,3	+718	-3,7	+38
10h	45,8	46,3	38	39	19,1	1,2	+26,8	+223,7	-0,9	+38
12h	49,4	60,6	39	40	11,2	2,5	+9804,7	+9793,5	-26,8	+38
14h	53,6	64,2	41	43	14,2	0,88	+7277,8	+7219	-17,2	+76
16h	48,1	49,3	38	40	15	1,3	+684,7	+611	-2,2	+76
18h	45,4	49,2	37	39	15,3	1,08	+1332,1	+1304,1	-4,8	+76
20h	48,1	48,5	36	38	24,4	3,1	+2192,1	+2124,4	-8,36	+76
22h	48,6	46,2	39	40	26,3	3,2	-1613,1	-1657,4	+6,3	+38
24h	47,9	43,4	40	41	22,6	1,83	-2242,9	-2290,4	+9,5	+38
02h	45,5	42,1	37	38	23,4	1,6	-1482,6	-1527,4	+6,8	+38
04h	40,2	40,2	36	37	24	0,93	+38	0	0	+38
06h	36,6	38,8	35	36	24,3	0,68	++599,3	+564,5	-3,2	+38
08h	38,9	39,7	36	37	24,7	0,43	+227,4	+190,4	-1,02	+38
10h	41,3	43,8	38	39	19,2	0,25	+616,5	+581,2	-2,75	+38
12h	45,6	54,9	39	41	16,4	0,98	+4738,9	+4678,5	-15,6	+76
14h	51,3	57,5	41	44	12,2	1,58	+4468,4	+4366,8	-12,4	+114
16h	48,1	52,6	39	41	15,7	0,87	+2226,7	+2157,9	-7,2	+76
18h	47,7	52,6	37	39	19,3	0,77	+2306	+2237,6	-7,6	+76
20h	45,8	49,1	36	38	19,8	0,6	+1301,6	+1230,3	-4,7	+76
22h	47,2	46,6	40	41	23,2	0,52	-168,2	-207	+0,8	+38
24h	46,6	45	41	42	20,4	0,5	-486,5	-526,6	+2,1	+38
02h	44,3	45,7	38	39	22,1	0,35	+429,5	+393,1	-1,6	+38
04h	43,6	44,8	37	38	23,4	0,2	+317,2	+280,4	-1,2	+38
06h	41,4	44,1	35	36	23,2	0,1	+534,7	+499	-2,3	+38
08h	42,1	43,4	36	37	24	0,15	+304,1	+267,3	-1,2	+38

Station 04 : Tableau 4: les paramètres climatiques mesurés et le bilan énergétique, Rn, station 4(Rue canyon).

Hour	Température de l'air (°C)	Température surfacique de sol (°C) (Béton)	Température de sous-sol (°C) (Béton)		Humidité relative (%)	Vitesse de l'air (m/s)	Bilan énergétique Rn (w/m ²) (Béton)	Flux de chaleur latente (LvE) (w/m ²)	Flux de chaleur sensible (H) (w/m ²)	Flux de chaleur conductive (G) (w/m ²)
			à 4cm	à 8cm						
08h	40,2	41.7	34	33	27.1	1.15	+4911	+531.7	-2,6	-45
10h	45,6	41.4	36	38	20.6	0.80	-1337.6	-1434.2	+6,6	+90
12h	47,3	41	40	41	12.6	0.39	-1732.2	-1785	+7,8	+45
14h	49,1	49.1	45	46	10.7	0.40	+45	0	0	+45
16h	51,6	48.8	40	44	18.9	0.41	-839	-1022.5	+3,5	+180
18h	48,3	50.2	38	42	21.8	0.43	+867.4	+689.8	-2,4	+180
20h	42,1	47.3	37	39	25.5	0.46	+1698	+1614.8	-6,8	+90
22h	46,3	42.3	36	37	29.2	0.47	-1152.6	-1202.8	+5,2	+45
24h	45,1	42.1	35	33	31.4	0.36	-896.4	-810.9	+3,6	-90
02h	45	41.7	34	32	26.3	0.32	-920.8	-834.6	+3,8	-90
04h	44,6	40.6	32	31	24.2	0.30	-1019.5	-979.1	+4,6	-45
06h	43,2	39.8	31	32	23	0.29	-722.8	-771.6	+3,8	+45
08h	41,4	42.3	34	33	18.2	0.52	+205.3	+251.5	-1,2	-45
10h	46,9	42.5	36	37	14.7	0.90	-1595.5	-1647.7	+7,2	+45
12h	50,7	42.9	41	42	11.2	1.01	-3318.2	-3376.5	+13,3	+45
14h	52,1	52.1	47	48	13.7	0.29	+45	0	0	+45
16h	54,4	51.7	40	46	12	1.30	+13597.4	+13598.9	-28,5	+270
18h	48	53.6	38	44	12.9	0.18	+1942.7	+1678.3	-5,6	+270
20h	41,2	48.5	37	32	26.4	2.30	+4086.3	+4013.2	-16,9	+90
22h	47,8	45.1	36	37	22.6	2.20	-1483.6	-1534.7	+6,1	+45
24h	46,03	45.8	36	34	21.7	1.50	-332.8	-243.7	+0,9	-90
02h	44,9	43.3	35	33	22	1.20	-744.9	-657.8	+2,9	-90
04h	39,4	38.4	32	31	24.8	0.80	-324.5	-281	+1,5	-45
06h	36,7	35.8	30	33	25.1	0.43	-50.5	-186.6	+1,1	+135
08h	42,3	43.5	34	33	22.4	0.30	+253.3	+299.6	-1,3	-45
10h	45,4	44.8	35	36	20.2	0.60	-155.6	-201.4	+0,8	+45
12h	49,7	47.6	41	42	12.4	0.65	-786.2	-843.2	+3	+45
14h	50,3	50.3	46	47	11.6	0.81	+45	0	0	+45
16h	52,3	51.3	41	45	18.7	0.50	-239.9	-421.2	+1,3	+180
18h	49,5	53.6	39	43	22	0.29	+1430.5	+1430.5	-4,6	+180
20h	46,4	49.8	38	40	21.6	0.90	+1568.4	+1483.9	-5,5	+90
22h	49,3	47.1	37	38	20.9	1.25	-1042.9	-1091.9	+4	+45
24h	47,2	46.8	36	34	21	0.80	-248.3	-158.9	+0,6	-90
02h	47,1	43.6	35	33	22.6	0.50	-1213.4	-1128.1	+4,7	-90
04h	45,6	41.2	33	32	22.9	0.30	-1153.9	-1113.9	+5	-45
06h	44,2	39.8	31	32	23.3	0.20	-879.8	-929.3	+4,5	+45
08h	42,1	43.7	34	33	15.6	0.10	+250.6	+297	-1,4	-45

Station 5: Tableau 5: les paramètres climatiques mesurés et le bilan énergétique, Rn, station 5(Rue dièdre).

Heure	Température de l'air (°C)	Température surfacique de sol (°C) (Béton)	Température de sous-sol (°C) (Béton)		Humidité relative (%)	Vitesse de l'air (m/s)	Bilan énergétique Rn (w/m ²) (Béton)	Flux de chaleur latente (LvE) (w/m ²)	Flux de chaleur sensible (H) (w/m ²)	Flux de chaleur conductive (G) (w/m ²)
			à 4cm	à 8cm						
08h	40,4	42,8	34	35	23,3	1,04	+884,9	+844	-4,1	+45
10h	46,9	42,7	40	43	17,6	1,1	-1566,4	-1708,7	+7,3	+135
12h	48,1	58,3	43	45	13,5	1,24	+6313,7	+6242,4	-18,7	+90
14h	49,6	56,2	42	44	14,8	1,1	+38178,4	+38100	-11,6	+90
16h	44,1	45,10	40	41	16,9	1	+85,4	+42,1	-1,7	+45
18h	40,5	41,5	39	40	18,5	0,85	+358,4	+315,4	-1,6	+45
20h	38,2	39,6	37	38	20	0,73	+429,4	+386,5	-2,1	+45
22h	42,5	46,2	34	36	20,5	0,62	+1336,4	+1241,1	+5,3	+90
24h	39,4	40,4	38	39	22,7	0,24	+250,7	+206,7	-1	+45
02h	37,2	37,2	37	38	22,9	0,20	+45	0	0	+45
04h	37	37	36	37	24	0,10	+45	0	0	+45
06h	35,9	36,3	34	35	25,6	0,16	+106,1	+61,4	-0,3	+45
08h	43,3	46,5	34	37	18,4	0,95	+1331,8	+1247,1	-5,3	+90
10h	45,8	43,8	40	41	12,3	1,3	-813,2	-861,9	+3,7	+45
12h	47,2	59,1	43	44	11,2	1,63	+8122,5	+9101,6	-24,1	+45
14h	50,8	61,3	41	42	12,4	1,04	+6826,3	+6799,3	-18	+45
16h	48,1	49	39	40	10,1	0,8	+425,6	+382	-1,4	+45
18h	47	48,3	37	38	12,6	0,62	+541,4	+498,2	-1,8	+45
20h	41,9	46,1	36	37	25	3	+2497,9	+2463,7	-10,8	+45
22h	43,8	45,2	35	36	27,4	3,2	+896,9	+855,6	-3,7	+45
24h	39,7	41,1	37	38	20,8	3	+741,2	+699,8	-3,6	+45
02h	38,6	38,6	36	37	18,6	2,62	+45	0	0	+45
04h	36,5	36,5	35	36	16,8	1,43	+45	0	0	+45
06h	36,2	37,2	34	35	25,4	1,11	+331,7	+288,4	-1,7	+45
08h	39,6	36,5	34	37	21,6	0,80	-697,1	-386,9	+4,8	+135
10h	40	37,2	40	43	19,1	0,45	-504,3	-642,9	+3,6	+135
12h	42,7	55,4	43	44	13,3	2,70	+9057	+9043	-31	+45
14h	46,5	60,5	42	43	9,9	0,90	+7838,3	+7816,2	-22,9	+45
16h	44,4	53,2	40	41	10,2	0,35	+2182,2	+2147,8	-10,6	+45
18h	43,5	49,8	38	39	12,8	0,3	+1899,8	+1862	-7,2	+45
20h	38,1	44,8	36	37	17,5	0,38	+1719	+1682,3	-8,3	+45
22h	40,3	41,6	34	36	20,2	1,32	+573,8	+486,2	-2,4	+90
24h	38,2	39,1	38	39	22,6	0,92	+166,4	+122,8	-1,4	+45
02h	37,5	37,5	37	38	20,8	0,90	+45	0	0	+45
04h	36,8	36,8	36	37	16,7	0,66	+45	0	0	+45
06h	35,2	36,4	34	35	19,8	0,98	+363,1	+320,1	-2	+45
08h	43,6	35	34	37	19,8	0,31	+114,4	+69,8	-0,4	+45

Station °6: Tableau 6: les paramètres climatiques mesurés et le bilan énergétique, Rn, station 6(Rue dégagé).

Heure	Température de l'air (°C)	Température surfacique de sol (°C) (Béton)	Température de sous-sol (°C) (Béton)		Humidité relative (%)	Vitesse de l'air (m/s)	Bilan énergétique Rn (w/m ²) (Béton)	Flux de chaleur latente (LVE) (w/m ²)	Flux de chaleur sensible (H) (w/m ²)	Flux de chaleur conductive (G) (w/m ²)
			à 4cm	à 8cm						
08h	42,3	42,3	35	34	8,58	1,45	-45	0	0	-45
10h	42,6	43,8	42	43	10,60	0,96	+485,2	+442,2	-2	+45
12h	45,3	50,6	45	47	12,4	0,87	-6453	-6534,5	-8,5	+90
14h	48,7	51,6	44	46	11,2	0,6	+1292,5	+1206,6	-4,1	+90
16h	46,8	48,3	40	41	16	0,3	+498,8	+455,5	-1,7	+45
18h	43,5	47,2	37	38	19,5	0,85	+1451,3	+1412,2	-5,9	+45
20h	42,2	44	36	37	20,3	1,2	+761,4	+713,2	+3,2	+45
22h	48,5	49,6	35	37	23,1	1,5	+696,4	+608,5	-2,1	+90
24h	45,2	47,3	37	39	21,7	0,97	+967,9	+881,4	-3,5	+90
02h	43,1	46,2	36	38	19,6	0,73	+56143,5	+56058,2	-4,7	+90
04h	41,5	42,1	35	37	19,8	0,54	+260,5	+171,3	-0,8	+90
06h	39,4	39,4	33	35	18,4	0,36	+90	0	0	+90
08h	39	40,5	35	34	17,8	0,97	+429,2	+476,7	-2,5	-45
10h	41,8	43,8	41	42	15,9	0,8	+710,6	+668,7	-3,1	+45
12h	47,1	48,1	45	46	11,1	0,72	+443,1	+399,6	-1,5	+45
14h	48,2	49,5	44	46	11,4	2,34	+931,5	+844,5	-3	+90
16h	46,3	48,4	40	39	11	1,75	+1090,4	+1139,7	-4,3	-45
18h	44,1	46,3	37	38	12,9	0,54	+769,9	+727,9	-3	+45
20h	41,1	43,5	36	37	24,4	3,1	+1750,1	+1711,3	-6,2	+45
22h	46	47,1	35	36	27,2	3,2	+774,1	+732	-2,9	+45
24h	40,1	41,1	36	38	21,2	3,7	+637,1	+549,1	-2	+90
02h	39,5	40,2	35	37	18,3	1,95	+377,2	+288,7	-1,5	+90
04h	37,2	38,6	34	35	20,1	1,66	+540,9	+498,7	-2,8	+45
06h	36,6	38	33	35	26,1	0,7	+440,3	+352,4	-2,1	+90
08h	40,8	42,7	35	34	26,8	0,68	+533,6	+581,4	-2,8	-45
10h	42,2	43,4	42	43	27,2	0,5	+392,9	+349,5	-1,6	+45
12h	45,1	48,5	45	47	12,3	1,02	+1576,7	+1492,5	-5,8	+90
14h	47,9	49,2	44	45	11,1	0,8	+595,2	+552,2	-2	+45
16h	46,2	47,6	41	40	11	0,61	+461,4	+508,4	-2	-45
18h	44,3	46	37	38	13,4	0,58	+616,7	+574,1	-2,4	+45
20h	41,2	43,2	36	37	16,8	0,3	+528	+485,3	-2,3	+45
22h	46,5	48,3	35	36	19,9	1,11	+864,9	+823	-3,1	+45
24h	45,6	46,8	37	39	17,3	0,81	+560,5	+472,3	-1,8	+90
02h	38,5	41,1	36	38	15,2	0,72	+834,6	+748,5	-3,9	+90
04h	35,3	37,6	35	36	18,6	0,68	+600	+558,4	-3,4	+45
06h	35,1	36,8	34	35	20,3	0,4	+383,3	+340,4	-2,1	+45
08h	39,6	40,7	35	34	22,3	0,91	+301,7	+348,5	-1,8	-45

Résumé :

Dans les villes à climat aride et semi aride, l'objectif est toujours d'éviter les rayons solaires directs et de rechercher l'ombre et la fraîcheur. Cependant, dans les tissus urbains récents, les espaces urbains sont généralement très ouverts assaillis de toutes parts et à toutes heures par un soleil chaud et ardent. Il s'avère que parmi l'ensemble des espaces urbains les rues qui sont touchées par l'effet du rayonnement solaire. Les rues telles qu'elles sont conçues, contribuent à la formation de ce phénomène microclimatique propre aux milieux urbains appelé « îlot de chaleur urbain », et ce, de part leur géométrie et leurs orientations (DE HATTEN, Anne, 2002). D'autre part, le climat spécifique aux villes dit microclimat urbain résulte d'un processus rapide et incontrôlable d'urbanisation d'où l'intérêt de bien le comprendre afin de l'intégrer dans le cadre de la planification urbaine en tant que concept nouveau. Dans une zone urbaine, le microclimat est essentiellement gouverné par les échanges radiatifs locaux. Ces échanges se font sous forme de rayonnement ou sous forme de flux de chaleur dans le sol ou encore par convection ou évapotranspiration ce qui constitue le bilan d'énergie dans le sol. Cette théorie nous a incitées à accentuer notre recherche sur la géométrie de la rue « canyon, dièdre et dégagé » et son orientation, ainsi que le type de revêtement du sol (en béton et en asphalté). L'objectif est d'évaluer l'impact de la géométrie et l'orientation de la rue ainsi que le comportement et l'ampleur de bilan d'énergie des sols selon le type de leur revêtement sur la température de l'air et par conséquent sur l'îlot de chaleur urbain qui se manifeste sur les échanges radiatifs entre les surfaces d'une part, et arriver à définir la géométrie et l'orientation optimales de la rue pouvant offrir la diminution de l'îlot de chaleur urbain d'autre part. La recherche fût entamée par une approche théorique couvrant les différents axes liés à notre sujet, en partant par un aperçu historique sur l'état de l'art ou revue bibliographique puis la rue à travers l'histoire, et en présentant l'impact des caractéristiques physique et géométriques de la rue sur le microclimat urbain jusqu'à arriver à la présentation de l'environnement d'étude. Un travail pratique de terrain fût nécessaire, où une campagne de mesure s'est effectuée sur un tissu urbain existant type lotissement situé au centre ville de Biskra. Les résultats de cette investigation correspondent à l'objectif mis en place qui est la géométrie et l'orientation de la rue optimales pouvant offrir la température de l'air extérieur recherché. Et qui s'est avéré important.

Mots clés : Morphologie urbaine, Microclimat urbain, îlot de chaleur urbain, Géométrie des rues, bilan énergétique.

ملخص:

في المدن ذات المناخ الجاف والنصف الجاف، الهدف دائما هو تجنب أشعة الشمس المباشرة والبحث عن الظل والانتعاش. بينما في الأنسجة العمرانية الحديثة، الفضاءات العمرانية عادة مفتوحة جدا، تتعرض من كل جوانبها وفي كل وقت للشمس الحارة. من المؤكد أنه من بين الفضاءات العمرانية الشوارع التي تتأثر بأشعة الشمس. الشوارع كما هي مصممة تساهم في تشكيل هذه الظاهرة الميكرومناخية الخاصة بالوسط العمراني والمسماة (الجزيرة الحرارية العمرانية)، وهذا من الجانب الذي يتعلق بهندستها واتجاهها، من جهة أخرى المناخ النوعي للمدينة المسمى الميكرومناخ العمراني هو نتيجة إجراء سريع وغير مراقب للتعديل أين أهم شيء هو فهمه جيدا لإدماجه في التخطيط العمراني كمفهوم جديد. في منطقة عمرانية، الميكرو مناخ، تتحكم فيه التبادلات الإشعاعية المحلية. هذه التبادلات تكون على شكل أشعة أو على شكل تدفق حراري في الأرض أو حمل حراري أو تبخر، كل هذا التبادل يمثل موازنة الطاقة في الأرض، هذه النظرية دعنا لتركيز بحثنا على هندسة الشارع (قناة، منتظم أو مفتوح) وتوجيهه، وكذلك نمط تلبس الأرضية (خرسانة أو زفت)، الهدف هو تقييم تأثير هندسة الشارع وسعة موازنة الطاقة في الأرضية حسب نمط التلبس على درجة حرارة الهواء وبالتالي على الجزيرة الحرارية العمرانية التي تظهر في التبادل الشعاعي بين المساحات من جهة، والوصول إلى تعريف الهندسة والتوجيه المثاليين للشارع التي تعمل على إنقاص الجزيرة الحرارية العمرانية من جهة أخرى. هذا البحث يبدأ بمقاربة نظرية تغطي مختلف المحاور المرتبطة بموضوعنا، تبدأ بلمحة تاريخية حول مراجعة بيبلوغرافية ثم نتطرق لتعريف الشارع عبر التاريخ ونبرز تأثير المواصفات الفيزيائية والهندسية للشارع على الميكرو مناخ العمراني إلى غاية الوصول إلى تقديم مجال الدراسة. عمل تطبيقي في الأرض كان ضروري أين أجريت حملة قياسات في نسيج عمراني موجود نمط سكن فردي مخطط في وسط مدينة بسكرة. نتائج هذا البحث توافق الهدف المسطر والذي يتمثل في هندسة وتوجيه الشارع المثاليين لتقديم درجة الحرارة الخارجية المطلوبة. والتي من المؤكد أنها هامة.

الكلمات المفتاحية: مورفولوجية عمرانية، ميكرو مناخ، جزيرة حرارية عمرانية، هندسة الشوارع، موازنة الطاقة.

Abstract

In arid and semi arid climate in the cities, the objective is always to avoid direct sunlight and to seek shade and coolness. However, in recent urban tissue, urban areas are generally very open assailed from all sides and at all hours by a hot sun. Among the all urban areas the streets that are affected by the effect of solar radiation. The streets as conceived, contribute to the formation of this own microclimate phenomenon called "urban heat island" and that, because of their geometry and their orientations (DE HATTEN, Anne, 2002). On the other part, the specific climate in cities called the urban microclimate result of a rapid and uncontrollable process of urbanization where the interest is understand it to integrate it in the context of urban planning as a new concept. In an urban area, the microclimate is essentially governed by local radiative exchanges. These exchanges are as radiation or as a flow of heat into the soil or by convection or evapotranspiration which constitute the energy balance in the soil. This theory has encouraged us to intensify our research on the geometry of the street "canyon, dihedral and open" and there orientation, and the type of cladding of the soil (concrete and asphalt). The objective is to evaluate the impact of the geometry and orientation of the street as well as the behavior and the extent of the energy balance of the soil depending of their cladding on the air temperature and therefore on the urban heat island manifested in the radiative exchange between surfaces on the part, and come to define the optimal geometry and orientation of the street can offer the decrease of the urban heat island on other part. The research was initiated by a theoretical approach covering the different axes related to our subject, starting with a historical overview on the state of the art or literature review then the street throughout history, and presenting the impact of physical and geometrical characteristics of the street on the urban microclimate until arriving at the presentation of the learning environment. A practical work was necessary, where a measurement campaign was carried on an existing urban tissue located in the city center of Biskra. The results of the investigation correspond to the objective set up that is the optimal geometry and orientation of the street that can provide the outside air temperature search for. And that proved important.

Keywords: Urban morphology, urban microclimate, urban heat island, street geometry, energy balance.