

لجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

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



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم:.....
المرجع:.....

Mémoire présenté en vue de l'obtention
du diplôme de
Magistère en : Architecture

Option : ville et architecture au Sahara

L'impact de la morphologie urbaine sur la demande énergétique dans les zones arides

-Cas d'un tissu urbain épars, cité 76 logements à Biskra-

Présenté par :

M^{elle} BENAMOR Kaoutar

Soutenu publiquement le : 13/12/2017

Devant le jury composé de ;

Pr. Zemmouri Noureddine	Professeur	Président	Université de Biskra
Dr. Benabbas Moussadek	Maitre de conférences 'A'	Rapporteur	Université de Biskra
Pr. Brima Abdelhafid	Professeur	Examineur	Université de Biskra
Dr. Sriti Leila	Maitre de conférences 'A'	Examineur	Université de Biskra

Dédicace

Avec tous mes sentiments de tendresse, je dédie ce modeste travail à mes chers parents qui m'ont appris la patience et la persévérance et qui m'ont toujours encouragée et poussée vers l'avant, à mes deux frères et ma sœur.

À toute ma famille ainsi qu'à tous mes amis.

Remerciements

En premier lieu, je tiens à remercier notre DIEU tout puissant, qui gère éternellement le monde, de m'avoir accordé de la patience, et la volonté pour pouvoir achever ce modeste travail.

J'aimerais dire ici mes plus sincères remerciements à mon directeur de mémoire, le docteur Benabbas Moussadek .Sa rigueur intellectuelle, sa disponibilité, et ses conseils précis, et judicieux ont grandement contribué à la réalisation de ce modeste travail de recherche.

Je tiens ainsi à remercier le Docteur Belakehal Azzedine à l'institut d'architecture et le Docteur Saadi Aicha à l'institut d'électronique à l'université de Biskra , pour leur grande aide, d'avoir mis les instruments de mesure à ma disposition , et de m'avoir facilité la voie au cours de l'investigation sur terrain.

A Monsieur le Professeur Zemouri Nourddine c'est avec un très vif plaisir que j'ai appris votre présidence du jury. Un grand merci au Docteur : Sriti Leila, et au Professeur Brima Abdelhafid , je les remercie vivement d'avoir accepté d'examiner ce modeste travail, et de l'évaluer.

Je remercie aussi mes enseignants de l'institut d'architecture de Biskra qui ont contribué à ma formation en graduation et post-graduation. Je remercie aussi tous ceux qui m'ont encouragé, et aidé de près, ou de loin pour achever ce modeste travail.

Merci à tous, et à toutes.

SOMMAIRE

Sommaire.....	I
Liste des figures.....	VIII
Liste des tableaux.....	XII
Liste des graphes.....	XIII

INTRODUCTION GENERALE

1-Introduction	1
2-Constats et enjeux	2
3-Problématique et cadre d'étude	3
4- Questions de recherche.....	5
5-Analyse conceptuelle.....	5
6-Hypothèses.....	6
7-Objectifs.....	6
8-État de l'art et des recherches antérieures sur les modèles climatiques pour quantifier le microclimat urbain	6
9-Positionnement épistémologique	9
10-Méthodologie de travail	9
11-La structure du mémoire	9
12-L'organigramme de la recherche	11

CHAPITRE I : APERÇU SUR LE CLIMAT URBAIN

INTRODUCTION.....	12
I-1- Préambule sur la climatologie urbaine	12
I-1-1- La naissance de la climatologie urbaine : l'historique	12
I-1-2- La climatologie urbaine ; une science en progrès	13
I-1-3- La climatologie urbaine : une science pluridisciplinaire ?.....	14
I-2- Le climat urbain.....	15
I-2-1-La définition	15
I-2-2-Les différents facteurs intervenant dans la formation du climat urbain.....	16
I-2-2-1- Les facteurs naturels	16
I-2-2-2- Les facteurs anthropiques	16
I-2-2-3- Les facteurs urbains	16
I-3- Les diverses échelles du climat urbain.....	17
I-3-1 -La mésoéchelle	17
I-3-2- L'échelle locale	20
I-3-3- L'échelle microclimatique.....	20
I-4 - Quelques exemples de la prise en considération du climat urbain dans l'aménagement urbain	21
I-5- L'impact de l'urbanisation dans l'environnement désertique algérien.....	23
I-5-1- La concentration de la population saharienne	23

I-5-2- L'impact de l'urbanisation sur la biodiversité et la dégradation de l'environnement.....	24
I-5 -3 - L'impact de l'urbanisation sur le climat	25
I-5-3-1-La température du globe.....	25
I-5-3-2-La température à l'échelle de la ville.....	26
I-5-4 - Le réchauffement urbain	28
I-5 -5- Les conséquences du réchauffement climatique	29
I-5-5-1 - L'activité biologique	29
I-5-5-2 - La consommation d'énergie	30
I-5-5-3 - La vulnérabilité urbaine.....	31
I-6- Le climat en Algérie.....	32
I-6-1-Les zones climatiques d'hiver	32
I-6-2-Les zones climatiques d'été.....	33
I-6-3-Le climat désertique.....	34
I-6-4-La spécificité de l'environnement désertique	34
I-6-5-La notion d'aridité	35
I-6-6-Les degrés d'aridité	35
I-6-6-1- déserts hyperarides	36
I-6-6-2- déserts arides	36
I-6-6-3- déserts semi-arides.....	36
I-6-7- Le calcul de l'indice d'aridité (d'après E.D Martonne)	36
I-7- les caractéristiques du climat aride.....	37
I-7-1-Les radiations solaires	37
I-7-2-La température de l'air	38
I-7-3-Les précipitations.....	38
I-7-4-L'humidité de l'atmosphère.....	38
I-7-5-Le vent	38
I-8- le climat urbain dans les noyaux traditionnels « notion d'adaptation bioclimatique »..	39
I-8-1 - Unité de bâti ; la genèse urbaine.....	39
I-9- Le climat urbain et la notion d'adaptation bioclimatique aujourd'hui.....	40
CONCLUSION.....	41

CHAPITRE II: LE MICROCLIMAT URBAIN, L'INTERACTION DE LA MORPHOLOGIE URBAINE ET LE CLIMAT.

INTRODUCTION.....	42
II-1- Le concept de morphologie.....	42
II-1-1 Historique	42
II-1-2- La typo morphologie italienne (depuis 1955).....	43
II-1-3- La morphologie urbaine britannique (années 1960)	43
II-1-4- La morphologie 'typologie' urbaine française (années 1970)	43
II-2- La définition de la morphologie urbaine.....	43
II-3- Les différentes approches émergentes de la morphologie urbaine.....	45
II-3-1- la morphologie environnementale.....	45

II-3-2- la morphologie ‘socio spatiale’ la syntaxe spatiale.....	46
II-3-3- La morphologie paysagère : l’urbanisme de qualité	46
II-3-4- la morphologie systémique « fonctionnelle »	46
II-4- Les Critères d’approche de la morphologie urbaine	48
II-4-1- Critères topologiques	48
II-4-2 -Critères géométriques	48
II-4-3 -Critères dimensionnels.....	48
II-5- Les facteurs intervenants dans la formation de la forme urbaine.....	48
II-5-1- Facteurs physiques	49
II-5-2- Facteurs non physiques	49
II-6- Les types morphologiques d’îlots.....	49
II-6-1- L’îlot carré	49
II-6-2- L’îlot rectangulaire.....	49
II-6-3- L’îlot triangulaire	50
II-6-4- L’îlot barre	50
II-7- La morphologie du système viaire	50
II-7-1- La trame viaire linéaire	50
II-7-2- La trame viaire arborescente	50
II-7-3- La trame viaire rayonnante (radioconcentrique).....	50
II-7-4- La trame viaire quadrillée	50
II-7-5- La trame viaire en boucle.....	50
II-8- La morphologie du système bâti	51
II-8-1- Le bâti ponctuel (pavillonnaire).....	51
II-8-2- Le bâti linéaire (en rangées).....	51
II-8-3- Le bâti planaire (massif)	51
II-9- Quelques concepts proches de la morphologie urbaine	51
II-9-1- La morphologie urbaine	51
II-9-2- La forme urbaine.....	52
II-9-3- La structure urbaine	52
II-9-4 -Tissu urbain.....	52
II-10- Caractérisation de la morphologie urbaine à travers des indicateurs	52
II-10-1- Le prospect (le Ratio H/L)	52
II-10-2- Le facteur de vue du ciel (FVC).....	54
II-10-3- Albédo moyen des surfaces (a)	56
II-10-4- Degree of Enclosure (DoE)	56
II-11- Le rapport de réciprocité entre la forme urbaine et le climat	57
II-12- La définition de microclimat	61
II-13- Les éléments qui déterminent le microclimat d’un site	61
II-14- Les phénomènes microclimatiques en milieu urbain	62
II-14-1- La modification des mouvements de l’air:.....	62
II-14-1-1- Différents effets du vent au niveau du sol	64
II-14-2- La modification des précipitations et de l’humidité	65
II-14-3- La modification du rayonnement radiatif et thermique	66
II-14-3-1- Le piège radiatif	68

II-15- Le bilan radiatif.....	69
II-15-1 -Rayonnement net (Q^*).....	71
II-15-2- Rayonnement solaire incident (K_{\downarrow}).....	71
II-15-3- Le rayonnement solaire réfléchi (αK_{\downarrow}).....	72
II-15-4 -Rayonnement thermique atmosphérique descendant (L_{\downarrow}).....	72
II-15-5 -Rayonnement thermique (surfacique) ascendant (L_{\uparrow}).....	72
CONCLUSION.....	73

CHAPITRE III : L'INFLUENCE DU MICROCLIMAT URBAIN SUR LA DEMANDE ENERGETIQUE DES BATIMENTS.

INTRODUCTION	74
III-1-Relation morphologie urbaine et énergie	74
III-1-1-La densité en question ; densité et l'efficacité énergétique	75
III-1-2-La compacité et l'efficacité énergétique ; la compacité complément de la densité	75
III-2-La comparaison entre les consommations énergétiques des différents types de formes urbaines archétypales	76
III-3-Un constat global sur la consommation énergétique	78
III-4-La relation entre l'îlot de chaleur urbain et l'accrue d'énergie	79
III-5-Historique d'îlot de chaleur urbain.....	80
III-6-La définition d'îlot de chaleur urbain	81
III-7-La description d'îlot de chaleur urbain	81
III-8-L'intensité d'îlot de chaleur urbain	81
III-9-La variabilité d'îlot de chaleur urbain.....	82
III-9-1-La variabilité temporelle	82
III-9-2-La variabilité spatiale	82
III-10-Type d'îlot de chaleur urbain	84
III-11-Les facteurs contribuant à la formation de l'ICU	84
III-11-1-Les variables incontrôlables	85
III-11-2-Les variables contrôlables	87
III-12- L'effet de la morphologie urbaine sur l'îlot de chaleur urbain.....	87
III-12-1-L'effet du facteur de vue du ciel (FVC) et le ratio (H/W).....	87
III-12-2-L'effet de la densité urbaine	88
III-12-3-L'effet de la compacité urbaine	88
III-13- L'effet des matériaux de construction sur l'îlot de chaleur urbain	89
III-13-1-L'effet de la couleur des matériaux sur l'albédo	89
III-13-2-L'effet les types des matériaux sur l'albédo.....	89
III-13-3-L'effet de la texture des matériaux sur l'albédo	91
III-13-4-L'effet de la dégradation des matériaux sur l'albédo	91
III-14-L'effet de la végétation sur l'îlot de chaleur urbain	91
III-15-L'effet de l'eau sur l'îlot de chaleur urbain	92
III-16-L'effet des apports anthropiques dégagés sur l'îlot de chaleur urbain	93
III-17-L'effet de la qualité de l'air sur l'îlot de chaleur urbain.....	93
III-18-Les impacts d'îlot de chaleur urbain	94
III-18-1-Le milieu environnemental	94

III-18-2-La surconsommation d'énergie	94
III-18-3-Le risque sanitaire.....	95
III-19-L'évaluation d'îlot de chaleur urbain	95
III-20-Le bilan énergétique urbain.....	95
III-20-1-Flux de chaleur d'origine anthropique (QF).....	96
III-20-2-Flux de La chaleur stockée (Qst).....	97
III-20-3-Flux de la chaleur sensible (QH).....	97
III-20-4-Flux de chaleur latente (QE)	97
III-21-Les techniques alternatives de réduction des consommations énergétiques du bâtiment.....	97
III-21-1-Les mesures de lutte aux îlots de chaleurs urbains	98
III-21-1-1-Les mesures de verdissement.....	98
III-21-1-2-Les mesures de gestion des eaux pluviales	100
III-21-1-3-Les mesures de contrôle des sources chaleurs anthropiques	101
III-21-1-4-Les mesures ciblant les infrastructures	101
CONCLUSION	102

CHAPITRE IV : ÉTAT DE L'ART ET ANALYSE DU CONTEXTE D'ÉTUDE

INTRODUCTION.....	103
IV-1-l'état de l'art sur les recherches antérieures	103
IV-1-1- L'étude de Ait-Ameur Karima, Toulouse (2002).....	104
IV-1-2- L'étude de Luc Adolphe et Claudia Krause ,brazille (2012)	105
IV-1-3- L'étude de Sun ,Chen-Yi et al (2009)	107
IV-1-4- L'étude de Akbari ,Hashem (2000).....	108
IV-1-5- L'étude de Rode ,Philipp etKeim, Christian (2014).....	108
IV-2-L'état de l'art sur les methodes de quantification du climat urbain et les modèles climatiques	110
IV-2-1-Les mesures instantanées (in situ).....	110
IV-2-2-Les mesures à distance	110
IV-2-3-La modélisation et simulation numérique	110
IV-3-Les types de simulation numériques	110
IV-3-1-la modélisation par discrétisation spatiale (maillage)	110
IV-3-1-1-Le modèle thermo-radiatif « Solene»	110
IV-3-1-2-ENVI-met (Environmental Meteorology)	111
IV-3-2-La modélisation par paramétrisation	112
IV-3-2-1-Les modélisations paramétriques 2D.....	113
IV-3-2-1-1-Le modèle SM2U [DUPONT 2001].....	113
IV-3-2-1-2-Le modèle LUMPS “Local-scale Urban Meteorological pre- processing Scheme” [GRIMMOND et OKE 2002]	113
IV-3-2-2-Modélisation paramétrique 3D	113
IV-3-2-2-1-Le modèle SM2U-3D [Dupont et al. 2004].....	113
IV-3-2-2-2-Le modèle « TEB » Modèles de la canopée urbaine à simple-couche; (Town Energy Balance) [MASSON et al. 2001].....	114
IV-3-2-2-3-Finite Volume Model (FVM) urban module Martilli (2001)	115

IV-4-Positionnement epistemologique.....	116
IV-4-1-Le choix d'un modèle climatique.....	116
IV-4-2-Le modèle TEB comme modèle de simulation et anticiper le micro climat urbain.....	117
IV-4-3-La justification du choix	117
IV-4-4-Les limites du modèle choisi	117
IV-5-Analyse du contexte d'étude	118
IV-5-1-Présentation générale de Biskra	118
IV-5-2-La situation géographique de la ville	119
IV-5-3-L'analyse morphogénèse de la ville à travers l'histoire	119
IV-5-3-1-La période précoloniale	119
IV-5-3-2-La période coloniale	120
IV-5-3-3-La période postindépendance	120
IV-5-4-La classification des formes urbaines	120
IV-5-4-1-Classement des morphologies urbaines et l'évaluation approximative de la performance thermique	122
IV-5-5-Analyse climatique de Biskra	124
IV-5-5-1-La température de l'air	124
IV-5-5-2-L'humidité relative	126
IV-5-5-3-La précipitations.....	127
IV-5-5-4-Les vents	128
IV-5-5-5-La détermination des isothermes de la ville de Biskra	129
CONCLUSION.....	130

CHAPITRE V : INVESTIGATION ET RESULTATS

INTRODUCTION.....	131
V-1-le corpus d'étude et le processus méthodologique.....	131
V-1-1-Analyse typo morphologie	131
V-1-1-1-Présentation le cas d'étude	131
V-1-1-2-Les critères du choix du site	132
A)-La situation	132
B)-La géométrie urbaine.....	132
C)-L'absence de végétation	132
V-1-1-3-Déterminer le parcours et les stations de la mesure.....	132
V-1-1-4-Analyse typo-morphologique des stations de mesures	133
A)-le prospect Ratio H/L	133
B)-Facteur de vue du ciel (FVC)	133
C)-Albédo moyen des surfaces (a).....	134
D)-Degree of Enclosure (DoE)	134
V-1-2- Quantifie le microclimat urbain.....	137
V-1-2-1-Définir et sélectionner les journées de mesures.....	138
V-1-2-2-Prendre campagne de mesure	140
A)- Instruments.....	140
B)-Protocole et processus de mesure.....	141

C)-Comparaison les donnée collectées aves celles de la météo	141
D)-Facteurs climatiques mesurés au cours de l'expérience	141
V-1-3-calculer l'emmagasinement énergétique : le bilan d'énergie (le modèle <i>TEB</i>)	142
V-1-3-1-Le bilan énergétique à l'échelle urbain	144
V-1-3-2-Le bilan radiatif à l'échelle urbain	144
A)-Flux de chaleur anthropique (F).....	145
B)-Flux de chaleur sensible (H).....	145
C)-Flux de chaleur latente (LE)	145
D)-Flux de chaleur stocké dans les surfaces par conduction (Gs).....	146
V-2-analyse des résultats et interprétations.....	147
V-2-1-Présentation des résultats d'évaluation des indicateurs morphologiques.....	147
V-2-1-1-Le ratio H/L	147
V-2-1-2-Degree of Enclosure (DoE).....	147
V-2-1-3-Le facteur de vu du ciel (FVC)	148
V-2-1-4-Albédo moyen des surfaces (a)	148
V-2-2-Présentation des résultats de mesures microclimatiques.....	150
V-2-2-1-Variabilité de l'humidité dans les stations de mesures.....	151
V-2-2-2-Variabilité du vent dans les stations de mesures	152
V-2-2-3-Variabilité de la température de l'air dans les stations de mesures	153
V-2-2-4-Variabilité de la température surfacique (mur) dans les stations de mesures.....	154
V-2-3- Croisement des données	158
V-2-3-1-la corrélation Albédo, température de mur et l'emmagasinement énergétique.....	159
V-2-3-2-la corrélation (FVC), température de mur et l'emmagasinement énergétique.....	160
V-2-3-3-la corrélation (H/L-DoE) , température de mur et l'emmagasinement énergétique.....	161
V-2-3-4-la corrélation entre l'emmagasinement énergétique dans les façades sur la puissance de refroidissement	162
CONCLUSION.....	163
Conclusion générale	164
Limites et critiques de la recherche.....	168
Perspectives et recherches futures.....	169
Recommandations.....	169
Bibliographie	171
Annexes	179
Résumé	183

Liste des figures :

Figure I-1 : Les différents facteurs qui interviennent dans la formation du climat urbain, Source : J.Pernot.2003	16
Figure I-2 : représentation des échelles climatique et atmosphérique.....	17
de l'échelle méso (a) à l'échelle locale (b) et micro (c). Source : Oke1997	17
Figure I-3 : représentation à l'échelle méso. Source : Mestayer et Anquetin 1995	18
Figure I-4 : un dôme urbain. Source : J.Pernot.2003.....	18
Figure I-5 : La variation de longueur de rugosité (ZO) selon la hauteur densité rugosité urbaine. Source : J.Pernot.2003	18
Figure I-6 : propriétés thermiques à la CLU. Source : J.Pernot.2003	19
Figure I-7 : Précipitation et CLU. Source : J.Pernot.2003	19
Figure I-8 : représentation schématique de la canopée urbaine source ; Rotach, 2000.....	20
Figure I-9 : analyse climatique de la région de Bâle (KABA) 1998 : extrait de la carte d'aide à la planification (page de garde nord-ouest).	22
Figure I -10 - les moyennes multi modèles et les intervalles estimés du réchauffement global en surface (°C) au cours du 21e siècle, Moyennes selon six scénarios clés du GIEC, notamment : B1 (bleu), A1T, B2, A1B (vert), A2 (rouge), A1F1. La série temporelle orange suppose une concentration en GES stable à partir de l'an 2000.....	26
Source : Rapport GIEC, 2007, pour de plus amples informations.	26
Figure I-11 : Les écarts par rapport à la normale des températures : région Ouest, centre, est-Algérie 1970-2003. Source : D. Boucherf, ONM Alger 2004.....	27
Figure I-12 : Schéma de déphasage temporel journalier de température entre milieu urbain et rural.Source ; Oke1987	28
Figure I-13 : représentation d'une conception urbaine adaptée au climat. Source : R.Sigrid 2007.....	29
Figure I-14 : comparaison entre les courbes de charge de deux jours à températures différentes Source :Sonelgaz, 2011	30
Figure I-15 ; la représentation montre la vulnérabilité urbaine. Source : Füssel 2007.....	31
Figure I-16 : situation de l'Algérie. Source ; encarta, 2005.	32
Figure I-17 :les zones climatiques d'hiver. Source :(ENAG ,1993)	33
Figure I-18 :les zones climatiques d'hiver. Source :(ENAG ,1993)	34
Figure I-19 : effet des configurations des ruelles sur la ventilation. Source M . Côte ,2003.....	39
Figure I-20 : La nouvelle morphologie urbaine bâtiment collectif . Source : ,Mazouz, S.2002.....	40
Figure II-1 -: détails des éléments du système morphologique. Source ; Rémy Allain.2005	47
Figure II-2 : le tissu du Caire, le centre ancien source : Pannerai, Philippe. 1980	48
Figure II-3 : deux facteurs déterminants de forme bâtie	49
source Sharag.Eldin 1998 cité par (Biao Wang.2015).	49
Figure II-4 : deux échelles temporelles.source : Merlin 1998	49
Figure II-5 : Distribution schématique du rayonnement solaire incident dans différents scénarios de H/L.Source : Givoni, 1998.....	53

Figure II-6: 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.....	53
Figure II-7 : angle solide de vue d'une rue canyon asymétrique. l'angle solide égale à $180^0 - O_1 - O_2$. Source : Oke 1988.....	54
Figure II-8 : Procédé de photographie fish-eye, A) trépied, B) appareil photo numérique et C) sphère. Source : Ahmed.ouameur. F. 2007.....	55
Figure II-9: Procédé de calcul du facteur de vu du ciel. Source : Ahmed.ouameur. F. 2007.....	55
Figure II-10: Représentation de l'espace de mesure avec un angle de 360° , point de mesure PI 7 (Rue Sainte Olivier), $a = 0,28$. Source Ahmed.ouameur. F. 2007.....	56
Figure II-11: schéma synthétique des états représentatifs du centre ancien de Nantes et phases de transformation analysées pour les simulations. Source ; Benzerzour, M.2004.....	60
Figure II-12 : la modification des mouvements de l'air en milieu urbain. source ; Sigrid Reiter.2007.....	63
Figure II-13 : comportement du vent en rencontre de plusieurs obstacles (vue en plan) ... Source ; Jean Louis Izard.2000 (expérience en soufflerie).....	63
Figure II-14 : comportement du vent en fonction de l'espace entre les constructions..... Source ; Rafik Belarbi, Emmanuel Bozonner et Francis Allard. 2002.....	63
Figure II-15 : Différents effets du vent au niveau du sol Source : Jean Louis Izard, 2000 .Cité par Boucheriba Fouzia 2006.....	64
Figure II-16 : le cycle de l'eau dans la ville transformé et pollué par l'homme. Sigrid Reiter.2007.....	66
Figure II-17 : l'impact de la végétation sur l'humidification en milieu urbain. Source Sigrid. Reiter ,2007.....	66
Figure II-18 : la modification du rayonnement radiatif et thermique en ville par la pollution. Source : Sigrid . Reiter. 2007.....	67
Figure II-19 : la modification du rayonnement radiatif et thermique en ville par la morphologie urbaine source : Sigrid Reiter2007.	67
Figure II-20: le piège radiatif des rues. Source : Griffiths.1976.....	68
Figure II-21 : rayonnement solaire et rayonnement infrarouge en milieu urbain. Source : Colombert , Morgane . 2010.....	68
Figure II-22 : le piège radiatif dans les espaces publics urbains. Source : Sigrid Reiter.2007.	69
Figure II-23 : le rayonnement solaire en traversant une partie de l'atmosphère arrive directement à la surface de la Terre, une autre partie est absorbée par l'atmosphère et les nuages, une partie est réfléchiée par les nuages vers l'espace et une autre partie est diffusée par les particules en suspension dans l'atmosphère vers toutes les directions Source ; (CERMA11) cité par Colombert, Morgane. 2008.....	70
Figure II-24 : bilan radiatif au-dessus d'une ville .Source : .Colombert , Morgane. 2010	71
Figure III-1 : Relation entre compacité et consommation de chauffage : analyse comparée de quatorze morphologies de bâtiments .source : Depecker, 2001.	76

Figure III-2 : Les six formes urbaines analysées et leurs dimensions (n = nombre d'étages, L = longueur)	77
source :Arantes, 2013	77
Figure III-3 : Comparaison croisées des six formes urbaines étudiées au regard de leur performance énergétique globale .source :Arantes, 2013.....	78
Figure III-4 : structure de consommation finale par secteur d'activité.....	79
Source ; (ministre de l'énergie et des mines .2013)	79
Figure III-5 : Accroissement de l'îlot de chaleur urbain par la puissance dissipée des systèmes de génie climatique (Bozonnet, 2005), cité par Julien Bouyer.2009.	80
Figure III-6 : (a) Schéma de déphasage temporel journalier des températures entre un site urbain et rural sous ciel clair et faible vent (b) Intensité des îlots de chaleur urbains. Adaptée de Oke (1987) cité (Sigrid Reiter, 2007)	82
Figure. III-7 ; Schématisation en plan de l'îlot de chaleur urbain dans une ville fictive. Source : action biosciences 2006. Cité par Achour-Bouakkaz Nawel.2006	83
FigureIII- 8 : un profil d'un îlot de chaleur urbain et la répartition de l'ICU en pic, plateau et vallée en fonction des paramètres de surface source : Joëlle Goyette Pernot et Raphaël compagnon,2003 Fouzia.2004.....	83
Figure III-9 : les causes intervenant à former l'îlot de chaleur urbain. Source : Rizwan (2007) cité par Parmentier.2010.....	85
Figure III-10 : Atmosphère urbaine pour un vent supérieur à 3 m/s et inférieur à 11,1 m/s, création d'un panache urbain. Adaptée de Oke (1971).....	86
Figure III-11 ;atmosphère urbaine pour un vent inférieur à 3 m/s; création d'un dôme. adaptée de oke (1971) cité par Parmentier.2010	86
Figure III-12 : Photo et thermographies IRT des revêtement testés dans l'étude de [Doulos et al., 2004]	90
FigureIII-13 : l'impacte de végétation sur l'îlot de chaleur urbain . source Reiter , S.2007	92
Figure III-14 : l'impacte des 'espaces d'eau sur l'îlot de chaleur urbain . source : Reiter,S .2007	92
Figure III-15 : exemple d'une mauvaise qualité de l'air à Mexico.....	94
Source : Encarta 2005	94
FigureIII-16 ; A gauche : Bilan énergétique du quartier Tacubaya à Mexico pour 25 jours Source : Athemna K., 2012. Figure III.17 A droite : Représentation des différents flux du bilan énergétique dans le milieu urbain . Source : Oke, 1987	96
Figure III-17 : Exemple d'un toit vert à Chicago, Mark Farina.....	99
Tirée de Fehrenbacher (2005).....	99
Figure III-18 : Exemple de réalisation de mur végétal rue d'Aboukir à Paris (Patrick B .2003).....	99
Figure III-19 : exemple d'un pavé alvéolé Tirée de CRE-Montréal (2008)	100
Figure IV-1 : schéma représentatif les points de mesures . Source ; Chen-Yi Sun et al 2009	106
Figure IV-2 : de la structure urbaine à la maille de simulation (Grleau,et al,2003) cite par Colombert.2010	110

Figure IV-3 ;trois scénario et leurs profils des températures (a) forêt d'origine (b) pas de foret (c) des bâtiments (Yu et Hien.2006) cité par Selon Colombert.2010	111
Figure IV-4 : Les résistances aérodynamiques, les flux de chaleurs sensibles et latentes et les paramètres climatiques intervenant au sein du schéma TEB . source ; Masson <i>et al.</i> , 2002	113
FigureIV-5 : schémas représentatif de la paramétrisation de la canopée urbaine selon DA-SM2-U basée sur une approche multicouche en utilisant le modèle de sol SM2U-3D .source : Dupont et al. 2004	113
Figure IV-6 : Représentation schématique de la grille numérique du module urbain.....	115
source :Martilli <i>et al.</i> , 2002.	115
Figure IV-7 : Vue de satellite sur la ville de Biskra Source: Google Earth2015	118
Figure IV-8 : (A) situation géographique de la zone d'étude, Source:Google Earth2015.....	118
Figure V-1 : Situation du site d'investigation (source : Google Earth.2016).....	130
Figure V-2 : points de mesures (source : Google Earth.2016)	131
FigureV-3 : angle solide de vue d'une rue canyon asymétrique .l'angle solide égale à 180^0 –O ₁ -O ₂ .source : Oke 1988.....	132
Figure V-4 : Tableau récapitulatif des paramètres climatiques (T _{air} . Hr.V) de trois journées caniculaires. Source ; www.accuweather.com.....	137
Figure V-5 : Système urbain et échanges énergétiques(le modèle <i>TEB</i>).source : Amélie Parmentier .2010,.....	142
Figure V-6 : Transfert de flux d'énergie en surface. Adaptée de Musy (2007) . Source : Parmentier .2010.	143

Liste des tableaux :

Tableau I-1 : Taux d'urbanisation des 10 wilayas sahariennes aux 4 derniers recensements. Source ; Côte, M ,2003.....	23
Tableau I-2 :Taux d'urbanisation du Nord et du sud du pays (population urbaine/population totale) aux 4 derniers recensements. Source ; Marc Côte, 2003.....	24
Tableau I-3 : Résultats générés par le modèle MAGICC pour la projection climatique en Algérie, à l'horizon 2020. Source : ONM Alger, 2004.	27
Tableau I-4 : Indices de Martonne. Source : Guyot (1999)	35
Tableau I-5 : Moyennes mensuelles des précipitations et de la température d'air pendant la décennie (2005 -2015). Source ; la station météorologique de Biskra, 2016	36
Tableau II-1 : la valeur moyenne de l'albédo des surfaces, point de mesure P17 (Rue Sainte Olivier). Source : Ahmed.ouameur. F. 2007.....	37
Tableau II.2 : Typologies génériques des espaces publics et leur DoE (degree of enclosure). Source : Ahmed.ouameur. F. 2007.....	38
Tableau III-1 : Albédo des surfaces urbaines Tiré de Aida et Goth (1982) cité par Parmentier, Amélie.2010	90
Tableau IV-1 ; Tableau résume les différents paramètres morphologiques de chaque scénario.Source : Luc Adolphe et Claudia Krause, 2012.	105
Tableau IV-2 : présentation les villes étudiés avec le besoin en chauffage . source: Salat, S. & Nowacki, N.2010	108
Tableau IV-3 : Critères disponibles ou non pour différents modèles et schémas climatiques (ENVI-met, SOLENE, SM2U LUMPS, SM2U-3D, TEB, FVM).source :auteur.2016.....	115
Tableau IV-4 : Moyennes mensuelles de la température d'air pendant la décennie (2005-2015)	123
Tableau IV-5 : Moyennes mensuelles de la température d'air pendant de 30 ans (1982-2015). Source : Auteur 2016, établi sur la base des données de site web ; http://www.wofrance.fr/ obtenues de la station météorologique de Biskra.	124
Tableau IV-6 ; Moyennes mensuelles des précipitations pendant la décennie (2005-2015). Source : Auteur 2016, établi sur la base des données de site web ; http://www.wofrance.fr/ obtenues de la station météorologique de Biskra	126
Tableau IV-7 : Moyennes mensuelles des vitesses de l'air pendant la décennie (2005-2015) . Source : Auteur 2016, établi sur la base des données de site web ; http://www.wofrance.fr/ obtenues de la station météorologique de Biskra	127
Tableau IV-8 : Isothermes déterminant les différentes zones thermiques de l'année (2005-2015) Source : Auteur 2016, établi sur la base des données du site Web : http://www.wofrance.fr/ obtenues de la station météorologique de Biskra	128

Listes de graphes :

Graphe I-1- Indice d'aridité de la ville de Biskra durant la décennie (2005-2015) source : auteur, 2016.....	37
Graphe III-1 ; montre la relation empirique qui existe entre la géométrie des rues facteur de vue du ciel (H/W) et l'intensité maximale de l'effet d'îlot de chaleur (Oke 1988).....	88
Graphe IV-1 : Moyennes mensuelles de la température d'air pendant la décennie (2005-2015) Source : Auteur 2016, établi sur la base des donnée de site web ; http://www.wofrance.fr/ obtenues de la station météorologique de Biskra	124
Graphe IV-2 : Moyennes mensuelles de l'humidité relative pendant la décennie (2003-2013) Source : Auteur 2016, établi sur la base des données de site web ; http://www.wofrance.fr/ obtenues de la station météorologique de Biskra	126
Graphe IV-3 : Moyennes mensuelles des précipitations pendant la décennie (2005-2015) Source : Auteur 2016, établi sur la base des données de site web ; http://www.wofrance.fr/ obtenues de la station météorologique de Biskra	126
Graphe IV-4 : Moyennes mensuelles des vitesses de l'air pendant la décennie (2005-2015) Source : Auteur 2016, établi sur la base des données du site Web : http://www.wofrance.fr/ obtenues de la station météorologique de Biskra	127
Graphe V-1 ; Température , humidité et vitesse de vent de trois journée typique d'été. Source : auteur.2016	139
Graphe V-2 ; les variations de température de l'air dans les points de mesure. Source : auteur.2016	141
Graphe V-3 ; les variations de l'humidité d'air dans les points de mesure. Source : auteur.2016	142
Graphe V-4 ; les variations de vitesse d'air dans les points de mesure. Source : auteur.2016	142
Graphe V-5 ; les différentes valeurs de H/L, en fonction des points de mesures fixes. Source : auteur.2016	147
Graphe V-6 ; les différentes valeurs de DoE , en fonction des points de mesures fixes. Source : auteur.2016	147
Graphe V-7 ; les différentes valeurs de FVC, en fonction des points de mesures fixes. Source : auteur.2016	148
Graphe V-8 ; les différentes valeurs de Albédo, en fonction des points de mesures fixes. Source : auteur.2016	148
Graphe V-9 : graphe synthèse present le rapport entre les différents indicateurs morphologiques. Source ; auteur .2016	149
Graphe V-10 : graphe synthèse present le rapport entre les différents indicateurs morphologiques. Source ; auteur .2016.....	150
Graphe V-11 : le pourcentage de l'humidité dans les stations de mesures. Source : Auteur 2016	151

Graphe V-12 : la vitesse du vent dans les stations de mesures.	
Source : Auteur 2016	152
Graphe V-13 : la température de l'air dans les stations de mesures.	
Source : Auteur 2016	153
Graphe V-14 : la température de mur dans les stations de mesures.	
Source : Auteur 2016	154
Graphe V-15 : corrélation albédo et l'emmagasinement 4.00h .	
Source ; auteur .2016	159
Graphe V-16 : corrélation albédo et la température de mur 14.00h .	
Source ; auteur .2016	159
Graphe V-17 : corrélation albédo et l'emmagasinement 14.00h .	
Source ; auteur .2016	159
Graphe V-18 : corrélation albédo et la température de mur 4.00h .	
Source ; auteur .2016	159
Graphe V-19 : corrélation (FVC) et l'emmagasinement 14.00h .	
Source ; auteur .2016	160
Graphe V-20 : corrélation (FVC) et la température de mur 14.00h .	
Source ; auteur .2016	160
Graphe V-21 : corrélation (FVC) et la température de mur 4.00h .	
Source ; auteur .2016	160
Graphe V-22 : corrélation (FVC) et l'emmagasinement 4.00h .	
Source ; auteur .2016	160
Graphe V-23 : corrélation (H/L.DoE) et la température de mur 14.00h .	
Source ; auteur .2016	161
Graphe V-24 : corrélation (H/L.DoE) et la température de mur 4.00h .	
Source ; auteur .2016	161
Graphe V-25 : corrélation (H/L.DoE) et l'emmagasinement 14.00h .	
Source ; auteur .2016	161
Graphe V-26 : corrélation (H/L.DoE) et l'emmagasinement 4.00h .	
Source ; auteur .2016	161
Graphe V-27 : corrélation l'emmagasinent et la puissance de refroidissement 4.00h .	Source ; auteur .2016
	162
Graphe V-28 : corrélation l'emmagasinent et la puissance de refroidissement 14.00h .	Source ; auteur .2016
	162

INTRODUCTION GÉNÉRALE

1-Introduction :

L'avènement de l'étude de la morphologie urbaine dans les années soixante (1960-1970) est apparu comme une réaction critique aux excès du mouvement moderne et de son urbanisme fonctionnaliste. Les effets négatifs du modernisme sur la vie urbaine et la structure de la ville ont amené de nombreux chercheurs à faire une nouvelle lecture pluridisciplinaire de la ville. Ils combinent de nouveaux paramètres dans l'analyse de la morphologie urbaine, empruntant ainsi à plusieurs domaines et intégrant d'autres dimensions variées telles que : la dimension fonctionnelle, sociale, paysagère et plus particulièrement la dimension environnementale, celle qui nous intéresse.

La notion de morphologie urbaine au sens large est définie dans le dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement comme : « l'étude de la forme physique et de la géométrie de la ville », il s'agit de l'étude de la forme externe et de la structure. Elle doit également permettre l'analyse de la transformation progressive des formes dans le temps, c'est-à-dire la morphogenèse. Dans ce sens, Steemers (2004) affirme que : « *La morphologie urbaine est une forme tridimensionnelle d'un groupe de bâtiments ainsi que les espaces qu'ils créent autour d'eux qui contient la hauteur, la largeur et la profondeur* »¹

L'étude de la morphologie urbaine est un moyen de résolution des problèmes d'aménagement à travers l'analyse : du transport, de la circulation, de l'environnement thermique ou climatique et des situations sociales et économiques [Bardhan *et coll.* 2011]. Son objectif est de permettre une "lecture analytique «de la ville, s'appuyant sur l'évolution de la forme urbaine en relation avec les changements sociaux, économiques et démographiques et autres. Cette lecture morphologique se base sur l'échelle macro de la ville et n'aborde pas l'échelle micro de l'architecture, dans l'objectif de proposer une vision normative et contrôlable de l'évolution de la ville [Merlin, 1988].

La dégradation de l'ambiance extérieure dans la ville contemporaine, a eu pour conséquence la prise en compte des critères climatiques comme : le vent, la température, le rayonnement solaire, l'humidité et les précipitations, pour concevoir une ville idéale et adaptée au climat, dès le choix de son implantation jusqu'aux caractéristiques de ses bâtiments. Bitan (1992) souligne que cette responsabilité est partagée entre les scientifiques, les architectes, les urbanistes et les climatologues pour améliorer le climat et l'environnement urbain. Dans ce contexte, Grundstôm et al (2003) 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* ». ²

¹-Steemers, K., Ramos, M., & Sinou, M. (2004). Urban morphology. *Designing open spaces in the urban environment: a bioclimatic approach*, Centre for Renewable Energy Sources, Attiki.

²Fouad, A. O. (2007). *Morphologie urbaine et confort thermique dans les espaces publics: étude comparative entre trois tissus urbains de la ville de Québec* (Doctoral dissertation, Université Laval).

Nombreux sont les chercheurs (exemple : Levy, A.2002. Santamoris, M.2001.Bouzonnet, E.2011) à avoir fait des études sur les influences réciproques et sous-jacentes du climat sur la morphologie urbaine et inversement de la morphologie urbaine sur le climat. Ces études ont prouvé que le microclimat urbain est la résultante de l'interaction entre le milieu urbain et les paramètres climatiques qui dépend de plusieurs facteurs, physique tel : le ratio H/W.albédo...etc. et climatique tels : la température de l'air, le ventetc.[Athamena ,K. 2012].Bien plus, il peut influencer la demande énergétique des bâtiments, puisque le microclimat urbain et la demande énergétique sont associés.

2-Constats et enjeux :

Selon le Groupe Intergouvernemental sur le changement climatique (GIEC) qui affirme dans son 4^e rapport (2007) que le changement climatique se manifeste par l'élévation du niveau moyen des océans ainsi qu'une hausse de la température moyenne à la surface de la Terre. La température pourrait augmenter de 1,1 à 6,4 °C d'ici la fin du 21^e siècle et que la période 1980-1990 est la décennie la plus chaude jamais enregistrée depuis 600 ans. Ce rapport affirme aussi que la région de méditerranée, y compris l'Algérie, est la plus vulnérable. La rive, sud et est seront plus affectées par le changement climatique que la plupart des autres régions du monde au cours du 21^e siècle³.

Les effets du changement climatique sont notamment ; une accélération de la désertification, l'aridité des sols, l'épuisement des ressources en eau, la sécheresse et le dérèglement des saisons. Parmi ces effets on peut citer la canicule de 2003 en Europe et plus récemment la vague de chaleur de 2015 qui a frappé l'Inde et qui a causé le décès de plus de 1000 personnes.

Le principal facteur de ce changement climatique est la pollution provenant des rejets anthropiques de gaz à effet de serre et plus précisément le dioxyde de carbone rejeté lors de la combustion des matières d'origine fossiles comme le charbon, le gaz naturel et le pétrole, ces derniers sont employés comme source d'énergie dans le secteur résidentiel, l'industrie et le transport. L'impact de ces émissions s'étale sur près de 100 ans, donc les efforts pour limiter ces effets sur l'environnement ne seront effectifs que dans un siècle.

Il est évident que la ville d'aujourd'hui est responsable de ce changement planétaire en raison de l'albédo faible et l'étalement des espaces bâtis au détriment de l'espace vert. [Oke .1997]. Un pourcentage élevé des êtres humains est concentré dans les villes, ce pourcentage peut atteindre la valeur de 80% dans certains pays⁴. Dans ce cas, l'accroissement urbain et la transformation des formes urbaines provoquent des modifications climatiques induites par la ville, la manifestation la plus évidente du climat urbain est l'existence d'un îlot de chaleur urbain (ICU), ce phénomène engendre une hausse de température dans la ville par rapport à la zone rurale.

³*Villes et adaptation au changement climatique*. Rapport de l'Onerc au Premier ministre et au Parlement, La Documentation française, Paris, 2005. [Enligne] http://ville.post.carbone.typepad.com/file/onerc_ville_etadaptation.pdf (Page consultée le 05 Décembre 2016)

⁴Desplat, J., Lauffenburger, M., Salagnac, J. L., Kounkou-Arnaud, R., Lemonsu, A., Colombert, M., & Masson, V. . projet EPICEA, *étude pluridisciplinaire des impacts du changement climatique à l'échelle de l'agglomération parisienne*.2009.[Enligne]<http://siteresources.worldbank.org/inturbandevelopment/resources/336387-1256566800920/6505269-1268260567624/desplat.pdf> (page consultée le 05 décembre 2016).

En effet, la recherche de [Akbari.92] démontre que la température au centre-ville est supérieure de 4 à 10 °C par rapport aux régions rurales. Dans ce sens, Bozonnet, E(2005) a défini l'îlot de chaleur urbain (ICU) comme un phénomène radiatif nocturne dans l'espace libre qui provoque un accroissement de la demande énergétique conséquence de la climatisation active. Les facteurs suivants sont en jeu dans l'intensification de ce phénomène climatique :

- la morphologie urbaine qui contribue à réduire la vitesse du vent à cause de la présence des bâtiments.
- Le manque de surfaces d'eau ou d'espaces verts conduit à une diminution de l'effet de refroidissement évaporatif.
- La chaleur anthropique et la pollution de l'air, dut au secteur résidentiel et industriel induit une chaleur supplémentaire.
- L'albédo urbain ; c'est la capacité de réflexion du rayonnement solaire, généralement il est associé à la propriété thermique des matériaux par exemple la surface de l'asphalte ou du béton a un albédo plus élevé que la terre, cela conduit donc à un échauffement de la surface. L'albédo urbain est associé aussi à la morphologie urbaine, par exemple une densité urbaine plus faible, possède généralement un albédo plus élevé ce qui conduit donc au réchauffement de la surface urbaine.

Les villes situées dans les zones avec un climat chaud et aride, notamment celles des pays en voie de développement (bien que leurs responsabilités sont moindres dans la pollution mondiale) sont les plus affectées et les plus vulnérables, leurs habitants sont les premières victimes du changement climatique. Puisqu'une température élevée contribue directement à la consommation d'énergie (en particulier d'électricité) et peut avoir aussi des incidences sur la santé humaine. Ces villes sont incapables de protéger leurs habitants contre les conséquences extrêmes du changement climatique en raison de la faiblesse institutionnelle et l'insuffisance de leurs ressources financières.

Dans ce cas, de nombreuses propositions sont faites à l'échelle mondiale pour contrer le phénomène du changement climatique. Pour mettre en pratique ces propositions dans les pays en voie de développement, le remplacement de l'énergie fossile par des énergies renouvelables afin d'atténuer le taux de CO₂ n'est pas suffisant, et surtout induit des coûts plus élevés. Dans ce cas, il est préférable d'adopter une politique climatique dans la conception des villes qui sera très efficace à long terme, en agissant sur la forme urbaine pour réduire les émissions de gaz à effet de serre.

3-Problématique :

L'Algérie n'est pas à l'abri des effets du changement climatique notamment les villes Sahariennes du Sud, à titre d'exemple la ville de Biskra (notre cas d'étude) est caractérisée par une faible précipitation avec une période d'échauffement s'étalant sur cinq mois, de mai jusqu'à septembre avec une température moyenne de 42 °C (dans le cas ordinaire). En 1987, l'Algérie a enregistré une élévation de la température de 1à2 °C sur l'ensemble de son territoire. Plus récemment, l'été 2015a connu des journées caniculaires frappant les villes du sud, où la température a été inhabituelle atteignant le pic de 47 °C. Selon le ministère de l'Énergie et des Mines d'Algérie, cette hausse de température aggrave l'enjeu énergétique qui concerne la climatisation active. Les secteurs résidentiels et tertiaires représentent 45,7% de la consommation énergétique.

La consommation énergétique du secteur résidentiel est la cause d'une transformation spatio-temporelle de la morphologie urbaine et de son microclimat induit, car la ville Saharienne a décuplé son volume. Malgré sa complexité spatiale, on peut distinguer deux tissus urbains différents :

- 1- Un tissu urbain ancien compact qui a montré sa performance climatique au fil des siècles en s'appuyant sur la symbiose entre la surface d'eau, la palmeraie et l'espace bâti.
- 2- Un nouveau tissu urbain éclaté, issu de la politique de ZHUN, dans les années 70, qui est une solution quantitative à la demande croissante sur le logement. Il est composé de nouvelles formes urbaines qui ont abouti à un nouveau cadre bâti marqué par une rupture totale avec l'ancien tissu urbain, et ce du point de vue climatique et socio culturelle.

Cette transformation de la morphologie urbaine de la ville Saharienne, laquelle est passée de la forme urbaine compacte à une forme urbaine éclatée. L'hétérogénéité de la configuration des espaces publics urbains engendre une mosaïque microclimatique, c'est-à-dire des microclimats urbains différents d'une rue à l'autre [Benzerzour, M. 2004]. Les fortes fluctuations des facteurs microclimatiques, particulièrement la température, l'humidité relative et la vitesse du vent ont des effets négatifs sur le confort thermique extérieur des piétons, le confort intérieur des usagers, et par conséquent sur la demande énergétique résidentielle.

En outre, les acteurs de la planification urbaine, lors de la conception des sites urbains, favorisent les exigences esthétiques au détriment des exigences climatiques négligées à l'échelle architecturale ou urbaine, ils considèrent la prise en compte du climat superflu et accablent les cahiers des charges d'un programme de planification urbaine. On voit apparaître des configurations urbaines avec des implantations et des orientations non étudiées, négligeant toutes les conditions de confort et aménageant des espaces extérieurs ne prenant pas en considération le contexte climatique. La canopée urbaine provoque l'inconfort toute l'année dans nos quartiers et les espaces publics deviennent une source de chaleur, un véritable enfer, notamment pendant les nuits estivales. Bien plus ces espaces publics, en tant que zone de transit, représentant une échelle intermédiaire entre l'espace extérieur et intérieur pouvant conduire par conséquent à l'accroissement de la demande d'énergie électrique pour la climatisation active des bâtiments.

Cette situation va mener à des problèmes environnementaux en raison de l'absence d'une nouvelle stratégie d'aménagement urbain et de nouvelles méthodes de conception urbaines permettant de poursuivre la croissance des villes sahariennes tout en conservant un bon environnement, en fonction du climat.

Cette préoccupation climatique qui vise à réguler le microclimat n'est pas nouvelle. Il semblerait qu'elle existe depuis l'antiquité, une pensée théorique sur la prise en compte de cette dimension. Aujourd'hui, la climatologie urbaine fait revivre cette dimension climatique dans les recherches récentes couvrant un champ de recherche nouveau à travers l'étude du lien entre la conception urbaine, le climat et l'environnement. Actuellement, l'intérêt climatique s'oriente vers les espaces extérieurs à échelle intermédiaire (les rues), non seulement pour assurer un confort convenable aux utilisateurs de ces espaces, mais pour son influence sur le confort intérieur et la demande énergétique des bâtiments limitrophes. Pour une optimisation énergétique des bâtiments, une compréhension de l'environnement thermique extérieur est nécessaire puisqu'elle est un élément de base pour la conception d'une agglomération durable, face au changement climatique.

Cette nouvelle réflexion basée sur l'efficacité énergétique de la conception urbaine vise à réduire les émissions carbone à une échelle supérieure à celle de la construction individuelle. Le rapport entre les formes urbaines et la consommation d'énergie est encore mal compris et fait l'objet de controverses scientifiques, à cause de la complexité morphologique et spatiale de la ville. Cela n'empêche pas qu'il existe certains chercheurs à titre d'exemple : (Adolphe, L. 2001. Aît - Ameer, k. 2002 . Benzerzour, M .2004), qui ont caractérisé le lien entre la forme urbaine, le climat, l'énergie, et aussi quantifier le microclimat urbain, en fonction des indicateurs morphologiques.

Notre travail s'inscrit dans cette thématique du lien entre la morphologie urbaine, le microclimat et l'énergie, notre choix s'est porté sur un tissu urbain contemporain à Biskra, connue par son microclimat aride, composé de maisons individuelles.

4-Questions de recherche :

L'impact de la morphologie urbaine sur le microclimat urbain avec ses répercussions sur la demande énergétique des bâtiments impose des questions fondamentales de recherche :

À ce stade, il s'avère indispensable de préciser comment notre recherche sera menée. En posant ces deux questions :

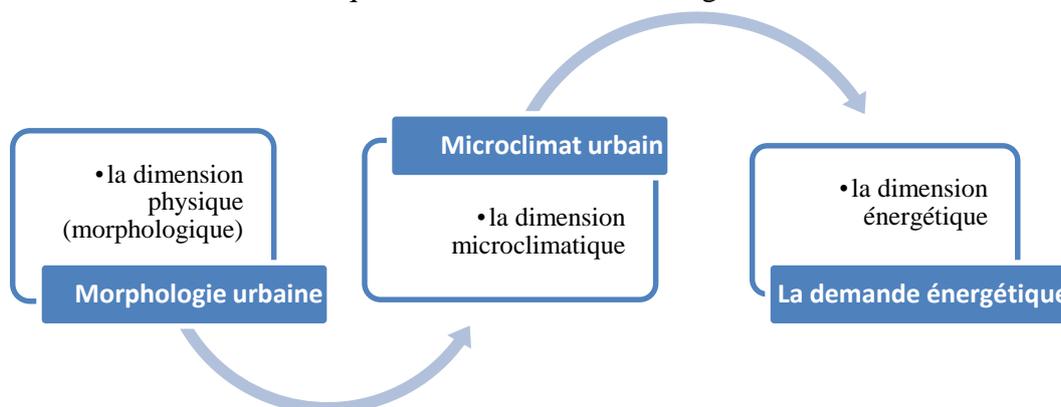
- Quel est l'impact de la morphologie urbaine sur l'environnement thermique extérieure (l'îlot de chaleur urbain), sur le microclimat produit d'une façon spécifique et sur la demande énergétique urbaine d'une façon générale ?

Plus précisément :

- Quels sont les indicateurs morphologiques à l'échelle intermédiaire (les rues) qui mettent en corrélation les conditions climatiques favorables et la consommation énergétique raisonnable dans une ville située dans une zone à climat chaud et aride ?

5-Analyse conceptuelle :

Notre recherche est focalisée sur trois concepts qui sont mis en évidence : la morphologie urbaine, le microclimat urbain qui est un concept implicite et la demande énergétique, reposant sur trois dimensions : physiques, climatiques et énergétiques. Le diagramme suivant précise les dimensions de la recherche qui sont classés selon 3 catégories :



Les trois dimensions de la recherche.

6-Hypothèses ;

Méthodologiquement, pour mener à terme cette recherche et pour répondre à la problématique donnée, notre recherche est fondée sur les hypothèses suivantes :

- La morphologie urbaine est un élément modificateur, elle modifie les paramètres climatiques de façon significative et joue un rôle majeur dans la demande énergétique.
- L'environnement thermique extérieur (microclimat urbain) varie selon des considérations morphologiques : le ratio H/W, FVC, albédo, orientation et occupation de sol et autres.

Pour répondre à la problématique et vérifier les hypothèses, nous devons réaliser les objectifs de cette recherche.

7-Objectifs :

L'objectif de cette recherche se focalise sur l'efficacité énergétique de la conception urbaine à une échelle supérieure à celle de la construction individuelle c'est-à-dire l'évaluation du comportement thermique à l'échelle urbaine, en fonction des indicateurs morphologiques. Pour atteindre cet objectif, il faut aussi quantifier le microclimat urbain et connaître l'effet du milieu urbain sur le microclimat généré en tant que facteur clé implicite qui influe sur la demande énergétique. Puisque la demande énergétique et le microclimat urbain sont liés .Les objectifs de cette recherche porteront donc sur les axes suivants :

- A- Dévoiler la corrélation entre la morphologie urbaine et la demande énergétique à partir des indicateurs de forme, dite morpho-climatique, afin d'anticiper leurs effets sur la performance climatique et énergétique.
- B- La compréhension fine de l'interaction bâtis et environnement immédiat, en particulier l'environnement désertique assez vulnérable au changement climatique.
- C- quantifier le microclimat urbain avec tous ces phénomènes comme l'îlot de chaleur urbain et la possibilité de fournir un microclimat urbain confortable pour les différents usagers et indirectement pour le confort intérieur.
- D-élaborer un outil d'aide à la décision et des instruments urbains intégrant des règles de connaissances opératoires appropriées au climat aride dans la phase de la conception urbaine, pour atteindre une ville durable et plus harmonieuse entre l'homme et son environnement.

8-État de l'art et des recherches antérieures sur les modèles climatiques pour quantifier le microclimat urbain :

Initialement, les recherches concernant l'interaction réciproque et sous-jacente entre la morphologie urbaine et le climat étaient expérimentales. À titre d'exemple, les études de Howard Luke (1830), Albert Kartzner (1956).Givoni (1978), Escourrou (1991),Golany (1996). Leurs recherches descriptives visent à décrire le climat urbain d'une ville par des mesures in situ qui ne permettent pas de quantifier le microclimat urbain induit par la morphologie urbaine à une échelle plus fine.

Avec l'avènement de la technologie, les études sont passées d'une approche descriptive à une approche plus appliquée .Le progrès technique contribue donc à l'apparition de la climatologie urbaine, cette discipline est fondée sur le processus de simulation par ordinateur portant une empreinte numérique [Arnfield, 2003]. Elle est désignée sous le nom de "modélisation urbaine

‘cette dernière permet de quantifier le microclimat urbain à une échelle plus fine, en vue de connaître les causes exactes des « îlots de chaleur urbains » et de la hausse de la température dans les zones urbaines. La climatologie urbaine est liée au phénomène climatique, certains travaux citent comme causes :

1- La géométrie urbaine, à titre d'exemple les recherches de Aida et Gotoh (1982), Oke (1988), Yamashita *et coll.*(1986), Ali Toudert (2005), Giridharan *et coll.* (2007).

2- Les matériaux de construction, à titre d'exemple les recherches de Taha *et coll.* (1988).

Toutefois, la climatologie urbaine avec la quantification du microclimat urbain est une discipline récente qui a beaucoup de chemin à faire, loin d'être entièrement exploré et qui exige encore des études plus fines. Parce que la modélisation urbaine est une nouvelle réflexion pluridisciplinaire fondée sur la combinaison de la dimension climatique et les éléments de climatologie urbains appliquée à la pratique de l'aménagement urbain et de l'architecture en se basant sur la simulation par ordinateur. Cette collaboration opérationnelle et interdisciplinaire dépend de plusieurs variables « la vitesse du vent, le rayonnement solaire, la morphologie urbaine, les matériaux...etc. Ce qui nécessite une collaboration entre les climatologues, géographes, urbanistes et architectes pour proposer de meilleures solutions visant à éviter les problèmes environnementaux et à atteindre une qualité de vie urbaine satisfaisante.

Depuis la crise pétrolière de 1972, les recherches se sont intensifiées pour assurer le confort extérieur et intérieur, elles sont orientées sur l'efficacité énergétique de la conception urbaine pour optimiser la forme urbaine afin de réduire les émissions carbone à une échelle supérieure à celle de la construction individuelle. En effet, les paramètres de forme ayant une influence sur la consommation énergétique [Salat, S. et Bourdic, L.2012], parmi ces paramètres on peut citer la compacité, la densité, la répartition des bâtiments, l'orientation...etc. Puisqu'une meilleure isolation des bâtiments ne permet pas de rattraper une mauvaise forme urbaine. Dans ce sens, nous allons présenter dans le quatrième chapitre les différentes études qui traitent de l'interaction entre le milieu bâti et l'environnement immédiat, à titre d'exemple : l'étude de Ait-Ameur, K (2001), l'étude de Luc Adolphe et Claudia Krause (2012), l'étude de Sun, Chen-Yi et al (2009), l'étude de Akbari Hashem (2000) et l'étude de Rode, Philipp et Keim, Christian (2014).

Parmi les techniques scientifiques actuelles (existant depuis les années 70) dans le cadre de la climatologie urbaine et qui nous permettent d'évaluer le rapport réciproque entre le milieu urbain et les paramètres microclimatiques, on peut citer : les mesures instantanées in situ, les observations par télédétection et les performances des modèles de simulation numérique.

7-1-les mesures instantanées in situ :

C'est un prélèvement de mesures instantanées des paramètres climatiques sur le terrain selon des points de mesures fixes, l'objectif est d'évaluer l'ambiance extérieure par des instruments comme ; L'Appareil portatif de mesures des ambiances physiques (APMAP). KIMO, HD100 et TESTO 480...etc. Une fois ces mesures collectées, elles sont comparées avec celles qui sont calculées ou bien simulées.

7-2-Les mesures à distance :

Ces mesures sont effectuées par des satellites, mais malgré le développement de l'imagerie satellitaire de plus en plus précise ces dernières années. Ces images sont à l'échelle spatiale (échelle d'une ville), elles ne permettent pas d'analyser les variations climatiques générées de la forme urbaine en échelle plus fine.

7-3-La modélisation et la simulation numérique :

Le développement de l'outil informatique et l'accroissement de la capacité de calcul et de mémorisation ont permis de résoudre différentes équations variées et complexes en climatologie urbaine, et ce pour quantifier le microclimat urbain avec les différents phénomènes ; thermique, radiatif...etc.

Dans ce sens, Benzerzour. M (2009) a mentionné deux modèles de simulation numériques en climatologie urbaine qui s'appliquent à l'échelle de la canopée urbaine prenant en considération la surface urbaine ; elle consiste en la modélisation par discrétisation spatiale et la modélisation par paramétrisation.

7-3-1-la modélisation par discrétisation spatiale (maillage):

Est un maillage assez fin appliqué aux surfaces et aux éléments de la canopée urbaine pour analyser les mécanismes de propagation des phénomènes physiques d'une maille à une autre. C'est une méthode qui s'applique généralement à l'échelle microclimatique. Il s'agit dans ces modèles de prendre en compte l'aspect tridimensionnel des espaces urbains en tenant compte du tracé et des hauteurs réelles des espaces et des bâtiments.

Cette modélisation numérique concerne deux logiciels ; le modèle thermo-radiatif (Solene, Groleau et al 2003) et ENVI-met (Environmental Meteorology, Michael Bruse.2004),il faut toutefois signaler que les deux logiciels négligent le calcul des flux sensibles , flux latents ainsi que les rejets de la chaleur liés au trafic automobile qui peuvent être importants dans certains cas [Colombert , Morgane.2010].

7-3-2-la modélisation par paramétrisation :

Suivre la forme urbaine dans toute sa complexité nécessiterait des temps de calcul considérables pour quantifier le microclimat urbain. Des hypothèses ont été donc admises pour réduire cette complexité à un certain nombre de paramètres jugés suffisamment représentatifs de la forme urbaine. Les modèles paramétriques, caractérisent la forme urbaine par à un certain nombre de paramètres. On peut distinguer deux types :

7-3-2-1-la modélisation paramétrique 2D : qui néglige la troisième dimension de la canopée urbaine, il contient deux modèles climatiques ; Le modèle SM2U (Urban Sub-Meso Soil Model, Dupont. 2001) et le modèle LUMPS (Local-scale Urban Meteorological pre-processing Scheme ,Grimmond et Oke 2002) [Benzerzour, M.2009].

7-3-2-2-la modélisation paramétrique 3D : tente de reproduire l'effet de la troisième dimension de la canopée urbaine, il contient trois modèles climatiques ; le modèle SM2U-3D (3D Urban Sub-Meso Soil Model, Dupont et al. 2003), le modèle « TEB » le bilan énergétique de surface (Town Energy Balance, Masson et al. 2002) ainsi que le modèle méso échelle FVM (Finite Volume Model, Martilli .2001) [Benzerzour, M.2009].

9-Positionnement épistémologique :

Dans notre recherche, la démarche appliquée, en générale, est celle de l'expérimentation (approche quantitative), basée sur la prise de mesures instantanées, dites in situ, un prélèvement des paramètres microclimatiques tels ; la température de l'air et de la surface, l'humidité et la vitesse du vent. Ces données collectées d'une façon directe sur les points de mesures fixes afin de quantifier le microclimat urbain et mesurer le phénomène climatique ICU.

Selon le sujet de la présente recherche, nous allons choisir le modèle **TEB**, qui prend les réflexions entre mur et sol ce qu'on appelle le phénomène de piégeage radiatif. C'est un modèle à simple couche facile à utiliser, basé sur des informations sommaires de la forme urbaine en fonction du concept (la rue canyon) qui prend en compte la troisième dimension. Cette simplification du modèle **TEB** permet cependant de représenter les phénomènes physiques urbains de façon relativement satisfaisante pour les climatologues.

Le **TEB** n'est pas un logiciel libre, mais nous permet d'évaluer les paramètres microclimatiques dans les rues, le bilan énergétique ainsi que l'emménagement d'énergie, celui-ci comprend l'évolution du rayonnement net, des flux de chaleur sensible et latente, des flux de chaleur anthropique et des flux de chaleur stockés à l'échelle urbaine.

10-Méthodologie de travail :

La méthodologie adoptée est l'expérimentation par des mesures in situ, cette recherche sera basée sur un relevé microclimatique qui se déroule sur les trois jours les plus chauds de l'été où le ciel est clair et le vent faible. Ces conditions météorologiques sont les plus adaptées pour faire ressortir les contrastes thermiques locaux [Oke, 1973]. Six stations ont fait l'objet de cette campagne de mesures réparties sur un parcours orienté est-ouest.

Les mesures sont faites avec un intervalle de 2 heures à partir de 04h00 avant le lever du soleil jusqu'à 24h00, cet organigramme temporaire offre une lecture fidèle du régime thermique journalier afin de cerner la variabilité spatio-temporelle du microclimat urbain dans une région avec un climat chaud et aride ce qui permet de mesurer le phénomène d'îlot de chaleur urbain à l'aide des appareils portatifs de mesure des ambiances physiques (kimo HD 100).

Les déplacements sont assurés par un véhicule minimisant ainsi le temps d'aller d'une station à une autre (5 min), la collecte des données de quatre paramètres (T_{air} , T_{mur} , H_r , V) est prise sous un abri d'une hauteur moyenne de 1.20m. Une fois, le prélèvement microclimatique terminé, nous allons quantifier le microclimat urbain c'est-à-dire les mesures collectées sont comparées à celles enregistrées par la station météorologique de Biskra pour démontrer l'effet du milieu urbain sur le climat. En second lieu, nous allons évaluer le comportement morpho-énergétique et calculer l'emménagement énergétique à travers le modèle climatique TEB.

11-La structure du mémoire :

Le mémoire est structuré en deux parties distinctes : une partie théorique et une partie analytique, précédée par une introduction générale et se terminant par une conclusion générale :

L'introduction générale :

Fait référence à la thématique dans l'absolu sur le concept de la morphologie urbaine, le microclimat ainsi que leurs effets comme la dégradation des ambiances thermiques extérieures dans la ville Saharienne. Tout cela permet de poser les questions de recherches, de présenter les hypothèses, les objectifs et la méthodologie adoptée.

La partie théorique :

Cette partie constitue le support théorique des concepts énoncés précédemment. Elle est basée sur une analyse conceptuelle des hypothèses à travers une revue de littérature afin de mieux comprendre l'impact de la morphologie urbaine sur la demande énergétique.

Le chapitre I : avant de présenter le microclimat urbain, nous allons donner un aperçu global sur la climatologie urbaine qui décrit le climat urbain et présenter ainsi l'état de nos connaissances .Ensuite, nous allons mettre en exergue les différents facteurs qui interviennent dans sa formation ainsi que l'effet de l'urbanisation sur l'environnement désertique qui est menacé par les conséquences extrêmes du changement climatique.

Le chapitre II : S'intéresse au microclimat urbain c'est-à-dire l'interaction de la morphologie urbaine et les paramètres climatiques, nous allons en premier lieu, comprendre le concept de la morphologie urbaine pour éviter la confusion avec d'autres concepts proches. Puis, nous allons montrer l'interaction et l'influence réciproque entre le milieu urbain et les paramètres climatiques à l'échelle micro urbain avec tous ces phénomènes que sont les modifications ; radiatives, thermiques, aérodynamique et évapotranspiration induites par la morphologie urbaine. En second lieu, pour quantifier le microclimat urbain et comprendre le comportement thermique extérieur, nous allons caractériser le milieu urbain par des indicateurs morphologiques, puisque les paramètres de forme ont une influence sur la consommation énergétique.

Le chapitre III : Expose l'influence du microclimat urbain sur la demande énergétique des bâtiments, où nous allons mettre en lumière le phénomène climatique de l'îlot de chaleur urbain ; ces causes, ces effets et proposer des stratégies pour atténuer son intensité. En tant que facteur clé implicite qui influe sur la demande énergétique des bâtiments.

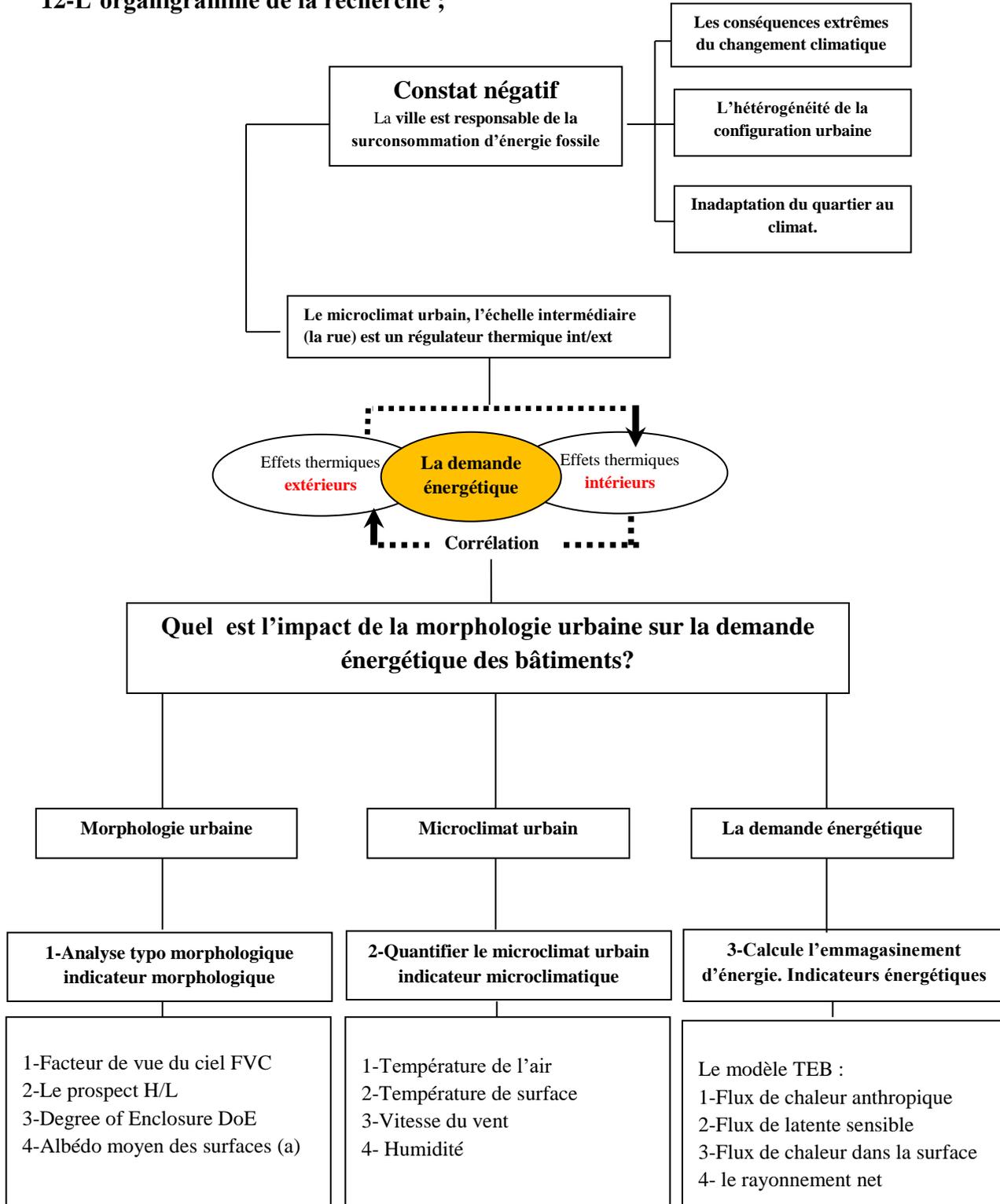
La partie analytique :

Présente l'analyse et l'interprétation des résultats retenus, elle est répartie sur deux chapitres :

Le chapitre IV : En premier lieu, dans ce chapitre nous allons exposer un état de l'art concernant les recherches antérieures et les modèles climatiques qui peuvent quantifier le microclimat urbain. Ainsi nous allons présenter notre positionnement épistémologique dans le but de choisir parmi ces techniques, celle qui pourrait convenir à notre objectif. En second lieu avant de présenter le cas d'étude, une analyse du contexte d'étude est nécessaire .C'est une présentation générale de la ville qui englobe une analyse climatique de Biskra et une analyse de la morphogénèse afin de donner une classification des formes urbaines.

Le chapitre V : Ce chapitre s'intéresse au corpus d'étude (l'investigation), pour lequel nous allons présenter le processus méthodologique et la discussion des résultats retenus .Finalement, une synthèse contenant des recommandations et des perspectives de recherche dans ce domaine pour conclure cette recherche scientifique.

12-L'organigramme de la recherche ;



Problématique

partie analytique

CHAPITRE I :
APERÇU SUR LE CLIMAT URBAIN

Introduction ;

De nombreuses études mettent en évidence la prise en considération du climat dans la conception des villes. Bien longtemps, Vitruve rapporta dans son ouvrage "de Architectura" "*L'urbanisme et l'architecture vernaculaire en témoignent depuis longtemps*", que l'adaptation des villes au climat est ancienne [Escourrou.1991]. Dans ce sens, Golany (1996) affirme qu'il existe un lien entre la morphologie urbaine et les performances thermiques de la ville, où chaque type de climat exige une certaine forme et une configuration urbaine distincte à titre d'exemple ; la forme compacte au climat chaud, la forme dispersée au climat froid. Ce qui veut dire une conception des formes urbaines en adéquation avec leur climat en contribuant ainsi à rafraîchir ou à réchauffer le milieu urbain en fonction des nécessités.

Dans le présent chapitre, on va donner dans une première étape un aperçu de la science de la climatologie urbaine, pour avoir une connaissance plus précise du climat urbain. Dans ce sens, nous allons analyser l'interaction entre la ville et le climat ainsi que les différents facteurs qui interviennent dans la formation du climat urbain en méso échelle (à l'échelle de la ville) et ses phénomènes climatologiques. Bien plus, nous allons présenter la spécificité du climat urbain en milieu désertique notamment face au changement climatique et ces conséquences extrêmes. Enfin, nous allons traiter la notion d'adaptation bioclimatique dans les villes désertiques dans le passé et aujourd'hui.

I-1- Préambule sur la climatologie urbaine ;

I-1-1- La naissance de la climatologie urbaine : l'historique

De nombreuses civilisations se sont intéressées au climat en recherchant les paramètres climatiques idéals pour leurs sédentarisations. En prenant en considération l'influence du climat et la manière de s'adapter aux différents types de climats, ces civilisations nous montrent que le facteur climatique est indispensable dans le choix du lieu d'installation d'une agglomération urbaine [Givoni ,1978]. Cela est bien identifié dans la recherche de Yoshino (1990/91), à son tour il montre que la pratique de l'appropriation et de l'adaptation au climat date d'avant Jésus Christ, autrement dit, dans un premier temps, la climatologie est apparue sous une forme descriptive par l'observation des éléments climatiques à travers des mesures météorologiques. Dans ce cas, Alain Gioda, 2011 ajoute que la préoccupation climatique est apparue dans l'Antiquité en chine, le premier ouvrage concernant la météorologie est de » Nei Jing Su Wen « (fin du 1^{er} millénaire av. J.-C.), comprenant des observations et même des prévisions. Les premières mesures météorologiques sont notamment issues des nilomètres⁵ d'Égypte et d'Inde, où y retrouve un traité du grammairien Panini⁶ (IV^e siècle av. J.-C.), l'Astadyayi », il parle déjà de ce qu'est un pluviomètre. Par la suite, les grandes dynasties Maurya et Gupta (jusqu'au VI^e siècle apr. J.-C.) ont diffusé la pratique des mesures de la pluie dans leur empire.

5- Les nilomètres (les puits en escaliers riverains du Nil étaient pourvus de marques mesurant le niveau des crues annuelles) joueront un rôle important dans la taxation des grains : plus le niveau d'eau atteint était élevé, plus le limon de crue abondait, et plus les récoltes étaient riches et l'empire était prospère. Mis en place sous la dynastie des Ptolémées (à partir du IV^e siècle av. J.-C.), ils continueront d'être utilisés de façon régulière jusqu'au cœur de l'époque musulmane, au IX^e siècle apr. J.-C.,

6- Panini (560-480 av. J.-C.) (en devanagari पाणिनि (*Panini*)) est un grammairien de l'Inde antique (probablement, du IV^e siècle av. J.-C.) né à Chalatara au Gandhara¹. Il est célèbre pour avoir formulé en 3 959 sutras. connues sous le nom d'Ashtadyayi² (अष्टाध्यायी (*Aṣṭādhyāyī*)) et également appelé *Paniniya*, les règles de morphologie, de syntaxe et de sémantique de cette langue. L'Ashtadyayi reste toujours aujourd'hui un ouvrage très connu sur la grammaire du sanskrit. Panini serait le premier grammairien n'ayant jamais existé.

En Corée, c'est sous le règne de « Sejong le Grand » que fut officiellement introduit le premier pluviomètre (1443) [Gioda, Alain. 2011].

Pendant cette période, les mesures météorologiques étaient faites sous la responsabilité des moines, ils ont conservé pour l'Église la trace de l'évolution du climat. Parmi les grands événements dont nous avons la trace, la canicule historique de la région de Pékin en 1743 rapporté par le moine français Antoine Gaubil [Gaillac 1689. Pékin 1759] sous le règne de l'empereur « Yongzheng », celui-ci fait des prélèvements de températures au moment de la grande sécheresse. Ces mesures ont conduit à l'émergence de la météorologie scientifique en dehors de l'Europe. Une anomalie journalière dépassant la température de 44,4 °C fut observée pendant de longues périodes entre le 1er juin et le 25 juillet 1743. Ces températures caniculaires sont à relier vraisemblablement au phénomène El Niño (période de 1744-1747). Selon des sources chinoises, cette canicule causa des dizaines de milliers de victimes dans la ville Pékin, Tianjin et dans les provinces d'Hebei, Shanxi et Shandong [le Roy laudurie. 1967].

Plus tard, la météorologie évolua avec les relevés des éléments climatiques (Température, Humidité et Vitesse du vent) faits d'une manière scientifique, en 1643 Torricelli, le successeur de Galilée invente le baromètre pour mesurer la pression de l'air. Au XVIIe siècle la météorologie est devenue une science en occident.⁷

I-1-2- La climatologie urbaine ; une science en progrès

La description des éléments météorologiques existe depuis l'antiquité, la climatologie urbaine est devenue une science grâce aux Anglo-Saxons à la fin du XVIIIe siècle, le livre d'Howard Luke (1818-1833, *the climate of London*). Ce livre de trois volumes contient les descriptions climatiques et une analyse des éléments météorologiques (température, pression, etc.) qui concernent le climat de Londres, celui-ci vise la compréhension des phénomènes climatiques. Ces mesures ont été rassemblées durant 25 années 1806-1830 dans deux sites différents ; en dehors de Londres (Plaistow, Tottenham et Stratford) et l'autre site (royale society), à l'intérieur de Londres.

Howard a examiné une différence entre les éléments météorologiques urbains et ruraux. Il a découvert l'influence des structures urbaines sur le climat local provoquant ainsi une élévation de température à travers la ville du fait même de sa structure, la surpopulation et la consommation de grandes quantités d'énergie d'origine fossile. La contamination urbaine crée ainsi le phénomène de la ville brouillard... etc. [Mills, 2008].

Plus tard en 1927, avec le perfectionnement des instruments de mesure, Schmidt et Pepler ont effectué une collecte de données météorologiques recueillies par une voiture équipée parcourant un trajet bien déterminé, pour faire des mesures mobiles. À partir des années cinquante, la recherche et l'intérêt pour la climatologie urbaine vont s'accroître, Albert Kratzer publia en 1956 le premier ouvrage sur la climatologie urbaine. (*The Climate of Cities*) de Das Stadtklima (le climat des villes), il a tenté de faire une description du climat urbain en montrant l'effet de la ville sur le changement des paramètres climatiques.

7- <http://www.futura-sciences.com/magazines/environnement/infos/dossiers/d/climatologiehistoire-climat-1241/07/10/2011> – par Gioda Alain, Historien du climat. Consulté le : 22/02/2016

Plus précisément l'influence de la pollution atmosphérique sur le climat en général et sur la formation des nuages nocifs en particulier. Où il montre la différence entre le climat de la ville et celle du reste du pays à cause de l'augmentation de la température surtout dans les centres urbains, cela est dû à la couverture de vapeur qui se prolonge suite à la création de brouillard lui-même dû à l'utilisation du charbon dans l'industrie, le chauffage domestique et le transport.

La révolution industrielle a bouleversé le climat dans la ville en général et permis une évolution de la climatologie urbaine. Cette dernière est passée d'une approche descriptive et inductive à une approche plus appliquée bénéficiant ainsi de l'avancement technologique. Cette nouvelle réflexion fondée sur les processus de simulation par ordinateur [Arnfield, 2003], pour visualiser et anticiper l'effet de la ville sur le climat à une échelle plus fine, en vue de connaître les causes exactes de la hausse des températures dans les zones urbaines, ce qu'on appelle « îlot de chaleur urbain ». Donc la climatologie urbaine s'intéressera en particulier à l'îlot de chaleur urbain en l'étudiant à différentes échelles pour comprendre la dynamique et les mécanismes complexes issus de l'interaction entre les composantes physiques de l'urbanisation et les éléments du climat. Certains travaux mettent l'accent sur :

1- la géométrie urbaine, Aida et Gotoh (1982), Oke (1988), Yamashita *et coll.* (1986), Ali Toudert (2005), Giridharan *et coll.* (2007).

2-les matériaux de construction, (Taha *et coll.* (1988), Rosenfeld *et coll.* (1995). Toutefois, sur ce sujet, il reste encore beaucoup de chemin à faire.

I-1-3- La climatologie urbaine : une science pluridisciplinaire ?

La climatologie urbaine est intimement liée au phénomène climatique appelé 'l'îlot de chaleur urbain', où tous les facteurs sont en interaction complexe. Plusieurs études, par exemple ; Givoni, 1998, Ali-Toudert, F.2005 et Colombert, M.2012, démontrent le rapport réciproque entre la forme urbaine et les différents paramètres microclimatiques du climat urbain. De même, le contexte physique urbain modifie le rayonnement solaire, l'écoulement du vent... etc. En général, par la situation géographique de la ville, la densité des bâtiments, la nature thermique et radiative de la surface urbaine, l'orientation et la largeur des rues... etc. [Givoni, 1998], sans oublier le rôle négatif de la chaleur anthropique qui contribue à la hausse de la température de la ville [Dhakal et Hanaki, 2002]. La préoccupation majeure aujourd'hui, c'est d'avoir une ville plus durable à travers la réduction de l'îlot de chaleur urbain par la réduction de la pollution urbaine, des émissions de CO₂ et l'amélioration de la qualité de l'air urbain [Alcoforado, M-J et Andrade, H., 2006].

Vu l'interaction complexe entre l'hétérogénéité urbaine et la variabilité du climat, la tâche n'incombe pas aux climatologues et aux géographes uniquement. Il est nécessaire d'avoir une approche pluridisciplinaire fondée sur l'intégration de la dimension climatique, de l'aménagement urbain et de l'architecture [Oke, 2006, Colombert, M.2012]. Afin de remédier aux problèmes environnementaux et améliorer la qualité de vie par des solutions innovantes.

Cette collaboration pluridisciplinaire opérationnelle intègre une multitude de variables (vitesse du vent, rayon solaire, morphologie urbaine, matériaux... etc.), et s'appuient sur des outils de modélisation urbains, mettant en relation des climatologues, des géographes, des urbanistes et des architectes.

Cette coordination fait avancer nos connaissances et approfondit notre compréhension de la climatologie urbaine.

Dans ce sens, Colombert .Morgane 2010 affirme dans ses recherches : *“plusieurs projets de recherche français viennent aujourd’hui approfondir cette connaissance autour des enjeux du climat urbain, avec une approche qui se veut pluridisciplinaire. Nous pouvons citer par exemple : le projet EPICEA (Étude pluridisciplinaire des impacts du changement climatique à l’échelle de l’agglomération parisienne) financé par la Ville de Paris et mené conjointement par Météo-France et le Centre scientifique et technique du Bâtiment (CSTB) (Desplat et coll., 2009); le projet VURCA (Vulnérabilité urbaine aux épisodes caniculaires et stratégies d’adaptation), financé par l’ANR, qui propose une approche interdisciplinaire avec des laboratoires spécialistes de la construction et de l’urbanisme (CSTB), de la météorologie (CNRM/GAME) et de l’économie (CIRED); le projet MUSCADE (Modélisation urbaine et Stratégies d’adaptation au changement climatique pour anticiper la Demande et la production énergétique) , financé par l’ANR et impliquant les mêmes équipes associées à d’autres compétences en urbanisme et architecture, qui vise à étudier dans le cadre d’un partenariat multidisciplinaire les interactions entre la structure de ville, les procédés constructifs, les consommations et les productions d’énergie, le climat urbain et le changement climatique ; le projet Veg DUD, coordonné par l’IRSTV et financé par l’ANR, qui vise à évaluer les impacts de la végétation en lien avec ceux de la forme urbaine, sur plusieurs systèmes urbains en interaction : le climat, les ambiances, l’énergie, l’hydrologie à différentes échelles spatiales, mais aussi temporelles “*

I-2- Le climat urbain :

La problématique du climat urbain s’impose dès l’apparition des villes modernes du XXe siècle avec la mauvaise qualité de l’air en comparaison de celui de la campagne. La notion de climat urbain est mentionnée pour la première fois dans le livre du géographe allemand Albert Kartzner (the climate of cities, Das Stadtklima.1956)présentant une étude approfondi du climat urbain .Il a comparé les villes des années 50 à un volcan, car l’atmosphère au-dessus des centres urbains est saturée de polluants, de poussières et de cendres. Une autre caractéristique du paysage urbain, c’est la disparition de la couverture végétale au fur et à mesure que l’on s’approche du centre ville, la température devient plus élevée et le climat plus sec. L’accumulation des polluants dans la zone urbaine pendant plusieurs jours provoque une détérioration de la qualité de l’air .Par exemple à Londres en décembre 1952, environ 3500 personnes sont mortes de maladies respiratoires.

I-2-1- La définition :

Le mot climat dérive directement du mot grec klima qui veut dire inclinaison en rapport soit avec l’inclinaison moyenne des rayons solaires variable suivant la latitude du lieu où l’en se trouve, ou à la pente variable des terrains vis-à-vis du rayonnement solaire. Avec le progrès de la météorologie, le climat est considéré comme *“l’ensemble des phénomènes météorologiques, qui caractérisent l’état moyen de l’atmosphère en un point quelconque de la surface de la Terre”* ⁸

8-Définition selon l’organisation météorologique mondiale de l’OMM, 1981.

Le climat urbain signifie le climat spécifique aux villes, c'est un ensemble de conditions atmosphériques et paramètres climatiques caractérisant la ville, ils sont souvent différents de ceux de la campagne. Ce climat urbain est généré par le processus d'urbanisation qui engendre des modifications radicales des bilans énergétiques ; radiatifs, thermiques et aérodynamiques, créant une singularité climatique à l'échelle du microclimat dans chaque canopée urbaine.

I-2-2-Les différents facteurs intervenant dans la formation du climat urbain :

Il s'agit d'un résultat complexe des interactions en échelle méso climat entre les éléments suivants comme il apparaît dans la figure I-1, tantôt elles agissent dans le même sens, tantôt, au contraire elles s'opposent ;

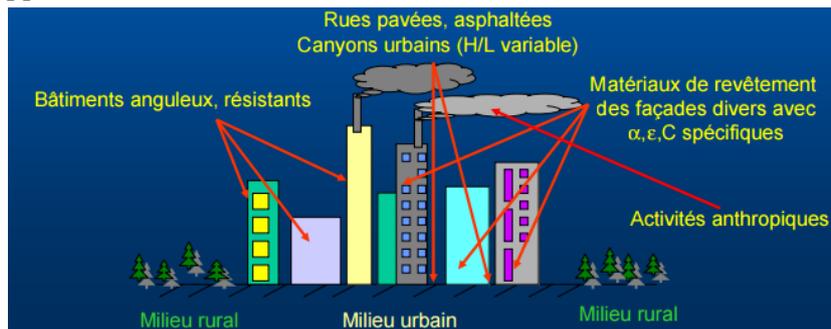


Figure I-1 : Les différents facteurs qui interviennent dans la formation du climat urbain, Source : J.Pernot.2003

I-2-2-1- Les facteurs naturels (la morphologie du site) :

La localisation géographique (par exemple la latitude) ou l'environnement (par exemple le relief, la présence d'eau) peuvent influencer positivement ou négativement le climat urbain à travers les paramètres suivants :

- la répartition des zones ombrées et ensoleillées.
- le champ radiatif et thermique.
- l'écoulement de l'air.

I-2-2-2- Les facteurs anthropiques :

L'apport d'énergie supplémentaire liée au chauffage, à la climatisation urbaine et aux différentes activités, conséquence de l'accélération de l'urbanisation, elle-même liée à la croissance démographique. Ces nouveaux facteurs, notamment ces influences artificielles (comme les gaz corrosifs et aérosols) s'ajoutent aux facteurs naturels existants pour créer une augmentation de la chaleur et un contraste thermique parfois important entre le centre de la ville et la campagne environnante.

I-2-2-3-Les facteurs urbains ;

Ces facteurs comprennent, les matériaux, l'albédo, la densité urbaine, la végétation, ainsi que l'existence de nombreux bâtiments plus ou moins élevés peuvent accentuer la rugosité et favoriser l'ascendance de l'air. Dans ce sens, Escorrou en 1992 affirme que la ville modifie le climat local et le bilan énergétique et radiatif naturel à cause :

- Du remplacement du sol nu par un sol imperméable engendrant la disparition rapide des précipitations dans les égouts. Cela modifie le bilan hydrique naturel, puisque le sol nu maintient la fraîcheur plus qu'un sol imperméable.

- Les caractéristiques thermiques des nouveaux matériaux comme la céramique, l'asphalte... etc. ainsi que leurs faibles albédos ont un impact très important sur le bilan énergétique urbain, entraînant un emmagasinement important de la chaleur et par conséquent une hausse rapide des températures qui demeurent élevées pendant une longue période de la nuit.

Ahmed Ouameur Fouad, 2007 affirme aussi que tous ces éléments interviennent pour transformer les conditions climatiques et 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 [Aït-Ameur, 2002. Eliasson, 1996. Grundström *et al*, 2003. Lindberg, 2003 . Oke, 1981]

I-3- Les diverses échelles du climat urbain :

Pour définir le contexte urbain dans toute sa complexité avec une diversité des échelles spatiales et climatiques, caractérisant des phénomènes dissemblables aux conséquences diverses. Oke. 1997, (voir figure I-2) propose trois échelles climatiques, à savoir : macro, méso et micro. On peut ajouter à cela, une nouvelle échelle, plus fine, la nano échelle qui signifie la micro-micro échelle.

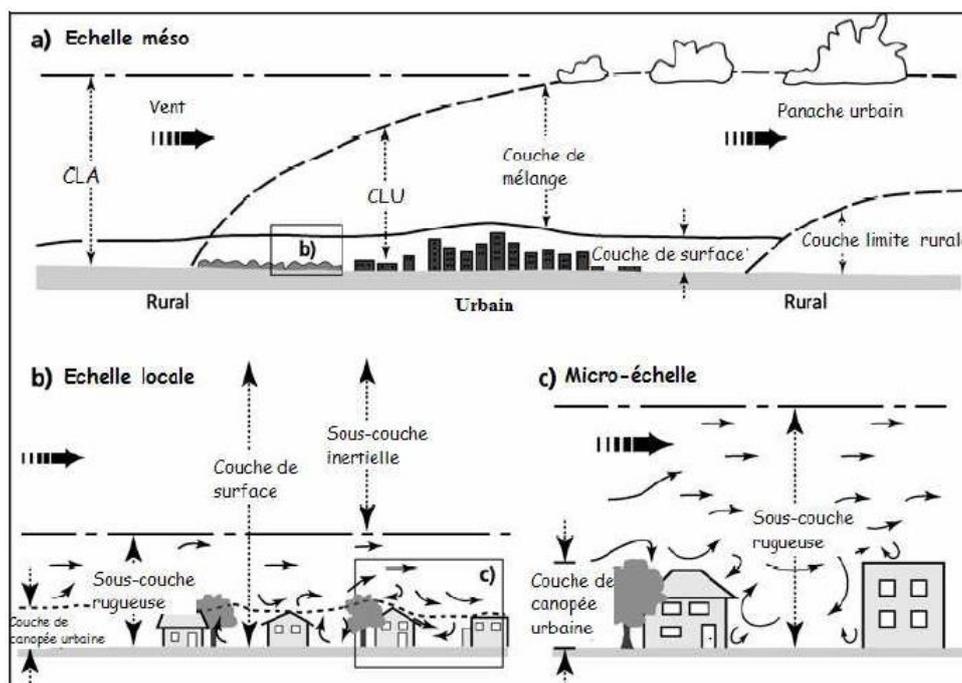


Figure I-2 : représentation des échelles climatique et atmosphérique de l'échelle méso (a) à l'échelle locale (b) et micro (c). Source : Oke 1997

I-3-1 -La méso échelle :

Il s'agit d'une échelle limitée par la couche limite urbaine CLU, elle correspond à une zone influencée par une agglomération et un inter-quartier, c'est une juxtaposition de plusieurs quartiers avec des canyons urbains, de géométrie et d'orientations différentes, ce tissu urbain peut être homogène ou hétérogène.

La couche limite urbaine CLU, située juste au-dessus de la canopée urbaine fait partie de la couche limite atmosphérique CLA (figure I-3), son épaisseur est très variable, elle dépend de la rugosité urbaine, tandis que sa valeur est nulle dans les zones rurales. Cette couche est caractérisée par des transferts d'énergie entre la surface urbaine et l'atmosphère, ces modifications ont lieu dans cette couche au-dessus d'une agglomération ou d'un ensemble de bâtiments. Les variations climatiques sont généralement identiques pour tous les points de la zone étudiée et elles varient en fonction du changement de la typologie urbaine.

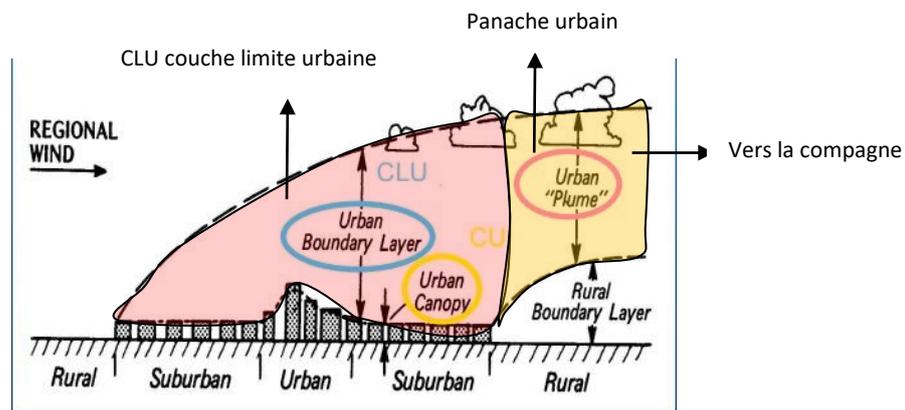


Figure I-3 : représentation à l'échelle méso. Source : Mestayer et Anquetin 1995.

Dans ce niveau (voir figure I-4 et I-5) on parle des phénomènes suivants :

- le vent urbain et l'îlot de chaleur urbain.
- la température de l'air puisque la température de surface est négligeable.
- la rugosité urbaine, suivant la densité et la hauteur du bâti.

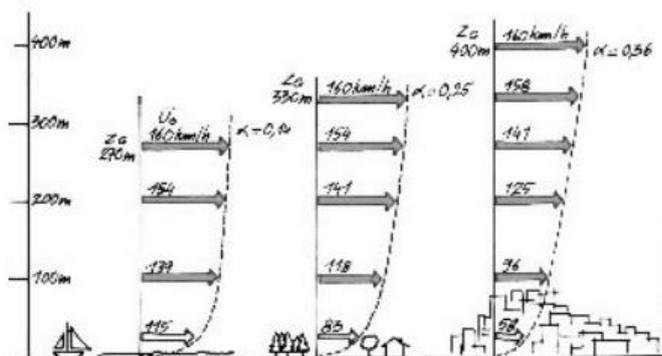


Figure I-4 : La variation de longueur de rugosité (Z0) selon la hauteur densité rugosité urbaine. Source : Goyette-.Pernot,J.2003

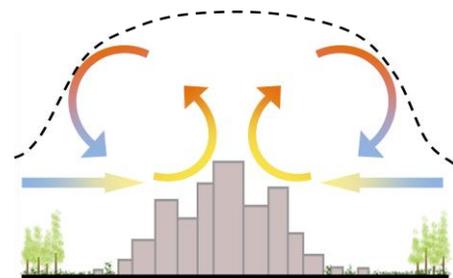


Figure I-5 : un dôme urbain. Source : Goyette-.Pernot,J.2003

Les structures bâties se présentent comme des obstacles, ceux-ci s'opposent à l'écoulement du vent en modifiant la vitesse et la direction du vent selon :

La hauteur, le gradient et la densité du bâti ; d'après Oke 87, la rugosité urbaine, c'est-à-dire, l'effet total du ralentissement de l'air produit par la friction accrue avec les bâtiments de l'agglomération qui contribue à constituer une longueur de rugosité (Z0 en m) importante, ce qui engendre une turbulence mécanique développée dans la couche limite urbaine (CLU)[Goyette-Pernot,J.2003]. De même, Remli. S 2010 ajoute que, quand cette couche est poussée par le vent à l'extérieur de la ville, elle donne naissance à ce qui est appelé le panache urbain. Elle est alors séparée de la surface par

une couche influencée par les caractéristiques de la campagne, cette forte turbulence avec un vent froid constitue un dôme urbain froid, un phénomène appelé aussi vent urbain. En revanche, lorsque le vent est faible, une bulle d'air chaude se forme, entretenue par des cellules convectives d'air chaud ; il s'agit du dôme urbain qui peut atteindre une altitude de 250 m pendant la journée on l'appelle aussi le phénomène d'îlot de chaleur urbain.

En milieu rural l'advection d'air autrement dit l'écoulement horizontal d'air est plus fraîche qu'en milieu urbain dans la CLU, il connaît une stabilité thermique nocturne, à l'inverse l'atmosphère urbaine ne connaît pas une stabilité thermique entre le jour et la nuit (voir figure I-6).

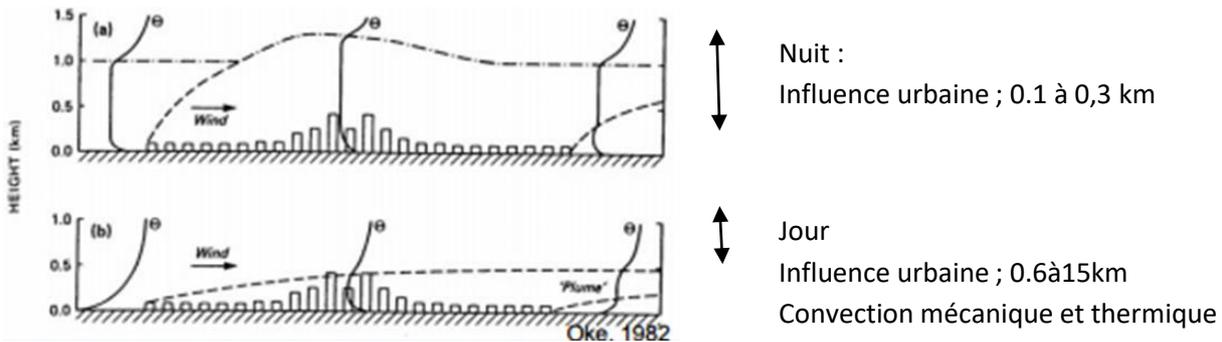


Figure I-6 : propriétés thermiques à la CLU. Source : Goyette-Pernot, J. 2003

D'après Goyette-Pernot J. 2003, cette instabilité thermique est accentuée durant la nuit d'été en zone urbaine, en raison de :

- L'anomalie de température durant la nuit dans la CLU ;
 - Source anthropique de chaleur.
 - Augmentation de la chaleur sensible venant de la surface (CU).
 - Absorption accrue des courtes longueurs d'onde par la pollution.
 - Inversion du transfert thermique en altitude provoquant le transfert de l'air chaud vers le bas grâce à la turbulence urbaine.

Changnon, J. 1971 affirment aussi que la période d'été dans le cas de Saint Louis, Missouri (USA) représente la période de forte précipitation. Généralement, le centre urbain avec une forte densité est un noyau de condensation (voir figure I-7), à cause de la faible vitesse du vent et du mouvement convectif ascendant permettant la condensation et la formation de la vapeur d'eau.

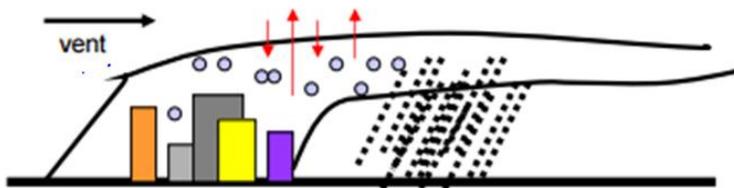


Figure I-7 : Précipitation et CLU. Source : Changnon, J. 1971

Patrick Pigeon dans son livre l'environnement au défi de l'urbanisme 2007 confirme la coexistence d'un îlot de pluviosité à Nîmes en 1988 et d'un *îlot de chaleur qui tend toutefois à augmenter le gradient barométrique, résultat des différences de pression avec les masses d'air voisine. Toutefois, la vitesse mesurée des vents latéraux s'abaisse au-dessus des secteurs les plus densément bâtis des aires urbaines, ce qui traduit un effet de rugosité. Ce dernier est*

particulièrement important. En effet, il facilite l'ascendance des masses d'air, donc la condensation de la vapeur d'eau, et les précipitations. Il en résulte l'autre caractéristique majeure des climats urbains ; l'îlot de pluviosité ».

I-3-2-l'échelle locale :

Dans la canopée urbaine (CU) illustrée dans la figure I-8 où se déroule l'essentiel de l'activité humaine, représentée par la distance entre le sol et le niveau des toits. Ce niveau contribue à créer l'échelle locale [J.Goyette-Pernot ,2003].

La canopée urbaine est une couche qui correspond à la hauteur moyenne des bâtiments qui font obstacle à l'écoulement de l'air dans le milieu urbain. Dans ce sens, Athamena .K. 2008 affirme que, "cette échelle fait référence au quartier intégrant le sol urbain (rue, espaces verts), les structures bâties (bâtiments, îlot ou quartier) et les espaces ouverts (cours ou places publiques) qui est souvent perturbé, en raison des mouvements turbulents engendrés par l'interaction des paramètres climatiques avec les structures urbaines". À cette échelle (du quartier) , on parle des phénomènes suivants :

- le vent urbain, îlot de chaleur urbain
- la température de la surface et du sol
- la rugosité de la surface et du sol

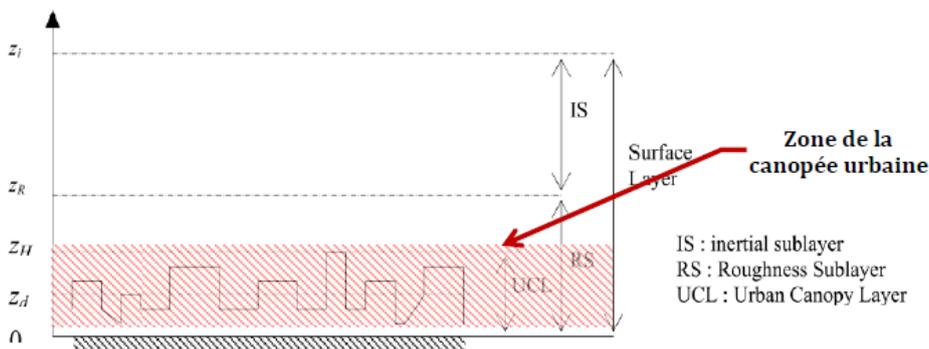


Figure I-8 : représentation schématique de la canopée urbaine source ; Rotach, 2000.

I-3-3- l'échelle microclimatique ;

Cette échelle, plus fine, est limitée par la sous-couche limite de rugosité dans la canopée urbaine, elle concerne le « canyon urbain » représenté sous forme de parallélépipède, sa géométrie est présentée par le ratio (H/W), c'est le rapport entre la hauteur des bâtiments (H) et la largeur du canyon (W). Cette échelle est étendue à quelques centaines de mètres où l'homme peut intervenir pour atténuer les conséquences climatiques par un urbanisme adapté aux vents dominants, à l'ensoleillement, présence d'eau... etc. Dans le parallélépipède, on peut distinguer un microclimat distinct qui existe au niveau d'un bâtiment, d'une rue, d'un arbre, d'un jardin, d'une cour... etc. L'existence du moindre objet peut perturber le flux d'air et engendrer une différence de quelques degrés de la température.

D'après Ahmed, Ouameur Fouad, 2007, l'environnement thermique extérieur et ses phénomènes sont influencés par ; l'interaction complexe de plusieurs facteurs. D'une part, l'interaction entre les facteurs climatiques entre eux, à savoir, la vitesse du vent et la température de l'air... etc. D'autre part, l'interaction entre ces facteurs climatiques et les composants physiques de

la morphologie urbaine. Pour cela, notre intérêt sera focalisé sur les échelles locales et micros c'est-à-dire le quartier et les rues afin de comprendre les phénomènes climatiques générés dans le milieu urbain.

I-4 - Quelques exemples de la prise en considération du climat urbain dans l'aménagement urbain :

L'étude de Givoni (1998) s'intéresse aux considérations d'ordre climatique dans le bâtiment et l'aménagement urbain. Son ouvrage 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 les effets des espaces végétales) , pour proposer des indications pour la construction des bâtiments et l'aménagement urbain.

D'après Colombert .M. 2010, 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. Givoni met ainsi en avant différents critères tels que la situation géographique de la ville, la densité des bâtiments, les caractéristiques thermiques et radiatives de la surface urbaine, l'orientation et la largeur des rues.... etc. Ses indications concernent quatre types de climats (chaud et sec, chaud et humide, froid, et froid en hiver, chaud et humide en été) et 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.

Colombert, M. 2010 souligne aussi que Scherer *et coll.* (1999) se sont intéressés uniquement au concept du climat urbain de la région de Bâle (suisse), la ville est pleine d'ilots de chaleur dont la température dépasse nettement celle des communes aux alentours. Du fait du niveau élevé des émissions de gaz et de la densité des constructions qui rend la ventilation difficile, la pollution y est aussi plus élevée. Ils ont adopté des méthodes pour évaluer et quantifier le climat urbain dans un but d'optimisation des procédés de planification urbaine. Ils se sont plus particulièrement intéressés à cette région et ont produit des cartes climatiques (distinguant plusieurs types de secteurs) pour permettre aux aménageurs de prendre en considération le climat urbain et ses interactions avec les structures urbaines. Pour chaque section climatique, un guide d'aménagement contient des indications sur la ventilation, la situation thermique et la qualité de l'air. Ces cartes climatiques proposent des mesures pour améliorer l'ambiance extérieure, par exemple, rétablir les couloirs d'amenée d'air.

La figure (I-9) ci-dessous montre à titre d'exemple, les zones en rouge représentent les territoires où la ventilation est critique, du fait de la structure du tissu bâti, la ventilation y est difficile, voire impossible, l'objectif dans ce cas est de rétablir la connexion avec les couloirs d'amenée d'air. Tandis que la couleur jaune désigne les territoires dans lesquels les couloirs d'amenée d'air ne peuvent pas remplir correctement leur fonction.



Figure I-9 : analyse climatique de la région de Bâle (KABA) 1998 : extrait de la carte d'aide à la planification (page de garde nord-ouest).

L'étude de Katzschner(1988) concernant la ville de Hannoversch-Münden (Allemagne) se focalise sur la ventilation au sein de la ville et ses conséquences 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 de conclure que Hannoversch Münden peut difficilement accueillir des industries polluantes dans ses alentours sans risquer une pollution importante de l'air. Cette étude montre que de telles cartographies peuvent être mises en relation avec le zonage effectué régulièrement en aménagement urbain.

De plus, Adolphe et coll (2002) ont travaillé sur le projet SAGA Cités (Système d'Aide à la gestion des ambiances urbaines) dont l'un des objectifs était de mettre en relation et en perspective les données recueillies par le biais de mesures in situ (température de l'air, vitesse du vent et humidité) avec celles obtenues par les outils de modélisation physique de la qualité environnementale des espaces urbains (modélisation thermique, thermographie, modélisation aérodynamique... etc.) , à des échelles plutôt micro par l'utilisation d'indicateurs objectifs (densité de bâtiments, taux de minéralisation, densités de sites propres, densités d'espaces verts par habitant, énergie pour le chauffage, etc.) et d'indicateurs subjectifs liés à la perception des usagers, dans une approche combinant technique, social et environnemental. La modélisation de ce projet est mise en œuvre dans un outil d'aide à la décision pour les gestionnaires urbains, qui s'appuie sur un Système d'informations géographiques (SIG). Ce projet, dont les deux thèmes sont le microclimat et l'énergie, a nécessité la collaboration entre des architectes, des ingénieurs et des sociologues, permettant ainsi une approche pluridisciplinaire. L'échelle principale est l'échelle locale du quartier, mais la relation avec les autres échelles géographiques, de l'espace public à l'agglomération est également prise en compte.

Le projet propose au final, une plate-forme informatique permettant le suivi de projets urbains existants (une forme de tableau de bord environnemental), la comparaison (intra ou inter, urbain) entre sites, et la construction de scénarios de conception d'espaces urbains prenant en compte les

enjeux environnementaux (centrés sur les paramètres énergétiques et microclimatiques), mais aussi sociaux et perceptifs⁹.

Le concept de climat urbain est traité dès 1940 dans les pays tempérés avec l'apparition du phénomène climatique « îlot de chaleur urbain » où toutes les recherches antérieures démontrent que l'urbanisation est la principale cause de ce phénomène et plus précisément la nouvelle forme urbaine résultant de la révolution industrielle du 19^e siècle qui a bouleversé de façon brutale l'urbanisme et le micro climat urbain induit. Actuellement, les pays européens au climat tempéré utilisent des cartes climatiques comme guides d'aménagements permettant aux aménageurs de prendre en considération l'interaction des structures urbaines avec le climat urbain posant ainsi les bases d'une l'urbanisation future. En revanche dans les pays en voie de développement au climat chaud et aride, il n'y a pas de stratégie climatique à l'échelle urbaine. La ville désertique a vécu une transformation de sa forme urbaine ainsi que de son climat urbain induit, actuellement le climat de la ville désertique est influencé par une urbanisation accélérée et anarchique. Dans les paragraphes suivants, nous allons présenter la spécificité du climat urbain en milieu désertique.

I-5- L'impact de l'urbanisation dans l'environnement désertique algérien :

L'urbanisation en milieu désertique est très ancienne, la ville en milieu désertique est apparue au début comme un lieu d'échanges commerciaux transsahariens et de transit pour le pèlerinage à la Mecque. Aujourd'hui, la ville saharienne est un mélange entre un tissu urbain ancien et un autre plus récent, ce dernier laisse apparaître un changement de rythme. En effet, l'urbanisation en milieu désertique a connu une continuité spatio-temporelle, elle-même rompue par l'urbanisation récente en fort contraste avec l'ancienne forme urbaine [Côte , M .2003].

Le rythme de l'urbanisation au Sahara s'est accéléré au 20^e siècle conduisant à des bouleversements radicaux dans la ville. La population du Sud algérien a augmenté par rapport au Nord et la majorité vivent dans les zones urbaines, elles sont réparties sur 10 wilayas sahariennes, elles-mêmes concentrées sur des superficies étroites et limitées suivant la disponibilité des ressources naturelles et en particulier l'eau .La croissance de la population a eu pour conséquence l'intensification des activités, agricoles, économiques et industrielles. D'où la rupture de l'équilibre entre l'homme et son environnement, avec l'intensification de l'urbanisation au détriment des zones rurales.

I-5-1-La concentration de la population saharienne :

Année	Sahara Ouest (3 Wilayas) Béchar, Adrar et Tindouf	Sahara Centre (4 Wilaya) Laghouat, Ghardaïa, Tamanrasset et Illizi	Bas Sahara (3Wilaya) Biskra, EL Oued et Ouargla
1966	22 %	35 %	29 %
1977	34 %	56 %	35 %
1987	51 %	64 %	54 %
1998	62 %	80 %	64 %

Tableau I-1 :Taux d'urbanisation des 10 wilayas saharienne aux 4 derniers recensements. Source ;Côte.M ,2003.

⁹BAJOLET, Émilie, MATTÉI, Marie-Flore, et RENNES, Jean-Marc. *Quatre ans de recherche urbaine 2001-2004. Volume 2: Action concertée incitative Ville. Ministère de la Recherche. Université Francois Rabelais, 2013.*

On peut différencier les sous-ensembles sahariens, comme le montre le tableau I-1 les quatre villes sahariennes (Laghouat, Ghardaïa, Tamanrasset et Illizi) situées au Sahara centre sont les plus urbanisées et présentent un poids démographique particulièrement élevé, regroupant 1,6 million d'habitants. C'est-à-dire plus de 52 % des habitants des 10 wilayas qui est estimé à 3 millions d'habitants, ce concentrent dans les zones urbaines sur une étendue relativement petite en fonction des ressources en eaux pour satisfaire les besoins des populations.

Les taux d'urbanisations corroborent ce fait « tableau I-2 ». Si l'on compare les taux d'urbanisation au Nord et au Sud de l'Algérie, au cours des 4 derniers recensements. On voit que le taux d'urbanisation au nord du pays est passé de 32 % à 57 % en 4 décennies, mais pour le Sud et au cours de la même période, de 24 à 68 %. C'est-à-dire que le taux d'urbanisation au sud était en 1966 plus bas que celui du Nord, il s'est inversé avec un différentiel de 10 points par rapport au Nord. Le rythme d'urbanisation au Sud a été beaucoup plus rapide [Côte, M. 2003].

Année	Algérie du Nord (38 Wilayas)	Sahara (10 Wilayas)
1966	32 %	24 %
1977	39 %	40 %
1987	49 %	56 %
1998	57 %	68 %

Tableau I-2: Taux d'urbanisation du Nord et du sud du pays (population urbaine/population totale) aux 4 derniers recensements. Source ; Marc Côte, 2003

Côte, M relie la cause de cette croissance urbaine aux points suivants :

- L'exode rural ; qui, comme ailleurs, traduit le malaise existant lors de la première moitié du 20^e siècle dans les oasis qui a conduit les populations vers les centres urbains.
- La sédentarisation des nomades, qui est une forme particulière d'exode rural, de recensement en recensement, l'effectif de population nomade a diminué régulièrement et spectaculairement dans le Sahara algérien, le phénomène est quasiment achevé aujourd'hui.
- La descente de la population du Nord, des fonctionnaires ou des professions libérales, venue dans la foulée des investissements de l'État dans le Sud et à cause de l'insécurité régnant au Nord pendant la décennie noire qu'a vécue l'Algérie.

I-5-2-L'impact de l'urbanisation sur la biodiversité et la dégradation de l'environnement :

Les zones urbaines, et tout particulièrement les villes, se développent et s'étalent grignotant peu à peu l'environnement naturel. D'après, Torrey.Barbara-Boyle (2004), les populations urbaines et leur environnement immédiat s'influencent mutuellement surtout dans le sens négatif puisque les personnes en milieu urbain changent leur environnement à travers leurs besoins biologiques, de consommation de nourriture, d'eau, d'énergie et de terres. Torrey .Barbara-Boyle (2004), souligne aussi que les populations urbaines consomment non seulement plus de nourriture, mais elles consomment aussi plus de biens durables des futures générations, ce taux de consommation de biens durables en zone urbaine est lié inévitablement au taux de croissance de la population.

Cette croissance urbaine avec une immense pression de l'homme sur la nature entraîne une élévation de l'empreinte écologique¹⁰ avec le risque d'épuisement des ressources comme la quantité de surface terrestre bioproductive (biocapacité)¹¹ qui nous permet de vivre en autarcie de façon durable et répondre à nos futurs besoins en nourriture, chauffage, matériaux de construction, air pur, eau potable. Patrick Pigeon (2007) dans son ouvrage affirme que la réduction de la biodiversité est rattachée aux effets du développement urbain, directs et indirects.

Torrey .Barbara-Boyle(2004), affirme que la consommation écologique dans les zones urbaines est plus grande que dans les zones rurales et par conséquent la plupart des biens durables ont besoin d'énergie sous forme d'électricité pour fonctionner. Cette consommation accrue d'énergie aura probablement des effets nocifs pour l'environnement et en plus l'environnement urbain pollué affecte à son tour la santé et la qualité de vie des populations urbaines.

I-5 -3-l'impact de l'urbanisation sur le climat :

La ville désertique est soumise à des conditions climatiques extrêmes, une mauvaise adaptation au climat désertique ainsi qu'une pollution provenant des activités industrielles et du transport urbain .Cette mauvaise performance thermique de la ville engendre une grande consommation d'énergie sous forme de climatisation active durant l'été. Cette demande énergétique intensive produit une chaleur supplémentaire appelée la chaleur anthropique qui engendre une augmentation de la température de l'air. Dans les paragraphes suivants, nous allons analyser cette hausse de température à l'échelle du globe et à l'échelle de la ville.

I-5-3-1- La température du globe :

Depuis le début du XXe siècle, la température s'est accrue de 0,6 °C et pourrait prendre plus de 1,1 °C supplémentaire au XXIe siècle selon les six scénarios étudiés (Fig.I-10 en dessous). D'après la recherche de ; Andral, Bruno (2014) basée sur le quatrième rapport du GIEC (Groupement d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), paru en 2007 qui affirme que : *“une dispersion de l'augmentation moyenne de la température de l'air en surface, variant entre près de 2 °C pour le scénario le moins élevé (nommés B1 et A2, au sein d'une fourchette probable comprise entre 1,1 °C et 2,9 °C) et environ 4 °C pour le scénario le plus élevé (nommé A1F1, au sein d'une fourchette probable comprise entre 2,4 °C et 6,4 °C) . Les scénarios sont basés sur des hypothèses estimant les niveaux de croissance de la population, les activités économiques et commerciales, ainsi que les niveaux de consommation d'énergie. Pour un scénario moyen (nommé A1B), la meilleure estimation est de 3,4 °C (au sein d'une fourchette probable comprise entre 2 °C et 5,4 °C)”*.¹²

Dans ce sens, Jancovici, Jean-Marc(2000) ajoute que ; *“la hausse serait alors beaucoup plus importante que toutes celles survenues au cours des 10 000 dernières années. Les températures relevées précisément depuis 1860 (date du début de la période d'instrumentation) font apparaître un réchauffement de la température moyenne de l'air au niveau du sol de 0,5 °C environ depuis le début du siècle et les records de chaleur sont tous concentrés dans les années récentes”*.

¹⁰-L'empreinte écologique est liée à la surface et au nombre d'habitants. C'est une mesure de la pression qu'exerce l'homme sur la nature. C'est un outil qui évalue la surface productive nécessaire à une population pour répondre à sa consommation de ressources et à ses besoins d'absorption de déchets. À l'échelle d'une personne, l'empreinte écologique est une estimation de la superficie nécessaire pour répondre à l'ensemble de vos besoins en ressources naturelles.

¹¹-La biocapacité d'une zone biologiquement productive (appelée aussi zone bioproductive) donnée désigne sa capacité à produire une offre continue en ressources renouvelables et à absorber les déchets découlant de leur consommation, notamment la séquestration du dioxyde de carbone.

¹²- ANDRAL, Bruno. Bases scientifiques et techniques d'un observatoire du changement global en mer. 2014.58p

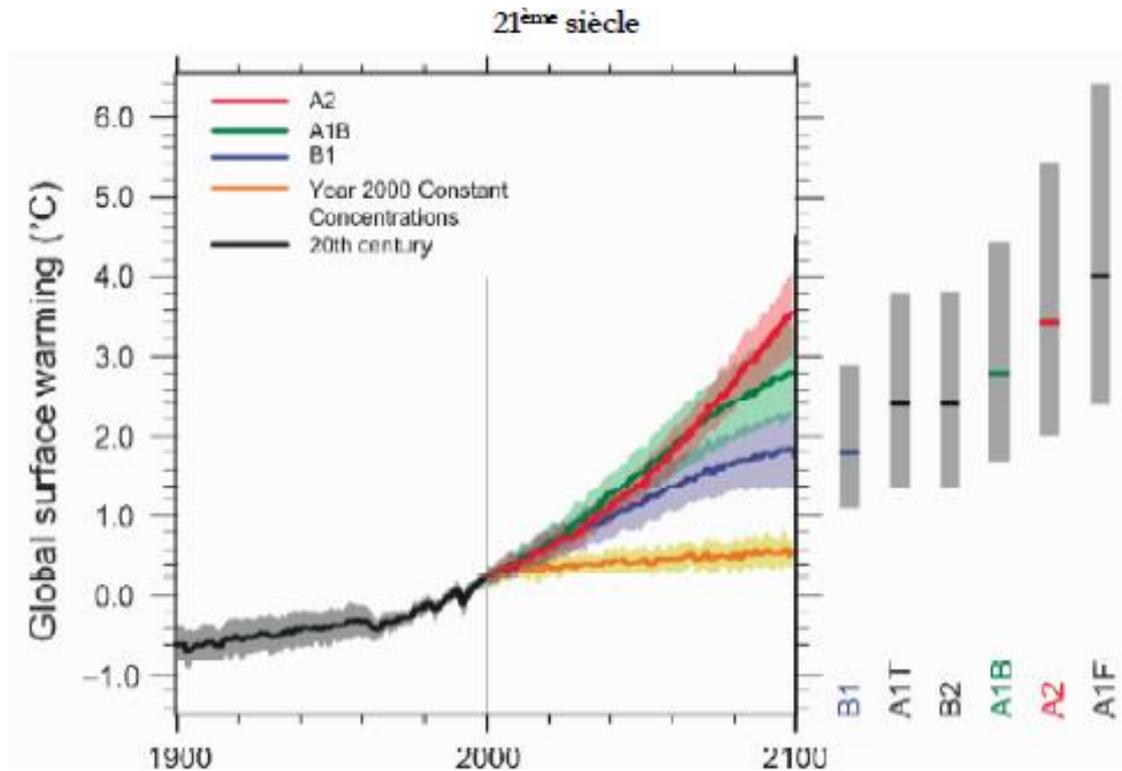


Figure I-10-les moyennes multi modèles et les intervalles estimés du réchauffement global en surface (°C) au cours du 21^{ème} siècle, Moyennes selon six scénarios clés du GIEC, notamment : B1 (bleu), A1T, B2, A1B (vert), A2 (rouge), A1F1. La série temporelle orange suppose une concentration en GES stable à partir de l'an 2000
Source : Rapport GIEC, 2007, pour de plus amples informations.

De même et d'après le groupe de travail –ONERC-ville et adaptation au changement climatique ,rapport au premier ministre et au parlement (2005) affirme qu'il ya ; *'une autre approche de l'évolution du climat des villes est faite à partir des projections climatiques internationales et nationales en se basant sur des scénarios (le modèle anglais et le modèle de Météo-France), démontre qu'en 2100, Paris connaîtra un climat comparable à celui de Cordoue actuellement, ou à celui de Bordeaux. Le climat de Marseille deviendrait proche de celui de Cordoue, ou d'un climat grec. En 2100, la ville connaîtra une évolution du climat certaine, forcée par la démographie ou d'autres facteurs socioéconomiques, qui à son tour aura un impact sur le microclimat de l'agglomération''*.

À partir de cette étude climatique, nous pouvons construire un scénario pour prévoir le futur climat qui menacera les pays du bassin méditerranéen comme l'Algérie. Il est probable que plus de 85 % de la surface de l'Algérie qui est déjà un désert sera plus aride. Donc nous devons adapter la ville désertique pour faire face à ce climat extrême.

I-5-3-2- La température à l'échelle de la ville

L'office national de météorologie d'Algérie(ONM) affirme qu'en 1987, l'Algérie a enregistré une élévation de la température de l'ordre de 1 °C à 2 °C sur l'ensemble de son territoire, la moyenne des températures a atteint des valeurs jamais enregistrées auparavant de 45,5 °C à 49 °C pour la région Saharienne, 36 °C à 38 °C pour la ville de Sétif et de 35 °C à 39 °C pour la ville d'Alger. Une étude récente menée par le service veille climatique de l'ONM d'Alger, stipule qu'il y a un changement dans notre climat (voir figure I-11 en dessous), pas seulement à l'échelle nationale, mais aussi à l'échelle régionale et par conséquent au niveau des villes.

Il apparaît dans cette étude, réalisée par Mr Boucherf de l’ONM d’Alger, qu’il y a une nette évolution des écarts annuels des pluies et des températures.

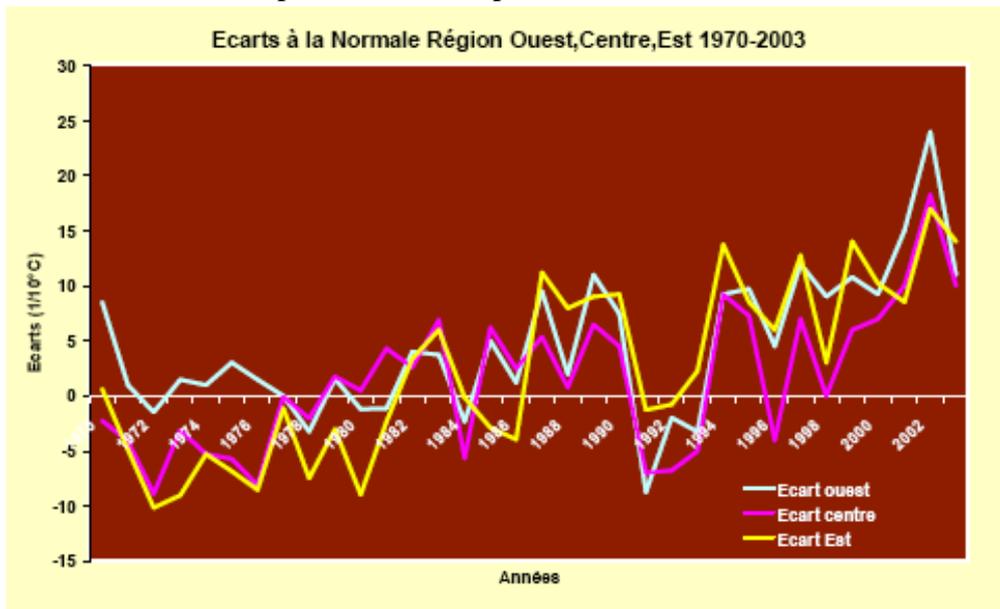


Figure I-11 : Les écarts par rapport à la normale des températures : région Ouest, centre, est- Algérie 1970-2003. Source :Boucherf .D, ONM Alger 2004.

Selon la région, cette évolution varie en fonction de l’année et de la ville concernée, dans les trois régions, que ce soit pour la région Ouest, Centre et Est, l’évolution des écarts de température par rapport à la normale est très claire. À partir ce graphe, on peut distinguer deux phases. La première s’étale de 1970 à 1983 et la seconde est comprise entre 1984 et 2003. Alors, on remarque que les écarts de températures étaient négatifs entre 1970 et 1983, ces derniers ont commencé à prendre des valeurs positives en moyenne à partir de 1981 pour l’ensemble des régions du territoire Algérien, à partir de là, ils n’ont fait qu’augmenter d’année en année jusqu’à, atteindre des valeurs maximales et ce depuis 2003. En outre, selon l’ONM d’Alger, la projection climatique saisonnière sur l’Algérie à l’horizon 2020 est effectuée sur la base du modèle MAGICC, en adoptant le scénario IS92a du GIEC¹³. Selon la saison, les facteurs climatiques traités, à savoir, la température (T) et les précipitations (P) sont présentés sous forme de tableau récapitulatif (voir tableau I-3).

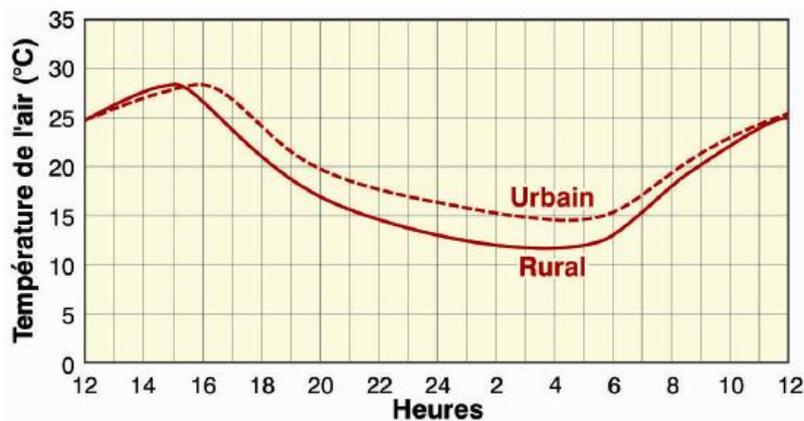
Saison	Automne	Hiver	Printemps	Été
T : température	T: hausse de 0.7 à 1.1°C	T: hausse de 0.65 à 0.8°C Un max de +0.8°C au Sud	T: hausse de 0.85 à 0.95°C Un max de 0.95°C au Sud	T: hausse de 0.85 à 1.05°C
P : précipitations	P: baisse de 6 à 8%	P: baisse de 10%	P: baisse de 5 à 9%	P: baisse de 8 à 13%

Tableau I-3 : Résultats générés par le modèle MAGICC pour la projection climatique en Algérie, à l’horizon 2020. Source : ONM Alger, 2004.

¹³-Groupe d’experts intergouvernementaux sur l’évolution du climat (GIEC)

Il apparaît pour les deux paramètres un changement considérable ; une hausse de température allant en moyenne de 0,8 °C à 1 °C sur l'ensemble de l'année, et une nette baisse des précipitations pouvant atteindre les 13 %. Ce qui représente une tendance au réchauffement annuel de l'ensemble des régions du territoire Algérien, y compris la région Saharienne. On constate que cette hausse de température est différente d'environ 3 °C à 5 °C entre la ville et la banlieue.

Dans le graphe suivant d'Oke (figure I-12), on remarque un écart journalier de température entre le milieu urbain et rural. En général, l'environnement urbain est plus chaud juste avant le lever du soleil que les sites ruraux, car la ville se refroidit plus lentement pendant la nuit.



(Schéma basé sur Oke 1987).

Figure I-12 : Schéma de déphasage temporel journalier de température entre milieu urbain et rural

Source ; Oke1987

Puisque la géométrie et la densité urbaine influent directement la température dans la ville par le biais de leurs composants, tels que : la nature des surfaces, le profil de la rue, l'albédo des surfaces, la forme ainsi que la taille du bâtiment, sans oublier la chaleur anthropique due à l'activité humaine. La nouvelle forme urbaine induit un macro climat urbain différent du milieu rural voisin ainsi qu'un micro climat urbain, ayant un certain avantage au désavantage pour le confort extérieur et intérieur et sur la demande énergétique.

I-5-4- Le réchauffement urbain :

Il est connu que les villes sont des sources de pollution, les émissions de gaz à effet de serre, les aérosols... etc., sont implicitement et explicitement responsables du réchauffement urbain .Oke (1997) suggère que 85 % du total mondial des émissions anthropiques de CO₂, O₃,CFC, méthane et troposphériques provient des villes. Pigeo ,Patrick 2007 dit que « 77 % des besoins énergétiques sont satisfaits par l'utilisation de combustibles fossiles, générateurs de gaz carbonique ». En 2014, d'après le rapport mondial élaboré par l'organisme international 'Global carbon project' : « une légère hausse, de l'ordre de 2,8 % des émissions globales de dioxyde de carbone en Algérie, de l'ordre de 147 millions de tonnes (Mt) par rapport à (143 Mt) en 2013, dues à la combustion d'énergie fossile, la production de ciment, l'exploitation des gisements miniers et l'extraction des hydrocarbures. La production électrique, à elle seule, génère 547.8543g/kWhel (grammes par kilowatt heure électrique) » selon International Energy Agency (IEA).

D'après la publication du portail algérien des énergies renouvelables, 2011(l'évolution de la demande électrique en Algérie) une hausse de la demande d'énergie et des émissions de CO₂a été observée ces dernières années en Algérie, ils sont expliqués par le recours de plus en plus généralisé à la climatisation active. Puisque la majorité des immeubles en béton sont inadaptés au climat et ont supplanté les arbres et la couverture végétale naturelle provoquant ainsi l'emménagement de la

chaleur. Le seul moyen de remédier à cela c'est d'avoir recours à la climatisation active, ce qui conduit à des quartiers plus chauds et plus pollués.

Reiter, Sigrid (2007) montre que la conception urbanistique adaptée au climat permet d'obtenir un microclimat plus proche des valeurs intérieures et donc de nécessiter moins d'énergie. Le graphe ci-dessous (figure I-13) permet de comprendre qu'une conception urbaine et architecturale adaptée au climat réduit substantiellement les consommations d'énergie du bâtiment. L'urbanisme microclimatique est donc essentiel pour limiter la consommation d'énergie des bâtiments en été.

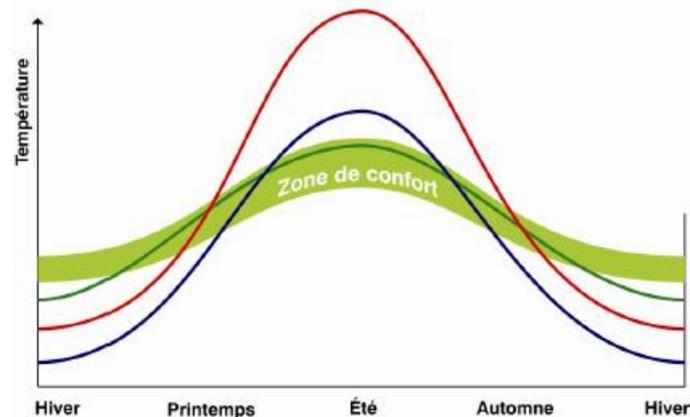


Figure I-13 : représentation d'une conception urbaine adaptée au climat. Source :Reiter, Sigrid .2007

- : Température sans climatisation active dans un bâtiment bien conçu
- : Température dans un bâtiment inadapté à son climat
- : Température intérieure
- : Température de confort qui varie avec l'habillement

La consommation intensive d'énergie dans la ville désertique est due en particulier à la conception d'une ville inadaptée au climat : l'agglomération urbaine est donc plus « chaude » que la zone environnante. En plus, le taux élevé des rejets des gaz brûlés d'essence ou de gazole dans les grandes artères dues au transport aggrave le stress thermique. Tout cela favorise la création d'aérosols urbains formés de poussières et de gouttes de rosé qui contribue donc à augmenter le pouvoir réfléchissant de l'atmosphère induisant une hausse de température, donc une tendance au réchauffement de la terre et par conséquent un changement climatique qui influe sur le climat de la ville, il est illustré par l'apparition de nouveaux phénomènes urbains ; pluies acides, les îlots de chaleur urbains et les vents urbains ¹⁴.

I-5-5-les conséquences du réchauffement climatique :

I-5-5-1- L'activité biologique ;

Au fil des siècles, les espèces animales et végétales des terres arides se sont adaptées aux conditions sévères du désert. D'habitude, les plantes ont besoin d'une température optimale pour la photosynthèse puisque la température stimule l'activité biologique, mais le surplus de chaleur peut allonger ou raccourcir la saison de croissance de certaines espèces. En changeant leurs compositions et pourraient mettre en péril certains organismes qui vivent déjà près de leur limite de tolérance à la chaleur, et la perturbation des conditions climatiques moins favorables à la fécondation et à la pollinisation, affectant ainsi le rendement et la qualité de la production agricole, comme la palmeraie... etc.

¹⁴—MARESCA, Bruno, DUJIN, Anne, et PICARD, Romain. *La consommation d'énergie dans l'habitat entre recherche de confort et impératif écologique*. Centre de recherche pour l'étude et l'observation des conditions de vie, 2009. [Enligne] <http://www.credoc.fr>, (Page consultée le 17 Décembre 2016)

En outre, ces conditions défavorables accroissent l'émergence d'une gamme d'insectes cryptogamiques (moustiques... etc.) vecteurs de maladies infectieuses [Beniston, Martin.2009].

I-5-5-2- La consommation d'énergie :

Le climat mondial se réchauffe et les villes en zones au climat chaud et aride feront probablement face à une augmentation de l'utilisation d'énergie pour la climatisation active. La demande énergétique est liée aux différents facteurs dont le plus pertinent est d'origine climatique, l'accroissement de la demande pour le refroidissement à l'intérieur des bâtiments contribue au dégagement d'une charge thermique supplémentaire dans le milieu ambiant. Tout cela conduit également à une demande supplémentaire et excessive sur la climatisation active et en conséquence sur l'énergie. L'utilisation de carburants supplémentaire est susceptible d'aggraver l'émission des gaz à effet de serre contribuant ainsi au réchauffement climatique [Beniston, Martin.2009].

Des études américaines [Akbari et al.1992] ont montré qu'une augmentation de la température de l'ordre de 0,5 °C implique une augmentation de la demande en air conditionné de 1,5 à 2 %. Lors des saisons chaudes lorsque cette augmentation est de 1 à 2 °C, la consommation en énergie électrique peut augmenter de 3 à 8 % et encore plus en cas de brouillard [Benzerzour, M.2004].

En Algérie, et d'après la publication du portail algérien des énergies renouvelables, 2011(l'évolution de la demande électrique en Algérie) affirme que ces dernières années, la hausse des températures en été se traduit par une surconsommation, pouvant aller jusqu'à plusieurs centaines de MW (mégawatts). À titre illustratif, à Biskra et suite à une baisse sensible de la température (de 37 °C le dimanche 7 août et 32 °C le mercredi 10 août 2011) l'appel de puissance durant le pic de consommation a diminué de 8500 MW le dimanche 7, et jusqu'à 7500 MW le mercredi 10 août 2011 (voir figure I-14).

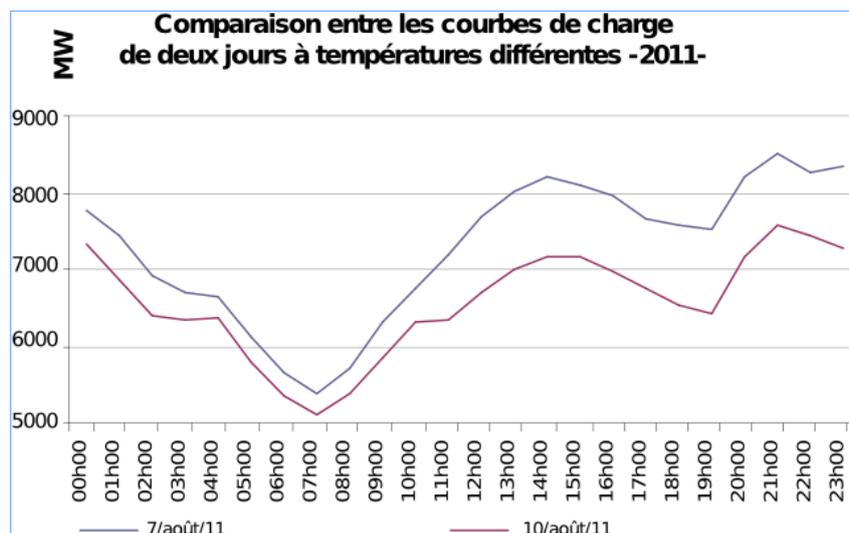


Figure I-14 : comparaison entre les courbes de charge de deux jours à températures différentes Source :Sonelgaz, 2011

En 2011 et selon la Sonelgaz de Biskra, on a enregistré durant les périodes de canicule des températures allant de 44 °C à 48 °C et une hausse de la demande sur l'énergie électrique, en raison du recours à la climatisation pendant les heures de pointe (13.00-16.00h et 20.00-23.00h).

I-5-5-3- La vulnérabilité urbaine :

D'après, Füssel, H-M (2007) la vulnérabilité est la résultante de ces trois composantes ; l'aléa, l'enjeu et le risque (figure I-15). Le groupe de travail –ONERC-ville et adaptation au changement climatique et d'après Norrant-Romand, Caroline (2013) affirme que les différents effets négatifs du changement climatique rendent les villes plus vulnérables. Ces impacts sont susceptibles de provoquer des aléas, c'est-à-dire des événements pouvant affecter négativement «la société». L'enjeu donc concerne l'ensemble de la population et du patrimoine susceptibles d'être affectés par un aléa, par exemple, la population, les bâtiments et les infrastructures affectés négativement par l'impact des vagues de chaleur.

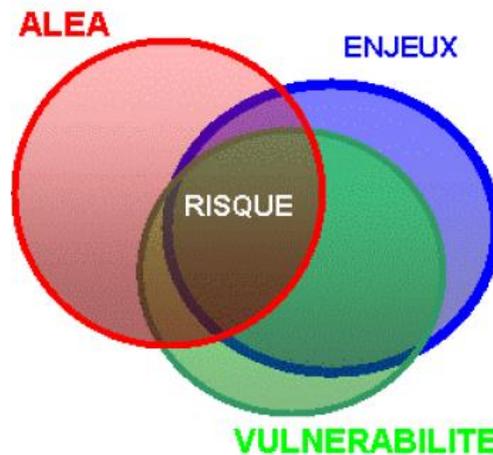


Figure I-15 ; la représentation montre la vulnérabilité urbaine. Source : Füssel 2007.

La vulnérabilité urbaine s'explique en partie par la densité de la population et par l'altération de la distribution des flux de chaleur de surface en zones urbaine, comparée aux zones rurales environnantes. Cette altération résulte principalement :

- du changement des propriétés physiques des surfaces dû au remplacement de la végétation par des matériaux de couverture tels que l'asphalte et le béton, entraînant la modification des flux radiatifs, thermiques naturels.
- De la réduction de l'humidité de surface nécessaire à l'évapotranspiration,
- du changement de l'écoulement d'air à la surface et de la formation des turbulences causées par les rues et les grands bâtiments,
- de la chaleur produite par les activités humaines.

L'ensemble de ces effets génère des écarts de température entre les zones urbaines et les zones rurales appelés "îlots de chaleur urbains". Caractérisés par une persistance de températures nocturnes élevées, ils peuvent entraîner une surmortalité en période caniculaire.

I-6- Le climat en Algérie :

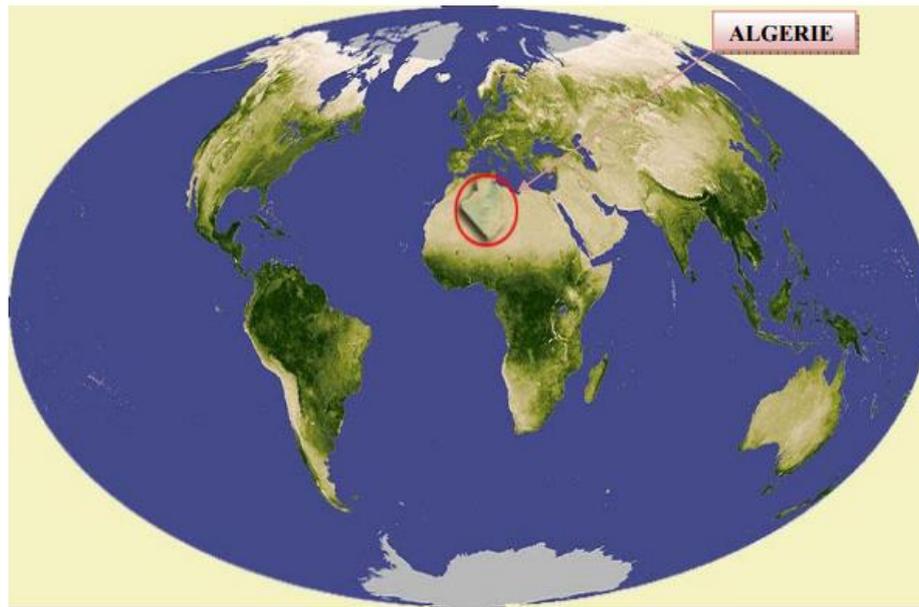


Figure I-16 : situation de l'Algérie. Source ; encarta, 2005.

L'Algérie est située au nord-ouest de l'Afrique en bordure de la Méditerranée. (voir figure I-16) elle possède une superficie 2,4 millions de km², Ce qui en fait le neuvième pays du monde par sa superficie et le plus grand pays du continent africain (après la division du Soudan) , sa superficie importante présente une variété climatique . Selon la classification de Köppen¹⁵, la partie nord est caractérisée par un climat méditerranéen , tandis que le Sud du pays est caractérisé en majorité par un climat continental désertique, entre ces deux types de climats, existent des climats de transition, en particulier le climat semi-aride. À cette vaste étendue territoriale correspond une diversité de zones climatiques. Le ministère de l'Habitat en 1993 a classé les zones climatiques en Algérie en deux grandes catégories¹⁶les zones climatiques d'hiver et les zones climatiques d'été [Djenas, S. 1984].

I-6-1-Les zones climatiques d'hiver : (voir figure I-17)

- La zone H1 subit l'influence de la proximité de la mer.
- La zone H2 subit l'influence de l'altitude.
- La zone H3 subit l'influence de la latitude.

¹⁵-La classification de Köppen est une classification des climats fondée sur les précipitations et les températures. C'est le botaniste Wladimir Peter Köppen qui l'a inventée en 1900

¹⁶- DIB, Michel Nadia . Recommandations architecturales, ENAG-Edition, Alger, 1993.

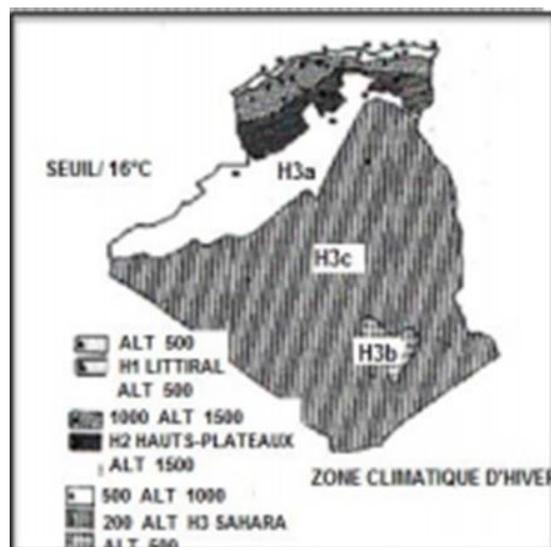


Figure I-17 :les zones climatiques d'hiver. Source :(ENAG ,1993)

Ces trois zones sont classées en fonction de l'altitude en 07 sous zones comme suit :

- 1— Sous zone H1a : littoral et mer, altitude 500m : caractérisée par des hivers plus froids et plus longs.
- 2-Sous zone H2a : atlas tellien — montagnes, 1000 < altitude < 1500 m : caractérisée par des hivers froids et un écart de température diurne important.
- 3-Sous zone H2b : atlas saharien montagne, altitude > 1500 m : caractérisée par des hivers encore plus froids.
- 4-Sous zone H3a : pré-Sahara, 500 m< altitude < 1000 m : caractérisée par des hivers très froids la nuit par rapport au jour. Les écarts de température entre le jour et la nuit sont importants.
- 5-Sous zone H3b : Sahara, 200 m< altitude < 500 m : caractérisée par des hivers moins froids que la zone H3a avec des écarts de température diurne.
- 6— Sous zone H3c : Hoggar, altitude > 500 m : caractérisée par des hivers très froids analogues à la zone H3a, mais qui persiste même durant la journée.

I-6-2-Les zones climatiques d'été :(voir figure I-18)

Cinq zones déterminent les zones climatiques d'été [Djenas, S. 1984] :

- La zone E1 subit l'influence de la proximité de la mer.
- La zone E2 subit l'influence de l'altitude.
- La zone E3, E4 et E5 subissent l'influence de la latitude.

Chaque zone est caractérisée comme suit :

- 1- La zone E1, littoral : caractérisée par des étés chauds et moins humides. L'écart de température diurne est faible.
- 2- La zone E2, hauts plateaux — montagne : caractérisée par des étés plus chauds et moins humides avec des écarts de température diurne importants.
- 3- La zone E3, pré Sahara — tassili : caractérisée par des étés très chauds et secs, mais moins pénibles qu'en zone E4.
- 4- La zone E4, Sahara : caractérisée par des étés secs, mais plus chauds et plus secs qu'en zone E3.
- 5- La zone E5, Tanegrouft : caractérisée par des étés chauds et secs et extrêmement pénibles par rapport aux zones E3 et E4.

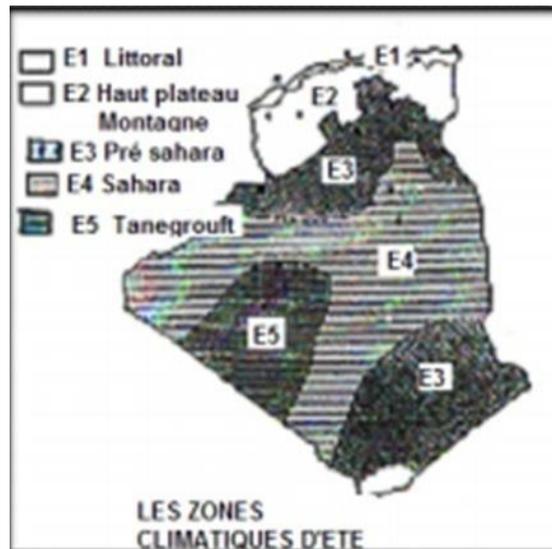


Figure I-18 :les zones climatiques d'hiver. Source :(ENAG ,1993)

I-6-3- Le climat désertique :

Selon Givoni (1978) le climat désertique est un climat chaud et sec caractéristique de toutes les zones arides et semi — arides. Généralement toutes les zones arides ou semi-arides situées de part et d'autre des deux tropiques 15° et 35° Nord et Sud de l'équateur [Gouizi, Y.2003], et la plupart des zones arides se situent sous les grands anticyclones¹⁷ subtropicaux¹⁸ dont : sud-ouest des États-Unis et du Mexique, l'Afrique, le Sahara, l'Arabie, le Thar, L'Amérique du Sud et l'Australie.

I-6-4- La spécificité de l'environnement désertique :

Le désert Algérien s'étend sur plus de 2 millions de km², soit près de 85 % de la superficie de l'Algérie, il est marqué par la rareté des ressources naturelles comme l'eau et la biodiversité .Son climat est caractérisé notamment par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations ,les durées d'insolation sont évidemment très importantes au Sahara (de 9 à 10 heures par jour). Le désert est avant tout le pays du soleil [Dubief, J.1959] .

Le milieu désertique est fragile et vulnérable face aux deux facteurs ; le premier d'ordre démographique ; la croissance de la population s'accompagne d'une diversification des activités (vers les secteurs tertiaires et les services), elle induit une demande croissante d'eau ; l'eau potable à distribuer, les eaux usées à récupérer, l'eau pour l'industrie et les services, comme le tourisme.

Le deuxième d'ordre climatique ; les milieux arides et semi-arides sont particulièrement vulnérables aux changements climatiques puisqu'un petit changement dans la température ou la configuration des pluies peuvent avoir des conséquences extrêmes .On peut citer, les sécheresses cycliques, le dérèglement climatique et les conséquences graves sur la diversité biologique des terres arides et semi-arides.

¹⁷-Un anticyclone est une zone de haute pression atmosphérique.

¹⁸- Les climatologues considèrent la zone subtropicale comme la région du globe où la chaleur n'est plus permanente comme entre les tropiques, mais est interrompue par un hiver relativement doux.

La température pourrait augmenter de 3 °C d'ici 2050 et dépasser les 5 °C en 2100, alors que les précipitations diminueraient de 30 % d'ici 2050 à 10 % en 2100, induisant une hausse d'évapotranspiration et un stress hydrique. En outre, l'eau comme source vitale et géopolitique, pose déjà des problèmes dans sa gestion indépendamment du changement climatique, un volume d'eau important sera touché par la diminution des précipitations, puisque le volume maximal mobilisable serait à la limite des besoins voire déficitaire en Algérie. D'ici 2050, la réduction moyenne des rendements de 14 % à près de 5.7 % : le rendement des légumes diminueraient de 30 à 10 %. ¹⁹Des menaces pèsent sur l'installation des habitants entravant ainsi tout le processus de développement, on peut citer trois ordres de menaces :

- menaces d'ordre économique, la dégradation des ressources naturelles
- menace sur la société dans son ensemble : l'État et la société civile ;
- menaces sur l'environnement et les ressources naturelles du continent.

Malgré les ressources limitées dans le désert, le génie bioclimatique des autochtones a pu créer des oasis par une exploitation pérenne des maigres ressources. Durant des siècles, les autochtones ont réussi à apprivoiser l'aridité du désert et cohabiter en harmonie avec les potentialités disponibles, ce génie bioclimatique a trouvé la manière d'agir pour faire face à cet environnement hostile et extrême, sa meilleure illustration est cette oasis dans le désert.

I-6-5- La notion d'aridité :

L'aridité est un état caractérisé, de façon constante, par de faibles précipitations en raison de l'évapotranspiration potentielle²⁰ [Golany, 1982], une température élevée et par conséquent une végétation pauvre. Il ne faut pas la confondre avec la sécheresse, qui caractérise l'état d'un sol ou d'un environnement, correspondant à une pénurie d'eau sur une période significativement longue. Pour avoir un impact sur la flore naturelle ou cultivée, mais qui contrairement à l'aridité, est anormale par rapport au climat de base [William, 2008].

I-6-6- Les degrés d'aridité :

D'après, Emmanuel Bouchot 2015, l'aridité n'est pas similaire dans tous les déserts du monde puisqu'elle dépend de multiples facteurs ; la situation géographique, les précipitations totales, leur répartition saisonnière et les températures. En plus, Martonne a classé les différents types de climats en fonction de leur degré d'aridité "indice de Martonne" (tableau I-4).

Valeur de l'indice	Type de climat
0 < IDM < 5	Hyper aride
5 < IDM < 10	Aride
10 < IDM < 20	Semi aride
20 < IDM < 30	Semi humide
30 < IDM < 55	Humide

Tableau I-4 : Indices de Martonne. Source : Guyot (1999)

¹⁹-KADIK, B. . *Éléments d'une stratégie d'adaptation au changement climatique en zone aride et semi-aride*. 2007.

Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides. Biskra .p311-

331. [En ligne] <http://dSPACE.crstra.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/418/1/elements-dune-strategie-daptation-au-changement-climatique-en-zone-aride-et-semi-aride.pdf> (page consultée le 05 octobre 2016).

²⁰-évapotranspiration potentielle ; c'est la quantité maximale d'eau susceptible d'être évaporée sous un climat donné par un couvert végétal continu bien alimenté en eau

I-6-6-1- déserts hyperarides : (indice d'aridité 0-5)

Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) les zones hyperarides sont des zones dénuées de végétation, sauf quelques buissons épars. Généralement, les précipitations tout le long de l'année sont faibles, et dépassent rarement 100 millimètres. Les pluies sont peu fréquentes et irrégulières, parfois inexistantes pendant de longues périodes qui peuvent durer plusieurs années. D'après, Emmanuel. Bouchot (2015) : “ces zones couvrent moins de 6 millions de km². Ils se trouvent au cœur des plus vastes espaces continentaux, à titre d'exemple : Tanezrouft situé au Sahara de l'Algérie et le Mali, où plus d'un an peut s'écouler sans qu'il pleuve, et les bassins ou cuvettes des déserts d'abri (vallée de la mort, Iran, Turkestan)”

I-6-6-2-déserts arides ; (indice d'aridité 5-10)

Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) ces zones sont caractérisées par le pastoralisme et l'absence d'agriculture, à l'exception des zones irriguées. La plupart du temps, les précipitations sont variables, avec des quantités annuelles allant de 100 à 300 millimètres. D'après, Emmanuel. Bouchot, 2015 : “ils couvrent jusqu'à 22 millions de km², essentiellement en Afrique (Sahara) et en Asie (déserts de Thar, au Pakistan, du Tibet, en Iran), où ils ceinturent les déserts absolus”.

I-6-6-3-déserts semi-arides :(indice d'aridité 10-20)

Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) ces zones sont caractérisées par une agriculture pluviale, et parfois par la pratique de l'élevage sédentaire. D'après, Emmanuel. Bouchot, 2015 : “la précipitation annuelle varie de 300-600 à 700-800 millimètres, ces zones couvrent également près de 22 millions de km². Bien représentées aux marges des zones arides, elles occupent de grandes surfaces en Australie et en Amérique du Nord”.

I-6-7- Le calcul de l'indice d'aridité (d'après E.D Martonne) :

L'indice d'aridité I (De Martonne, 1923) ; est défini comme le rapport entre la hauteur moyenne des précipitations annuelles et la moyenne des températures annuelles. Selon les données climatiques sur dix ans (2005–2015) de la ville de Biskra (tableau I-5, graph I-1, Ci-dessous), on peut réaliser un histogramme déterminant la valeur de l'indice d'aridité de la ville de Biskra durant cette période.

Année	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
Précipitation Moy (mm)	14,74	10,94	16,38	14,73	10,17	7,68	1,1	2,05	22,27	29,85	14,47
T moy 05-15	12,25	14,39	16,81	22,19	27,27	31,24	35,56	34,41	30,44	24,39	17,77
T+10	22,25	24,39	26,81	32,19	37,27	41,24	45,56	44,41	40,44	34,39	27,77
I=P/T+10	0,66	0,45	0,61	0,46	0,27	0,18	0,024	0,046	0,55	0,87	0,52

Tableau I-5 : Moyennes mensuelles des précipitations et de la température d'air pendant la décennie (2005 -2015).
Source ; la station météorologique de Biskra, 2016

L'aridité est un phénomène climatique impliquant une pluviométrie faible. L'indice d'aridité de Martonne, permet de déterminer le degré d'aridité d'une région. Pour le calculer, on utilise la formule²¹ :

²¹- <http://fr.academic.ru/dic.nsf/%20frwiki/129372>, consulté le 12-04-2016

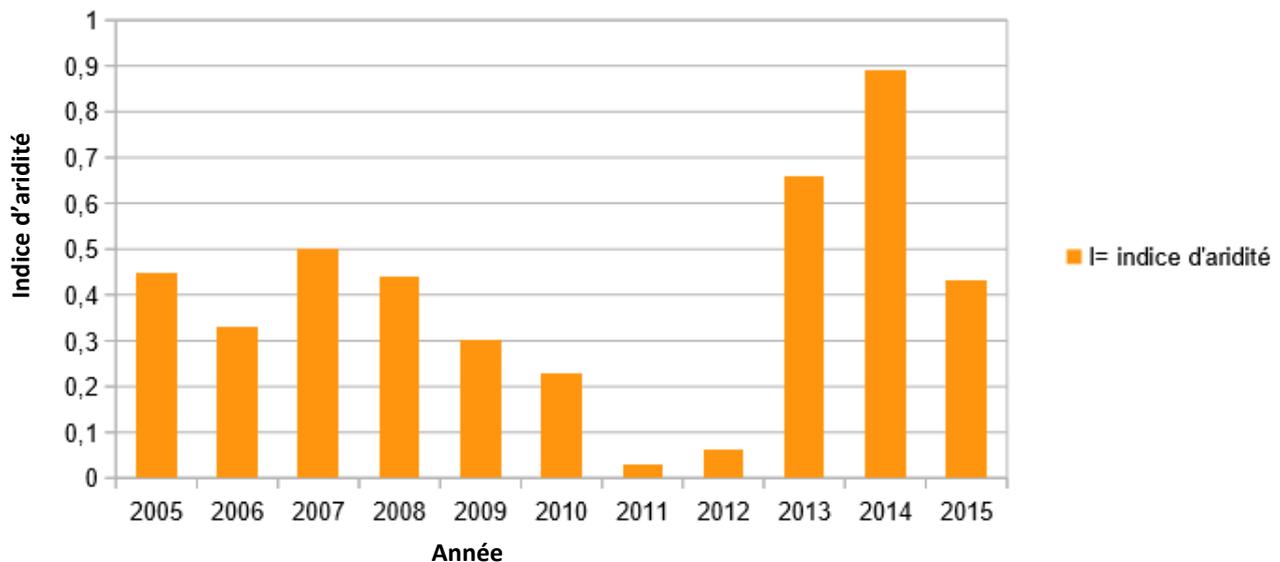
$$I = \frac{P}{T+10}$$

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.



Graphes I-1- Indice d'aridité de la ville de Biskra durant la décennie (2005-2015) source : auteur, 2016

La moyenne de l'indice d'aridité durant la décennie 2005 – 2015 est de l'ordre **4.64**. Donc, la ville de Biskra, située dans **une région aride** avec tous les éléments qui caractérisent cette région .Ce climat est défini par deux saisons seulement, avec une courte saison de confort. La température et l'humidité sont portées à l'extrême, inversement selon la saison : chaudes et sèches en été, froid et humide pendant l'hiver.

Notre recherche repose sur la compréhension du micro climat urbain, donc une description des caractéristiques climatiques des zones arides s'avère essentielle.

I-7- les caractéristiques du climat aride :

D'après Givoni (1978) et Hufty, André(2001), les principales caractéristiques de ces milieux sont les suivantes :

I-7-1-les radiations solaires :

Dans ces milieux, le rayonnement solaire incident est intense généralement supérieur à 800 ou 900 w/ km². Durant l'été et après — midi (14,00 h), les rayons solaires directs échauffent la surface du sol en atteignant la valeur de 65 °C. Au contraire, pendant la nuit ces surfaces sont refroidies en atteignant la valeur de 37 °C, suite au phénomène de perte de chaleur par rayonnement de grande longueur d'onde. Bien, plus à cause de la faible nébulosité de l'atmosphère, la quantité de lumière solaire est relativement forte .L'insolation est évidemment très importante atteignant 90 % du maximum théorique, autrement dit 3500-4000 heures annuelles, en l'absence de masque

montagneux, soit 9 à 11 heures par jour. On peut expliquer l'influence du rayonnement solaire sur les milieux arides et semi-arides par les éléments suivants [Gouizi, Y.2003] :

- La longue durée du rayonnement solaire surtout en été entre 09 et 16 heures.
- L'intensité très forte du rayonnement solaire.
- L'importance des angles d'incidence (angle solaire et Azimut).

I-7-2-La température de l'air :

Les zones dites arides et semi-arides sont caractérisées par deux grandes fluctuations journalières et saisonnières ;

- une fluctuation journalière ; la période estivale est marquée par un écart de température de plus de 10 °C entre le jour et la nuit, la journée la température atteint le pic de 45 °C et la nuit la température atteint une valeur relativement faible de 28 °C.
- Une fluctuation saisonnière ; les températures moyennes annuelles estivales sont élevées, avec des valeurs pouvant atteindre et dépasser 45 °C, et des minimas au mois de janvier variant de 2 à 9 °C [Le Houerou, H-N.1990]

I-7-3- Les précipitations :

Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) les zones arides et semi-arides ont comme caractéristiques générales ; la rareté des pluies, la rareté et l'irrégularité des précipitations, l'intensité de l'évaporation, où l'eau s'évapore le plus souvent entièrement avant d'atteindre le sol et la précarité des ressources en eau.

I-7-4- L'humidité de l'atmosphère :

Bien que la rareté des précipitations et l'élévation de la température soient des facteurs essentiels de l'aridité, d'autres facteurs interviennent également. L'humidité de l'air a son importance dans l'équilibre hydrique du sol. Lorsque la teneur en humidité du sol est plus élevée que celle de l'air, l'eau a tendance à s'évaporer dans l'air. Dans le cas contraire, l'eau se condensera dans le sol. L'humidité est généralement faible dans les zones arides et peut varier de moins de 20 % dans l'après-midi jusqu'à plus de 40 % la nuit.

I-7-5- Le vent :

En raison de la température élevée et surtout la rareté de la végétation qui agit dans les zones non arides comme un frein au vent, les milieux arides sont classés comme des zones venteuses et poussiéreuses, avec la dominance de vents chauds et secs appelés « simoun » et en Algérie « Le sirocco ».

D'après, Gouizi, Y (2003) le vent chaud accompagné d'un brouillard de poussière sec et très dense à un tel degré que le ciel devient rouge, la température du sirocco peut atteindre jusqu'à 45°C et plus .Durant la période caniculaire (les grandes chaleurs d'été), les vents sont faibles, presque nuls. Leurs maxima se situent en mars et avril. La direction des vents est nord-ouest, sud-est, durant la saison sèche.

I-8- le climat urbain dans les noyaux traditionnels « notion d'adaptation bioclimatique » ;

Pendant des siècles, le climat urbain dans le « ksar » peut être qualifiée « d'oasis paradis », où la valeur du climat était présente dans le dialogue ancien entre l'homme et le désert. Lequel a toujours été considéré comme un des éléments majeurs de la dynamique et de l'ambiance d'une ville au Sahara. La morphologie du tissu traditionnel se caractérise par l'homogénéité du paysage urbain, par sa linéarité constituée par les canaux d'irrigation et un degré de compacité important entouré quasiment par la palmeraie qui jouent un rôle de parapluie climatique afin d'atteindre des températures de confort satisfaisant à partir d'une relation imbriquée entre trois éléments la présence d'eau, la palmeraie et le bâti.

D'après, Chaouche-Bencherif .M (2004) ce triptyque harmonieux contribue à créer un microclimat, un refroidissement par humidification, car l'air rafraîchi est transporté vers le groupement bâti. Les palmeraies sont disposées de sorte à protéger le bâti des vents dominants, elles constituent aussi une extension de l'espace bâti, utilisé en période estivale comme espace de loisir et de vie. La majorité des parcelles ont des formes simples carrées ou rectangulaires avec des dimensions modestes possédant jusqu'à 4 côtés accolés afin de réduire la surface de façade exposée aux rayons solaires.

D'après, Côte. M (2003) l'îlot est en relation avec ventilation urbaine ; l'orientation de l'îlot à 45 degrés (Nord-Ouest) est le plus favorable par rapport aux vents dominants et le rétrécissement des voies conduit à créer un effet de « venturi » afin de diminuer la pression du vent et en augmenter la vitesse, et maintenir ainsi un flux de ventilation. L'organisation du tissu urbain est basée sur un tissu de ruelles imbriquées, celles-ci semblent avoir deux orientations différentes ; l'axe Est-Ouest pour les rues, et un axe nord-sud pour les ruelles, les impasses et les rues sont sinueux et ombragés partiellement (figure I-19) par des moyens multiples procurant différentes ambiances climatiques thermiques, visuelles et lumineuses.

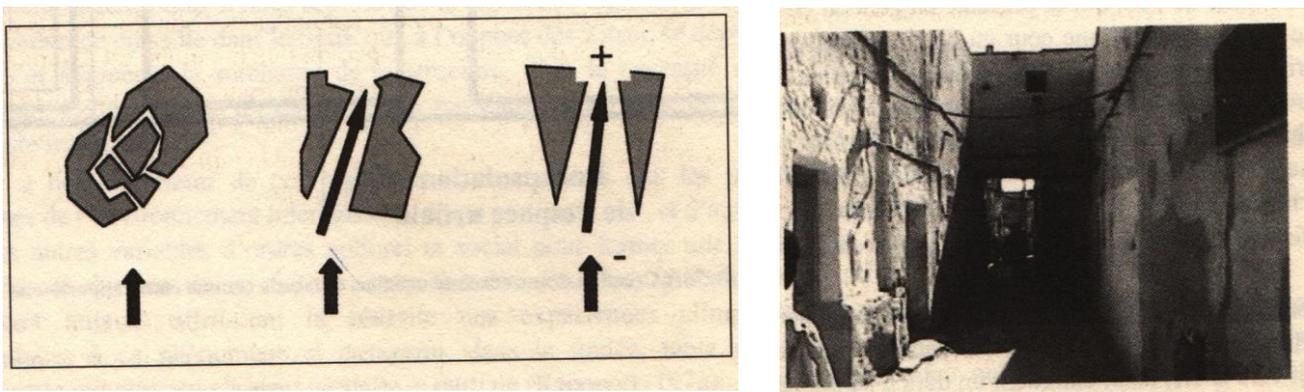


Figure I-19 : l'effet des configurations des ruelles sur la ventilation. Source : Côte ,M.2003.

I-8-1-Unité de bâti ; la genèse urbaine

Prend en général une forme irrégulière introvertie avec une cour au centre, l'introversion est expliquée par un ordre socioculturel et climatique. La cour avec tous ces atouts « l'eau+ la profondeur » joue le rôle d'un régulateur thermique, selon certains chercheurs [Bencherif, Meriama et Chaouche, Salah.2004] contribue à faire un échange thermique entre l'extérieure et l'intérieure. Il suscite une ventilation passive, assurée par « l'effet de cheminée » ; l'air chaud et léger se lève à la

partie la plus haute de la cour et s'évacue en laissant l'air frais lourd accéder aux espaces intérieurs ce phénomène appelé aussi thermo-circulation est plus renforcé et notable durant la nuit par le refroidissement par rayonnement nocturne vers la voûte céleste (rayonnement vers le ciel).

I-9- le climat urbain et la notion d'adaptation bioclimatique aujourd'hui :

Depuis le 20e siècle et la propension de l'État algérien à s'orienter vers l'urbanisme moderne ; *“des voies rectilignes et régulières, des dimensions plus larges bordées de trottoirs, de grandes percées uniformes et sans interruption et des dimensions de voies constantes”* [Côte .M. 2003]. Ces grandes mutations de la morphologie urbaine sont marquées dans les villes du sud, à l'instar de celles du reste du pays. La nouvelle stratégie urbaine avec son nouveau climat urbain, semble tourner le dos au génie bioclimatique des autochtones ayant réussi sur près de dix siècles à apprivoiser l'aridité du milieu saharien et cohabiter en harmonie avec les potentialités disponibles.

D'après, Côte ,M (2003) cette nouvelle morphologie (figure I-20), quadrillée délimite des îlots identiques et monotones où le parpaing est roi, l'uniformité des formes urbaines nouvelles, les immeubles d'habitation sont des bâtiments collectifs plus long et plus haut, n'occupant plus qu'une faible partie du sol (à peine 10 %) sous forme de tours ou barres éparpillées inadaptées au climat chaud qui sont très exposés au soleil et énergivore. La disparition de la palmeraie par l'invasion des constructions en béton et l'occupation irrationnelle du sol rend le paysage urbain désarticulé où les espaces libres semblent plus le résultat de conjonctures particulières que d'une démarche systématique, en plus le remplacement du sable par le goudron et le remplacement de la terre et des matériaux passés par des matériaux plus résistants aux aléas du climat d'un point de vue mécanique. Tout cela contribue à l'affaiblissement de la symbiose ancienne qui existe entre la palmeraie, l'eau et le bâti .Donc cette nouvelle attitude accentue le problème du rapport du bâti à l'environnement.

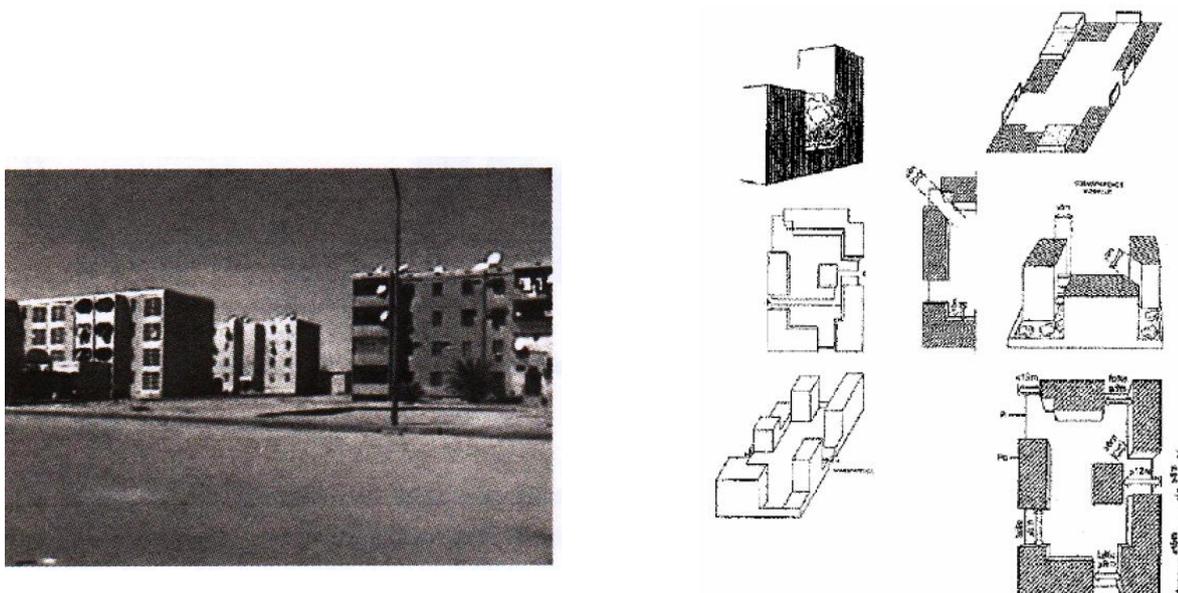


Figure I-20 : La nouvelle morphologie urbaine bâtiment collectif Source : ,Mazouz, S.2002

Mazouz, S(2003) a décrit la nouvelle forme d'habitation, en disant : *« Logement d'une longévité importante, évitant l'astreinte de l'entretien tous les deux ou trois ans qu'imposait la terre avec une façade urbaine typique de "garage" en rez-de-chaussée exprimant le besoin commercial. Autre besoin également, au niveau urbanistique ; l'accès automobile à l'îlot, de façon à permettre à l'habitant l'accès rapide aux biens et services urbains. Une trame vinicole ouvre la ville par des*

artères 2 à 5 fois plus larges que les anciennes rues. Les bâtis récents connaissent une perte de valeur climatique qui a des conséquences, à une triple échelle ; celles des populations les plus démunies, qui ne peuvent avoir de climatiseur ; celle de la ville, dont la structure ouverte et étalée est bien peu conviviale pour le piéton qui y circule ; celle de l'économie nationale, pour laquelle des milliers de climatiseurs fonctionnant dans chacune des villes constituent une source de consommation énergétique... Aujourd'hui, l'architecte et l'urbaniste utilisent d'une manière naïve et superficielle le concept d'adaptation bioclimatique et les éléments qui ont faits leurs preuves, arcades, coupoles au niveau de la cellule, de l'ilot de la ville. Car l'emploi non étudié de ces formes est inefficace et sans aucune efficacité climatique».

C'est un paradoxe et un défi de construire des villes dans le désert et la problématique est de réconcilier l'adaptation bioclimatique de jadis avec la modernisation de la ville.

Conclusion :

Le climat urbain signifie le climat spécifique aux villes, c'est un ensemble complexe de paramètres climatiques de la ville qui sont souvent différents de la campagne. Le climat urbain est généré par l'interaction complexe de trois facteurs ; un facteur naturel correspondant à la morphologie du site, le relief... etc., un facteur anthropique correspondant à la chaleur supplémentaire qui provient de l'activité humaine et un facteur urbain.

La prise en considération du climat dans le cadre de la planification urbaine est une préoccupation ancienne. Pendant des siècles, la notion d'adaptation bioclimatique était enracinée dans les noyaux traditionnels, où la valeur du climat était présente dans le dialogue ancien entre l'homme et le désert. La morphologie du tissu traditionnel se caractérise par un degré de compacité importante entourée quasiment par la palmeraie qui joue un rôle de parapluie climatique afin d'atteindre des températures de confort satisfaisant à partir d'une synergie entre trois éléments ; la présence d'eau, la palmeraie et le bâti.

Actuellement, la ville en zone désertique vit une transformation brusque de sa forme urbaine et du climat urbain induit, les quartiers modernes ont rarement été conçus en tenant compte du climat. Souvent, les zones urbaines contemporaines sont éparpillées et très exposées au soleil.

Cela engendre des espaces publics très inconfortables pour les piétons et influence la consommation d'énergie du bâti (maisons de quatre façades). Ce nouveau cadre bâti constitue une nouvelle figure urbaine avec un climat urbain différent du milieu rural voisin, en tournant le dos au génie bioclimatique des autochtones qui sur près de dix siècles réussissent à apprivoiser l'aridité du milieu saharien et cohabiter en harmonie avec leurs environnement.

Tout cela contribue à l'affaiblissement de l'ancienne symbiose entre, la palmeraie, l'eau et le bâti. Cette nouvelle attitude donc pose plus en profondeur le problème du rapport du bâti à l'environnement.

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'interaction entre la ville et le climat avec ces phénomènes à l'échelle méso, car il est utile de comprendre les phénomènes climatiques à l'échelle méso. Le deuxième chapitre sera consacré à l'interaction de la morphologie urbaine avec les paramètres microclimatiques (rayonnement solaire, écoulements du vent, température de l'air et de surface) et les phénomènes radiatifs, thermiques... etc., à une échelle plus fine (le microclimat urbain).

CHAPITRE II :

LE MICROCLIMAT URBAIN, L'INTERACTION DE LA MORPHOLOGIE URBAINE ET LE CLIMAT

Introduction :

Les climatologues actuels se sont progressivement intéressés à l'interaction de la ville avec les facteurs climatiques à des échelles inférieures de la ville, pour expliquer et comprendre la modification du bilan thermique, radiatif et énergétique des surfaces urbaines. En mettant en lumière l'importance de la morphologie urbaine et les caractéristiques thermiques des matériaux de construction [Colombert , M. 2010].

Dans ce chapitre, nous allons préciser le concept de morphologie urbaine pour éviter la confusion avec d'autres concepts proches comme ; la forme urbaine, la structure urbaine, le tissu urbain. On définira ensuite le microclimat en mettant en exergue les éléments qui le composent, on s'intéressera aux perturbations générées (à l'échelle micro urbain) par l'écoulement de l'air et l'évapotranspiration, cette dernière est réduite par rapport au milieu rural voisin ou encore les perturbations concernant les échanges radiatifs et thermiques. Tous ces paramètres sont fortement influencés par la géométrie de la ville et par les propriétés radiatives et thermiques des matériaux de construction.

On s'intéressera en particulier dans ce chapitre à la compréhension des perturbations climatiques à l'échelle du microclimat urbain (la rue) pour comprendre l'interaction et l'influence réciproque entre la morphologie urbaine et les paramètres climatiques, à travers des indicateurs de formes.

II-1-Le concept de morphologie :

II-1-1 Historique :

À la fin du XIII^e siècle, le concept de morphologie est apparu en biologie grâce à Johann Wolfgang Goethe²² qui l'a employé dans les sciences naturelles, en particulier, en botanique. Selon le dictionnaire « le Petit Robert ,2006'', le nom "*morphe*", signifie « forme » avec le suffixe *-logie*, c'est l'étude de la forme externe et de la structure des êtres vivants qui doit également permettre l'analyse de la transformation progressive des formes dans le temps.

La morphologie est employée dans plusieurs domaines tels que :

- La linguistique, la morphologie est l'étude de la formation des mots et de leurs variations
- La sociologie, la morphologie traite et étudie les formes de la société, la population, les groupements ruraux et urbains.

Entre les deux guerres mondiales, la notion de morphologie urbaine est apparue pour la première fois chez les géographes allemands et britanniques parmi eux : Leighley, J.B. (1928) et Fleure, H.J.

1960-1970 : l'avènement de la morphologie urbaine est une réaction critique aux excès du mouvement moderne et de l'urbanisme fonctionnaliste. Elle est représentée par trois écoles ; la typo-morphologie italienne, la morphologie britannique et l'école française.

²²- Johann Wolfgang Goethe poète romantique et philosophe intéressé à la nature et les plantes

II-1-2- La typo morphologie italienne (depuis 1955) :

C'est une approche développée par Saverio Muratori en Italie dans « l'histoire opérationnelle » qui met en valeur les anciens centres-villes et analyse l'évolution des bâtiments au fil de l'histoire, ce qui nécessite d'inscrire le cadre bâti dans son contexte historique pour retenir les facteurs exogènes (économique, fonctionnelle... etc.) générateurs d'une morphologie urbaine.

II-1-3- La morphologie urbaine britannique (années 1960) :

C'est une approche analytique du plan de la ville, développée par M.R.G. Conzen dans les années vingt à l'institut géographique de Berlin et suivie par Jeremy Whitehand en Angleterre, il repose sur l'étude des modèles de parcelles de terrain.

I-4- La morphologie 'typologie' urbaine française (années 1970) :

Elle est apparue dans les années soixante-dix avec la publication sous la direction d'André Chastel « système de l'architecture urbaine : le quartier des Halles à Paris ». ²³

C'est une approche qui a été développée en France à Versailles par Panerai Philippe, Jean Castex et Jean-Charles Depaule, sur la relation dialectique entre la forme urbaine et le comportement social. Il s'agit de décomposer les données offertes par l'espace physique et d'en reconstituer ses principes propres ou ceux qu'il exprime. ²⁴

La typo-morphologie est une combinaison de la typologie et de la morphologie qui vise à analyser la ville afin de connaître la forme urbaine en fonction du temps et à travers deux échelles, dans laquelle la relation entre eux est dialectique ;

- Échelle macro : il s'agit de faire une lecture de la forme urbaine dans son évolution historique, en fonction de ces composantes telles ; le plan de la ville, le tracé des voies... etc.[Panerai, Philippe.1997].
- Échelle micro : il s'agit d'une typologie architecturale²⁵ qui désigne une classification de différents types d'édifices qui composent la ville suivant leur distribution dans la trame viaire et à partir de critères dimensionnels fonctionnels et esthétiques... etc.[Panerai ,Philippe.1997].

Ce nouveau concept « typologie » désigne la science du type, il est apparu après l'échec du mouvement moderne dont il exige de revenir en arrière et faire une relecture de son patrimoine bâti pour désigner la méthode d'observation des sociétés humaines car les édifices sont en rapport avec les groupes sociaux, ils sont faits pour eux et évoluent en fonction de leurs développements et besoins.

II-2- La définition de la morphologie urbaine :

Le concept de morphologie urbaine dans le dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement désigne dans son sens le plus large ' l'étude de la forme physique et la géométrie de la ville.

²³-BOUDON, Françoise, CHASTEL, André, COUZY, Hélène, et al. *Système de l'architecture urbaine: le quartier des Halles à Paris*. Ed. Centre national de la recherche scientifique. France .1977.414p

²⁴-PANERAI, Philippe, DEMORGON, Marcelle, et DEPAULE, Jean-Charles. *Analyse urbaine*. Marseille : Parenthèses, 1999.176p

²⁵- Typologie architecturale ; est un classement des édifices selon des critères esthétiques constructifs... etc. regroupés dans une famille où se partagent les mêmes caractéristiques communes Ph. Panerai voit que l'architecture en tant que production culturelle est plus complexe que la typologie architecturale il ne s'agit pas de classer les édifices comme on catalogue les papillons ; il s'agit plutôt d'une typologie indépendante qui cherche à classer pour élaborer une méthode critique d'analyse des phénomènes artistiques et pour restituer l'épaisseur historique, et l'ancrage des pratiques architecturales aussi (Naidja. A.2014).

Pour Allain,Rémy (2004) : ‘ ‘ *la morphologie urbaine est l'étude de la forme physique de la ville, de la constitution progressive de son tissu urbain et des rapports réciproques des éléments de ce tissu qui définissent des combinaisons particulières et des figures urbaines* ’’.L'analyse de la ville diffère selon les objectifs des urbanistes, on trouve ceux qui sont intéressés par la causalité (le pourquoi) et d'autres par le comment :

- AymoninoC. s'intéresse à l'étude des causes (le pourquoi), pour ce dernier, la morphologie urbaine est : « *L'étude de la description, et la classification des causes, qui contribuent à la formation, et à la modification de la structure physique de la ville* »
- Caniggia, Castex, Gerosa, Lévy, Vernez-Moudon, pour eux, il s'agit de « *l'étude du processus de formation, et de transformation* » de « *l'espace bâti* », ou de « *l'environnement bâti* ». Ils mettent en relief le processus de formation, les lois d'évolution et de transformation de la structure physique de la ville (le comment), comme objectif principal de cette discipline qu'est la morphologie urbaine ²⁶.

L'objectif de la morphologie urbaine est de permettre une "lecture analytique" de la ville qui s'appuie sur le développement de la forme urbaine en relation avec les changements sociaux, économiques et démographiques, en vue de proposer une vision normative et contrôlable de développement de la ville [Merlin, P.1988.Lévy ,A. 2005]. La morphologie urbaine est une méthode couramment utilisée pour régler les problèmes d'aménagement, l'analyse du transport, la circulation (Millot 2003, Hankey *et coll.* 2010, Liu *et coll.* 2011, Zahabia *et coll.* 2012), l'environnement thermique ou climatique (Shashua-Bar *et coll.* 2006, Zhao *et coll.* 2011, Norte Pinto 2014) ou des situations sociales et économiques.

Bouchair,A et Tebbouche, H (2013) affirment que Steemers et Steane (2004) soulignent que la morphologie urbaine signifie la forme tridimensionnelle d'un groupe de bâtiment ainsi que les espaces publics créés autour d'eux. Ils ajoutent que :’’ *les applications innovantes de techniques d'analyse d'images sur des textures urbaines tridimensionnelles permettent de relier, à un niveau simplifié, les caractéristiques microclimatiques (température, ensoleillement et vent) avec la forme urbaine. Ceci ouvre la possibilité de progrès significatifs dans la caractérisation du microclimat urbain et dans la capacité d'évaluer l'impact environnemental des formes urbaines ainsi que des propositions de changements*’’.

L'influence de la géométrie des bâtiments sur l'ensoleillement, sur le vent ou sur le bruit dans un espace ouvert peut ainsi être discutée. Le but n'est pas de décrire en détail la physique ou la complexité des phénomènes, mais de définir des relations simplifiées. De nombreux travaux se sont attachés à développer des indicateurs morpho-climatiques pour quantifier le microclimat urbain et le lien entre milieu urbain et climat .Certains s'appuient sur des approches purement théoriques de la géométrie urbaine (Adolphe, L.2001), alors que d'autres les construisent à partir de données d'études à l'échelle des projets urbains dans l'optique de rendre compte synthétiquement des potentialités bioclimatiques et énergétiques des projets [Groleau ,D et Bourges,B. 2005].

²⁶-RACINE, François. *Degré de discontinuité dans la transformation des tissus urbains au Québec: influence des types suburbains*. 1998. Thèse de doctorat. Université de Montréal.

Dans le vaste concept de la morphologie urbaine, nous nous intéresserons à la performance climatique et énergétique des formes urbaines c'est-à-dire à l'effet de la morphologie urbaine sur le microclimat urbain et par conséquent sur la demande énergétique des bâtiments.

II-3- Les différentes approches émergentes de la morphologie urbaine ;

La réaction apparue dans les années 60 et 70 face à l'impact négatif du modernisme sur la ville et la vie urbaine ce qui amène de nombreux chercheurs à faire une nouvelle lecture de la ville, ils critiquent l'absence de la dimension humaine dans la conception des villes modernes. Ils ont donc introduit d'autres paramètres dans l'analyse d'une ville, comme le social, la symbolique de la rue et les espaces publics, en employant de nouveaux outils et techniques (des entretiens et des questionnaires).

D'après, Athamena, K (2012) l'objet primordial de la morphologie urbaine est de permettre la lecture physique de la ville en comprenant le développement historique de la forme urbaine. Athamena ajoute aussi que Lévy, Albert (2005) souligne; '*la forme urbaine est un concept polymorphe qui peut être saisi de différents aspects, selon le point de vue pris par chaque urbaniste*'. Il a distingué plusieurs aspects de la forme urbaine dans l'étude de la morphologie urbaine et emprunte à des domaines très variés et pluridisciplinaires. Ce qui amène d'autres approches de cette discipline à travers les aspects suivants :

- 1/-la forme urbaine est traitée selon l'aspect environnemental.
- 2/-la forme urbaine est traitée selon l'aspect social.
- 3/-la forme urbaine est traitée selon l'aspect paysager.
- 4/-la forme urbaine est traitée selon l'aspect fonctionnel.

II-3-1- la morphologie environnementale :

La forme urbaine est vue selon l'aspect environnemental en analysant la dimension morphologique en relation avec le climat et l'environnement, il s'agit d'un lien entre la forme urbaine et la performance environnementale [Ratti, 2003 .Ratti, 2005] ; c'est l'influence de la géométrie des bâtiments sur l'ensoleillement, le vent et le bruit dans un espace ouvert.

Athamena, K (2012) ajoute que ce qui intéresse cette nouvelle réflexion, c'est l'espace urbain comme forme bioclimatique, elle analyse les variations morphologiques qui interviennent pour changer le microclimat urbain d'un quartier à l'autre qu'il soit ouvert, fermé, vertical, selon l'orientation (héliothermique), et selon le site (eau, relief, végétation) [Escourrou, 1991].

En 1989, Newman et Kenworthy ont publié une étude montrant un rapport inverse entre la densité urbaine et la consommation d'énergie pour le transport individuel : quand la ville est moins dense, cela contribue à élever la consommation énergétique pour les transports individuels. Cette étude a ouvert la voie à de nombreux travaux qui prennent en compte l'impact de la morphologie urbaine sur le comportement énergétique des villes²⁷. En 2010 une science récente émerge traitant les formes urbaines les plus efficaces du point de vue énergétique, ces études dévoilent la relation entre la morphologie urbaine, l'énergie et l'environnement, c'est l'aspect qu'on développera dans le troisième chapitre.

²⁷https://fr.wikipedia.org/wiki/Morphologie_urbaine.consulté le 15.5.2016

II-3-2- la morphologie 'socio-spatiale' la syntaxe spatiale:

Celle-ci étudie l'évolution urbaine et sociale mettant en exergue le rapport entre la forme urbaine et le comportement humain à travers les sciences humaines et les approches morphologiques. L'espace architectural correspond toujours à une toile de fond de l'action sociale afin d'éviter les problèmes d'ordres sociaux [Hillier,W,R,G et Hanson ,j 1987].

II-3-3- La morphologie paysagère: l'urbanisme de qualité

Cette approche a mûri au sein de l'école américaine, développée essentiellement par Kevin Lynch et Cullen, G(1963) et *ses adeptes*. C'est une analyse morphologique, qui dépasse la vision superficielle de la forme urbaine, elle considère le paysage urbain comme un élément essentiel de la personnalité et de l'atmosphère d'une ville, basée sur une lecture profonde suivant le mouvement de construction progressive et complexe du tracé, rue , façade. C'est une méthode subjective, qui s'appuie sur l'impression des habitants vis-à-vis de leur espace à l'aide de grilles sémantiques, elle est basée sur l'analyse séquentielle à travers les perceptions visuelles de différents paysages urbains, en fonction de la couleur, la texture... etc. Dans un parcours bien déterminé et divisé en séquence, cette lecture sémantique dépend de la position, de la distance de l'observateur à l'objet observé et aux conditions extérieures en fonction de la saison, la variation de lumière... etc.

II-3-4- la morphologie systémique « fonctionnelle » :

D'après Panerai et lange (2001) la forme urbaine n'est plus une simple géométrie, mais un système morphologique qui combine les sous-éléments complémentaires pour constituer l'ensemble(le tissu urbain). Elle s'intéresse aux corrélations intérieures entre les éléments constituant le tissu urbain ; parcellaire, voiries, rapport espaces libres, espaces bâtis et morphologie des îlots par exemple. Dans ce sens, Allain. Rémy (2005) affirme que ce Système morphologique est plus qu'une structure urbaine rigide, c'est un système urbain cohérent basé sur l'interaction et l'échange interne entre les différents composants (Transfert des biens et informations). Ce système dynamique, évolutif, considère la ville comme un tissu vivant qui se nourrit au fur et à mesure du temps ,en fonction des aspects sociaux, culturels et notamment , en fonction des révolutions techniques qui ont eu pour conséquences de nombreux bouleversements des paysages et des comportements urbains .

Le système morphologique est un décryptage du système urbain pour éviter les erreurs d'aménagement, il donne à la forme urbaine un langage spatial physique comme il est indiqué dans les travaux d'Albert Lévy. On peut décomposer ce système en cinq éléments actifs qui sont complémentaires (tout a une influence sur tout), L. Lowry considère la forme urbaine comme un processus continu avec un degré de cohérence interne en relation dialectique entre eux.

II-3-4-1-Les éléments :

D'après Allain Rémy (2005) la morphologie dépend des éléments constitutifs du tissu urbain, ces derniers sont représentés par trois structures et sont mentionnées par (M.R.G Conzen), le père de la morphologie urbaine anglo-saxonne, il les répartit en sous-éléments tels que (figure II-1 en dessous) : le plan, le bâti, et l'usage du sol. Ces derniers peuvent être détaillés à travers cinq composantes principales.

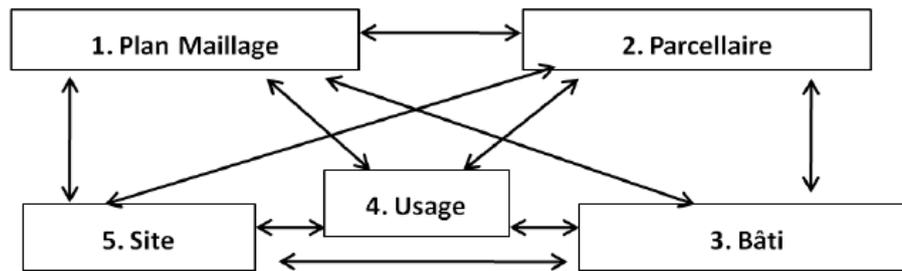


Figure II-1: détails des éléments du système morphologique. Source ; Rémy Allain.2005

1-Le plan ; le tracé et le plan général de la ville (macro forme)

Est structuré par la trame viaire ou maillage, où les grands éléments constituant le plan de la ville qui restent stables pendant plusieurs siècles.

2-Le parcellaire : correspond à la subdivision du sol en lots ou en parcelles pour son utilisation, il est déterminé par le maillage.

3-Le bâti : est composé d'immeubles caractérisés par leurs âges, leur style et leur élévation ; mais aussi par le vide urbain et les espaces publics et des vides qui engendrent une structure, que l'on peut appeler le tissu, cet élément est aussi d'une grande stabilité, mais variable selon les sociétés

4-L'utilisation du sol : l'usage des ensembles fonctionnels dans la ville comme, l'espace industriel, tertiaire, loisir ou résidentiel.

5-Le site : son influence est importante sur les structures précédentes, mais il fait lui-même partie intégrante de la forme. Le site est défini avant tout par la topographie, l'hydrographie, et la végétation, qui donne sa spécificité à la forme urbaine.

Quels que soient les tissus urbains, il existe deux modes qui déterminent la combinaison entre les différents éléments constituant le système morphologique, en effet :

➤ Le couplage :

Il s'agit à la fois d'une complémentarité et d'une exclusion entre les éléments, par exemple : le système bâti et le système des espaces libres sont deux systèmes opposés et complémentaires constituant le tissu urbain. Le système viaire relie les différents espaces par un système d'espaces libres délimitant les différents espaces [Allain, Remy. 2005].

➤ La superposition :

Selon Philippe panerai, le tissu urbain est constitué de la superposition ou de l'imbrication complexe de trois ensembles (voir figure II-2 en dessous), ou on distingue une forme de solidarité entre parcelles et voirie, néanmoins cette solidarité ne signifie pas l'homogénéité d'un bâti indissociable. Pierre Pinon dans son ouvrage 'lire et composer l'espace public' représente le tissu urbain comme un ensemble décomposé en deux structures superposées qui sont :

➤ L'infrastructure :

- Le site
- Le système viaire
- Le système parcellaire

➤ Superstructure :

- Le système bâti
- Le système des espaces libres

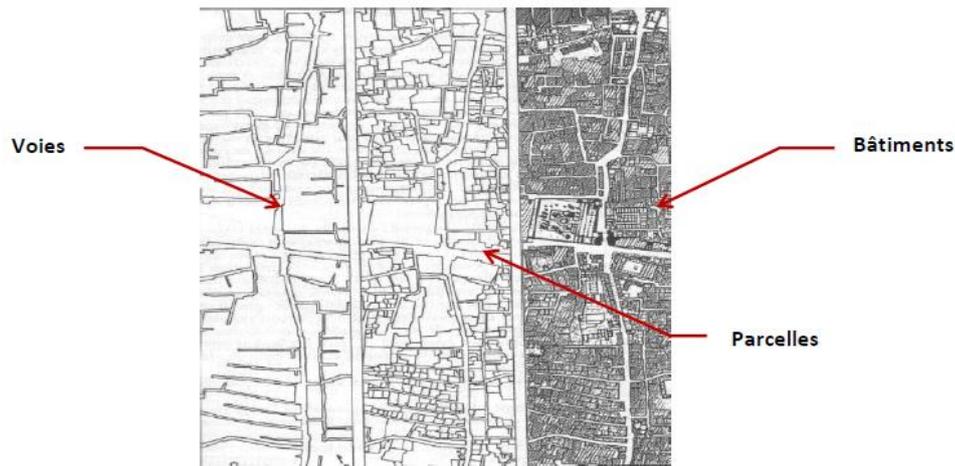


Figure II-2 :le tissu du Caire, le centre ancien source : Pannerai, Philippe. 1980

II-4- Les Critères d'approche de la morphologie urbaine :

Les structures morphologiques peuvent être lues selon trois critères : la topologie, la géométrie, et le dimensionnement [Pinon, P.Henry. 1991].

II-4-1-Critères topologiques :

Permettent de caractériser les relations entre les éléments par rapport à leur positionnement à travers ces variables ; l'éloignement, l'accolement, la superposition, l'inclusion ainsi que le caractère discontinu ou continu des systèmes.

II-4-2 -Critères géométriques :

Prend en considération deux relations directionnelles ; la première entre une trame et un axe et la deuxième entre la trame selon ces variables ; obéissance, désobéissance, et les caractéristiques formelles des figures géométriques : régulières, irrégulières

II-4-3 -Critères dimensionnels :

Prends en considération les relations dimensionnelles entre les éléments qui constituent le tissu urbain, et leurs proportions respectives les unes par rapport aux autres.

II-5- Les facteurs intervenants dans la formation de la forme urbaine :

La morphologie ne se réduit pas aux aspects matériels de l'architecture et du cadre physique ,la configuration urbaine de la ville est la résultante d'une interrelation très complexe (figure II-3), entre plusieurs paramètres physiques et non physiques à l'échelle spatiale dans lesquels la ville a été créée et s'est agrandie et évolue à travers le temps [Wang ,Biao.2015].

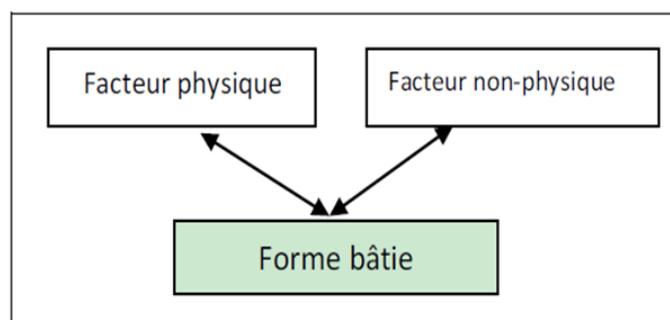


Figure II-3 : deux facteurs déterminants de forme bâtie source Sharag ,Eldin 1998 cité par (Wang,Biao.2015).

II-5-1- Facteurs physiques : la topographie, la géologie et le climat ont des effets relativement faciles à définir et à évaluer.

II-5-2- Facteurs non physiques ; comme la religion, la défense du territoire et les facteurs socioéconomiques qui expliquent notamment la complexité de la forme bâtie autrement que par la forme physique.

Pour Adolphe, Luc (2001), Il affirme qu'il y a deux échelles importantes de la variation de la morphologie urbaine ;

Premièrement à l'échelle « *microscopique* » la morphologie urbaine influe directement sur le climat extérieur et intérieur : l'écoulement du vent, la température de l'air, le rayonnement solaire et la lumière naturelle. Deuxièmement à l'échelle « *macroscopique* » la morphologie peut influencer les conditions du confort extérieur en amplifiant l'effet d'îlot de chaleur urbain et de confinement de la pollution atmosphérique [Bouchair, A et Blibli , M.2010].

De plus, sur une échelle temporelle, il y a deux pistes de recherche sur la morphologie urbaine : synchronique et diachronique (voir figure II-4). La méthode synchronique s'intéresse à une morphologie urbaine descriptive, à des formes urbaines concrètes, comme un catalogue des réalisations possibles de la ville, en vue de construire un répertoire de modèles reproductibles. En revanche, la méthode diachronique, concerne des formes urbaines historiques, est liée à une théorie morphogénétique de l'occupation de l'espace qui précise les processus de formation, de déformation, de transformation des configurations urbanises, privilégiant la dynamique de la mutation dans laquelle se manifeste la diversification des classifications spécifiques [Merlin. 1988, Wang,Biao .2015].

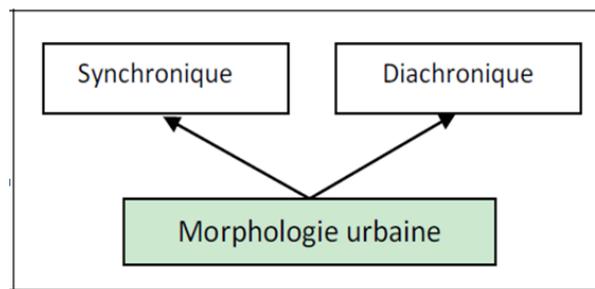


Figure II-4 : deux échelles temporelles
source : Merlin 1998 cité par (Wang,Biao.2015).

Dans cette étude, on va se focaliser sur l'étude des indicateurs morphologiques en tant que créateurs de la forme urbaine, lesquels influencent la performance climatique et énergétique, et non pas une analyse morphologique pour étudier historiquement l'évolution physique de la ville.

II-6-Les types morphologiques d'îlots :

II-6-1- L'îlot carré :

Le système hippodamien recouvre des réalités diverses et ces avantages sont nombreux : facilité par la division parcellaire, la régularité de la maille permettant de passer d'une échelle à l'autre par le biais des multiples, adaptation aux expériences monumentales (diagonales perpendiculaires, aussi bissectrices des angles). Tandis que son principal inconvénient est la difficulté d'accessibilité et l'utilisation du cœur d'îlot quand les carrés sont grands, ce qui implique l'introduction des systèmes de passages.

II-6-2- L'îlot rectangulaire :

Celui-ci est très fréquent en Angleterre et dans les pays anglo-saxons a comme principal point positif l'économie de la voirie (rangées allongées, parcelles étroites et peu profondes), mais en

revanche ce n'est plus le cas lorsqu'il s'agit d'une unique rangée de bâtiments. À vrai dire le point négatif de cet îlot réside dans la longueur des rectangles, puisque ces derniers nuisent à la disserte optimale des quartiers centraux.

II-6-3- L'îlot triangulaire :

Qui résulte, fréquemment, de la superposition d'une nouvelle trame de rue oblique par rapport à une autre trame quadrangulaire ou rectangulaire (îlots haussmanniens). Son vrai inconvénient est l'inégalité du découpage et l'utilisation difficile des parcelles d'angles [Matallah ,M, El.2015].

II-6-4- L'îlot barre :

Formé d'une seule épaisseur de bâti entre les deux rues parallèles, il est fréquent dans les villes anciennes aux tissus très denses, comme il peut être généré par une percée parallèle à des rues anciennes [Matallah ,M, El.2015].

II-7- La morphologie du système viaire :

II-7-1- La trame viaire linéaire :

Elle consiste essentiellement en un alignement d'une rue à cause de son caractère allongé. Elle se caractérise par le fait qu'un seul chemin mène d'un point à un autre. Il s'agit là d'un des systèmes les plus contraignants et contrôlables dans l'organisation urbaine parce qu'il implique l'absence de choix dans l'itinéraire emprunté pour aller d'un lieu à un autre. Cette caractéristique est encore plus accentuée lorsque le système est disposé en cul-de-sac et constitue un passage obligé pour l'entrée et la sortie. L'organisation linéaire exprime la direction, le mouvement, l'extension et la croissance [Pinon, Pierre.1991. Matallah ,M, El.2015].

II-7-2- La trame viaire arborescente :

Chaque «branche» dépend d'une autre plus importante qui dépend elle-même d'un tronc principal (ramification). La trame viaire arborescente impose un principe de hiérarchie, cette dernière crée des confluences naturelles de circulation dans les branches les plus importantes qui sont généralement plus grandes en dimensions (longueur et largeur) imposantes et dominantes. Notons que la hiérarchisation est plus forte encore lorsque le système est en cul-de-sac [Pinon, Pierre. 1991, Matallah ,M, El.2015].

II-7-3- La trame viaire rayonnante (radioconcentrique) :

Cette trame consiste en une concentration urbaine autour d'un espace central, c'est-à-dire une convergence des bâtisses vers un noyau urbain. Les anciennes villes sont un exemple pertinent du cas de rayonnement viaire.

II-7-4- La trame viaire quadrillée :

Les rues sont organisées dans le cadre d'une grille orthogonale, ce type de trame peut créer une forme simple, ou plus complexe par l'addition, la soustraction des unités modulaires formées par la grille. Donc cette trame est caractérisée par le fait qu'un grand nombre de chemins conduisent d'un point à un autre, où peut apparaître de véritables îlots isolés de tous les côtés par des rues de nature à peu près équivalentes. On considère que la trame viaire quadrillée est la trame la moins hiérarchisée.

II-7-5- La trame viaire en boucle :

Un espace central entouré par une rue sous forme de boucle, cette trame se caractérise par le fait qu'il y'a deux chemins pour aller d'un point à un autre. On peut observer deux variantes :

- La trame en cul-de-sac, ou à double issue.
- La trame hiérarchisée, ou non hiérarchisée.

La trame viaire en boucle a la particularité de créer un type d'îlot très spécifique qui contraste avec le reste du tissu en raison de son inclusion à l'intérieur de la boucle. À cet égard, il vaut mieux parler de « noyau » [Pinon, Pierre.1991, Matallah ,M, El.2015].

II-8- La morphologie du système bâti :

Pour une compréhension claire, on examine la disposition continue ou discontinue de l'ensemble des édifices construits, ceux-ci sont soit proches et continus, soit plus ou moins éloignés les uns des autres. L'ensemble bâti peut être classé sous trois grands degrés de continuité ou de discontinuité, on parlera alors de bâti ponctuel, de bâti linéaire, de bâti planaire [Pinon, Pierre.1991.Matallah M, El.2015].

II-8-1- Le bâti ponctuel (pavillonnaire) :

La première catégorie préfigure un éloignement des entités urbaines, dans laquelle les bâtiments sont séparés les uns des autres par une distance plus au moins grande : ce qui fait que le bâti est discontinu. Du point de vue perceptif, cette disposition ne facilite guère une vision d'ensemble. Par, conséquent, la perception sera fragmentée et peu hiérarchisée. On trouve généralement ce type de bâti ponctuel dans les tissus pavillonnaires contemporains, les maisons individuelles, les ensembles collectifs, mais aussi dans certaines villes arabes traditionnelles constituées par des maisons-tours, comme celles du Yémen (Sanaa), séparées les unes des autres [Pinon, Pierre.1991.Matallah M, El.2015].

II-8-2- Le bâti linéaire (en rangées) :

Ce type constitue une forme d'habitat particulièrement économe d'espace, de distribution et d'énergie, ou les bâtiments sont juxtaposés les uns aux autres de manière à former une ligne continue : il y a une continuité du bâti dans une seule direction de l'espace. Cette formule est celle du logement économique par excellence depuis l'ancien temps, ceci est tiré du modèle des maisons charitables, puis il a été systématisé dans le logement social ou le logement ouvrier [Panerai et al.1999]. Il est intéressant d'observer les conséquences que ce phénomène peut entraîner pour une perception unique des masses bâties .Dans ce cas les bâtiments ne sont pas « lus » individuellement de premiers abords, mais perçus comme un ensemble, c'est-à-dire comme une masse bâtie continue. La continuité du bâti contribue à une lecture perceptuelle hiérarchisée et progressive du bâti.

II-8-3- Le bâti planaire (massif) :

Les bâtiments sont accolés les uns aux autres de tous les côtés de manière à former une masse continue uniquement interrompue par les rues : il y a donc une continuité du bâti dans plusieurs directions de l'espace. Généralement, ce bâti planaire est percé par des cours au milieu qui ne compromettent pas sa continuité [Pinon, Pierre. 1991. Matallah ,M, El.2015].

II-9- Quelques concepts proches de la morphologie urbaine :

Les notions voisines comme ; "la structure urbaine", " la forme urbaine", " la morphologie urbaine" et "le tissu urbain ne sont pas toujours clairs et les définitions varient souvent d'un auteur à l'autre.

II-9-1- La morphologie urbaine ;

C'est un terme emprunté par les architectes et les urbanistes aux géographes. Les auteurs italiens l'ont utilisé, dès la fin des années 1950, pour désigner une science dont l'objet est la forme physique et spatiale de la ville ; son but premier est l'inventaire et le classement des formes urbaines pour une meilleure maîtrise du projet [Maouia ,Saidounie .2000].

II-9-2- La forme urbaine ;

Se réfère à la disposition des unités fonctionnelles d'une ville, reflétant à la fois le développement historique de la ville et l'histoire de sa planification plus récente ; elle est définie par la structuration spatiale des sites à usages industriels, commerciaux et résidentiels ainsi que les différents niveaux de densité résidentielle [Rose, 1967]. Ce concept selon Maouia , Saidounie (2000), est un langage spatial qui signifie la distribution des éléments constitutifs de l'espace urbain, à partir de paramètres, notamment géométriques (axialité, tracé, trame, figure... etc.)

II-9-3- La structure urbaine :

Agencement complexe des éléments constitutifs d'un ensemble construit, qui forme un tout cohérent et lui donne son aspect spécifique, sa cohérence, sa rigidité ou sa résistance .Ce terme se réfère aussi à la structure spatiale urbaine, qui concerne l'aménagement de l'espace public et privé dans les villes et le degré de connectivité et d'accessibilité [Panerai, Philippe.97].

II-9-4 -Tissu urbain :

Le tissu urbain est plus qu'une structure, il s'agit d'un système qui exprime à la fois une forte solidarité entre les éléments constituant le tissu urbain (le réseau viaire, le parcellaire, le bâti, l'espace libre et le site) qui définit ses caractéristiques, et une capacité à s'adapter et à se transformer à travers l'histoire. Autrement dit c'est une structure dynamique, vivante et en mutation.

II-10- Caractérisation de la morphologie urbaine à travers des indicateurs :

Dans la littérature on distingue deux types d'indicateurs pour quantifier et évaluer la forme urbaine :

1-des indicateurs à l'échelle du tissu urbain, l'échelle locale (le quartier), à savoir :

- La densité d'occupation du bâti (D)
- La densité volumique (Du)
- La rugosité urbaine (Ru)
- La densité végétale (Dv)
- La porosité urbaine (P0).
- La compacité (Cf).
- La minéralisation
- La sinuosité

2-des indicateurs à l'échelle de l'espace public, l'échelle micro (la rue), à savoir :

- Le prospect (H/L).
- Le facteur de vue du ciel (FVC).
- L'albédo (a).
- Degree of Enclosure (DoE).

Notre recherche est focalisée sur l'évaluation du comportement morpho-énergétique à l'échelle intermédiaire (la rue), donc nous allons nous baser sur des indicateurs à l'échelle de l'espace public :

II-10-1- Le prospect (le Ratio H/L) :D'après, Oke. T ,R, (1981), (voir figure II-5 en dessous) le ratio H/L, c'est le rapport entre la hauteur moyenne de l'espace et sa plus petite largeur, il permet simplement de caractériser l'ensoleillement et la lumière disponible et l'effet d'ombrage au sein d'un tissu urbain donné. Il permet ainsi de quantifier le rapport entre les surfaces verticales et horizontales pouvant être impliquées dans les échanges énergétiques dans l'espace.

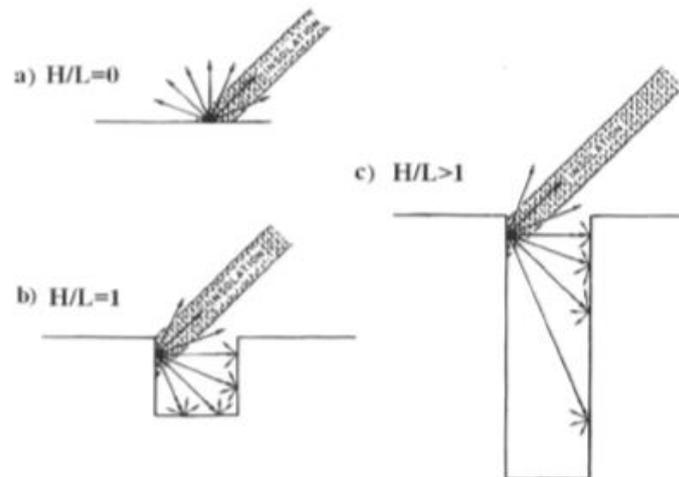


Figure II-5 : Distribution schématique du rayonnement solaire incident dans différents scénarios de H/L
Source : Givoni, 1998.

D'après Santamouris, M (2001). Le ratio H/L peut modifier l'écoulement initial du vent, c'est-à-dire les façades environnantes peuvent canaliser le vent, le freiner et entraîner des mouvements tourbillonnaires au pied des constructions. Les rues influencent directement le microclimat urbain, positivement ou négativement en fonction de la configuration spatiale du tissu urbain (figure II-6).

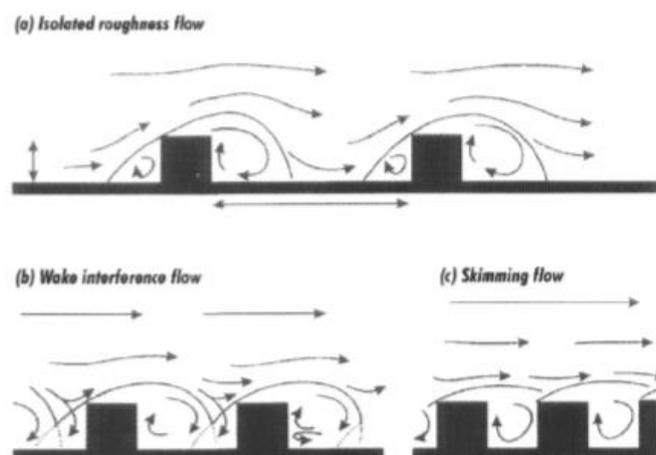


Figure II-6: Profil de la circulation de l'air en fonction du rapport de la hauteur moyenne de la rue et de sa largeur. Source : Santamouris, 2001.

Une étude expérimentale faite par Bouchriba, F (2004) au quartier "Coudiat" sur la rue canyon à Constantine a démontré que le ratio H/W est un indicateur important du stockage de la chaleur absorbée par les surfaces bâties. Les résultats indiquent que lorsque le rapport H/W est égal ou inférieur à 1, le stockage de chaleur reste faible par rapport à une valeur du ratio H/W= 4.

D'après, Athamena, K (2012), un faible rapport H/W provoque un autre phénomène thermique important durant la nuit, à savoir ; le piégeage de la chaleur au sein de la rue, dû à la chaleur réémise par la surface et le faible refroidissement. L'écart de la quantité de chaleur restituée entre un canyon présentant un rapport H/W de 2 et un canyon de H/W égal à 0,7 serait de 50 W/m².

Évaluation :

D'après Ahmed, Ouameur, F (2007), le calcul numérique du ratio H/L dépend des dimensions horizontales et verticales de l'espace. Pour quantifier cet indicateur, deux relevés doivent être effectués : un relevé de la hauteur de toutes les surfaces verticales afin d'en déduire une hauteur moyenne et un relevé de la plus petite largeur de cet espace.

Le ratio H/L peut ainsi être obtenu à partir de l'équation suivante :

$$H/L = H_m / L_p \quad (\text{formule II-2})$$

Ou ;

- H_m = hauteur moyenne de l'espace.

- L_p = la plus petite largeur de l'espace.

II-10-2- Le facteur de vue du ciel FVC ; d'après, Athamena, K (2012), le FVC détermine les échanges radiatifs entre le ciel et la structure physique de la ville [Oke. 1988], ce facteur est un indicateur sans dimension qui correspond à l'angle solide sous lequel le ciel est vu d'un certain point (Figure II-7). Il dépend du rapport géométrique des surfaces et varie en fonction de dimensions urbaines (hauteur de constructions, distance entre les façades). Le FVC varie entre 0 et 1, quand le FVC est égale à 1 cela veut dire que la vue du ciel est dépourvue de toute obstruction (bâtiment, arbre, mobilier urbain... etc.) aucun obstacle n'empêche la vue. En revanche, un FVC de 0 exprime que la vue du ciel est totalement obstruée.

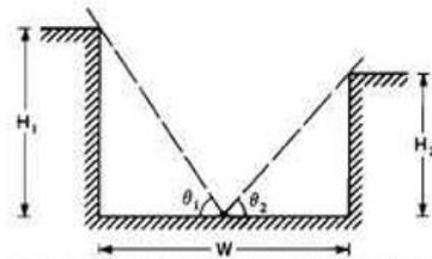


Figure II-7 : angle solide de vue d'une rue canyon asymétrique. L'angle solide égal à $180^\circ - O_1 - O_2$

Source : Oke 1988

Dans un tissu urbain médiéval avec des rues étroites, on s'attend à un FVC faible - autour de 0,2. Alors que, dans un environnement urbain plus ouvert avec des rues et des espaces larges, le FVC sera plus près de 0,8. Les valeurs de FVC peuvent varier d'un tissu urbain à l'autre, mais aussi à l'intérieur de chaque tissu urbain il peut y avoir des variations importantes [Grimmond, 2001].

Évaluation :

D'après Ahmed ,Ouameur, F (2007) le facteur de vue du ciel peut être évalué par un procédé photographique, le dispositif est constitué par un appareil photo numérique couplé à un objectif fish-eye (NiKon FC-E8). Dans le cadre de cette recherche, une manière simplifiée a été mise au point pour produire ces images équizones. En fait, il s'agit de combiner un trépied, un appareil photo numérique (Canon Power ShotA70) et une sphère miroir d'un diamètre de 4 cm (voir figure II-8 en dessous) qui jouera le rôle d'un adaptateur fish-eye. Ce procédé photographique à l'axe zénithal est basé sur un certain nombre de critères [Grimmond et al, 2001. Ait-Ameur et al, 2002]:

- la sphère miroir doit être fixée sur un support au sol.
- L'appareil photo doit être fixé sur un trépied à une distance de 30 cm du centre de la sphère.

- les références de réglages de l'appareil photo doivent être identiques pour tous les points de mesure afin de permettre une comparaison entre les images.
- l'orientation de la sphère et de l'appareil photo numérique par rapport au sud doit être prise en compte avant chaque prise de photo dans le but de superposer éventuellement la projection stéréographique sur l'image équizonale.

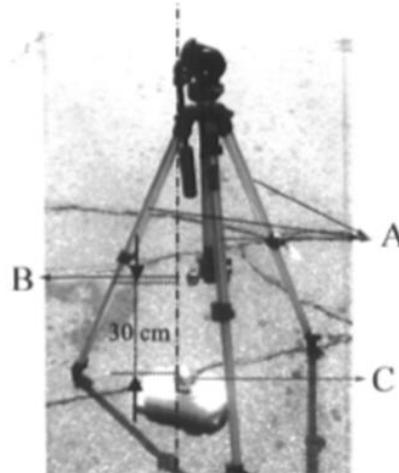


Figure II-8 : Procédé de photographie fish-eye, A) trépied, B) appareil photo numérique et C) sphère
Source :Ahmed.ouameur. F. 2007

Ahmed, Ouameur. F (2007) affirme que le logiciel Adobe Photoshop 7.0 permet de faire des traitements sur les images équizonales (figure II-9) , ces images traitées seront converties du mode noir et blanc ; où le noir indique les obstructions (sol, mur ,bâtiment ,arbre... etc.) et le blanc le ciel vu . Ainsi le facteur de vue du ciel FVC est évalué en utilisant la technique de captage de pixels qui consiste à quantifier en pixels la surface d'une zone sélectionnée, à l'aide de la commande histogramme du logiciel Photoshoph 7.0. L'équation (II-3) permet d'évaluer le facteur de vue du ciel (FVC) pour chaque point de mesure.

FVC= Nombre de pixels (ciel)/ Nombre total de pixels (disque de sélection) (formule II-3)

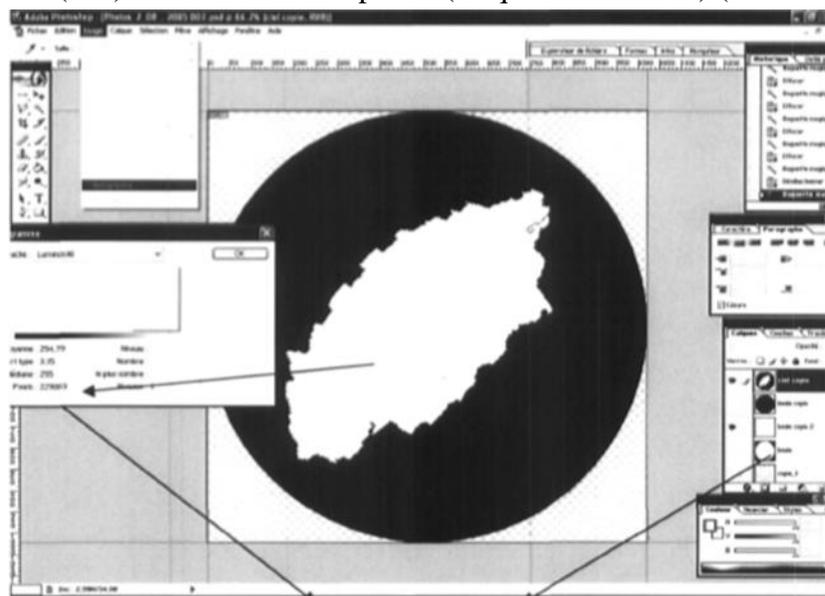


Figure II-9: Procédé de calcul du facteur de vu du ciel. Source :Ahmed. ouameur. F. 2007

II-10-3- Albédo moyen des surfaces (a) :

Tsoka, Stella (2011) rappelle que l'albédo contribue à l'augmentation de l'intensité de l'effet d'îlot de chaleur. Sa valeur correspond au flux d'énergie solaire réfléchi par l'ensemble des surfaces du projet et renvoyé vers le ciel. Ce flux dépend de l'albédo individuel de chaque façade ainsi que des inter-réflexions entre les façades du projet. La morphologie du quartier et les propriétés lumineuses des matériaux de construction sont les paramètres qui influencent le flux d'énergie solaire qui sera réfléchi et réémis vers le ciel. À l'échelle de l'espace urbain, l'albédo varie selon la nature du matériau et sa couleur.

Évaluation :

L'évaluation de l'albédo est définie comme le rapport du flux d'énergie total vers le ciel sur le flux d'énergie globale incident. On peut calculer l'albédo par deux méthodes :

- 1- par le logiciel thermo-radiatif Solene.
- 2- Par la photographie : Ahmed, Ouameur, F (2007) a évalué l'albédo moyen des surfaces à travers la détermination du pourcentage d'occupation des matériaux utilisés dans les façades et les valeurs numériques présentées dans le tableau II-1. Les photographies à axe horizontal ont été prises sur un trépied d'une hauteur de 1m30, sur chaque point de mesure. Deux photos selon deux axes opposés ont été prises dans le sens de l'axe le plus long de l'espace. Chaque photo a couvert un rayon de 180°. Ainsi qu'une représentation de l'espace avec un angle de 360° obtenue en assemblant les deux photos (figure II-10).

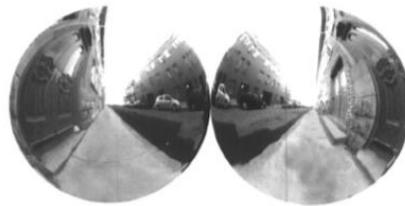


Figure II-10: Représentation de l'espace de mesure avec un angle de 360°, point de mesure PI 7 (Rue Sainte Olivier), a = 0,28. Source Ahmed.ouameur. F. 2007

Ces représentations sphériques contribuent à l'évaluation de l'albédo moyen des surfaces en analysant visuellement le pourcentage d'occupation des matériaux sur les façades et sur le sol. Par exemple, l'analyse visuelle du tableau II-1 permet d'aboutir aux résultats suivants :

Matériaux	Pourcentage d'occupation	Albédo
Béton	25 %	0.35
Brique	35 %	0.30
Asphalte	20 %	0.20
Vitrage	10 %	0.4
Bois	10 %	0.10
Albédo moyen des surfaces	100 %	0,28

Tableau II-1 : la valeur moyenne de l'albédo des surfaces, point de mesure P17 (Rue Sainte Olivier). Source : Ahmed.ouameur. F. 2007

II-10-4- Degree of Enclosure (DoE) ;

Ahmed, Ouameur. F (2007) affirme que cet indicateur est très adéquat pour expliquer les variations de l'environnement thermique en milieu urbain, il exprime le rapport entre le nombre total des surfaces (ouvertes et fermées) et le nombre total des surfaces ouvertes. Le DoE varie entre 6 et 1 selon le tableau de Steemers et al, 2004, où 6 signifie un espace avec une seule surface ouverte, par contre un DoE de 0 signifie que toutes les surfaces sont ouvertes (Parc).

Évaluation ;

Dans le cadre de la recherche d'Ahmed. Ouameur F (2007), le DoE est compris entre 2 et 1. Il est évalué à partir du tableau II-2 en nous référant à la table proposée par Steemers et al (2004). Ce tableau illustre les différentes typologies spatiales et leur valeur de DoE. Trois typologies spatiales ont été déterminées pour les 19 points de mesure à savoir l'espace ouvert (DoE = 1), le parvis (DoE = 1,5) et la rue canyon (DoE= 2).

Typologies spatiales	Diagramme en plan	DoE (degree of enclosure).
Espace ouvert		1
Parvis		1.50
Canyon de rue urbain		2

Tableau II.2: Typologies génériques des espaces publics et leur DoE (degree of enclosure). Source : Ahmed.ouameur. F. 2007.

II-11-Le rapport de réciprocité entre la forme urbaine et le climat :

Plusieurs recherches montrent l'influence réciproque entre la ville et le climat, il existe une corrélation complexe en particulier à l'échelle urbaine. Golany (1996) a identifié l'influence du climat sur la morphologie de la ville dans un tableau (voir tableau II-3 , en dessous) à travers ces différentes formes urbaines ; compact, agrégé, en grappe, dispersée ou semi-compacte qui peuvent s'adapter à ces différents climats, pour répondre essentiellement à des exigences de confort à travers le taux d'humidité, la température froid et chaud [Djaafri ,M. 2010]:

- Chauds et humides en zones équatoriales.
- Froids et humides en zones nord des États-Unis et Sud du Canada.
- Froid et sec.
- Bandes en bords de mer sur les côtes désertiques.
- Pentes de montagne (faible, moyenne et forte pente).
- Chaud et sec dans des milieux en région Est et Nord-africaine.

D'après Golany. G (1996), en climat chaud et humide il faut favoriser le mouvement de la ventilation en proposant [Djaafri ,M.2010] :

- Des rues largement ouvertes et des formes urbaines dispersées avec des extrémités ouvertes
- Des bâtiments dispersés avec des hauteurs variées.
- Des espaces larges qui permettent d'avoir de l'ombre.

En revanche, en climat froid et humide il doit favoriser le chauffage passif ou actif, Golany,G propose de ;

- Faire un mélange de formes ouvertes et fermées.
- Faire des espaces ouverts moyennement dispersés.
- Faire des bandes d'arbres en circonférence et se croisant.
- Protéger les façades face au vent soit avec des structures ou des arbres.
- Uniformiser la hauteur des bâtiments.

Proposition de Golany (1996) pour prendre en compte les particularités de certains climats dans l'architecture et l'urbanisme

Tableau : Profils climatiques des principaux climats, problèmes associés, et réponses architecturales ou urbaines offertes conseillées (Golany, 1996).

Principaux climats, exemple	Profils basiques	Problèmes majeurs	Réponse basique architecturale ou urbaine	Forme urbaine préférée
Chaud et humide (zone équatoriale)	Chaud toute la journée et pour toutes les saisons avec une amplitude thermique faible Forte pluie Plus de confort à une altitude élevée	Chaleur excessive Humidité élevée	Ventilation : extrémités ouvertes et forme dispersée Rues largement ouvertes pour favoriser les mouvements du vent Dispersion des grands bâtiments pour favoriser la ventilation Variation des hauteurs de bâtiments Espaces larges et cependant ombragés Zones d'arbres permettant d'avoir de l'ombre	Forme dispersée avec des extrémités ouvertes pour favoriser la ventilation
Froid et humide (nord des Etats-Unis et sud du Canada)	Neigeux Venteux, conditions de blizzard Nuits très fraîches	Basse température Précipitation importante en hiver et en été Venteux	Chauffage (passif et actif) : Mélange des formes ouvertes et fermée Façades protégées du côté du vent d'hiver (avec des structures ou des arbres) Hauteur uniforme des bâtiments Espace ouvert moyennement dispersé Bandes d'arbres en circonférence et se croisant	Mélange de formes ouvertes et fermées
Chaud et sec (milieu est et nord de l'Afrique)	Radiation solaire intense Amplitude thermique importante entre le jour et la nuit Tempête de poussière Pluie torrentielle Peu de jours avec nuages Déshydratation intense Salinisation élevée Excès d'évaporation Précipitation	Sécheresse excessive combinée avec des températures élevées en journée Poussiéreux et orageux	Formes compactes Ombrages Refroidissement par évaporation Protection des façades urbaines des vents chauds Localisation au vent proche d'un plan d'eau Rues et allées peu venteuses en banlieue Mélange de hauteurs de bâtiment pour ombrager la ville Espaces publics ouverts petits, dispersés, et protégés Zones d'arbres en circonférence et se croisant Utilisation du concept de ville Geo-space	Forme compacte

Principaux climats, exemple	Profils basiques	Problèmes majeurs	Réponse basique architecturale ou urbaine		Forme urbaine préférée
Froid et sec	Contraignant (stressant) et inconfortable Fort vent froid et sec	Température excessivement froide et vent sec et désagréable	Formes compactes et agrégées, formes en grappe Extérieurs de la ville protégés Rues et allées peu venteuses en banlieue Hauteur uniforme des bâtiments Espaces publics ouverts petits, dispersés, et protégés Zones d'arbres en circonférence et se croisant Utilisation du concept de ville Geo-space		Forme compacte et agrégée, formes en grappe
Bande en bord de mer (cotes désertiques)	Ventoux et orageux Système de brise Forte humidité Erosion	Forte humidité Ventoux	<i>Dans les régions humides :</i> Forme modérément dispersée Extérieurs de la ville ouverts Larges rues perpendiculaire au bord de mer pour recevoir la brise Hauts bâtiments dispersés pour recevoir la ventilation Variété de hauteurs de bâtiments Grands espaces publics ouverts Zones d'arbres plantés faisant de l'ombre	<i>Dans les régions sèches :</i> Ouverture sur la mer, et forme compacte et protectrice vers l'intérieure des terres Bâtiments de grande hauteur mélangés avec des hauteurs faibles Petits espaces publics ouverts protégés dispersés Zones d'arbres plantés faisant de l'ombre	<i>Dans les régions humides</i> Forme modérément dispersée <i>Dans les régions sèches</i> Forme compacte et protectrice vers l'intérieure des terres
Pentes de montagne (faible, moyenne et forte pente)	Ventoux et circulation intense d'air Humidité relative élevée Permet un climat sain et modéré Permet une vue attrayante	Ventoux	Forme semi-compacte : Mélange de compact et de dispersé Rues horizontales pour profiter de la vue Bâtiments peu élevés Petits espaces publics ouverts dispersés Zones protectrices d'arbres non obstruantes Utilisation du concept de ville Geo-space		Forme semi-compacte : Mélange des formes compacte et en grappe

La précédente recherche de Golany G. (1996) a montré l'influence du climat sur la forme urbaine et la conception des villes. Par ailleurs, d'autres recherches telles : Benzerzour, M (2004) et Reiter, Sigrid (2007) ont montré d'autres influences. Il s'agit de l'influence de la forme urbaine sur le microclimat induit.

Benzerzour M. (2004) a fait une étude sur la ville de Nantes qui vise à proposer un indicateur morpho-climatique appelé *l'indice d'ouverture directionnelle du vide urbain* pour réguler le climat urbain dans l'ensemble bâti. Dans cette étude, il a anticipé les différents effets des interventions sur la forme urbaine (à travers le prisme de l'histoire de la ville) sur l'environnement et sur les variations du microclimat (figure II-11, ci-dessous), ces interventions répondent à des préoccupations de salubrité :

- La modification des prospectifs de rues pour des besoins de salubrité explicite.
- La modification du nombre de surfaces d'eau qui nous rapproche des effets liés aux comblements, la modification des surfaces des espaces verts.
- La perméabilisation ou l'imperméabilisation des surfaces du sol des rues qui nous renseignent sur les effets potentiels liés au pavage des rues et enfin la modification des matériaux et des couleurs des parois urbaines qui sont des éléments déterminants du bilan énergétique de la surface urbaine.

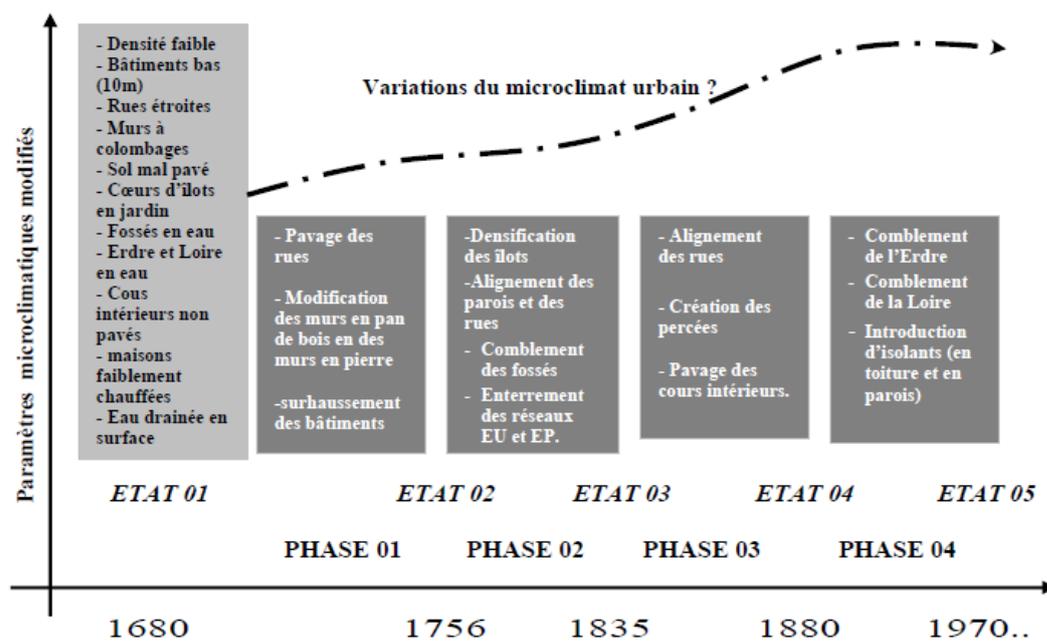


Figure II-11: schéma synthétique des états représentatifs du centre ancien de Nantes et phases de transformation analysées pour les simulations. Source ; Benzerzour, M.2004.

Ces changements peuvent contribuer à modifier le microclimat urbain et l'environnement climatique, l'auteur ne cherche pas à évaluer la modification faite sur l'environnement climatique d'une situation donnée et figée, mais définit un indicateur qui nous renseigne sur l'effet microclimatique d'une transformation. C'est à dire celui lié au passage d'une situation morphologique à une autre sur cinq périodes successives de l'histoire de la ville de Nantes :

1. premier état ; la fin du XVIIe siècle datant de 1680: cet état représente l'état initial du centre ancien de la ville avant toute intervention. Les éléments déterminants de cet état initial de la ville sont les rues non pavées, les édifices en pan de bois, la faible hauteur des bâtiments ainsi qu'une très faible densité bâtie.

2. Deuxième état ; XVIIIe (1756) : cet état représente trois principales transformations : le pavage des rues, la substitution des édifices en pan de bois par des édifices en pierre et la surélévation des bâtiments.

3. Troisième état ; début du XIXe (1835) : les alignements et les élargissements de rues commencent à se réaliser, les fossés périphériques du centre sont comblés et les îlots densifiés.

4. Quatrième état ; fin du XIXe (1880) : depuis le plan cadastral jusqu'au dernier plan établi par Pinson en 1880, on assiste à la réalisation sur l'ensemble du centre ancien des alignements et des élargissements de rues ainsi qu'à la création des percées. Dans cette même période, les cours intérieures sont pavées.

5. Cinquième état ; l'après-guerre et la ville actuelle : ce dernier état représentatif de la réalisation des transformations urbaines du centre ancien résulte du comblement de l'Erdre et des bras nord de la Loire. Dans cet état, on assiste à l'introduction d'isolants thermiques dans les édifices.

II-12- La définition de microclimat ;

Généralement, le microclimat correspond aux conditions climatiques qui caractérisent une région géographique très restreinte, significativement différente du climat général de la zone où se situe cette région.²⁸ D'après, Reiter, Sigrid (2007), le microclimat peut varier sur quelques mètres d'un espace de petites dimensions telles qu'un terrain, une rue ou une place...etc. En effet, il est influencé par le volume des constructions voisines et aussi par l'orientation et l'inclinaison des surfaces, la présence d'arbres...etc. Chaque site est donc caractérisé par son microclimat.

II-13- Les éléments qui déterminent le microclimat d'un site :

Selon le rapport publié par l'AUC²⁹ et d'après Ahmed, Oameur. F, (2007), le microclimat est influencée par :

- 1- La structure urbaine (hauteur des bâtiments et l'espace entre ces derniers, la largeur des rues et leurs espacements... etc.)
- 2- Le type de recouvrement de la surface urbaine « les matériaux des surfaces » : sol naturel ou pavage, surface d'eau, végétation... etc.
- 3- Le métabolisme urbain (chaleur, vapeur d'eau et pollution produites par les activités urbaines).

L'espace urbain « rue, place... etc. » au sein d'une même ville se caractérise par sa propre identité microclimatique [Reiter, Sigrid.2007], cette dernière est le résultat de l'interaction entre les données climatiques d'un lieu avec les caractéristiques du site, c'est à dire au niveau micro les paramètres climatiques dépendent de:

La topographie ; relief (l'élévation ou l'altitude relative, la pente, les collines et les vallées, la nature de la surface... etc.) :

²⁸ <https://fr.wikipedia.org/wiki/Microclimat> consulté le : 24.07.2016

²⁹ AUC : international association for urban climate

- A- La couverture du sol.
- B- Les surfaces d'eau.
- C- la végétation.
- D- les constructions (en zone urbaine).

Cette interaction entre les éléments du site et les données climatiques génère un microclimat urbain caractérisé par des paramètres microclimatiques : les radiations solaires, les températures, les vents locaux, les précipitations et l'humidité seront légèrement différents dans le site considéré par rapport à la région à laquelle il appartient. En outre, Reiter, Sigrid (2007) affirme que dès lors la conception des espaces publics doit prendre en considération non seulement les données climatiques mesurées à la station météorologique la plus proche, mais aussi les composantes de l'environnement construit et naturel du site étudié. Lors de la conception d'un bâtiment ou d'un espace public, il est donc important d'évaluer et de prévoir l'impact de l'environnement existant sur le microclimat du site, afin de profiter au mieux des possibilités offertes par le terrain et de se protéger de ses inconvénients, et aussi évaluer l'impact du nouveau projet sur ce microclimat, pour optimiser les avantages que le projet peut apporter au site et limiter les nuisances qu'il pourrait induire.

II-14- Les phénomènes microclimatiques en milieu urbain :

Au niveau de la rue et du bâtiment, les éléments urbanistiques tels que la minéralisation des sols ou la présence de structures élevées ont également un impact fondamental sur les modifications des différents paramètres climatiques en ville. L'homme modifie les différents paramètres de son microclimat : une température moyenne plus élevée, une vitesse du vent plus faible mais des turbulences plus nombreuses, la modification des précipitations, la nébulosité due à la pollution de l'air, et des influences sur les échanges radiatifs, thermiques et énergétiques. Le plus souvent le milieu urbain génère des perturbations et des modifications comme celles citées ci-dessous qui gênent les piétons à l'extérieur et les usagers à l'intérieur et peuvent contribuer à augmenter la demande énergétique des bâtiments ;

- la modification du rayonnement solaire.
- La modification des mouvements de l'air.
- La modification de l'humidité et des précipitations.

II-14-1- La modification des mouvements de l'air :

D'après Reiter, Sigrid (2007) les villes modernes présentent de plus en plus souvent des constructions très élevées et des formes audacieuses qui peuvent entraîner des problèmes importants liés au vent autour de ces édifices. Un bâtiment substantiellement plus grand que son entourage provoque des mouvements d'air générés autour des bâtiments de grande hauteur créant une déflexion du vent à la fois horizontalement et verticalement qui sont généralement désagréables pour les piétons,. Un des effets les plus marqués de cette déflexion est de causer un accroissement important de la vitesse moyenne du vent au niveau du piéton autour du bâtiment (fig II-12 et II-13 en dessous).

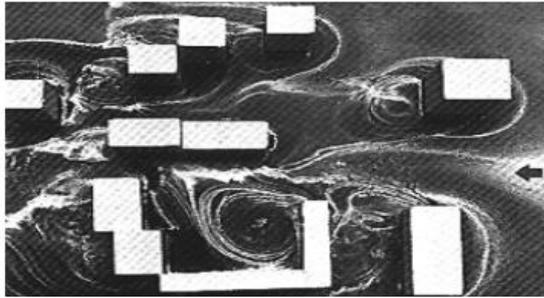


Figure II-12 : comportement du vent en rencontre de plusieurs obstacles (vue en plan)

Source ; Jean Louis Izard.2000 (expérience en soufflerie)



Figure II.13 : la modification des mouvements de l'air en milieu urbain. Source : Reiter, Sigrid.2007

L'action de l'urbanisation sur les vents est complexe, la ville modifie la vitesse des vents et leur direction par sa rugosité, par la canalisation des vents dans les rues, mais aussi par l'influence de l'îlot de chaleur urbain qui donne naissance à des vents thermiques. Les brises thermiques, dues à la convection de l'air qui apparaissent sur l'ensemble d'une ville ou d'un quartier, plus particulièrement quand les vents sont faibles. Ce phénomène s'accroît lorsque l'îlot de chaleur augmente.

En outre, Le paige, M., Gratia, E et De herde, A (1986) affirment que l'écoulement de l'air peut être modifié par la présence d'obstacles comme le bâti, la végétation, que l'air doit contourner. La face d'un obstacle exposée au vent subit une surpression tandis que la face opposée est soumise à une dépression. C'est pourquoi, outre la protection qu'ils offrent, les écrans peuvent également occasionner des effets secondaires tels que les courants d'air et les turbulences. La zone d'influence d'un bâtiment est environ quatre fois plus longue à l'arrière d'un bâtiment qu'à l'avant. Deux catégories d'obstacles doivent être étudiées en fonction de leurs impacts sur la vitesse locale du vent : les éléments étanches à l'air (ex. : les bâtiments) et les éléments poreux (ex. : les arbres). Signalons que les constructions forment des écrans permanents tandis que la végétation peut présenter des variations de porosité en fonction de la saison. Lorsque le vent rencontre une canopée urbaine, l'écoulement va se faire entre les porosités c'est-à-dire les rues (canyons urbains) et les vides séparant les bâtiments, puisque la rugosité est liée à la hauteur de ces éléments, elle dépend aussi du volume des porosités, en d'autres termes de la densité de rugosité.

Dans les basses couches (0 à 300mètres) , la rugosité du sol (végétation, construction...) induit des forces de frottement qui réduisent la vitesse moyenne du vent avec création d'une agitation importante qui est la turbulence (figure II-14 en dessous), par opposition à l'écoulement laminaire qui se produit au-dessus de la hauteur de rugosité et c'est là où le mouvement de l'air connaît un déplacement rectiligne [Gouizi ,Y.2001].

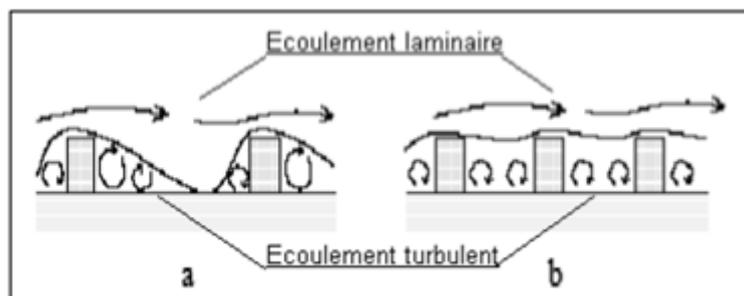


Figure II-14 : comportement du vent en fonction de l'espace entre les constructions

Source ;Rafik Belarbi, Emmanuel Bozonner et Francis Allard. 2002

II-14-1-1- Différents effets du vent au niveau du sol :

Gandemer (1975) présente ci-dessous les principaux mécanismes de l'écoulement de l'air autour des bâtiments en milieu urbain dense (figure II-15, ci-dessous). Les mécanismes de l'écoulement de l'air autour de bâtiments isolés et de groupes de bâtiments sont définis à partir des effets suivants, on distingue cinq mécanismes élémentaires d'écoulement du vent autour des bâtiments isolés de formes simples [Boucheriba ,Fouzia.2006] :

- l'effet de coin,
- l'effet de sillage,
- l'effet de passage sous l'immeuble,
- le rouleau tourbillonnaire,
- l'effet de barre.
- L'effet de venturi
- L'effet de désaxement
- L'effet de canalisation
- L'effet de maille

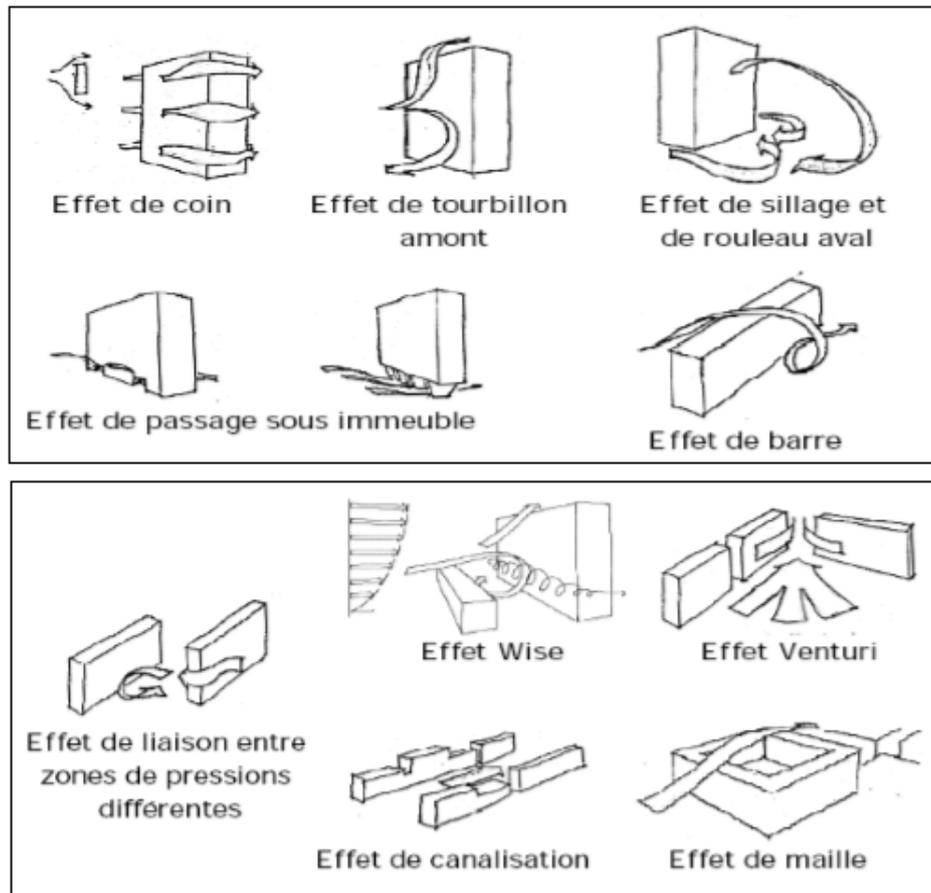


Figure II-15 : Différents effets du vent au niveau du sol

Source : jean Louis Izard, 2000 .Cité par Boucheriba Fouzia 2006

À • **Effet de coin** : C'est un trouble de l'écoulement du vent aux alentours des angles des édifices qui contribue à accélérer la vitesse du vent avec un taux pouvant atteindre 40 à 100 %, mais on peut atténuer cet effet à travers une plantation d'arbres ou bien par une ceinture de protection au niveau des coins.

B• Effet de rouleau tourbillonnaire (tourbillon amont) : C'est un phénomène qui se trouve dans les zones urbaines plus denses. Il est provoqué par l'impact direct du vent sur une façade qui génère de grandes perturbations du côté amont de l'édifice. La distance entre les édifices, leurs formes et les matériaux de façades ainsi que la vitesse du vent et la présence de végétation, sont des facteurs qui jouent un rôle important sur l'intensité de ce phénomène.

C• Effet de sillage : C'est un trouble de la circulation du vent qui provoque un rouleau tourbillonnaire en aval des édifices, il est inversement proportionnel à la densité du bâti.

D• Effet de passage sous immeuble : C'est un phénomène d'écoulement propre aux bâtiments sur pilotis. L'effet sera d'autant plus limité que le vent est perpendiculaire à l'axe du trou. La présence de la végétation peut diminuer, voire annuler cet effet. L'accélération en ces points peut varier et aller jusqu'à 20 à 50 %.

E• Effet de barre : C'est une perturbation provoquée par la déviation en vrille d'un vent qui arrive suivant l'axe d'une construction en forme de barre avec un angle de 45 °. On peut limiter cet effet en aménageant le toit et les arêtes de la construction.

F• Effet de venturi : C'est une perturbation de l'écoulement du vent provoqué par un effet d'entonnoir, causée par des particularités dans l'implantation de certains immeubles. Dans le cas où la distance entre deux bâtiments est étroite formant ainsi un canal, le passage du vent va s'accélérer à cause du rétrécissement de la zone de circulation. L'ampleur de ce phénomène peut aller jusqu'à faucher un piéton. De même, la présence de volumes arrondis dans la zone d'accélération peut amplifier ce phénomène.

G• Effet de désaxement (liaison entre zones de pressions différentes): Des bâtiments sont implantés régulièrement, mais non alignés sur un axe. Des pressions différentielles vont se créer lorsque les décrochements sont très grands, avec une amplitude proportionnelle à la petitesse des volumes de séparation

H• Effet de canalisation : Ce phénomène est assez courant en présence d'un long boulevard rectiligne. La force du vent peut augmenter de 30 %, en fonction de la longueur de l'axe et de sa forme rectiligne.

I• Effet de maille : C'est la construction en cellule qui est ici mise en cause. Le seul problème est que ça peut tout aussi bien être bon que mauvais et que comme le vent est dynamique, l'analyse de ce genre de situation n'est pas évidente.

II-14-2- La modification des précipitations et de l'humidité :

La ville est caractérisé par une faible évapotranspiration, inférieure de 6 % avec une faible rosée par rapport aux régions avoisinantes et un degré élevé de la vapeur anthropique liée à la vapeur d'eau qui est dégagée par les émissions des gaz de combustion des véhicules et des activités industrielles, cette stagnation de l'air dans les canyons permet de maintenir une atmosphère plus humide la nuit comparée à celle de la campagne [Boucheriba. Fouzia, 2006]. Donc, il est évident que le bâti contemporain apporte des modifications aux phénomènes d'évaporations, et ce pour deux raisons :

A- L'urbanisation étalée ; d'après, Reiter, Sigrid (2007) notre mode de bâtir contemporain est caractérisé par une forte augmentation des surfaces urbaines imperméables telles que les routes, l'asphalte, les toitures et les parkings... etc. Ces surfaces imperméables réduisent l'infiltration des eaux de pluie dans le sol provoquant un drainage rapide des eaux de pluie, empêchant l'alimentation des nappes phréatiques et augmentant considérablement le ruissellement de surface et les risques

d'inondations des surfaces situées en aval. D'autre part, la pollution de l'eau par les rejets fécaux et les rejets d'eaux usées domestiques ou industrielles transforme qualitativement le cycle hydrologique. Il est donc indispensable de tenter de réduire les eaux de ruissellement dans tout environnement construit. Le schéma ci-dessous (figure II-16, ci-dessous) donne le cycle réel de l'eau quand les hommes ont transformé et pollué l'environnement naturel.

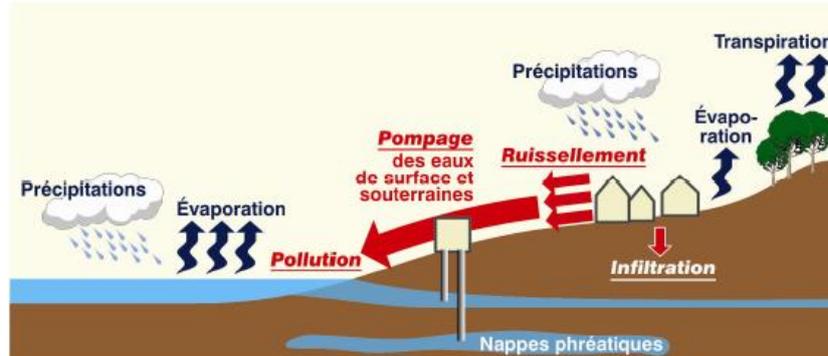


Figure II-16 : le cycle de l'eau dans la ville transformé et pollué par l'homme. Source Reiter , Sigrid. 2007

B- - L'effet de la diminution des espaces verts et des surfaces d'eaux dans la zone urbaine par rapport au milieu rural : de nombreuses études affirment que les plans d'eau et la végétation peuvent contribuer à accroître l'humidité localement (figure II-17). Reiter, Sigrid (2007) souligne que de nombreuses zones vertes de taille moyenne sont plus efficaces qu'une seule zone très grande pour accroître l'humidité relative de l'air en milieu urbain.



Figure II-17 : l'impact de la végétation sur l'humidification en milieu urbain. Source Sigrid. Reiter ,2007

Une étude de Kondoh et Nishima (2000) a également montré les évolutions hydrologiques liées à l'urbanisation croissante dans un quartier de la banlieue de Tokyo (Japon) et montrée ainsi qu'en 23 ans (entre 1972 et 1995), l'évapotranspiration avait diminué de 38 %, pour un passage de 22,1 % d'espaces urbanisés (zones urbaines et résidentielles) à 37,1 % [Reiter, Sigrid .2007].

II-14-3- La modification du rayonnement radiatif et thermique:

Lors de la traversée de l'atmosphère, les radiations solaires sont absorbées et diffusées par les molécules d'air et les aérosols, elles sont également absorbées et réfléchies par les poussières et les microgouttelettes en suspension. De manière générale, ces troubles sont plus importants en ville qu'à la campagne. En effet au-dessus des villes les concentrations en Co, CO₂ et SO₂ sont de 5 à 25 fois plus importantes qu'en milieu rural créant ainsi un dôme de pollution qui limite la disponibilité de la lumière naturelle en milieu urbain (figure II-18, ci-dessous).



Figure II-18 : la modification du rayonnement radiatif et thermique en ville par la pollution.
Source : Reiter, Sigrid .2007

Reiter, Sigrid (2007) affirme que de nombreux chercheurs ont montré également que la durée d'ensoleillement est réduite par l'atmosphère urbaine. À titre d'exemple, Santamouris et coll (2001) ont démontré que dans le centre de Londres, la durée d'ensoleillement est plus faible d'environ 16 % que dans la campagne environnante. À Liège, en Belgique, une perte de 55 minutes d'ensoleillement par jour est signalée à cause de la pollution.

Landsberg (1981) affirme aussi que la réduction du rayonnement solaire global en ville au niveau des toits par rapport à la campagne peut toutefois atteindre 20 %. Une autre étude réalisée par l'IRM (Joukoff 1996) qui a analysé les effets de la pollution de l'air sur la disponibilité de l'énergie solaire dans la zone de Bruxelles affirme que le rayonnement solaire global dans le milieu urbain varie entre 93 et 98 % de la valeur de référence donnée par la station météorologique.

Cependant, la morphologie urbaine (la densité) peut contribuer à modifier la quantité de rayonnement solaire reçue par une surface en ville, qui est généralement inférieure à celle captée par une surface équivalente en zone rurale à cause de l'effet d'obstruction des bâtiments (figure II-19). Dans le contexte urbain, le potentiel d'ensoleillement disponible et donc les gains solaires possibles dépendent fortement du gabarit des bâtiments proches ainsi que des contraintes d'orientation et de la hauteur des bâtiments qui produisent un impact plus important sur la pénétration du rayonnement solaire direct en milieu urbain.



(Photo : M. Bodart).



(Photo : S. Reiter).

Figure II-19 : la modification du rayonnement radiatif et thermique en ville par la morphologie urbaine
source : Reiter , Sigrid.2007.

Le tissu urbain dense en climat tempéré est considéré comme un obstacle pour la pénétration des rayons solaires nécessaires notamment en hiver ce qui amène donc une surconsommation énergétique concernant le chauffage domestique. Au contraire dans les pays avec un climat chaud en été nous avons une surconsommation énergétique sous forme de climatisation active [Reiter Sigrid. 2007].

II-14-3-1- Le piège radiatif :

D'après, Colombert. Morgane (2010) la géométrie de la ville est un critère pertinent de sa particularité climatique, les rues canyons (Oke, 1978) avec les hautes parois verticales forment ce que l'on nomme le piège radiatif (figure II-20) qui peut entraîner des charges supplémentaires thermiques et radiatives importantes. C'est l'ensemble des rayonnements solaires, réfléchis par les différentes parois, ne parvenant à ressortir vers l'atmosphère que partiellement, alors il engendre des surfaces réchauffées sous l'action des rayons provoquant ce qu'on appelle le phénomène d'îlot de chaleur urbain. Ce dernier sera détaillé dans le 3^e chapitre en tant que facteur pertinent contribuant à la consommation énergétique des bâtiments.

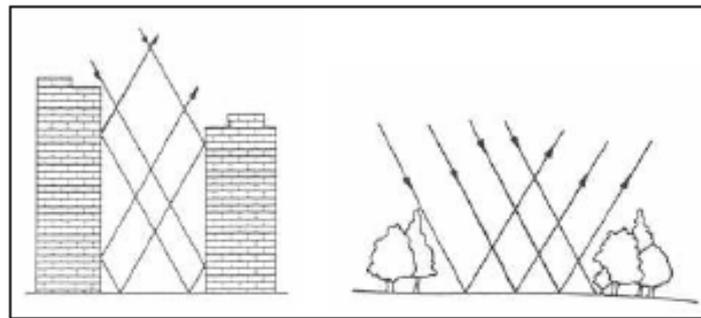


Figure II-20: le piège radiatif des rues. Source : Griffiths.1976

Le piège radiatif dépend des propriétés thermiques des matériaux comme ; l'albédo, la conductivité thermique, l'émissivité, la capacité thermique... etc. Quand le rayonnement solaire arrive sur une surface une partie peut être réfléchi, une autre transmise à travers le corps, et le reste est absorbé sous forme de chaleur (voir figure II-21). La chaleur emmagasinée par les matériaux urbains est susceptible d'être rejeté sous forme d'un rayonnement thermique (infrarouge) émis vers l'air environnant. Ces rayonnements thermiques restent en partie piégés à l'intérieur du canyon provoquant un réchauffement notamment pendant la nuit [Colombert , Morgan.2010].

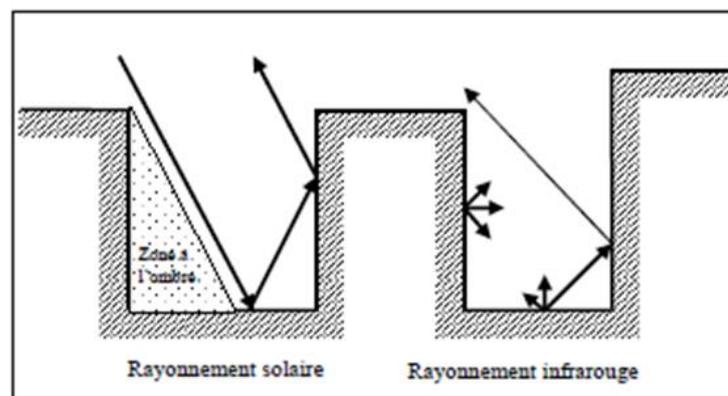


Figure II-21 : rayonnement solaire et rayonnement infrarouge en milieu urbain.
Source : Colombert , Morgane . 2010

En outre, le piège radiatif dépend de l'angle de vue du ciel qui définit la possibilité de pénétration du rayonnement solaire diffus et donc la possibilité de piéger les rayons émis par les surfaces dans les canyons avec des bâtiments plus élevés. Il dépend aussi de la hauteur des bâtiments et de la distance qui sépare les deux côtés de la rue. En effet, la morphologie des rues avec un rapport hauteur/largeur (H/W) élevé réduit fortement l'exposition directe des surfaces de la rue durant la journée, mais contribue à augmenter la chaleur réémise par les murs durant la nuit à cause du faible refroidissement. Donc, la forme du bâti, sa densité et les caractéristiques des matériaux de construction sont des éléments critiques dans la formation des pièges radiatifs dans les espaces publics urbains. Ci-dessous (voir figure II-22), la rue de la photo de gauche sera plus lumineuse, plus ensoleillée et formera moins de pièges radiatifs que la rue de la photo de droite.



Figure II-22 : le piège radiatif dans les espaces publics urbains. Source : Reiter, Sigrid.2007.

II-15- Le bilan radiatif :

Selon Colombert , Morgane (2010) il ya une différence notable entre le bilan radiatif de la ville et celui de la campagne, le bilan radiatif de la ville est plus important par rapport à celui de la campagne à cause de l'importance du rayonnement thermique formé de rayons infrarouges réfléchis par la ville dans toutes les directions sous forme atmosphérique en raison de la pollution ou bien surfacique à cause du faible albédo des matériaux en comparaison de ceux de la campagne .

Dans ce sens, Tsoka .Stella (2011) affirme que le flux atteignant une surface de la Terre peut avoir une valeur maximale de 900 à 1000 W/m². Plus précisément, le flux solaire (W/m²) qui atteint une surface provient de trois composantes : la composante directe, la composante diffuse et la composante réfléchie. La figure en dessous (voir figure II-23 en dessous) montre les différents effets provoqués par le passage du rayonnement solaire dans l'atmosphère.

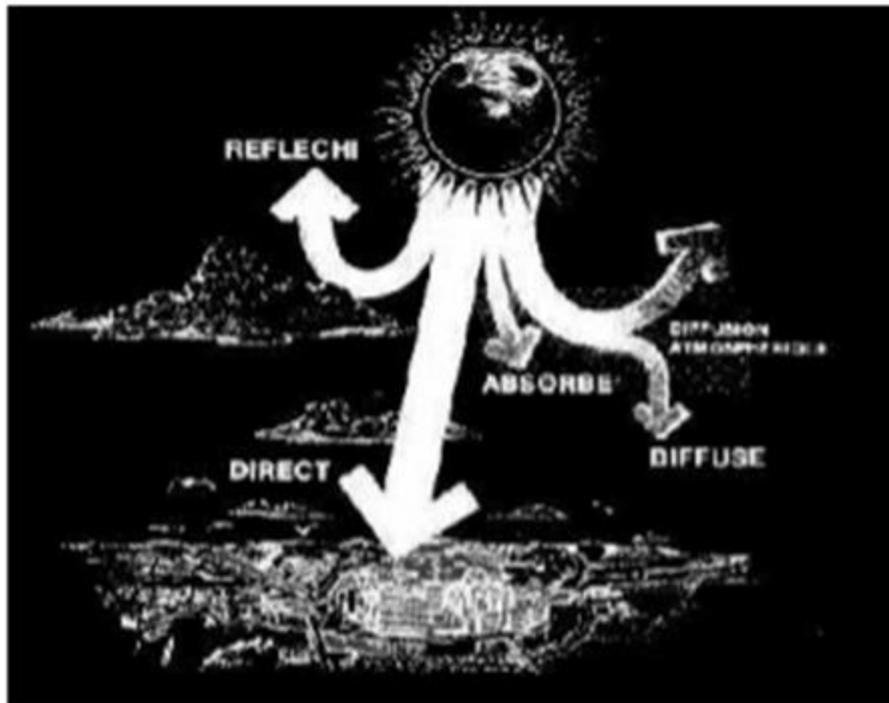


Figure II-23 : les différents types de rayonnements solaires. Source : colombert.M.2010

Pour calculer le bilan radiatif, il faut distinguer deux types de rayonnement, le rayonnement solaire et le rayonnement thermique :

1- Le rayonnement solaire ; il s'agit du rayonnement solaire direct provenant du soleil et du rayonnement solaire diffus provenant du ciel ainsi que du rayonnement solaire réfléchi provenant de la surface urbaine.

2- le rayonnement thermique (infrarouge) ; d'après, Tsoka, Stella (2011) le rayonnement thermique se compose de deux types : le rayonnement infrarouge atmosphérique et le rayonnement infrarouge surfacique. Chaque corps porté à une température donnée va émettre de l'énergie par sa surface sous forme de rayonnement thermique, c'est-à-dire sous forme d'ondes électromagnétiques. Cette énergie est émise dans toutes les directions.

Selon Colombert , Morgane (2010) le milieu urbain affecte le bilan radiatif naturel soit par sa géométrie ou bien par les matériaux, ou encore par la pollution atmosphérique qui y règne. Le bilan radiatif d'une surface exprime la quantité de rayonnement absorbée par cette surface et la quantité de rayonnement émise vers l'atmosphère. Il peut s'écrire de la façon suivante (voir figure II-24 en dessous):

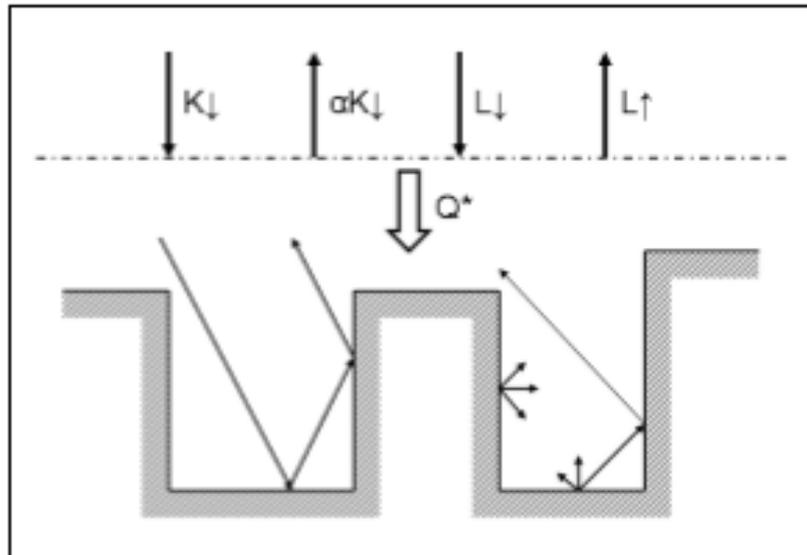


Figure II-24 : bilan radiatif au-dessus d'une ville .Source : .Colombert , Morgane. 2010

$$Q^* = L_{\downarrow} - L_{\uparrow} + (1 - \alpha) K_{\downarrow} \quad (\text{W.m}^{-2}) \quad (\text{formule II-4})$$

Où α est l'albédo du sol,

L_{\uparrow} le rayonnement de grande longueur d'onde émis par le milieu,

L_{\downarrow} le rayonnement atmosphérique descendant,

K_{\downarrow} le rayonnement solaire global reçu sur une surface horizontale,

Et Q^* le rayonnement net.

II-15-1 -Rayonnement net (Q^*) :

Selon Colombert , Morgane (2010) le rayonnement net est le « résultat » du bilan radiatif, il correspond au rayonnement de courtes et grandes longueurs d'onde « capturée » (terme positif) ou « perdue » (terme négatif) par la surface étudiée. Le rayonnement net équivaut à l'ensemble de la quantité de rayonnement absorbée par la surface et la quantité de rayonnement émise vers l'atmosphère.

II-15-2- Rayonnement solaire incident (K_{\downarrow}) :

C'est le rayonnement solaire direct (rayonnement visible et proche infrarouge) diffusé par l'atmosphère. Lorsque le rayon incident traverse l'atmosphère et en particulier le nuage qui comprend des particules d'aérosols³⁰ et des vapeurs d'eau, une partie des radiations est absorbée et une autre est diffusée sur toutes les longueurs d'onde [Sacré, C. 1983].

Le rayonnement solaire incident est en général plus faible de 3 à 10 % dans un contexte urbain par rapport aux espaces ruraux environnants .La cause principale de cette différence s'explique par la pollution atmosphérique qui comprend des particules, des aérosols, favorisant ainsi la création de nuages qui diminuent les rayons solaires incidents [Najjar, G. Kastendeuch, P- P 2005].

³⁰un aérosol est une particule, solide ou liquide, en suspension dans un milieu gazeux.

II-15-3- Le rayonnement solaire réfléchi (αK_{\downarrow}) :

Colombert , Morgane (2010) souligne que ; *‘ce sont des rayonnements solaires réfléchis par la surface urbaine, la composante réfléchie dépend de l'albédo des surfaces qui dépend dans le cas d'un milieu urbain, à la fois de la géométrie du cadre bâti (les rues piègent le rayonnement solaire) et des propriétés thermiques des matériaux de construction .Les matériaux urbains présentent des albédos variés, mais en moyenne plus faible que ceux observés pour des surfaces naturelles’*.

II-15-4 -Rayonnement thermique atmosphérique descendant (L_{\downarrow}) :

Tsoka , Stella (2011) affirme que l'atmosphère absorbe une partie et diffuse une autre (K_{\downarrow}), l'atmosphère va s'échauffer et réémettre une autre fois des rayons, mais sous forme de rayons thermiques de grande longueur d'onde dans l'infrarouge, provenant du ciel (la voute céleste) vers le milieu urbain. Le maximum du rayonnement thermique (infrarouge) est atteint vers midi et le minimum à la fin de la nuit [Sacré, C. 1983]. Les aérosols jouent un rôle à la fois dans, l'absorption et la diffusion du rayonnement solaire. La nébulosité joue également un rôle important quant à l'émission du rayonnement de grande longueur d'onde.

II-15-5 -Rayonnement thermique (surfaccique) ascendant (L_{\uparrow}) :

Dans un contexte urbain, les matériaux ont des températures plus élevées par rapport aux matériaux des zones naturelles. Pendant la nuit le matériau urbain réfléchit un rayonnement infrarouge (dégage de la chaleur) emmagasiné durant la journée, ce rayonnement ascendant est plus élevé en ville qu'à la campagne, puisque les surfaces urbaines se refroidissent lentement par rapport aux surfaces naturelles [Najjar, G. Kastendeuch, P- P 2005].

Dans ce sens, Colombert , Morgane (2010) souligne que ; *‘le refroidissement nocturne est moins marqué dans la rue que sur les toits en raison du piégeage du rayonnement infrarouge par les bâtiments de part et d'autre de la rue (Nunez et Oke. 1977). Le rayonnement infrarouge (thermique) émis par le milieu L_{\uparrow} dépend de la température de surface et de l'émissivité des matériaux constituant le sol (loi de Stefan Boltzmann) ‘*.

Conclusion :

L'objet principal de la morphologie urbaine est de permettre la lecture de la ville, il s'appuie sur l'étude de l'évolution de la forme urbaine en relation avec les changements sociaux, économiques ainsi que de l'environnement thermique ou climatique. Nous nous intéresserons à la morphologie environnementale qui traite de la forme urbaine dans sa dimension environnementale, en analysant l'influence de la morphologie urbaine sur les paramètres climatiques.

Généralement, chaque espace urbain possède sa propre identité microclimatique [Reiter Sigrid.2007] qui est le résultat d'interactions complexes entre les éléments de site tel que ; la topographie, la nature du sol, la végétation et les constructions ainsi que les données climatiques, cela génère un microclimat urbain spécifique différent du climat de la région. Pour quantifier le microclimat urbain et évaluer le comportement morpho-énergétique à l'échelle intermédiaire (la rue), nous avons utilisé des indicateurs de forme à l'échelle micro à savoir : Le prospect (H/L), le facteur de vue de ciel (FVC), l'Albédo (a) et Degree of Enclosure (DoE). Le milieu urbain à l'échelle minimale au niveau de la rue révèle certains phénomènes microclimatiques et des modifications pertinentes comme ; la modification du rayonnement solaire, la modification des mouvements de l'air et la modification de l'humidité et des précipitations. Ce qui conduit à un bilan radiatif de la ville plus élevé par rapport aux zones environnantes, suite à un rayonnement thermique important dans la ville provenant de la voûte céleste en raison de la pollution, et à cause d'un albédo faible des matériaux de construction. Les variations du bilan radiatif génèrent de multiples effets qui gênent les piétons à l'extérieur et les usagers à l'intérieur et qui peuvent contribuer à augmenter la demande énergétique des bâtiments.

Finalement pour conclure ce chapitre, il est nécessaire lors la conception d'un quartier de prendre en considération non seulement les paramètres climatiques enregistrés en site dégagé puisque souvent sont erronés par rapport les paramètres climatiques d'un site. Il est donc préférable d'évaluer les effets d'une nouvelle installation sur le microclimat urbain, pour maintenir les avantages que le projet peut apporter au site et minimiser les inconvénients induits.

CHAPITRE III :
L'INFLUENCE DU MICROCLIMAT URBAIN SUR LA
DEMANDE ENERGETIQUES DES BATIMENTS.

Introduction :

Depuis longtemps, on sait que la consommation d'énergie du secteur résidentiel représente une part importante de la demande énergétique mondiale estimée environ à 40 % entraînant ainsi une élévation des émissions de Co₂, ces dernières proviennent aussi d'autres secteurs tels que le transport et l'industrie [Levine, L et al 2008]. L'étude de Ratti en 2005 affirme que la géométrie urbaine notamment à l'échelle micro (les rues) peut jouer un rôle important dans la réduction de la demande énergétique des bâtiments concernant la climatisation.

Après avoir expliqué dans le chapitre deux la manière dont la morphologie urbaine était susceptible de modifier les conditions microclimatiques et engendrer des phénomènes à l'échelle micro ainsi que la modification des échanges ; radiatives, thermiques, aérodynamiques et d'évapotranspirations.

Le présent chapitre expose l'interaction entre le milieu bâti et son environnement. Notamment, l'effet du microclimat urbain sur la demande énergétique des bâtiments, nous allons mettre en évidence le phénomène d'îlot de chaleur urbain en tant que facteur clé implicite qui influence la demande énergétique des bâtiments, en analysant ces causes et ces conséquences afin de proposer des stratégies pour atténuer son intensité.

III-1-Relation morphologie urbaine et énergie :

Beaucoup de recherches ont été faites sur la réduction de l'énergie consommée à l'échelle du bâtiment isolé (sans prendre en compte l'environnement immédiat). Très peu de recherches ont traité et intégré la conception urbaine pour réduire la consommation d'énergie et les émissions de Co₂, ainsi que la réduction des besoins en climatisation active dans les zones au climat chaud et aride. Arantes, L. Marry, S. Baverel, O et Quenard, D (2013) soulignent que l'objectif de diminution de la demande énergétique n'est pas évident à l'échelle du quartier et encore moins à l'échelle du microclimat urbain (l'échelle intermédiaire), la corrélation entre formes urbaines et énergie est encore mal connu et fait l'objet d'une polémique scientifique, à cause de la complexité de la ville dans sa composante morphologique et spatiale.

La première étude de la ville, et de son effet sur la demande énergétique, s'est intéressé à l'effet de la densité et du transport en analysant la mobilité urbaine, cette étude menée en 1988 par (P. Newman et J. Kenworthy) découvre l'existence d'une relation inversée qui évolue de façon logarithmique : *'Plus la densité d'une ville est élevée, plus la consommation d'énergie pour le transport est faible. Cette étude de Newman et Kenworthy conclut à la nécessité d'un retour à la planification urbaine et à la densification pour réduire la consommation d'énergie dans les transports. Rouvrant ainsi l'ancien débat entre les partisans de la ville compacte et les partisans de la ville étalée, débats particulièrement riches dans la communauté scientifique depuis la fin du 19^e siècle (Choay, 1965)'* [Arantes, L. Marry, S. Baverel, O et Quenard, D. 2013]³¹.

³¹-ARANTES, Laëticia, MARRY, Solène, BAVEREL, Olivier, *et al.* Efficacité énergétique et formes urbaines: élaboration d'un outil d'optimisation morpho-énergétique. *Cybergeog: European Journal of Geography*, 2016 . [Enligne] <http://https://cybergeog.revues.org/27584> (Page consultée le 4 avril 2016)

III-1-La densité en question ; densité et l'efficacité énergétique :

Salat, Serge (2010) affirme que les recherches récentes sur l'efficacité énergétique des formes urbaines aboutissent à des conclusions contrastées. Certains auteurs (par exemple Holden et al, 2004, Mindali et al, 2004) sont d'accord sur le fait qu'une ville dense est préférable du point de vue énergétique, ils adhèrent généralement au concept de « densité égale efficacité » qui prouve qu'une forte densité réduit la demande énergétique. Tandis que d'autres (par exemple Hui, 2001, La rivière et al, 1999) avancent au contraire qu'une plus forte densité peut accroître la demande énergétique pour l'éclairage et la climatisation et elle limite aussi les opportunités de recours à l'énergie solaire. Cette forte densité avec toutes les activités inhérentes aggrave les problèmes de congestion, de pollution, et pose le problème de la dispersion du CO₂.

Le concept de densité est un sujet équivoque et discutable. D'après le rapport du Salat, S(2009)³² qui compare la consommation énergétique globale de Hong Kong en tant que ville très dense soit 0.08Tj/hab/an par rapport à celle de la France qui est de 0,16 Tj/hab/an, on remarque qu'elle n'est que deux fois plus faible alors que la densité de la population de Hong Kong (6539hab/km²) est 50fois plus importante que celle de la France (120 hab/km²). Donc, la relation est multicritère et pas seulement causale. Il est nécessaire de prendre en considération la corrélation de tous les paramètres morphologiques pour arriver à l'efficacité énergétique à l'échelle urbaine.

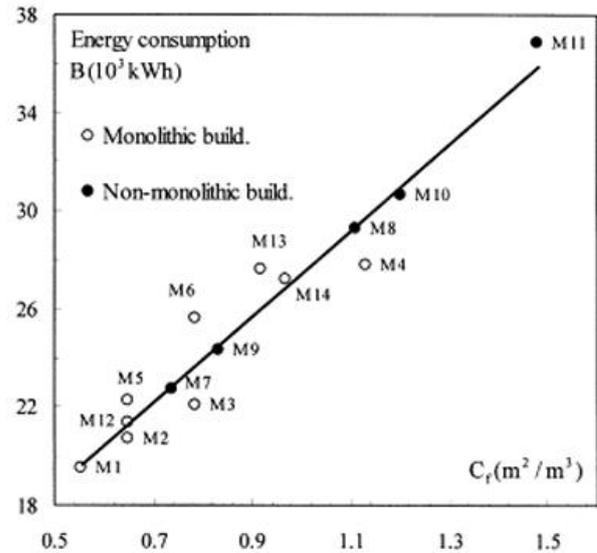
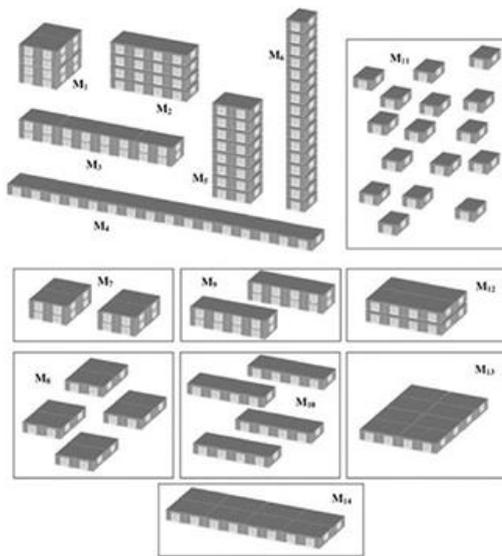
III-2-La compacité et l'efficacité énergétique ; la compacité complément de la densité :

Ratti. C *et al* (2005) affirme qu'il ya une relation entre la compacité et la consommation d'énergie quand la compacité urbaine est faible, cela entraîne une augmentation importante des déperditions de chaleur en hiver et des gains de chaleur en été. D'après, Arantes, L. Marry, S. Baverel, O et Quenard, D (2013) soulignent que Depecker, P. *et al.* 2001 (voir figure III-1 en-dessous); « *ils ont fait une recherche sur quatorze formes urbaines "monolithiques"³³ et non monolithiques* » avec une qualité d'isolation et technique de chauffage identiques. Cette étude montre que les bâtiments monolithiques sont parmi les plus compacts et les plus performants. Au contraire, les trois configurations les plus énergivores sont non monolithiques, la moins performante étant la configuration composée de seize unités dissociées (ou seize maisons individuelles) qui présente la plus faible compacité ». De même, l'analyse de ces formes urbaines montre l'existence d'un lien de causalité³⁴, montrant une relation linéaire entre la compacité et les besoins de chauffage du bâtiment : plus un bâtiment est compact, plus ses besoins de chauffage sont réduits. Donc, selon Depecker, P (2001), il est évident que la consommation d'énergie en besoin de chauffage dépend de la compacité urbaine et de l'influence de la déperdition énergétique des formes urbaines compactes ainsi que de l'effet de transfert thermique entre les bâtiments .

³²- SALAT, Serge et NOWACKI, Caroline. De l'importance de la morphologie dans l'efficacité énergétique des villes. *Liaison Energie Francophonie*, 2010, vol. 86. . [Enligne] <http://www.urbanmorphologyinstitute.org/de-l'importance-de-la-morphologie-dans-lefficiency-energetique-des-villes/> (Page consultée le 10 avril 2016)

³³-monolithiques = qui est constitué d'un seul bloc.

³⁴-lien de causalité ; la variable de qualité isolation thermique est identique, mais la compacité urbaine qui est variable.



A gauche ; les 14 morphologies étudiés par P. Depecker et al.

À droite : Évolution de la consommation de chauffage (en kWh/an) en fonction de la capacité géométrique (en m^{-1}).

Figure III-1 : Relation entre compacité et consommation de chauffage : analyse comparée de quatorze morphologies de bâtiments .source : Depecker, 2001.

La compacité thermique S/V est un indicateur à utiliser avec précaution, pour certains chercheurs est plus pertinent, car il quantifie l'indicateur de forme .Tandis que d'autres chercheurs, la compacité thermique ne décrit pas la densité, ni même la forme puisqu'elle varie plutôt avec la taille et doit être pondéré par d'autres facteurs [Maïzia .M 2010].

III-2-La comparaison entre les consommations énergétiques des différents types de formes urbaines archétypales :

D'après, l'étude de Arantes, L. Marry,S. Baverel,O et Quenard ,D. 2013 (2013)³⁵concernant l'efficacité énergétique des différentes morphologies urbaines vise à révéler la forme urbaine la plus appropriée pour l'installation des panneaux photovoltaïques et rechercher la forme la plus productrice en apports solaires actives .Les bâtiments sont de formes simples (parallélépipédiques) avec une densité de 75 logements par hectare ,la figure III-2 présente les six configurations analysées :

- une tour de 25 étages ;
- des pavillons individuels d'un à deux niveaux ;
- un habitat individuel en bande de plain-pied ;
- le linéaire compact en gradins : cette configuration se caractérise par une graduation de la hauteur des bâtiments du sud vers le nord du morceau de ville, afin de favoriser l'ensoleillement direct et de réduire au maximum les effets de masques proches ;

³⁵-ARANTES, Laëtitia, MARRY, Solène, BAVEREL, Olivier, *et al.* Efficacité énergétique et formes urbaines: élaboration d'un outil d'optimisation morpho-énergétique. *Cybergeo: European Journal of Geography*, 2016 . [Enligne] <http://https://cybergeo.revues.org/27584> (Page consultée le 4 avril 2016)

Le linéaire aéré en gradins : cette forme reprend le même principe que précédemment, en considérant des bâtiments de plus faibles longueurs ;

- le petit collectif composé de sept bâtiments dont la hauteur varie de trois à cinq étages.

Le logiciel Matlab nous permet d'évaluer la performance énergétique de ces six formes urbaines (voir figure III-2), à travers le calcul du bilan énergétique total des bâtiments, en fonction de trois variables ; la longueur, le nombre d'étages et l'orientation. Les autres variables dimensionnelles et matérielles du bâtiment dit «représentatif», sont fixées sur la base d'hypothèses et de scénarios en cohérence avec la pratique constructive actuelle :

- 1- la profondeur du bâtiment est fixée à douze mètres.
- 2- Sa structure est en murs de refend et dalles en béton armé, alors que son enveloppe légère est en ossature bois.
- 3- Le bâtiment supporte en façade des panneaux solaires thermiques permettant d'assurer un tiers des besoins annuels en eau chaude sanitaire, tandis qu'en toiture, il accueille des panneaux photovoltaïques.

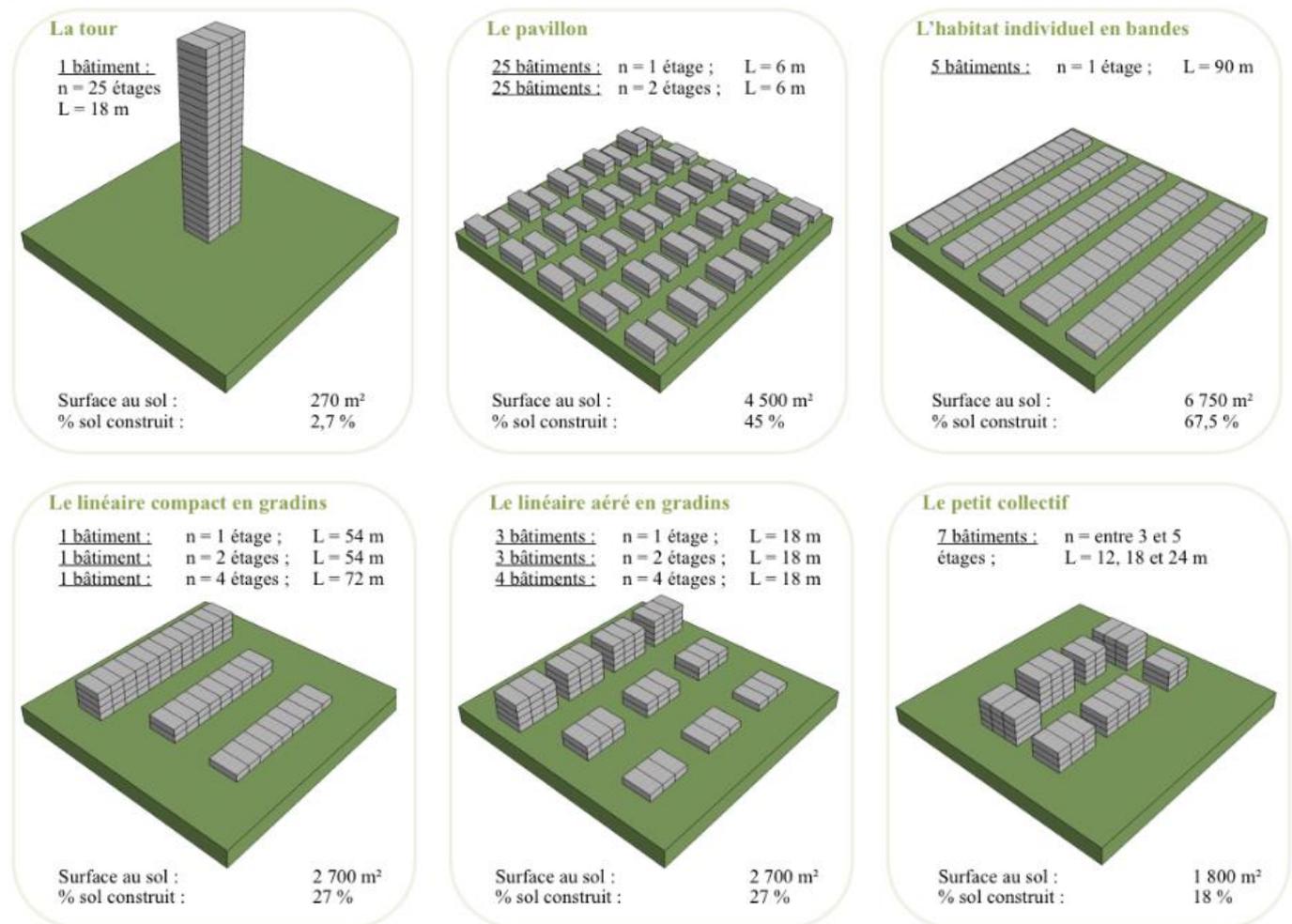


Figure III-2 : Les six formes urbaines analysées et leurs dimensions (n = nombre d'étages, L = longueur)
source :Arantes,L. 2013

La Figure III-3 ci-dessus présente une comparaison en fonction du bilan énergétique annuel de six formes urbaines étudiées ; « ce bilan comprend l'ensemble des consommations énergétiques, réévaluées par les productions solaires thermiques et photovoltaïques. Pour chaque cas, le bilan énergétique est négatif puisque les productions solaires actives ne permettent pas de compenser les consommations des quartiers » [Arantes, L. Marry, S. Baverel, O et Quenard, D. 2013].

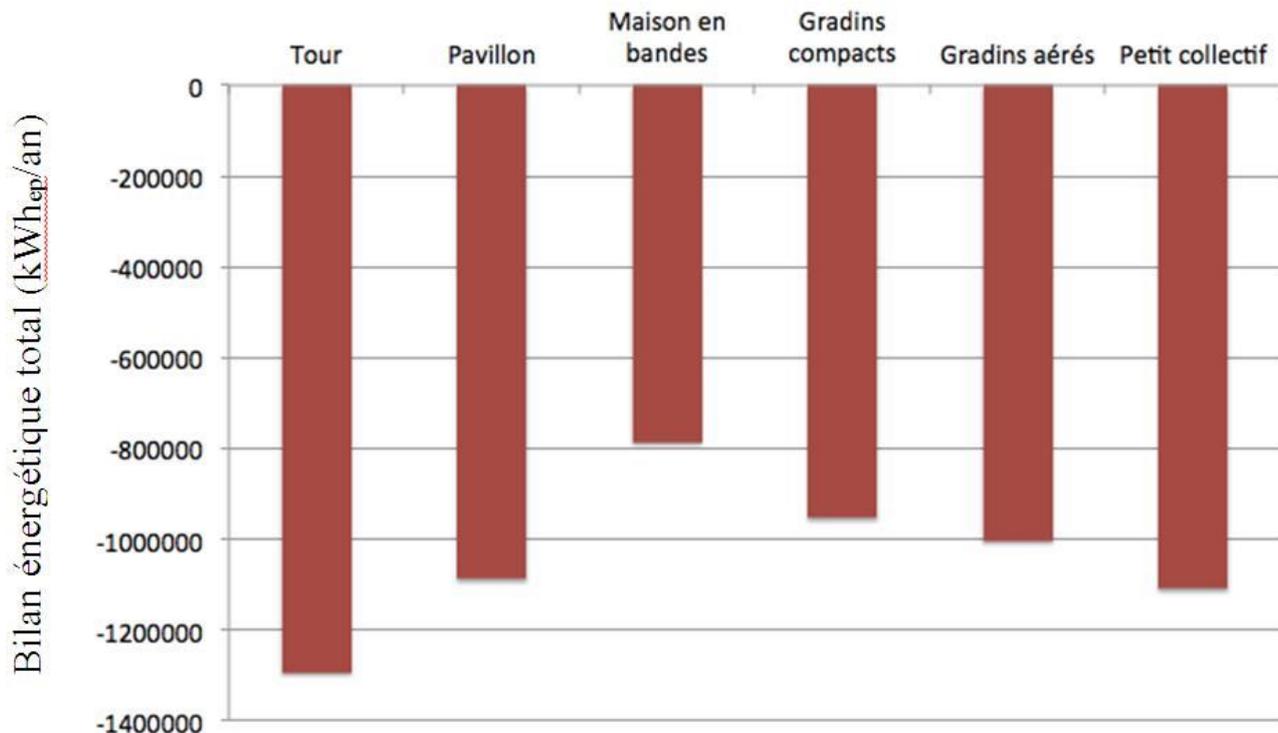


Figure III-3 : Comparaison croisées des six formes urbaines étudiées au regard de leur performance énergétique globale .source :Arantes, 2013.

D'après, Arantes, L. Marry, S. Baverel, O et Quenard, D. (2013) les résultats retenus de l'étude de Arantes, 2013 révèlent que la maison en bande est la plus performante. Cette forme urbaine consomme moins et présente un meilleur bilan énergétique, qui est d'environ 800 MWh/an. Cela s'explique en partie par le potentiel de production solaire qu'offre la grande surface des toitures des maisons en bandes. Tandis que les autres formes sont soumises aux ombrages et sont donc plus énergivores, par exemple la tour d'habitation est la forme la plus énergivore avec un bilan énergétique annuel atteignant le 1300 MWh/an, elle est 1,6 fois moins performante que les maisons en bandes.

III-3-un constat global sur la consommation énergétique :

D'après, Bouyer, Julien (2009), en France, la consommation d'énergie des bâtiments a augmenté de 30 % au cours des 30 dernières années du fait de l'accroissement simultané du parc de bâtiments (+41 %) et de la surface moyenne des logements, mais aussi du fait de l'augmentation des exigences de confort et de l'apparition de nouveaux besoins chez les usagers [ADEME, 2005]. Ces différents facteurs ont contribué à une forte augmentation de la consommation d'électricité utilisée pour l'électroménager, l'éclairage, la bureautique, la climatisation... etc., qui produit la majeure partie des émissions de CO₂, cette dernière est estimée à 120 millions de tonnes, soit 25 % des émissions nationales.

Selon le ministère de l'Énergie et des Mines algérien, en 2013, la structure de la consommation énergétique des trois grands secteurs que sont ;«l'industrie », «le transport » et «les ménages et autres » montre une prépondérance du secteur des «ménages et autres » (y compris les logements et les bâtiments tertiaires), dont la part est de 43 %, comme le montre la figure III-4.

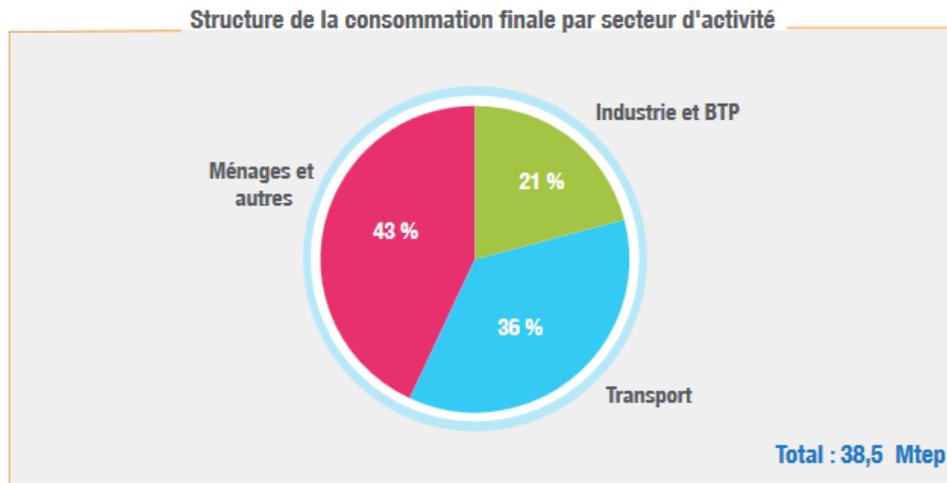


Figure III-4 : structure de consommation finale par secteur d'activité.
Source ; (ministre de l'énergie et des mines .2013)

Les logements et les bâtiments tertiaires représentent l'une des principales sources anthropiques contribuant à la formation du phénomène d'îlot de chaleur urbain et à la dégradation de la qualité environnementale des espaces urbains habités. Ce qui place la question de la réduction de la consommation d'énergie au centre d'une action prioritaire à mettre en œuvre et qui doit répondre aux engagements mondiaux de réduction des émissions de gaz à effet de serre pour préserver l'environnement.

III-4-la relation entre l'îlot de chaleur urbain et l'accrue d'énergie :

Dans sa thèse, Bozonnet (2005) a estimé l'impact de l'interaction entre le microclimat et le bâti sur la demande énergétique. Comme il est illustré dans la figure III-5 en dessous, il a démontré que l'augmentation des exigences de confort dans le bâtiment ainsi que l'expansion des villes et ces activités conduisent à augmenter le besoin en climatisation active. Cela conduit à rejeter une chaleur supplémentaire, appelée la chaleur anthropique qui contribue à la formation de l'îlot de chaleur urbain. Par conséquent, cette hausse de température extérieure engendre un accroissement de la puissance instantanée de conditionnement et donc à un accroissement de la demande en électricité, tout cela conduit donc inévitablement à une augmentation de l'émission globale des gaz à effets de serres et d'autres polluants.

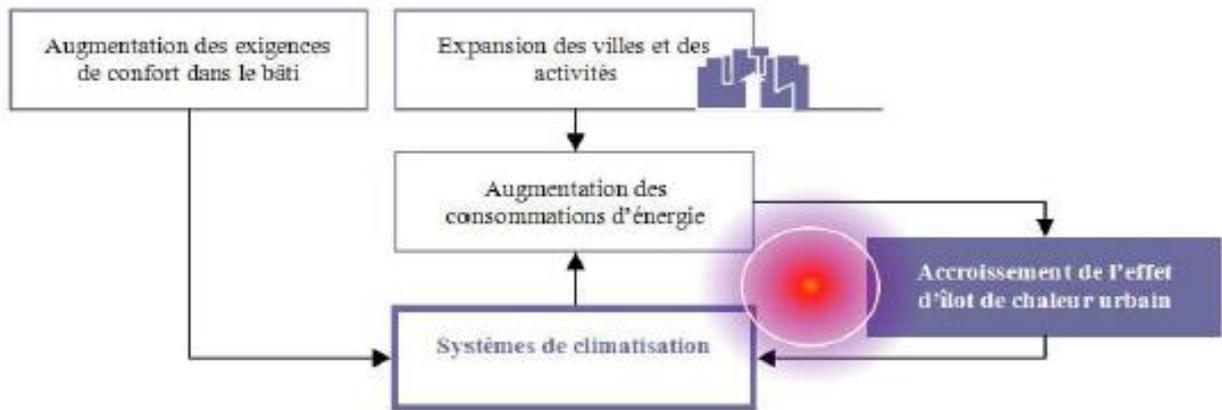


Figure III-5 : Accroissement de l'îlot de chaleur urbain par la puissance dissipée des systèmes de génie climatique (Bozonnet, 2005), cité par Julien Bouyer.2009.

Une étude faite sur la ville de Tokyo montre aussi que la charge pour le refroidissement des bâtiments a augmenté de 50 %, en raison de l'îlot de chaleur urbain, de 1965 à 2000. À Los Angeles Akbari et al(1992) ont effectué des comparaisons entre l'évolution des températures de l'air extérieure et la consommation d'énergie domestique dans des sites résidentiels, ils ont mis en évidence une corrélation entre ces deux grandeurs. La puissance électrique de climatisation augmente de près de 540 MW par écart de degré de la température ambiante. De même, il a été calculé que le coût de l'électricité en été pour les États-Unis à cause de l'îlot de chaleur urbain serait de plus d'un million de dollars par heure, soit plus d'un milliard de dollars par an. On estime que 3 % à 8 % de la demande d'électricité urbaine sont utilisées pour compenser uniquement cet écart de température.

En Algérie, l'été 2011, au début du mois d'août, on a enregistré une anomalie de température atteignant 46 °C et la consommation algérienne d'électricité a atteint une valeur de 8 746 MW (mégawatts), une hausse d'environ 1 000 MW par rapport au pic de l'été de l'année précédente. D'après, le portail algérien des énergies renouvelables (CDER) affirme que ; *«cette forte augmentation de la demande d'électricité est une conséquence directe du changement des habitudes de consommation, et s'explique par le recours de plus en plus généralisé à la climatisation active »*.

III-5-Historique de l'îlot de chaleur urbain :

Parmentier, A (2010) affirme qu'en 1833, Howard est le pionnier qui a traité le climat urbain à travers une étude scientifique basée sur des relevés quotidiens, il a constaté que les températures au centre-ville de Londres sont plus élevées que dans les zones rurales voisines. Plus tard, de nombreux chercheurs ont étudié le phénomène d'îlot de chaleur thermique grâce à l'observation, l'expérimentation, les modèles mathématiques et modélisation urbaine. Depuis une cinquantaine d'années, plusieurs publications sur ce phénomène ont été produites, on peut citer plus particulièrement les contributions de Chandler (1965) à Londres, Bronstein (1968) et Oke (1973) en Amérique du Nord, ainsi que Dettwiller (1970) et Escourrou (1986) à Paris.

III-6-La définition d'îlot de chaleur urbain :

D'après, Oke (1987), l'îlot de chaleur urbain est un phénomène climatique généré par l'interaction des paramètres climatiques et le milieu urbain. Il est caractérisé notamment par l'augmentation des températures de surface due à l'albédo des matériaux, à la morphologie de la ville et à la température de l'air due à la chaleur anthropique des villes. La température en zone urbaine est plus élevée qu'en milieu rural, cet écart de température révèle une zone avec un pic de température semblable à un « îlot » elle est plus élevée en été et se forme souvent au-dessus des toits des bâtisses.

III-7-La description d'îlot de chaleur urbain :

Akbari et al (2001) ont fait des expérimentations sur l'évolution des températures en milieu urbain, montrant une relation entre la densification urbaine et l'augmentation de la température de l'air. Ces relevés sont réalisés dans une trentaine de villes de Californie et des zones rurales environnantes, ils ont montré qu'avant 1940 les zones urbaines étaient plus froides contrairement à la situation actuelle où la température est plus élevée de 3 °C en moyenne.

L'étude de Baudoin et Guay (2005) estime cette différence entre un site urbain et un site rurale entre 5 et 10 °C, puisque le refroidissement urbain est ralenti par le dégagement de chaleur venant des rues [Oke. 1987]. D'autres études empiriques montrent qu'il est possible de gagner 5 à 7,5 % du coût de l'énergie nécessaire pour chauffer les bâtiments pour 1°C d'augmentation de la température moyenne en climat tempéré [Oke. 1988]. Par contre, l'effet de l'îlot de chaleur urbain est défavorable dans les zones au climat chaud, notamment en été. Il intensifiera fortement l'inconfort généré par les surchauffes et augmentera la consommation d'énergie sous forme de climatisation pour refroidir l'intérieur des bâtiments [Reiter,Sigrid. 2007].

III-8- l'intensité d'îlot de chaleur urbain:

L'intensité de l'îlot de chaleur urbain dépend de la taille de la ville, de sa morphologie et varie aussi en fonction des paramètres météorologiques tels que la vitesse du vent, la couverture nuageuse et l'évapotranspiration. À titre d'exemple, l'augmentation de la vitesse du vent peut limiter l'intensité de l'îlot, mais reste variable d'un jour à l'autre et tout au long de l'année. L'intensité de l'îlot est plus marquée durant la nuit, car la chaleur absorbée durant la journée est réémise lentement dans l'atmosphère durant la nuit sous des conditions météorologiques sans vent et un ciel sans nuages.

Parmentier, Amélie (2010), affirme que la densité de la population urbaine influence l'intensité de l'îlot de chaleur urbain, Oke (1973) a proposé une relation empirique reliant l'intensité des îlots de chaleur urbains et la population (différence de température entre milieux urbain et rural, notée ΔT_{u-r}).

$$\Delta T_{u-r} = \frac{0.25XP^{\frac{1}{4}}}{U^{\frac{1}{2}}} \text{(formule III-1)}$$

Où :

p : la population (hab) et u : la moyenne de la vitesse du vent (en m/s)

L'équation d'Oke a été testée sur 10 stations dans des villes de différentes tailles et ayant une population variant de 1000 à 1 million d'habitants, ces mesures ont été réalisées trois heures après le coucher du soleil sous un ciel dégagé et avec un vent faible.

III-9-La variabilité d'îlot de chaleur urbain :

L'îlot de chaleur urbain n'est pas homogène, c'est un phénomène très variable sur le plan spatial et temporel à cause de la complexité de milieu urbain.

III-9-1- La variabilité temporelle :

D'après, Reiter, Sigrid (2007) la figure III-6 illustre la variation journalière de la température de l'air entre un site urbain et un site rural ainsi que leurs l'écart et ce pendant trois périodes pertinentes de la journée ;

1 –Avant le lever du soleil :

Le milieu urbain est plus chaud que le milieu rural, puisque la ville se refroidit plus lentement pendant la nuit à cause de la réémission de la chaleur emmagasinée et celles venant des rues (à cause de la propriété des matériaux leur permettant d'emmagasiner la chaleur durant la journée).

2- Après le lever du soleil ;

Un site rural se réchauffe plus rapidement par rapport au site urbain, puisque la rosée s'évapore plus vite. Pendant la journée, les températures urbaines et rurales convergent et se croisent même lorsque les sources de chaleur internes à la ville ne sont pas trop importantes. À la fin de l'après-midi, l'îlot de chaleur urbain commence à croître et va augmenter rapidement autour et juste après le coucher du soleil.

3- Après le coucher du soleil :

Le refroidissement des surfaces à la campagne est rapide alors qu'il se fait plus lentement en ville, car la rosée se forme plus facilement sur les sites ruraux que les sites urbains et l'environnement rural restitue rapidement l'énergie emmagasinée, alors que ce processus est très lent pour le site urbain. L'écart maximum de température se produit généralement durant la nuit, l'îlot de chaleur urbain est amplifié durant l'intervalle du coucher du soleil jusqu'à minuit.

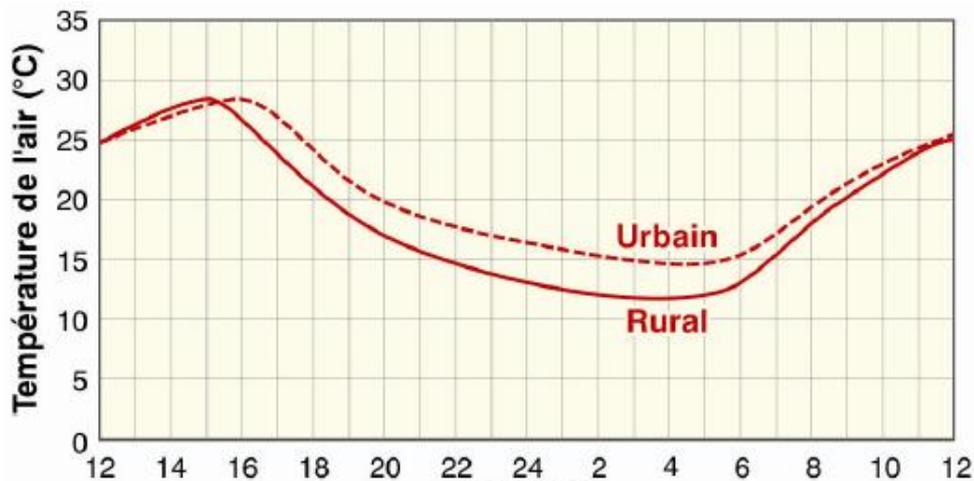


Figure III-6 : (a) Schéma de déphasage temporel journalier des températures entre un site urbain et rural sous ciel clair et faible vent (b) Intensité des îlots de chaleur urbains. Adaptée de Oke (1987) cité (Reiter, Sigrid. 2007)

III-9-2-La variabilité spatiale ;

La répartition de l'îlot de chaleur urbain varie en fonction du cycle journalier et de la structure spatiale atteignant une hauteur de 200 à 300 m, soit 3 à 4 fois plus que la hauteur des immeubles. D'après, Parmentier Amélie (2010) souligne que Oke (1976) adopte une vision monocentrique de la

ville et considère la structure spatiale de l'îlot de chaleur urbain comme concentrique autour du centre-ville. Elle est caractérisée par trois couronnes (figure III-7 et III-8) :

- Une couronne étroite marquée par un intense gradient de température au point de transition entre la ville et la campagne dénommée «Cliff», zone de transition dans laquelle Eliasson (1996) mesure des gradients de l'ordre de 0,3 à 0,4 °C par 100 m.
- La deuxième couronne plus large est appelée «Plateau». Elle est marquée par des gradients faibles et une tendance progressive au réchauffement au fur et à mesure que l'on s'approche du centre-ville.
- Enfin, la zone centrale entourant le centre-ville est appelée «Pic».

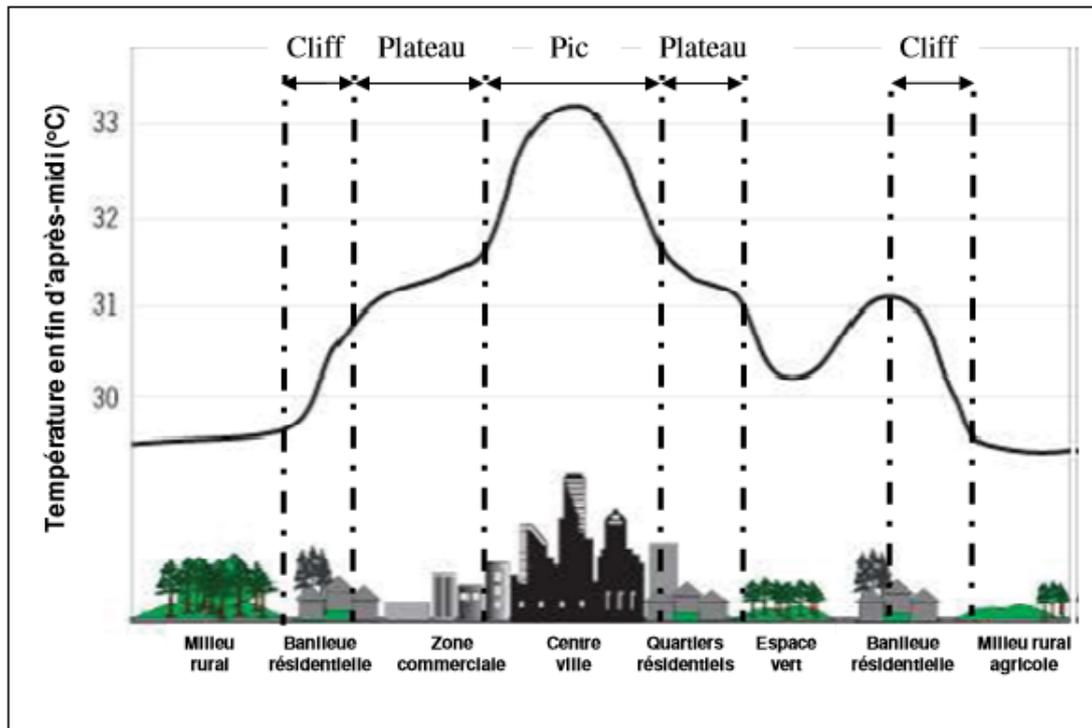


Figure III- 7: un profil d'un îlot de chaleur urbain et la répartition de l'ICU en pic, plateau et vallée en fonction des paramètres de surface source : Joëlle Goyette Pernot et Raphaël compagnon,2003 .

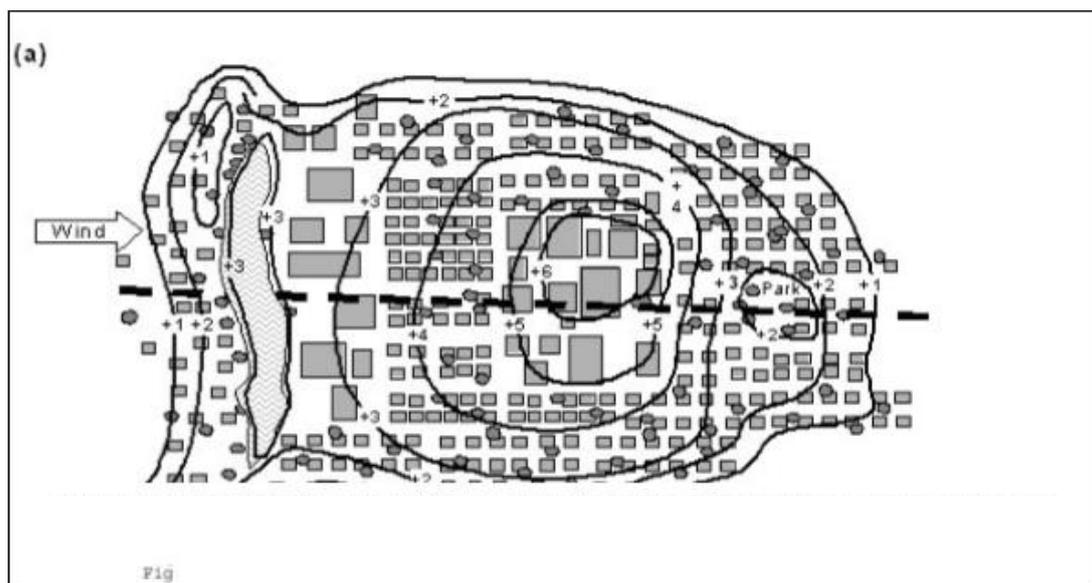


Fig. III-8 ; Schématisation en plan de l'îlot de chaleur urbain dans une ville fictive. Source : action biosciences 2006. Cité par Achour-Bouakkaz Nawel.2006

III-10-Type d'îlot de chaleur urbain :

Selon Parmentier, Amélie 2010, il existe différentes façons pour observer et quantifier le phénomène d'îlot de chaleur urbain et déterminer son intensité, en fonction de l'échelle d'étude :

1 -Le premier est celui de « îlot de chaleur à la surface du sol », appelée en anglais Surface Heat Island (SHI), qui permet d'observer le phénomène à plus grande échelle, c'est-à-dire à l'échelle de la ville dans son ensemble, et de sa banlieue ainsi que dans certains endroits d'une ville. La quantification de ce phénomène à l'échelle méso est possible par la thermographie infrarouge, et par l'imagerie satellite [Ringebach, 2004].

2- La deuxième échelle d'observation est celle de la canopée appelée « îlot de chaleur urbain à l'échelle de la canopée » (ICUC) ou en anglais Canopy Layer Heat Island (CLHI). C'est une plus petite échelle qui fait référence à la couche d'air comprise entre le sol et la cime des arbres ou des toitures des bâtiments, où se déroule l'essentiel de l'activité humaine .Généralement, la limite supérieure de la canopée varie en fonction de la hauteur des bâtiments et de la vitesse du vent.

La canopée urbaine comprend une multitude de microclimats qui sont influencés par la nature des surfaces urbaines voisines, de leur géométrie, des matériaux et de leurs propriétés.

3- La troisième échelle est celle de la frontière atmosphérique ou couche limite urbaine, Boundary Layer Heat Island (BLHI) en anglais. Cette échelle correspond à la couche située au-dessus de la couche de la canopée. C'est une couche qui forme un dôme plus chaud en fonction de la direction du vent [Oke. 1987].

III-11-Les facteurs contribuant à la formation de l'ICU :

De multiples facteurs concourent à la formation de ce phénomène climatique urbain, à savoir :

La morphologie urbaine, les propriétés des matériaux, mais l'un des facteurs majeurs qui contribue au développement de l'îlot de chaleur urbain, c'est la présence de flux de chaleurs supplémentaires liés à l'activité urbaine, on parle de métabolisme urbain (le transport urbain et l'activité industrielle). Tous ces éléments représentent des facteurs importants de modification du climat local des villes.

Parmentier, Amélie (2010), a classé en détail dans la figure (III-9, en dessous) les facteurs pertinents qui cause ce phénomène, en deux catégories des variables selon Rizwan (2007) :

- les variables incontrôlables (sur lesquelles les hommes ne peuvent intervenir directement).
- les variables contrôlables (sur lesquelles il est possible d'intervenir de manière directe).

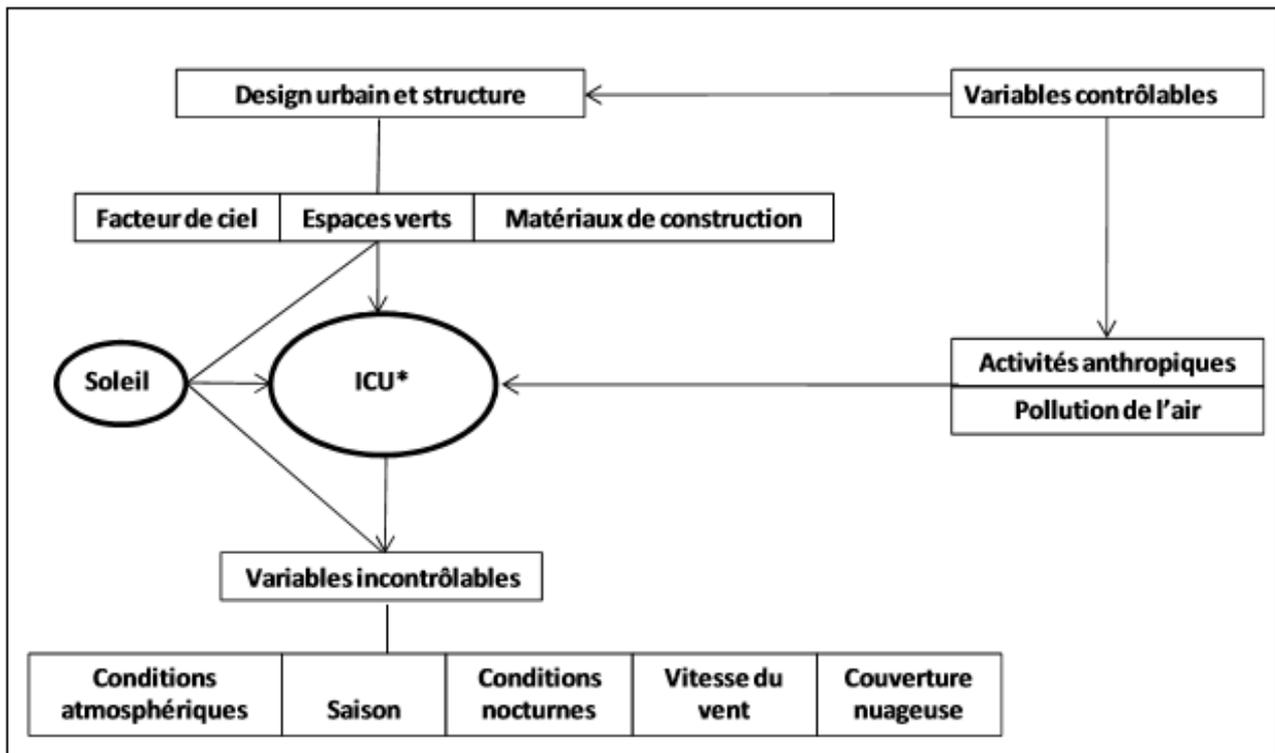


Figure III-9 : les causes intervenant à former l'îlot de chaleur urbain. Adaptée de Rizwan (2007) cité par Parmentier.2010

III-11-1-Les variables incontrôlables :

Ce type de variables est incontrôlable puisqu'elle dépend principalement des conditions météorologiques, parmi ces variables on peut :

- les conditions atmosphériques ;
- la saison ;
- les conditions nocturnes ;
- la vitesse du vent ;
- le couvert nuageux

Les paramètres les plus significatifs sont le vent et la nébulosité. Tout d'abord, l'intensité d'un îlot de chaleur urbain diminue avec la vitesse du vent. La figure III-10 et III-11 ci-dessous montre que l'îlot de chaleur disparaît pour des vents supérieurs à 3 m/s, dans ce cas les mesures de températures indiquent une répartition sous la forme d'un panache étiré selon l'axe des vents. Par contre, quand le vent est très faible et inférieur de 3 m/s, la forme du panache de l'îlot de chaleur prendra la forme d'un dôme urbain [Oke et East, 1971. Klysiak et Fortuniak, 1999].

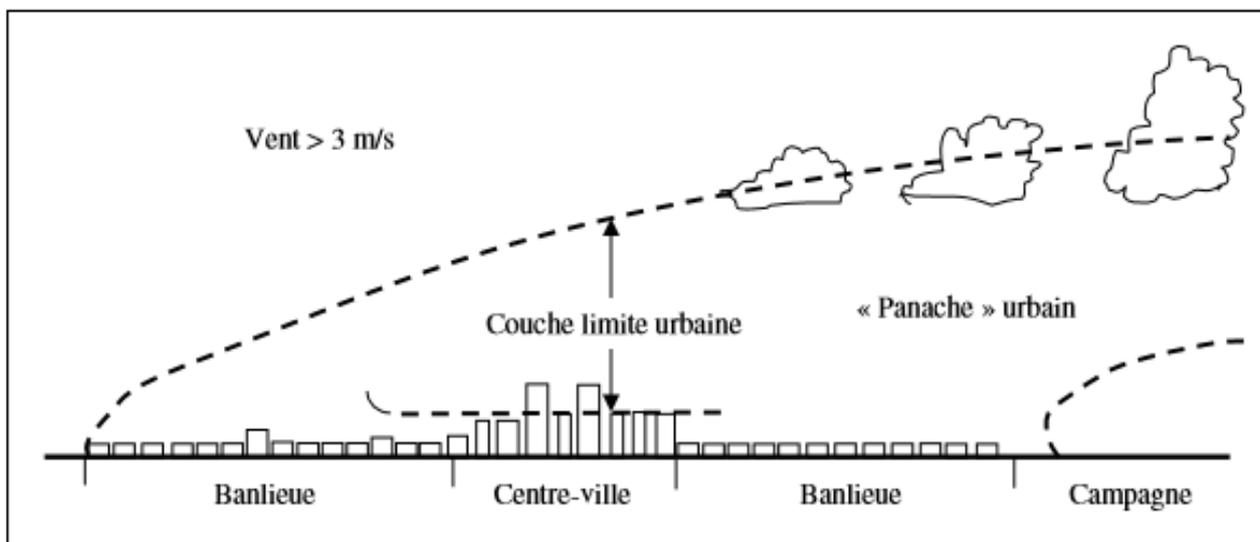


Figure III-10 : Atmosphère urbaine pour un vent supérieur à 3 m/s et inférieur à 11,1 m/s, création d'un panache urbain. Adaptée de Oke (1971) cité par Parmentier.2010

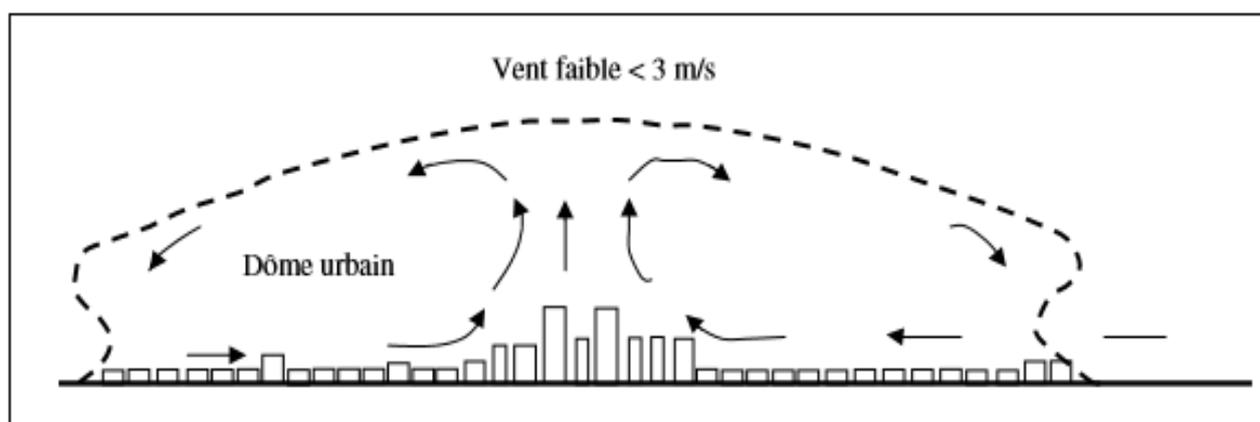


Figure III-11 atmosphère urbaine pour un vent inférieur à 3 m/s; création d'un dôme. adaptée de oke (1971) cité par Parmentier.2010

En ce qui concerne ; «l'intensité de l'îlot de chaleur diminue lorsqu'augmente la nébulosité (Runnalls et Oke, 2000 ; Eliasson et Svensson, 2003). En effet, les nuages interviennent en modifiant le rayonnement infrarouge incident et, par conséquent, influencent le bilan net de la surface et le refroidissement radiatif nocturne pendant lequel se forme l'îlot de chaleur urbain.

Pour la variable relative aux conditions atmosphériques et anticycloniques, en cas de pluie ou de soleil faiblement présent, le phénomène sera moins visible. Les conditions nocturnes influencent également l'intensité d'un ICU puisque lors de cette période, le rafraîchissement radiatif a lieu. Si les conditions ne sont pas propices, si la température extérieure est trop élevée, le refroidissement est de moindre efficacité, ce qui amplifie les ICU » [Parmentier,Amélie 2010].

III-11-2-Les variables contrôlables :

Parmi ces variables contrôlables, on peut citer :

- 1 –la morphologie urbaine avec ces indicateurs ;
- Le facteur de vue au ciel FVC, le ratio H/L.
- La densité urbaine.
 - la compacité urbaine.
- 2-l'albédo des matériaux de construction.
- 2 - le taux de végétation ;
- 3 - la chaleur anthropique dégagée ;
- 4 - les polluants présents dans l'air.

Nous allons présenter dans les paragraphes suivants l'effet de chaque variable sur l'îlot de chaleur urbain :

III-12-L'effet de la morphologie urbaine sur l'îlot de chaleur urbain :

La morphologie urbaine avec ces indicateurs produit des effets sur les paramètres climatiques, elle peut affaiblir la vitesse du vent et augmenter la température de l'air dans la canopée urbaine. Santamouris (2002) a montré que l'albédo urbain n'indique pas seulement la propriété thermique des matériaux et leur coefficient de réflexion, mais elle caractérise aussi la morphologie urbaine. Chimklay et Coll (2001) ont remarqué que les variations de la hauteur des formes urbaines (la rugosité) peuvent jouer un rôle primordial dans la diminution de l'albédo.

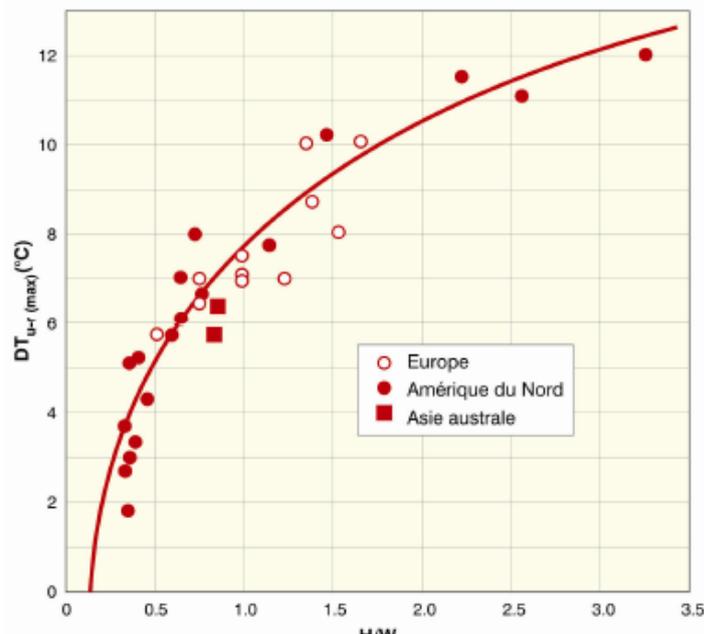
III-12-1-l'effet du facteur de vue du ciel (FVC) et le ratio (H/W) ;

D'après, Reiter ,Sigrid (2007) ces deux facteurs morphologiques(FVC) et le ratio (H/W)sont cruciaux dans la création du phénomène de piégeage des radiations et l'augmentation de la température des espaces urbains, spécialement la nuit . Le tissu urbain est caractérisé par un facteur de visibilité au ciel faible (FVC faible signifie aussi H/W élevé) et un albédo des matériaux faible, souvent synonyme de création de gorges gardant la chaleur dans les rues et ralentissant le refroidissement à cause du faible potentiel de perte de chaleur vers le ciel.

Oke(1988) a trouvé une corrélation entre l'intensité maximale de l'îlot de chaleur et la géométrie du canyon urbain selon une étude qui a concerné plusieurs pays (voir le graphe III-1), la corrélation est exprimée par une formule ci- dessous qui inclut le rapport H/W ; c'est le rapport entre la hauteur des bâtiments (H) et la distance de séparation (W) :

$$\Delta_{T_{max}} = 7,54 + 3,97 \ln (H/W) \text{ (formule III-2)}$$

On obtient donc une valeur maximale de l'effet de l'îlot de chaleur égale à 7,54 °C pour un profil de rue dont la hauteur et la largeur ont la même valeur, on obtient 4,79 °C lorsque les rues sont deux fois plus larges que la hauteur des bâtiments et elle est de 10,29 °C lorsque la hauteur du canyon est deux fois plus grande que la largeur [Reiter,Sigrid .2007].



III-13-L'effet des matériaux de construction sur l'îlot de chaleur urbain ;

L'albédo est le pouvoir réfléchissant d'une surface exprimé par le ratio entre le flux réfléchi et le flux incident correspondant, c'est une grandeur sans dimension variant de zéro à un. Une valeur égale à zéro correspond à une surface noire qui absorbe l'intégralité de l'énergie qu'il reçoit et une valeur égale à 1 correspond à une surface blanche diffusant dans toutes les directions et n'absorbant aucun rayonnement.

La surface urbaine (selon les caractéristiques des matériaux) est l'une des causes de la formation de l'ICU, provoquant un échauffement fort et rapide. Les rayons solaires incidents sont emmagasinés et provoquent une élévation de la température de la surface. En effet, cette chaleur emmagasinée au cours de la journée est restituée graduellement en soirée et durant la nuit. Selon Colombert , M (2010) : *''Oke (1978) estime que l'albédo moyen des villes est de 0,15, ce qui est souvent plus faible que celui des zones rurales (0,2 pour la végétation ; 0,11 à 0,15 pour la forêt ; 0,25 à 0,3 pour des sols nus (Najjar et coll. 2005). Comme le signale Taha (1997), les albédos des milieux urbains sont généralement compris entre 0,10 et 0,20, mais dans certaines villes ces valeurs peuvent être bien plus importantes. Les villes nord-africaines en sont un bon exemple avec l'albédo compris entre 0,30 et 0,45 alors que la plupart des villes américaines et européennes ont un albédo compris entre 0,15 et 0,20''*.

D'après, Bouyer , Julien (2009), divers travaux de recherche dans différents pays et climats ont été menés en ce qui concerne les performances thermiques de différents matériaux utilisés dans le tissu urbain, ceci en grande partie pour les revêtements des voies de circulation piétonne et automobile. À titre d'exemple, Doulos, Santamouris, Livada, 2004 ont constaté après une analyse comparative de 93 échantillons de matériaux que l'Albédo ne se limite pas aux caractéristiques physiques et aux propriétés thermiques des matériaux, mais il ya d'autres facteurs qui interviennent, parmi eux ; la couleur, la texture des surfaces ainsi que la nature des matériaux de construction et le niveau de dégradation des matériaux.

III-13-1-l'effet de la couleur des matériaux sur l'albédo ;

Un corps clair réfléchit une grande partie de l'énergie solaire reçue alors qu'un corps foncé en absorbe la plus grande part. D'après, Athamena, K (2010) souligne que les recherches ont montré aussi que les toits peints avec des couleurs claires ou blancs ont une forte réflectivité qui peut atteindre 72 %, ce dernier est supérieur à celle des toitures de couleur sombre ou noire qui ne dépasse pas les 26 %.

Bouyer ,Julien (2009) souligne que ; *''Berg et Quinn ont observé qu'au milieu de l'été, des routes peintes en blanc dont l'albédo est proche de 0,55, avaient presque la même température que la température de l'air, tandis que les routes classiques, dont l'albédo était proche de 0,15, ont une température d'environ 11 °C supérieure à celle de l'air [Santamouris et al. 2004].*

III-13-2-l'effet les types des matériaux sur l'albédo :

Bouyer ,Julien (2009) souligne que : *''Asaeda a mené une étude expérimentale sur la performance estivale des chaussées composées de divers matériaux utilisés communément dans les zones urbaines. Ils ont constaté que la température de la surface, le stockage de la chaleur et les flux émis vers l'atmosphère étaient significativement plus importants pour l'asphalte et le béton que pour le sol nu [Santamouris et al. 2004].*

Généralement, on distingue deux grandes classes de matériaux selon leurs propriétés réfléchissantes ; la classe des matériaux « chauds », et la classe des matériaux « froids » qui sont caractérisées par des coefficients de réflexion solaires et des émissivités très élevées [Bouyer, Julien.2009]. Chaque matériau possède une capacité réfléchissante, ayant une valeur spécifique d'albédo (voir figure III-12), Aida et Goh³⁶ mentionnent les valeurs d'albédo pour des surfaces présentes habituellement dans les villes dans un Tableau III-1 en -dessous.

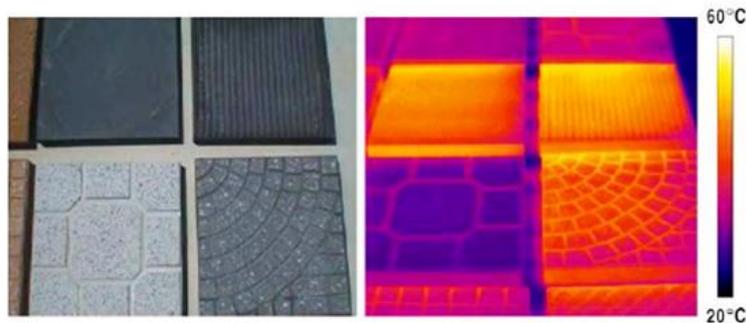


Figure III-12 : Photo et thermographies IRT des revêtements testés dans l'étude de [Doulos et al., 2004]

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 Tiré de Aida et Goth (1982) cité par Parmentier ,Amélie.2010

Le tableau III-1 présente l'albédo de chaque type de matériaux, il montre 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 mesuré des valeurs comprises entre 0,25 et 0,30 pour les arbres et entre 0,15 et 0,18 pour les surfaces gazonnées. Les surfaces avec un albédo faible deviennent alors plus chaudes que celles avec un albédo élevé, le goudron par exemple, largement présent en voirie, a un albédo très faible. Les matériaux ayant un albédo et une émissivité élevés s'échauffent moins vite quand ils sont exposés au soleil et réduisent ainsi le transfert de chaleur à l'air environnant [Prado, et Ferreira, 2005].

³⁶-AIDA, Masaru et GOTOH, Kiyoshi. Urban albedo as a function of the urban structure—a two-dimensional numerical simulation. *Boundary-layer meteorology*, 1982, vol. 23, no 4, p. 415-424.

III-13-3-l'effet de la texture des matériaux sur l'albédo :

L'effet de la rugosité a été étudié, les chercheurs ont constaté que la rugosité diminue fortement la réflexion, si la surface est rugueuse les photons de lumière effectuent une ou plusieurs réflexions avant de s'échapper, ainsi la probabilité d'absorption du rayonnement est augmentée. L'étude de la réflexion de deux surface l'une avec un revêtement lisse et l'autre rugueux, a montré que la réflexion des couches lisses est de l'ordre de 69 % alors que celle des couches rugueuses est de 51 % [Athamena ,K.2010].

En outre, une analyse des matériaux en fonction de leur texture a montré que les tuiles de surface plane et lisse étaient plus fraîches que les tuiles de surface rugueuse et irrégulière, confirmant que la rugosité de la surface des matériaux diminue fortement la réflexion [Bretz, S.Akbari, H,1998].

Les chercheurs ont aussi étudié le rôle des pigments dans la réflexion solaire et ils ont constaté que l'ajout d'oxyde de chrome (un pigment) qui se caractérise par une forte réflexion des rayons infrarouges aux bardeaux d'asphalte verts augmente leur pouvoir de réflexion qui était de 14 % à l'état normal et passe à 50 %. Un autre pigment a fait ses preuves en matière de réflexion, c'est l'hématite. En l'ajoutant à la tuile rouge, son pouvoir de réflexion passe de 18 % à 33 % [Athamena, K. 2010].

III-13-4-l'effet de la dégradation des matériaux sur l'albédo :

La dégradation des matériaux due aux conditions climatiques influe beaucoup sur leurs propriétés thermiques et réfléchives, il est très important d'étudier l'impact de cette dégradation et de voir quelles sont les solutions. Une étude expérimentale et quantitative a été menée par [Levinson, Akbari, 2002] sur l'influence des conditions climatiques sur les propriétés de réflectivité du béton fait de ciment portland. L'étude a montré qu'après le coulage, l'augmentation de l'albédo du béton et en corrélation avec le processus d'hydratation du ciment (augmentation moyenne de 0,08) jusqu'à la stabilité qui se réalise après six mois.

Les résultats ont démontré aussi que la composition du béton, son vieillissement et aussi son exposition à différentes conditions climatiques modifiaient notablement son albédo. En ce qui concerne l'exposition environnementale, il a été constaté que les intempéries, les salissures, et l'abrasion réduisaient l'albédo moyen du béton respectivement de 0,06, 0,05 et 0,19. On note aussi que le mouillage du béton par l'eau de pluie diminue fortement son albédo (en moyenne de 0,23) et revient à sa valeur lorsqu'il est sec [Athamena , K. 2010].

III-14- L'effet de la végétation sur l'îlot de chaleur urbain :

La réduction des espaces verts et leurs remplacement par des espaces imperméables comme le pavé et l'asphalte avec un faible albédo provoquant ainsi l'emménagement de la chaleur et une élévation de la température des surfaces urbaines, car les espaces verts réduisent les périodes de surchauffes en milieu urbain par le phénomène de refroidissement, dû l'effet combiné de l'ombrage et de l'évapotranspiration de la végétation.

Parmentier, Amélie (2010) souligne que Nikolopoulou & al (2004) montrent une différence de température moyenne de 3,5 °Centre un centre-ville et des quartiers longeant une bande de végétation d'une profondeur variant de 50 à 100 mètres (figure III-13en-dessous). Johnston et Newton (2004) ont montré l'effet bénéfique de la végétation sur la baisse de la température.

Ils rapportent qu'un arbre mature qui transpire 450 litres d'eau a un effet refroidissant équivalent à celui de cinq climatiseurs qui fonctionneraient 20 heures par jour. En cas de forte densité construite, il est donc utile d'avoir aussi une forte densité végétale. Il faut toutefois préciser que la présence de plusieurs zones vertes relativement petites est plus efficace pour réduire l'effet de l'îlot de chaleur qu'une seule zone très large (plusieurs km) [Reiter, S . 2007].

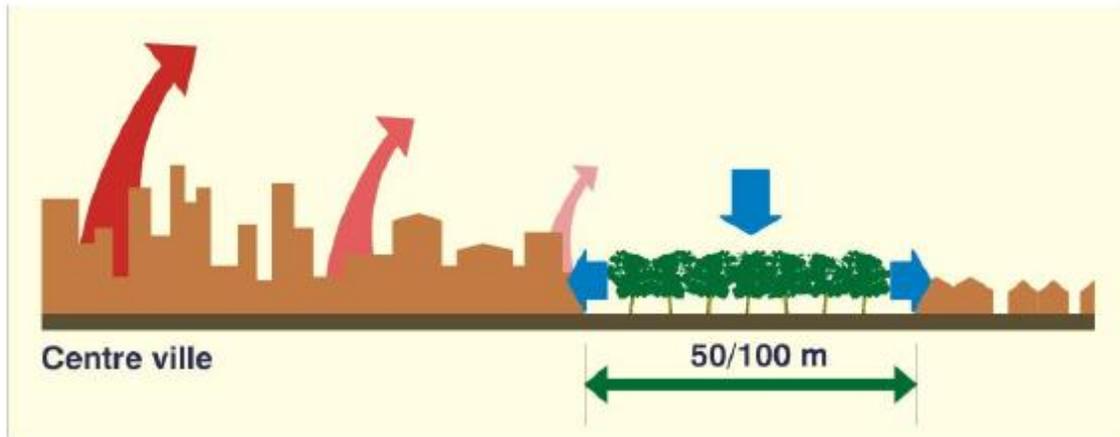
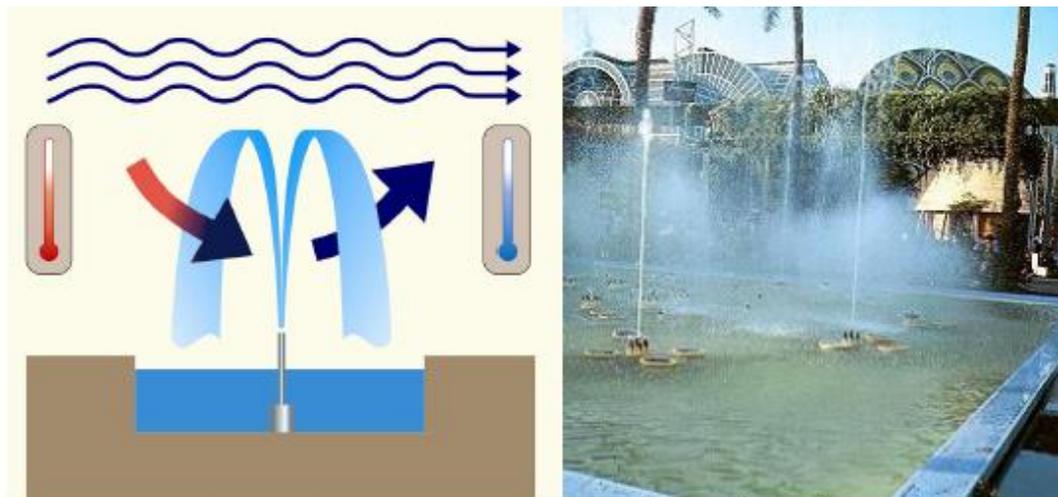


Figure III-13 : l'impact de végétation sur l'îlot de chaleur urbain .source Reiter , S.2007

III-15-L'effet de l'eau sur l'îlot de chaleur urbain :

Les bassins, les étangs, les fontaines et les jets d'eau sont les principaux aménagements urbains basés sur la modification de l'état de l'air ambiant par le phénomène d'évaporation (figure III-14) ; l'air se rafraîchissant du fait d'une chaleur latente de vaporisation importante. La présence d'une étendue d'eau contribue également à modérer les températures de surface extrêmes en raison de sa grande capacité de stockage thermique.



Exposition universelle à Séville en 1992.
(Photo : Grupo de termotecnia 1994).

Figure III-14 : l'impact des 'espaces d'eau sur l'îlot de chaleur urbain .source : Reiter,S .2007

Comme les surfaces d'eau libre augmentent l'humidité de l'air, elles sont avantageuses dans les zones avec un climat sec, mais peuvent être une source de problèmes pour celles avec un climat très humide. Pour les zones à climat chaud, l'effet du refroidissement est maximisé par l'adoption de stratégies empêchant la diffusion de l'air refroidi dans toutes les directions, mais en le dirigeant vers les espaces habités [Bouyer , Julien.2009].

Les recherches de l'université de Séville affirment que pour un espace d'eau ouvert avec une vitesse de vent de 1 m/s, l'influence d'un lac de 50 m donnerait une réduction de 0,5 °C, un lac de 200 m une réduction de 1,5 °C et un lac de 400 m une réduction de 2,5 °C [Reiter ,S . 2007].

III-16-L'effet des apports anthropiques dégagés sur l'îlot de chaleur urbain :

D'après, Colombert , M (2010), les rejets de chaleur d'origine anthropique (la climatisation, le transport, les activités industrielles, et également le métabolisme humain) sont beaucoup plus importants en milieu urbain du fait de la concentration des activités et des habitations qui contribuent éventuellement à former un dôme de chaleur au-dessus du milieu urbain. Plus l'air est chaud plus il peut contenir de la vapeur d'eau qui contribue négativement aux risques sanitaires et au bilan énergétique.

Dans ce sens ,Parmentier Amélie (2010) affirme que durant la période estivale, la chaleur anthropique (essentiellement due à la consommation accrue de climatisation) a une plus grande incidence sur la production de chaleur que les autres facteurs comme le rayonnement solaire .En été, on parle davantage d'une rétention de chaleur dans les différents matériaux ainsi que de la production de chaleur anthropique par l'utilisation de climatiseurs, créant ainsi une boucle de rétroaction qui amplifie le phénomène d'îlot de chaleur urbain.

III-17-L'effet de la qualité de l'air sur l'îlot de chaleur urbain :

Généralement, l'atmosphère des villes est polluée cette dernière s'accumule et forme un dôme (un smog urbain³⁷) au-dessus d'une ville (voir figure III-15, ci-dessous), cette pollution provient du trafic routier au centre-ville, et de l'activité industrielle dans sa banlieue, ce phénomène est courant dans les villes à travers le monde. En effet, une température urbaine élevée favorise des réactions chimiques générant ainsi des polluants secondaires (une autre source de pollution indirecte désignée par la pollution photochimique).

³⁷- Le smog vient de deux mots anglais : smoke (fumée) et fog (brouillard). Il décrit une condition de brouillard de pollution retrouvée l'été par temps très chaud, ensoleillé et peu venteux.



Figure III-15 : exemple d'une mauvaise qualité de l'air à Mexico
Source : Encarta 2005

Les polluants diminuent la quantité de radiations entrantes et sortantes, créant un effet de serre local qui emprisonne le rayonnement solaire et modifie le bilan radiatif et énergétique [Mestayer, P-G et Anquetin, S. 1995]. Ce phénomène spécifique aux zones urbaines avec des répercussions sanitaires préoccupantes.

III-18-Les impacts d'îlot de chaleur urbain :

Le rapport de GIEC³⁸ affirme que les conséquences et les risques associés de la présence des ICU sont très néfastes tant pour :

III-18-1-le milieu environnemental :

Le phénomène d'îlot de chaleur urbain contribue à de nombreuses problématiques en milieu urbain. D'un point de vue environnemental, l'élévation de la température favorise l'augmentation des polluants dans l'air et la formation du smog urbain. La chaleur aide à la prolifération de moisissures et de bactéries et elle favorise la libération de substances toxiques à cause des produits chimiques (comme les colles) utilisés dans la construction ou pour la fabrication de meubles. Même en hiver, les ICU peuvent entraîner la diminution du nombre de jours de gel et des hivers plus courts et plus doux [Filiatreault, Ysabelle. 2015].

III-18-2-la surconsommation d'énergie :

L'îlot de chaleur urbain engendre des conséquences négatives dans les zones avec un climat chaud, il favorise l'accumulation de chaleur, l'élévation des températures et l'augmentation de l'humidité de l'air par évaporation, amplifiant ainsi la sensation de chaleur [Taha. 1997].

³⁸-GIEC : Le Groupe d'experts intergouvernementaux sur l'évolution du climat.

Par conséquent, il dégrade la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments et intensifie fortement l'inconfort généré par les surchauffes, et augmente la consommation d'énergie par des systèmes de climatisation active utilisés pour refroidir l'intérieur des bâtiments.

III-18-3-le risque sanitaire ;

L'impact de l'îlot de chaleur urbain sur la santé humaine est de plus en plus préoccupant, la chaleur peut créer un stress thermique pour les populations vulnérables. On compte parmi les populations vulnérables : les personnes avec des maladies chroniques, les enfants, les personnes âgées .Par exemple, en France on estime qu'environ 10 000 décès et de nombreux cas d'hospitalisation ont été enregistrés dans la région parisienne lors de la canicule estivale de 2003. Au Québec, il est prévu que l'augmentation des températures et du phénomène d'ICU entraînera une hausse de la mortalité et de la morbidité. À Montréal, la mortalité estivale pourrait augmenter de près de 2 % d'ici 2020 et de 15,8 d'ici 2080 si aucune mesure d'adaptation n'est mise en place [Filiatreault, Ysabelle.2015].

III-19-l'évaluation d'îlot de chaleur urbain :

On peut simuler et anticiper l'écart de température entre le centre et la périphérie de la ville par ces trois formules :

1- Oke (1981) a établi une formule de calcul vérifiée dans un certain nombre de villes, indiquant que l'écart maximum, des températures entre les zones urbaines et rurales, varie en fonction du facteur de vue du ciel Ψ_{sky}^2 :

$$T_{\max \text{ urbaine/rurale}} = 15.27 - 13.88 \Psi_{sky} \quad (\text{formule III-3})$$

2- Une autre formule a été développée par Oke (1987) montrant la corrélation entre l'écart de température de surface et les proportions des rues (le ratio H/W) :

$$T_{\max \text{ urbain-rural}} = 7,54 + 3,97 \ln (H/W) \quad (\text{formule III-4})$$

3- Iino et Hyano (1996) définissent l'indice HIP du potentiel d'îlot de chaleur (heat island potential en anglais). Cet indice exprime l'intensité de l'îlot de chaleur de différents fragments urbains.

$$HIP = \frac{\int \text{all surface} (T_s - T_a) ds}{A} \quad (\text{formule III-5})$$

Ta : Température moyenne de l'air à l'échelle de la canopée urbaine (°C)

Ts : Température de surface (°C)

Ds : surface d'un élément de face (m²)

A : surface d'îlot (m²)

III-20-Le bilan énergétique urbain :

Il est difficile de calculer le bilan énergétique avec des flux thermiques à l'échelle urbaine à cause de l'hétérogénéité des formes urbaines, de la variété des matériaux, des revêtements et de leurs propriétés thermiques. Cela nécessite d'utiliser la formulation de base donnée par T.R.Oke qui utilise le concept de canyon, en considérant la forme urbaine comme une agrégation de rues canyons ; «pour simplifier la tâche et nous permettre de représenter les phénomènes physiques urbains de façon relativement satisfaisante pour les climatologues » [Colombert ,M. 2010].

La Figure III-16 et III-17 démontre que le bilan énergétique d'une surface urbaine est égal à la somme algébrique des flux énergétiques qu'elle échange avec son environnement. Il peut s'écrire en termes de flux (W/m^2) de la façon suivante [Oke, 1988 et Masson et al, 2002] :

$$Q^* + QF = QH + QE + \Delta QS (+ \Delta QA) \quad (W.m^{-2}) \quad (\text{Formule III-6})$$

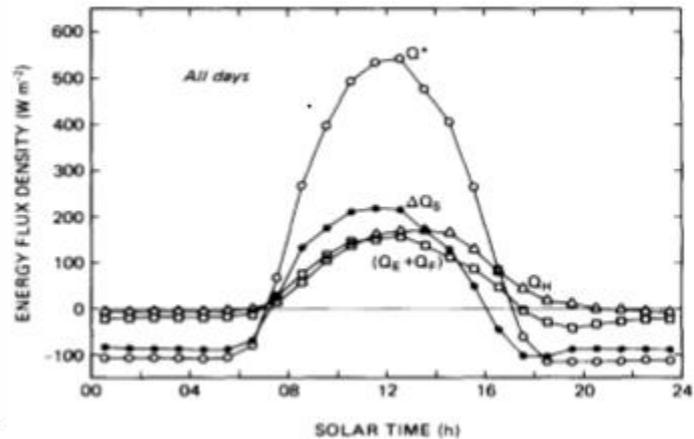
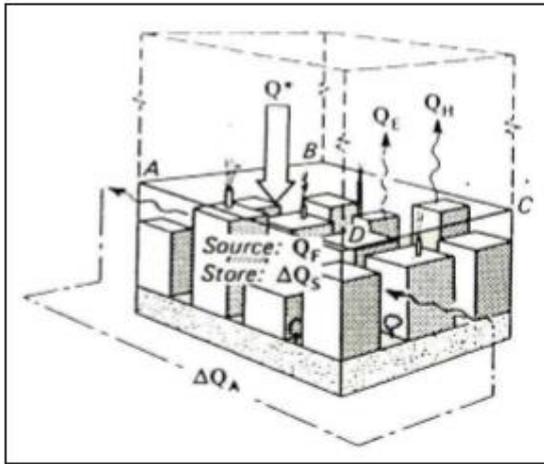


Figure III-16 A gauche : Bilan énergétique du quartier Tacubaya à Mexico pour 25 jours Source : Athemna K., 2012.

Figure III.17 A droite : Représentation des différents flux du bilan énergétique dans le milieu urbain. Source :Oke,1987

Où :

Q^* : le rayonnement net, 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).

QF : le flux de chaleur artificielle (d'origine anthropique) générée par les processus de combustion d'énergie fossile et de rejets thermiques provenant de l'industrie, du transport, des habitations... etc.

QH :le flux turbulent de chaleur sensible, elle s'agit de la chaleur transmise par convection.

QE : le flux turbulent de chaleur latente (forme d'énergie libérée dans l'atmosphère durant le processus d'évapotranspiration)

ΔQS : la variation de la quantité de chaleur stockée par la zone urbaine (ou, par raccourci, flux de chaleur stockée),

ΔQA : le flux de chaleur advectif (transport horizontal).

Le rayonnement net et la chaleur sensible ne peuvent pas être modifiées directement par l'homme, il apparaît donc que pour modifier l'îlot de chaleur urbain, il faudrait diminuer la quantité de chaleur stockée par les bâtiments (**QS**) réduire l'énergie anthropique (**QF**) et augmenter la chaleur latente (**QE**) [Achour-Bouakkaz , Nawel. 2006].

III-20-1-Flux de chaleur d'origine anthropique (**QF**) :

D'après, Colombert. M (2010), la chaleur anthropique signifie la chaleur générée par les processus de combustion d'énergie fossile alimentant l'industrie, les transports, les habitations. Cette production d'énergie anthropique dépend de la taille de la ville, de sa densité, à ses activités, de son industrialisation et de ces besoins en climatisation.

Escourrou , G (1980) affirme que cette chaleur a pour effet positif de diminuer la charge de chauffage en hiver tandis qu'en été son effet est négatif, elle engendre une augmentation de la température urbaine ambiante et de la pollution, favorisant ainsi l'apparition de l'îlot de chaleur urbain [Athamena ,K. 2010].

III-20-2- Flux de la chaleur stockée (Qst) :

La faible capacité de la ville à réfléchir le rayonnement solaire qu'elle reçoit est dû essentiellement à l'albédo urbain des différents matériaux ainsi qu'à la géométrie urbaine. Cela provoque l'accroissement du stockage d'énergie dans le tissu urbain et élève ainsi la température de surface. Cette énergie accumulée est restituée à l'atmosphère principalement durant la nuit [Najjar, Georges, Kastendeuch, Pierre P, 2005] .

III-20-3- Flux de la chaleur sensible (QH) :

D'après, Colombert M (2010) la principale cause de l'îlot de chaleur urbain, c'est le flux de chaleur sensible (QH) qui est toujours positif même durant la nuit. Puisqu'il est alimenté à la fois par les rejets de chaleur d'origines anthropiques et par la chaleur stockée dans le sol et les bâtiments (ΔQS). Dans ce sens, Ringenbach ,N (2004) signale que la chaleur stockée (ΔQS) constitue en journée 90% des flux échangés au sein d'un site fortement urbanisé.

La chaleur sensible est transmise par la convection, soit naturelle lorsque la différence entre la masse volumique de l'air chaud et froid provoque un écoulement d'air, ou artificielle quand l'air est mis en mouvement sous une force mécanique comme la force de pression à titre d'exemple. En contexte urbain, cette chaleur sensible est présente quand apparaît une différence entre la température de l'air et la température de la surface urbaine, cette énergie thermique est transportée par convection turbulente.

III-20-4- Flux de chaleur latente (QE) :

D'après, Colombert M (2010), l'imperméabilisation du milieu urbain et la rareté des espaces verts dans la ville modifient considérablement le flux de chaleur latente, ce dernier reste la plupart du temps inférieur à celui des milieux ruraux voisins [Cantat. 93]. L'humidification de l'air apparaît généralement dans les milieux urbains à forte densité végétale comme les parcs publics ou dans des zones soumises à des opérations d'aménagements d'éco-quartiers présentant une faible minéralisation par rapport aux quartiers traditionnels.

III-21-Les techniques alternatives de réduction des consommations énergétiques du bâtiment :

La question de la réduction de la consommation d'énergie se pose comme un élément majeur pour faire face aux défis environnementaux contemporains. C'est une action prioritaire à mettre en œuvre pour répondre aux engagements mondiaux et nationaux de réduction des émissions de gaz à effet de serre. L'objectif de réduction de la consommation d'énergie fossile ne réside pas seulement à l'échelle de la construction à travers ces trois techniques connues de la gestion énergétique passive du bâtiment ; la protection solaire et thermique, la technique de régulation thermique, la technique de dissipation de chaleur (en été) et la technique de récupération de chaleur (en hiver) [Bouyer, Julien.2009]. Face au changement climatique, l'objectif réside aussi dans la réduction de la consommation d'énergie par des stratégies passives à l'échelle urbaine et à travers des mesures de lutte aux îlots de chaleurs urbains et contre la hausse des températures.

III-21-1-Les mesures de lutte aux îlots de chaleurs urbains

D'après, Anquez Philippe et Herlem. Alicia (2011) il existe plusieurs solutions d'aménagement urbain pour diminuer l'intensité du phénomène des îlots de chaleur urbain. Quatre types de mesures sont présentés :

- les mesures de verdissement.
- Les mesures de gestion des eaux pluviales.
- Les mesures de contrôle des sources de chaleur anthropiques.
- Les mesures ciblant les infrastructures.

Ces mesures sont également inspirées des travaux de Giguère (2009) réalisés pour le compte de l'Institut national de la santé publique du Québec. L'ensemble de ces mesures permet d'obtenir l'optimisation des résultats, néanmoins chacune d'entre elles a un rôle à jouer dans la lutte aux îlots de chaleur urbains.

III-21-1-1-Les mesures de verdissement :

L'augmentation des espaces végétales dans les villes par le verdissement et la protection des espaces naturels est un facteur déterminant qui vise à diminuer l'impact des îlots de chaleur. De multiples solutions de verdissement sont utilisées dans la ville, par exemple le long des axes routiers, sur les terrains publics (terrains municipaux, parcs, cours d'école, etc.) et sur les terrains privés (cours résidentielles, pourtours des bâtiments commerciaux, les stationnements, etc.) [Giguère, 2009. CRE de Montréal, 2010].

De plus, le verdissement des toits ou des murs joue un rôle important pour lutter contre les îlots de chaleur (voir figure III-18). En effet, les toits végétalisés, ou bien les toits verts sont considérés comme de bons isolants thermiques. Grâce à l'évapotranspiration, ils permettent de réduire la chaleur intérieure des bâtiments et contribuent à apporter un gain de fraîcheur à l'air ambiant [Giguère, 2009]. Bien plus, ils permettent aussi la rétention des eaux de pluie afin de les recycler, la diminution du bruit, l'augmentation de la longévité des membranes des toitures, l'amélioration de la qualité de l'air par la diminution des contaminants [Desjarlais et coll. 2010].



Figure III-18 : Exemple d'un toit vert à Chicago, Mark Farina
Tirée de Fehrenbacher (2005)

« 'Tout comme les toits verts, les murs végétalisés possèdent les mêmes bénéfices (fig. : III-19). Ainsi, l'utilisation de plantes adaptées au climat chaud peut réduire la température comparativement à un mur n'ayant pas de végétaux et non ombragé (Giguère, 2009). En plus de contribuer à la réduction des îlots de chaleur par le biais de l'évapotranspiration et de leur plus grande capacité d'absorption et de rétention de l'énergie solaire » [Anquez ,Philippe et Herlem, Alicia 2011].



Figure III-19 :Exemple de réalisation de mur végétal rue d'Aboukir à Paris (Patrick Blanc.2003)

De même Anquez ,Philippe et Herlem,Alicia (2011) présentent ci-dessus les avantages des espaces végétalisés que se soit un mur, un toit... etc. :

- au maintien de la qualité de l'air (diminution du smog, absorption de nombreux polluants opérée par les feuilles),
- au maintien de la qualité de l'eau (diminution des eaux de ruissellement),
- à la réduction de la consommation d'énergie (ombre, évapotranspiration, réduction de l'usage et des coûts de climatisation),
- aux bienfaits sociaux (atténuation des risques pour la santé publique, la diminution du stress et de l'agressivité) [Cavayas et Baudouin, 2008 . CRE de Montréal, 2010].

III-21-1-2-Les mesures de gestion des eaux pluviales ;

Le taux d'humidité des sols est un facteur jouant sur l'atténuation des îlots de chaleur urbains. En effet, Lakshmi et coll. (2000) et Donglian et Pinker (2004) ont montré que les sols humides ont des capacités de rafraîchissement semblables à celles de la végétation, ce qui diminue leur température de surface et donc la température de l'air au voisinage du sol. Ce processus provient de l'évaporation de l'eau présente dans le sol.

Afin d'assurer l'alimentation en eau des sols des milieux urbains, plusieurs pratiques qui ont trait à la gestion durable des eaux pluviales existent. Ces solutions passent par l'implantation d'arbres et de toits verts qui influencent la capacité de rétention d'eau de pluie ou l'utilisation de revêtements perméables.

Ce type de revêtements permet à l'eau de percoler à travers le pavé et favorise une infiltration profonde. Il peut s'agir de dalles imperméables disposées les unes contre les autres et permettant à l'eau de pluie de percoler dans les joints perméables, des dalles ou revêtements de béton poreux permettant à l'eau de pénétrer ou encore des structures de type alvéolé permettant l'engazonnement (Figure III-20 ,ci-dessus). Diverses techniques permettant d'emmagasiner l'eau de pluie sont également possibles comme les bassins de rétention, les tranchées de rétention, les puits d'infiltration.



Figure III-20 :exemple d'un pavé alvéolé Tirée de CRE-Montréal (2008)

III-21-1-3-Les mesures de contrôle des sources chaleurs anthropiques :

L'activité industrielle, la consommation d'énergie en besoin de chauffage ou de climatisation des bâtiments et des habitations ainsi que le secteur des transports, sont les trois activités urbaines de nature anthropique qui causent le plus souvent les émissions de gaz à effet de serre libérés dans l'atmosphère.

Il existe d'autres causes de consommation d'énergie dans les bâtiments, à titre d'exemple ; l'utilisation des appareils électroménagers, bureautiques, et les lampes ainsi que les systèmes de climatisation [Giguère, 2009]. Afin d'atténuer la chaleur émise par ces appareils et l'énergie consommée, *«il faut favoriser des appareils ayant une bonne efficacité énergétique et penser à les débrancher après leurs utilisations, car même en veille ils émettent de la chaleur et produisent des gaz à effet de serre. Aussi, il importe de maximiser l'utilisation de la lumière naturelle et de minimiser l'utilisation des lampes halogènes et à incandescence. Finalement, les systèmes de climatisation peuvent être remplacés par des systèmes moins énergivores tout en contrôlant la demande en climatisation »* [Anquez ,Philippe et Herlem,Alicia . 2011 . Giguère, 2009].

Bien plus, le secteur du transport et le secteur résidentiel sont source d'une forte pollution, d'émission de CO₂ et responsable de 50 % de la chaleur anthropique [Sailor et Lu, 2004]. Pour cela et afin d'agir pour diminuer l'impact de cette source anthropique, il est essentiel de sensibiliser les citoyens à l'utilisation des transports en commun et des transports actifs (marche, vélo). Ces moyens de transport polluent moins et contribuent à limiter l'émission de gaz à effet de serre et par conséquent réduisent le phénomène d'îlot de chaleur urbain [Giguère, 2009].

III-21-1-4-Les mesures ciblant les infrastructures :

Cette technique est appliquée directement sur les infrastructures afin d'atténuer les effets des îlots de chaleur, une autre mesure vise à agir plus particulièrement sur les propriétés thermiques des matériaux utilisés dans la construction des bâtiments et les revêtements des surfaces puisque celle-ci a un impact important sur la formation d'îlots de chaleur.

Anquez ,P et Herlem,A (2011) souligne que ; *«des techniques simples peuvent augmenter la réflexivité des surfaces, par exemple l'asphalte peut être coloré par un pigment clair ou encore la composante du gravier habituellement de couleur foncée peut être remplacée par une composante blanche (CRE de Montréal, 2008). De plus, l'enveloppe des bâtiments (la surface verticale) peut être peinte avec un enduit réfléchissant permettant en été d'atteindre une différence de température de 16 °C en comparaison avec une enveloppe de couleur sombre (CRE de Montréal, 2008)»*. Ces mesures sont appliquées à tous les revêtements de surfaces urbaines, ils sont utilisés non seulement pour les aires de stationnements, les voies de circulation, les surfaces verticales, mais aussi pour les toitures (les toits réfléchissants).

Conclusion :

L'objectif de diminution de la demande énergétique n'est pas évidente à l'échelle du quartier et encore moins à l'échelle urbaine, le rapport entre la forme urbaine et la demande énergétique est encore mal connue et fait l'objet d'une polémique scientifique, à cause de la complexité morphologique et spatiale de la ville.

Parmi les phénomènes microclimatiques, on peut citer l'îlot de chaleur urbain (ICU) qui est généré par l'interaction entre le milieu urbain et certaines conditions climatiques. L'îlot de chaleur urbain n'est pas homogène, à cause de la complexité du milieu urbain ce phénomène est très variable suivant les paramètres spatiaux et temporels. Ce phénomène climatique urbain induit un écart de température entre un site urbain et un site rural variant de 5 à 10 °C, puisque le refroidissement en site urbain se fait plus lentement à cause de la perte de chaleur venant des rues [Oke, 1987]. Des études empiriques montrent qu'il est possible de gagner 5 à 7,5 % du coût de l'énergie nécessaire pour climatiser les bâtiments pour 1 °C d'augmentation de la température moyenne en climat tempéré [Oke 1988]. Par contre, l'effet de l'îlot de chaleur est négatif pour les climats chauds notamment en été, il intensifiera fortement l'inconfort généré par les surchauffes et augmentera la consommation d'énergie des systèmes de climatisation utilisés pour refroidir l'intérieur des bâtiments [Reiter, S. 2007].

De multiples facteurs concourent à la formation de ce phénomène climatique urbain, à savoir : Celles qui sont liées à la morphologie urbaine et aux matériaux qui emmagasinent la chaleur ainsi que la réduction des espaces verts .Il faut ajouter à cela d'autres facteurs qui contribuent au développement des îlots de chaleur urbain comme la présence de flux de chaleur supplémentaire liée à l'activité urbaine, on parle alors de métabolisme urbain (circulation automobile et à l'activité industrielle). Tous ces éléments représentent des facteurs importants de modification du climat local des villes.

L'enseignement principal tiré de cette partie est que le secteur du bâtiment, très énergivore, est le premier responsable de l'augmentation de la dépense énergétique totale. Aujourd'hui, les enjeux énergétiques et environnementaux axés sur une conception urbaine passive (les stratégies bioclimatiques à l'échelle urbaine) reposent sur les principes de planification, et de l'augmentation de la compacité ou de la densité des villes... etc. Il faudra agir sur les variables morphologiques à l'échelle urbaine pour maîtriser la performance énergétique à l'échelle des bâtiments. Pour lutter contre l'ICU et réguler le microclimat urbain en tant que facteur principal pour réduire la consommation énergétique des bâtiments, réguler le microclimat urbain s'inscrit parmi les dimensions fondamentales de l'architecture et de l'urbanisme durable.

CHAPITRE IV :
ÉTAT DE L'ART ET ANALYSE DU CONTEXTE
D'ÉTUDE

Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons exposer les différents modèles climatiques qui ont été utilisés par différents chercheurs pour quantifier le microclimat urbain et évaluer le comportement morpho-énergétique. Dans le but de choisir une ou plusieurs techniques qui conviennent à notre sujet de recherche, en justifiant notre positionnement épistémologique.

Il s'agit en premier lieu de présenter les différents modèles climatiques qui nous aident à quantifier le microclimat urbain et évaluer le comportement thermique extérieur en tant que facteur clé implicite influençant la demande énergétique, en fonction des indicateurs morphologiques. En second lieu, avant de présenter le cas de notre étude, nous allons faire l'analyse de son contexte, c'est une présentation générale de la ville qui englobe une analyse climatique de Biskra et une analyse de la morphogénèse de la ville afin de trouver une classification des formes urbaines existantes.

IV-1-l'état de l'art sur les recherches antérieures :

À leurs débuts, les recherches concernant l'interaction réciproque et sous-jacente entre la morphologie urbaine et le climat portent une empreinte expérimentale. Les études descriptives, d'Howard Luke (1830), Albert Kartzner (1956), Givoni (1978), Escourrou (1991), Golany (1996) visant à décrire le climat urbain par des procédés qui ne permettent pas de quantifier le micro climat urbain induit par la morphologie urbaine à une échelle plus fine.

L'intérêt au concept de climat urbain est apparu en premier lieu chez les Anglo-Saxons grâce au livre d'Howard Luke (1818.1833) (*the climate of London*), ce livre de trois volumes contient une description et une analyse des éléments météorologiques (température, pression, etc.) qui composent le climat de Londres. Les mesures ont été rassemblées durant 25 années 1806-1830 dans deux sites différents ; en dehors de Londres (Plaistow, Tottenham et Stratford) et un site (Royal society) à l'intérieure de Londres, il a ainsi découvert l'influence de la structure urbaine sur le climat local et il a examiné la différence de température entre les sites urbains et les sites ruraux ce qu'il a décrit après sous le nom d'îlot de chaleur urbain [Mills. 2008]. Les études de Givoni en 1978 et Escourrou en 1991 mettent en évidence la relation entre la ville et le climat ainsi que la prise en compte du climat dans la conception des villes.

Pour Golany (1996), il existe un certain lien entre la morphologie urbaine et les performances thermiques de la ville donc chaque type de climat exige une certaine forme et une configuration urbaine spécifique ; de forme compacte, dispersée ou encore en grappe, espaces ouverts ou fermés et avec l'orientation et des largeurs de rues adéquates. Landsberga résumé l'effet de l'urbanisation sur le microclimat résultant, ainsi que sur le macro climat, dans une étude menée en 1970, intitulée "Micro meteorological temperature differentiation through urbanization"³⁹. Il avait mis en évidence l'îlot de chaleur urbain et la variation de l'insolation due à l'urbanisation comme étant le facteur le plus important dans les changements du climat local .L'insolation était définie par la position géographique du site, la forme, l'orientation des bâtiments, ainsi que par la densité des groupements de constructions.

³⁹LANDSBERG, Helmut E. *The urban climate*. Academic press, 1981.271p

Après l'avènement de la technologie, les études sont passées d'une approche descriptive vers une approche plus appliquée bénéficiant de l'avancement technologique. Cette nouvelle réflexion fondée sur des processus de simulation par ordinateur [Arnfield .2003] porte une empreinte numérique, elle est connue sous le nom de "modélisation urbaine" qui permet de quantifier le micro climat urbain et anticiper l'influence de la ville sur le climat à une échelle plus fine, en vue de déterminer les causes exactes de l'« îlot de chaleur urbain » et de la hausse des températures dans les zones urbaines. Donc la climatologie urbaine est étroitement liée à ce phénomène climatique, certains travaux l'expliquent par les causes suivantes :

1— la géométrie urbaine, à titre d'exemple les recherches de Aida et Gotoh (1982).Oke (1988), Yamashita *et coll.* (1986). Ali Toudert (2005).Giridharan *et coll.* (2007).

2— les matériaux de construction, à titre d'exemple les recherches de Taha *et coll.* (1988), Rosenfeld *et coll.* (1995).

Toutefois, il reste beaucoup de chemin à faire pour la climatologie urbaine car l'introduction des nouvelles technologies, comme la simulation par ordinateur, a induit une nouvelle réflexion pluridisciplinaire intégrant les différents aspects de la climatologie urbaine comme la climatologie, la pratique de l'aménagement urbain et l'architecture. Ce partenariat multidisciplinaire opérationnel concerne une multitude de variables ; la vitesse du vent, le rayonnement solaire, la morphologie urbaine, les types de matériaux... etc. Ce qui la rend dépendante de la responsabilité conjointement des climatologues, des géographes, des urbanistes, des architectes, et ce pour proposer les meilleures solutions afin d'éviter les problèmes environnementaux et atteindre une qualité de vie satisfaite en zone urbaine.

Depuis, la crise du pétrole en 1972, la recherche devenue mature et passée de l'objectif d'assurer le confort extérieur ou intérieur, à l'efficacité énergétique de la conception urbaine pour optimiser la forme urbaine et réduire les émissions carbone à une échelle supérieure à celle de la construction individuelle [Bouyer, J .2009]. Les paramètres de forme ont une influence sur la consommation énergétique à travers des caractéristiques comme ; la compacité, la densité, la répartition des bâtiments, l'orientation... etc., puisqu'une meilleure isolation des bâtiments ne permet pas de rattraper une mauvaise forme urbaine. Il y a un manque de connaissances quant à l'effet de la morphologie urbaine sur la demande énergétique en climatisation active, dans la majorité des études nous traiterons seulement la demande énergétique concernant le besoin en chauffage, c'est une priorité dans un climat tempéré parmi les chercheurs on citera [N. Baker et K. Steemers .2000.Carlo Ratti.2005.Salat, S. et Nowacki, N.2010.Maïzia, 2010]. L'objectif de réduire la demande énergétique n'est pas évident à l'échelle du quartier et encore moins à l'échelle urbaine, le lien entre la forme urbaine et les dépenses d'énergie est encore mal connu et fait l'objet de controverses scientifiques, du fait de la complexité de la ville dans sa composition morphologique et spatiale.

IV-1-1-L'étude de Ait-Ameur Karima, Toulouse (2002) :

La thèse de Ait-Ameur Karima intitulée ; vers une méthode multicritère de caractérisation du microclimat dans les espaces publics urbains : validation d'un système d'indicateurs "morpho-climatiques" et d'un indicateur de confort. C'est une simulation numérique fondée sur une étude comparative paramétrique de deux tissus urbains à Toulouse, qui vise à connaître l'influence environnementale

de la morphologie urbaine et ainsi comprendre les mécanismes de formation des microclimats et leur impact sur la qualité urbaine.

A)-Objectif :

- La définition d'outils facilitant l'aide à la décision en fonction des caractéristiques climatiques peut reposer en partie sur la relation du climat extérieur avec la morphologie urbaine .Afin d'atteindre un confort extérieure satisfait en fonction du climat
- Matérialiser la relation et l'interaction morphologie urbaine / climat par des paramètres physiques dites indicateur morpho-climatique et quantifier l'ambiance thermique extérieure

B)-Méthodologie du travail :

La démarche suivie vise à matérialiser le rapport entre le climat extérieur et la morphologie urbaine par des indicateurs physiques quantifiant les principaux facteurs à l'origine des variations microclimatiques. Pour cela, elle prend en compte simultanément :

- des caractéristiques typo-morphologiques responsables des variations climatiques au voisinage du sol,
- des données physiques qui renseignent sur l'état climatique de l'espace. Elles sont relevées instantanément dans des échantillons urbains variés.

L'articulation de ces deux types de données permet de rendre compte de leur influence réciproque. Dans le cadre de sa démarche, elle oriente cette articulation vers la validation de deux types d'indicateurs :

- des indicateurs morphologiques intégrés dans un système, et qui donnent lieu à une description des propriétés morphologiques responsables des changements climatiques,
- un indicateur de confort susceptible de décrire les sensations de confort de l'individu en milieu extérieur.

C)-Résultats de l'expérience :

Les résultats retenus de cette recherche révèlent que la transformation historique de la morphologie urbaine a un effet significatif sur la transformation des microclimats urbains. La caractérisation de la relation entre morphologie urbaine et climat est très complexe et pour cela elle requiert un grand nombre de variables et indicateurs morpho — climatique parmi eux :

la densité urbaine, la minéralisation, le taux de percement horizontal du tissu urbain, la rugosité prospect équivalent, la longueur équivalente, le facteur d'obstruction minéral, le facteur d'ombre portée, la densité minérale, la densité végétale, le taux d'emprise des obstacles urbain dans l'espace ,le taux de vitrage de la façade, et l'albédo des surfaces.

IV-1-2-L'étude de Luc Adolphe et Claudia Krause ,brazille (2012) ;

L'étude planifiée par Luc Adolphe et Claudia Krause citée par Matallah Mohamed Elhadi (2015), vise à étudier une région tropicale, semi-aride de la partie nord brésilienne précisément la ville de Petrolina, dans laquelle le climat est caractérisé par des températures élevées durant toute l'année, ainsi que par une humidité relative en variable dans la journée et selon la saison.

A)-Méthodologie du travail :

- L'étude est basée sur un ensemble de points qui forment une série d'étapes à suivre.

- La détermination des formes géométriques qui sont en rapport étroit aux paramètres régulateurs des bâtiments.
- La deuxième étape consiste en la simulation numérique par le biais du logiciel tridimensionnel (Envi-met), qui permet la recherche de la qualité microclimatique propre à l'espace comme la définition de ses changements.
- L'obtention de la valeur exacte de la température physiologique équivalente (PET⁴⁰).
- Élaboration d'une analyse comparative des paramètres microclimatiques obtenus

B)-Objectif :

L'objectif primordial du travail est donné sous une approche statistique, où les chercheurs ont défini une interaction entre la variation morphologique et la microclimatique via la simulation numérique, cependant il était nécessaire d'élaborer une série de modèles qui sont déterminés sous la forme d'échantillons (huit champs d'expérience), ces derniers varient selon plusieurs paramètres morphologiques tels que : la densité urbaine, la compacité urbaine, l'enchaînement de bâtiments, le facteur de vue du ciel (SVF), et le rapport d'aspect H/W . Les détails sont illustrés à travers le tableau ci-dessous :

	(I)	(II)	(III)	(IV)
Built density	0,69	0,90	0,08	0,20
Compactness	0,31	0,20	0,85	0,56
Contiguity	0,43	0,65	0,58	0,88
Mean SVF	0,66	0,66	0,49	0,43
H/W ratio	0,43	0,43	2,73	2,73
	(V)	(VI)	(VII)	(VIII)
Built density	0,70	0,90	0,2	0,51
Compactness	0,31	0,20	0,45	0,16
Contiguity	0,19	0,27	0,24	0,63
Mean SVF	0,66	0,66	0,38	0,36
H/W ratio	0,43	0,43	2,73	2,73

Tableau IV-1 ; Tableau résume les différents paramètres morphologiques de chaque scénario

Source : Luc Adolphe et Claudia Krause, 2012.

C)-Résultats de l'expérience :

Tout d'abord , la première station a pour but d'exprimer le pourcentage le plus haut d'ombre obtenu dans les cas caractérisés par des rapports d'aspect les plus hauts, tandis que les valeurs de la moyenne radiante relevées ont été minimales au niveau du scénario 7 et 3 avec 27,66 °C et 29,65 °C en succession . Par contre le maximum est enregistré pour le cas 4 et 8 avec des valeurs de 32 °C et 33 °C respectivement, dans lesquels ces derniers points représentent le niveau le plus supérieur des ratios. Cette particularité peut être jugée comme un effet dû à la durée d'exposition au soleil, où l'enveloppe (compacité urbaine) est fortement exposée.

⁴⁰(PET) : L'indice du confort thermique celui de la température physiologique équivalente

IV-1-3-L'étude de Sun, Chen-Yi et al (2009):

Les recherches faites par le professeur Chen-Yi Sun à Taiwan (figure IV-1) visent à étudier le rapport existant entre l'environnement thermique et la rue canyon dans le climat chaud et humide. La ville de Taichung comme territoire d'investigation, caractérisée par un été chaud et humide, et un hiver froid. Tandis que la moyenne annuelle de la température est de 23 °C et la moyenne des précipitations atteint les 1700 mm durant l'année [Matallah ,Mohamed ,Elhadi.2015]

A)-Objectif ;

L'objectif vise à étudier le rapport existant entre l'environnement thermique et la rue canyon dans le climat chaud et humide.

B)-Méthodologie du travail :

Le chercheur a choisi deux rues avec des caractéristiques différentes, dont la géométrie, la densité végétale (VD), la densité de bâtiments (BD), et le rapport d'aspect H/W, dans laquelle les rues sont orientées vers la direction est-ouest.

Les données sont collectées sur trois jours différents, le 11 décembre 2008, le 15 janvier, et le 7 février 2009. Il était nécessaire de prendre cette campagne de mesure dans des conditions similaires, telle que les heures : 14 h, 18 h et 22 h et que la hauteur des mesures soit à 4 m du sol. Le tableau suivant indique les points de mesures au cours de la campagne :



Figure IV-1: schéma représentatif les points de mesures.

Source ; Chen-Yi Sun et al 2009

En effet, les paramètres urbains tels que la densité urbaine, et la densité bâtie ont été systématiquement élaborés sur la base des données du système d'informations géographiques (SIG) de la ville de Taichung, tandis que le prospect (H/W) est calculé mathématiquement

C)-Résultats de l'expérience :

-La relation entre la température de l'air et la densité végétale :

Pendant la prise des mesures, on s'était aperçu que l'impact de la végétation n'était pas significatif, par rapport à la forte influence des surfaces bâties telles que l'asphalte et le béton.

-La relation entre la température de l'air et la densité urbaine:

L'impact dû aux bâtiments est très apparent, ceci se produit dès le lever du soleil ; ce qui explique que l'environnement urbain est très sensible à l'exposition solaire. La hausse des températures journalières de l'air est liée étroitement au degré d'ensoleillement des quartiers.

- La relation entre la température de l'air et le rapport d'aspect (H/W):

L'étude a dévoilé que le prospect (H/W) joue un rôle primordial dans la régulation de la température ambiante, et a montré que le pourcentage du ratio contrôle impérativement le niveau d'ensoleillement ainsi que le débit de la pénétration des courants d'air.

IV-1-4-L'étude de Akbari Hashem (2000) :

Une étude concernant l'impact de l'albédo sur d'îlot de chaleur et de matériau mené par Akbari. Hashem de l'université datant d'avril 2000, et s'intéressant à l'effet des températures des pavages sur la température des grandes villes, a révélé que le réchauffement du sol par le rayonnement solaire était à l'origine du phénomène d'îlot de chaleur urbain. Le raisonnement dans cette étude était que le revêtement de la plupart, voir la majorité des villes est fait avec de l'Asphalte de Béton de couleur sombre. Ce dernier absorbe la plupart des rayons solaires qu'il reçoit, car il représente les surfaces les plus sombres dans la ville [Achour-Bouakkaz Nawel.2006].

Par conséquent, l'air en contact avec le sol est réchauffé par le revêtement de ce dernier, ce qui contribue directement à la production de la pollution de l'air. Selon, Akbari les villes ne se réchaufferaient plus autant si les revêtements au sol absorbent moins de rayonnement solaire. En effet, selon Pomerantz, membre du même groupe scientifique, il a été estimé, que, si le rayonnement solaire absorbé par tous les revêtements au sol était réduit de 90 % à 65 %, les pics de températures de l'air varieraient autour de 0,6 °C pour une chaude journée du mois d'août.

IV-1-5-L'étude de Rode Philipp et Keim. Christian (2014):

C'est une recherche qui a été faite par l'université de London⁴¹ en collaboration avec l'université de Karlsruhe⁴² en Allemagne .elle est publiée sous un rapport intitulé ; ville et énergie, c'est une enquête empirique pour identifier parmi ces cinq configurations ci -dessous les plus performantes du point de vue énergétique dans chacune de ces quatre villes : London ,Istanbul ,Paris, Berlin :N

- Logement indépendant.
- Appartement de grande hauteur.
- slabhousing (logement en béton).
- Tissu compact.
- bâtiment avec terrasse.

A)-Méthodologie du travail :

C'est une recherche empirique fondée sur la modélisation de la demande énergétique des différents types de morphologies urbaines en fonction des paramètres morphologiques :

- hauteur de bâtiment
- la densité de construction ,
- le ratio S/V = somme des surfaces de tous les étages des bâtiments / la zone d'échantillon
- couverture de surfaces du bâtiment en % = somme des surfaces de l'emprise de bâtiment / la zone d'échantillon.

⁴¹-LSE Cities : est un centre international à la London School of Economics and Political Science qui effectue des recherches,

⁴² EIFER : L'Institut européen de recherche sur l'énergie est un Européen Groupement d'Intérêt Economique créé par Electricité de France (EDF) et l'Université de Karlsruhe

B)-Résultats de l'expérience :

Cette recherche indique que le tissu urbain traditionnel est composé d'ilots de 3-6 étages répartis de manière dense qui apparaît comme le plus efficient énergétiquement. L'énergie utilisée pour le chauffage pour un bâtiment neuf de centre (de type traditionnel) est de 800 kwh/m², contre pour un pavillon neuf en banlieue l'énergie utilisée 1300 kwh/m²(60%de plus) , en ce qui concerne un pavillon ancien en banlieue l'énergie utilisée est plus de2000 kwh/m²et pour un grand ensemble en banlieue l'énergie utilisée 1100 kwh/m².

D'après le tableau IV-2 , les résultats de la recherche dévoilent que la typologie la plus consommatrice en chauffage était à Istanbul plus de 100 kwh/m² et le plus bas a été enregistré en tissu compact à paris 30 kwh/m²

La typologie et paramètres morphologiques	La Ville	Besoin en chauffage kwh/m ²
Immeuble d'habitation ; est compris une densité et le ratio S/V élevé et faible couverture de la surface	Istanbul	100-200
	Berlin	90-170
Slabhousing ; lodgment en béton : est compris une densité et S/V élevé et faible couverture de la surface	Paris	60-150
	London	85-150
Logement à terrasse ; faible densité et couverture de la surface et faible compacité	London	110
Maison en rangé : faible densité et ratio élevé et faible couverture de la construction	Berlin	95
tissu compact : compris de densité élevée avec S/Vélevé faible et couverture de surface élevée	Paris	30

Tableau IV-2: présentation les villes étudiés avec le besoin en chauffage .source:Rode, P et Keim, C.2014

Facteur densité et la performance énergétique :

Il y a une relation logarithmique avec un coefficient de corrélation de 0,77, la demande diminue avec une densité croissante quand :

La densité est supérieure 1,50 la demande d'énergie est de 100 kwh/m²

La densité est inférieure 4 la demande d'énergie varie entre 30-50 kwh/m²

- Le ratio S/V et la performance énergétique :

On trouve une relation linéaire avec un coefficient de corrélation 0.8 quand le ratio S/V augmente, il s'accompagne par une demande plus élevée.

- La moyenne de la hauteur des bâtiments et de la performance énergétique:

On retrouve une relation logarithmique avec un coefficient de corrélation de 0,88, la demande d'énergie en chauffage diminue quand la hauteur des bâtiments augmente.

- Couverture de la surface et la performance énergétique :

On trouve une relation linéaire avec un coefficient de corrélation de 0,40 ; la demande augmente avec la diminution de la couverture de la surface et elle s'améliore quand la couverture de la surface devient faible.

IV-2-l'état de l'art sur les méthodes de quantification du climat urbain et les modèles climatiques :

Les techniques scientifiques offertes actuellement existant depuis les années 70 dans le cadre de la climatologie urbaine et nous permettent d'évaluer le rapport réciproque entre le milieu urbain et les paramètres microclimatiques. Parmi ces techniques ; les mesures instantanées *in situ*, les observations par télédétection et les performances des modèles de simulation numérique. Tous ces moyens ont contribué à constituer un ensemble de connaissances qui nous permettent d'anticiper le comportement thermique extérieur en tant que facteur clé implicite qui influe sur la demande énergétique à l'échelle intermédiaire (la rue) en fonction des indicateurs morphologiques .

IV-2-1-Les mesures instantanées *in situ* :

C'est un prélèvement de mesures instantanées des paramètres climatiques sur terrain selon des points de mesures fixes pour évaluer l'ambiance extérieure par des instruments comme L'Appareil portatif de Mesures des Ambiances Physiques (APMAP). KIMO, HD100 et TESTO 480... etc. pour comparer ces mesures collectées avec les mesures soient calculées ou bien simulées.

IV-2-2-Les mesures à distance

Par des images satellites, malgré le développement d'images satellitaires de plus en plus fines ces dernières années mais restent à l'échelle spatiale trop grande (échelle d'une ville) qui ne permet pas d'analyser les variations de la forme urbaine en échelle micro.

IV-2-3-La modélisation et simulation numérique

L'utilisation des techniques informatiques avec leurs puissances de calcul ainsi que la capacité de mémoire des ordinateurs résoudre des équations complexes et multiples des différents modèles physiques développés en climatologie urbaine. Dans ce sens, Benzerzour ,Mohamed (2009), a mentionné deux modèles de simulation numériques en climatologie urbaine qui s'appliquent à l'échelle de la canopée urbaine et qui prennent en compte la surface urbaine :

IV-3-Les types de simulation numériques :

IV-3-1-la modélisation par discrétisation spatiale (maillage) :

Un maillage assez fin est appliqué aux surfaces et aux éléments de la canopée urbaine pour analyser les mécanismes de propagation des phénomènes physiques d'une maille à une autre. C'est une méthode qui s'applique généralement à l'échelle microclimatique. Il s'agit dans ces modèles de prendre en compte l'aspect tridimensionnel des espaces urbains en prenant en compte le tracé et les hauteurs réelles des espaces et des bâtiments. Cette modélisation numérique est utilisée par deux logiciels ;

IV-3-1-1-Le modèle thermo-radiatif « Solene» :

Le logiciel de simulation SOLENE est un modèle thermo-radiatif qui a été développé par le laboratoire CERMA (Centre de recherche méthodologique d'architecture) à Nantes. SOLENE s'appuie sur une modélisation 3D des volumes construits sous forme de facettes planes polygonales basées sur une maille triangulaire qui permet, à partir d'une scène géométrique 3D complexe de calculer des durées d'ensoleillement, des flux d'énergie solaire, des températures de paroi et les

inter-réflexions (Musy et al, 2006). Il est possible d'appliquer le modèle SOLENE pour effectuer une simulation à l'échelle micro dans la rue et à l'échelle locale dans un quartier [Colombert, M.2010]

Le modèle 3D représente sous forme une maille triangulaire, les surfaces externes du milieu urbain à simuler (toits, façades, cours intérieures et rues) sont composées de plusieurs facettes planes polygonales (figure IV-2). Chaque facette de maille de simulation, est caractérisé par des coordonnées spatiales et une liste de propriétés physiques (albédo, émissivité...) et un modèle de mur[Groleau et al. 2003].La simulation thermique et les calculs se déroulent dans des conditions variable, c'est à-dire variable dans le temps, avec des données météorologiques variables (air extérieur, rayonnement solaire).

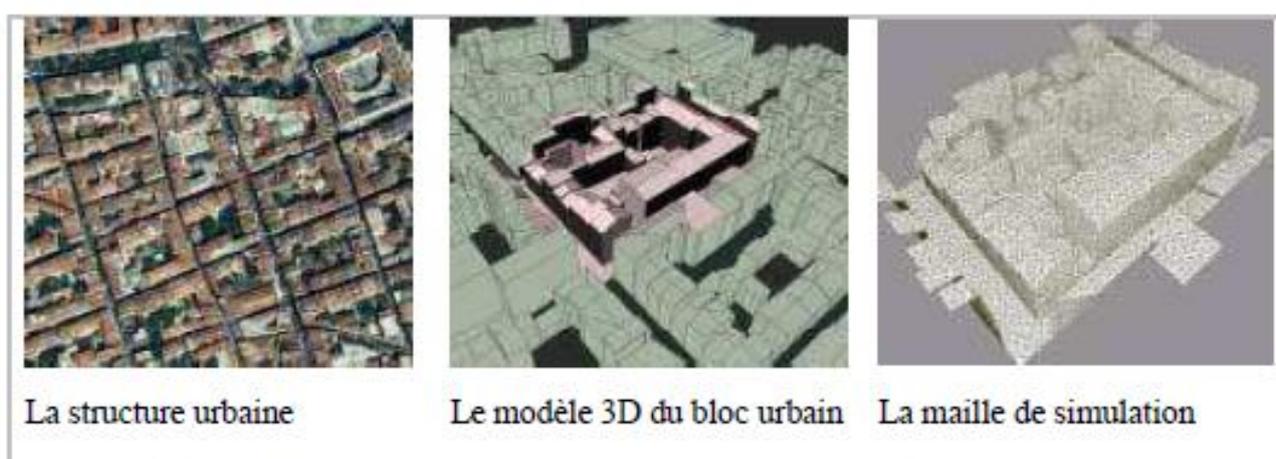


Figure IV-2: de la structure urbaine à la maille de simulation (Groleau,et al,2003) cite par Colombert.2010

D'après, Colombert .Morgane (2010) *''l'application ce modèle sur plusieurs quartiers dans différentes situations géographiques et climatiques, par exemple ; Marseille (Groleau et coll., 2003) ou encore sur plusieurs sites de Strasbourg (Ringebach, 2004) ont permis de valider la pertinence du modèle. Bien que SOLENE ne prenne pas en compte les flux de chaleur latente et d'origine anthropique (Ringebach, 2004) et n'intègre pas encore les bilans hydriques''*

IV-3-1-2-ENVI-met (Environmental Meteorology) :

Ce logiciel a été développé par Michael Bruse au sein du Groupe de Recherche en climatologie (GRC) au département de géographie de l'université de Bochum en Allemagne. Ce modèle est couplé avec un outil de visualisation (LEONARDO) pour fournir les résultats de la modélisation, en 2d comme en 3d [Bruse, 2004] ainsi que de simuler les indices de confort extérieur. Il permet d'anticiper l'effet de l'environnement urbain à petite échelle (arbres, cours intérieures végétalisées, etc.), en prenant en considération non seulement les phénomènes microclimatiques et les interactions de la surface minérale, mais aussi la végétation et l'atmosphère [Bruse, 1999; www.envi-met.com/],ENVI-met est conçu pour modéliser seulement le climat d'un quartier et non une ville entière. Un modèle 3D qui se base sur un maillage, sur une grille géométrique (figure IV-3). Cette grille peut avoir une dimension de 250x250x25 mailles pour les ordinateurs récents, c'est-à-dire pour une maille la résolution horizontale est entre 0,5 m et 5 m. Cela permet de couvrir une zone de 100mx100m jusqu'à 1kmx1km.

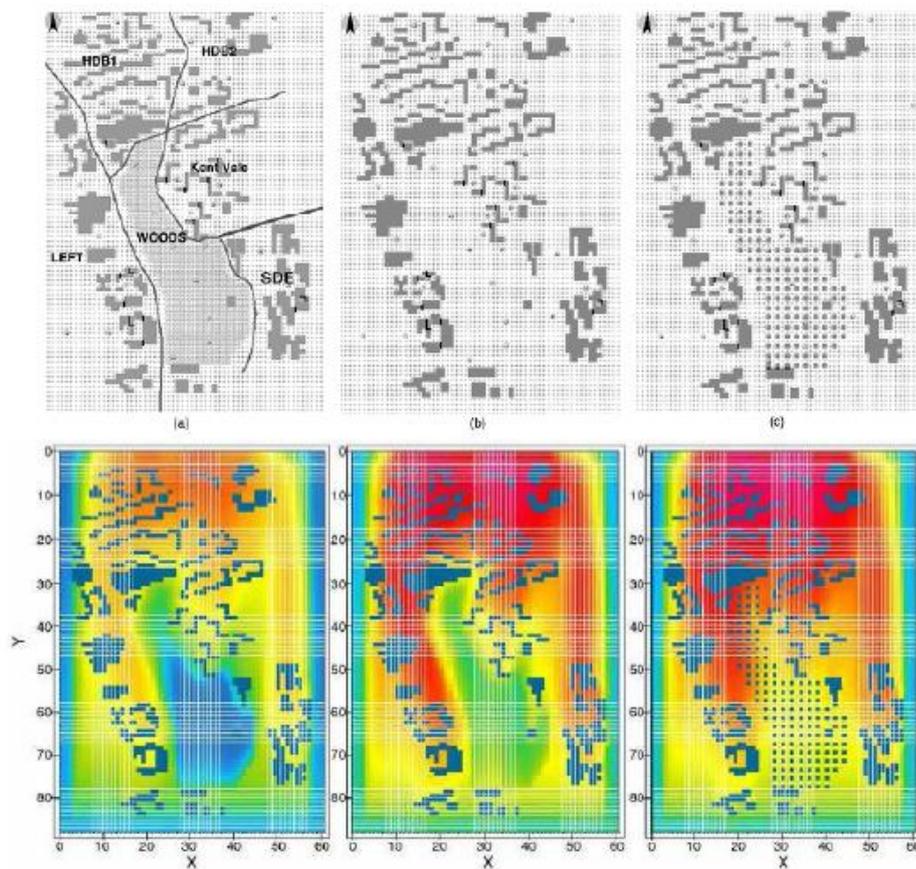


Figure IV-3 ; trois scénario et leurs profils des températures (a) forêt d'origine (b) pas de forêt (c) des bâtiments (Yu et Hien.2006) cité par Selon Colombert.2010

Colombert, Morgane (2010) souligne que : *''L'ENVI-met est un modèle qui n'a jusqu'à ce jour pas fait l'objet de validation complète. Les rares essais de validation réalisés en milieu urbain ont été assez sommaires, notamment du fait du manque de données sur les zones étudiées (Samaali, 2002). Il est donc difficile de savoir à quel point une modélisation se rapproche de la réalité. A cela s'ajoute le fait qu'ENVI-met présente quelques difficultés à « tourner » sans vent selon son créateur Michael Bruse (www.envi-met.com/) et qu'il ne prend pas en compte les rejets de chaleur liés au trafic automobile qui peuvent être importants dans certains cas''*.

IV-3-2-la modélisation par paramétrisation :

Analyser la forme urbaine dans toute sa complexité nécessiterait des temps de calcul considérables, des hypothèses ont été donc admises pour réduire cette complexité à un certain nombre de paramètres jugés suffisamment représentatifs de la forme urbaine. On parle de modèles paramétriques, c'est à dire, ceux qui réduisent la forme urbaine à un certain nombre de paramètres selon le concept (canyon urbain). On peut distinguer deux modèles :

2-1-la modélisation par paramétrisations 2D qui néglige la troisième dimension de la forme urbaine et qui concerne deux modèles climatiques ; **le modèle SM2U (Sub-Meso Soil Model Urbain)** et **le modèle LUMPS "Local-scale Urban Meteorological pre-processing Scheme "**

2-2-la modélisation par para métrisations 3D qui tente de reproduire l'effet de la troisième dimension avec trois modèles climatiques ; **le modèle SM2U-3D , le modèle « TEB » le bilan énergétique de surface » (Town Energy Balance) et Finite Volume Model (FVM) .**

IV-3-2-1-Les modélisations paramétriques 2D :

IV-3-2-1-1-Le modèle SM2U [DUPONT 2001] :

Benzerzour, M (2009) souligne que le modèle SM2U (Sub-Meso Soil Model Urbain) développé à l'École Centrale de Nantes simule les interactions thermiques et hydriques et radiatives entre le sol et l'atmosphère à une grande échelle, c'est-à-dire à l'échelle Sub-Meso (entre l'échelle locale et l'échelle Meso). Ce modèle est limité puisqu'il ne prend pas en compte les inter-réflexions qui se produisent les murs et le sol à l'échelle micro. De même, il ne prend pas en compte les informations liées à l'épaisseur de la surface urbaine, la couche de canopée est considérée sans épaisseur et sans hauteur.

IV-3-2-1-2-Le modèle LUMPS "Local-scale Urban Meteorological pre-processing Scheme" [GRIMMOND et OKE 2002] :

Le schéma LUMPS s'appuie sur l'évaluation du bilan énergétique en prenant en compte les rayonnements nets, en tant que principale source d'énergie qui influe sur les flux de chaleurs stockés dans les ensembles bâtis et des surfaces minérales. Le modèle LUMPS nécessite uniquement des données correspondant à la surface minérale et non la surface végétale ; *''contrairement au modèle SM2U, le modèle LUMPS prend en compte une hauteur moyenne de la surface urbaine (hauteur moyenne des bâtiments), mais sans considérer le phénomène de piégeage radiatif ou les réflexions dans les rues ''*[Benzerzour, Mohamed.2009].

IV-3-2-2-Modélisation paramétrique 3D ;

Dès les années soixante les modèles numériques de surfaces urbaines ont été ainsi conçus en considérant la forme urbaine comme étant une agrégation de rues canyons. *Le concept Canyon introduit par T.R.OKE : '' divers travaux ont étudié la pertinence de ce concept pour traduire le phénomène de piégeage radiatif des rues et le bilan énergétique des surfaces urbaines (utilisant de multiples facettes pour chaque surface) [Johnson et coll. 1991 ; Mills 19932 ; Arnfield et coll. 1998] ''* [Benzerzour, Mohamed .2009]

IV-3-2-2-1-Le modèle SM2U-3D [Dupont et al.j 2004]

Le modèle de sol urbain SM2U est un modèle couplé avec le modèle atmosphérique Penn State/NCAR Meso scale Model (MM5) pour représenter les effets thermodynamiques et turbulents des éléments de la canopée (végétation et bâtiments) (fig. IV-4): *'' ce modèle a évolué ces deux dernières années vers un modèle de sol appelé « SM2U-3D », qui vise à tenir compte de la troisième dimension de la surface urbaine pour obtenir les flux d'énergie et d'humidité émis par les éléments de la canopée. L'épaisseur de la surface urbaine est principalement caractérisée par le concept de rue canyon. En effet le modèle de sol 3D cherche à mieux prendre en compte les phénomènes de piégeage lié à l'existence du canyon [Benzerzour,Mohamed ,2009]*

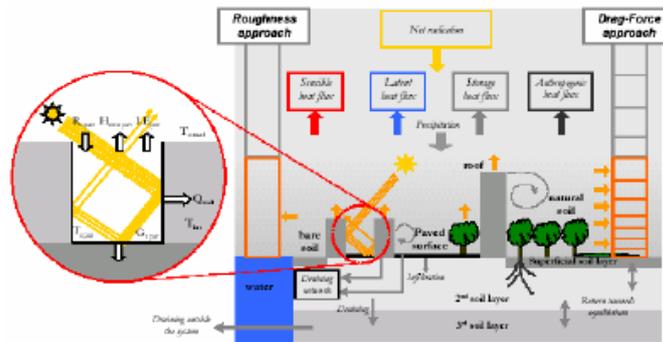


Figure IV-4: schémas représentatif de la paramétrisation de la canopée urbaine selon DA-SM2-U basée sur une approche multicouche en utilisant le modèle de sol SM2U-3D .source : Dupont et al. 2004

IV-3-2-2-Le modèle « TEB » Modèle de la canopée urbaine à simple-couche ; (Town Energy Balance) [MASSON et al. 2001]: échelle micro

Le bilan énergétique de surface, le modèle « TEB » (Town Energy Balance / Surface Energy Balance SEB en anglais) développé par Météo-France ,est un bilan énergétique de surface développé par le CNRM (Centre National de Recherche Météorologique) de Toulouse, ce modèle traite du bilan énergétique d'une ville (ou d'une partie de ville)ainsi il peut simuler le climat urbain à l'échelle micro (bâtiments et/ou rue canyon) [Mills 1997, Arnfield et Grimmond 1998, Arnfield et al. 1998] ainsi qu'à l'échelle Meso. Un modèle à simple-couche a pour objectif de simuler les échanges d'énergie en milieu urbain où la température de l'air et l'humidité sont généralement considérées comme étant uniformes (voir figure IV-5). Il peut se coupler avec le modèle (rural) ISBA (Interaction Soil-Biosphere atmosphère) [Noilhan et al. 1989] pour traiter des parties végétales et hydriques ,en utilisant le modèle TEB pour les surfaces urbaines bâties et les surfaces minérales et le modèle ISBA pour les simulations des surfaces végétales, hydriques et de sol naturel (non revêtus) [Benzerzour, Mohamed .2009].

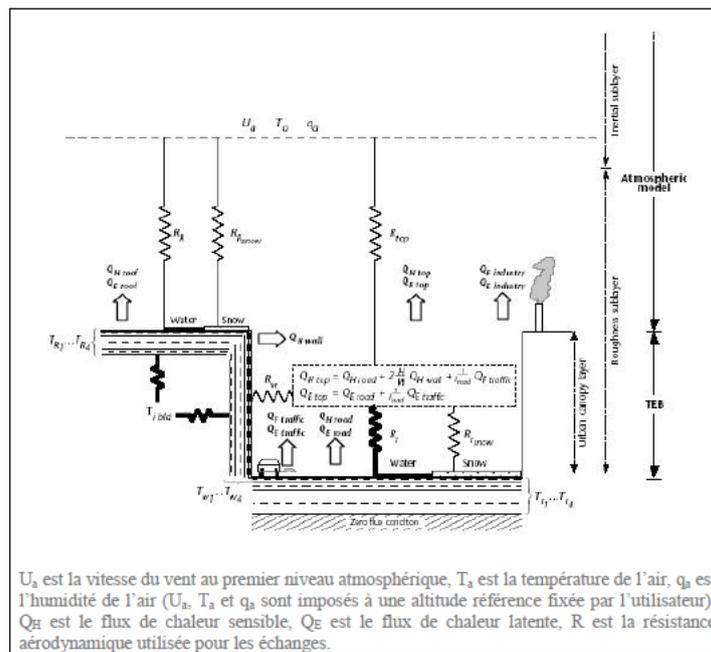


Figure IV-5 : Les résistances aérodynamiques, les flux de chaleurs sensibles et latentes et les paramètres climatiques intervenant au sein du schéma TEB .source ;Masson et al., 2002

Selon Colombert, M (2010) ce modèle est une modélisation paramétrique 3D simple basé sur des informations sommaires de la forme urbaine qui s'appuie sur le concept du canyon urbain ou il considère le milieu urbain comme un groupe de rues identiques [Oke, 1978], prenant en compte la troisième dimension et permettant l'évaluation des bilans énergétiques ainsi que les paramètres microclimatiques dans les rues. Cette simplification permet cependant de représenter les phénomènes physiques urbains de façon relativement satisfaisante pour les climatologues : *'Le modèle TEB est destiné à être le plus général possible, pour représenter n'importe quelle ville, à n'importe quel temps ou époque, et pour n'importe quelles conditions climatiques (rafraîchissement nocturne de l'îlot de chaleur, évaporation après la pluie, et effets de la neige) [...] Il est destiné à simuler les flux turbulents de surface dans le modèle atmosphérique Meso-échelle dans lequel la surface est couverte par des constructions, des routes ou toute autre matière artificielle.... » [MASSON .2000].*

En utilisant la formulation de base donnée par T.R.Oke pour le calcul des bilans d'énergies, les flux calculés sont : les flux de chaleurs latentes et sensibles (W/m²), les flux stockés (W/m²), le rayonnement net (W/m²), et les flux anthropiques (W/m²). Les paramètres énergétiques et microclimatiques calculés par TEB sont : tous les flux thermiques ; sensibles, latents, anthropiques et rayonnement net, et les paramètres microclimatiques ; température moyenne de l'air, humidité et vitesse du vent dans la rue ainsi que l'albédo effectif sur l'ensemble de la ville et la température moyenne de la surface sur l'ensemble de la ville.

'Masson, V a effectué avec T.R.Oke et C. S. Grimmond un essai de validation du modèle TEB par la comparaison des résultats de simulation avec des mesures directes de températures de surface et de bilans d'énergie sur 32 villes ; Marseille, Mexico , Vancouver... etc. Ils ont pris des sites urbains différents ; centre historique à Mexico et un site industriel à Vancouver avec des formes urbaines assez simples, les auteurs après la comparaison des mesures avec les simulations ont conclu à un niveau de prédiction des réponses thermiques et de flux par le modèle TEB assez proche des mesures. Le modèle TEB a été testé pour validation et les mêmes auteurs concluent que le modèle TEB peut être utilisé sans craindre de grandes erreurs pour calculer (simuler) les différents flux (rayonnement net, flux de chaleur sensible et flux de chaleur stocké) et aussi pour le calcul des températures de surfaces (toits et sols) '[Benzerzour, M .2009].

IV-3-2-2-3-Finite Volume Model (FVM) urban module Martilli (2001) : un modèle multicouches :

Ce modèle évalue l'impact de la surface urbaine sur les échanges turbulents entre la surface urbaine et l'atmosphère où la température de l'air et l'humidité sont généralement considérées comme étant variables du sol jusqu'au toit de la canopée urbaine (voir figure IV-6). En effet, ce n'est pas une hauteur moyenne qui est appliquée à tout le territoire analysé, mais plusieurs hauteurs selon leur densité verticale (la grille urbaine) pour chaque couche on calcul donc la densité bâtie par rapport à la surface totale étudiée [Colombert ,M .2010].

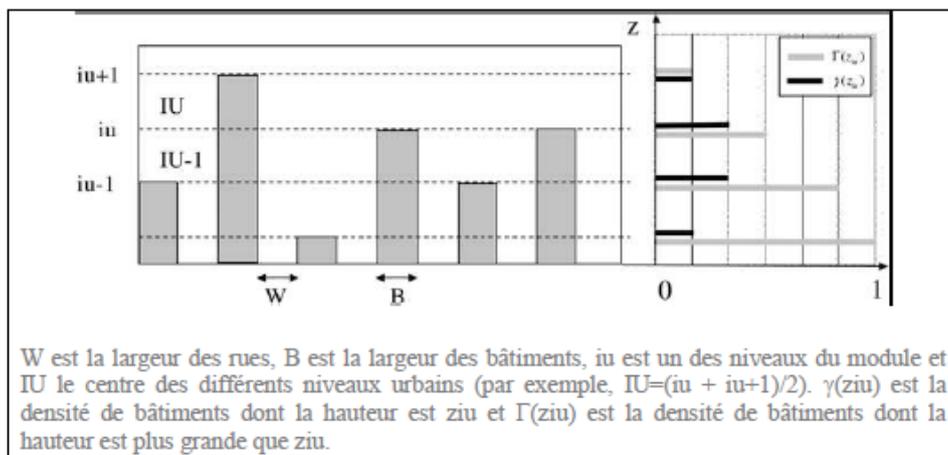


Figure IV-6 : Représentation schématique de la grille numérique du module urbain
source :Martilli *et al.*, 2002.

IV-4-positionnement épistémologique :

IV-4-1-Le choix d'un modèle climatique :

Chaque modèle a ses avantages et ses inconvénients qui influencent plus ou moins leur capacité à modéliser les modifications climatiques de la ville. Nous avons fixé plusieurs critères pour essayer de départager ces différents modèles (tableau IV-3).

	ENVI-met	SOLENE	SM2U	LUMPS	SM2U 3D	TEB	FVM
Représentation fine du cadre bâti							
Prise en compte la 3 D de la canopée urbaine							
Prise en compte de la végétation							
Prise en compte des flux de chaleur d'origine anthropique							
Prise en compte les réflexions dans les rues							
Modèle simple couche							

LEGENDE

	Prend en compte ce critère		Prend en compte ce critère partiellement		Ne prend pas en compte ce critère
--	----------------------------	--	--	--	-----------------------------------

Tableau IV-3 : Critères disponibles ou non pour différents modèles et schémas climatiques (ENVI-met, SOLENE, SM2U LUMPS, SM2U-3D, TEB, FVM).source :auteur.2016

IV-4-2-le modèle TEB comme modèle de simulation et anticiper le micro climat urbain :

Dans notre recherche la démarche appliquée en général est celle de l'expérimentation (approche empirique), basée sur la prise de mesures instantanées dite in-situ, par des prélèvements des paramètres microclimatiques ; la température de l'air et mur, l'humidité et la vitesse du vent. Ces données sont collectées de façon directe afin d'évaluer le comportement thermique extérieur et mesurer le phénomène climatique ICU.

Pour évaluer le comportement morpho-énergétique relative à notre sujet de recherche et notre objectif d'étude, nous allons choisir le modèle **TEB** (Le bilan énergétique de surface) qui prend considération la réflexion des rayonnements entre les murs autrement dit, le phénomène piégeage radiatif. C'est un modèle à simple couche facile à utiliser et basé sur des informations sommaires de la forme urbaine comme le concept de rue canyon prenant en compte la troisième dimension.

Le **TEB** n'est pas un logiciel libre, elle est basé sur un prélèvement instantané des paramètres micro climatique ; la température de l'air et de la surface, l'humidité et la vitesse du vent..etc. Il nous permet de calculer ; l'emmagasinement d'énergie et les différents flux ; sensibles, stockés, latents et le rayonnement net... etc. puisqu'un bilan d'énergie comprend l'évolution du rayonnement net, des flux de chaleur sensible et latente, des flux de chaleur anthropique et des flux de chaleur stockés nous permet à évaluer le comportement thermique extérieur à une échelle intermédiaire (au niveau des rues).

IV-4-3-La justification du choix :

Le choix du modèle TEB a été dicté par les trois critères suivant :

- la prise en considération des rayonnements solaires diffus à l'intérieur des rues (entre les murs et les routes).
- la prise en compte de la troisième dimension des milieux urbains.
- la simplicité d'utilisation et validité relative du profil des résultats : les données d'entrée du modèle, sont assez sommaires se basant sur le concept des rues canyon. Le TEB ne s'attache pas aux particularités entre les bâtiments mais aux caractéristiques globales du tissu urbain.

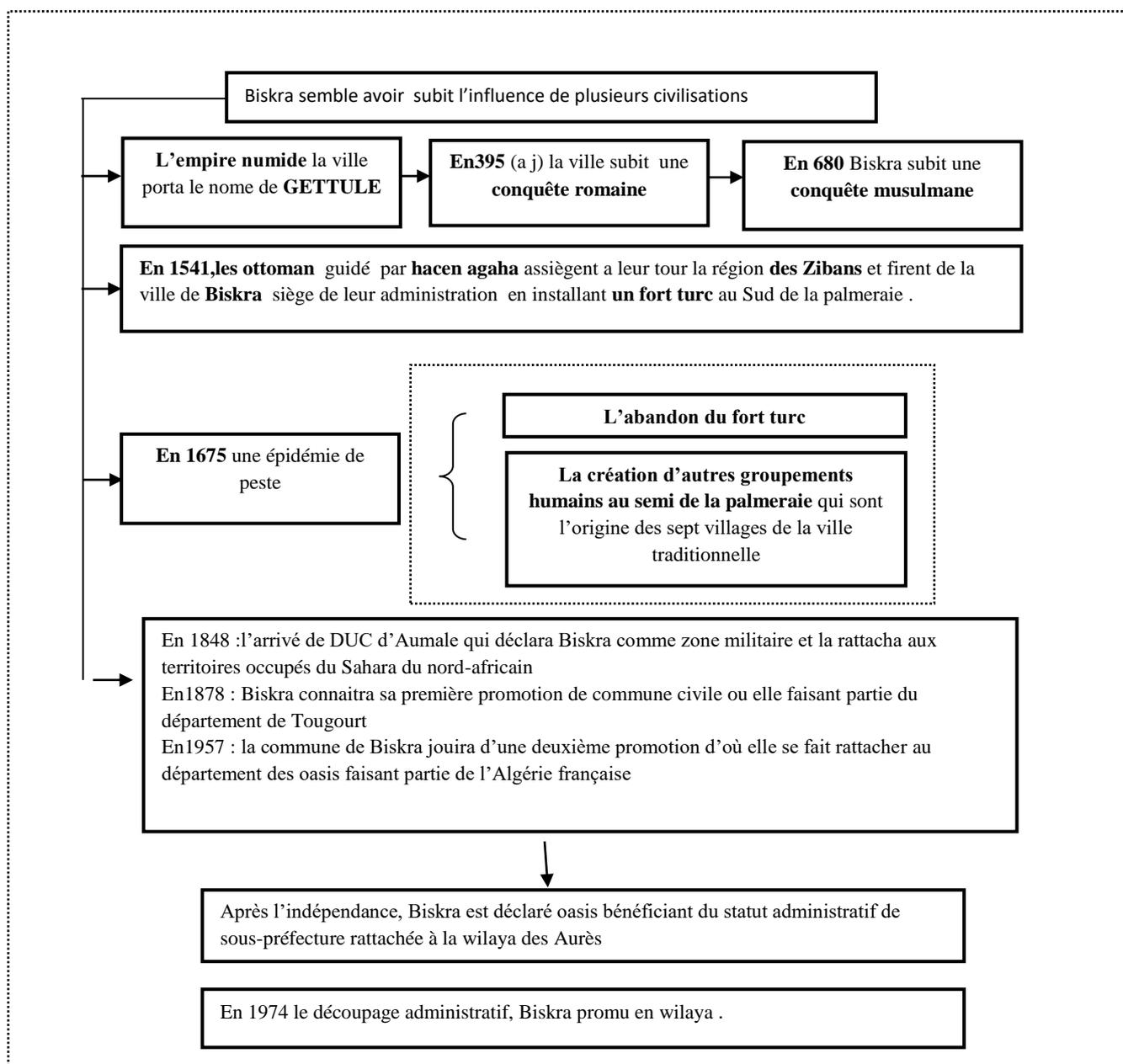
IV-4-4-Les limites du modèle choisi :

- Cette simplification architecturale peut cependant être perçue comme une limite, car elle néglige l'hétérogénéité au niveau de la hauteur, largeur des rues... etc. des espaces urbains.

IV-5-analyse du contexte d'étude :

IV-5-1-présentation générale de Biskra :

Biskra, Sokkra, Vecra, Vecera, Adbesran,... toutes ces appellations ont fait l'objet de plusieurs recherches, certains disent que son nom descend du nom romain Vecera, qui signifie « station », ou « endroit » d'échange commercial, par sa situation géographique reliant le nord au sud. Mais le chef romain Betolimih Benyouba .Il lui donna un autre nom "la rivière du destin", à cause de la rivière de sidi Zarzour (le nom de la rivière aujourd'hui), qui traverse la ville, le dessin suivant résume l'historique de la ville [Naidja, Amina.2014].



Dessin IV-1 ; Aperçu historique sur la ville de Biskra .Source: Naidja,Amina.2014-d'après Alkama. Dj, 99

IV-5-2-la situation géographique de la ville :

La ville de Biskra est située à 470 KM au Sud-est d'Alger entre la région des Aurès et les Zibans et s'étend sur une superficie de près de 2 167,20 km². Sa population est d'environ 721 356 hab en 2008 et sa densité est de 34 hab./km², elle est délimitée :

- au nord par la wilaya de Batna;
- à l'est par la wilaya de Khenchela;
- au nord-ouest par la wilaya de M'Sila;
- à l'ouest par la wilaya de Djelfa;
- au sud-est par la wilaya d'El Oued;
- au sud par la wilaya d'Ouargla.

Biskra est située sur les lignes 34,48° de latitude nord, à une longitude de 5,73° Est, et à 87 m d'altitude (voir figure IV-7) entre la montagne, et la plaine, elle est un carrefour d'itinéraires historiques reliant le Sud au Nord et l'Est au l'Ouest. Elle est ceinturée par deux rivières : Oued foddala descendant du djebel Belezma, et l'oued Abdi descendant du djebel Mahmel qui parcourent 120kms pour arriver chacune de son côté au couloir "Faj"», et qui donnent naissance à l'oued Sidi Zarzour.(voir figure IV-8).



Figure IV-7: (A) situation géographique de la zone d'étude,
Source: https://fr.wikipedia.org/wiki/Wilaya_de_Biskra

Figure IV-8 : Vue de satellite sur la ville de Biskra Source: Google Earth 2015

IV-5-3-L'analyse morphogénèse de la ville à travers l'histoire ;

Biskra de l'oasis à la ville moderne au Sahara :

La ville de Biskra a connu d'importantes mutations à travers le temps. Ces mutations ont touché tous les aspects de son développement y compris le développement urbain, donnant naissance à différentes formes urbaines à chaque époque de son histoire.

IV-5-3-1-La période précoloniale :

Selon les écrits d'Ibn Khaldoun, la ville de Biskra a été construite au moyen âge par les musulmans (1332-1402) et elle a disparu totalement suite à une épidémie de peste qui frappa la ville vers 1675 (Agli.N, 1988). Ensuite, cette ville disparue a été reconstruite durant la période turque, nommée vieille Biskra (Biskra legdima), composée de sept villages connus sous le nom de (M'cid, Bâb Darb, Bâb El Fath, Guedacha, Ras El Guerria, Medjniche, El Korra). Cet ancien tissu se trouve

éparpillé dans la palmeraie au sud de la ville, selon des groupements d'habitations juxtaposés et compacts, qui se répartissent tout au long des rues suivant les *seguias* (canaux d'irrigation de palmeraies). L'ancien tissu (l'oasis) est caractérisé par cette structuration linéaire de l'habitat à l'intérieur de la palmeraie suivant un tracé régulateur formé par les *seguias* caractérisant ainsi la spécificité de la ville de Biskra. Par opposition aux villes traditionnelles des zones arides, et semi-arides qui se distinguent par leur centralité, et leur compacité [Naidja, Amina.2014].

IV-5-3-2-La période coloniale :

Le début de l'époque coloniale remonte au début du 19^e siècle, avec l'intervention urbaine de l'armée française selon un tracé parcellaire en damier en dehors de la palmeraie du côté nord. Afin de contrôler les sources d'eaux, qui alimentent la palmeraie, et de se détacher de la vieille ville grâce à un mode d'urbanisation en contraste avec celui de la vieille ville (OASIS). En effet, cette urbanisation, selon Dervaux a permis l'apparition d'une deuxième composante urbaine à Biskra, l'apparition d'un tracé parcellaire en damier est apparue après la décision des autorités françaises en 1852 de prendre en charge la construction d'une ville qui s'organise à partir de cette forme parcellaire, en l'implantant au nord de la palmeraie, et au détriment d'un village traditionnel nommé RAS EL MA [Naidja, Amina.2014].

IV-5-3-3-La période postindépendance :

En 1974, la ville de Biskra a vu l'apparition d'une urbanisation très rapide suite à la prise en charge de l'habitat en tant que besoin primordial. Biskra a commencé à connaître une nouvelle époque de croissance urbaine, d'une manière systématique. En utilisant les zonings définis généralement, à partir d'une approche quantitative dans le cadre des (Z.H.U.N). Donc, le résultat de cette croissance, est que la ville nouvelle de Biskra avec ses deux fragments (« ZHUN EST », et « ZHUN Ouest »), a pris l'image d'une ville moderne qui n'a plus de liens avec la ville traditionnelle, ou celle de l'époque coloniale. Deux formes urbaines sont apparues ;

1— ZHUN de lotissements réservés à l'auto-construction (non planifiée) sous la forme d'habitats individuels ce qui a mis la structure bâtie dans une image incohérente avec une variété anarchique de formes d'habitations tantôt achevées et tantôt inachevées depuis des années de leurs débuts de construction,

2 — ZHUN est réservé au grand ensemble (habitat collectif) ; un tissu urbain intrus dans le contexte climatique local et socio culturel. Cette nouvelle forme urbaine éclatée connaît des scandales climatiques et d'inconfort toute l'année.

Cette vigueur dans la production urbaine au fil de l'histoire de la ville de Biskra a engendré une morphologie urbaine hétérogène et une variété microclimatique. Cette hétérogénéité des ambiances extérieure qui engendre une augmentation de l'énergie au besoin de la climatisation active, plaçant l'enjeu énergétique au centre des préoccupations.

IV-5-4-La classification des formes urbaines :

En raison de l'évolution de l'espace de la ville et de ses fonctionnalités, la forme urbaine réelle présente une grande variété dans une même catégorie. L'espace urbain est en train de se transformer pour former un mélange de différentes formes urbaines. Cela nécessite une lecture morphologique

primaire et synchronique de la ville de Biskra pour connaître les différentes formes urbaines existantes et l'évaluation de leurs performances thermiques.

Dans la littérature, il y a différents critères de classement des formes urbaines pour distinguer les types de tissus urbains composant la ville et ainsi que leur caractéristique :

- Critères urbanistiques tels que : la position dans la ville (centre, périphérique), la structure urbaine, l'usage du sol (densité), le mode d'urbanisation (auto-construction /collectif).
- Critères architecturaux : le style architectural.
- Critères historiques : la période d'apparition.
- Critères juridiques : planifié/non planifié.

Dans notre recherche, nous allons faire une classification des tissus urbains selon le critère urbanistique, en fonction du mode d'urbanisation (auto-construction /collectif). L'objectif de cette classification est la mise en évidence des caractéristiques morphologiques et thermiques qui distinguent ces tissus urbains.

En observant le classement des formes urbaines ci-dessous montrant 10 exemples de tissus urbains, on remarque une grande variété de types de tissus urbains dans une même catégorie qui nécessite une autre classification suivant les caractéristiques thermiques. C'est une approche pour évaluer et déterminer la performance thermique et la consommation d'énergie en climatisation active :

IV-5-4-1-Classement des morphologies urbaines et l'évaluation approximative de la performance thermique :

Type de morphologie urbaine	caractéristique de la morphologie urbaine (selon Rochel 2007)	Évaluation prévisionnelle de l'environnement thermique (approximative)	Exemple (source : Google map)
1-Tissu traditionnel			
Tissu colonial en damier	Les rues sont rectilignes, structurées et plus grandes que dans le centre-ville ancien, la trame géométrique de quartier divisé par des blocs octogonaux et de taille standard 40x40. chaque bloc entouré d'une grande cour.	l'accès des apports solaire est faible, dû à l'effet des cours intérieures : (l'ombre+aération étant un régulateur thermique) rend les quartiers confortable et moins consommateur à l'énergie liée à la climatisation active.	
Tissu irrégulier	Petite taille, grande rugosité, peu d'espaces ouverts étendus, les rues souvent étroites, non géométriques et sans ordre.	l'accès des apports Solaire est faible, dû à l'effet d'ombrage en raison des rues étroites rend les façades moins chaudes et par conséquent moins consommateur d'énergie liée à la climatisation active.	
compact dense			
Compact et peu dense			
éclaté dense			

Type de morphologie urbaine	caractéristique de la morphologie urbaine (selon Rochel 2007)	Évaluation prévisionnelle de l'environnement thermique (approximative)	Exemple (source : Google map)
2-Tissu auto construction planifié			
Peu dense	Les formes plutôt régulières et ordonnées dans de petits lotissements, rues moyennes, bien structurées et rectangulaires.	l'accès des apports solaires est grande, dû aux rues larges et à l'espace ouvert rendant les façades plus chaudes et par conséquent plus de consommation d'énergie liée à la climatisation active	
Dense		l'accès des apports solaire est faible, dû à l'effet d'ombrage en raison des rues étroites rendant les façades moins chaudes et par conséquent moins de consommation d'énergie liée à la climatisation active.	
3-Habitat collectif			
éclaté, faible densité	Hauteur et taille grande, enforme de barres longues et de tours, grands espaces ouverts (espaces verts et parking), structure géométrique, peu de rugosité .grandes rues, bien ordonnées et géométriques.), rues rectilignes	L'accès des apports solaire est grand, dû aux rues trop larges et aux espaces ouverts, rendant les façades plus chaudes et par conséquent plus de consommation d'énergie liée à la climatisation active.	
Compact, un peu dense			

Type de morphologie urbaine	caractéristique de la morphologie urbaine (selon Rochel 2007)	Évaluation prévisionnelle de l'environnement thermique (approximative)	Exemple (source : Google map)
4-Tissu auto-construction non planifié			
Compact et dense	Zone d'habitation généralement de la classe aisée et moyenne, maisons de formes variées, mais généralement ordonnées rues de taille moyenne et assez régulière.	l'accès des apports solaire est faible, dû à l'effet d'ombrage en raison des rues étroites rendant les façades moins chaudes et par conséquent moins de consommation d'énergie liée à la climatisation active	
éclaté		L'accès des apports solaires plus important, dû aux rues larges et aux espaces ouverts rendant les façades plus chaudes et par conséquent plus de consommation d'énergie liée à la climatisation active.	

IV-5-5-analyse climatique de Biskra :

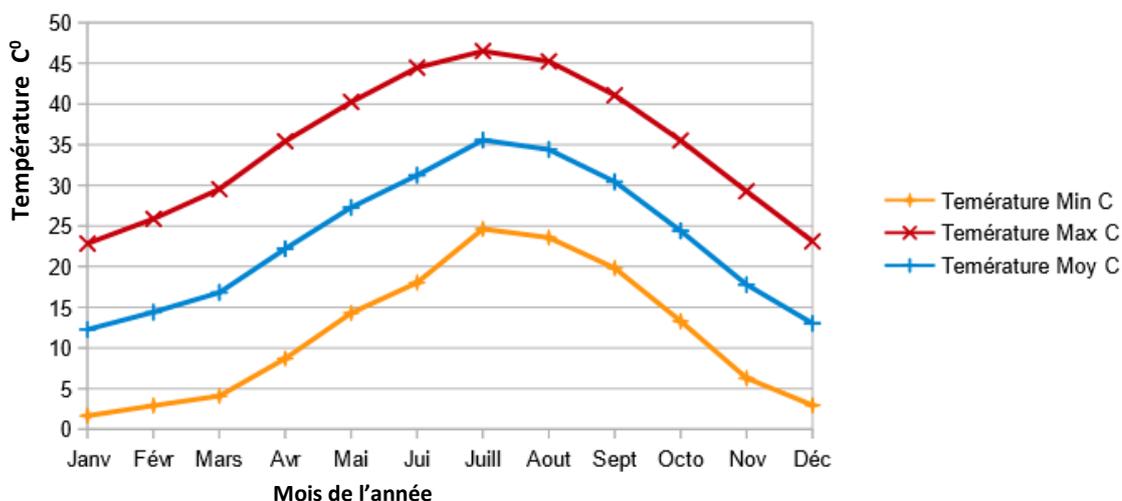
Les données climatiques de la ville de Biskra sont prises de la station météorologique de Biskra et sont publiées dans le site web ;<http://www.wofrance.fr/> .

IV-5-5-1-La température de l'air :

Le tableau (IV-4) et le graphique ci-dessous (IV-1) montrent la variation mensuelle de la température de l'air pendant une décennie (2005-2015), en se basant sur les valeurs maximales (T max), les minimales (T min), et les moyennes (T moy).

	Jan	Fev	Mar	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Octob	Nov	Déce
Température Min °C	1.67	2.91	4.09	8.96	14.29	18.03	24.63	23.58	19.82	13.28	6.28	2.95
Température Max °C	22.83	25.87	29.53	35.42	40.25	44.45	46.50	45.24	41.07	35.51	29.27	23.10
Température Moy °C	12.25	14.39	16.81	22.19	27.27	31.24	35.56	34.41	30.44	24.39	17.77	13.02

Tableau IV-4 : Moyennes mensuelles de la température d'air pendant la décennie (2005-2015). Source : Auteur 2016, établi sur la base des données de site web ; <http://www.wofrance.fr/> obtenues de la station météorologique de Biskra



Graph IV-1 : Moyennes mensuelles de la température d'air pendant la décennie (2005-2015) Source : Auteur 2016, établi sur la base des données de site web ; <http://www.wofrance.fr/> obtenues de la station météorologique de Biskra

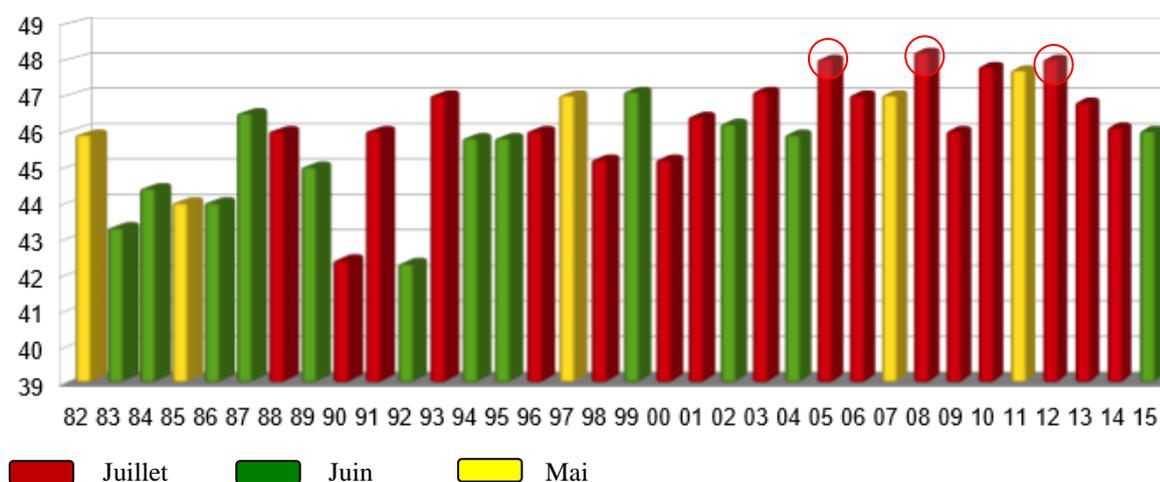
température	Jan	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
T max 82-92	19.84	23.98	27.84	36.05	37.23	42.23	43.75	43.74	40.49	33.70	26.05	21.60
T min 82-92	3.12	4.40	7.55	10.22	16.12	19.27	24.27	23.47	18.69	13.36	7.70	5.11
T moy 82-92	11.48	14.19	17.69	23.13	26.67	30.69	34.01	33.60	29.59	23.53	16.87	13.35
T max 95-05	22.83	25.79	26.44	33.81	38.71	44.32	45.46	45.64	41.27	34.75	27.95	21.65
T min 95-05	2.04	7.95	6.09	8.42	14.59	20.12	24.18	22.70	17.13	13.43	5.62	3.18
T moy 95-05	12.43	16.87	16.26	21.11	26.65	32.26	34.82	34.17	29.2	24.09	16.78	12.41
T max 05-15	22.83	25.87	29.53	35.42	40.25	44.45	46.50	45.24	41.07	35.51	29.27	23.10
T min 05-15	1.67	2.91	4.09	8.96	14.29	18.03	24.63	23.58	19.82	13.28	6.28	2.95
T moy 05-15	12.25	14.39	16.81	22.19	27.27	31.24	35.56	34.41	30.44	24.39	17.77	13.02

Tableau IV-5: la température d'air pendant de 30 ans (1982-2015).Source : Auteur 2016, établi sur la base des données de site web ; <http://www.wofrance.fr/> obtenues de la station météorologique de Biskra.

Selon le tableau IV-5 , on peut voir les variations de température d'air pendant 30 ans comme suit :

- On remarque une augmentation de la température d'air maximale (dû au changement climatique) de l'ordre de 1-2 °C, dans tous les mois.
- La période la plus chaude se prolonge et s'étale sur 5 mois : de mai à septembre, elle correspond à la période de surchauffe, la température maximal est supérieure à 40 °C
- Le mois de avril et septembre sont en risque d'être dans la zone de surchauffe dans les prochaines années.
- Le mois de juillet reste en moyenne le mois le plus chaud durant cette période 30 ans, le pic de température est de 46 °C.

Selon le graph IV-2 , ci- dessous qui résume tous les pics des températures d'air qui sont enregistrées à Biskra pendant 30ans (1892-2015) :



Graphe IV-2 : les pics des températures d'air pendant 30ans (1982-2015).source :Auteur 2016, établi sur la base des données du site Web : <http://www.wofrance.fr/> obtenues de la station météorologique de Biskra

On constate que :

Juillet est le mois le plus chaud depuis 1988, après 2003, la région de Biskra a connu des anomalies de température jamais atteintes auparavant, on a enregistré le pic de 48 °C en 2005, 2008 et 2012.

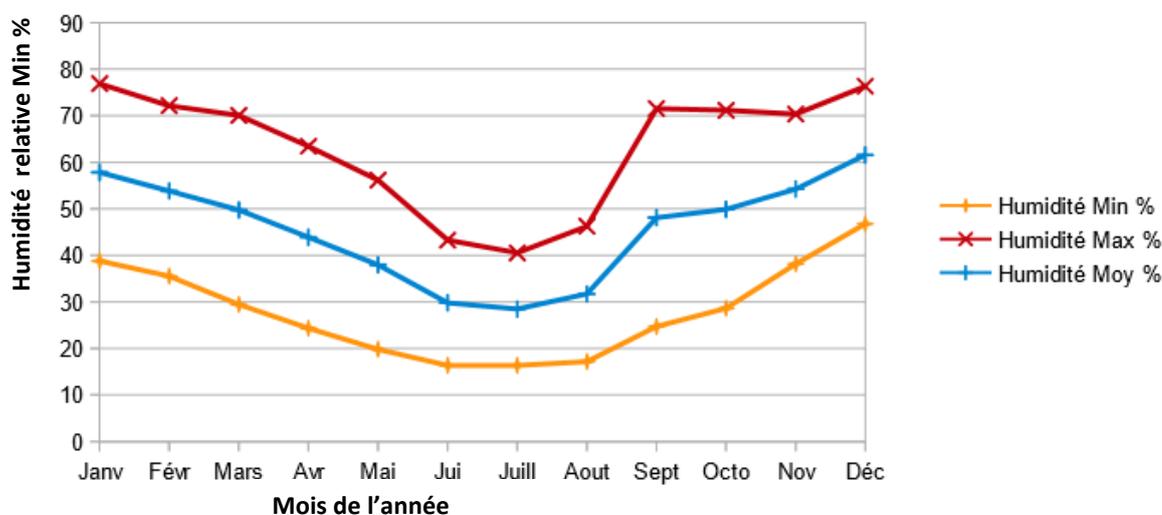
À la lumière de cette analyse, nous affirmons que notre mesure microclimatique sera effectuée durant la zone de surchauffe, au cours du mois de juillet qui préfigure la période la plus chaude dans la région des Zibans.

IV-5-5-2-L'humidité relative :

Le tableau (IV-6) et le graphique ci-dessous (IV-3) illustrent l'humidité relative pendant la décennie (2005-2015) dans la région de Biskra. Les résultats ont déterminé l'humidité moyenne pendant la saison hivernale dont les valeurs sont supérieures ou égales à 50 %, nous remarquons une hausse qui atteint 70 % et un minimum atteint de 35 %, par contre la saison estivale montre une plage moyenne de 25 %, en remarquant que la hausse atteint 40 % et le minimum atteint est de 16 %. Les autres saisons enregistrent des valeurs moyennes plus au moins équivalentes variant entre 40 %-50 %.

	Jan	Fev	Mar	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Octob	Nove	Déce
Hr Min %	38.81	35.54	29.45	24.36	19.81	16.36	16.36	17.18	24.72	28.63	38.18	46.81
Hr Max %	76.90	72.18	70.09	63.45	56.18	43.27	40.54	46.27	71.54	71.18	70.36	76.36
HrMoy %	57.85	53.86	49.77	43.90	37.97	29.81	28.45	31.72	48.13	49.90	54.27	61.58

Tableau IV-6 : Moyennes mensuelles de l'humidité relative pendant la décennie (2005-2015). Source : Auteur 2016, établi sur la base des données de site web ; <http://www.wofrance.fr/> obtenues de la station météorologique de Biskra



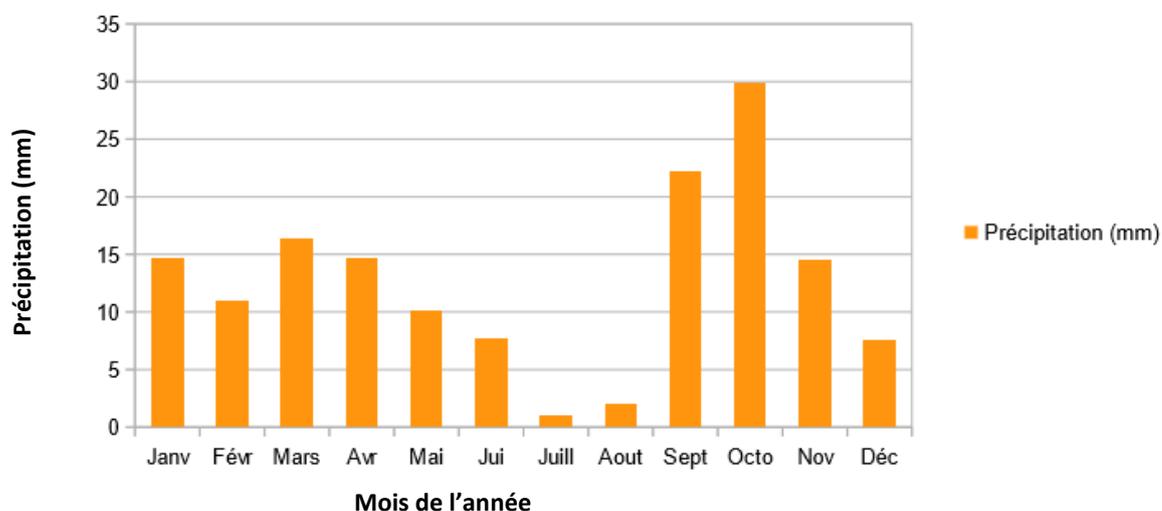
Grphe IV-3 : Moyennes mensuelles de l'humidité relative pendant la décennie (2003-2013) Source : Auteur 2016, établi sur la base des données de site web ; <http://www.wofrance.fr/> obtenues de la station météorologique de Biskra

IV-5-5-3-La précipitations :

Le tableau (IV-7) et le graphique ci-dessous (IV-4) illustrent les précipitations dans la région de Biskra sont marquées par la rareté et l'irrégularité. Expliquant un état de sécheresse qui menace la région. Le maximum des précipitations est enregistré au mois d'octobre atteint les 29.85 mm, qui est considéré comme une période de transition saisonnière d'un automne modéré à un hiver légèrement froid .En revanche le minimum est enregistré au mois de Juillet avec une moyenne de 1.1mm ; les mois les plus secs sont : Juin, Juillet, Aout et Décembre.

	Jan	Fev	Mar	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Octob	Nov	Déce
Précipitation Moy (mm)	14.74	10.94	16.38	14.73	10.17	7.68	1.1	2.05	22.27	29.85	14.47	7.6

Tableau IV-7; Moyennes mensuelles des précipitations pendant la décennie (2005-2015).Source : Auteur 2016, établi sur la base des données de site web ; <http://www.wofrance.fr/> obtenues de la station météorologique de Biskra



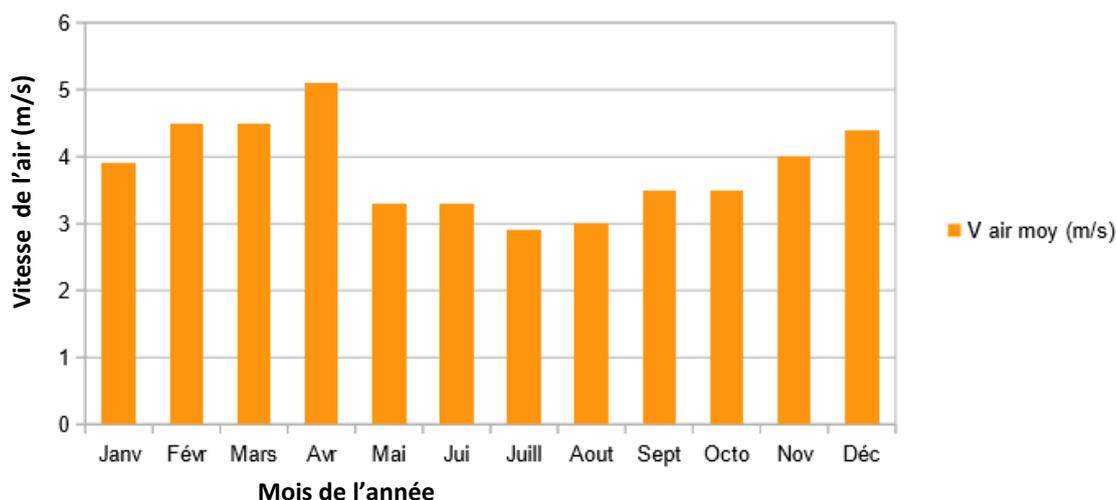
Grphe IV-4 : Moyennes mensuelles des précipitations pendant la décennie (2005-2015) Source : Auteur 2016, établi sur la base des données de site web ; <http://www.wofrance.fr/> obtenues de la station météorologique de Biskra

IV-5-5-4-Les vents :

Le tableau (IV-8) et le graphique ci-dessous (IV-5) montrent que les vents sont marqués par leurs faiblesses et leurs irrégularités, on enregistre les plus faibles écoulements au mois de juillet avec une valeur de 2,9 m/s et augmente en automne pour atteindre la valeur 3,5 m/s au mois d'octobre. Tandis que le printemps dans cette région chaude et aride est caractérisé par une saison venteuse avec des vitesses qui atteignent le pic de 5.1m/s en avril, et qui fait référence à la période spécifique de la fécondation des palmiers .Les vents saisonniers, les plus fréquents sont les vents froids d'hiver, qui soufflent du nord — ouest à une vitesse moyenne de 35 km/h. En deuxième position, il ya les vents chauds et poussiéreux, qui soufflent du sud-ouest, et du sud-est au printemps, et en automne, atteignant 80 km/h, provoquant des sinistres dans la région.

	Jan	Fev	Mar	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Octob	Nove	Déce
Vair moy (m/s)	3.9	4.5	4	5.1	3.3	3.3	2.9	3	3.5	3.5	4	4.4

Tableau IV-8 : Moyennes mensuelles des vitesses de l'air pendant la décennie (2005-2015).Source : Auteur 2016, établi sur la base des données de site web ;<http://www.wofrance.fr/> obtenues de la station météorologique de Biskra



Graphe IV-5 : Moyennes mensuelles des vitesses de l'air pendant la décennie (2005-2015) Source : Auteur 2016, établi sur la base des données du site Web : <http://www.wofrance.fr/> obtenues de la station météorologique de Biskra

IV-5-5-5-La détermination des isothermes de la ville de Biskra :

Le dessin des isothermes (tableau IV-9), nous permet de déterminer les différentes zones (sous-chauffe, confort, surchauffe), en fonction des tranches horaires propres à chaque mois pour l'année 2012 qui est la plus chaude de la décennie de 2005-2015

	Jan	Fev	Mar	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Octob	Nove	Déce	
Température Min C°	1.67	2.91	4.09	8.96	14.29	18.03	24.63	23.58	19.82	13.28	6.28	2.95	
Température Max C°	22.83	25.87	29.53	35.42	40.25	44.45	46.50	45.24	41.07	35.51	29.27	23.10	
Température Moy C°	12.25	14.39	16.81	22.19	27.27	31.24	35.56	34.41	30.44	24.39	17.77	13.02	
La température approximative dans chaque 2 heures : T Min +(Tmoy X S coefficient de Novell)													
Heures	S=coefficient												
00	0.222	4.38	6.1	7.82	13.88	20.34	24.96	32.52	31.21	26.57	18.69	10.22	5.84
2	0.139	3.37	4.91	6.42	12.04	18.08	22.37	29.57	28.36	24.05	16.67	8.75	4.75
4	0.096	2.84	4.29	5.7	11.09	16.9	21.02	28.04	26.88	22.74	15.62	7.98	4.19
6	0	1.67	2.91	4.09	8.96	14.29	18.03	24.63	23.58	19.82	13.28	6.28	2.95
8	0.111	3.02	4.50	5.95	11.42	17.31	21.49	28.57	27.39	23.19	15.98	8.25	4.39
10	0.586	8.84	11.34	13.94	21.96	30.27	36.33	45.46	43.74	37.65	27.57	16.69	10.57
12	0.861	12.21	15.29	18.56	28.06	37.76	44.92	55.24	53.2	46.02	34.27	21.57	14.16
14	1.0	13.92	17.3	20.9	31.15	41.56	49.27	60.19	57.99	50.26	37.67	24.05	15.97
16	0.917	12.9	16.1	19.5	29.3	39.29	46.67	57.23	55.13	47.73	35.64	22.57	14.82
18	0.694	10.17	12.89	15.75	24.35	33.21	39.71	46.3	47.46	40.89	30.2	18.61	11.98
20	0.444	7.1	9.29	11.55	18.31	26.36	31.9	40.41	38.58	33.33	24.1	14.16	8.73
22	0.306	5.41	7.31	9.23	15.75	22.63	27.58	35.51	34.1	29.13	20.74	11.71	6.93

	Zone de confort
	Zone de surchauffe
	Zone de sous-chauffe

Tableau IV-9 : Isothermes déterminant les différentes zones thermiques de l'année (2005-2015) Source : Auteur 2016, établi sur la base des données du site Web : <http://www.wofrance.fr/> obtenues de la station météorologique de Biskra

La matrice des isothermes démontre une variété de zones dans laquelle on obtient trois périodes :

- Zone de **surchauffe** : s'étale du mois de mai, juin, juillet, aout, septembre et octobre, où la température généralement dépasse 35 ° C. Cette zone est caractérisée par la grande hausse des températures plus de 45 °C le mois de mai, juin, juillet, dépassant ainsi le seuil du confort. Ce qui nécessite des occultations solaires et une hausse de la durée de climatisation artificielle et **d'environ de 30 %** [Boukhabla .M, 2010]. En plus cette zone est limitée sur le plan temporel, qui commence à 8 h du matin et se prolonge jusqu'à 20 h après le coucher de soleil, plus particulièrement en juillet et aout la zone s'étale jusqu'à minuit.
- Zone de **confort** : délimitée par les mois de mars, avril et novembre, la zone offre une période de bien-être ou l'individu est thermiquement satisfait, c'est-à-dire sans avoir besoin d'un dispositif de climatisation. À vrai dire, durant les dernières décennies cette zone (notamment le mois d'avril) est soumise à des perturbations climatiques mondiales ce qui la place dans la zone de surchauffe dans les prochaines décennies.
- Zone de **sous-chauffe** : la troisième qui couvre les mois de janvier, février, et aussi le mois de décembre, est la période la plus froide de l'année, les températures sont souvent sous la limite du confort thermique, ce qui implique l'usage de moyens de chauffage d'appoint [Boukhabla .M, 2010].

Conclusion :

Nous avons exposé, à travers ce chapitre, quelques techniques et modèles climatiques utilisés par différents chercheurs qui nous permettent de quantifier le microclimat urbain et d'évaluer le rapport réciproque entre le milieu urbain et les paramètres microclimatiques. Parmi ces techniques, on peut citer : les mesures instantanées *in situ*, les observations par télédétection et les performances des modèles de modélisation, ce dernier comprend deux modes de modélisation. La première concerne la modélisation par *discrétisation spatiale*, il s'agit d'un modèle qui prend en compte l'aspect tridimensionnel des espaces urbains et qui s'applique généralement à des échelles microclimatiques qu'à d'échelle climatique locale. La deuxième concerne la modélisation par *paramétrisation* ; il s'agit de réduire la complexité urbaine à un certain nombre de paramètres jugés suffisamment représentatifs de la forme urbaine, dans ce sens, on peut également distinguer dans l'histoire deux types de modèles de *paramétrisation*. D'abord des paramétrisations 2D qui négligent la troisième dimension de la forme urbaine et plus récemment la simulation par paramétrisations 3D qui prend en compte la troisième dimension.

Relativement à nos objectifs, la méthodologie adoptée est l'expérimentation, on a opté pour le modèle climatique TEB (town energy balance) qui prend en considération la réflexion entre le mur et le sol. Il est un modèle à simple couche et facile à utiliser basé sur des informations sommaires de la forme urbaine, s'appuie sur le concept de la rue canyon qui prend en compte la troisième dimension. Le TEB est un point essentiel pour comprendre la formation du microclimat et les échanges énergétiques qui nous permet de calculer l'emménagement énergétique dans le cas d'étude, en nous basant sur un prélèvement instantané des paramètres climatiques ; la température de l'air et surface, humidité et vitesse du vent.

.

CHAPITRE V :
INVESTIGATION ET RESULTAS

Introduction

L'objectif de cette recherche est de dévoiler l'impact de la morphologie urbaine sur la demande énergétique des bâtiments pour cela, nous allons nous baser sur l'expérimentation en tant que moyen opérationnel et pratique permettant d'obtenir des résultats concrets afin de confirmer ou d'infirmer les hypothèses énoncées dans l'introduction générale. Dans ce contexte, nous avons opté pour le modèle climatique TEB (le bilan énergétique de surface) qui permet de calculer l'emménagement énergétique dans les façades. Pour cela, le présent chapitre est divisé en deux parties :

- La première partie **présente le processus méthodologique**, à son tour divisée en trois parties complémentaires ; l'analyse de la typo — morphologie, la quantification du microclimat urbain et le calcul de l'emménagement énergétique dans les façades.
- La deuxième partie **présente les résultats obtenus** par l'expérimentation et leurs interprétations.

V-1-le corpus d'étude et le processus méthodologique :

Le processus méthodologique est divisé en trois phases :

- Analyse de la typo morphologie.
- Quantifier le microclimat urbain.
- Calculer l'emménagement énergétique ; calculer le bilan énergétique, selon le modèle climatique TEB.

V-1-1-Analyse typo morphologie :

V-1-1-1-Présentation le cas d'étude :

Le terrain d'investigation choisi est un site urbain situé à El Allia, à l'est de la rivière dite sidi Zerzour, il est distant de 2 km du centre-ville (figure V-2). Il s'agit du site « cité 76 logements » qui était auparavant un site pour les ouvriers de l'entreprise SONATIBA (durant les années 70). Par la suite, la commune de Biskra a modifié le tracé des rues, créant ainsi une nouvelle conception et façade urbaine qui s'étendu sur 28 800 m² avec un dimensionnement de 120x240m.



- Parcours de l'enquête
- Périmètre de cas d'étude
- Points de mesure

Figure V-2 : Situation du site d'investigation (source : Google Earth.2016)

V-1-1-2-Les critères du choix du site :

Le choix de ce tissu urbain est motivé par sa diversité morphologique, on peut citer :

A)-La situation :

Ce site correspond aux critères de l'étude, il est loin de 2 km du centre-ville, donc on peut négliger l'effet de la pression thermique (chaleur anthropique) qui est induit par le centre de ville. Cela nous permet de mettre en exergue les critères particuliers liés à la morphologie des rues.

B)-La géométrie urbaine :

La diversité des paramètres morphologiques offerte par le quartier (FVC, H/W et l'albédo des matériaux) permet de quantifier le microclimat urbain et identifier les facteurs influençant la demande énergétique.

C)-L'absence de végétation :

Le manque de végétation rend le flux latent très faible proche de 0 kW/m^{-1} , cela nous permet de faire l'étude en négligeant son impact pour nous concentrer sur d'autres critères liés en particulier à la morphologie des rues.

V-1-1-3-Déterminer le parcours et les stations de la mesure :

Cette recherche s'intéresse à l'aspect physique du tissu urbain, notamment les indicateurs morphologiques. Dans cette étude, nous avons choisi l'axe est-ouest à cause du faible accès des rayonnements solaires. La disposition des six stations fixes prend en considération les différents aspects morphologiques (voir figure V-3), notamment son ouverture au ciel SVF, l'exposition au soleil, la nature des matériaux, la hauteur des bâtiments avoisinants... etc.

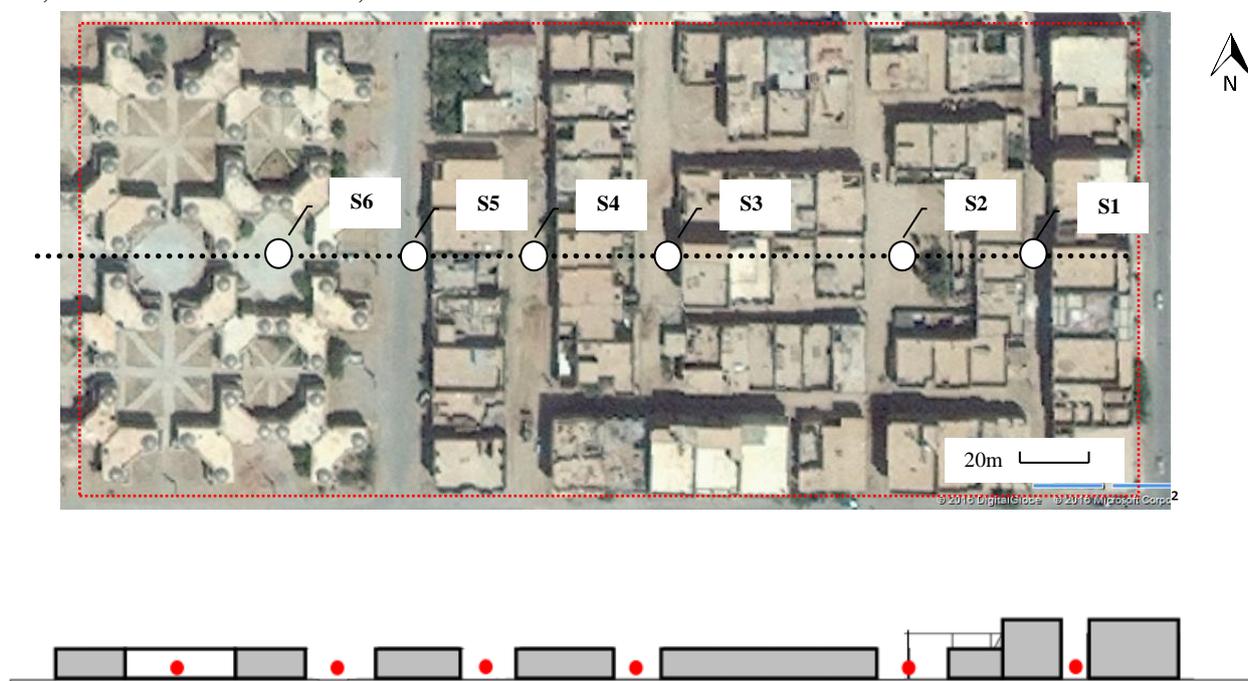


Figure V-3 : points de mesures (source : Google Earth.2016)

V-1-1-4-Analyse typo-morphologique des stations de mesures :

Rappelons que nous avons défini dans le deuxième chapitre deux types d'indicateurs morphologiques, selon Ahmed, Ouameur, Fouad (2007) ;

- Indicateurs à l'échelle de l'espace public ;
 - le ratio H/L.
 - Facteur de vue de ciel (SFV).
 - Albédo moyen des surfaces (a).
 - Degree of Enclosure (DoE).

- Indicateurs à l'échelle du tissu urbain ;
 - Densité bâtie (D).
 - Rugosité urbaine (Ru).
 - Densité végétale (Dv).
 - Porosité urbaine (P0).

Notre objectif de recherche exige d'adopter les indicateurs à l'échelle de l'espace public afin d'évaluer le comportement thermo-énergétique au niveau de la rue. Pour chaque station de mesure, nous avons calculé quatre indicateurs. Dans les paragraphes suivants, nous allons rappeler le calcul des indicateurs morphologiques à l'échelle de l'espace public.

A)- le prospect Ratio H/L.

D'après Ahmed ,Ouameur. F (2007). Le calcul mathématique du ratio H/L dépend des dimensions horizontales et verticales de l'espace, le ratio H/L peut ainsi être obtenu à partir de l'équation suivante :

$$H/L = H_m / L_p \quad (\text{formule V-1})$$

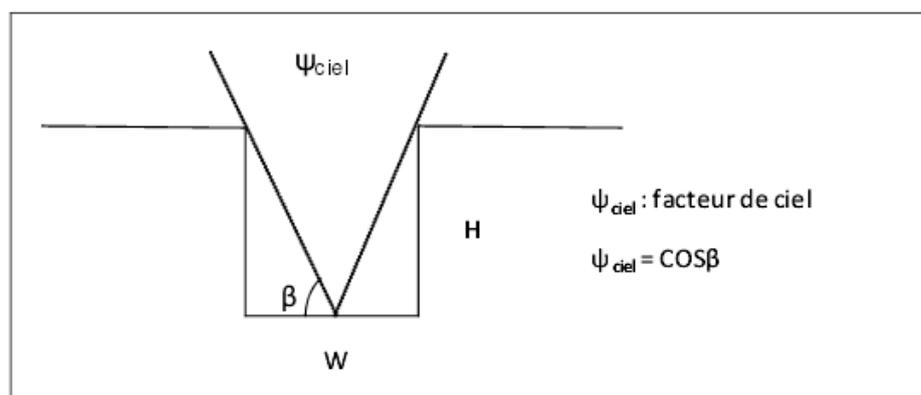
Ou :

H_m : hauteur moyenne de l'espace.

L_p : la plus petite largeur de l'espace.

B)-Facteur de vue du ciel (FVC) : nous avons le calculer selon le procédés mathématique :

D'après, Parmentier, A (2010) , le facteur de vue de ciel d'un point au centre du sol d'une rue canyon s'exprime par la relation mathématique suivante (voir figure V-4), qui considère une symétrie parfaite du canyon : $\Psi_{\text{ciel}} = \cos\beta$



FigureV-4 : angle solide de vue d'une rue canyon asymétrique .l'angle solide égale à $180^0 - O_1 - O_2$.source : Oke 1981

C)-Albédo moyen des surfaces (a) : nous avons le calculer selon le procédés mathématique

Ahmed,Ouameur. F (2007) a évalué l'albédo moyen des surfaces en analysant visuellement le pourcentage d'occupation des matériaux sur les façades et au sol (analyse visuel de l'albédo).

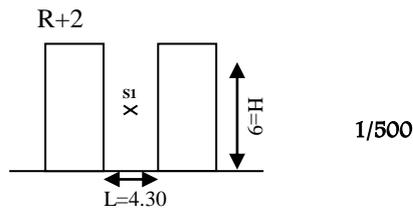
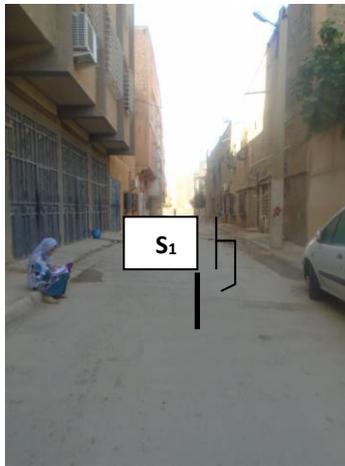
D)-Degree of Enclosure (DoE) :

Selon la classification de Steemers et al (2004), l'espace fermé (DoE= 2). L'espace semi ouvert (DoE = 1) et ouvert (DoE = 1.5).

Les déférents points de mesure sont présentés et analysés comme suit :

Station N1 :

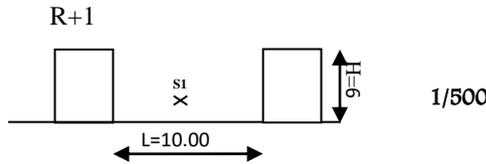
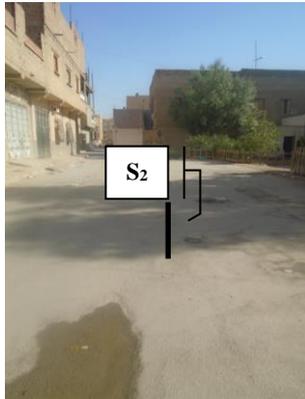
- rue type canyon ($H \geq 2L$) -Alignement de bâtiments résidentiel en majorité à R+2,
- façade en céramique. -forme de bâtiment rectangulaire.



Indicateur morphologique retenus				
Ratio =H/L	Facteur de vu ciel FVC(Sky View Factor)	Albédo moyen des surfaces (a)		Degree of Enclosure (DoE).
2.09	0.25	Pourcentage de l'occupation %	Albédo	2
		Brique rouge :30	0.35	
		Brique en béton, gris :65	0.25	
		Céramique :5	0.30	
	Sol en Asphalte	0.2		
			0.46	

Station N2 :

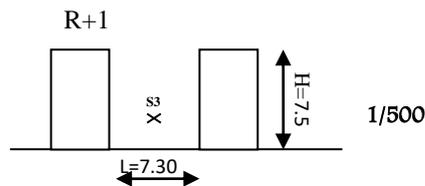
Type de rue dièdre (H=L, H=0.5L). . Alignement de bâtiments résidentiel en majorité à R+1, façade en béton brut et brique rouge. Forme de bâtiment rectangulaire.



Indicateur morphologique retenus				
Ratio =H/L	Facteur de vu ciel FVC(Sky View Factor)	Albédo moyen des surfaces (a)		Degree of Enclosure (DoE).
0.6	0.65	Pourcentage de l'occupation %		1.5
		Brique rouge : 30	Albédo	
		Brique en béton, gris : 70	0.35	
		Sol en Asphalt	0.25	
			0.2	
			0.47	

Station N3 :

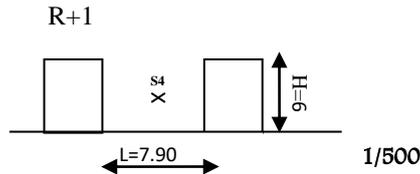
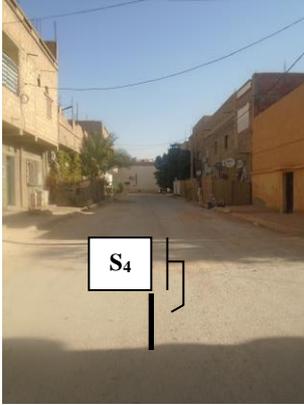
Type de rue dièdre (H=L, H=0.5L). Alignement de bâtiments résidentiel en majorité à R+1. Façade en béton brut et brique rouge, forme de bâtiment rectangulaire. Discontinuité dans le bâti (hauteur entre 9 m et 6m la moyen de la hauteur 7.5m)



Indicateur morphologique retenus				
Ratio =H/L	Facteur de vu ciel FVC(Sky View Factor)	Albédo moyen des surfaces (a)		Degree of Enclosure (DoE).
1.02	0.46	Pourcentage de l'occupation %		1.5
		%		
		Brique rouge :30	Albédo	
		Brique en béton, gris :60	0.35	
		Enduit clair ;10	0.25	
Sol en Asphalt	0.45			
			0.20	
			0.45	

Station N4 :

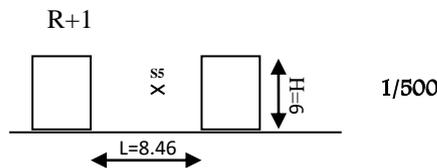
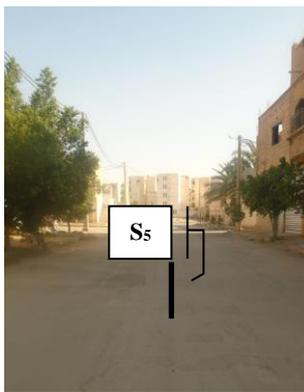
type de rue dièdre ($H=L, H=0.5L$). Alignement de bâtiments résidentiel en majorité à R+1. Façade en béton brut et brique rouge, forme de bâtiment rectangulaire. Discontinuité dans le bâti (hauteur entre 9 - 6m le moyen de la hauteur 6 m)



Indicateur morphologique retenus				
Ratio =H/L	Facteur de vu ciel FVC(Sky View Factor)	Albédo moyen des surfaces (a)		Degree of Enclosure (DoE).
0.75	0.50	Pourcentage de l'occupation %	Albédo	1.5
		Brique rouge :30	0.35	
		Brique en béton, gris :70	0.25	
		Sol en Asphalte	0.20	
			0.47	

Station N5 :

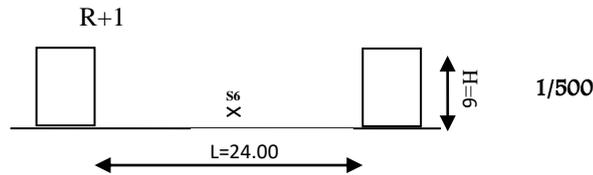
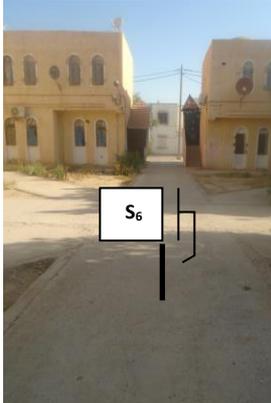
type de rue dièdre ($H=L, H=0.5L$). Alignement de bâtiments résidentiel en majorité à R+1. Façade en béton brut et brique rouge, Forme de bâtiment rectangulaire. Discontinuité dans le bâti (hauteur entre 9 m et 6m la moyen de la hauteur 6m)



Indicateur morphologique retenus				
Ratio =H/L	Facteur de vu ciel FVC(Sky View Factor)	Albédo moyen des surfaces (a)		Degree of Enclosure (DoE).
0.70	0.60	Pourcentage de l'occupation %	Albédo	1.5
		Brique rouge :20	0.35	
		Enduit clair :80	0.45	
		Sol en Asphalte	0.20	
			0.56	

Station N6 :

Une cour dégagée $H \geq 0.25L$ (cour ouvert). Alignement de bâtiments résidentiel en majorité à R+1. Façade en enduits de couleurs claires. Forme de bâtiment pavillonnaire.



Indicateur morphologique retenus				
Ratio =H/L	Facteur de vu ciel FVC(Sky View Factor)	Albédo moyen des surfaces (a)		Degree of Enclosure (DoE).
0.25	0.90	Pourcentage de l'occupation %		1
		Enduit clair (couleur jaune) 100	Albédo 0.45	
		Sol en Béton	0.30	
			0.75	

V-1-2- Quantifie le microclimat urbain :

À ce stade, on va quantifier le microclimat urbain et déterminer l'effet du contexte urbain sur le climat. À partir de mesures in situ nous allons déterminer l'écart et la différence des paramètres climatiques entre un site urbain et un site dégagé (suburbain), par la comparaison des paramètres climatiques collectés au sein du quartier à celles enregistrées dans la station météorologique.

V-1-2-1-Définir et sélectionner les journées de mesures :

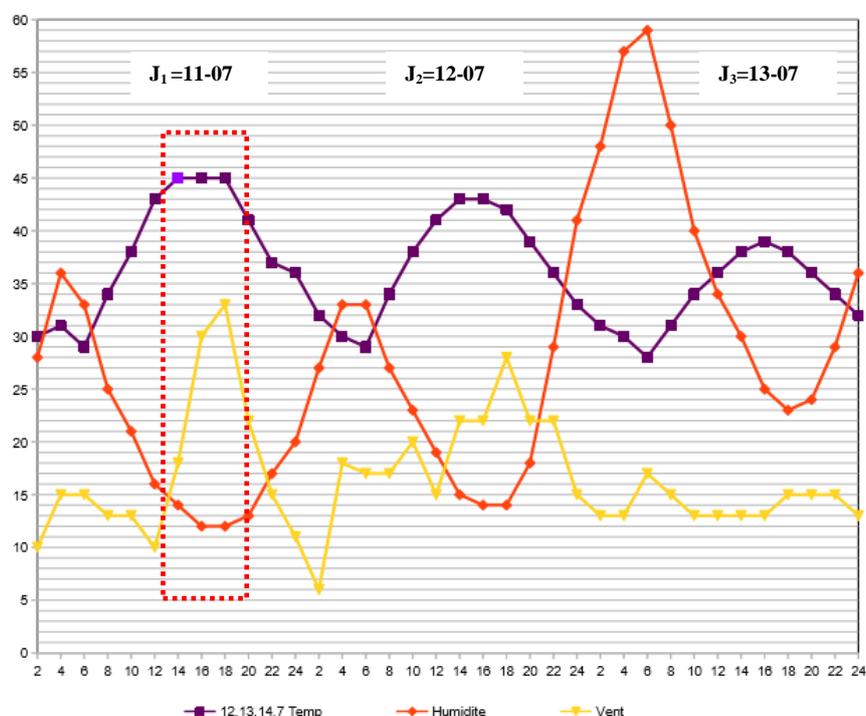
Selon la prévision de l'office national de la météorologie de l'Algérie les journées d'été caniculaires sont le 11-12-13 /07/2016 (voir tableau V-1).



Figure V-1 : Tableau récapitulatif des paramètres climatiques (T_{air}, Hr.V) de trois journées caniculaires. Source ; www.accuweather.com

11-07-2016	heurs	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
	Température C°	30	31	30	34	38	43	45	45	44	40	36	36
	Température feel C°	30	30	28	35	43	44	45	44	43	39	36	34
	Humidité %	28	28	33	33	25	21	16	14	12	13	16	19
	Nuage %				0	0	0	0	12	35			
	Vitesse de vent Km/s	10 NE	15 NO	18 NO	13 NO	13 NNO	1.3 O	18 O	30 ONO	30 N	22 NE	15 NNE	1.5 NE
Nuage %	0	0	0	0	0	0	0	12	35	0	0	0	
Heurs de soleil		12.9											
12-07-2016	Température C°	32	30	29	34	38	41	43	43	42	39	36	33
	Température feel C°	30	28	28	34	39	42	43	42	40	37	34	33
	Humidité %	27	33	33	27	23	19	15	14	14	18	29	41
	Vitesse de vent Km/s	6 NE	18 NO	17 NO	17 NO	20 NO	15 ONO	22 ONO	22 NO	28 ONO	22 NO	22 NNE	15 NNE
	Nuage %	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
Heurs de soleil		12.9											
13-07-2016	Température C°	31	30	28	31	34	36	38	39	38	36	34	32
	Température feel C°	31	31	28	33	37	40	40	39	37	35	32	30
	Humidité %	48	57	59	50	40	34	30	25	23	24	29	36
	Vitesse de vent Km/s	13 NNO	13 NN	17 NN	15 NNO	13 OSO	13 SO	13 OSO	13 O	15 ONO	15 NO	15 NNE	13 NNE
	Nuage %	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Heurs de soleil		12.1											

Diagramm Meteo Biskra Aéroport



Graphe V-1 ; Température, humidité et vitesse de vent de trois journée typique d’été. Source : auteur.2016

Dans le graphe (V-1). On remarque que la journée de 11/07 est la plus chaude avec un pic de température de 45 °C, un taux d’humidité faible de 16 % et une vitesse de vent variable, ne dépasse pas 3m/s:

- La relation inversée entre la température et l’humidité signifie qu’une baisse de la température engendre une élévation de l’humidité relative et vice versa. L’élévation de la température la matinée avec un pic de 46 °C entre 14 h à 18 h (après le lever du soleil jusqu’à la fin de l’après-midi) avec un taux d’humidité faible de 16 % et une vitesse de vent chaud (sirocco) de 30 km/s. Tandis que, le soir après le coucher du soleil la température diminue à une valeur de 30 °C, juste avant le lever du soleil, avec un taux d’humidité élevé de 28 % et une vitesse de vent ne dépassant pas 15 km/s.

V-1-2-2-Prendre campagne de mesure ;**A)- Instruments ;**

L'analyse s'appuie sur des mesures instantanées in situ pour le prélèvement des données microclimatiques selon un parcours urbain subdivisé en six stations fixes. Ces mesures sont faites à l'aide d'appareils portatifs de mesure des ambiances physiques (kimo HD 100).

Dans le présent travail, on a besoin de trois outils de mesure, un thermo-hygromètre pour calculer la température de l'air et l'humidité relative, un anémomètre pour avoir la vitesse de l'air et le thermomètre Cason pour avoir la température surfacique (du mur) .

Les instruments	Les caractéristiques
<p>A-Thermo-hygromètre électronique HD 100</p>  <p>Source : www.Kimo.fr</p>	<p>sert à mesurer trois paramètres climatiques celui de la température de l'air en (° C, °F, K), l'humidité relative (%), et comme le point de rosée (° C, °F, K) sur des plages de mesures variant entre : -20 °C à + 80 ° C pour la température de l'air et le point de rosée, et 5 à 95 % pour la HR. Alors que la résolution est de (0,1 % HR, 0,1 °C).</p>
<p>B-Anémomètre LV 100</p>  <p>Source : www.Kimo.fr</p>	<p>L'instrument sert à relever le débit de l'air en circulation, les plages de mesures sont limitées entre : 0,2 m/s à 3,1 m/s — 3,1 m/s à 35 m/s la résolution de l'anémomètre présente un écart de 0,01 m/s à 0,1 m/s.</p>
<p>C-Le thermomètre Cason CA 380</p>  <p>Source : www.aliexpress.com</p>	<p>Relève la température surfacique des matériaux composants la masse bâtie par le biais d'un rayon infrarouge.</p>

B)-Protocole et processus de mesure :

En premier lieu, notre travail vise à collecter les quatre paramètres climatiques (T_a , T_m , H_r , V) pour les comparer avec ceux de la station météorologique, dans le but de quantifier le microclimat urbain. En second lieu, et à l'aide des mêmes paramètres climatiques (T_a , T_m , H_r , V), nous allons calculer l'emmagasinement énergétique dans les façades selon le bilan énergétique TEB.

Dans ce contexte, nous avons choisi un intervalle de temps de mesure de deux heures qui commence à 4 h avant le lever du soleil jusqu'à 24 h, ce planning de mesures vise à une lecture fidèle du régime thermique en cycle journalier pour cerner la variabilité spatio-temporelle du micro climat urbain en zone chaude et aride et son impact sur la demande énergétique. Le cycle journalier est défini comme suit :

- Avant le lever du soleil : c'est-à-dire avant tous les gains thermiques.
- Après le lever du soleil : début et évolution des gains thermiques.
- À midi : Quand le soleil est perpendiculaire (au zénith).
- L'après-midi : cumul maximum de la chaleur emmagasinée.
- Après le coucher du soleil : le début de la restitution de la chaleur.

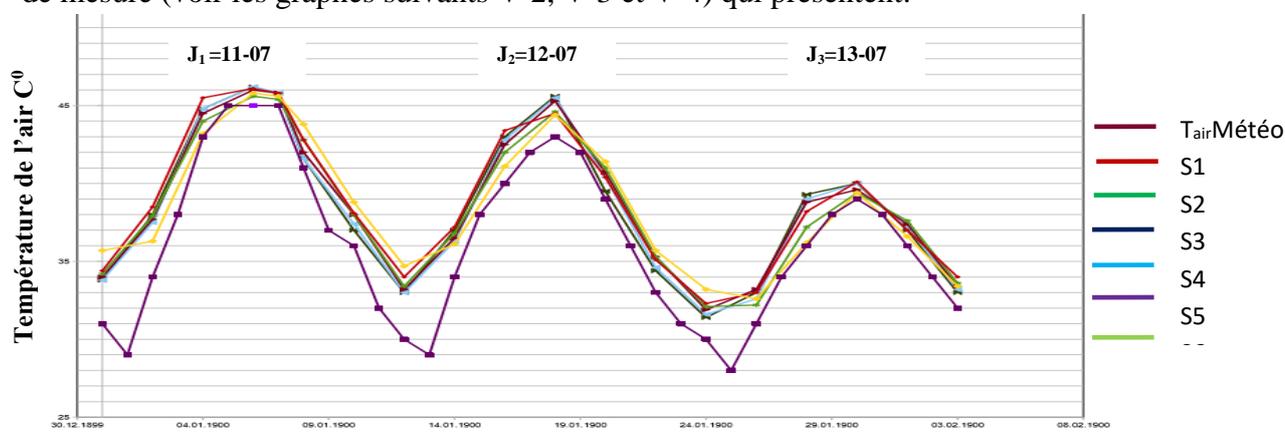
Il est à noter que les déplacements sont assurés par un véhicule ce qui minimise le temps de passage entre chaque station (5 min). La collecte des données des quatre paramètres climatiques sont pris sous un abri à une hauteur moyenne de 1,20 m.

C)-Comparaison les donnée collectées avec celles de la météo:

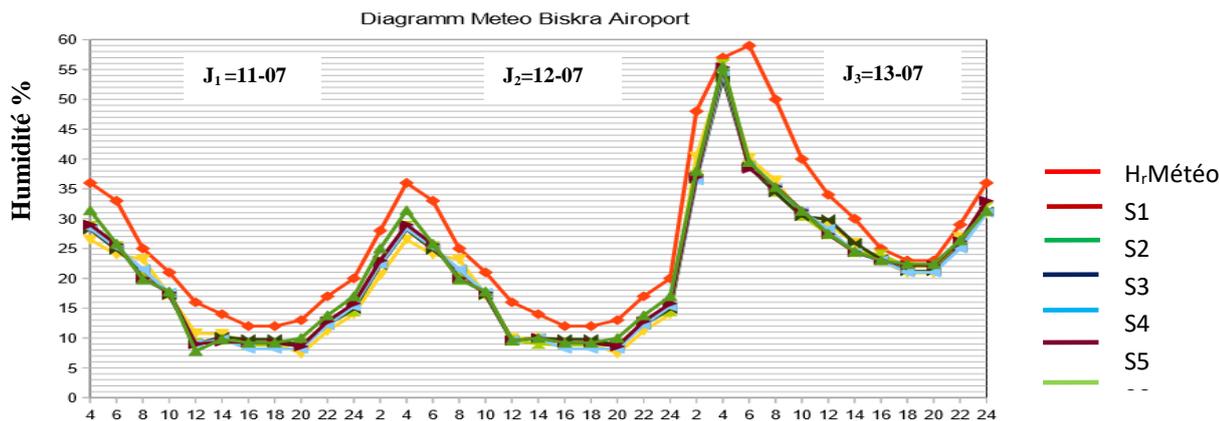
Les résultats acquis concernant les données climatiques (T_a , T_m , H_r , V) collectées sont comparés avec celles de la station météorologique. Pour démontrer l'effet du milieu urbain sur les paramètres climatiques et quantifier l'écart et la différence entre les données d'un espace suburbain avec les données d'un site urbain.

D)-Facteurs climatiques mesurés au cours de l'expérience :

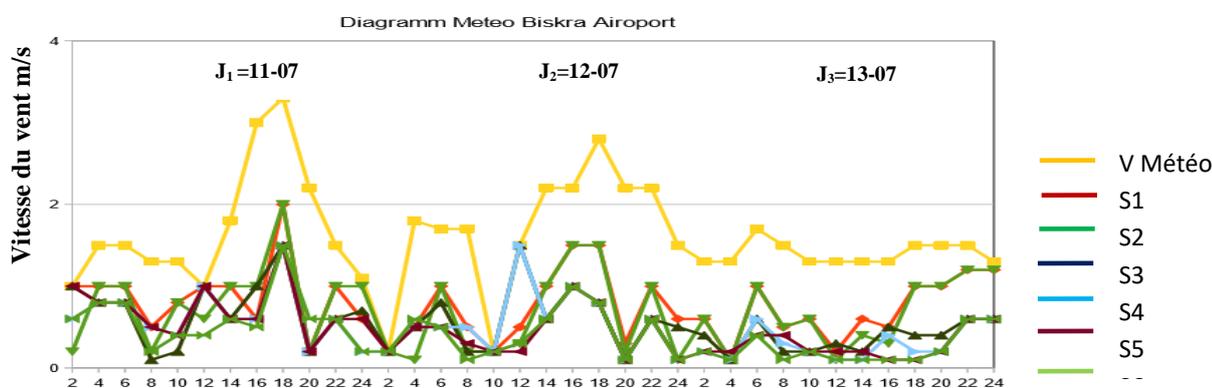
Selon la collecte de données des paramètres climatiques au sein du quartier pendant les trois journées caniculaires. Nous allons analyser les paramètres climatiques collectés dans chaque station de mesure (voir les graphes suivants V-2, V-3 et V-4) qui présentent:



Graphe V-2 ; les variations de température de l'air dans les points de mesure. Source : auteur.2016



Grphe V-3 ; les variations de l’humidité d’air dans les points de mesure. Source : auteur.2016



Grphe V-4 ; les variations de vitesse d’air dans les points de mesure. Source : auteur.2016

Avec l’analyse des trois graphiques précédents apparait l’effet notable et important du milieu urbain sur les paramètres climatiques (température, humidité et vitesse du vent). On remarque une différence (un écart ΔT , ΔHr , ΔV) entre les paramètres climatiques qui sont mesurés au sein du quartier et celles qui sont enregistrées à la station météorologique, c’est-à-dire que le microclimat urbain diffère de celui de la zone périphérique de la ville. On s’intéressera en particulier aux données de la journée la plus chaude qui coïncide avec la date du 11/07/2016 .

V-1-3-calcule l’emmagasinement énergétique : le bilan d’énergie (le modèle *TEB*)

Le bilan énergétique est un point essentiel pour comprendre la formation du climat urbain et les échanges énergétiques. Le modèle **TEB**, c’est un bilan énergétique de surface (Surface Energy Balance SEB en anglais) qui se base sur deux équations ; équation concerne le bilan radiatif et équation concerne le bilan énergétique. Nous allons calculer l’emmagasinement énergétique dans les façades dans chaque station à l’aide de ces deux équations grâce aux prélèvements instantanés des paramètres climatiques.

La différence entre le bilan radiatif (flux entrant) et le bilan énergétique (flux sortant) représente l’emmagasinement énergétique dans les façades, voir figure V-9, ci-dessous ;

$$\text{(bilan radiatif) - (bilan énergétique) = emmagasinement énergétique.}$$

Dans ce sens, Parmentier, A(2010) affirme que : ‘Les îlots de chaleur sont la manifestation du déséquilibre entre deux bilans, le bilan radiatif (faisant intervenir les différents rayonnements solaire et atmosphérique) et le bilan d’énergie (prenant en compte les différents flux de chaleur). Ces deux bilans varient selon l’échelle d’étude considérée, de la micro échelle à la méso échelle ‘.

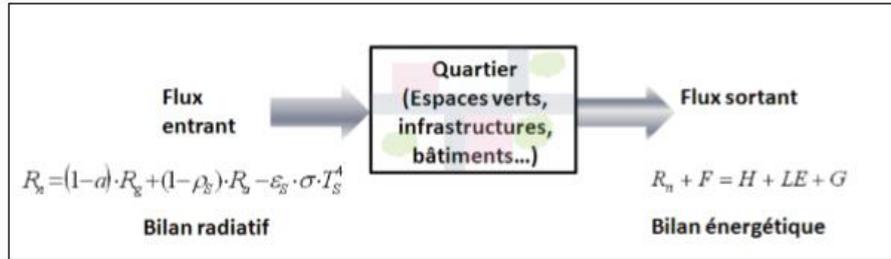


Figure V-9 : Système urbain et échanges énergétiques(le modèle **TEB**).source : Amélie Parmentier .2010,

Parmentier , Amélie(2010) affirme que le système « milieu urbain » avec ses composantes (espaces verts, bâtiments, infrastructures....etc) agit comme un environnement capable d’emmagasiner de l’énergie en journée et de restituer celle-ci en soirée sous forme de chaleur. En créant ainsi l’ICU. La quantité d’énergie stockée par une surface urbaine est directement liée à son albédo, son coefficient de réflexion thermique ainsi qu’à son émissivité.

Dans notre cas de calcul nous allons nous baser sur les données d’entrées et de sorties suivantes :

	Géométriques	radiatifs	Thermiques
les données d’entrées	-le prospect Ratio H/L. -Facteur de ciel (SFV). -Degree of Enclosure (DoE).	-albédo des surfaces (a) (murs) -Emissivité des surfaces (murs)	-Conductivité thermique des surfaces (murs) -Capacité thermique des surfaces (murs)
les données de sorties	1-bilan radiatif =Le rayonnement net (flux entrant) 2-bilan énergétique = (flux sortant) -Le flux de chaleur anthropique -Le flux de chaleur sensible -Le flux de chaleur latente -Le flux de chaleur stocké dans les surfaces (bilan radiatif) -(bilan énergétique) = emmagasinement énergétique		

Tableau V-2 : les paramètres d’entrées et les paramètres de sorties du modèle TEB .source : auteur .2016

Nous allons calculer le bilan énergétique et le bilan radiatif, en fonction des données comme : le flux sensible, latent et stocké... etc. En prenant en considération les caractéristiques thermiques des matériaux selon Aida, Goreh.1982et Uherek 2005 .

Composant	k=Conductivité thermique W.m ⁻¹ .K ⁻¹	C=Capacité thermique J.kg ⁻¹ .K ⁻¹	a=Albédo	ρ_s=1- ε Coefficient de réflexion thermique	ε = Emissivité
Mur					
-brique standard 20 cm = brique rouge	0.83	0.75	0.4-0.6	0.1	0.9
-mortier en ciment	0,93	0.90	0.3	0.06	0.94
-Enduit clair	0.6	0.60	0.3	0.7	0.30
Granit	2.2	0.90	0.18	0.1	0.9
Sol					
Asphalte vieilli	0.075	0.92	0.2	0.05	0.95
Béton bitumineux 15cm	1.51	0.88	0.35	0.05	0.80

Tableau V-3 : les caractéristiques thermiques des matériaux .source : Aida, Goreh.1982et Uherek 2005

V-1-3-1-Le bilan énergétique à l'échelle urbain :

Parmentier, Amélie (2010) a défini le bilan énergétique à différentes échelles et présentées dans cette section. Les composantes du bilan énergétique à l'échelle surfacique sont présentées par le schéma ci-dessous (figure V-10). Notez que la définition de chaque flux thermique est présentée en détail dans le troisième chapitre. Dans ce chapitre, nous allons donner les équations de calcul des flux thermiques :

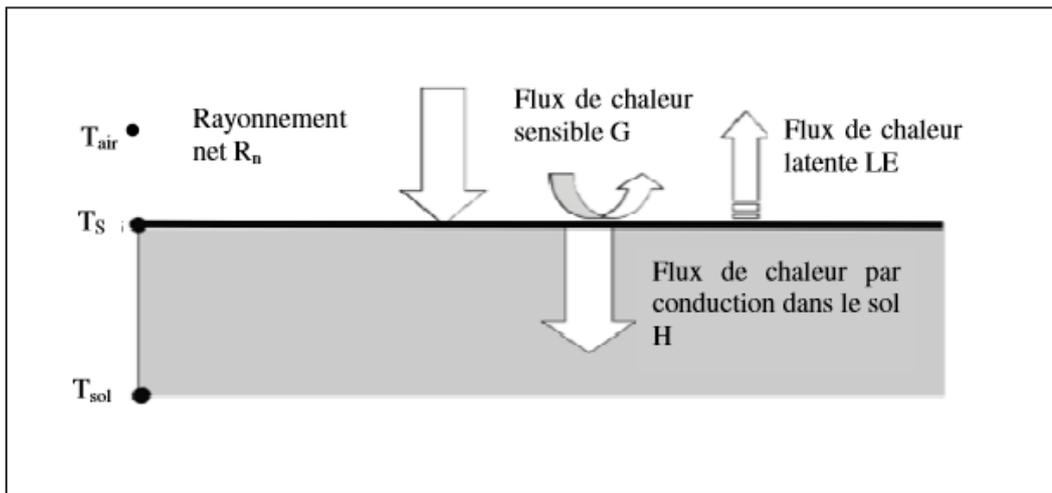


Figure V-10 : Transfert de flux d'énergie en surface. Adaptée de Musy (2007) . Source : Parmentier .2010.

$$R_n + F = H + LE + G_s$$

(formule V-2)

Où :

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

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

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

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

H : 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)

V-1-3-2-Le bilan radiatif à l'échelle urbain (voir annexe 01):

Morgane, Colombert (2010) souligne que'' *Le bilan radiatif d'une surface exprime la quantité de rayonnement absorbée par cette surface et la quantité de rayonnement émise vers l'atmosphère* ''.il peut s'écrire de la façon suivante :

$$R_n = L_{\downarrow} - L_{\uparrow} + (1 - \alpha) K_{\downarrow} \quad (W.m^{-2}) \quad \text{(formule V-1)}$$

α est l'albédo du surface,

K_{\downarrow} le rayonnement solaire global reçu sur une surface horizontale (direct +diffus).

L_{\uparrow} le rayonnement de grande longueur d'onde émis par le milieu,

L_{\downarrow} le rayonnement atmosphérique descendant (absorbé)

A)-Flux de chaleur anthropique : (F)

Selon tsoka .S (2011), la chaleur d'origine anthropique est celle générée par les différents moyens de transport, le secteur bâti, l'activité et le métabolisme humain. La chaleur anthropique est définie par l'équation suivante [Pigeon, 2007]:

$$F = F_V + F_B + F_h + F_{ind} \quad \text{W.m}^{-2} \quad (\text{formule V-3})$$

Où :

F_V ; chaleur anthropique générée par les voitures (en W/m^2)

F_B ; chaleur anthropique générée par les bâtiments (en W/m^2)

F_h ; chaleur anthropique générée par les Hommes (en W/m^2)

F_{ind} : chaleur anthropique générée par les industries (en W/m^2)

Sailor et Lu (2004) évaluent le terme de chaleur anthropique due à la circulation automobile suivant l'équation V-4 :

$$F_V = D_m \times F(h) \times \rho_{pop}(h) \times E \quad \text{W.m}^{-2} \quad (\text{formule V-4})$$

Où :

D_m : distance moyenne parcourue par personne et par jour (en m)

$F(h)$: fonction normalisée qui représente la charge horaire de trafic (en %)

$\rho_{pop}(h)$: densité de population horaire pour une certaine zone de la ville (en $\text{s}^{-1}.\text{m}^{-2}$)

E : énergie utilisée par mètre de trajet (J/m).

- **Remarque :**

Le quartier objet de notre étude n'est pas influencé par la chaleur anthropique générée par le centre-ville, puisqu'il est à une distance de 2 km du centre-ville. Donc le flux anthropique n'est pas calculé directement comme une source influente autonome, mais il est calculé implicitement dans le flux latent et sensible.

B)-Flux de chaleur sensible (G) :

Le flux de chaleur sensible (H) correspond au transfert de chaleur par convection entre la surface urbaine et l'air. À l'échelle urbaine la convection thermique est amplifiée par le vent. Les charges thermiques sensibles se calculent de façon simple en appliquant la formule suivante [lois de Newton] :

$$G = h_c (T_s - T_a) \quad \text{W.m}^{-2} \quad (\text{formule V-5})$$

T_s ; température du surface

T_a ; température de l'air en

h_c ; coefficient d'échange par convection ($\text{W/m}^2.\text{K}$). dans un cas d'un mur en contact avec l'air atmosphérique. $h_c : 5.7 + 3.8 v$.

C)-Flux de chaleur latente (LE) :

Un flux causé par le phénomène appelé l'évapotranspiration provenant de la végétation, elle résulte de l'évaporation de l'eau présente sur les espaces physiques (sol, feuilles, eau libre). On peut calculer le flux latent à l'aide de formule suivante [Luquet, 2002] :

$$LE = 0,827 \times V \times (r_{airExt} - r_{airInt}) \text{W.m}^{-2} \quad (\text{formule V-6})$$

Où :

r_{airExt} : humidité absolues de l'air extérieur, en gramme d'eau par kg d'air sec (g_{eau} / Kg_{air_sec})

r_{airInt} : humidité absolues de l'air intérieur

Pour calculer les charges thermiques pour la chaleur latente, il est nécessaire de connaître l'humidité absolue de l'air extérieur et de l'air intérieur. C'est la différence d'humidité absolue par le débit massique qui va donner la charge thermique latente. Pour pouvoir déterminer l'humidité absolue de l'air en fonction de sa température et de son hygrométrie, un diagramme de l'air humide peut être utilisé ou alors, passer par différentes formules. Pour ceci, il faut avoir la pression partielle de vapeur (P_v) de l'air en fonction de son hygrométrie et ceci en partant de sa pression de vapeur saturante (P_{vs}). Une des formules offrant de bons résultats est la suivante :

$$r = 0,6221 \times P_v / (P_0 - P_v), \text{ en Kg/Kgas}$$

Donc, la pression partielle de vapeur est :

$$P_v = P_{vs} \times HR, \text{ en Pa}$$

HR est le taux d'humidité relative de l'air (taux d'hygrométrie)

$$\text{pression de vapeur saturante } (P_{vs}) = 611 \times \text{EXP}(7,257 \times 10^{-2} \times T - 2,937 \times 10^{-4} \times T^2 + 9,81 \times 10^{-7} \times T^3 - 1,901 \times 10^{-9} \times T^4), \text{ en Pa}$$

P_0 étant la pression atmosphérique au niveau de la mer (niveau zéro) prise égale à 101200 Pa

- **Remarque :**

Le flux latent dans notre cas n'est pas pris en compte, en raison de l'absence d'espaces végétale ainsi que de l'effet de l'évaporation au niveau du sol presque nulle dans les zones au climat chaud et aride

D)-Flux de chaleur stocké dans les surfaces par conduction (H) :

Le flux de chaleur stocké est un élément fondamental dans la climatologie urbaine, mais il est difficile de mesurer la chaleur emmagasinée dans les zones urbaines, à cause de la complexité de 'la structure urbaine', de son élévation (espace 3D), de la diversité des matériaux avec différentes caractéristiques thermiques. La conduction est un phénomène de transmission de chaleur dans un corps ou entre des corps en contact, par l'action moléculaire. Cette transmission s'effectue de proche en proche, sans déplacement de matière et sans modifications des particules du ou des corps en présence.

Selon l'équation de Fourier (V-7), le flux de chaleur par conduction dans le sol (H) est proportionnel au gradient de température entre une profondeur de référence et la surface du sol, et à la conductivité thermique du sol.

$$H = -K (T_2 - T_1) / (Z_2 - Z_1) \quad \text{W.m}^{-2} \quad \text{(formule V-7)}$$

Où :

T_1 : température moins chaude (en K)

T_2 ; température plus chaude (en K)

Z_1, Z_2 : niveau de T_1 et T_2 respectivement (en m)

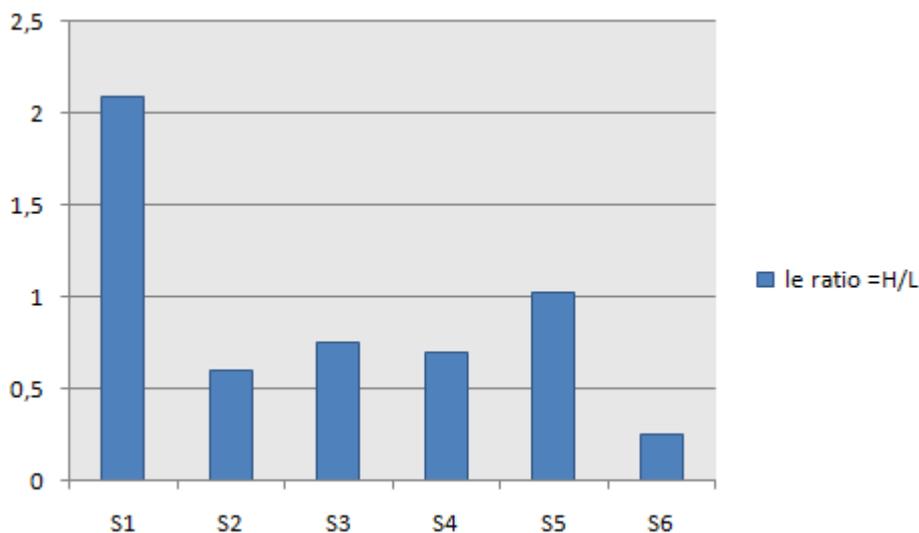
K . conductivité thermique du sol (W/m/K); le signe – indique le transfert dans la direction de la température décroissante

V-2-analyse des résultats et interprétations

V-2-1-Présentation des résultats d'évaluation des indicateurs morphologiques :

L'analyse des calculs relative aux indicateurs morphologiques permet d'aboutir aux résultats suivants :

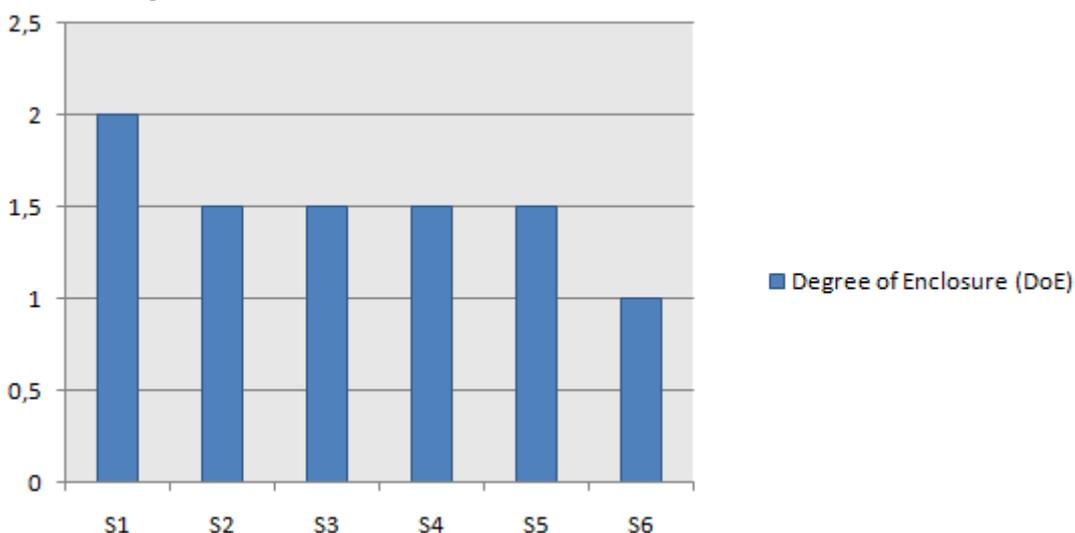
V-2-1-1-Le ratio H/L :



Graphe V-5 ; les différentes valeurs de H/L, en fonction des points de mesures fixes. Source : auteur.2016

Les résultats du calcul de cet indicateur indiquent une baisse de sa valeur à 0,25 dans la station 6, puisque l'espace est dégagé. Par ailleurs, les stations 2, 3, 4 et 5 présentent des valeurs élevées du ratio H/L, respectivement 0,61/0,75/0,70/1,02. En ce qui concerne la station 1 qui affiche une valeur élevée du ratio = 2,09, c'est-à-dire H/L (>1) puisque l'espace est une rue canyon.

V-2-1-2-Degree of Enclosure (DoE) :

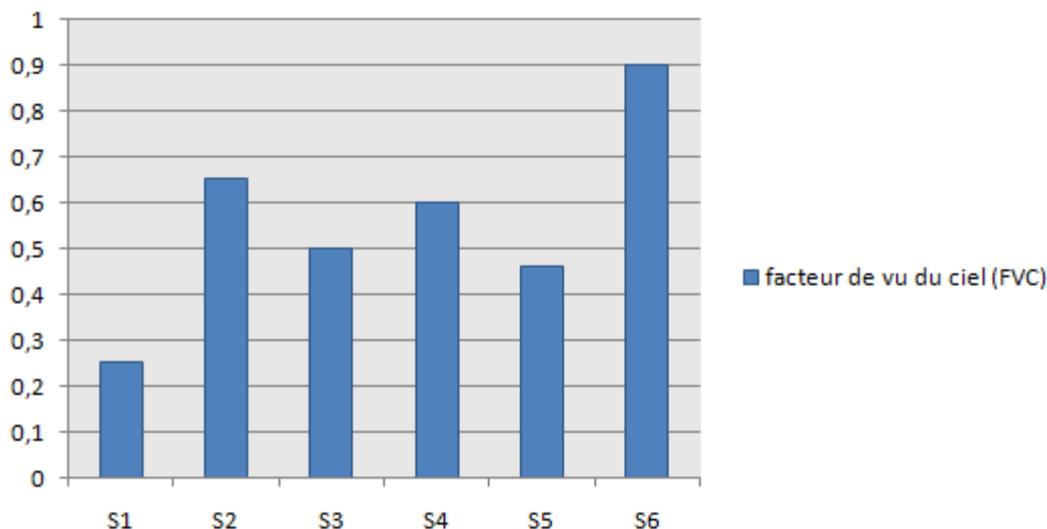


Graphe V-6 ; les différentes valeurs de DoE, en fonction des points de mesures fixes. Source : auteur.2016

Les résultats du calcul de cet indicateur révèlent que la station 1 présente des DoE très élevés (DoE=2) comparativement aux stations 6 et 2 qui affichent des valeurs plus basses (DoE= 1), en

raison de la typologie de l'espace de mesure (rue canyon pour la station 1, espace dégagé correspond aux stations 6 et 2). Tandis que les stations 3,4 et 5 affichent une valeur élevée de 1,5.

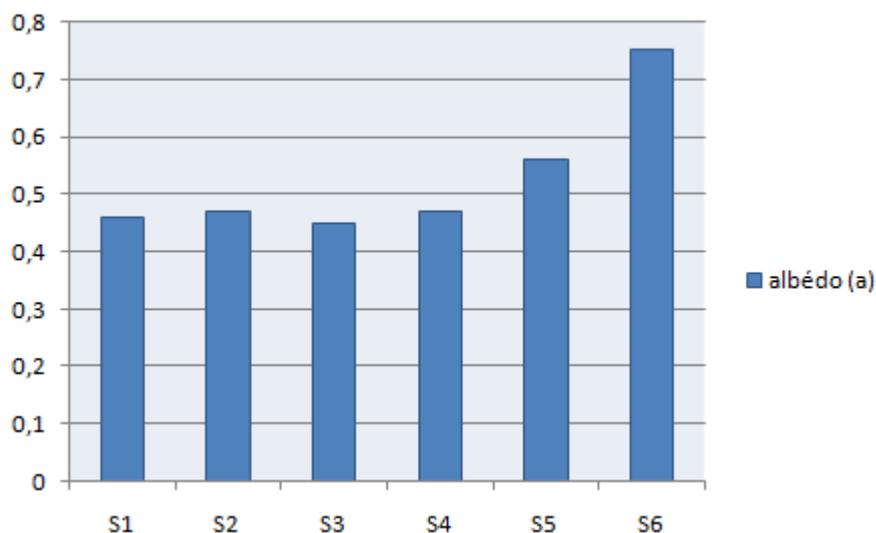
V-2-1-3-Le facteur de vu du ciel (FVC) :



Graphe V-7 ; les différentes valeurs de FVC, en fonction des points de mesures fixes. Source : auteur.2016

Les résultats de calcul de cet indicateur révèlent un écart important des valeurs entre les différents points de mesures (2, 3,4 ,5) qui affichent respectivement les valeurs (0,65/0,46/0,5/0,6). La station 6 (espace dégagé) possède le facteur de vue du ciel le plus élevé (0.9), dû particulièrement à l'absence d'obstructions minérales (murs, bâtiments... etc.) et végétales (arbres, haies ... etc.). Par ailleurs, la valeur la plus basse a été relevée dans la station 1 (0.25), à cause de l'obstruction minérale (rue canyon).

V-2-1-4-Albédo moyen des surfaces (a) :

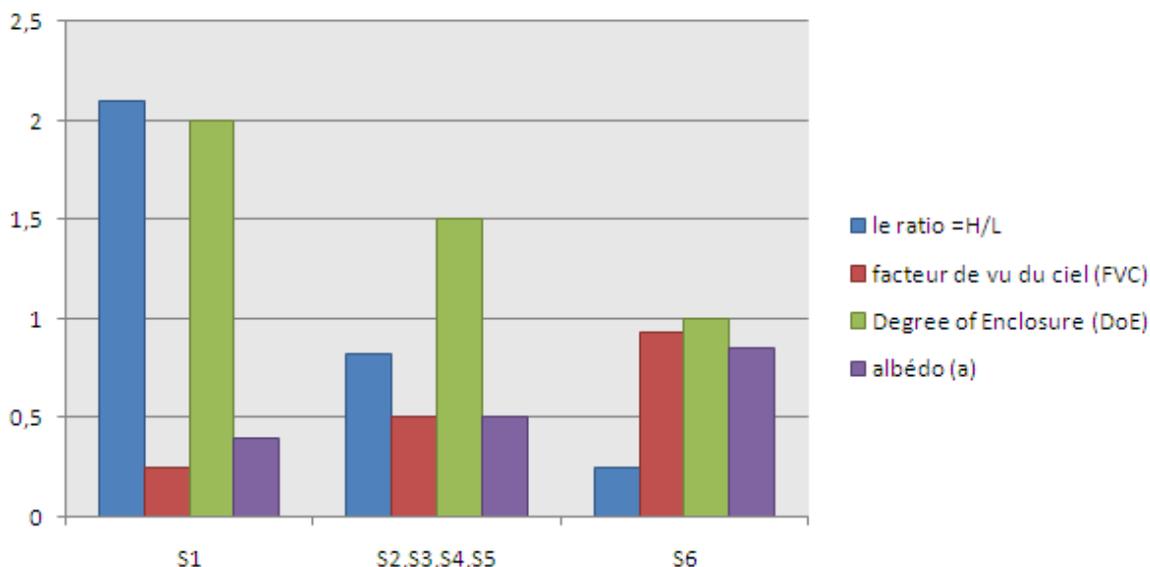


Graphe V-8 ; les différentes valeurs de Albédo, en fonction des points de mesures fixes. Source : auteur.2016

Les résultats de calcul indiquent des albédos faibles (environ de 0,5) dans les stations (1.2.3.4.5) avec des valeurs très proches respectivement de (0.46/0.47/0.45/0.47/0.56), dû particulièrement aux caractéristiques de faible réflexion du rayonnement solaire des matériaux de construction (béton, asphalte, brique rouge, brique en béton, céramique... etc.) des structures

entourant ces points de mesure. En revanche la station 6 révèle un albédo plus élevé $a = 0,75$, dû particulièrement à la façade de couleur claire causant une forte réflexion du rayonnement solaire.

Conclusion :

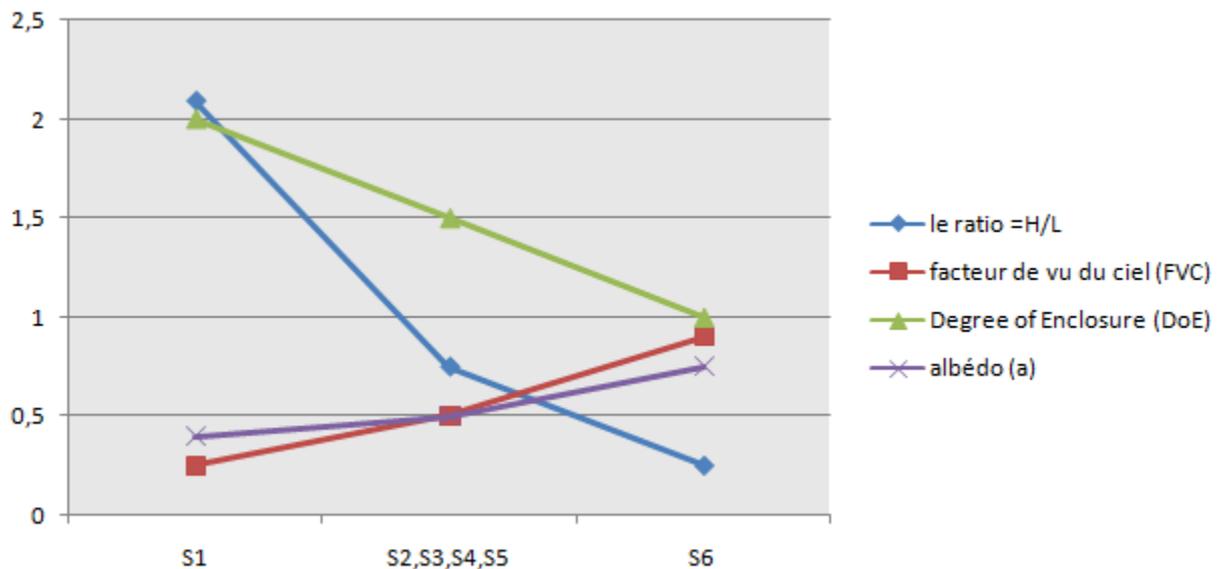


Graphique V-9 : graphe synthèse présente le rapport entre les différents indicateurs morphologiques.

Source ; auteur .2016

Les valeurs des indicateurs morphologiques ont été calculées à partir des relevés architecturaux et urbains, le calcul des indicateurs morphologiques a pour objectif de caractériser les différents points de mesures fixes (Graphique V-9). L'analyse des résultats de calcul permet d'aboutir aux conclusions suivantes :

- Le facteur de vu du ciel (FVC) calculé dans la station 6 est le plus élevé (0,90), tandis que la plus faible valeur de (0,25) est enregistrée dans la station 1. Les autres stations 2, 3, 4 et 5 présentent une valeur importante (la moyenne de 0.50).
- En ce qui concerne le DoE (degree of enclosure) ; la station 1 présente la valeur maximale de (2) et la valeur minimale de (1) a été calculé à la station 6, les autres stations 2, 3, 4 et 5 portent une valeur élevée de (1,5).
- Quant au ratio H/L, la station 1 présente la valeur la plus élevée (2,09), tandis que la station 6 indique une valeur de (0,25). Les autres stations 2.3.4.5 présentent une valeur moyenne élevée de (0,75).
- En ce qui concerne l'albédo moyen des surfaces, les résultats montrent que la valeur la plus élevée de (0,75) a été enregistrée à la station 6, tandis que les autres stations 1, 2, 3, 4 et 5 présentent une valeur relativement faible de (0,45).

Synthèse :

Graph V-10: graphe synthèse présente le rapport entre les différents indicateurs morphologiques. Source ; auteur .2016

Cet histogramme des courbes de corrélation des indicateurs morphologiques nous dévoile une ;

- 1- une corrélation inverse entre le facteur de vue de ciel (FVC) et l'albédo de surface, plus le (FVC) est grand plus l'albédo est faible c'est-à-dire que la surface absorbe le rayonnement, et vice –versa,
- 2- une corrélation linéaire entre le Degree of Enclosure (DoE) et le ratio (H/L), plus le (DoE) augmente plus le ratio (H/L) augmente à son tour.

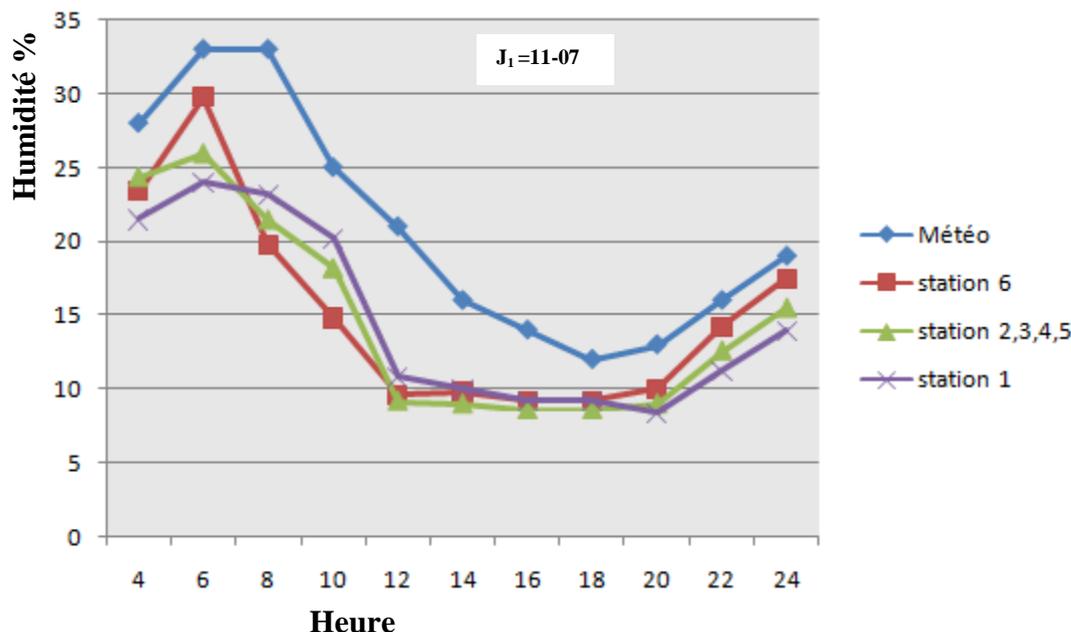
V-2-2-Présentation des résultats de mesures microclimatiques :

Jour 11/07/2016 ;

Considérée comme une journée typique d'été caractérisée par un pic de température atteignant l'après-midi une anomalie constante de 45 °C entre 14 h et 18 h, et une baisse de la température à environ 29-30 °C avant le lever du soleil entre 4 h et 6 h (sous les conditions d'un ciel clair et une faible vitesse du vent de 11-15 km/s du secteur NO-NE). Hormis quelques rafales chaudes instantanées pouvant atteindre une vitesse importante de 30-33 km/s l'après-midi (14 h-18 h).

Les graphes ci-dessous V11.12.13.14 présentent les résultats des mesures microclimatiques collectés dans les six points de mesures. Ils indiquent également les variations de chaque paramètre climatique au cours de la période d'expérimentation dans les stations de mesure (4 h-24 h). D'après ces graphes, on remarque que le milieu urbain influe sur les paramètres climatiques et induit un écart ΔT , ΔHr et ΔV entre les stations de mesures et celles de la station météo :

V-2-2-1-Variabilité de l'humidité dans les stations de mesures :



Graphes V-11 : le pourcentage de l'humidité dans les stations de mesures. Source : Auteur 2016

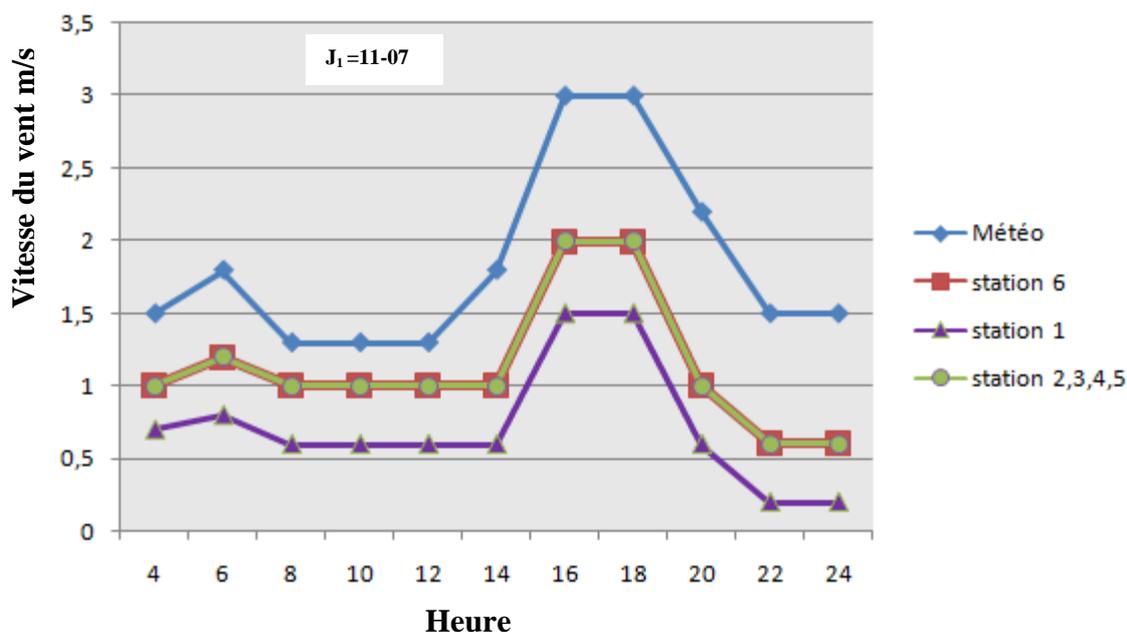
– Avant le lever de soleil de 4.00h-6.00h : le graphe indique un pourcentage d'humidité dans la station 6 de 29,8 % (avec un écart $\Delta Hr_{\text{météo}6.00h-33\%} = 3,2 \%$), il est supérieur à celui enregistré dans la station 1 avec une valeur de 24 % (avec un écart $\Delta Hr_{\text{météo}6.00h-33\%} = 9 \%$). Tandis que dans les stations 2, 3, 4 et 5, les mesures montrent une valeur de 26 % (avec un écart $\Delta Hr_{\text{météo}6.00h-33\%} = 7 \%$).

– Après le lever du soleil de 8.00h-12.00h, le pourcentage d'humidité dans la station 1 est de 20,2 % (avec un écart $\Delta Hr_{\text{météo}10.00h-25\%} = 4,8 \%$), il est supérieure à celui enregistré dans la station 6 avec une valeur de 14,8 % (avec un écart $\Delta Hr_{\text{météo}10.00h-25\%} = 10,2 \%$) dû à l'évaporation lors de l'excès d'exposition au soleil, car l'espace est dégagé. Tandis que, la station 1 (rue canyon) maintient la fraîcheur, en ce qui concerne, les stations 2,3, 4 et 5 on enregistre une valeur élevée de 18,2 % (avec un écart $\Delta Hr_{\text{météo}10.00h-25\%} = 6,8 \%$).

– Après-midi de 12.00h-18.00h : le pourcentage d'humidité baisse à une valeur minimale par rapport à celle de la matinée, presque toutes les stations présentent des taux d'humidité proches. Pour la station 1, sa mesure révèle une valeur de 10 % (avec un écart $\Delta Hr_{\text{météo}14.00h-16\%} = 6 \%$) comparativement à la station 6 qui a une valeur de 9,8 % (avec un écart $\Delta Hr_{\text{météo}14.00h-16\%} = 6,2 \%$). Tandis que, les stations 2, 3, 4 et 5 ont enregistré une valeur d'environ 9 % (avec un écart $\Delta Hr_{\text{météo}14.00h-16\%} = 7 \%$).

– Après le coucher du soleil de 20.00h-24.00h : le pourcentage d'humidité augmente avec la baisse de la température de l'air. La station 6 enregistre une valeur maximale de 17,5 % (avec un écart $\Delta Hr_{\text{météo}24.00h-19\%} = 1,5 \%$). Tandis que, la station 1 indique une mesure minimale de 14 % (avec un écart $\Delta Hr_{\text{météo}24.00h-19\%} = 5 \%$). En ce qui concerne les autres stations 2, 3, 4 et 5 l'humidité est importante atteignant la valeur de 15,5 % (avec un écart $\Delta Hr_{\text{météo}24.00h-19\%} = 3,5 \%$).

V-2-2-2-Variabilité du vent dans les stations de mesures :



Graphe V-12 : la vitesse du vent dans les stations de mesures. Source : Auteur 2016

La vitesse du vent est variable dans toutes les stations, les mesures révèlent une valeur élevée (0.8-1.2m/s) avant le lever du soleil vers 6 h. Ensuite, après le lever du soleil la vitesse diminue à une valeur de (0.6-1m/s). Par contre, l'après-midi entre 16.00h-18.00h, la vitesse du vent augmente et atteint une valeur maximale de (1.5-2 m/s), et après le coucher du soleil la vitesse du vent diminue à une valeur de (0.6-1m/s).

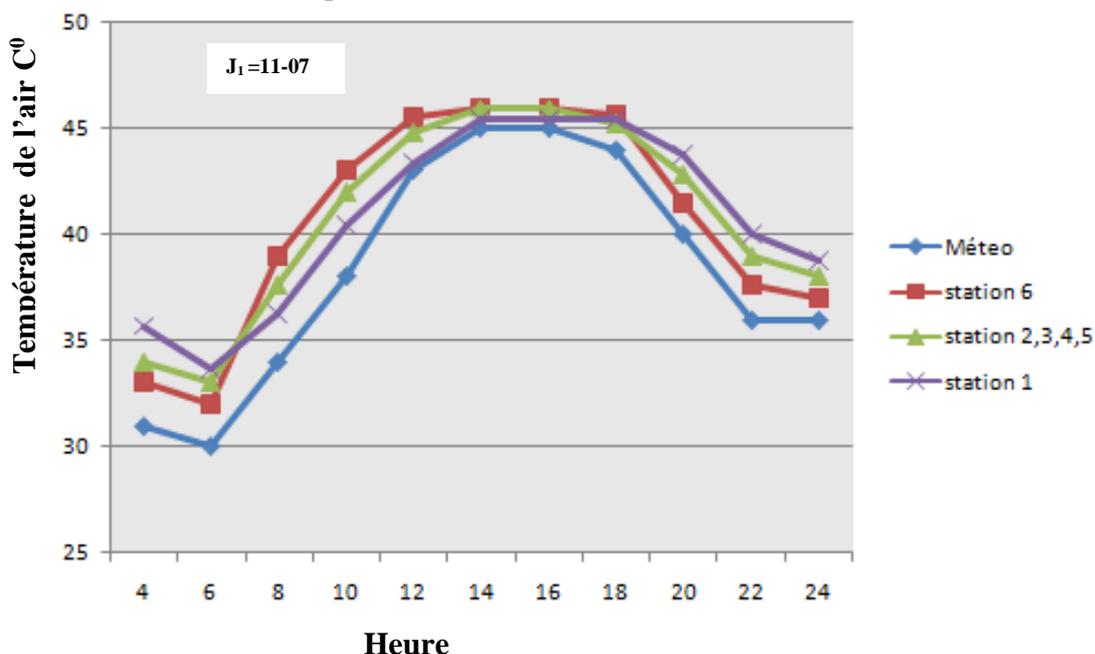
– Avant le lever du soleil de 4.00h -6,00 h : la station 1 a enregistré une vitesse du vent faible orienté NO, d'une valeur minimale égale à 0,8 m/s (avec un écart $\Delta V_{\text{météo}6.00\text{h}-1.8\text{m/s}} = 1\text{m/s}$). Par ailleurs dans les stations 2, 3, 4, 5 et 6 on a enregistré une vitesse du vent élevée de 1,2 m/s (avec un écart $\Delta V_{\text{météo}6.00\text{h}-1.8\text{m/s}} = 0,6\text{ m/s}$).

– Après le lever du soleil de 8.00h-12.00h : la station 1 a enregistré une vitesse du vent faible d'une valeur de 0,6 m/s (avec un écart $\Delta V_{\text{météo}10.00\text{h}-1.3\text{m/s}} = 0,7\text{ m/s}$). Tandis que les stations 2, 3, 4, 5 et 6 ont enregistré une valeur élevée de 1 m/s (avec un écart $\Delta V_{\text{météo}6.00\text{h}-1.3\text{m/s}} = 0,3\text{ m/s}$).

– Après – midi de 12.00h-18.00h : la station 1 enregistre une vitesse du vent faible et chaud, orienté ONO-NE, d'une valeur de 1,5 m/s (avec un écart $\Delta V_{\text{météo}16.00\text{h}-3\text{m/s}} = 1,5\text{ m/s}$). Tandis que les stations 2, 3, 4, 5 et 6 ont enregistré une valeur élevée de 2 m/s (avec un écart $\Delta V_{\text{météo}16.00\text{h}-3\text{m/s}} = 1\text{ m/s}$).

– Après le coucher du soleil de 20.00h-24.00h : la station 1 enregistre une vitesse du vent faible de 0,2 m/s (avec un écart $\Delta V_{\text{météo}24.00\text{h}-1.5\text{m/s}} = 1,3\text{ m/s}$). Tandis que les stations 2, 3, 4, 5 et 6 indiquent une valeur de 0,6 m/s (avec un écart $\Delta V_{\text{météo}24.00\text{h}-1.5\text{m/s}} = 0,9\text{ m/s}$).

V-2-4 Variabilité de la température de l'air dans les stations de mesures :



Graphique V-13 : la température de l'air dans les stations de mesures. Source : Auteur 2016

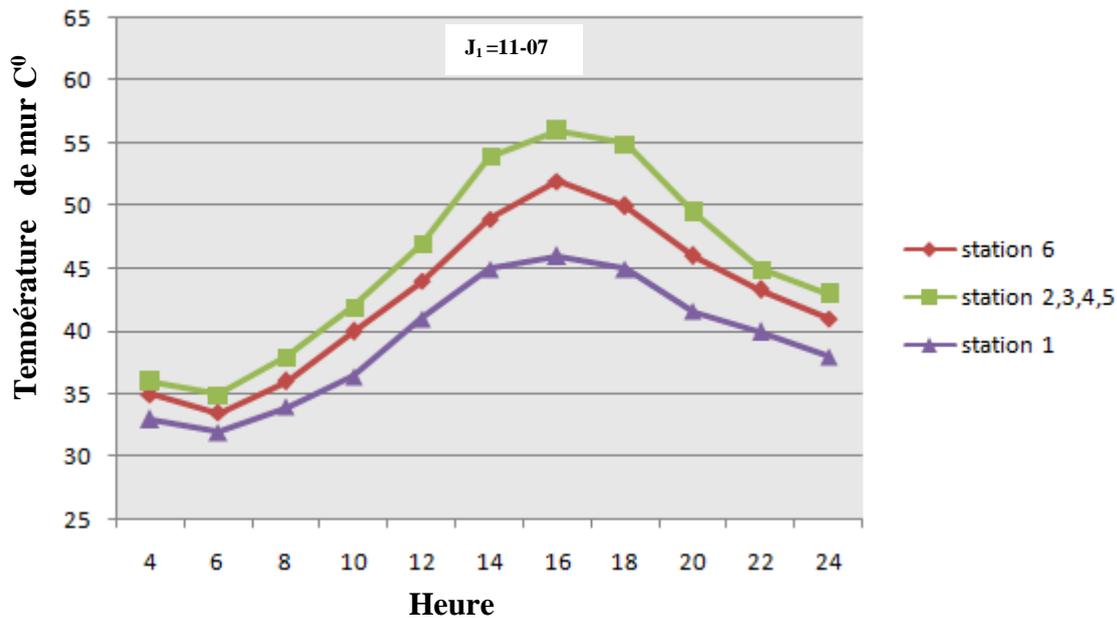
– Avant le lever du soleil de 4.00h-6.00h ; la station 1 enregistre une température d'air maximale de 33,7 °C (avec $\Delta T_{\text{Météo } 6,00 \text{ h } -30 \text{ °C}} = 3,7 \text{ °C}$), dû à l'effet de piégeage radiatif dans la rue canyon. Tandis que dans la station 6, on enregistre une température minimale de 32 °C (avec $\Delta T_{\text{Météo } 6,00 \text{ h } -30 \text{ °C}} = 2 \text{ °C}$). En ce qui concerne les stations 2, 3, 4 et 5, les mesures révèlent des valeurs élevées estimées à 33 °C (avec $\Delta T_{\text{Météo } 6,00 \text{ h } -30 \text{ °C}} = 3 \text{ °C}$).

– Après le lever du soleil de 8,00 h -12,00 h : la température maximale de l'air a été enregistrée dans la station 6, car l'espace est ouvert et permet un accès plus important des rayons solaires, avec une valeur de 43 °C (avec $\Delta T_{\text{Météo } 10,00 \text{ h } -38 \text{ °C}} = 5 \text{ °C}$). Tandis que la température minimale a été enregistrée dans la station 1 puisque l'espace est fermé (rue canyon), avec une valeur de 40,4 °C (avec $\Delta T_{\text{Météo } 10,00 \text{ h } -38 \text{ °C}} = 2,4 \text{ °C}$). Les stations 2, 3, 4 et 5 ont enregistré des valeurs élevées d'environ 42 °C (avec $\Delta T_{\text{Météo } 10,00 \text{ h } -38 \text{ °C}} = 4 \text{ °C}$).

– Après midi de 12.00h-18.00h : la température de l'air augmente et reste constante dans toutes les stations atteignant dans la station 1 le pic de 45,4 °C avec $\Delta T_{\text{Météo } 14,00 \text{ h } -45 \text{ °C}} = 0,4 \text{ °C}$ et un pic de 46 °C dans toutes les stations 2.3.4.5.6 avec $\Delta T_{\text{Météo } 14,00 \text{ h } -45 \text{ °C}} = 1 \text{ °C}$. Ce pic reste constant durant les heures critiques, allant de 12.00h-16.00h.

–Après le coucher du soleil de 20.00h-24.00h : la température maximale de l'air a été enregistrée dans la station 1 avec une valeur de 38,8 °C (avec $\Delta T_{\text{Météo } 24,00 \text{ h } -36 \text{ °C}} = 2,8 \text{ °C}$). Tandis que la station 6 a enregistré une valeur minimale de la température de l'air de 37 °C (avec $\Delta T_{\text{Météo } 24,00 \text{ h } -36 \text{ °C}} = 1 \text{ °C}$). En ce qui concerne les stations 2, 3, 4 et 5, les mesures révèlent des valeurs élevées d'environ 38 °C (avec un écart $\Delta T_{\text{Météo } 24,00 \text{ h } -36 \text{ °C}} = 2 \text{ °C}$).

V-2-2-4-Variabilité de la température surfacique (mur) dans les stations de mesures



Graphique V-14 : la température de mur dans les stations de mesures. Source : Auteur 2016

La température de mur dans la station 1 est la plus faible, cela est dû à la rue étroite ce qui minimise l'accès du rayonnement solaire. Tandis que la température la plus élevée a été enregistrée aux stations 2, 3, 4 et 5, en revanche la station 6 bien qu'elle soit dans un espace dégagé (une cour) enregistre des valeurs de températures faibles à cause de la couleur claire de la façade (l'albédo des matériaux élevé) ;

– Avant le lever du soleil de 4.00h-6.00h : la température de mur est faible dans la station 1 indiquant une valeur de 32 °C. Tandis que les stations 2, 3, 4 et 5 ont enregistré une valeur élevée de 35 °C. Tandis que, la station 6 a enregistré une valeur élevée de 33,5 °C. Cela veut dire que la surface urbaine (mur) emmagasine la chaleur pendant la journée et la restitue lentement durant la nuit.

$$- T_{\text{mur}(1)} : 32 \text{ } ^\circ\text{C}, \Delta T / \text{Météo} 6.00\text{h}-30\text{C} = 2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{mur}(2,3,4,5)} : 35 \text{ } ^\circ\text{C}, \Delta T / \text{Météo} 6.00\text{h}-30\text{C} = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$- T_{\text{mur}(6)} = 33,5 \text{ } ^\circ\text{C}, \Delta T / \text{Météo} 6.00\text{h}-30\text{C} = 3,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

– Après le lever du soleil de 8.00h-12.00h : la température du mur dans toutes les stations va augmenter graduellement jusqu'à l'après-midi plus particulièrement aux heures critiques, allant de 12.00h-16.00h.

– Après midi de 12.00h-18.00h : la température de mur va s'élever très rapide atteignant le pic de 52 °C vers 16,00 h dans la station 6, les stations 2, 3, 4 et 5 affichent une valeur de 56 °C et une valeur de 46 °C dans la station 1 :

$$- \text{Pic}_{(2,3,4,5)} : 56 \text{ } ^\circ\text{C}, \Delta T / \text{Météo} 16.00\text{h}-45\text{C} = 11 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$- \text{Pic}_{(6)} : 52 \text{ } ^\circ\text{C}, \Delta T / \text{Météo} 16.00\text{h}-45\text{C} = 7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$- \text{Pic}_{(1)} = 46 \text{ } ^\circ\text{C}, \Delta T / \text{Météo} 16.00\text{h}-45\text{C} = 1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

– Après le coucher du soleil de 20.00h-24.00h : la température de mur va diminuer jusqu'à minuit (24,00 h) mais reste importante atteignant la valeur de 38 °C dans la station 1, une valeur de 41 °C dans la station 6 et une valeur de 43 °C dans les stations 2, 3, 4 et 5.

$$- T_{\text{mur}(1)} : 38 \text{ } ^\circ\text{C}, \Delta T / \text{Météo} 24.00\text{h}-36\text{C} = 2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$-T_{\text{mur}(6)} = 41 \text{ }^{\circ}\text{C}, \Delta T_{\text{Météo } 24.00\text{h}-36\text{C}} = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$-T_{\text{mur } (2.3.4.5)} = 43 \text{ }^{\circ}\text{C}, \Delta T_{\text{Météo } 24.00\text{h}-36\text{C}} = 7 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Comme conclusion, en premier lieu on remarque que les murs restent plus chauds après le coucher du soleil et jusqu'avant le lever de soleil, car les murs emmagasinent la chaleur durant le jour et la restituent lentement durant la nuit. En second lieu, on remarque aussi l'effet de la couleur sur la température du mur. Le gain solaire dans les heures critiques, allant de 12.00h-16.00h (voir tableau V-1) est plus grand d'environ $+9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ avec $T_{\text{max mur}} = 56 \text{ }^{\circ}\text{C}$ dans les stations 2, 3, 4 et 5, puisque les murs sont en briques de béton brutes et d'une couleur sombre (gris). Tandis que la station 6 révèle un gain solaire minime d'une valeur de $+8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ avec $T_{\text{max mur}} = 52 \text{ }^{\circ}\text{C}$, puisque la couleur de la façade est clair (jaune clair). Donc le gain solaire avant le lever du soleil pour le mur sombre $+7 \text{ }^{\circ}\text{C}$, mais dans un mur clair il est de $+5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, avec écart de gain solaire entre le mur de couleur claire et l'autre de couleur sombre égale à $\Delta T_{\text{gain solaire}} = 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

heurs	Stations (2.3.4.5) les murs sont en brique de béton brut et du couleur sombre (gris)		Stations (6) la couleur de façade est clair (jaune clair)	
	Tmoy	Gain mur	Tmoy	Gain mur
4(12.07.16)	36	-----	35	-----
8	38	+2	36	+1
12 (heur critique)	47	+9	44	+8
16(heur critique)	56	+9	52	+8
20	50	-6	46	-6
24	43	-7	41	-6
	/	+7	/	+5

Tableau V-1 : Évolution le gain solaire des murs. Source ; auteur.2016

Conclusion :

Avant le lever du soleil de 4.00h-6.00h ; la station 1 a enregistré une température d'air maximale de $33,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (avec $\Delta T_{\text{Météo } 6.00\text{h } -30 \text{ }^{\circ}\text{C}} = 3,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$), due à l'effet de piégeage radiatif dans la rue canyon. Le pourcentage d'humidité est faible de 24 % (avec un écart $\Delta Hr_{\text{météo } 6.00\text{h}-33\%} = 9 \%$), et la vitesse du vent également faible de 0,8 m/s (avec un écart $\Delta V_{\text{météo } 6.00\text{h}-1.8\text{m/s}} = 1\text{m/s}$). Tandis que la station 6 a enregistré une température d'air minimale d'une valeur de $32 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (avec un écart $\Delta T_{\text{Météo } 6.00\text{h } -30 \text{ }^{\circ}\text{C}} = 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$), une valeur maximale d'humidité égale à 29,8 % (avec un écart $\Delta Hr_{\text{météo } 6.00\text{h}-33\%} = 3,2 \%$) et une vitesse du vent élevée égale à 1,2 m/s (avec un écart $\Delta V_{\text{météo } 6.00\text{h}-1.8\text{m/s}} = 0,6 \text{ m/s}$).

Par ailleurs pour les stations 2, 3, 4 et 5, les mesurent révèlent des valeurs élevées de températures de l'air aux alentours de $33 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (avec $\Delta T_{\text{Météo } 6.00\text{h } -30 \text{ }^{\circ}\text{C}} = 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$), et des valeur élevées du taux d'humidité estimées à 26 % (avec un écart $\Delta Hr_{\text{météo } 6.00\text{h}-33\%} = 7 \%$), ainsi qu'une vitesse du vent importante de 1,2 m/s (avec un écart $\Delta V_{\text{météo } 6.00\text{h}-1.8\text{m/s}} = 0,6 \text{ m/s}$).

En ce qui concerne la température de mur, on a enregistré une valeur faible d'environ $32 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\Delta T_{\text{Météo } 6.00\text{h}-30 \text{ }^{\circ}\text{C}} = 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$) dans la station 1 et une valeur maximale égale à $35 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\Delta T_{\text{Météo } 6.00\text{h}-30 \text{ }^{\circ}\text{C}} = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$) dans les stations 2, 3, 4 et 5, ainsi qu'une valeur élevée de $33,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\Delta T_{\text{Météo } 6.00\text{h}-30 \text{ }^{\circ}\text{C}} = 3,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$) dans la station 6, malgré une température d'air minimale, avant le lever du soleil, avec une valeur de $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Ce qui indique que la surface urbaine emmagasine la chaleur et la restitue lentement durant la nuit.

– Après le lever du soleil de 8.00h-12.00h : la station 1 a enregistré une température d'air minimale de 40,4 °C (avec $\Delta T_{\text{Météo } 10.00h -38 \text{ °C}} = 2,4 \text{ °C}$) et un pourcentage d'humidité maximum de 20,2 % (avec un écart $\Delta Hr_{\text{météo}10.00h-25\%} = 4,8 \text{ \%}$) et une faible vitesse du vent égale à 0,6 m/s (avec un écart $\Delta V_{\text{météo}10.00h-1.3m/s} = 0,7 \text{ m/s}$), car la station 1 est localisée dans une rue canyon. Tandis que, la station 6 a enregistré une température d'air maximale de 43 °C (avec $\Delta T_{\text{Météo } 10.00h -38 \text{ °C}} = 5 \text{ °C}$), puisque l'espace est ouvert et permet un accès important des rayons solaires. Le pourcentage d'humidité est à une valeur minimale de 14,8 %, avec un écart $\Delta Hr_{\text{météo}10.00h-25\%} = 10,2 \text{ \%}$) et une vitesse du vent élevée de 1 m/s (avec un écart $\Delta V_{\text{météo}6.00h-1.3m/s} = 0,3 \text{ m/s}$).

Par ailleurs, les stations 2, 3, 4 et 5, affichent les valeurs suivantes ; une température d'air élevée de 42 °C (avec $\Delta T_{\text{Météo } 10.00h -38 \text{ °C}} = 4 \text{ °C}$), une valeur d'humidité importante de 18,2 % (avec un écart $\Delta Hr_{\text{météo}10.00h-25\%} = 6,8 \text{ \%}$), ainsi qu'une vitesse du vent élevée de 1 m/s (avec un écart $\Delta V_{\text{météo}6.00h-1.3m/s} = 0,3 \text{ m/s}$). En ce qui concerne la surface urbaine (mur) dans toutes les stations, elle va augmenter graduellement jusqu'à l'après-midi 12,00 h.

– Après midi de 12.00h-18.00h : la température de l'air augmente et reste constante dans toutes les stations atteignant dans la station 1 le pic de 45,4 °C (avec $\Delta T_{\text{Météo } 14.00h -45 \text{ °C}} = 0,4 \text{ °C}$) et un pic de 46 °C dans le reste des stations (2, 3, 4, 5 et 6) (avec $\Delta T_{\text{Météo } 14.00h -45 \text{ °C}} = 1 \text{ °C}$), ces pics se maintiennent durant les heures critiques, allant de 12.00h-16.00h. Le taux d'humidité dans la station 1 reste faible avec une valeur égale à 10 % (avec un écart $\Delta Hr_{\text{météo}14.00h-16\%} = 6 \text{ \%}$) et un vent chaud avec une vitesse faible, d'une valeur minimale égale à 1,5 m/s (avec un écart $\Delta V_{\text{météo}16.00h-3m/s} = 1.5m/s$). Tandis que, dans la station 6, les mesures indiquent une valeur d'humidité de 9,8 % (avec un écart $\Delta Hr_{\text{météo}14.00h-16\%} = 6,2 \text{ \%}$), et une vitesse du vent élevée de 2 m/s (avec un écart $\Delta V_{\text{météo}16.00h-3m/s} = 1 \text{ m/s}$).

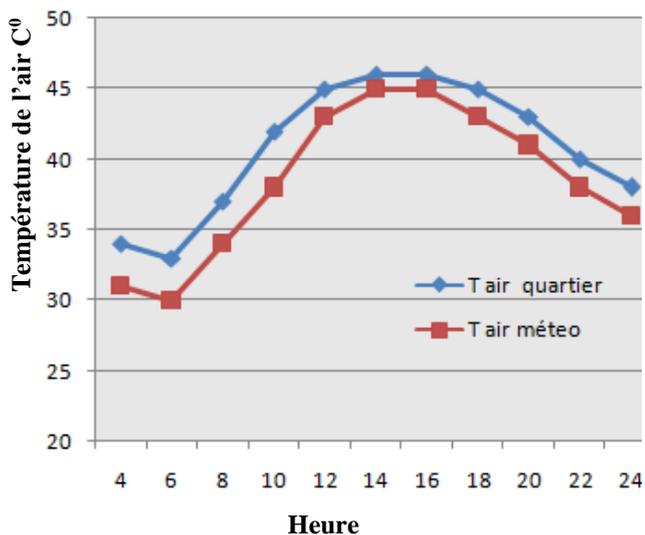
Par ailleurs, les stations 2, 3, 4 et 5 ont enregistré une valeur minimale d'humidité d'environ 9 % (avec un écart $\Delta Hr_{\text{météo}14.00h-16\%} = 7 \text{ \%}$), et une vitesse du vent élevée de 2 m/s (avec un écart $\Delta V_{\text{météo}16.00h-3m/s} = 1m/s$). En ce qui concerne la température de mur, elle s'élève très rapide dans les heures critiques, entre 12.00h-16.00h atteignant le pic de 56 °C (avec $\Delta T_{\text{Météo}16.00h-45C} = 11 \text{ °C}$) dans les stations 2, 3, 4 et 5 .Le pic de température est de 52 °C (avec $\Delta T_{\text{Météo } 14.00h-45 \text{ °C}} = 7 \text{ °C}$) dans la station 6 .Tandis que, dans la station 1 le pic de température est de 46 °C (avec $\Delta T_{\text{entre station } (1/2, 3,4,5,6)} = 1 \text{ °C}$). Ces différences entre les stations sont causées par l'effet des propriétés thermiques et de la couleur des matériaux.

– Après le coucher du soleil de 20.00h-24.00h : la température d'air maximale enregistrée dans la station 1 est de 38,8 °C (avec $\Delta T_{\text{Météo } 24.00h -36 \text{ °C}} = 2,8 \text{ °C}$), et une valeur minimale d'humidité égale à 14 % (avec un écart $\Delta Hr_{\text{météo}24.00h-19\%} = 5 \text{ \%}$), ainsi qu'une vitesse du vent faible de 0,2 m/s (avec un écart $\Delta V_{\text{météo}24.00h-1.5m/s} = 1,3 \text{ m/s}$). Tandis que, la station 6 enregistre une température d'air minimale de 37 °C (avec $\Delta T_{\text{Météo } 24.00h -36 \text{ °C}} = 1 \text{ °C}$), et une valeur d'humidité maximale de 17,5 % (avec un écart $\Delta Hr_{\text{météo}24.00h-19\%} = 1,5 \text{ \%}$), ainsi une valeur du vent égale à 0,6 m/s (avec un écart $\Delta V_{\text{météo}24.00h-1.5m/s} = 0,9 \text{ m/s}$). Par ailleurs, pour les stations 2, 3, 4 et 5, les mesures révèlent des valeurs élevées des températures de l'air de l'ordre de 38 °C (avec un écart $\Delta T_{\text{Météo } 24.00h -36 \text{ °C}} = 2 \text{ °C}$), et un taux d'humidité élevé d'environ 15,5 % (avec un écart $\Delta Hr_{\text{météo}24.00h-19\%} = 3,5 \text{ \%}$), ainsi qu'une vitesse du vent de 0,6 m/s (avec un écart $\Delta V_{\text{météo}24.00h-1.5m/s} = 0,9 \text{ m/s}$).

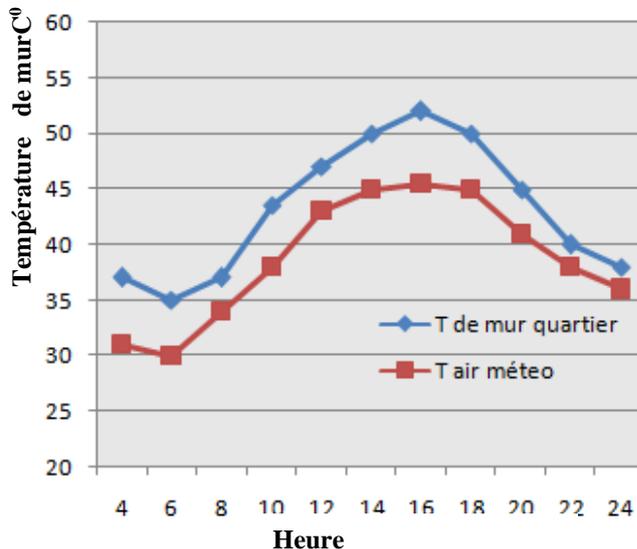
En ce qui concerne la température de mur, elle diminue jusqu'à minuit (24,00 h), puis se stabilise à une valeur élevée de 38 °C (avec $\Delta T_{\text{Météo}24.00h-36 \text{ °C}} = 2 \text{ °C}$) dans la station 1, et une valeur de 41 °C

(avec $\Delta T_{\text{Météo } 24.00\text{h-}36\text{C}}=5\text{ }^{\circ}\text{C}$) dans la station 6, ainsi qu'une valeur de $43\text{ }^{\circ}\text{C}$ (avec $\Delta T_{\text{Météo } 24.00\text{h-}36\text{ }^{\circ}\text{C}}=7\text{ }^{\circ}\text{C}$) dans les stations 2, 3, 4 et 5.

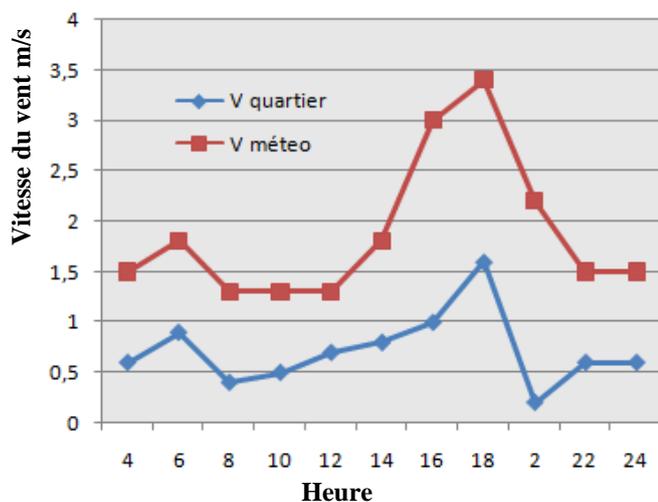
Synthèse :



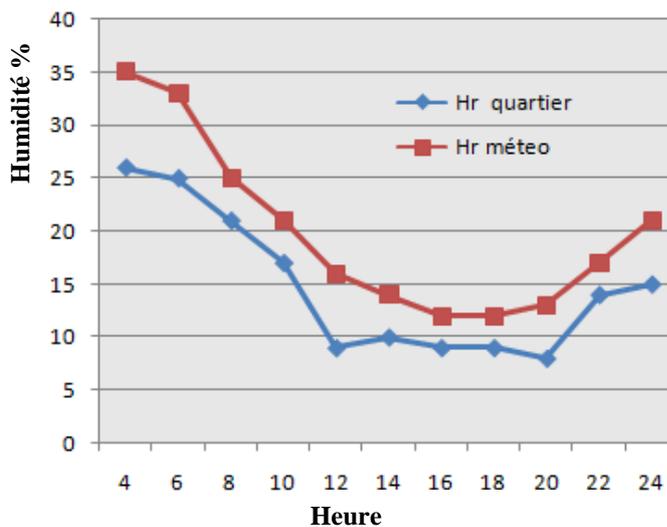
La température d'air collectée dans le quartier et celle enregistrée dans la station météorologique



La température de mur collectée dans le quartier et celle enregistrée dans la station météorologique



La vitesse du vent collectée dans le quartier et celle enregistrée dans la station météorologique



L'humidité collectée dans le quartier et celle enregistrée dans la station météorologique

Les graphes ci-dessus présentent l'écart des paramètres climatiques mesurés dans les stations de quartier et ceux enregistrés dans la station météo. Donc, les résultats des mesures prouvent l'existence d'une influence substantielle de la structure urbaine sur les paramètres microclimatiques.

On remarque que les fluctuations, de l'humidité et de la vitesse du vent, mesurées dans le quartier sont inférieures à celles enregistrées dans la station météorologique, cela est dû au manque de végétation ainsi qu'à la mauvaise orientation des rues par rapport aux vents dominants. Tandis que, les températures de l'air et des murs dans le quartier sont supérieures à ceux enregistrés par la

station météorologique, cet écart de température entre le quartier et le site suburbain est très significatif et influence directement le besoin en énergie électrique. Les paragraphes suivants expliquent le comportement thermique extérieur :

– Avant le lever du soleil (4 h - 6 h), la température de l'air enregistrée dans le quartier est de **33 °C** avec un écart $\Delta T/\text{Météo}$ (6.00h-30 °C) = **3 °C**. En ce qui concerne l'humidité, elle est à un maximum de **25 %**, avec un écart $\Delta Hr/\text{Météo}$ (6.00h-33%) = **8 %**, le vent est faible, avec une valeur de **0,9 m/s** avec un écart $\Delta V/\text{Météo}$ (6.00h-1.8m/s) = **0,9 m/s**. Pendant ce temps et malgré une température d'air avant le lever du soleil faible égale à **30 °C**, la température de mur reste plus élevée que celle de la température de l'air, on enregistre une valeur de **35 °C** avec un écart $\Delta T_{\text{mur}}/\text{Météo}$ 6.00h-30 °C = **5 °C**, car les murs emmagasinent la chaleur et la restituent lentement la nuit.

– Du lever du soleil et jusqu'à l'après-midi (8 h-16 h), la température de l'air dans le quartier va connaître une augmentation importante atteignant le pic **46 °C**, durant les heures critiques, entre 12 h-16 h, avec un écart $\Delta T/\text{Météo}$ (14.00h-45 °C) = **1 °C**, à ce moment-là, le pourcentage d'humidité est à son minimum dans le quartier, d'une valeur de **10 %** avec un $\Delta Hr/\text{Météo}$ (14%-14.00h) = **4 %**, quant au vent, il est chaud avec une vitesse de **0,8 m/s** avec un $\Delta V/\text{Météo}$ (14.00h-1.8m/s) = **1 m/s**.

La température de mur va s'élever très rapidement et atteindre le pic de **52 °C** durant les heures critiques (12 h-16 h) avec un écart $\Delta T_{\text{mur}}/\text{Météo}$ 16.00h-45 °C = **7 °C** et un gain de **+8 °C**, pouvant aller à **+9 °C**.

– Après le coucher du soleil (20 h-24 h), la température de l'air dans le quartier diminue, atteignant la valeur de **38 °C** avec un écart $\Delta T/\text{Météo}$ (24.00h-36 °C) à **2 °C**. Pour ce qui est de l'humidité, elle est de **15 %** avec un écart $\Delta Hr/\text{Météo}$ (24.00h-21%) égal à **6 %**, la vitesse du vent est très faible de l'ordre de **0,6 m/s** dans le quartier, avec un écart de $\Delta V/\text{Météo}$ (24.00h-1.5m/s) égal à **0,9 m/s**. De son côté, la température de mur décroît, mais reste aux environs de **38 °C**, jusqu'à minuit (24 h) avec un écart $\Delta T_{\text{mur}}/\text{Météo}$ 24.00h-36 °C = **2 °C**, et le gain solaire dans les murs entre **+5 et +7 °C**. C'est la restitution de la chaleur emmagasinée pendant la journée par la surface urbaine et ce, jusqu'au lever du soleil.

Selon les données microclimatiques collectées dans la zone urbaine et celles enregistrées dans la station météo, nous observons les écarts de températures suivants :

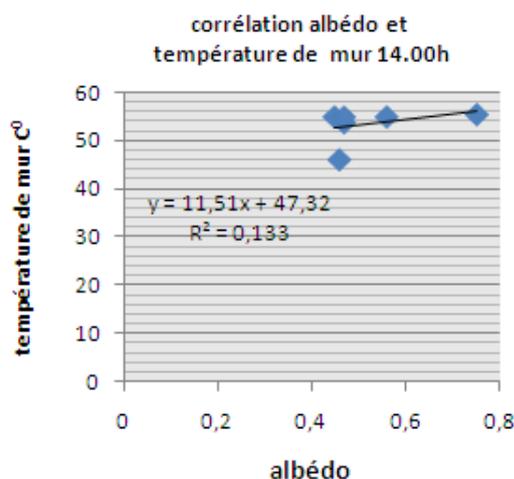
- Avant le lever du soleil, de 4 h-6 h ; $\Delta T/\text{Météo}$ (6.00h-30 °C) = **3 °C**
- Du lever du soleil et jusqu'à l'après-midi (8 h-16 h) $\Delta T/\text{Météo}$ (14.00h-45 °C) = **1 °C**
- Après le coucher de soleil (20 h-24 h) : $\Delta T/\text{Météo}$ (24.00h-36 °C) à **2 °C**.

On constate que le phénomène de l'îlot de chaleur urbain est un phénomène nocturne qui apparaît la nuit. Puisque, la ville reste chaude à cause de l'effet de restitution de la chaleur durant la nuit par les matériaux constituant les façades des immeubles ainsi que le revêtement du sol et par la morphologie urbaine.

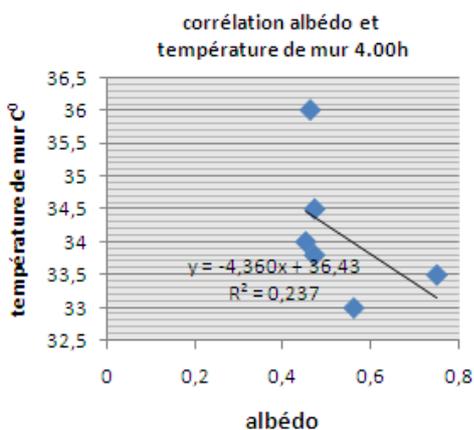
V-2-3- Croisement des données ;

Une fois les mesures microclimatiques achevées, nous allons calculer l'emmagasinement énergétique dans les façades. Cette étape correspond à une analyse de la corrélation entre les données morphologiques (albédo, FVC, le prospect H/L et DoE), la température de mur et l'emmagasinement énergétique, cela nous permettra de déterminer la nature de la relation entre les indicateurs morphologiques, la température de mur et l'emmagasinement énergétique en milieu urbain. Les résultats montrent deux types de relation (positive et négative).

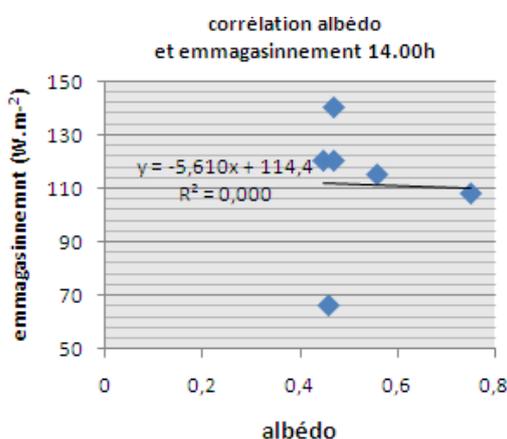
V-2-3-1-la corrélation Albédo, température de mur et l'emmagasinement énergétique :



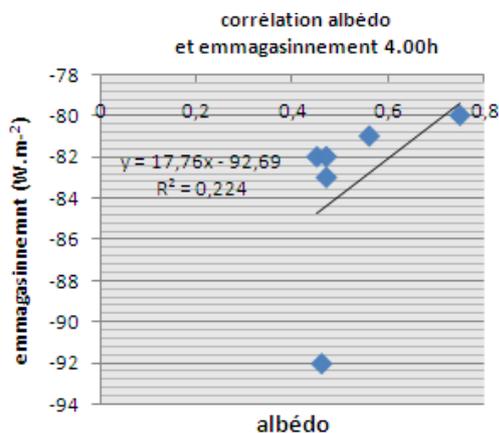
Graph V-15 : corrélation albédo et la température de mur 14.00h . Source ; auteur .2016



Graph V-17 : corrélation albédo et la température de mur 4.00h . Source ; auteur .2016



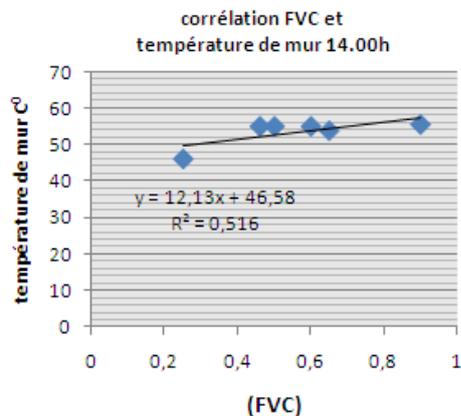
Graph V-16 : corrélation albédo et l'emmagasinement 14.00h . Source ; auteur .2016



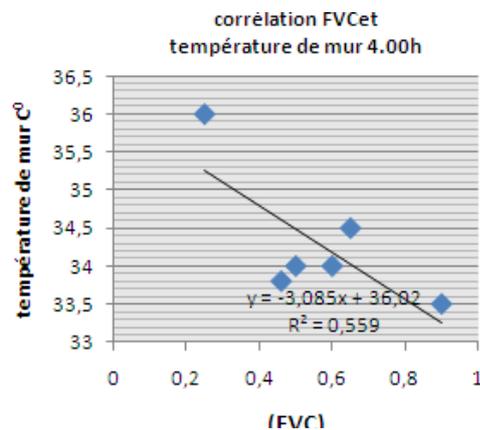
Graph V-18 : corrélation albédo et l'emmagasinement 4.00h . Source ; auteur .2016

Dans le cas de l'indicateur d'albédo (**graphes V-15.16.17.18**), on constate qu'il n'y a pas de corrélation entre l'albédo, la température de mur et l'emmagasinement énergétique avec des coefficients de corrélation respectivement de **0,36 - 0 - 0,47 - 0,46**. Cela veut dire que pour des valeurs d'albédo constantes environ de 0,45, on remarque une fluctuation de la température de mur et de l'emmagasinement énergétique. Ce qui veut dire qu'en dehors de l'albédo des matériaux, il existe d'autres indicateurs qui influencent la température de mur et par conséquent l'emmagasinement.

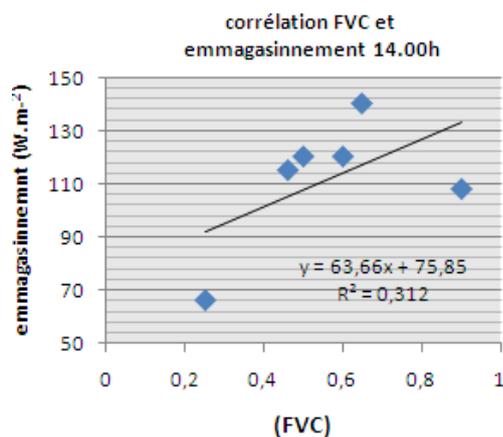
V-2-3-2-la corrélation (FVC), température de mur et l'emmagasinement énergétique ;



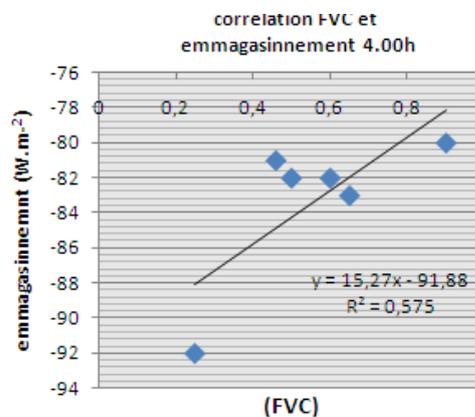
Graph V-19 : corrélation (FVC) et la température de mur 14.00h . Source ; auteur .2016



Graph V-21: corrélation (FVC) et la température de mur 4.00h . Source ; auteur .2016



Graph V-20 : corrélation (FVC) et l'emmagasinement 14.00h . Source ; auteur .2016



Graph V-22 : corrélation (FVC) et l'emmagasinement 4.00h . Source ; auteur .2016

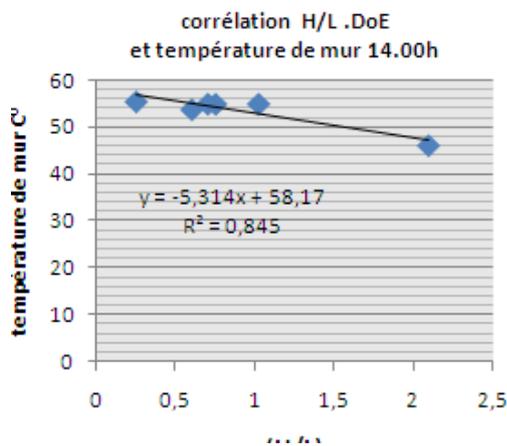
– **Relation positive**, durant le jour (après midi 14 h) :

Les **graphes (V-19.20)** montrent une corrélation forte et positive entre l'indicateur FVC, la température de mur et l'emmagasinement, avec des coefficients de corrélation qui atteignent respectivement la valeur de 0,72 et 0,56. Cela signifie que quand la valeur FVC augmente (espace ouvert, pas d'obstructions) la température de mur augmente et par conséquent l'emmagasinement de la chaleur augmente, indiquant une valeur positive c'est-à-dire, il y a un gain énergétique important, cela contribue donc à accroître le besoin en climatisation active.

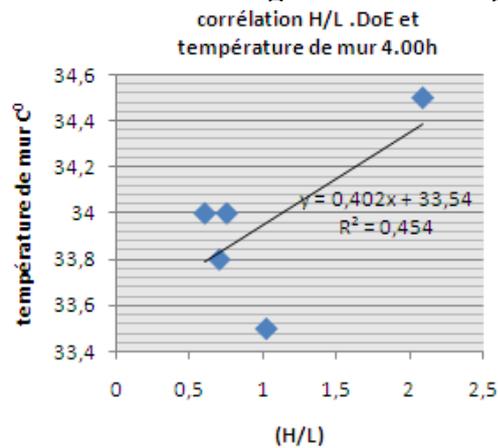
– **Relation négative**, pendant la nuit (avant le lever du soleil 4.00h) ;

L'emmagasinement de la chaleur porte une valeur négative, cela signifie qu'il y a une dissipation de chaleur durant la nuit et juste avant le lever du soleil. Les **graphes (V-21.22)** montrent une corrélation forte et négative entre l'indicateur FVC, la température de mur et l'emmagasinement avec des coefficients de corrélation respectivement de **0,75** et **0,76**. Cela veut dire que si FVC augmente, la température de mur diminue et par conséquent l'emmagasinement diminue à son tour, cela indique une grande dissipation de chaleur, réduisant ainsi le besoin en climatisation active des bâtiments pendant la nuit.

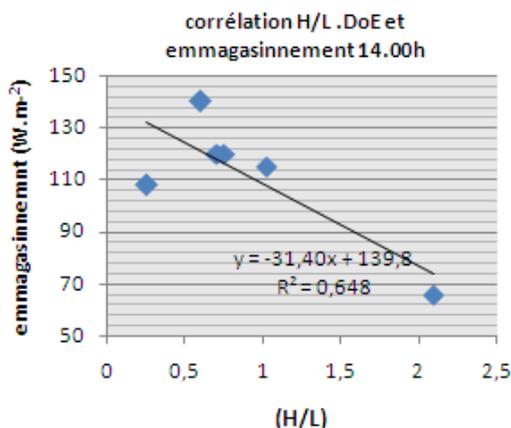
V-2-3-3-la corrélation (H/L–DoE) , température de mur et l’emmagasinement énergétique :



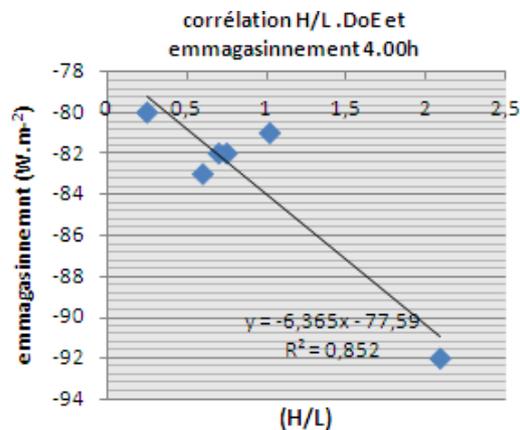
Graph V-23 : corrélation (H/L.DoE) et la température de mur 14.00h . Source ; auteur .2016



Graph V-25 : corrélation (H/L.DoE) et la température de mur 4.00h . Source ; auteur .2016



Graph V-24 : corrélation (H/L.DoE) et l’emmagasinement 14.00h . Source ; auteur .2016



Graph V-26 : corrélation (H/L.DoE) et l’emmagasinement 4.00h . Source ; auteur .2016

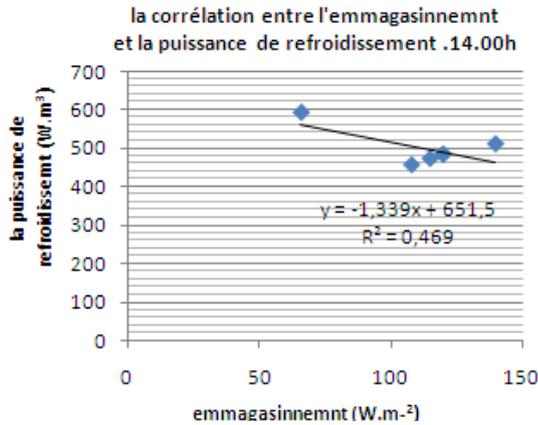
– **Relation négative**, durant le jour (après midi 14,00 h) :

Les **graphes (V-23.24)** montrent une corrélation forte et négative entre l’indicateur H/L.DoE et la température de mur et l’emmagasinement avec des coefficients de corrélation qui se rapprochent respectivement de **0,91** et **0,80**. Cela veut dire, que si la valeur H/L et DoE augmentent (espace fermé), alors la température de mur diminue et par conséquent l’emmagasinement de la chaleur diminue à son tour, c’est-à-dire, un gain énergétique faible. Puisque l’accès des rayons solaires est limité et les façades des bâtiments sont protégées, par conséquent le besoin en climatisation active diminue.

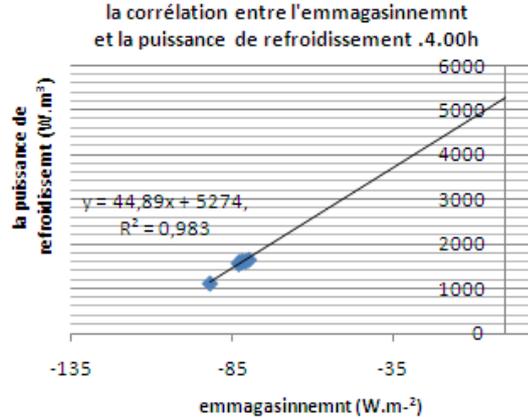
– **Relation positive**, pendant la nuit (avant le lever du soleil (4,00 h) :

L’emmagasinement de la chaleur porte une valeur négative, cela signifie qu’il y a une perte d’énergie durant la nuit et jusqu’avant le lever du soleil. Les **(graphes V-25.26)** montrent une corrélation forte et positive entre l’indicateur H/L.DoE, la température de mur et l’emmagasinement avec des coefficients de corrélation qui atteignent respectivement les valeurs de **0,67** et **0,92**. Cela veut dire que si la valeur H/L et DoE augmentent alors la température de mur augmente et par conséquent l’emmagasinement va augmenter. Cela, s’explique par l’effet du piégeage radiatif (l’inter-réflexion entre mur et sol), c’est-à-dire, la chaleur restituée et emprisonnée dans la rue et avec la faible vitesse du vent provoque donc plus d’emmagasinement énergétique dans la façade. Ce qui induit une consommation énergétique importante durant cette longue période.

V-2-3-4-la corrélation entre l’emmagasinent énergétique dans les façades sur la puissance de refroidissement :



Graph V-27 : corrélation l’emmagasinent et la puissance de refroidissement 14.00h . Source ; auteur .2016



Graph V-28 : corrélation l’emmagasinent et la puissance de refroidissement 4.00h . Source ; auteur .2016

Les **graphes V-27.28**, montrent une corrélation forte entre l’emmagasinement énergétique dans les façades et la puissance de refroidissement (avant le lever du soleil et après-midi), avec des coefficients de corrélation qui touche le **0.68-0.98**, successivement .Cela veut dire que plus l’emmagasinement augment, plus la puissance de refroidissement augment à son tour.

Une comparaison a été faite sur la puissance de rafraichir une même pièce de 20 m² de 3 m hauteur dans une rue, type canyon (FVC =0.25) et dans une rue, type dégagée (FVC =0.9) (tab V-2). La puissance de refroidissement a été calculée selon cette équation suivante :

$$P = V \times G \text{ (température intérieure souhaitée – température extérieure) .}$$

Où ;

P= puissance de refroidissement.

G= coefficient de l’isolation de la pièce (dans notre cas = 0.9) .

	l’emmagasinement de chaleur après-midi W.m ⁻²	L’emmagasinement de chaleur avant le lever du soleil W.m ⁻²	la puissance de refroidissement d’ une pièce 60m ³ après-midi W.m ³	la puissance de refroidissement d’ une pièce 60m ³ avant le lever du soleil W.m ³	Remarques
Rue type canyon (FVC =0.25)	66	92	1134	594	Il y a une augmentation de l’emmagasinement, due l’effet de piège radiatif (chaleur emprisonnée)
Rue type dégagée (FVC =0.9)	108	80	1647	459	Il y a une diminution de l’emmagasinement, (grande dissipation de chaleur)

Tableau V-2 ; tableau récapitulatif de l’emmagasinement dans les façades et la puissance pour rafraichir un séjour de 60m³ dans une rue canyon et dans une rue dégagée

Les résultats révèlent que ;

L'après-midi, la puissance de refroidissement d'une pièce de 60 m^3 est plus faible dans la rue type canyon (FVC =0.25) d'une valeur égale de **1134 W.m³**, en raison d'un faible emmagasinement de chaleur dans la façade d'une valeur de 66 W.m^{-2} , puisque la façade est protégée du soleil. Tandis que dans une rue, type dégagé (FVC =0,9) la puissance de refroidissement de la même pièce est plus élevée avec une valeur de **1647 W.m³**, en raison d'un emmagasinement de chaleur important dans la façade d'une valeur de 108 W.m^{-2} , puisque la façade est exposée au soleil.

Par contre, avant le lever du soleil, la puissance de refroidissement de la même pièce dans une rue type canyon (FVC =0.25) est plus élevée avec une valeur de **594 W.m³**, en raison d'un grand emmagasinement 92 W.m^{-2} , due à l'effet de piège radiatif (chaleur emprisonnée). Tandis que dans une rue, type dégagé (FVC =0,9) la puissance de refroidissement est faible **459 W.m³** en raison d'un faible emmagasinement 80 W.m^{-2} , due à une plus grande dissipation de chaleur.

CONCLUSION :

Nous concluons donc que l'après-midi (vers 14 h), l'écart en pourcentage de refroidissement entre une pièce de 60 m^3 dans le cas d'une rue type canyon (FVC =0,25) et une rue type dégagée (FVC =0,9) est égale à **5,13 %**. Les résultats montrent que le besoin en climatisation active est plus élevé dans le cas d'une rue type dégagée et atteint la valeur de 1647 W.m^3 , par rapport à une rue type canyon pour laquelle le besoin en climatisation active est plus faible avec une valeur de 1134 W.m^3 . Tandis que durant la nuit et jusqu'à l'aube (vers 6 h), l'écart en pourcentage de refroidissement est de **1,35 %** entre les deux cas, ce qui correspond à une puissance de refroidissement plus élevée dans le cas de la rue type canyon avec une valeur de 594 W.m^3 , par rapport à la rue type dégagée avec une valeur plus faible et égale à 459 W.m^3 .

Afin d'optimiser la consommation d'énergie et diminuer les besoins en climatisation active, il est nécessaire d'approfondir les recherches et d'affiner les mesures, en se basant sur la simulation urbaine, nous pourrions déterminer les seuils optimums permettant d'économiser de l'énergie pendant toute la journée (jour et nuit).

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale :

Cette étude s'intéresse à l'impact de la morphologie urbaine sur la demande énergétique en se basant sur un cercle vertueux et autour d'un triptyque morphologie urbaine, microclimat et demande énergétique des bâtiments. Le travail se focalise sur l'évaluation du comportement morpho-énergétique à l'échelle intermédiaire (la rue), où nous avons évalué le comportement thermique extérieur à travers six points retenus, pour des prélèvements instantanés (T_m , T_{air} , V , H_r), et en fonction d'indicateurs morphologiques à l'échelle intermédiaire (H/L, FVC, DoE et albédo). Ces mesures ont permis la quantification du microclimat urbain et de l'îlot de chaleur urbain ICU en tant que facteur clé influant sur la demande énergétique relative à la climatisation active et de déterminer parmi ces indicateurs morphologiques, les plus efficaces du point de vue énergétique.

La première partie de cette recherche se concentre sur l'exploitation de la bibliographie qui nous permet d'une part, connaître et définir l'îlot de chaleur urbain en tant que phénomène climatique généré par l'interaction du milieu urbain et les paramètres climatiques. Partant de là, comprendre les phénomènes thermiques et radiatifs à l'échelle intermédiaire qui sont responsables de l'augmentation de l'emmagasinement énergétique dans les façades et influençant la demande énergétique des bâtiments. La compréhension de ces phénomènes se fait à travers les indicateurs morphologiques suivants :

1. le ratio H/L .
2. le facteur de vue du ciel (FVC).
3. Degree of Enclosure (DoE).
4. L'albédo des surfaces urbaines.

Pour évaluer le comportement morpho-énergétique, on a opté pour le modèle climatique TEB (bilan énergétique de la surface) qui est basé sur les mesures microclimatiques afin de calculer l'emmagasinement énergétique dans les façades. Pour cela, on a choisi comme site d'investigation un tissu urbain éparse (le quartier 76 logements) qui présente les caractéristiques physiques et géométriques recherchées.

I-En premier lieu une analyse comparative des indicateurs morphologiques a été opérée afin d'analyser les relations entre eux. Cette analyse nous dévoile:

- 3- une corrélation inverse entre le facteur de vue de ciel (FVC) et l'albédo de surface, plus le (FVC) est grand plus l'albédo est faible c'est-à-dire que la surface absorbe le rayonnement, et vice-versa,
- 4- une corrélation linéaire entre le Degree of Enclosure (DoE) et le ratio (H/L), plus le (DoE) augmente plus le ratio (H/L) augmente à son tour.

II-Deuxièmement, nous nous sommes basés sur un relevé microclimatique à travers une campagne de mesures qui s'est étalée sur trois jours représentatifs et successifs du mois de Juillet. Les données sont fournies par six stations de mesures réparties selon différents profils morphologiques. Dans ce contexte, on a quantifié le microclimat extérieur et mesuré l'effet de l'îlot de chaleur urbain avec sa spécificité en climat chaud et aride ainsi que les facteurs clés influençant la demande énergétique et particulièrement sous la forme de climatisation active. Les résultats des mesures microclimatiques ont prouvé qu'il existe une influence urbaine significative et notable :

– Avant le lever du soleil (4 h - 6 h), la température de l'air enregistrée dans le quartier est de **33 °C** avec un écart $\Delta T/\text{Météo}$ (6.00h-30 °C) = **3 °C**. En ce qui concerne l'humidité, elle est à un maximum de **25 %**, avec un écart $\Delta Hr/\text{Météo}$ (6.00h-33%) = **8 %**, le vent est faible, avec une valeur de **0,9 m/s** avec un écart $\Delta V/\text{Météo}$ (6.00h-1.8m/s) = **0,9 m/s**. Pendant ce temps et malgré une température d'air avant le lever du soleil faible égale à **30 °C**, la température de mur reste plus élevée que celle de la température de l'air, on enregistre une valeur de **35 °C** avec un écart $\Delta T_{\text{mur}}/\text{Météo}$ 6.00h-30 °C = **5 °C**, car les murs emmagasinent la chaleur et la restituent lentement la nuit.

– Du lever du soleil et jusqu'à l'après-midi (8 h-16 h), la température de l'air dans le quartier va connaître une augmentation importante atteignant le pic **46 °C**, durant les heures critiques, entre 12 h-16 h, avec un écart $\Delta T/\text{Météo}$ (14.00h-45 °C) = **1 °C**, à ce moment-là, le pourcentage d'humidité est à son minimum dans le quartier, d'une valeur de **10 %** avec un $\Delta Hr/\text{Météo}$ (14%-14.00h) = **4 %**, quant au vent, il est chaud avec une vitesse de **0,8 m/s** avec un $\Delta V/\text{Météo}$ (14.00h-1.8m/s) = **1 m/s**.

La température de mur va s'élever très rapidement et atteindre le pic de **52 °C** durant les heures critiques (12 h-16 h) avec un écart $\Delta T_{\text{mur}}/\text{Météo}$ 16.00h-45 °C = **7 °C** et un gain de **+8 °C**, pouvant aller à **+9 °C**.

– Après le coucher du soleil (20 h-24 h), la température de l'air dans le quartier diminue, atteignant la valeur de **38 °C** avec un écart $\Delta T/\text{Météo}$ (24.00h-36 °C) à **2 °C**. Pour ce qui est de l'humidité, elle est de **15 %** avec un écart $\Delta Hr/\text{Météo}$ (24.00h-21%) égal à **6 %**, la vitesse du vent est très faible de l'ordre de **0,6 m/s** dans le quartier, avec un écart de $\Delta V/\text{Météo}$ (24.00h-1.5m/s) égal à **0,9 m/s**. De son côté, la température de mur décroît, mais reste aux environs de **38 °C**, jusqu'à minuit (24 h) avec un écart $\Delta T_{\text{mur}}/\text{Météo}$ 24.00h-36 °C = **2 °C**, et le gain solaire dans les murs entre **+5 et +7 °C**. C'est la restitution de la chaleur emmagasinée pendant la journée par la surface urbaine et ce, jusqu'au lever du soleil.

Selon les données microclimatiques collectées dans la zone urbaine et celles enregistrées dans la station météo, nous observons les écarts de températures suivants :

- Avant le lever du soleil, de 4 h-6 h ; $\Delta T/\text{Météo}$ (6.00h-30 °C) = **3 °C**
- Du lever du soleil et jusqu'à l'après-midi (8 h-16 h) $\Delta T/\text{Météo}$ (14.00h-45 °C) = **1 °C**
- Après le coucher de soleil (20 h-24 h) : $\Delta T/\text{Météo}$ (24.00h-36 °C) à **2 °C**.

On constate que le phénomène de l'îlot de chaleur urbain est un phénomène nocturne qui apparaît la nuit. Puisque, la ville reste chaude à cause de l'effet de restitution de la chaleur durant la nuit par les matériaux constituant les façades des immeubles ainsi que le revêtement du sol et par la morphologie urbaine.

Une comparaison a été faite de la puissance pour rafraîchir une pièce de 20 m² et 3 m d'hauteur, dans un site suburbain et la même pièce dans un site urbain (tableau 01 en –dessous) , On remarque que la puissance requise pour rafraîchir cette pièce dans un site urbain est élevée par rapport un site suburbain, donc nous avons déduit que l'élévation de la température **de 1 C⁰ entraîne une élévation de 60 W.m³** puissance pour rafraîchir une pièce de 60m³ dans un site urbain .

	Température extérieure dans la station météorologique C ⁰	La puissance pour rafraîchir un séjour de 60m ³ dans un site suburbain (W.m ³)	Température extérieure dans Le site urbain C ⁰	La puissance pour rafraîchir un séjour 60m ³ dans un site urbain (W.m ³)
Avant le lever du soleil	29	204	32	420
Après - midi	45	1200	46	1260
Après coucher du soleil	39	840	41	960

Tableau 01; une comparaison de la puissance (W.m³) pour rafraîchir une pièce de 60m³ dans un site suburbain et un site urbain

III-Troisièmement : Une fois les mesures microclimatiques achevées, nous allons calculer l’emménagement énergétique dans les façades. Cette étape correspond à une analyse de la corrélation entre les données morphologiques (albédo, FVC, le prospect H/L et DoE), la température de mur et l’emménagement énergétique, cela nous permettra de déterminer la nature de la relation entre les indicateurs morphologiques, la température de mur et l’emménagement énergétique en milieu urbain. Les résultats montrent deux types de relation (positive et négative).

1- Relation Albédo, température de mur et l’emménagement énergétique :

Dans le cas de l’indicateur d’albédo , on constate qu’il n’y a pas de corrélation entre l’albédo, la température de mur et l’emménagement énergétique avec des coefficients de corrélation respectivement de **0,36 - 0 - 0,47 - 0,46**. Cela veut dire que pour des valeurs d’albédo constantes environ de 0,45, on remarque une fluctuation de la température de mur et de l’emménagement énergétique. Ce qui veut dire qu’en dehors de l’albédo des matériaux, il existe d’autres indicateurs qui influencent la température de mur et par conséquent l’emménagement.

2-Relation (FVC), température de mur et l’emménagement énergétique :

– **Relation positive**, durant le jour (après midi 14 h) :

Les résultats montrent une corrélation forte et positive entre l’indicateur FVC, la température de mur et l’emménagement, avec des coefficients de corrélation qui atteignent respectivement la valeur de 0,72 et 0,56. Cela signifie que quand la valeur FVC augmente (espace ouvert, pas d’obstructions) la température de mur augmente et par conséquent l’emménagement de la chaleur augmente, indiquant une valeur positive c’est-à-dire, il y a un gain énergétique important, cela contribue donc à accroître le besoin en climatisation active.

– **Relation négative**, pendant la nuit (avant le lever du soleil 4.00h) ;

L’emménagement de la chaleur porte une valeur négative, cela signifie qu’il y a une dissipation de chaleur durant la nuit et juste avant le lever du soleil. Les résultats montrent une corrélation forte et négative entre l’indicateur FVC, la température de mur et l’emménagement avec des coefficients de corrélation respectivement de **0,75** et **0,76**. Cela veut dire que si FVC augmente, la température de mur diminue et par conséquent l’emménagement diminue à son tour, cela indique une grande dissipation de chaleur, réduisant ainsi le besoin en climatisation active des bâtiments pendant la nuit.

3-Relation (H/L et DoE), température de mur et l’emmagasinement énergétique :

– **Relation négative**, durant le jour (après midi 14,00 h) :

Les résultats montrent une corrélation forte et négative entre l’indicateur H/L.DoE et la température de mur et l’emmagasinement avec des coefficients de corrélation qui se rapprochent respectivement de **0,91** et **0,80**. Cela veut dire, que si la valeur H/L et DoE augmentent (espace fermé), alors la température de mur diminue et par conséquent l’emmagasinement de la chaleur diminue à son tour, c’est-à-dire, un gain énergétique faible. Puisque l’accès des rayons solaires est limité et les façades des bâtiments sont protégées, par conséquent le besoin en climatisation active diminue.

– **Relation positive**, pendant la nuit (avant le lever du soleil (4,00 h) :

L’emmagasinement de la chaleur porte une valeur négative, cela signifie qu’il y a une perte d’énergie durant la nuit et jusqu’avant le lever du soleil. Les résultats montrent une corrélation forte et positive entre l’indicateur H/L.DoE, la température de mur et l’emmagasinement avec des coefficients de corrélation qui atteignent respectivement les valeurs de **0,67** et **0,92**. Cela veut dire que si la valeur H/L et DoE augmentent alors la température de mur augmente et par conséquent l’emmagasinement va augmenter. Cela, s’explique par l’effet du piégeage radiatif (l’inter-réflexion entre mur et sol), c’est-à-dire, la chaleur restituée et emprisonnée dans la rue et avec la faible vitesse du vent provoque donc plus d’emmagasinement énergétique dans la façade. Ce qui induit une consommation énergétique importante durant cette longue période.

Une comparaison a été faite sur la puissance de rafraichir une même pièce de 20 m² de 3 m hauteur dans une rue, type canyon (FVC =0.25) et dans une rue, type dégagée (FVC =0.9) (tab 02).

	L’emmagasinement de chaleur après-midi W.m ⁻²	L’emmagasinement de chaleur avant le lever du soleil W.m ⁻²	la puissance de refroidissement d’une pièce 60m ³ après-midi W.m ³	la puissance de refroidissement d’une pièce 60m ³ avant le lever du soleil W.m ³	Remarques
Rue type canyon (FVC =0.25)	66	92	1134	594	Il y a une augmentation de l’emmagasinement, due l’effet de piège radiatif (chaleur emprisonnée)
Rue type dégagée (FVC =0.9)	108	80	1647	459	Il y a une diminution de l’emmagasinement, (grande dissipation de chaleur)

Tableau 02 ; tableau récapitulatif de l’emmagasinement dans les façades et la puissance pour rafraichir un séjour de 60m³ dans une rue canyon et dans une rue dégagée

Les résultats révèlent que ;

L’après-midi, la puissance de refroidissement d’une pièce de 60 m³ est plus faible dans la rue type, canyon (FVC =0.25) d’une valeur égale de **1134 W.m³**, en raison d’un faible emmagasinement de chaleur dans la façade d’une valeur de 66 W.m⁻², puisque la façade est protégée du soleil. Tandis que dans une rue, type dégagé (FVC =0,9) la puissance de refroidissement de la même pièce est plus élevée avec une valeur de **1647 W.m³**, en raison d’un emmagasinement de chaleur important dans la façade d’une valeur de 108 W.m⁻², puisque la façade est exposée au soleil.

Par contre, avant le lever du soleil, la puissance de refroidissement de la même pièce dans une rue type canyon (FVC =0.25) est plus élevée avec une valeur de **594 W.m³**, en raison d’un grand

emmagasinement 92 W.m^{-2} , due à l'effet de piège radiatif (chaleur emprisonnée). Tandis que dans une rue, type dégagé (FVC =0,9) la puissance de refroidissement est faible 459 W.m^3 en raison d'un faible emmagasinement 80 W.m^{-2} , due à une plus grande dissipation de chaleur.

Nous concluons donc que l'après – midi (vers 14h), l'écart en pourcentage de refroidissement une pièce de 60 m^3 égale à **5.13 %** entre le cas d'une rue type canyon (FVC =0.25) et une rue type dégagé (FVC =0,9). Les résultats montre que le besoin en climatisation active est plus élevé dans le cas d'une rue type dégagé d'une valeur égale 1647 W.m^3 , par rapport à une rue type canyon pour laquelle le besoin en climatisation active est plus faible avec une valeur de 1134 W.m^3 . Tandis que durant la nuit et jusqu'à l'aube (vers 6h), l'écart en pourcentage de refroidissement égale à **1.35%** entre les deux cas. Pour laquelle la puissance de refroidissement est plus élevée dans le cas d'une rue type canyon avec une valeur de 594 W.m^3 , par rapport à une rue type dégagé avec une valeur plus faible et égale à 459 W.m^3 .

Afin d'optimiser la consommation d'énergie et diminuer les besoins en climatisation active, il est nécessaire d'approfondir les recherches et d'affiner les mesures, en se basant sur la simulation urbaine, nous pourrions déterminer les seuils optimums permettant d'économiser de l'énergie pendant toute la journée (jour et nuit).

Limites et critiques de la recherche :

Le but de cette étude a été atteinte, mais des obstacles ont entravé nos recherches et limité la portée de nos résultats, à savoir:

1. le rayonnement solaire et l'inter-réflexion entre mur ont été calculés et non mesurés vu **l'absence d'un appareil** spécifique de mesure, qui devrait nous compléter la campagne de mesure in situ, à titre d'exemple ; la caméra thermique infrarouge qui nous aurai aidé à identifier le péage radiatif dans les rues notamment durant la nuit n'était pas disponible.
2. **les données de rayonnements** (le flux entrant) sont **calculées approximativement**, cela peut déformer les résultats de bilans radiatif et énergétique.
3. **La plage de variation de l'anémomètre** ne mesure pas la vitesse du vent quand celle-ci est inférieure à **1m/s**.
4. Nous nous somme basé sur des **mesures itinérantes** avec des appareils portatifs (pas de sondes fixes), et des thermomètres digitaux installés au niveau des stations pour collecter les données microclimatiques en même temps.
5. **Le modèle climatique TEB** que nous avons choisi pour calculer l'emmagasinement énergétique se base **sur la simplification des volumes urbains qui sont** assez sommaires, et se base sur le concept des rues canyon. Le TEB ne s'attache pas aux particularités entre les bâtiments mais aux caractéristiques globales du tissu urbain. Cette simplification de la forme bâtie néglige l'hétérogénéité urbaine et ne reflète pas la complexité de la réalité urbaine qui pourrait cependant modifier considérablement le résultat des calculs.

Perspectives et recherches futures ;

Les résultats retenus par cette recherche ne permettent pas d'avoir un bilan définitif puisque l'évaluation du comportement morpho-énergétique à l'échelle urbaine est une tâche qui n'est pas facile, et c'est cette difficulté qui la rend intéressante et ouvre de nombreuses perspectives de recherche dans ce domaine.

Durant cette étape de recherche empirique par des relevés microclimatiques in situ, on a découvert que l'indicateur albédo des matériaux n'est pas la seule cause qui influe sur la demande énergétique, d'autres indicateurs FVC, H/L et DoE interviennent aussi. Donc il faut poursuivre cette recherche par une **étude paramétrique ; approche multicritères** en vue d'introduire des variables multiples en se basant sur la simulation numérique des micros climats urbains pour découvrir le degré de dépendance qui existe entre les variables, ainsi que le poids de chaque indicateur morphologique sur la demande énergétique.

Dans la simulation numérique on peut jouer sur les variables pour connaître le rôle et le poids de chaque facteur. Par exemple faire une simulation en faisant varier entre albédo de matériau et le ratio H/L, pour déterminer leurs corrélations en intégrant d'autres variables comme le facteur de l'hétérogénéité urbaine (varier la hauteur par exemple) pour déduire la performance thermique extérieure et par conséquent la performance énergétique urbaine. En plus, dans la simulation on peut ajouter d'autres variables pour prendre en considération l'aérodynamique des phénomènes radiatifs et thermiques.

Le but principal d'une éventuelle recherche numérique est d'identifier les indicateurs morphologiques les plus efficaces dans la réduction de l'énergie devant être pris en considération dans le processus de conception à l'échelle urbaine. Cette méthode permettra de proposer des outils d'aides à la prise de décisions qui prennent en compte les échanges thermiques et énergétiques à l'échelle urbaine.

Recommandations ;

I-Nécessité d'un plan climatique :

Les pays en développement notamment, ceux situés dans les zones avec un climat chaud et aride sont les plus affectés et les plus vulnérables face aux effets du changement climatique, en raison de la faiblesse de leurs institutions et de l'insuffisance de leurs ressources financières. La mise en place de nouvelles politiques énergétiques pour atténuer les effets du CO₂ sur le climat reste très coûteuse à cause des investissements nécessaires pour l'exploitation des énergies renouvelables. **Il sera plus judicieux de mettre en place une politique climatique basée sur la prise en compte du climat lors de la conception d'une ville. C'est une politique de réduction des émissions de gaz à effet de serre, auxquelles les autorités locales peuvent contribuer de manière très efficace en agissant sur la forme urbaine.**

II-La prise en compte du microclimat urbain :

Parmi les facteurs primordiaux pour favoriser le bien-être, la santé des citoyens, l'économie d'énergie et le développement durable, le microclimat urbain doit être au centre des préoccupations architecturales et urbanistiques, il est essentiel **de concevoir des villes en synergie avec leurs environnements. Donc il est important pour les spécialistes lors de la conception d'un bâtiment ou d'un espace public de prendre en considération les données climatiques mesurées à la station météorologique en site dégagé mais aussi les valeurs climatiques du site objet du**

projet pour anticiper l'interaction entre les différentes composantes climatiques des nouvelles structures et l'environnement naturel du site étudié [Reiter,S .2007]

Donc, l'intégration de la dimension climatique à la pratique de l'aménagement urbain et de l'architecture sera, sans doute, une meilleure solution afin d'éviter les problèmes environnementaux et atteindre ainsi une qualité de vie urbaine satisfaite et réduire la dépense énergétique. Cette réflexion pluridisciplinaire doit s'accompagner d'une volonté de réduire l'impact des villes sur leur environnement naturel afin d'améliorer les paramètres du microclimat urbain.

III-réguler le microclimat urbain :

Certaines directives visent à réguler le microclimat urbain, étant un facteur clé dans l'apparition du phénomène d'îlot de chaleur urbain, afin de réduire la consommation énergétique des bâtiments et plus particulièrement les besoins en climatisation active. **Aujourd'hui l'enjeu énergétique et environnemental axés sur la conception urbaine passive (stratégies bioclimatiques à l'échelle urbaine) repose sur des principes liés à sa planification, comme l'augmentation de sa compacité, sa densité...etc.**

Dans les pays à climat aride, on exige des réponses à certaines recommandations parmi lesquelles : diminuer la réflectivité qui ne se limite pas à la surface urbaine (propriété thermique des matériaux) et de prendre en considération les autres indicateurs morphologiques (la hauteur ; hétérogénéité urbaine.FVC...etc.) qui peuvent contribuer à la diminution de la réflectivité et de l'emmagasinement de la chaleur durant la journée et par conséquent la réduction de la climatisation active. Il faut donc agir sur les variables morphologiques à l'échelle urbaine pour maîtriser la performance énergétique à l'échelle des bâtiments.

V- La climatologie urbaine : appliquer la climatologie urbaine à l'aménagement

L'étude de la climatologie urbaine est une discipline récente qui reste à explorer, elle vise à prendre en considération le climat urbain dans le cadre d'une planification urbaine afin de concevoir des villes plus durables. Cette nouvelle discipline, du fait de l'interaction complexe entre les paramètres physiques, de l'hétérogénéité urbaine, des paramètres naturels et des variables climatiques et microclimatiques, fait appel à **la simulation par ordinateur [Arnfield, 2003] pour visualiser et anticiper l'influence de la ville sur le climat à une échelle plus fine.** A cet égard, **il est nécessaire de coordonner le travail de plusieurs acteurs** (l'urbaniste, l'architecte, le climatologue, l'ingénieur...etc.) afin de concevoir **des outils de modélisation et de planification urbains plus fiables** et de les mettre à la disposition des concepteurs des nouveaux projets urbains afin de réduire la consommation d'énergie et améliorer le climat des villes.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

I Ouvrages :

- 1- **ADOLPHE, L. CHATELET, A., AMEUR, K. Ait, et al.** *SAGACités, Système d'Aide à la Gestion des Ambiances urbaines*. Rapport final, MENRT, Action Concertée Incitative Ville. Presses universitaires François-Rabelais ,2002.
- 2- **ALLAIN, Rémy.** *Morphologie urbaine. Géographie, aménagement et architecture de la ville*, Paris, Armand Colin, 2004.254p
- 3- **ANDRAL, Bruno.** *Bases scientifiques et techniques d'un observatoire du changement global en mer*. Ifremer. France ,2014.58p
- 4- **BAJOLET, Émilie, MATTÉI, Marie-Flore, et RENNES, Jean-Marc.** *Quatre ans de recherche urbaine 2001-2004. Volume 2: Action concertée incitative Ville. Ministère de la Recherche*. Université François Rabelais, 2013.522p
- 5- **BENISTON, Martin.** *Changements climatiques et impacts: de l'échelle globale à l'échelle locale*. PPUR presses polytechniques. Romand .2009.247p
- 6- **BOUCHERF, Djamel.** *Les changements climatiques en Algérie*. ONM, Alger, 2004.
- 7- **BOUDON, Françoise, CHASTEL, André, COUZY, Hélène, et al.** *Système de l'architecture urbaine: le quartier des Halles à Paris*. Ed. Centre national de la recherche scientifique. France .1977.414p
- 8- **BRIVES A.***Notes géologiques sur les Ziban*, Carte géologique Algérie, 1924.
- 9- **COTE ,Marc.***La ville et le désert le bas-sahara algérien* .Iremam,karthala, 2005.306 p
- 10- **COTE ,Marc.***Pays, paysages, paysans d'Algérie* .Edition ,CNRS,1997.279p
- 11- **DIB, MICHEL Nadia** .*Recommandations architecturales*, ENAG-Edition, Alger, 1993.
- 12- **DJENAS, S.** *Elaboration des zones climatiques en Algérie : Application dans la construction*. Ecole nationale des ponts et chaussées .Paris, 1984.
- 13- **DUBIEF, Jean.** *Le climat du Sahara*. Université d'Alger, Institut de recherches sahariennes, 1959.122p.
- 14- **ESCOURROU, Gisèle.** *Le climat et la ville*, Nathan. University Editions. Paris, France, 1991.190p.
- 15- **ESCOURROU, Gisèle.** *Climat et environnement, les facteurs locaux du climat*. Masson, Collection Géographie. Paris.1981.168p.
- 16- **GIDEON ,Golany.***Desert Planning* . Edited by Gideon, 1982. 192p
- 17- **GIDEON ,Golany** .*Housing in Arid Lands: Design and Planning* . Edited by Gideon ,1980.268 p
- 18- **GIVONI, Baruch.** *Climate considerations in building and urban design*. John Wiley & Sons, 1998.480p.
- 19- **GIVONI, Baruch.** *L'Homme, l'Architecture et le Climat* . Paris : Editions du Moniteur, 1978, 460 p.
- 20- **GIGUÈRE, Méliissa.** *Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains*. Revue de littérature, Direction des risques biologiques, environnementaux et occupationnels, Institut National de Santé Publique, Gouvernement du Québec, 2009.95p.
- 21- **Gioda,Alain.** *Pourquoi les historiens peuvent-ils parler du climat?*Paris : Le Cherche Midi.Paris. 2011.38p

- 22- **HOWARD, Luke.** *The Climate of London: deduced from Meteorological observations, made at different places in the neighbourhood of the metropolis.* W. Phillips, sold also by J. and A. Arch, 1818.285p
- 23- **HUFTY, André.** *Introduction à la climatologie: le rayonnement et la température, l'atmosphère, l'eau, le climat et l'activité humaine.* Presses Université Laval, 2001.542p
- 24- **KRATZER, P. Albert.** *Das stadtklima.* F. Vieweg & sohn, 1956.403p
- 25- **LANDSBERG, Helmut E.** *The urban climate.* Academic press, 1981.271p
- 26- **LE PAIGE, M., GRATIA, E., et DE HERDE, A.** *Architecture et Climat. Guide d'aide à la conception bioclimatique, Services de Programmation de la Politique Scientifique.* Bruxelles.1986. 132p.
- 27- **LE ROY LADURIE, Emmanuel.** *Histoire du climat depuis Van mil Paris:* Flammarion. 1967.379p
- 28- **MAOUIA, Saïdouni.** *Éléments d'introduction à l'urbanisme.* 2017.260p.
- 29- **MERLIN, Pierre.** *Énergie et environnement.* Les Études de la Documentation Française (France) fre no. 5278-79, 2008.183p.
- 30- **MERLIN, Pierre, CHOAY, Françoise, et al.** *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement.* Paris .1^{ed} .1988.724p
- 31- **MERLIN, Pierre, D'ALFONSO, Ernesto, et CHOAY, Françoise .** *Morphologie urbaine et parcellaire: colloque d'Arc-et-Senans:(28 et 29 octobre 1985).* Presses universitaires de Vincennes, 1988.292p.
- 32- **NORRANT-ROMAND, Caroline.** *Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique (ONERC): L'adaptation de la France au changement climatique.* Rapport au Premier ministre et au Parlement. 2012, La Documentation Française, 124 pages
- 33- **NIKOLOPOULOU, Maria, et al.** *Designing open spaces in the urban environment: a bioclimatic approach.* Centre for Renewable Energy Sources, EESD, FP5, 2004. 56 p
- 34- **Oke, T-R.** *Boundary layer climates,* University press, Cambridge, 1987.435p
- 35- **OLGAYAY, Victor.** *Designwith climate: bioclimatic approach to architectural regionalism,* Princeton, New Jersey,1963. 224p
- 36- **PANERAI, Philippe, CASTEX, Jean, et DEPAULE, Jean-Charles.** *Formes urbaines: de l'îlot à la barre.* Editions Parentheses, 1997.196p
- 37- **PANERAI, Philippe, DEMORGON, Marcelle, et DEPAULE, Jean-Charles.** *Analyse urbaine.* Marseilles : Parenthèses, 1999.176p
- 38- **PIGEON, Patrick.** *L'environnement au défi de l'urbanisation.* Presse universitaires de Rennes, 2007.120p
- 39- **PINON, P., et HENRY, Dominique Dupré.** *Lire et composer l'espace public.* Les Éditions du STU, 1991.79p
- 40- **SACRÉ, Christian.** *Le confort dans les espaces extérieurs: analyse microclimatique.* Nantes: CSTB, 1983. 138p.
- 41- **SANTAMOURIS et al.** *Cooling the cities,* Les presses, Ecole des mines de Paris, 2004.257p
- 42- **SANTAMORIS, M .** *Energy climate in the urban built environment,* James & James, London, 2001.402p
- 43- **STEANE, Mary Ann et STEEMERS, Koen .** *Environmental diversity in architecture.* Routledge, 2004. 252 p.

44- **TORREY, Barbara Boyle.** *Urbanization: An environmental force to be reckoned with.* Washington, DC: Population Reference Bureau, 2004.

II-Mémoires et thèses :

- 1- **ACHOUR-BOUAKKAZ ,Nawel .** *La Relation entre l'îlot de chaleur urbain, phénomène du changement climatique et la densité du plan bâti : cas de la ville d'Alger.* 2006. Mémoire de magister. Université Mentouri de Constantine .Algérie.
- 2- **AIT-AMEUR, Karima.** *Vers une méthode multicritère de caractérisation du microclimat dans les espaces publics urbains: validation d'un système d'indicateurs" morpho-climatiques" et d'un indicateur de confort.* 2002. Thèse de doctorat. Nantes.
- 3- **BENZERZOUR, Mohamed.** *Transformations urbaines et variations du microclimat: application au centre ancien de Nantes et proposition d'un indicateur" morpho-climatique".* 2004. Thèse de doctorat. Université de Nantes.
- 4- **BOUCHERIBA , Fouzia.** *Impact de la géométrie des canyons urbains sur le confort thermique extérieur. Cas du Coudiat de Constantine.* 2016. Mémoire de magister. Université Mentouri de Constantine .Algérie.
- 5- **BOUCHERF, Djamel.** *Etude spatio-temporelle et prévision saisonnière des températures sur le Nord de l'Algérie.*2010. Mémoire de Magister. Université des sciences et de la technologie Houari Boumediène. Alger
- 6- **BOUKHABLA, Moufida.** *'Impact de la Géométrie des Rues sur les Fluctuations Thermiques Extérieures.* Mémoire de magister.2010. Université Mohamed Khider, Biskra, Algérie
- 7- **BOUYER, Julien.** *Modélisation et simulation des microclimats urbains-Étude de l'impact de l'aménagement urbain sur les consommations énergétiques des bâtiments.* 2009. Thèse de doctorat. Université de Nantes.
- 8- **BOZONNET, Emmanuel.** *Impact des microclimats urbains sur la demande énergétique des bâtiments-Cas de la rue canyon.* 2005. Thèse de doctorat. Université de la Rochelle.
- 9- **COLOMBERT, Morgane.** *Contribution à l'analyse de la prise en compte du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville.* 2008. Thèse de doctorat. Université Paris-Est.
- 10- **CHAOUICHE-BENCHERIF, Meriama.** *La micro-urbanisation et la ville-oasis, une alternative à l'équilibre des zones arides pour une ville saharienne durable cas de bas-Sahara.* 2006. Thèse de doctorat. Thèse de doctorat en urbanisme, Département d'architecture et d'urbanisme, Université Mentouri, Constantine.
- 11- **DJAAFRI , Mohamed.** *Outils, quels indicateurs et quels. forme urbaine, climat et énergie quels indicateurs et quels outils?.* 2014. Mémoire de magister. École Polytechnique.
- 12- **FILIATREAU, Ysabelle.** *Changements climatiques et îlots de chaleur: indicateurs de performance pour les mesures d'adaptation.* 2015. Thèse de doctorat. Université de Sherbrooke.
- 13- **FOUAD, Ahmed Ouameur.** *Morphologie urbaine et confort thermique dans les espaces publics: étude comparative entre trois tissus urbains de la ville de Québec.* 2007. Mémoire de master. Université Laval.
- 14- **GOUIZI, YAMINA.** *Effet d'un groupe de bâtiments sur l'écoulement de l'air (vent) et le confort des piétons dans les espaces extérieurs Cas d'étude: Ensembles de bâtiments collectifs des ZHUN à Biskra.* 2003. Mémoire de magister. Université Mohamed Khider-Biskra.

- 15- **NAIDJA, Amina.** *La croissance urbaine et son influence sur la continuité et la discontinuité typomorphologique—Cas des tissus urbains de la ville de Biskra.* 2014. Mémoire de magister. Université Mohamed Khider .Biskra, Algérie.
- 16- **PARMENTIER, Amélie.** *Élaboration d'un outil d'aide à la décision pour atténuer le phénomène d'îlots de chaleur en milieu urbain.* 2010. Thèse de doctorat. École de technologie supérieure.
- 17- **RACINE, François.** *Degré de discontinuité dans la transformation des tissus urbains au Québec: influence des types suburbains.* 1998. Thèse de doctorat. Université de Montréal.
- 18- **RINGENBACH, Nicolas.** *Bilan radiatif et flux de chaleur en climatologie urbaine: mesures, modélisation et validation sur Strasbourg.* 2009. Thèse de doctorat. École Nationale Supérieure de Physique de Strasbourg.
- 19- **REITER, Sigrid.** *Élaboration d'outils méthodologiques et techniques d'aide à la conception d'ambiances urbaines de qualité pour favoriser le développement durable des villes.* 2007. Thèse de doctorat. Université catholique de Louvain, Belgium.
- 20- **TSOKA, Stella.** *Relations entre morphologie urbaine, microclimat et confort des piétons: application au cas des éco-quartiers.* 2011. Thèse de doctorat. École Nationale Supérieure Techniques industrielles et de Mines de Nantes et l'École Supérieure d'Architecture de Nantes.
- 21- **WANG, Biao.** *Les impacts de la morphologie urbaine sur le vent: performance d'énergie éolienne à l'échelle de quartier.* 2015. Thèse de doctorat. Toulouse, INSA.

III-Article et publications :

- 1- **ADOLPHE, Luc.** *A simplified model of urban morphology: application to an analysis of the environmental performance of cities.* *Environment and planning B: planning and design*, 2001, vol. 28, no 2, p. 183-200.
- 2- **AIDA, Masaru.** *Urban albedo as a function of the urban structure—a model experiment.* *Boundary-layer meteorology*, 1982, vol. 23, no 4, p. 405-413.
- 3- **AIDA, Masaru et GOTOH, Kiyoshi.** *Urban albedo as a function of the urban structure—a two-dimensional numerical simulation.* *Boundary-layer meteorology*, 1982, vol. 23, no 4, p. 415-424.
- 4- **AKBARI, Hashem et TAHA, Haider.** *The impact of trees and white surfaces on residential heating and cooling energy use in four Canadian cities.* *Energy*, 1992, vol. 17, no 2, p. 141-149.
- 5- **ALCOFORADO, M.-J. et ANDRADE, Henrique.** *Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): main features and modelling attempts.* *Theoretical and Applied Climatology*, 2006, vol. 84, no 1-3, p. 151-159.
- 6- **ARANTES, Laëtitia, MARRY, Solène, BAVEREL, Olivier, et al.** *Efficacité énergétique et formes urbaines: élaboration d'un outil d'optimisation morpho-énergétique.* *Cybergeo: European Journal of Geography*, 2016 . [Enligne] [http:// https://cybergeo.revues.org/27584](http://https://cybergeo.revues.org/27584) (Page consultée le 4 avril 2016)
- 7- **ARNFIELD, A. John.** *Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island.* *International journal of climatology*, 2003, vol. 23, no 1, p. 1-26.

- 8- **BARDHAN, Ronita, KURISU, Kiyu, et HANAKI, Keisuke.***Does compact urban forms relate to good quality of life in high density cities of India? Case of Kolkata. Cities*, 2015, vol. 48, p. 55-65.
- 9- **BOZONNET, Emmanuel, ALLARD, Francis, CHAZELAS, M., et al.** *Du bâtiment à la ville, du microclimat à la demande énergétique*. PUCA. 2008. p 139-154.
- 10- **BOUCHAIR, Ammar, TEBBOUCHE, Hocine, HAMMOUNI, A., et al.** *Compact cities as a response to the challenging local environmental constraints in hot arid lands of Algeria. Energy Procedia*, 2013, vol. 42, p. 493-502.
- 11- **BITAN, Arieh.** *The high climatic quality city of the future*. Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere, 1992, vol. 26, no 3, p. 313-329.
- 12- **BRETZ, Sarah, AKBARI, Hashem, et ROSENFELD, Arthur.** *Practical issues for using solar-reflective materials to mitigate urban heat islands*. Atmospheric environment, 1998, vol. 32, no 1, p. 95-101.
- 13- **BRUSE, Michael.***ENVI-met 3.0: updated model overview*. University of Bochum. Retrieved from: www.envi-met.com, 2004.
- 14- **CAVAYAS, F. et BAUDOIN, Y.***Évolution des occupations du sol, du couvert végétal et des îlots de chaleur sur le territoire de la Communauté métropolitaine de Montréal (1984-2005)*. Projet Biotopes, Volet, 2008, vol. 1.
- 15- **CHANGNON JR, Stanley A., HUFF, Floyd A., et SEMONIN, Richard G.** **METROMEX: An investigation of inadvertent weather modification**. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1971, vol. 52, no 10, p. 958-968.
- 16- **DEPECKER, Patrick, MENEZO, Christophe, VIRGONE, Joseph, et al.** *Design of buildings shape and energetic consumption*. *Building and Environment*, 2001, vol. 36, no 5, p. 627-635.
- 17- **DESPLAT, J., LAUFFENBURGER, M., SALAGNAC, J. L., KOUNKOU-ARNAUD, R., LEMONSU, A., COLOMBERT, M., & MASSON, V.** projet EPICEA, *étude pluridisciplinaire des impacts du changement climatique à l'échelle de l'agglomération parisienne*. 2009. [Enligne] <http://siteresources.worldbank.org/inturbandedevelopment/resources/336387-1256566800920/6505269-1268260567624/desplat.pdf> (page consultée le 05 décembre 2016).
- 18- **DHAKAL, Shobhakar et HANAKI, Keisuke.** *Improvement of urban thermal environment by managing heat discharge sources and surface modification in Tokyo*. *Energy and buildings*, 2002, vol. 34, no 1, p. 13-23.
- 19- **ESCOURROU, Gisèle.** *La spécificité du climat de l'agglomération parisienne*. *Revue de géographie de Lyon*, vol.65, n°2, 1990.
- 20- **ESCOURROU, Gisele.** *Climate and pollution in Paris*. *Energy and Buildings*, 1991, vol. 16, no 1, p. 673-676.
- 21- **FÜSSEL, Hans-Martin.** *Vulnerability: a generally applicable conceptual framework for climate change research*. *Global environmental change*, 2007, vol. 17, no 2, p. 155-167.
- 22- **GOLANY, Gideon S.** *Urban design morphology and thermal performance*. *Atmospheric Environment*, 1996, vol. 30, no 3, p. 455-465.
- 23- **GOYETTE-PERNOT, J.** *Impact of a city centre on the dispersal of a regional pollen cloud. Cas of Montréal, Canada*. In : EGS-AGU-EUG Joint Assembly. 2003. [Enligne] <http://adsabs.harvard.edu/abs/2003EAEJA.....2707G> (page consultée le 11 janvier 2016).

- 25- **GROLEAU, Dominique, FRAGNAUD, Fernand, et ROSANT, Jean-Michel.** *Simulation of the Radiative Behaviour of an Urban Quarter of Marseille with the SOLENE Model*. In : Fifth International Conference on Urban Climate, Lodz, Pologne. 2003. p. 1-5.
- 26- **GROLEAU, Dominique et MESTAYER, Patrice G.** *Urban morphology influence on urban albedo: A revisit with the SOLENE model.* *Boundary-layer meteorology*, 2013, vol. 147, no 2, p. 301-327.
- 27- **GRIMMOND, C. S. B., POTTER, S. K., ZUTTER, H. N., et al.** *Rapid methods to estimate sky-view factors applied to urban areas.* *International Journal of Climatology*, 2001, vol. 21, no 7, p. 903-913
- 28- **HILLIER, W. R. G., HANSON, Julienne, et PEPONIS, John.** *Syntactic analysis of settlements.* *Architecture et comportement/Architecture and Behaviour*, 1987, vol. 3, no 3, p. 217-231.
- 29- **JANCOVICI, Jean-Marc.** *Le réchauffement climatique: réponse à quelques questions élémentaires.* La jaune et La rouge. 2000. [Enligne] <http://www.x-environnement.org>, (Page consultée le 4 Novembre 2016)
- 30- **KADIK, B.** *Éléments d'une stratégie d'adaptation au changement climatique en zone aride et semi aride.* 2007. centredeRechercheScientifiqueetTechniquessurlesRégionsArides.Biskra .p311-331.[Enligne][http:// dspace.crstra.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/418/1/elements-dune-strategie-daptation-au-changement-climatique-en-zone-aride-et-semi-aride.pdf](http://dspace.crstra.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/418/1/elements-dune-strategie-daptation-au-changement-climatique-en-zone-aride-et-semi-aride.pdf) (page consultée le 05 octobre 2016).
- 31- **KATZSCHNER, Lutz.** *The urban climate as a parameter for urban development.* *Energy and Buildings*, 1988, vol. 11, no 1, p. 137-147.
- 32- **KATZSCHNER, Lutz.** *Urban bioclimate and open space planning.* In : Proceedings of the Fifth International Conference on Urban Climate, Lodz, Poland. 2003. [Enligne] http://meteo.geo.uni.lodz.pl/icuc5/text/O_2_1.pdf (Page consultée le 13 mars 2016)
- 33- **KRATZER, P. Albert.** *The Climate of Cities (1956).* Translation from German by the American Meteorological Society under contract number A F, vol. 19, p. 110-112.
- 34- **LANDSBERG, H. E.** *Micrometeorological temperature differentiation through urbanization.* *Urban climates*, 1970, p. 129-136.
- 35- **LEMONSU, A., GRIMMOND, C. S. B., et MASSON, V.** *Modeling the surface energy balance of the core of an old Mediterranean city: Marseille.* *Journal of Applied Meteorology*, 2004, vol. 43, no 2, p. 312-327.
- 36- **LE HOUÉROU, Henri-Noël.** *Définition et limites bioclimatiques du Sahara.* *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 1990, vol. 1, no 4, p. 246-259.
- 37- **LE HOUÉROU, H. N.** *Bioclimatologie comparative des zones arides (sl.) de l'Afrique et de l'Amérique Latine.* *Terra Arida*, 1990, vol. 7, p. 26-55.
- 38- **LÉVY, Albert.** *Formes urbaines et significations: revisiter la morphologie urbaine.* *Espaces et sociétés*, 2005, no 3, p. 25-48.
- 39- **LEVIN, Ingeborg et RÖDENBECK, Christian.** *Can the envisaged reductions of fossil fuel CO2 emissions be detected by atmospheric observations?.* *Naturwissenschaften*, 2008, vol. 95, no 3, p. 203-208.
- 40- **MARTINS, TATHIANE, ADOLPHE, L., et KRAUSE, CLÁUDIA.** *Microclimate effects of urban geometry on outdoor thermal comfort in the Brazilian tropical semi-arid climate.* In

- : Conference opportunities, limits e needs towards and environmentally responsible architecture. 2012. [Enligne] <http://plea-arch.org/ARCHIVE/2012/files/T01-20120111-0010.pdf> (page consultée le 25 janvier 2016).
- 41- **MAKROPOULOU, Maria et GOSPODINI, Aspa.** *Urban Form and Microclimatic Conditions in Urban Open Spaces at the Densely Built Centre of a Greek City.* Journal of Sustainable Development, 2016, vol. 9, no 1, p. 132.
- 42- **MASSON, Valéry, GRIMMOND, Christine Susan B., et OKE, Timothy R.** *Evaluation of the Town Energy Balance (TEB) scheme with direct measurements from dry districts in two cities.* Journal of applied meteorology, 2002, vol. 41, no 10, p. 1011-1026.
- 43- **MASSON, Valéry.** *Urban surface modeling and the meso-scale impact of cities.* Theoretical and Applied Climatology, 2006, vol. 84, no 1-3, p. 35-45.
- 44- **MAÏZIA, M.** Densité énergétique versus densité urbaine. *Études foncières*, 2010, no 145, p. 37-38.
- 45- **MARESCA, Bruno, DUJIN, Anne, et PICARD, Romain.** *La consommation d'énergie dans l'habitat entre recherche de confort et impératif écologique.* Centre de recherche pour l'étude et l'observation des conditions de vie, 2009. [Enligne] <http://www.credoc.fr>, (Page consultée le 17 Décembre 2016)
- 46- **MESTAYER, Patrice G. et ANQUETIN, Sandrine.** *Climatology of cities. In : Diffusion and transport of pollutants in atmospheric mesoscale flow fields.* Springer Netherlands, 1995. p. 165-189.
- 47- **MUSY, Marjorie.** *L'étude des microclimats urbains: champ de recherche à l'interface entre climatologie, urbanisme et génie-civil.* VertigoO-la revue électronique en sciences de l'environnement, 2012, no Hors-série 12.
- 48- **NAJJAR, Georges, KASTENDEUCH, Pierre P., RINGENBACH, Nicolas, et al.** *Bilans radiatif et d'énergie dans un canyon urbain.* Climatologie, 2005, no Volume 2, p. 41-57.
- 49- **OKE, Tim R.** *City size and the urban heat island.* Atmospheric Environment (1967), 1973, vol. 7, no 8, p. 769-779.
- 50- **OKE, Tim R.** *Towards better scientific communication in urban climate.* Theoretical and Applied Climatology, 2006, vol. 84, no 1-3, p. 179-190.
- 51- **OKE, T. R. et CLEUGH, H. A.** *Urban heat storage derived as energy balance residuals.* Boundary-Layer Meteorology, 1987, vol. 39, no 3, p. 233-245.
- 52- **OKE, Tim R.** *Street design and urban canopy layer climate.* Energy and buildings, 1988, vol. 11, no 1, p. 103-113.
- 53- **PRADO, Racine Tadeu Araújo et FERREIRA, Fabiana Lourenço.** *Measurement of albedo and analysis of its influence the surface temperature of building roof materials.* Energy and Buildings, 2005, vol. 37, no 4, p. 295-300.
- 54- **RATTI, C, BAKER, N et STEEMERS, K .** *Energy consumption and urban texture,* Energy and Buildings, Vol. 37, 2005.
- 55- **RATTI, C.; RAYDAN, D. & STEEMERS, K .** *Building form and environmental performance: archetypes, analysis and an arid climate,* Energy and Buildings , 2003. [Enligne] https://iiscn.files.wordpress.com/2011/05/paper-science-direcgt.pdf (Page consultée le 05 Décembre 2016)

- 56- **RODE, Philipp, KEIM, Christian, ROBAZZA, Guido, et al.** *Cities and energy: urban morphology and residential heat-energy demand.* Environment and Planning B: Planning and Design, 2014, vol. 41, no 1, p. 138-162.
- 57- **ROSENFELD, Arthur H., AKBARI, Hashem, BRETZ, Sarah, et al.** Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates. Energy and buildings, 1995, vol. 22, no 3, p. 255-265.
- 58- **REITER, Sigrid.** *Concevoir des espaces publics durables.* 2007. Colloque et congrès scientifique .[Enligne] <http://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/20584> (Page consultée le 12 Décembre 2016)
- 59- **SACRÉ, Christian et GANDEMER, Jacques.** *Caractérisation microclimatique des espaces extérieurs: Du point de vue du vent et de la température.* In : Les Annales de la recherche urbaine. Persée-Portail des revues scientifiques en SHS, 1993. p. 96-100
- 60- **SALAT, Serge et NOWACKI, Caroline.** *De l'importance de la morphologie dans l'efficacité énergétique des villes.* Liai-son Energie Francophonie, 2010, vol. 86.
- 61- **SANTAMOURIS, Matheos, PAPANIKOLAOU, Nikos, LIVADA, Iro, et al.** *On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings.* Solar energy, 2001, vol. 70, no 3, p. 201-216.
- 62- **SANTAMOURIS, Mat, SYNNEFA, Afroditi, et KARLESSI, Theoni.** *Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions.* Solar Energy, 2011, vol. 85, no 12, p. 3085-3102.
- 63- **SUN, Chen-Yi, KATO, Soushi, SUNG, Wen-Pei, et al.** *a thermal environment investigation of the urban street canyon in a hot and humid city, taichung city, taiwan.* in : Proc. The 7 th International Conference on Urban Climate. 2009. p. 439-442.
- 64- **TAHA, Haider.** *Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat.* Energy and buildings, 1997, vol. 25, no 2, p. 99-103.
- 65- *Villes et adaptation au changement climatique.* Rapport de l'Onerc au Premier ministre et au Parlement, La Documentation française, Paris, 2005. [Enligne] http://ville.postcarbone.typepad.com/file/onerc_ville_etadaptation.pdf(Page consultée le 05 Décembre 2016)

IV-Site internet :

1. <http://www.futurasciences.com/magazines/environnement/infos/dossiers/d/climatologiehistorique-climat-1241/07/10/2011> – par Gioda Alain, Historien du climat. Consulté le : 22/02/2016
2. <http://fr.academic.ru/dic.nsf/%20frwiki/129372>, consulté le 12-04-2016
3. https://fr.wikipedia.org/wiki/Morphologie_urbaine.consulté le 15.5.2016
4. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Microclimat> consulté le : 24.07.2016

ANNEXES

Annex01 :

Calcule le rayonnement Net (Q_{Rnet})

Morgane, Colombert (2010) souligne que'' *Le bilan radiatif d'une surface exprime la quantité de rayonnement absorbée par cette surface et la quantité de rayonnement émise vers l'atmosphère* '.il peut s'écrire de la façon suivante :

$$R_n = L_{\downarrow} - L_{\uparrow} + (1-\alpha) K_{\downarrow} \quad (W.m^{-2})$$

Où α est l'albédo du sol,

K_{\downarrow} le rayonnement solaire global reçu sur une surface horizontale (direct +diffus).

L_{\uparrow} le rayonnement de grande longueur d'onde émis par le milieu,

L_{\downarrow} le rayonnement atmosphérique descendant (absorbé) ,

1-Rayonnement solaire absorbé :

d'après Valéry, Masson (2000), le rayonnement solaire total absorbé par les différentes surfaces ($R_{absorbé}$) ,s'exprime de la façon suivante :

$$R_{absorbé\ rue} = (1-a_r)R_{direct} + (1-a_r)R_{diffus} + (1-a_r)(1-\Psi_r) \sum R_{diffus}$$

$$R_{absorbé\ mur} = (1-a_m)R_{direct} + (1-a_m)R_{diffus} + (1-a_m)(1-\Psi_m) \sum R_{diffus}$$

$$R_{absorbé\ toit} = (1-a_t)R_{direct} + (1-a_t)R_{diffus}$$

a : albédo des surfaces urbaines

R_{direct} = rayonnement solaire direct provient du soleil reçu sur la surface urbaine .

R_{diffus} = rayonnement solaire diffus provient du ciel reçu sur la surface urbaine .

$\sum R_{diffus}$ = rayonnement solaire total réfléchi par les surfaces lors des réflexions sur la route et les murs

$$\sum R_{diffus\ dans\ la\ rue} = \frac{R_{reflechi\ rue} + (1-\Psi_r)a_r(R_{reflechi\ mur} + \Psi_{mur} a_m R_{reflechi\ mur})}{1 - (1-2\Psi_m)a_m - (1-\Psi_r)\Psi_m a_r a_m}$$

$$\sum R_{diffus\ dans\ le\ mur} = \frac{R_{reflechi\ mur} + \Psi_m a_m R_{reflechi\ rue}}{1 - (1-2\Psi_m)a_m - (1-\Psi_r)\Psi_m a_r a_m}$$

$$\Psi_r = \sqrt{\left(\frac{H}{W}\right)^2 + 1} - H/W$$

$$\Psi_m = \frac{1}{2} \frac{\frac{H}{W} + 1 - \sqrt{\left(\frac{H}{W}\right)^2 + 1}}{H/W}$$

les termes $R_{reflechi\ mur}$ et $R_{reflechi\ rue}$ représentent le rayonnement réfléchi à la première réflexion, soit :

$$R_{reflechi\ rue} = a_r R_{solaire\ direct\ (soleil)\ reçu\ sur\ la\ rue} + a_r R_{solaire\ diffus\ (ciel)\ sur\ la\ rue}$$

$$R_{reflechi\ mur} = a_m R_{solaire\ direct\ (soleil)\ reçu\ sur\ le\ mur} + a_m R_{solaire\ diffus\ (ciel)\ sur\ le\ mur}$$

1-1-Le rayonnement solaire direct reçu sur la surface urbaine :

D'après Colombert , M.2008 .La surface urbaine est soumise du rayonnement solaire direct provient du soleil et un rayonnement solaire diffus (dû aux multiples réflexions) provenant du ciel et le sol.

$$R_{\text{solaire direct (soleil) reçu sur le mur}} = R_{\text{direct}} \left(\frac{H}{W} \left(\frac{1}{2} - \frac{O_0}{\pi} \right) + \frac{1}{\pi} \tan(\varphi) [1 - \cos(O_0)] \right)$$

$$R_{\text{solaire direct (soleil) reçu sur la rue}} = R_{\text{direct}} \left(\frac{2O_0}{\pi} - \frac{2H}{\pi W} \tan(\varphi) [1 - \cos(O_0)] \right)$$

$$R_{\text{solaire direct (soleil) reçu sur le toit}} = R_{\text{direct}}$$

$$\text{Avec } O_0 = \arcsin\left(\min\left(\frac{H}{W \tan(\varphi)}, 1\right)\right)$$

O_0 : l'angle critique d'orientation du canyon au-delà duquel la rue passera dans l'ombre

φ : l'angle zénithal limite des rayons du soleil (=90° - hauteur du soleil)

1-2-Le rayonnement solaire diffus reçu sur la surface urbaine :

Le rayonnement solaire diffus reçu par les différentes surfaces s'exprime directement à partir des facteurs de vue du ciel (Ψ):

$$R_{\text{solaire diffus (ciel) reçu sur la rue}} = \Psi_r \cdot R_{\text{diffus de ciel}}$$

$$R_{\text{solaire diffus (ciel) reçu sur le mur}} = \Psi_m \cdot R_{\text{diffus de ciel}}$$

$$R_{\text{solaire diffus (ciel) reçu sur le toit}} = R_{\text{diffus de ciel}}$$

2-Le rayonnement infrarouge 'thermique' ; c'est le rayonnement réémis par la surface urbaine.

$$R_{\text{réémis mur}} = \varepsilon_m \Psi_m R_{\text{globa}} - \varepsilon_m \sigma T_m^4 + \varepsilon_m \Psi_m \varepsilon_r \sigma T_r^4$$

$$+ \varepsilon_m^2 (1 - 2\Psi_m) \sigma T_m^4 + \varepsilon_m (1 - \varepsilon_r) \Psi_m \Psi_r R_{\text{globa}}$$

$$+ \varepsilon_m (1 - \varepsilon_m) \Psi_m (1 - 2\Psi_m) R_{\text{globa}} + \varepsilon_m^2 (1 - \varepsilon_m) (1 - 2\Psi_m)^2 \sigma T_m^4$$

$$+ \varepsilon_m^2 (1 - \varepsilon_r) \Psi_m (1 - \Psi_r) \sigma T_m^4 + \varepsilon_m (1 - \varepsilon_m) \Psi_m (1 - 2\Psi_m) \sigma \varepsilon_r T_r^4$$

$$R_{\text{réémis rue}} = \varepsilon_r \Psi_r R_{\text{globa}} - \varepsilon_m \varepsilon_r (1 - \Psi_r) \sigma T_m^4$$

$$+ \varepsilon_r (1 - \varepsilon_m) (1 - \Psi_r) \Psi_m R_{\text{globa}} + \varepsilon_m \varepsilon_r (1 - \varepsilon_m) (1 - \Psi_r) (1 - 2\Psi_m) \sigma T_m^4$$

$$+ \varepsilon_r (1 - \varepsilon_m) (1 - \Psi_r) \Psi_m \varepsilon_r \sigma T_r^4$$

$$R_{\text{réémis toit}} = \varepsilon_t R_{\text{globa}} - \varepsilon_t \sigma T_t^4$$

ε est l'émissivité du toit et σ est la constante de Boltzmann (en $W/m^2/K^4$), égale à $5,76 \cdot 10^{-8} W/m^2/K$ et température en (K)

3- calculer le rayonnement solaire direct, diffus et globale :

le rayonnement direct provient du soleil sur un plan horizontal selon PERRIN DE BRICHAMBAUTest donné par la formulation suivante ;

$$R_{\text{direct}} = A \cdot \exp \frac{-1}{B \cdot \sin(h+C)}$$

Avec A, B et C sont des constantes empiriques qui dépendent de la nature du ciel, dont les valeurs sont:

$$A = 1210 \quad B = 6 \quad C = 1 \quad \text{pour un ciel très clair (CTC)}$$

$$A = 1230 \quad B = 3.8 \quad C = 1.6 \quad \text{pour des conditions normales de ciel clair (CNCC)}$$

$$A = 1260 \quad B = 2.3 \quad C = 3 \quad \text{pour un ciel clair pollué. (CCP)}$$

le rayonnement diffus provient du ciel sur un plan horizontal selon PERRIN DE BRICHAMBAUTest donné par la formulation suivante ;

$$R_{\text{diffus}} = E \cdot (\sin h)^{0.4}$$

La valeur de la constante empirique E est :

$$E = (3/4) \cdot 125 \quad \text{pour un ciel très clair (CTC)}$$

$$E = 125 \quad \text{pour des conditions normales de ciel clair (CNCC)}$$

$E = (4/3) \cdot 125$ pour un ciel clair pollué (CCP)

le rayonnement global sur un plan horizontal selon PERRIN DE BRICHAMBAUT est donné par la formulation suivante ;

$$R_{\text{glob}} = A \cdot (\sin h)^D$$

avec : d

$A = 1150$ $D = 1.15$ pour un ciel très clair (CTC).

$A = 1080$ $D = 1.22$ pour des conditions normales de ciel clair (CNCC).

$A = 990$ $D = 1.25$ pour un ciel clair pollué (CCP)

heur	4	6	8	10	12	14	16	18	20
hauteur de soleil (h)	0°	13.1°	37.1°	61.6°	78.6°	61.6°	37.1°	13.1°	0°
azimut	-53.5	-70.4	-85.3	-74.5	0	74.5	85.8	70.4	53.5
Angle zénithal =90-h	0	76.9	52.9	28.4	11.4	28.4	52.9	76.9	0
R direct	0	436	807	915	941	915	807	436	0
R diffus	0	70	102	118	125	118	102	70	0
R global	0	168	588	922	1047	922	588	168	0

Annex02 ;

Les paramètres microclimatique dans chaque station

Station 01	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
T _{air} C ⁰	35.7	35.4	36.3	37.4	43.4	45.4	45.4	45.4	43.8	39.8	38.8
T _{extérieure mur} C ⁰	34	34	34	38	45.7	47	47	44	40	38	36
T _{intérieure mur} C ⁰	32	32	32	35	39	42	42	41	38	34	32
V m/s	1	1	0.5	0.8	1	1	1.5	2	2	1	1.5
Hr %	26.5	24	23.2	17.2	10.8	10.7	9.2	9.2	7.4	11.2	14

Station 02	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
T _{air} C ⁰	34.4	34.4	37	41.3	44.8	46	46	45.8	42.8	38.8	38.1
T _{extérieure mur} C ⁰	35.5	35.5	39	43.3	47	53	60	57	50	45	40.8
T _{intérieure mur} C ⁰	33	33	35	37	40	43	45	43	40	37	35
V m/s	1	1	0.5	0.8	0.6	1	1.5	2	2	1	1.5
Hr %	28.8	25.4	21.1	17.4	9.2	9.8	8.8	8.8	8.8	12.6	14.5

Station 03	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
T _{air} C ⁰	34.2	34.4	37.6	41	44.6	45.8	45.8	45.4	42.8	38.8	38
T _{extérieure mur} C ⁰	35	35.5	39	43	47	53	60	57	50	45	41.7
T _{intérieure mur} C ⁰	33	33	35	37	40	43	45	43	40	37	35
V m/s	0.7	0.8	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	1.5	0.6	0.6	0.6
Hr %	28.2	24.8	21.5	17.2	9	10.2	9.8	9.8	8.8	12.2	14.9

Station 04	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
T _{air} C ⁰	33	33	38	41	44.5	46	46	45.6	41.5	37.6	37
T _{extérieure mur} C ⁰	35.2	35.2	40	44	47	55	63	58	53	48	37
T _{intérieure mur} C ⁰	33	33	35	37	40	43	45	43	40	37	35
V m/s	0.7	0.8	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	1.5	0.6	0.6	0.6
Hr %	21.4	25.8	19.8	17.8	7.8	9.8	9.2	9.2	10	13.8	17

Station 05	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
T _{air} C ⁰	33	33	38	41	44.5	46	46	45.6	41.5	37.6	37
T _{extérieure mur} C ⁰	35.4	35.4	40.8	44.4	47.5	55.4	63.2	58.4	53.2	48.5	37.2
T _{intérieure mur} C ⁰	33	33	35	37	40	43	45	43	40	37	35
V m/s	0.7	0.8	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	1.5	0.6	0.6	0.6
Hr %	21.4	25.8	19.8	17.8	7.8	9.8	9.2	9.2	10	13.8	17

Station 06	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
T _{air} C ⁰	33	33	38	41	44.5	46	46	45.6	41.5	37.6	37
T _{extérieure mur} C ⁰	34.8	34.8	38.8	43.4	45.2	50.2	55.7	48.7	43.6	40	41.1
T _{intérieure mur} C ⁰	33	33	35	37	40	43	45	43	40	37	35
V m/s	0.7	0.8	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	1.5	0.6	0.6	0.6
Hr %	21.4	25.8	19.8	17.8	7.8	9.8	9.2	9.2	10	13.8	17

RÉSUMÉ

Résumé :

La présente recherche porte sur le volet environnemental, qui vise à évaluer l'efficacité énergétique de la conception urbaine. Cette nouvelle réflexion se repose à diminuer les émissions carbonées à l'échelle supérieure à celle de la construction individuelle [Bouyer, J.2009]. Dans ce compte, notre travail est concentré sur l'évaluation des ambiances thermiques extérieures au niveau de la rue (à l'échelle intermédiaire), puisque il y'a interaction entre ambiance extérieure et confort intérieur des bâtiments. De ce fait, la rue présente cet espace intermédiaire qui joue un rôle de régulateur thermique entre intérieure et extérieure, elle est considéré comme un point nodal et un facteur clé qui influe sur la demande énergétique nécessaire, dans une grande partie, à la climatisation active des bâtiments dans les milieux chaud et aride.

En premier lieu, il s'agit de quantifier le microclimat urbain et de mesurer l'îlot de chaleur urbain pour révèle l'effet du milieu urbain sur le climat, en se basant sur une approche expérimentale appelée les mesures in situ ($T_a . T_m . V . Hr$). En second lieu, ce travail comporte aussi le calcul du bilan énergétique par l'adoption et l'application du modèle climatique TEB qui se base sur le prélèvement climatique ($T_a . T_m . V . Hr$) afin de calculer l'emménagement énergétique dans les façades, en fonction des indicateurs morphologiques à l'échelle des rues, à savoir :

- 1 - Ratio (H/L).
- 2 - Facteur de vu de ciel (FVC) .
- 3 - Degree of Enclosure (DoE).
- 4- albédo (a).

L'apport climatique d'un tel espace extérieur et les enjeux énergétiques conséquents de sa morphologie permettent la quantification de ces énergies, qu'on peut réduire par le biais de ces indicateurs en vue d'une ville post-carbone, l'un des piliers de développement durable. C'est une stratégie climatique à long terme privilégiée notamment, pour les pays en voie de développement, puisque une isolation thermique ne rattrape pas une mauvaise adaptation des formes urbaines, autant que l'exploitation des énergies alternatives sont très couteuses.

Mots clés :

La demande énergétique .Le microclimat urbain. Ilot de chaleur urbain. Indicateurs morphologiques. ville durable.

T_a ; température de l'air. T_m : température du mur . V : vitesse du vent . Hr : humidité relative

الملخص:

يرتكز هذا البحث حول الجانب البيئي الذي يهدف إلى تقييم الفعالية والكفاءة الطاقوية للتصميم العمراني. هذا التوجه الجديد الذي يستند إلى الحد من انبعاث غاز الكربون على مقياس حضري أكبر من مقياس المباني المنفردة. في هذا السياق، يتمحور بحثنا حول تقييم البيئة الحرارية الخارجية على مستوى الشارع لأنه يوجد تفاعل وعلاقة ما بين البيئة الحرارية الخارجية و الرفاهية الحرارية الداخلية للمباني. ونضرا لكون الشارع مجال حضري انتقالي فإنه يلعب دور منظم حراري ما بين الداخل والخارج و يعتبر أيضا نقطة مفصلية وعامل مهم يؤثر في استهلاك الطاقة من أجل تبريد المباني في المناطق الحارة والجافة.

في بادئ الأمر سنقوم بتقييم المناخ الحضري المصغر وأيضا قياس الجزيرة الحرارية الحضرية وهذا بالاعتماد على المنهج التجريبي وذلك من خلال اخذ قياسات مناخية مباشرة ولحظية من الموقع: (درجة حرارة الهواء-درجة حرارة الحائط-الرطوبة-سرعة الرياح). ثانيا. هذا العمل يستند أيضا على حساب الحوصلة الطاقوية من خلال تطبيق نموذج TEB والذي بدوره يعتمد على القياسات المناخية السابقة من أجل حساب الطاقة المخزنة في واجهات المباني وذلك بواسطة مؤشرات مورفولوجية (الفيزيائية) التالية الخاصة على مستوى الشارع :

- 1- عرض الشارع/ارتفاع المبنى.
- 2- درجة الانفتاح نحو السماء .
- 3- درجة الانغلاق بالنسبة للحائط.
- 4- درجة الانعكاس لمواد البناء

إن البعد المناخي للفضاء العمراني الخارجي والرهانات الطاقوية الناجمة من شكله الفيزيائي تسمح لنا بالتقليل من الطاقة المستهلكة داخل المباني من خلال المؤشرات الفيزيائية السابقة الذكر من أجل الوصول إلى مدينة مستدامة (مابعد الكربون) احد مبادئ التنمية المستدامة. إن هذه الإستراتيجية المناخية على المدى الطويل هي مناسبة للدول النامية نظرا لان العوازل الحرارية وحدها لا تكفي ولا تعوض عن التصميم السيئ للأشكال العمرانية غير المتأقلمة مع المناخ كما أن استغلال الطاقات المتجددة مكلفة جدا.

الكلمات المفتاحية :

استهلاك الطاقة. المناخ الحضري المصغر .الجزيرة الحرارية الحضرية .المؤشرات المورفولوجية (الفيزيائية). المدينة المستدامة.

Abstract :

This research focuses on the environmental aspect, which aims to evaluate the energy efficiency of urban design. This new reflection is based on reducing carbon emissions on a scale higher than that of individual construction [Bouyer, J.2009] . In this account, our research focuses on the evaluation of outdoor thermal environment at the street level (intermediate scale), because there is interaction between outside environment and interior comfort in buildings. Of this fact, street is a transitional urban area, which acts as a thermal regulator between the inside and outside. It is also an articular point and an important factor that affects the energy demand, in large part, for the active cooling of buildings in hot and arid environment.

First, we will evaluate the urban microclimate and measuring the urban heat island to reveal the effect of the urban environment on the climate, This is based on the experimental method, by taking direct and instantaneous the climatic parameters from the site (air temperature, wall temperature, humidity, wind speed).Secondly, this work is also based on calculation of the energy balance through the application of the TEB model, which in turn depends on the previous climatic parameter . This method of calculation allows us to calculate the energy storage in the facade of buildings., according to this morphological indicators at the level of the streets :

- 1 - rapport (L/ W).
- 2 - Sky View Factor (SVF).
- 3 - Degree of Enclosure (DoE).
- 5- albédo (a).

The climatic contribution of such an external space and the energetic stakes of its morphology allow the quantification of these energies, which can be reduced by means of these indicators in view of a post-carbon city, one of the Pillars of sustainable development. It is a long-term climate strategy favored in particular for the developing countries, since thermal insulation does not make up for a poor adaptation of urban forms, as far as the exploitation of alternative energies are very expensive.

Keywords :

Energy demand .The urban microclimate .The urban heat island. Morphological indicators.. sustainable city.