

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR &
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MENTOURI DE CONSTANTINE**

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

DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

N° d'ordre.....

Série.....

MEMOIRE

**POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MAGISTERE
OPTION : BIO-CLIMATIQUE**

Présenté par : Melle BOUCHERIBA FOUZIA

THEME :

**IMPACT DE LA GEOMETRIE DES CANYONS URBAINS
SUR LE CONFORT THERMIQUE EXTERIEUR
- Cas du Coudiat de Constantine -**

Sous la direction du Dr : BOURBIA FATIHA

Jury d'examen :

- Dr BOUCHEHAM YASMINA.....Président
- Dr ABDOU SALIHA.....Membre
- Dr SAFFIDINE DJAMILA.....Membre
- Dr BOURBIA FATIHA.....Rapporteur

Soutenu le.....



DEDICACES

Je dédie ce travail à :

Mes parents ;

Mes frères ;

Mes sœurs ;

Mes neveux et nièces ;

*Mes collègues à la Direction de l'Urbanisme et
de la Construction*

REMERCIEMENTS

Je remercie mon encadreur Madame BOURBIA FATIHA pour ses précieux conseils, ses orientations et sa patience.

Je remercie nos chères enseignantes Mesdames : ABDOU SALIHA, BOUCHEHAM YASMINA, NINI GUERMIA et SAFFIDINE DJAMILA pour leurs encouragements.

Je remercie l'ensemble des cadres de l'office national de la météorologie.

Je remercie les responsables et cadres du centre d'Audio Visuel de l'Université de Constantine.

Je remercie énormément madame FAZIA ALI TOUDERT et Monsieur MATZARAKIS de l'université de Freiburg en Allemagne pour leur collaboration par une précieuse documentation.

Je remercie RAMZI et HOUSSAM pour leurs efforts et leur contribution à la réussite du travail de terrain.

Je remercie tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'achèvement de ce travail

SOMMAIRE

<u>CONTENU</u>	<u>PAGE</u>
INTRODUCTION GENERALE.....	01
1- PROBLEMATIQUE.....	02
2- HYPOTHESES DE RECHERCHE.....	04
3- OBJECTIFS.....	04
4- METHODOLOGIE ET OUTILS.....	05
CHAPITRE I : HISTORIQUE	
« Aperçu sur l'adaptation climatique de la rue à travers l'histoire »	
INTRODUCTION.....	07
1- La rue des villes Greco Romaines.....	09
2- La rue des villes Arabo-musulmanes.....	11
3- La rue des villes au 17 ^{ème} siècle	
3-1- La ville médiévale (début 17 ^{ème} siècle).....	13
3-2- La Renaissance (moitié 17 ^{ème} siècle).....	14
4- La rue des villes au 18 ^{ème} siècle.....	15
5- La rue des villes au 19 ^{ème} siècle.....	15
6- La rue des villes au 20 ^{ème} siècle.....	18
CONCLUSION.....	20
CHAPITRE II : LE CLIMAT	
INTRODUCTION.....	21
1-Définition du climat.....	22
2-Facteurs qui influent sur le climat.....	23
3- Classification des climats.....	24
4- Eléments météorologiques du climat.....	26
4-1- Le vent.....	26
4-2- Le rayonnement solaire.....	31
4-3- La température.....	38
4-4- L'humidité.....	38
4-5- les précipitations.....	39
CONCLUSION.....	41

CHAPITRE III : LE MICROCLIMAT URBAIN

INTRODUCTION.....	42
1- L’ILOT DE CHALEUR URBAIN.....	46
1-1- Définition de l’ICU.....	46
1-2- Ses caractéristiques.....	48
1-3- Son intensité.....	48
1-4- Ses impacts.....	49
1-5- Ses causes (facteurs contribuant à la formation de l’ICU).....	49
2- CONCEPTS	
2-1- L’Atmosphère.....	51
2-2- Les différentes couches limites	
2-2-1- La couche limite atmosphérique (CLA).....	52
2-2-2- La couche limite urbaine (CLU).....	53
2-2-3- La canopée urbaine (CU)	53
2-3- Climat urbain.....	54
2-4- Echelles du climat.....	55
3- FACTEURS AFFECTANTS DIRECTEMENT LE CLIMAT URBAIN	
3-1- La morphologie propre à l’espace.....	56
3-2- Eléments contenus par l’espace	
3-2-1- Les activités humaines (anthropiques).....	56
3-2-2- Les matériaux.....	56
3-2-3- L’albédo.....	57
3-2-4- La densité et taille de la ville.....	57
3-2-5- Absence de végétation et d’eau.....	58
4- LES PHENOMENES MICROCLIMATIQUES EN MILIEU URBAIN.....	58
4-1- Effets aérodynamiques en milieu urbain.....	59
4-2- Effets thermiques en milieu urbain.....	67
4-3- Effets radiatifs en milieu urbain.....	71
4-4- Précipitations en milieu urbain.....	71
4-5- Humidité en milieu urbain.....	72
4-6- Qualité de l’air en milieu urbain	
4-6-1- Pollution.....	72
4-6-2- Brouillard.....	74

CONCLUSION.....	75
CHAPITRE IV : IMPACT DE LA GEOMETRIE DES CANYONS URBAINS SUR LES VARIATIONS MICRO CLIMATIQUES	
INTRODUCTION.....	76
1- GEOMETRIE DE LA RUE	
1-1- Définition de la rue.....	77
1-2- Les formes géométriques de la rue.....	77
1-2-1- Forme canyon.....	77
1-2-2- Forme dièdre.....	78
1-2-3- Forme dégagée.....	79
2- LES EFFETS CLIMATIQUES DANS LA RUE DU TYPE CANYON	
2-1- Effets aérodynamiques dans une rue de type « canyon ».....	79
2-2- Effets thermiques dans une rue de type « canyon ».....	82
2-3- Effets radiatifs dans une rue de type « canyon ».....	83
CONCLUSION.....	85
CHAPITRE V : IMPACT DE LA GEOMETRIE DES CANYONS URBAINS SUR LE CONFORT THERMIQUE EXTERIEUR	
INTRODUCTION.....	86
1- NOTIONS GENERALES SUR LE CONFORT	87
1-1- Facteurs du confort thermique	
1-1-1- Production de la chaleur par le corps humain.....	88
1-1-2- Perte de la chaleur par le corps humain.....	88
1-1-3- mécanisme régulateur.....	89
1-2- Indices de confort thermique.....	90
1-2-1- Température effective corrigée (CET).....	90
1-2-2- Chaleur équivalente (EW).....	91
1-2-3- Température opérative (TO).....	91
1-2-4- Vote moyen prévisible (PMV).....	91
1-2-5- Température physiologique équivalente (PET).....	92
1-2-6- Température moyenne radiante (MRT).....	93
2- RELATION ENTRE LE CONFORT THERMIQUE EXTERIEUR ET LA GEOMETRIE DE LA RUE.....	93
2-1- Confort thermique dans la rue d'après les études précédentes.....	94

2-1-1- Aspect thermique et énergétique.....	94
2-1-2- Aspect dynamique.....	95
2-1-3- Aspect radiatif.....	96
CONCLUSION.....	98
CHAPITRE VI : ANALYSE CLIMATIQUE DE LA VILLE DE CONSTANTINE	
INTRODUCTION.....	100
1- Climats en Algérie.....	101
2- Analyse climatique de la ville de Constantine	
2-1- Situation de la ville de Constantine.....	103
2-2- Classification climatique.....	103
2-3- Interprétation des données climatiques	
2-3-1- Température de l'air.....	105
2-3-2- Humidité relative.....	105
2-3-3- Ensoleillement.....	106
2-3-4- Précipitations.....	109
2-3-5- Vents.....	110
2-3-6- Indice d'aridité.....	111
CONCLUSION.....	112
CHAPITRE VII : PARTIE PRATIQUE « Investigation »	
INTRODUCTION.....	113
1- PRESENTATION DU SITE	
1-1- Situation du site.....	115
1-2- Critères du choix du site.....	115
1-3- Analyse climatique du site.....	117
1-4- Matériaux.....	119
1-5- Couleurs.....	119
1-6 Trafic routier.....	120
2- Campagne de mesure.....	120
2-1- Instrument de mesure.....	120
2-2- Période de mesure.....	121
2-3- Choix des axes a développer.....	121
2-4- Choix des stations de mesure.....	122

2-4-1- Axe NE-SO.....	122
2-4-2- Axe NO-SE.....	129
2-5- Choix des canyons à comparer.....	132
3- RESULTATS	
3-1- En été.....	133
3-2- En hiver.....	148
CONCLUSION.....	151
CHAPITRE VIII : SIMULATION NUMERIQUE	
INTRODUCTION.....	153
1- Description du logiciel de simulation ENVI-met3.....	154
2- Exploitation du programme ENVI-met3 par des recherches universelles.....	156
3- Simulation des deux axes NE-SO et NO-SE.....	156
4- Validation du Programme ENVI-met3.....	160
4-1- Simulation de l'axe NE-SO	
4-1-1- Température de l'air.....	160
4-1-2- Température moyenne radiante & PMV.....	160
5- Comparaison entre les deux axes NE-SO et NO-SE.....	161
6- Simulation des deux canyons NE-SO et NO-SE	
6-1- Température de l'air.....	174
6-2- Température moyenne radiante.....	176
6-3- PMV.....	176
7- Changement des paramètres	
7-1- Ratio H/W= 4.....	179
7-2- Ratio H/W= 1.....	179
7-3- Résultats.....	180
CONCLUSION.....	190
CONCLUSION GENERALE.....	191
BIBLIOGRAPHIE	
LISTE DES FIGURES	
LISTE DES TABLEAUX	
NOMENCLATURE	
ANNEXES	
RESUMES	



INTRODUCTION GENERALE

La charte d'Athènes, élaborée par les CIAM (congrès internationaux d'architecture moderne) en 1933 a eu une grande influence sur l'aménagement des espaces extérieurs urbains, en particulier parce qu'elle préconise un zonage des quatre fonctions : habiter, travailler, circuler et se récréer. « *La ville moderne se caractérise par le refus des espaces publics urbains traditionnels, la rue et la place éléments structurants des villes depuis l'antiquité sont aujourd'hui condamnés au nom de la séparation des circulations et de la ségrégation des activités...L'espace public n'est plus matérialisé à l'échelle d'un cheminement urbain comme l'était la rue, il est devenu sans directions, ni limites, vague et inconsistant* »¹

Cette situation a généré des nouvelles préoccupations, et c'est à partir de là qu'on a commencé à réfléchir à une autre tendance qui vise la reconstruction des villes à partir des espaces extérieurs. Il s'agit de faire de l'espace public un élément générateur des formes bâties. Cette vision a demeuré jusqu'à ce que le monde s'est surpris par ce premier choc pétrolier du début des années 70. le monde occidental s'est trouvé dans l'obligation de réfléchir à un mode de vie avec la moindre consommation énergétique. Le domaine du bâtiment s'est alors révélé au centre des préoccupations des décideurs et des concepteurs. Or , l'intérêt fût attribué à la recherche du confort des espaces intérieurs. Les ambiances extérieurs n'ont été que très peu explorées.²

Ajoutant à cela que les villes se développent rapidement, et on estimait auparavant (dans les années 90) que vers la fin de l'an 2000, plus de la moitié de la population vivra dans les secteurs urbains, tandis qu'il y a 100 ans ,14% seulement y habitait. L'industrialisation, les activités concentrées au niveau des villes et l'élévation du trafic du moteur augmentent la consommation d'énergie et la pollution atmosphérique, abaissent la qualité environnementale et climatique et engendrent un surchauffe des centres urbains,³ ce qui engendre des effets néfastes sur la santé humaine et contribuent à la

¹ Pinon,1991. **in** MASMOUDI,Soraya. *Relation entre géométrie urbaine,végétation et confort thermique extérieur : cas de la place dans les régions arides à climat chaud et sec*. Thèse de Magistère. Université Mohamed Kheidar. Biskra,2003.p1

² Los,1981 **in** MASMOUDI,Soraya. *Relation entre géométrie urbaine,végétation et confort thermique extérieur : cas de la place dans les régions arides à climat chaud et sec*. Thèse de Magistère. Université Mohamed Kheidar. Biskra,2003.p2

³ P.Littlefair, D.Hall et A.Spanton. *Actions urbaines de recherches , de planification pour améliorer l'accès solaire, le refroidissement passif et le microclimat*.2002 **in** <http://www.lemma.ulg.ac.be>

propagation de diverses maladies : tuberculose, maladies respiratoires...etc., ainsi que des effets très dangereux sur la flore et la faune urbaines et leurs diversités. Les effets de cette accélération de l'urbanisation atteignent également la qualité de l'air , de l'eau et du microclimat ⁴.

Dans les villes à climat aride et semi aride, l'objectif est toujours d'éviter les rayons solaires directs et de rechercher l'ombre et la fraîcheur. Cependant , dans les tissus urbain récents , les espaces urbains sont généralement très ouverts assaillis de toutes parts et à toutes heures par un soleil chaud et ardent. Il s'avère que parmi l'ensemble des espaces urbains les rues et les places sont les plus touchées par la dégradation du degré de confort. Leur conception est soumises à des considérations autres que climatiques. Et les rues telles qu'elles sont conçues désignées par le terme « canyons » urbains, contribuent à la formation de ce phénomène microclimatique propre aux milieux urbains appelé « îlot de chaleur urbain », et ce ,de part leur géométrie et leurs orientations⁵.

Ce constat nous incite à essayer de mieux comprendre comment la conception de l'espace extérieur urbain notamment la « rue » peut affecter le climat urbain et par conséquent le confort des individus. Dans les climats chauds, afin de lutter contre certaines situations excessives voire insupportables, le recours à des dispositifs naturels s'imposent comme il l'a été à travers les siècles.

1- PROBLEMATIQUE :

Les espaces extérieurs urbains , contrairement aux espaces intérieurs des bâtiments (qui tendent à priori à avoir les conditions thermiques relativement régulières et contrôlables) , sont définis par de grandes variations quotidiennes et saisonnières des paramètres microclimatiques beaucoup plus difficile à gérer : (humidité, température de l'air, vents, rayonnements...). Les spécificités du milieu urbain engendrent des modifications climatiques perceptibles à tous les niveaux.

⁴ ROHINTON, Emmanuel. *Urban Heat Island And Cooling Load* .1999

⁵ DE HATTEN, Anne. *Mise en évidence des caractéristiques générales de l'îlot de chaleur urbain Strasbourgeois*. Thèse de maîtrise de Géographie. Université Louis Pasteur de Strasbourg. 2002.p10

La compréhension et l'évaluation du confort thermique dans les espaces extérieurs, sont des conditions de base pour toute conception urbaine bioclimatique. Or la négligence de ce principe a fait que l'environnement urbain est devenu souvent inconfortable, souffrant d'un effet de surchauffe. Ce phénomène n'est autre que l'« îlot de chaleur urbain » comme précité.⁶

L'îlot de chaleur urbain ou (ICU) , a été reconnu au tournant du siècle dernier, où on a découvert que les températures urbaines sont généralement plus élevées que les températures rurales ou des zones périphériques au même moment et que l'intensité de cette différence peut être relativement importante pouvant engendrer une augmentation de la température maximale de l'air entre une ville et ses abords jusqu'à environ 10°C).⁷ Parmi les causes de l'ICU que T.R Oke a cité en 1976 :

- Les propriétés des matériaux urbains permettant un stockage de la chaleur le jour et sa libération la nuit.
- La réduction de la vitesse du vent dans la canopée urbaine.
- Le piégeage des radiations en grandes longueur d'ondes par les canyons donc les rues urbaines peuvent agir en tant que gorges qui maintiennent la chaleur.

Donc, il y a une grande variabilité des facteurs qui contribuent au surchauffe de l'air en milieu urbain. Notre présente recherche s'est accentuée sur l'une des causes précitées qui est l'effet des canyons urbains.

Qu'est ce qu'un canyon urbain ? et quel est l'impact de sa géométrie (hauteur des immeubles qui le délimite et largeur de la chaussée) et son orientation sur l'ambiance thermique extérieur ainsi que sur le confort des individus ?

⁶ G.Scudo et Gianni. *Les sciences de l'environnement*.2002 **in** [http:// www.map21.ltb.com](http://www.map21.ltb.com)

⁷ Météo France,2000 **in** <http://www.meteocentre.com>

2- HYPOTHESES DE RECHERCHE :

Beaucoup de recherches passées sur l'ICU dans les climats arides et semi arides, ont mis l'accent sur l'importance de l'orientation des rues ainsi que leurs géométrie (définie par le ratio de la hauteur moyenne des immeubles sur la largeur moyenne des rues H/W) en tant que cause principale de ce phénomène, où on a nettement précisé que la rue peut être considérée comme une gorge qui maintient la chaleur et que sa géométrie est étroitement liée au confort extérieur⁸. Son impact est concrétisé par le fait que :

- Ø L'environnement thermique et particulièrement la température de surfaces (la chaleur provenant des façades des immeubles et du sol) et de l'air, est considérablement influencé par les caractéristiques géométriques du canyon urbain. Un grand ratio H/W est souhaitable pour les climats arides et semi arides. Or, un tissu urbain éclaté (donc une rue large) favorise l'accès du soleil affectant ainsi en hausse la température de l'air.
- Ø L'orientation du canyon urbain affecte directement la température de l'air. Au moment où le transfert de la chaleur par le mouvement d'air dans les rues est réduit, une rue orientée dans le sens des vents dominants d'été est naturellement ventilée et la chaleur est directement chassée.⁹

Donc, ces deux paramètres : géométrie et orientation des canyons contribuent directement à définir l'ambiance thermique extérieur.

3- OBJECTIFS :

L'objectif de la présente recherche est de démontrer que la régulation thermique du microclimat urbain dans un climat semi aride comme celui de la ville de Constantine est possible, et que le confort extérieur puisse être obtenu au niveau de la rue par des choix judicieux de l'orientation et de la géométrie de celle-ci.

⁸ L.Shhashua Bar et M.E.Hoffman . *Geometry and orientation aspects in passive cooling of canyon streets with trees*". Passive low energy in architecture. 2000. p.483-488

⁹ P.Littlefair, D.Hall et A.Spanton. *Actions urbaines de recherches, de planification pour améliorer l'accès solaire, le refroidissement passif et le microclimat*.2002 [in http://www.lemma.ulg.ac.be](http://www.lemma.ulg.ac.be) (site consulté en Mars 2004)

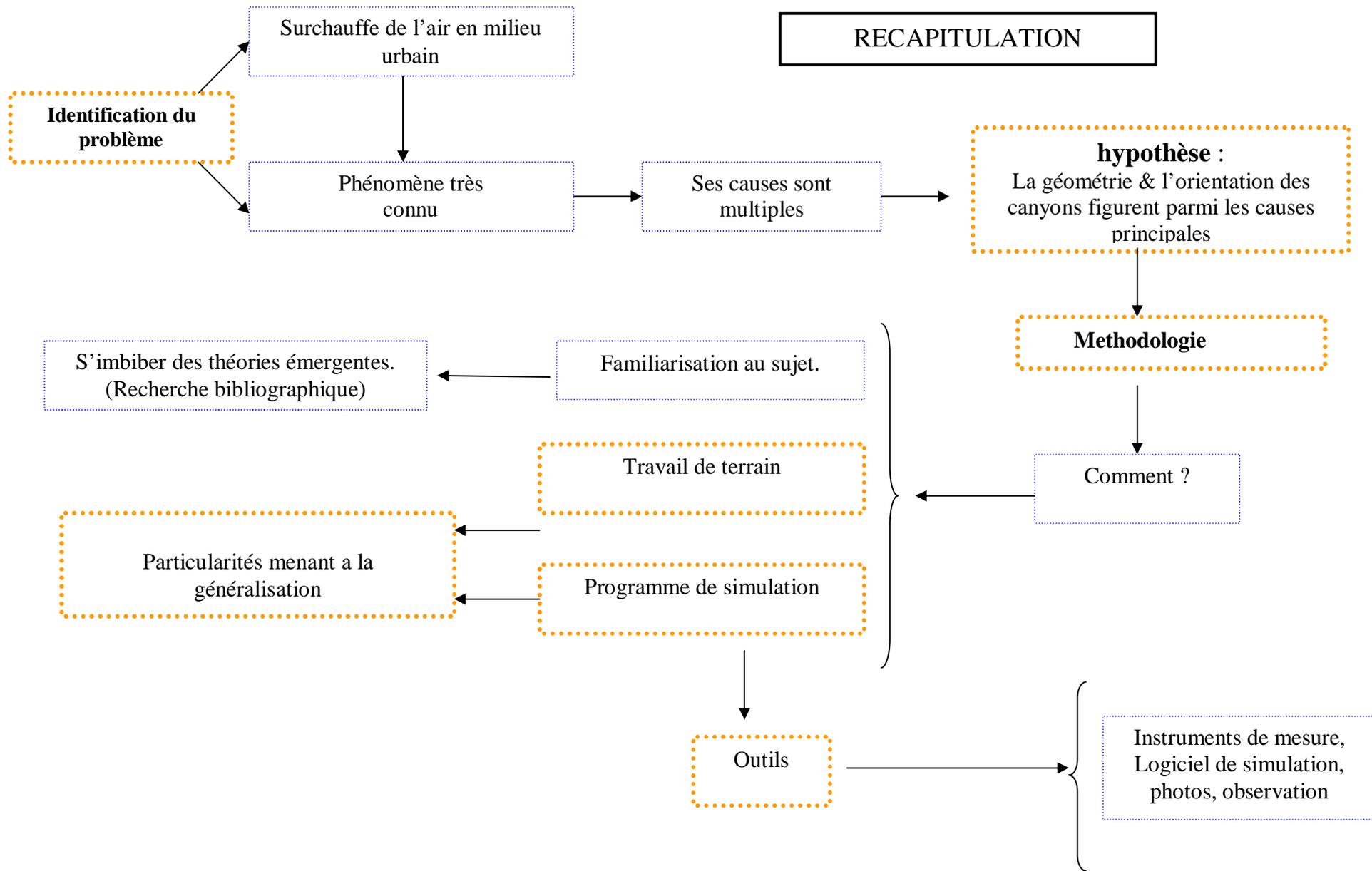
L'îlot de chaleur urbain est un phénomène très complexe qui dépasse le seuil d'un quartier ou d'un centre urbain. Son ampleur est à l'échelle de toute une ville et ses causes sont multiples et nécessitent pour être analysés une série de données climatiques de plusieurs années, ainsi que plusieurs stations (îlots) urbaines et rurales représentatives ou sera déroulée d'importantes campagnes de mesures. L'étude de ce phénomène nécessite également des moyens humains et matériels très importants : (radars, stations d'observations terrestres, radiosondages, avions de recherche, réseaux de stations de mesures, mâts télescopiques...ainsi qu'un grand nombre de chercheurs)¹⁰.

C'est pourquoi, la présente recherche est accentuée sur deux facteurs supposés avoir un rôle important dans la contribution à la création de l'ICU qui sont la géométrie et l'orientation des canyons urbains. Notre objectif est d'évaluer d'abord l'impact de la géométrie des canyons urbains sur la température de l'air et par conséquent sur le confort thermique de l'individu, ensuite de démontrer qu'une régulation thermique des espaces extérieurs est possible notamment au niveau des canyons urbains. Suite à cela, on tentera de définir la géométrie et l'orientation adéquates du canyon pouvant offrir plus de confort.

4- METHODOLOGIE ET OUTILS :

La recherche s'organise en trois grandes parties : une partie théorique issue d'une recherche bibliographique répartie en six chapitres à travers laquelle l'objectif était de cerner et comprendre les éléments théoriques de base qui contribuent à la canalisation de la présente recherche vers les objectifs ciblés. Une deuxième partie qui concerne le volet pratique et qui consiste en une campagne de mesure effectuée sur terrain faisant l'objet du septième chapitre. Cette partie de la recherche s'est basé sur le choix d'un tissu urbain existant qualifié de représentatif dans lequel une série de mesure de température de l'air et de surfaces s'est effectuée par le biais d'un « thermocouple », dans le but d'évaluer l'impact des canyons urbains sur l'ambiance thermique extérieure. On s'est basé également sur une prise de vues en moyen d'un objectif « fish eye ». Et enfin une troisième partie intégrant le huitième chapitre et qui consiste en une simulation basée sur un programme numérique tridimensionnel appelé « ENVI-met3 » qui permet d'évaluer le confort thermique au niveau des espaces extérieurs ainsi que beaucoup d'autres paramètres.

¹⁰Météo France, 2000 **in** <http://www.meteocentre.com>



CHAPITRE I

HISTORIQUE

« Adaptation climatique de la rue à
travers l'histoire »

INTRODUCTION :

Le principe d'organisation et d'implantation des villes à travers toutes les civilisations a été dicté soit par des motifs de survie tels que l'organisation excentrique autour d'un point d'eau, linéaire le long d'un axe faisant le passage des caravanes commerçantes ou par des obligations d'ordre défensifs ou encore par celles imposées par les traditions et les coutumes, dans ce sens, Saidouni Maouia a cité à propos des villes traditionnelle que : « *dans la production de l'espace traditionnel, les rues sont de véritables cheminements tracés par les habitudes et non pas par un tracé régulateur* »¹.

De nombreux récits voient dans la ville le lieu par excellence de confort et d'un cadre de vie meilleur. On a avancé par exemple que : « *les gens des villes semblent vouloir rendre leurs cités confortables et mettre au point des dispositifs permettant de protéger le piéton de la nature, notamment des excès de chaque saison : de la pluie, de la boue, du vent, du froid, de la chaleur et de l'humidité* ».²

Ce confort recherché, par une population urbaine en croissance, concerne aussi bien les espaces de vie intérieurs que ceux utilisés par le grand public. L'espace public est un composant fondamental dans la ville, les rues et les places sont des lieux où s'expose l'architecture et où se déroule la vie quotidienne des citadins. Cet espace, n'a pas cessé d'être la préoccupation primordiale des chercheurs : urbanistes, architectes, paysagistes, météorologues...etc., dont l'objectif est de déterminer les différents facteurs pouvant affecter le bien être physique et moral de la population : « *La villes n'est pas seulement faite de fonctions , de droits d'usage des sols et de rapports sociaux, c'est aussi des formes et des paysages qui stimulent négativement ou positivement notre sensibilité* »³

Ce présent chapitre s'articule autour du passé de l'un des éléments structurant de la ville : LA RUE.

Ce composant urbain, vu qu'il est l'espace extérieur le plus mouvementé ; de circulation et d'activités, lui assurer le confort adéquat a été l'objectif de nombreuses recherches (expérimentales, empiriques et numériques), non seulement à des fins urbanistiques mais également environnementales et climatiques. Xavier Malverti précise

¹ SAIDOUNI , Maouia . *Éléments d'introduction à l'urbanisme*. Alger, Casbah édition, 2000, p :32

² XAVIER, Malverti et ALETH, Picara. *Les saisons de la ville*. 1990,P :114

³ SAIDOUNI , Maouia . *Éléments d'introduction à l'urbanisme*. Alger, Casbah édition, 2000, p : 65

que : « *les trottoirs devraient être ensoleillés mais sans excès, les rues peu ventées mais suffisamment aérées...des dispositifs devaient maintenir un éternel mois de Juin dans la rue, limitant tout excès* ». ⁴

L'évolution des villes à travers l'histoire , témoignent que « *les espaces non bâtis essentiellement les rues et les places constituaient des entités autonomes et closes, produisant des effets esthétiques particuliers* » ⁵

L'objectif du présent chapitre est de mettre l'accent sur l'un des paramètres essentiels qui ont dicté la conception des rues à travers l'histoire qui est celui de son adaptation aux différentes conditions climatiques. Pour ce, le chapitre a été réparti en six parties :

1. La rue des villes Greco Romaines.
2. La rue des villes Arabo-musulmanes.
3. La rue des villes au 17^{ème} siècle.
 - La ville médiévale (début 17^{ème} siècle)
 - La Renaissance (moitié 17^{ème} siècle)
4. La rue des villes au 18^{ème} siècle.
5. La rue des villes au 19^{ème} siècle.
6. La rue des villes au 20^{ème} siècle.

⁴ XAVIER, Malverti et ALETH, Picara. *Les saisons de la ville*. 1990,P :114

⁵ SAIDOUNI , Maouia . *Eléments d'introduction à l'urbanisme*. Alger, Casbah édition, 2000, p :32

1- La rue des villes Greco Romaines :

Les premières manifestations de rues se trouvent liées à des civilisations fort anciennes. Les villes gréco-romaines se sont très tôt munies de leurs dispositifs de rues après la saturation des places publiques : l'Agora et le Forum qui constituaient les centres politiques, administratifs, commerciaux et des lieux de rassemblement par excellence. Cependant, et après le développement des activités commerciales, il s'est avéré inévitable d'élargir les rues qui auparavant étaient tellement étroites qu'elles ne pouvaient permettre le passage de deux personnes en même temps.⁶

Athènes, symbole de la civilisation Grecque est considéré comme la ville la plus civilisée du monde ancien. Elle contenait des espaces publics qui activaient la vie sociale et économique et un tracé parfaitement orthogonal des rues : les rues principales de la ville s'étendaient du nord au sud contrairement aux rues secondaires qui s'étendaient de l'est à l'ouest. Cette organisation permettait à la fois une protection contre les effets indésirables du climat et profiter des éléments désirables de celui-ci.⁷

Les romains ont été les vrais promoteurs de l'élargissement et du pavage des rues (figure n°1-a), et la conception du réseau routier de leurs villes obéissait à des normes urbanistiques : dont la régularité et l'hierarchisation sont les principes les plus remarquables (figure n° 1-b) et esthétiques : en déterminant la richesse et le pouvoir de l'empire romain et climatiques en assurant un certain degré de confort extérieur à la population.⁸ Et comme la conception des trottoirs semble être l'un des premiers éléments de ce confort, les Romains les utilisaient déjà. De même que de grosses pierres posées en travers de la chaussée formaient refuge pour les piétons en cas de fortes pluies.⁹

Les rues ont connu une typologie particulières : l'itinéraire pour les piétons, l'actus (plus large) parcourue par un seul char, la via (encore plus large) permettant le passage de deux chars.¹⁰

⁶ BESAAD, Nadia. *La rue, forme urbaine et pratiques sociales ; cas de la rue Belouizdad Boudjeriou à Constantine*. Thèse de Magistère. Université de Constantine. 2001. p17

⁷ TAYAR, A/Hakim. *Espace de communication et climat*. Thèse de Magistère. Université de Biskra. 1996. p8

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

⁹ XAVIER, Malverti et ALETH, Picard. *Les saisons de la ville*. 1990, P : 115

¹⁰ SEGHIROU Belkacem. *Vers une approche environnementale de l'espace urbain ; influence des règles du prospect sur les formes urbaines en milieu arides et semi arides – cas de Biskra*. Thèse de Magistère. Université de Biskra. 2002. p13.

Le souci de l'adaptation climatique des principes urbanistiques dans le passé prenait souvent un caractère spontané. Certaines règles cependant avaient déjà été adoptées et appliquées, comme le montrent les idées de Vitruve, en disant que : « *les édifices seront convenablement disposés, il a été tenu compte avant tout des orientations et des inclinaisons du ciel ou on les veut bâtir, car ils doivent être autrement construits en Egypte qu'en Espagne...., parce qu'il y en a qui sont proche du cours du soleil, d'autres qui en sont éloignés et d'autres qui sont entre les deux extrémités..., il faut disposer les bâtiments et concevoir les rues en raison de la diversité des pays et des climats* ». ¹¹

Au sujet des tracés des rues, Vitruve recommande : « *d'éviter d'abord que les vents habituels enfilent directement les rues, parce qu'ils sont toujours nuisibles, ou par leur froid qui blesse, ou par leur humidité qui nuit à la santé..., il faut donc tracer les alignement des rues entre deux régions pour ne point être incommodé de la violence des vents car s'ils parcouraient les rues directement, il n'y a point de doute que leur impétuosité déjà si grande dans l'air libre et ouvert augmenterait beaucoup étant resserrée dans les rues étroites, c'est pourquoi, on tournera les rues de telle sorte que les vents donnant sur les angles qu'elle forment se rampent et se dissipent* ». ¹²



Figure n°1-a : Ancienne rue romaine pavée
Source : encarta

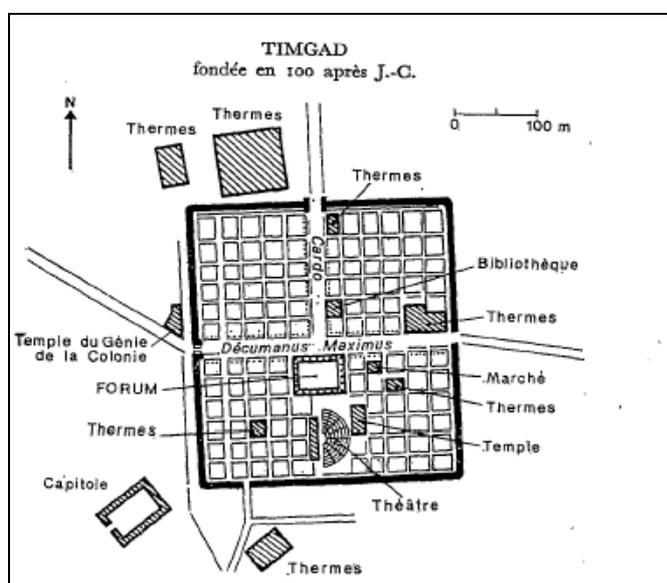


Figure n°1-b : Tracé des rues de la ville de Timgad
Source : encarta

¹¹ Archi bio. Parenthèse édition, 1979. p : 96

¹² Archi bio. Parenthèse édition, 1979. p : 96

2- La rue des villes Arabo-musulmanes

La ville islamique demeure toujours un modèle encore vivant offrant une lecture assez étonnante qui ne cessent d'émerveiller les chercheurs en quête de solutions urbanistiques aux problèmes climatiques , et ce en adoptant et perfectionnant des types d'habitation qui se distinguent par la protection qu'ils offrent contre la chaleur...¹³, car, le fait que les pays du monde ancien à prédominance islamique sont en général chauds et secs, la nécessité immédiate consistait à trouver un mode d'organisation spatiale qui devrait protéger la population contre un soleil brûlant et un vent chaud emportant sable et poussière.

- Conception des rues et ruelles :

Un accollement autant que possible des maisons les unes aux autres horizontalement de manière à réduire sensiblement les surfaces d'ensoleillement. Cela diminue toutefois les possibilités d'ouverture sur l'extérieur¹⁴.

La forme urbaine, l'étroitesse des rues et la hauteur des constructions assurent un ombrage mutuel des façades. Selon l'orientation, ils peuvent également intercepter les rayons solaires bénéfiques en période froide. Il faudra également souligner que la géométrie des rues définie par le rapports entre la hauteur des constructions et la largeur de celles-ci est une stratégies utilisées aussi pour protéger les espaces extérieurs ainsi que les bâtisses contre les vents chauds d'été et ceux froids de l'hiver¹⁵. Elle contribue également à la protection de ces rues des vents poussiéreux.

Les ruelles sont profondes et sinueuses, amenuisant ainsi les durées d'ensoleillement des façades et empêchant le vent de chasser l'air frais accumulé la nuit. Suivant leurs orientations, les rues étroites peuvent offrir de l'ombre sur une durée plus ou moins longue de la journée. Pour des causes impératives ou l'ombre se fait rare, les passages couverts (au niveau des rues) assurait la protection des piétons¹⁶.

¹³ Abdulak et Pinon, 1973, p : 6 **in** BENADJI, Amar. Adaptation climatique ou culturelle en zone aride. Université de Biskra, 1999, p : 33

¹⁴ Abdulak et Pinon, 1973, p : 6 **in** BENADJI, Amar. Adaptation climatique ou culturelle en zone aride. Université de Biskra, 1999, p : 36

¹⁵ Ferdeheb, 1987 **in** BENADJI, Amar. Adaptation climatique ou culturelle en zone aride. Université de Biskra, 1999, p : 36

¹⁶ BENADJI, Amar. Adaptation climatique ou culturelle en zone aride. Université de Biskra, 1999, p : 36

A travers les études effectuées sur plusieurs villes arabes, on a pu déduire que le dimensionnement des rues et ruelles se basait sur le moyen de transport à l'époque qu'est le chameau (figure n°2). A cet effet on peut distinguer la classification suivante :

- Ø Pour les grands axes : une largeur de 9,20m à 10,00m.
- Ø Pour les ruelles : une largeur de 3,23m à 3,50m.
- Ø Pour les impasses : une largeur de 1,84m à 2,00m.

La hauteur de ces trois types de rues est équivalente à la hauteur d'un chameau chargé , soit 3,23m à 3,50m .¹⁷

- Ventilation urbaine traditionnelle :

L'organisation de certaines cités dans le passé, offrent des exemples remarquables par l'intégration architecturale et urbanistique des systèmes de confort variés et efficaces tels que celui relatif à la ventilation urbaine naturelle.

Dans l'urbanisme vernaculaire en général , La largeur des rues irrégulières, la concavité et la convexité éventuelles sont à l'origine de cette description. Les rues alors rétrécies permettent au volume d'air d'y passer avec une vitesse plus importante, cette technique s'applique aussi bien en urbanisme q'en architecture. Signalons tout de même que cet effet n'existe que pour les hauteurs de constructions égales à deux fois la largeur de la rue au minimum.¹⁸

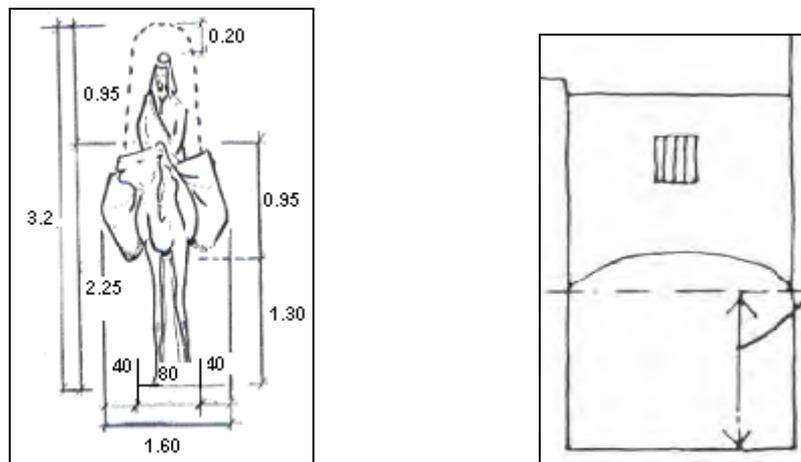


Figure n°2 : Dimensionnement d'une rue traditionnelle
Source : Salim B.H,1986

¹⁷ SEGHIROU Belkacem. Vers une approche environnementale de l'espace urbain ; influence des règles du prospect sur les formes urbaines en milieu arides et semi arides – cas de Biskra. Thèse de Magistère. Université de Biskra. 2002.p19

¹⁸ BENADJI, Amar. Adaptation climatique ou culturelle en zone aride. Université de Biskra, 1999, p : 44

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

3-1- La ville médiévale (début 17^{ème} siècle)

Le bas Moyen Âge, qui vit l'essor de nombreuses villes, se traduit par une oblitération des volumes purs. Les maisons étaient soudées entre elles et les monuments perdirent leur autonomie pour s'enraciner dans le tissu urbain. À un langage essentiellement temporel dans les dispositions urbaines (la ville est le fait du prince) se reconstruisant en permanence sur elles-mêmes à la suite des guerres qui les ravageaient périodiquement. La ville médiévale, limitée par ses fortifications, progressait selon un modèle concentrique, ajoutant à la première enceinte, historique, une deuxième enceinte de défense militaire qui distinguait clairement l'espace ville de l'espace rural. Très dense, close et souvent chaotique, elle opérait également une confusion totale entre le travail et le logement, ignorant complètement la conception des rues et voies de transport.¹⁹

Sur cette perspective du début du XVII^e siècle (figure n°3), la ville d'Avignon est représentée, dans son enceinte, avec sa campagne voisine. Le plan désordonné de la cité est caractéristique de l'essor progressif et anarchique des villes - notamment méditerranéennes - du Moyen Âge : forte concentration des rues et des bâtiments près du cœur religieux ; habitat dispersé avec jardins et cultures au pied des murs. Aucun principe d'organisation ne dictait la conception des rues.²⁰

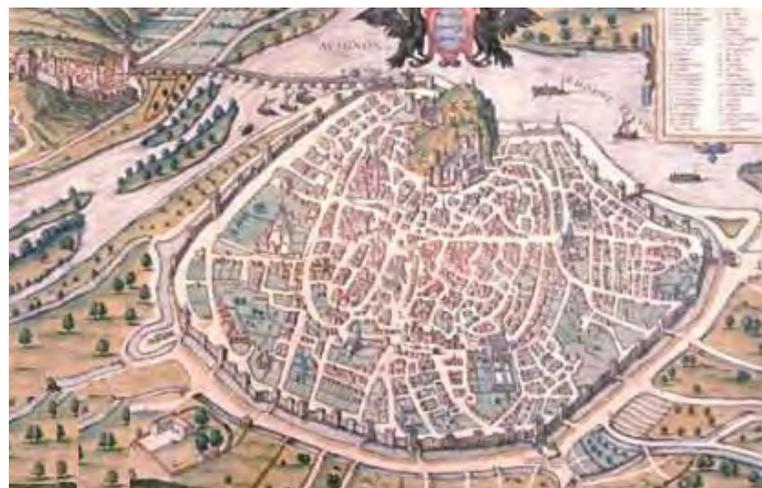


Figure n°3 : Vue sur la ville d' Avignon au XVII^{ème} siècle
Concentration forte et anarchique des rues
Source : Encarta,2005

¹⁹ Encarta,2005

²⁰ Encarta,2005

3-2- La Renaissance (moitié 17^{ème} siècle)

L'émulation du classicisme gréco-romain durant la Renaissance relança les efforts d'urbanisme dans le style classique, sans toutefois parvenir à détruire la structure urbaine issue du Moyen Âge. L'exemple le plus célèbre fut celui de Michel-Ange, qui détermina les centres fonctionnels de Rome : centre religieux avec Saint-Pierre de Rome et l'immense place qui lui fait face, centre résidentiel avec le palais Farnèse, centre municipal avec le Capitole, ainsi que l'axe d'expansion vers l'est. Comme dans le cas de Venise et de la place Saint-Marc, il modifia ainsi la ville sans en avoir préalablement dessiné le plan, la développant par « pôles » et par des liens successifs capables de susciter un processus de construction. Conçues sans plan régulateur, ces villes italiennes symbolisaient leur idéal de grandeur dans les structures administratives et les places publiques. En opposition aux rues étroites et irrégulières des villes médiévales, l'urbanisme de la Renaissance accentuait les rues larges, régulières, en étoile ou en circonférence (certaines rues formaient des cercles concentriques autour d'un point central et d'autres étaient disposées en étoile à partir de ce point, comme les rayons d'une roue), mettant en perspective l'espace urbain. Une ville comme Ferrare, en Italie, présentait ainsi des rues droites et des angles droits, mais intégrées dans des blocs de construction asymétriques liés à la dynamique et à l'histoire ancienne de la cité.²¹

La place Saint-Pierre (Vatican), située devant la basilique, dans la Cité du Vatican, a été dessinée par le Bernin entre 1656 et 1667.²² (figure n°4)



Figure n°4 : Place saint pierre (Vatican)

Source : Encarta,2005

²¹ Encarta,2005

²² Encarta,2005

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

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

Le préfet Rambuteau, exprime l'inconfort de la rue à la fin du 18^{ème} siècle en disant que : « *dés qu'il pleuvait, la plupart des rues se transformaient en rivières qu'il fallait traverser sur des planches* » (figure n°5). un vrai danger menaçait les chevaux et les piétons.²³



Figure n°5 : rue d'Herculanum

Exemple d'utilisation des planches pour se protéger des eaux de pluies

Source : Encarta,2005

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

En 1844, le colonel CHARON, directeur du Génie en Algérie, adresse une longue note concernant entre autres le tracé des rues :

« il est un point sur lequel on ne saurait jamais avoir aucune contestation, parce qu'il a pour base la raison et le bon sens. Telle serait, sous le rapport de la salubrité et du bien être des habitants, la nécessité ; premièrement d'éviter autant que possible de percer des rues au nord du midi, et dans le cas ou les communications exigeraient qu'on leur donnât cette

²³ XAVIER, Malverti et ALETH, Picard. *Les saisons de la ville*. 1990,P :115

direction, de les onduler de manière que l'un des côtés de ces rues puisse toujours projeter assez d'ombre, deuxièmement, de border de portiques celles que l'on serait dans l'obligation de percer en droite ligne ou bien de les abriter par des toits très saillants, en ayant aussi le soins de les tenir le moins larges possibles et de les rafraîchir par un courant d'eau vive. »²⁴

En 1845, l'ingénieur du Génie responsable des travaux urbains en Algérie commente :

« Les rues d'Orléansville auront 20m de large. On pourra y mettre deux rangées d'arbres des deux cotés. On a beaucoup préconisé les rues étroites pour les villes des pays chauds. Cette question a besoin d'être débattue. S'il faut de l'ombre, il faut aussi de l'air, car ne doit t-on pas attribuer au manque d'air de nombreuses maladies épidémiques. Les rues longues sont indispensables aux relations commerciales, elles permettent à l'air de se renouveler facilement et de jouir de brises agréables. Elles sont favorables à la propreté. On peut obtenir de l'ombre et la fraîcheur dans les rues par les plantations, les galeries et les eaux courantes. »²⁵

Les techniciens Français lors de la conception des villes coloniales en Algérie ont à leur tour adopté le principe d'Arcades qui paraissait indispensables pour la protection des piétons du soleil et des pluies torrentielles²⁶.

En 1858, Léonce Reynaud dans son traité d'architecture, et contrairement à P.Patte déconseille la construction des arcades parce que selon lui, elles diminuent la surface du rez-de-chaussée et y réduisent la lumière. Il ajoute que les portiques utilisés le long des rues principales masquent l'animation de la circulation.

En 1868, HECTOR HOREAU, Architecte, propose la couverture d'un grand nombre d'espaces publics au centre de Paris : *« les couvrir à leur partie supérieure, sans les priver d'air et de lumière, de manière à les protéger contre la pluie , la boue, la neige, le verglas, la poussière ou le soleil. »²⁷*

²⁴ XAVIER, Malverti et ALETH, Picard. *Les saisons de la ville*. 1990,P116

²⁵ XAVIER, Malverti et ALETH, Picard. *Les saisons de la ville*. 1990,P116

²⁶ XAVIER, Malverti et ALETH, Picard. *Les saisons de la ville*. 1990,P :116

²⁷ XAVIER, Malverti et ALETH, Picard. *Les saisons de la ville*. 1990,P :116

Vers le milieu du XIXe siècle, une partie des villes européennes apparaissaient anachroniques, impropres à remplir les fonctions que leur imposaient l'industrialisation et les concentrations démographiques. Pour survivre et s'adapter, elles réclamaient des transformations globales de grande envergure.

La transformation la plus spectaculaire, sans équivalent ailleurs, fut accomplie entre 1853 et 1869 par le baron et préfet de Paris Georges Eugène Haussmann. À la différence de certains projets qui ne tenaient parfois aucun compte des conditions matérielles et esthétiques les plus élémentaires, son plan s'appliquait à une ville déjà existante et ne s'appuyait ni sur une critique sociale, ni sur une théorie d'aménagement : pour la première fois, il traitait l'ensemble de l'espace parisien comme une entité, de façon méthodique. Il fit exécuter le premier plan global de Paris, avec des courbes de niveaux, ce qui lui permit d'analyser de façon approfondie la topographie et la morphologie parisiennes. Pour résoudre les problèmes d'une circulation congestionnée et améliorer la qualité de l'air et une hygiène souvent inexistante (Paris avait subi deux graves épidémies de choléra dans la première moitié du siècle), la solution radicale d'Haussmann fut le rejet des rues étroites et opter pour les percements (figures n°7 et 6). Il donna une priorité à la création d'axes nord-sud, à la construction du boulevard Sébastopol et à l'extension à l'est de la rue de Rivoli (137 Km de nouveaux boulevards). Concevant la ville en termes de systèmes homologues, hiérarchisés et solidaires, il mit en relation tous les points névralgiques de la ville. Grâce à un alignement des rues très réglementé, il contribua largement à l'aération et à une normalisation architecturale de la capitale. Cependant, les îlots du Paris haussmannien présentaient plusieurs inconvénients, notamment celui d'empêcher une bonne diffusion de la lumière.

L'œuvre novatrice d'Haussmann exerça une influence considérable en Europe (notamment à Vienne, à Berlin et à Anvers) et aux États-Unis où elle fut à l'origine du remodelage de Chicago par Daniel Burnham en 1909.



Figure n°6 : Place de l'étoile (Paris)
Source : Encarta,2005

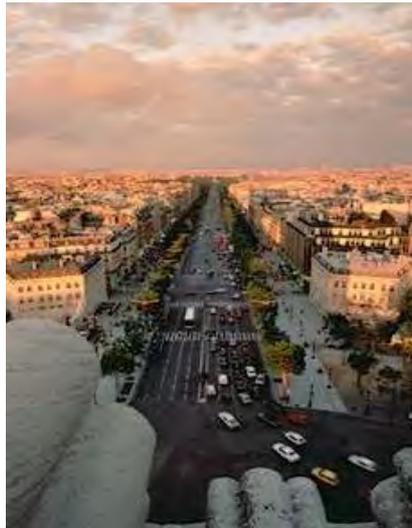


Figure n°7 : Champs élisées (Paris)
Source : Encarta,2005

6- La rue des villes au 20ème siècle :

En 1920, J.JAUSSELY, dans son cours – art urbain – propose d’étudier en détail l’orientation et le profil des rues afin de profiter au mieux du soleil :

« une rue EST-OUEST a un coté sud exposé au nord et un coté NORD exposé au midi. Nous avons donc intérêt à développer le trottoir qui sera frappé par le soleil ou la promenade

sera agréable, et au contraire à rétrécir le trottoir du côté nord, étant lui même mal exposé. D'autre part, quand les ouvriers vont déjeuner à leurs maisons, à une heure où il est nécessaire d'être abrité, il faut étudier le profil de façon qu'ils aient de l'ombre pour se rendre de l'usine à leurs maisons d'habitation. »²⁸

L'auteur ajoute : *« je vous parlais des rues dont un côté est mal exposé au nord ; on ne mettra pas de plantation du côté nord. J'ai vu à Barcelone que , des rues orientées de cette manière ou les arbres poussaient très mal du côté mal exposé, tandis que ceux qui étaient du côté opposé avait un développement considérable. »²⁹*

par contre, LOUIS BONNIER, professeur d'art urbain à l'institut d'urbanisme de Paris précise en 1933 que l'orientation des rues a peu d'importance par rapport à celle des façades en disant que : *« trop souvent, des partisans inconsidérés de l'orientation ne réfléchissent pas que les bâtiments d'habitation étaient presque toujours rectangulaires en plan, quand une façade est exposé au nord, l'autre façade parallèle est nécessairement exposée au sud. Le mieux est donc dans chaque propriété et non dans chaque rue, de rechercher le maximum d'insolation en plan pour les divers bâtiments et d'élargir les cours suffisamment pour y laisser largement pénétrer le soleil. »³⁰*

dans le même esprit , et au moment où les édiles du 19^{ème} siècle s'intéressait à l'orientation des rues afin d'assurer le confort aux piétons : ombre, ensoleillement et protection contre le vent, au 20^{ème} siècle, les urbanistes s'occupait beaucoup plus du tracé de la voirie permettant d'ensoleiller le mieux les façades des habitations. Dans la deuxième moitié du 20^{ème} siècle, les constructions n'étaient plus alignées le long des voies et l'orientation de la rue n'a plus aucune importance.³¹ La rue est devenue une résultante du bâti.

²⁸ XAVIER, Malverti et ALETH, Picard. Les saisons de la ville. 1990,P :116

²⁹ XAVIER, Malverti et ALETH, Picard. Les saisons de la ville. 1990,P :117

³⁰ XAVIER, Malverti et ALETH, Picard. Les saisons de la ville. 1990,P :117

³¹ XAVIER, Malverti et ALETH, Picard. Les saisons de la ville. 1990,P :117

CONCLUSION :

A travers les époques et les civilisations, l'image des villes reflétait la réalité des peuples. L'urbanisme a été depuis tant de siècles une référence incontestable dont la lecture a fait ressortir des découvertes surprenantes déterminant des modes de vies vécus , des façons de réfléchir pratiquées et des résonnements fondés basés parfois sur les coutumes et les religions, mais parfois aussi sur la volonté de vivre mieux.

La rue, élément structurant de toutes les villes a connu beaucoup de transformations à travers l'histoire de l'urbanisme et a accompagné l'homme dans la recherche de son identité et de son bien être. Il a fait de celle-ci son lieu d'activité , de passage et de regroupement , la rendant ainsi de la même importance que la place.

Cependant les dimensions climatiques de la conception des rues n'ont pas été suffisamment abordées dans l'urbanisme moderne en comparaison avec celui des temps passés notamment antique et arabo- musulman.

La notion de l'adaptation climatique de la création urbaine n'est donc pas nouvelle, mais elle réapparaît comme sujet d'actualité suite à une nécessité persistante visant à minimiser au maximum la consommation énergétique afin de préserver l'environnement d'une part et assurer la survie des générations futures en mettant sur rails le processus d'un développement durable d'autre part.

Tirer profit des expériences passées est une nécessité, parce que nos ancêtres ont pu sans aucune référence scientifiques ni base de calcul , arriver à satisfaire leur besoin en matière d'organisation spatiale, de respect des échelles et de l'hierarchisation des espaces. Ils ont réussi également à assurer leur bien être physique et moral en maîtrisant la course du soleil, le mouvement du vent et les jeux d'ombre. L'urbanisme vernaculaire est une expérience étonnante et sa réussite est loin d'être le fait du hasard.

Néanmoins, ces expériences passées doivent être remodelées de façon à s'adapter aux nouvelles données notamment celles d'une technologie galopante et de moyens de recherche sans précédent.



CHAPITRE II

LE CLIMAT

INTRODUCTION :

Dans notre système environnemental, le climat et à travers ses divers éléments, s'avère être d'une très grande influence sur la vie quotidienne de l'être humain, et par delà sur sa façon de concevoir son milieu aussi bien à l'intérieur de son habitation qu'à l'extérieur.

Pour s'abriter de certains effets indésirables de la nature, l'homme, et ce depuis la résolution des problèmes initiaux qui lui faisaient obstacle dans sa vie (manger, s'habiller, s'abriter...) s'est donné la peine de penser à des solutions qui le protègent des conditions climatiques quelques fois dures.

Joseph BELMONT a précisé il y a une dizaine d'années que : *« l'architecture est déterminée par une série de facteurs dont un seul ne varie jamais, le climat. On s'est toujours protégé du soleil de la même façon soit en construisant des murs épais soit en se mettant à l'ombre »*. A cet effet, une bonne connaissance des phénomènes climatologiques, leurs variations ainsi que leur exploitation d'une manière judicieuse, pourrait être d'un grand apport aux conditions de confort.

Le présent chapitre en procédant par donner les différentes définitions du climat, présente dans une première étape un aperçu sur les facteurs qui influent sur le climat et par la suite de présenter les différents types de climats selon des classifications diverse. Sur la base de ces classifications l'occasion est offerte afin de mieux assimiler les phénomènes climatiques. Enfin, on a mis en exergue les éléments du climats. Ce volet est d'une importance majeur étant donné que la compréhension de ces éléments constituent la base de toute approche en relation directe avec le domaine climatique.

1- Définitions du climat:

- Le climat est défini comme étant : la série des états de l'atmosphère au dessus d'un lieu dans leur succession habituelle ¹. Il est également défini comme l'état moyen de l'atmosphère en un point de la surface terrestre.² Il est défini également comme l'ensemble des conditions du temps accumulées sur une longue période (au moins une trentaine d'années) et propres à une région donnée. Le climat est déterminé par les facteurs météorologiques : la température, la pression atmosphérique, le vent, l'humidité et les précipitations, ainsi que les facteurs géographiques: la latitude, l'altitude, la continentalité, l'influence maritime et les réalisations de l'être humain.³
- Le climat est une description statistique de l'état du système Terre à partir de la connaissance des moyennes et des variabilités spatiales et temporelles de grandeurs (températures, précipitations, vent, humidité, etc.) sur des périodes variant de quelques mois à plusieurs milliers ou millions d'années.⁴
- Le climat est un ensemble de types de temps qui se succèdent habituellement en un lieu au cours d'une longue période. Il ne peut donc pas être perçu immédiatement par chacun d'entre nous. Il se définit lui à partir des séries d'observations faites dans les stations météorologiques, en établissant des moyennes, des écarts, des totaux sur des périodes pluriannuelles. Il tient donc même compte des accidents. D'autre part, un climat présente des phénomènes cycliques, les saisons, et peut connaître une certaine variabilité selon les années. Celle-ci, comme une évolution sur le long terme, est très difficile à prévoir.⁵

¹ Max Sorre, 1943 **in** SEGHIROU Belkacem. *Vers une approche environnementale de l'espace urbain ; influence des règles du prospect sur les formes urbaines en milieu arides et semi arides – cas de Biskra*. Thèse de Magistère. Université de Biskra. 2002.p42

² Godard et Estienne, 1970 **in** MASMOURI, Soraya. *Relation entre géométrie urbaine, végétation et confort thermique extérieur ; cas de la place dans les régions arides et semi arides*. thèse de Magistère. Université de Biskra. 2003.p6

³ <http://www.ciep.fr>

⁴ Dictionnaire établi par Marie-Antoinette Mélières **in** <http://www.fr.wikipedia.org>

⁵ Patrice Minart **in** <http://www.fao.org>

2- Facteurs qui influent sur le climat :

- Les océans :

L'océan joue un rôle aussi important que l'atmosphère dans la régulation du climat terrestre, en transportant des eaux chaudes des Tropiques vers les hautes latitudes (dans le Gulf Stream par exemple), et des eaux froides des hautes latitudes vers les tropiques (l'eau profonde nord atlantique ou l'eau antarctique de fond par exemple). Il représente également un réservoir de chaleur immense (mille fois plus important que l'atmosphère), ce qui lui donne un rôle de modérateur des variations climatiques (comparez par exemple les différences de températures entre l'été et l'hiver sous des climats continentaux et océaniques) : c'est en quelque sorte la mémoire du système climatique terrestre.

L'océan intervient ainsi dans la plupart des phénomènes climatiques récurrents, Mais c'est surtout dans les variations climatiques de longue période que son influence est primordiale, par exemple en réponse au réchauffement global dû à l'augmentation de la concentration atmosphérique en gaz carbonique. Couplé avec l'atmosphère, il participe également à un signal climatique majeur.⁶

- Le relief :

Le relief constitue des obstacles pour l'air qui doit le contourner ou le dépasser : en modifiant l'écoulement de l'air en altitude, le relief est à l'origine de plusieurs phénomènes plus ou moins importants :

- **des simples brises:**

pendant la journée , l'air des vallées s'échauffe et remonte les pentes en donnant naissance à une brise montante. La nuit le phénomène inverse se produit ; l'air froid descend les pentes de la vallée : c'est la brise descendante.

- **les vents locaux :**

Se forment quand l'air contourne la vallée.

- **des vents plus forts :**

Tels que le fœhn se créent quand l'air franchit la montagne. C'est ce qui se passe quand il est dans l'impossibilité de la contourner. Le fœhn est le résultat de la fabrication d'un air chaud

⁶ <http://www.Congonline.com>

et sec à partir d'air frais et humide. Le mécanisme débute par l'ascension de l'air frais et humide, entraîné par le vent pour franchir la montagne. En s'élevant, l'air voit sa température baisser d'environ 0,65°C tous les 100 m, ce qui provoque la condensation de la vapeur d'eau qu'il contient et la formation des nuages qui s'accumulent sur le versant "au vent" de la montagne.⁷

- La végétation

Le climat a une forte influence sur la répartition de la végétation sur la Terre et vis versa. Il suffit de savoir que Koppen s'est basé sur les différents types de végétations pour définir ses propres zones climatiques en créant ainsi une méthode de classification des climats appelée « méthode de Koppen ».

3- Classification des climats :

3-a- Classification par régions :⁸

Les régions polaires :

Dans les régions polaires, les rayons du soleil sont faibles. De plus, la glace en réfléchit une grande partie dans l'atmosphère, ce qui induit des températures glaciales. La neige et les glaces éternelles font partie intégrante du paysage du pôle nord et du pôle sud. L'été y est court et froid. Pendant six mois de l'année, l'Arctique subit l'hiver car le pôle nord est incliné du côté opposé au soleil. Pendant ce temps, l'Antarctique vit un court été. Même à cette époque la température dépasse à peine 0° C.

Les régions montagneuses :

En montagne, l'air est plus rare, le ciel est plus bleu, les rayons du soleil sont plus forts. La neige et la glace recouvrent les hauts sommets toute l'année.

A plus de 7000 m, aucun être vivant ne peut survivre : les vents violents et les faibles températures provoquent le gel de toute cellule vivante.

En montagne, le temps est très instable, l'orage succédant au soleil, les journées chaudes aux nuits très froides. Les conditions climatiques diffèrent d'une région montagneuse à l'autre et

⁷ TOUATI, Anissa, 2000 in <http://www.sasked.gov.sk.ca>.

⁸ <http://www.literva.pf>

même au sein d'une même chaîne de montagnes car les versants orientés au vent reçoivent plus de précipitations que les versants abrités.

Les régions tempérées :

Les régions tempérées connaissent un climat variable ponctué de saisons marquées. Les régions tempérées se divisent en trois zones :

- La zone tempérée chaude : qui se situe entre 35 et 45° de latitude. Elle reçoit la plupart des précipitations en hiver et bénéficie d'étés chauds et secs.
- La zone tempérée fraîche : située entre 45 et 60° de latitude. Elle connaît des hivers froids et enneigés et des étés chauds et humides.
- La zone tempérée froide : située au centre des continents.

Les régions tropicales :

Les régions tropicales s'étendent par 30° de latitude de chaque côté de l'équateur. Elles sont bordées par les régions subtropicales. Celles-ci reçoivent moins de pluie que les régions tropicales. Toutefois, il y règne à certains moments des températures plus élevées.

Les tropiques sont les régions les plus chaudes du monde car le soleil y brille presque toute l'année, même si certaines variations existent :

- Les climats tropicaux humides :

Chauds et humides, les climats tropicaux reçoivent de fortes pluies. Des forêts tropicales denses peuplent ces régions : un air chaud et humide y monte pendant la journée, se refroidit ensuite et, en se condensant, forme des nuages noirs qui apportent des pluies diluviennes l'après-midi.

- Les climats tropicaux secs :

Les climats tropicaux secs sont caractérisés par une alternance de saisons sèches et de saisons humides. La saison humide, qui bénéficie d'un temps chaud et humide, est ponctuée de violents orages. Quand une zone de basse pression se forme au-dessus des terres, un air froid et humide arrive de l'océan. L'air se réchauffe, monte et forme d'importants nuages de pluie : la mousson. En Asie, la mousson représente 85% des précipitations annuelles. La saison sèche jouit de journées ensoleillées et claires. Les zones de haute pression se forment au-dessus des terres et font changer les vents de direction. La pluie tombe en mer et les terres s'assèchent.

Les régions désertiques ou arides:

Les déserts représentent un septième de la surface terrestre. Ces régions sèches reçoivent en moyenne 150 mm de pluie par an. Vu l'absence d'humidité dans l'air, les nuages sont rares. Le sol est réchauffé par le soleil et les températures peuvent dépasser les 40° C pendant la journée. Pendant la nuit, le manque de couverture nuageuse induit le retour de la chaleur dans l'atmosphère et fait chuter la température autour de 0°C.

4- Eléments météorologiques du climat :

Les éléments météorologiques du climat sont les éléments de l'atmosphère qui contribuent à la formation des climats. Ainsi, le climat d'une région à une époque donnée d'évolution de la planète peut se définir par les valeurs des variables qui caractérisent le temps. Ces variables qui sont les facteurs météorologique du climat sont essentiellement :⁹

- Les vents.
- Radiation (rayonnement)solaire.
- La température.
- L'humidité de l'air.
- Les précipitations (pluie, neige).

4-1- Le vent :**Définitions du vent:**

Le vent est un écoulement qui tend à équilibrer des zones de pression différentes dans l'atmosphère.¹⁰ Dans sa structure matérielle, on peut dire du vent qu'il est de l'air en mouvement dû aux variations de pression et de température de l'atmosphère en divers point de la surface du globe.¹¹

Les variations dans la distribution des pressions et des températures sont dues essentiellement à une distribution inégale de l'énergie solaire sur l'ensemble du globe terrestre, et aux différences dans les propriétés thermiques des surfaces des continents et des

⁹ Marc Morell,2001 **in** <http://www.meteo.nc>

¹⁰ BELARBI,Rafik.2003 **in** <http://www.univ-lr.f>.

¹¹ LE CHAPPELLIER, P, *le vent, les éoliennes et l'habitat*, édition Eyrolles , 1981,p13

océans. Lorsque les températures de l'environnement deviennent inégales, l'air le plus chaud tend à s'élever et à s'écouler par-dessus l'air le plus froid qui est le plus lourd.

A cause de la force de Coriolis (c'est la force engendrée par la rotation de la terre entraînant une déviation du vent proportionnellement à sa vitesse et à la latitude du lieu) l'écoulement de l'air n'est pas rectiligne, mais il prend une forme en « S » s'incurvant de l'anticyclone vers la dépression. La divergence autour de l'anticyclone se fait dans le sens des aiguilles d'une montre, et la convergence autour de la dépression se fait en sens inverse et ce pour l'hémisphère Nord.¹² (figure n°1-a). quant à l'hémisphère sud, le processus est inversé (figure n°1-b)

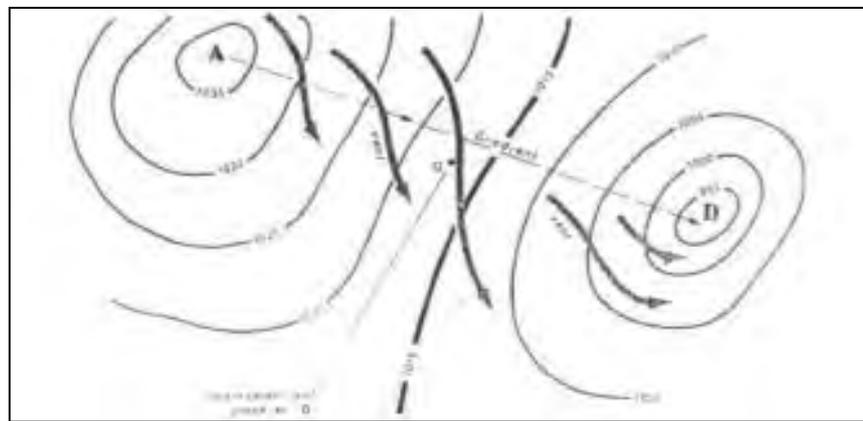


Figure n°1-a : Direction du vent dans l'hémisphère Nord
Source : TABEAUD, Martine, 2000



Figure n°1-b : Direction du vent dans l'hémisphère Sud
Source : TABEAUD, Martine, 2000

¹²GOUIZI, Yamina. *Effet d'un groupe de bâtiments sur l'écoulement de l'air et le confort des piétons dans les espaces extérieurs ; ensemble de bâtiments collectifs des Zhun à Biskra*. Thèse de Magistère. Université de Biskra. 2003. p19

Types de vents :

1. A l'échelle planétaire (figures n° 2-a et 2-b) :

On distingue trois types de vents :

- Les vents alizés : vers 30° de latitude , on trouve les alizés des deux hémisphères. Ils sont les vents les plus réguliers ¹³. ils ont pour origines les régions de haute pression subtropicales des deux hémisphères et convergent vers le front intertropical formant ainsi la ceinture équatoriale de basse pression. ¹⁴
- Les vents d'Ouest : se trouvant dans les zones tempérées situées entre 40 et 60° de latitude ¹⁵, ils ont les mêmes origines que les vents alizés. Ils sont sud-ouest dans l'hémisphère nord et nord-ouest dans l'hémisphère sud. Seulement , ils se dirigent vers les zones de basse pression subarctiques. ¹⁶
- Les vents polaires : ils ont pour origines les zones de haute pression polaires et arctiques, leurs directions est l'Ouest dans l'hémisphère nord, et le nord-Ouest dans l'hémisphère sud. ¹⁷

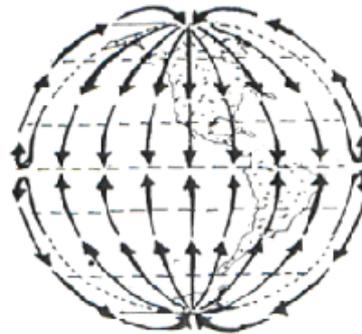


Figure n°2-a : Mouvements des vents si la terre ne tournait pas
Source : LE CHAPPELLIER, Pierre, 1981

¹³ P. LE CHAPPELLIER, *le vent, les éoliennes et l'habitat*, édition Eyrolles , 1981,p13

¹⁴ TAYER A/Hakim. *Espaces de communication et climat*. Thèse de Magistère. Université de Biskra.1996. p :37

¹⁵ P. LE CHAPPELLIER, *le vent, les éoliennes et l'habitat*, édition Eyrolles , 1981,p13

¹⁶ TAYER A/Hakim. *Espaces de communication et climat*. Thèse de Magistère. Université de Biskra.1996. p :37

¹⁷ P. LE CHAPPELLIER, *le vent, les éoliennes et l'habitat*, édition Eyrolles , 1981,p13

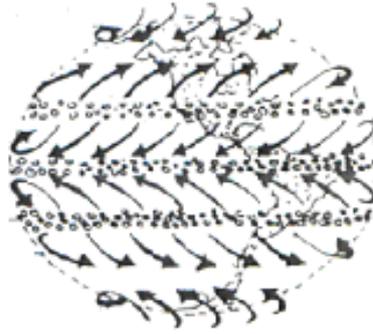


Figure n°2-b : Régime des vents affecté par la rotation de la terre
Source : LE CHAPPELLIER, Pierre, 1981

2. A l'échelle synoptique (1000 à 6000 Km) :

Ce sont les vents secondaires engendrés par les perturbations du courant d'ouest, par les contrastes thermiques existants entre les océans et les continents et par les forts gradients rencontrés aux surfaces des reliefs importants. On distingue :

- Les vents de mousson : ce sont les vents qui minimalisent les écarts de température entre les continents chauds et les océans adjacents plus froids.
- Les vents catabatiques : rencontrés en Antarctique ou au Groenland, descendent le long des glaciers ou des surfaces enneigées pour réduire le gradient thermique.

3. A l'échelle moyenne (10 à 100 Km) :

- Les brises de terre et de mer : elles prennent naissance dans les régions côtières et près des lacs. Durant la journée, si le réchauffement solaire est suffisant, l'air situé immédiatement au dessus du sol monte donnant naissance à des cumulus, voire à des cumulo-nimbus, parfois accompagnés d'averses. Près de la surface, l'air ascendant est remplacé par l'air venant de la mer (brise de mer) ou du lac (brise de lac).
- Les vents des montagnes et des vallées : causés par les différences de températures entre l'air situé au dessus des pentes ensoleillées et celui qui se tient à la même altitude au dessus des vallées.¹⁸

¹⁸ GOUIZI, Yamina. *Effet d'un groupe de bâtiments sur l'écoulement de l'air et le confort des piétons dans les espaces extérieurs ; ensemble de bâtiments collectifs des Zhun à Biskra*. Thèse de Magistère. Université de Biskra. 2003. p27

Caractéristiques du vent :

1. **l'inertie** : Ce vent qui n'est rien d'autre qu'un flux d'énergie appliqué à un gaz va donc obéir aux principes de la mécanique des fluides. En pratique, il a tendance à suivre sa trajectoire aussi longtemps qu'aucun obstacle ou force ne le perturbera.¹⁹
2. **le frottement** : L'air en mouvement, comme tout fluide, rencontre une résistance lors du contact avec tout corps dans son chemin. Cela aura pour effet de diminuer son énergie interne (inertie) et de modifier son profil, sa vitesse, son altitude, sa température et sa trajectoire. Ce vent continuera d'exister aussi longtemps que les forces de frottement ne lui auront pas consommé toute son inertie.
3. **la propagation** : Le vent étant une énergie appliquée à un gaz se propageant en lui-même. La zone de surpression sera localisée à l'interface terre/atmosphère et sera donc fortement influencée par la rugosité du terrain et son relief. L'écoulement général du vent est donc fortement dépendant de l'état du sol qu'il « survole ».²⁰
4. **la turbulence** : La turbulence est définie comme étant la dispersion de la vitesse du vent autour de sa valeur moyenne (figure n°3). Ou encore, la manifestation du déplacement aléatoire d'un volume d'air²¹.

L'écoulement turbulent du vent peut être décrit par la superposition d'une vitesse moyenne V sur une période T assez longue (10 minutes généralement) et d'une vitesse fluctuante fonction du temps.(figure n°3)

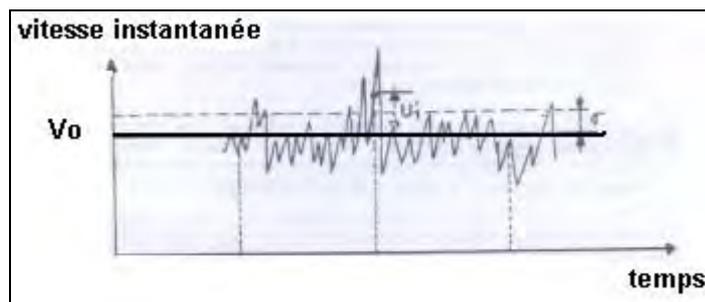


figure n°3 : Turbulence du vent autour d'une vitesse moyenne V_0
Source : Jacques GANDEMER et Alain, GUYOT ,1981

¹⁹ <http://www.mrw.wallonie.be>

²⁰ <http://www.mrw.wallonie.be>

²¹ Alain GUYOT et Jacques GANDEMER, *La protection contre le vent*, 1981.p : 13

4-2- Le rayonnement solaire :

Mouvement apparent du soleil :

Le mouvement apparent du soleil (figure n°4), peut être important pour la conception d'un bâtiment, en particulier dans la mise en place des fenêtres qui captent la chaleur du soleil. Dans un climat ensoleillé ,chaud ,de type Texas ou Arizona, il vaut mieux avoir le plus possible de fenêtres au nord, pour éviter le soleil. Les revêtements sud des murs doivent d'autre part, être bien isolés, avec de petites fenêtres, autorisant une éventuelle ventilation mais n'admettant que peu la lumière du soleil (Des volets en bois à l'extérieur des fenêtres sont également utiles.).

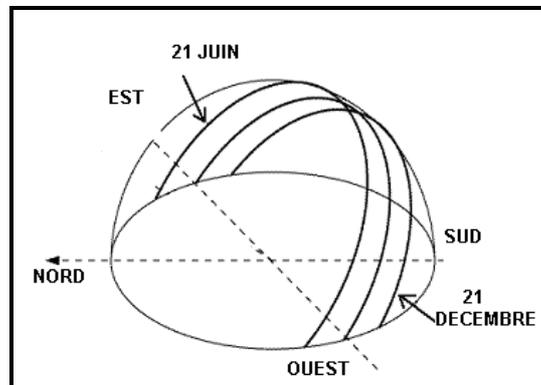


Figure n°4 : Mouvement apparent du soleil
Source : Benjamin,DESSUS et François,PHAROBOD,1996

Dans les pays du nord ,de latitude moyenne (par exemple ceux de l'Europe), le trajet quotidien du soleil nous apparaît comme un arc dans le ciel méridional. (naturellement, c'est la terre qui en fait se déplace.) La plus grande hauteur du soleil ,au-dessus de l'horizon, se produit à midi, et dépend de la saison de l'année. Elle est maximale au milieu de l'été, minimale en plein hiver.

Les rayons du soleil d'été, hauts dans le ciel, arrivent sous un angle abrupt et chauffent la terre beaucoup mieux que ceux de l'hiver, qui frappent le sol avec un angle peu marqué. Bien que la durée du jour soit un facteur important dans l'explication de la chaleur des étés et de la froidure des hivers , l'incidence de la lumière du soleil est en réalité plus importante. En été ,dans l'Arctique, bien que le soleil brille 24 heures sur 24, il fait plutôt froid, parce le soleil est bas sur l'horizon et que sa lumière arrive sous un angle faible.

Nature du rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire reçu par la surface de la terre est le déplacement d'énergie transmettant de la chaleur sous forme d'ondes électromagnétiques. Sa particularité tient au fait que l'essentiel du rayonnement est composé de lumière visible, dans la gamme de longueur d'onde λ qui varie de 0,38 jusqu'à 0,78 μm , de rayonnement infrarouge ($\lambda > 0,78$) et d'un peu de rayonnement ultraviolet ($\lambda < 0,38$)²² (figure n°5°)

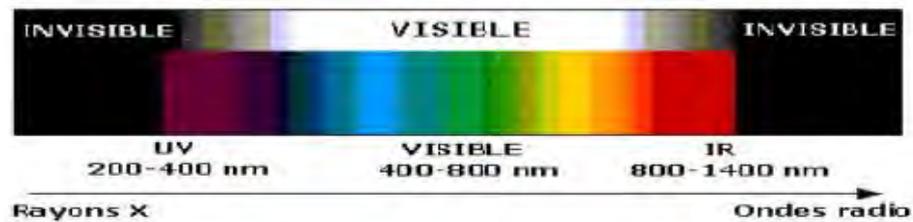


Figure n°5 : Répartition des rayons solaires en fonction de longueurs d'ondes
Source : <http://www.outilssolaires.com>

Effets du rayonnement solaire sur terre :

L'équilibre thermique de l'atmosphère conditionne les climats. Le rayonnement solaire qui traverse l'atmosphère est en partie réfléchi et absorbé par celle-ci et par les nuages. La plus grande partie du rayonnement qui atteint le sol y est absorbée, mais une petite partie est réfléchi vers l'atmosphère. Cette réflexion dépend de la nature du sol (eau, terre, forêt, neige, ville...), et par conséquent de son albédo.

Le rayonnement infrarouge émis par le sol est en grande partie piégé par l'atmosphère. Ce phénomène est appelé « effet de serre »²³. L'équilibre est actuellement établi autour d'une température moyenne annuelle de l'atmosphère de 15°C. cette température a pu varier de plusieurs degrés au cours des temps géologiques.²⁴

²² SEGHIROU Belkacem. *Vers une approche environnementale de l'espace urbain ; influence des règles du prospect sur les formes urbaines en milieu arides et semi arides – cas de Biskra*. Thèse de Magistère. Université de Biskra. 2002.p44

²³ DESSUS, Benjamin et PHARABOD, François. *L'énergie solaire*. Paris, que sais je ?, 2002. p17

²⁴ DESSUS, Benjamin et PHARABOD, François. *L'énergie solaire*. Paris, que sais je ?, 2002. p18

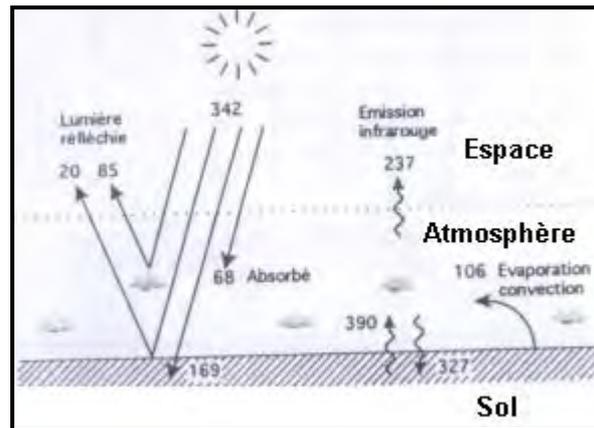


figure n°6 : Bilan annuel des échanges d'énergie terre/espace en kWh/m²

Source : Benjamin,DESSUS et François,PHAROBOD,1996

Variation du rayonnement solaire :

L'importance du rayonnement solaire reçu par la surface de la terre dépend des trois facteurs suivants :

- Ø L'épaisseur et la qualité de l'atmosphère traversée.
- Ø La durée de l'ensoleillement.
- Ø L'inclinaison des rayons solaires dont la qualité est directement influencée par la latitude du lieu et de son relief.

1. Epaisseur et la qualité de l'atmosphère traversée :

Plus la couche atmosphérique est épaisse, plus le rayonnement solaire atteignant la surface est affaibli, ce phénomène est concrétisé en hiver ou les radiations solaires traversent un chemin plus long que celui de l'été²⁵ (figure n°7)

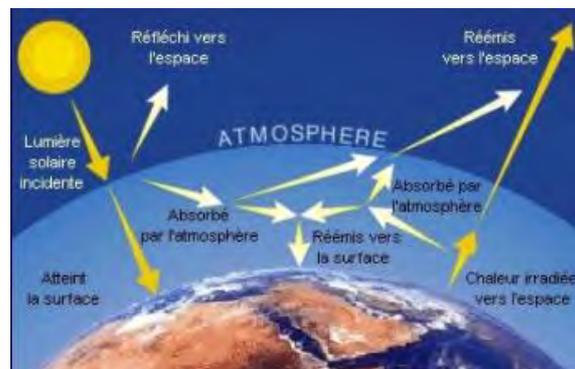


Figure n°7 : L'atmosphère traversée par les rayons solaires
Source : Encyclopédie de l'espace et de l'univers,2000

²⁵ TAYER A/Hakim. *Espaces de communication et climat*. Thèse de Magistère. Université de Biskra.1996. p30

La réduction de l'intensité de rayonnement solaire est due principalement à deux processus : l'absorption et la réflexion (directement liés à la qualité de l'atmosphère : nuages, aérosols) qui donnent naissance à deux types de rayonnement : direct et diffus²⁶ (figure n°8 et 9).

a. Rayonnement direct :

Provenant en droite ligne du seul disque solaire²⁷. Ce rayonnement est dit direct dans la mesure où il ne subit pas de déviation dans son parcours à travers l'atmosphère.²⁸ Hors atmosphère, le rayonnement solaire direct est un flux d'énergie constant dont la puissance est de 1367 W/m² pour une surface exposée perpendiculairement à la direction des rayons incidents.²⁹

b. Rayonnement diffus :

Contrairement au rayonnement direct, le rayonnement diffus est dévié dans toutes les directions à cause des obstacles rencontrés : les nuages, le brouillard, les molécules d'air, la vapeur d'eau, les aérosols...etc.)³⁰. Le rayonnement diffus est d'autant plus important que l'atmosphère est moins claire.³¹

²⁶ TAYER A/Hakim. *Espaces de communication et climat*. Thèse de Magistère. Université de Biskra.1996. p31

²⁷ DESSUS,Benjamin et PHARABOD,François. L'énergie solaire. Paris,que sais je ?,2002. p18

²⁸ TAYER A/Hakim. *Espaces de communication et climat*. Thèse de Magistère. Université de Biskra.1996. p31

²⁹ DESSUS,Benjamin et PHARABOD,François. L'énergie solaire. Paris,que sais je ?,2002. p19

³⁰ SEGHIROU Belkacem. *Vers une approche environnementale de l'espace urbain ; influence des règles du prospect sur les formes urbaines en milieu arides et semi arides – cas de Biskra*. Thèse de Magistère. Université de Biskra. 2002.p44

³¹ DESSUS,Benjamin et PHARABOD,François. L'énergie solaire. Paris,que sais je ?,2002. p19

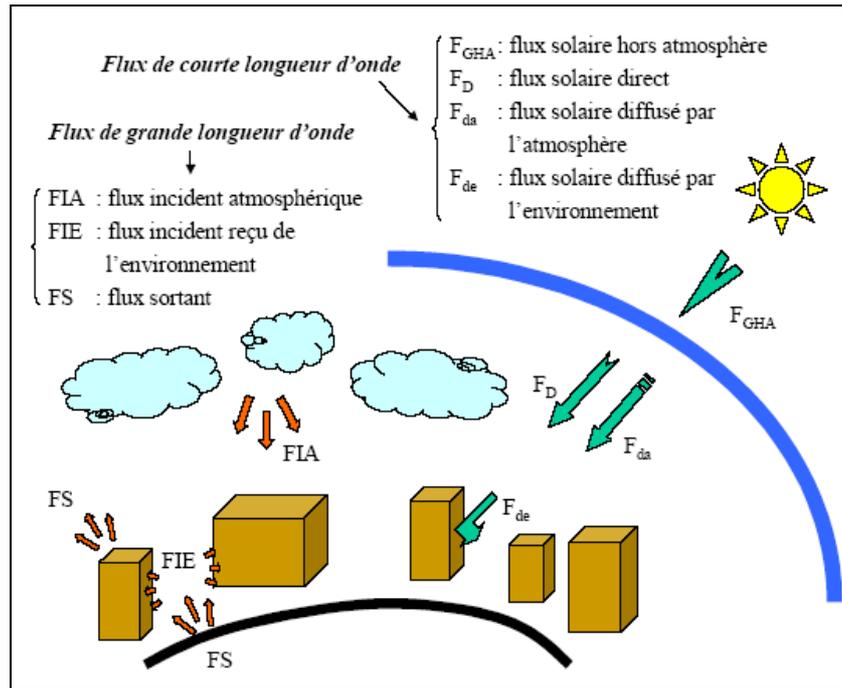


Figure n°8 : Les différents flux radiatifs
 Source : Stéphane Glockner, 2000

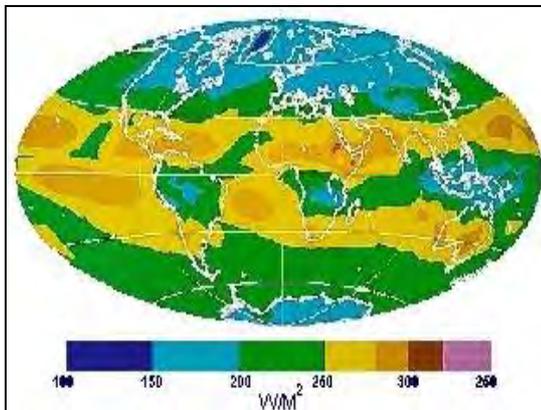


Figure n°9-a : le rayonnement terrestre aux grandes longueurs d'ondes indique que la Terre rayonne en moyenne avec une puissance de 240 w/m²
 Source :Météo France.

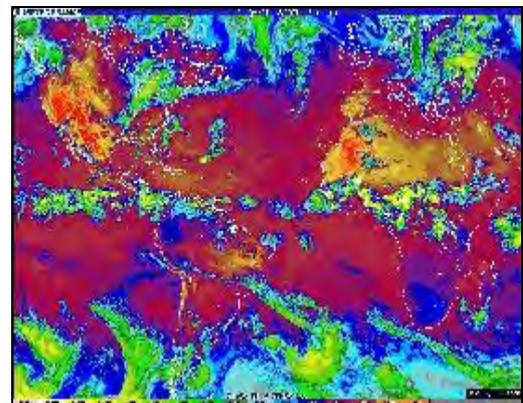


Figure n°9-b : le rayonnement infrarouge émis par la Terre relevé le 21 juin 2001 à 18h et exprimés en °C.
 Source :Météo France.

Formation des saisons

Si l'axe de la terre était perpendiculaire au plan orbital, les jours et les nuits seraient égaux et il n'y aurait pas de saisons. Mais suite à une collision cosmique l'axe de la Terre s'est incliné sur son orbite de $23^{\circ}27'$, ce qui eu pour conséquence de faire varier sans cesse la durée du jour et de créer les saisons. Notez qu'au niveau de l'équateur il n'y a pas de printemps, d'été, d'automne ou d'hiver mais il n'y a que 2 saisons : la saison sèche et la saison des pluies. Noter qu'en été dans l'hémisphère nord, suite à l'inclinaison de la Terre, la durée du jour est plus longue qu'en hiver.

Les saisons ne dépendent pas seulement de l'inclinaison du globe terrestre. La forme elliptique de son orbite modifie également la quantité de chaleur qu'elle reçoit du Soleil. Ainsi l'hémisphère nord se voit-elle privilégiée en toutes saisons : En été (à gauche) l'orbite de la Terre est un peu plus éloignée du Soleil (1%), adoucissant quelque peu l'ardeur du Soleil dans l'hémisphère nord, tandis que l'hémisphère sud grelotte un peu plus. Inversement en hiver (à droite), l'hémisphère nord se voit gratifiée d'un peu plus de chaleur, tandis que les habitants de l'hémisphère sud ont des étés un peu plus chauds... ³²(figure n°10)



Figure n°10 : Rotation de la terre autour de son axe
Source : Encyclopédie de l'espace et de l'univers,2000

L'inclinaison à $66^{\circ} 30'$ de l'axe des pôles sur le plan de l'orbite terrestre est à l'origine des saisons. Elle cause une alternance annuelle des durées d'éclairement à la surface du globe. Le 21 Juin, l'hémisphère Nord est tourné au maximum vers le soleil. C'est le solstice d'été et le jour y est le plus long de l'année

³² Encyclopédie de l'espace et de l'univers ,2000 [in http://www.encyclopetique.inst.st-joseph.qc.ca.htm](http://www.encyclopetique.inst.st-joseph.qc.ca.htm)

Six mois après, le 21 Décembre , c'est le solstice d'hiver , le jour le plus court pour l'hémisphère Nord (et le plus long dans l'hémisphère Sud). A mi-temps de ces deux extrêmes, aux équinoxes de printemps et d'automne (20 mars et 22 septembre), le jour et la nuit sont de même durée partout sur la terre³³(figure n°11).

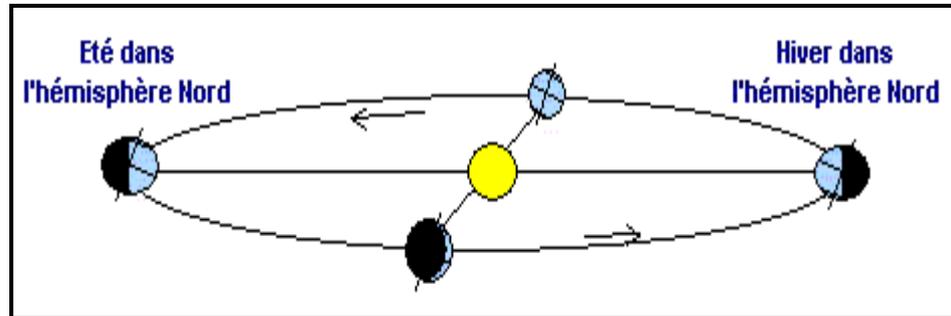


Figure n°11 : Rotation de la terre autour du soleil
Source : Encyclopédie de l'espace et de l'univers,2000

L'ensemble des radiations solaires estimées à $1,4\text{KW}/\text{m}^2$ (appelée constante solaire) se réparti comme suit :

- 32% des radiations sont réfléchies vers l'espace (réflexion lumineuse).
- 15% des radiations sont absorbées par l'atmosphère.
- 53% des radiations sont reçues par la surface terrestre , dont 47% sont absorbées par le sol, et6% sont réfléchies.³⁴

2. la durée de l'ensoleillement :

L'alternance des jours et des nuits réduit de moitié la disponibilité annuelle en énergie solaire. Au cours d'une journée sans nuages, l'ensoleillement croît du lever du soleil à midi (TSV : temps solaire vrai), puis décroît ensuite. Au cours de cette évolution, l'intensité du rayonnement varie plus ou moins vite selon la clarté de l'atmosphère. La présence de nuages légers ou denses, de brumes et brouillards, perturbe de façon quasi aléatoire la régularité de ces variations diurnes.³⁵

³³ DESSUS,Benjamin et PHARABOD,François. *L'énergie solaire*. Paris,que sais je ?,2002.P :21

³⁴ SEGHIROU Belkacem. *Vers une approche environnementale de l'espace urbain ; influence des règles du prospect sur les formes urbaines en milieu arides et semi arides – cas de Biskra*. Thèse de Magistère. Université de Biskra. 2002.P44

³⁵ TAYER A/Hakim. *Espaces de communication et climat*. Thèse de Magistère. Université de Biskra. 1996. p31

3. Angle solaire :

Par définition, c'est l'angle formé entre le rayonnement incident et la surface réceptrice. L'inclinaison du rayonnement solaire joue un rôle très important quant à l'échauffement de la surface terrestre. Aux équinoxes, ce rayonnement est d'une grande concentration au niveau de l'équateur. Pour une bonne compréhension de l'angle solaire, nous considérons le soleil dans son mouvement apparent.

Comme la terre est curviligne, les rayons solaires touchent la surface de celle-ci avec différents angles en fonction desquels l'intensité des radiations connaissent une grande variation. On peut simuler ceci à travers deux surfaces plates en faisant varier leurs angles d'inclinaison.³⁶

Les saisons ne dépendent pas seulement de l'inclinaison du globe terrestre. La forme elliptique de son orbite modifie également la quantité de chaleur qu'elle reçoit du Soleil. Ainsi l'hémisphère nord se voit-elle privilégiée en toutes saisons : En été (à gauche) l'orbite de la Terre est un peu plus éloignée du Soleil (1%), adoucissant quelque peu l'ardeur du Soleil dans l'hémisphère nord, tandis que l'hémisphère sud grelotte un peu plus. Inversement en hiver (à droite), l'hémisphère nord se voit gratifiée d'un peu plus de chaleur, tandis que les habitants de l'hémisphère sud ont des étés un peu plus chauds...³⁷

4-3- La température :

L'énergie produite dans le noyau du soleil met 2 millions d'années pour atteindre sa surface , ou elle se transforme en chaleur et en lumière , qui, 8mn plus tard, atteignent la terre.

4-4- L'humidité :

La vapeur d'eau est invisible, pourtant, elle est toujours présente dans l'air de la troposphère. Lorsqu'elle se condense en gouttelettes d'eau en cristaux de glace, elle se signale alors à l'observateur dans le ciel par les nuages, ou sur les parois par la rosée. Dans

³⁶ TAYER A/Hakim. *Espaces de communication et climat*. Thèse de Magistère. Université de Biskra.1996. p34

³⁷ Encyclopédie de l'espace et de l'univers ,2000 [in http://www.encyclopetique.inst.st-joseph.qc.ca.htm](http://www.encyclopetique.inst.st-joseph.qc.ca.htm)

la troposphère, l'air contient toujours de l'eau sous forme de vapeur. La teneur en eau de l'air s'appelle « humidité » ; on distingue l'humidité absolue exprimée en g/m³ et l'humidité spécifique en g/Kg. La quantité de vapeur d'eau que peut emmagasiner une unité de volume d'air est limitée : sa valeur maximale s'appelle l'humidité saturante. A pression constante, plus l'air est chaud plus il peut contenir de vapeur d'eau. Si l'on rapporte l'humidité absolue à l'humidité saturante, on obtient l'humidité relative exprimée en %.³⁸ Le degré d'évaporation au niveau des océans est beaucoup plus important qu'au niveau des continents (figure n°12). Par conséquent, l'air au dessus des océans est plus humides.

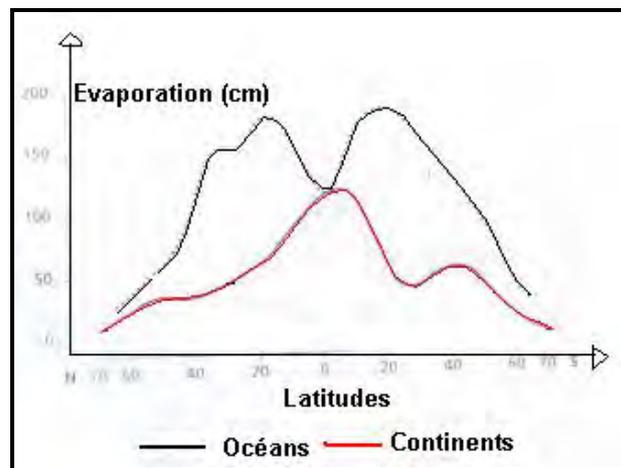


Figure n°12 : Evaporation moyenne annuelle par latitude (en cm)
Source : TABEAUD, Martine, 2000

4-5- Les précipitations (pluie, neige, verglas) : (figure n°13)

La pluie, souvent liée à des nuages convectifs, est un phénomène présentant une échelle spatiale bien inférieure à celle des modèles climatiques classiques, dont la maille est de l'ordre de 100 km x 100 km.

De plus, en fonction du type de sol, du vent, de la présence ou de l'absence de végétation, des nappes souterraines..., la goutte d'eau atteignant le sol pourra subir différentes destinées : évaporation, transpiration, ruissellement en surface, infiltration...³⁹

³⁸ Martine, TABEAUD. *La climatologie*. Edition ARMAND COLIN. Paris, 2000, p47,48

³⁹ Centre national de la recherche scientifique de Paris [in http://www.2.u-bourgogne.fr](http://www.2.u-bourgogne.fr)

Les précipitations - pluie, neige, verglas et grêle - sont associées aux mouvements d'air. Quand l'air s'élève il se refroidit, et l'humidité qu'il contient se condense en tant que nuages, qui produisent éventuellement des précipitations. Dans les régions de haute pression, l'air est descendant, l'atmosphère est stable, les ciels sont habituellement clairs, et les précipitations sont rares.

Les totaux de précipitations les plus élevés se produisent près de l'Équateur dans les tropiques, où le réchauffement puissant par le soleil crée un soulèvement vertical significatif d'air, et la formation des pluies lourdes prolongées et d'orages fréquents. Les totaux annuels de précipitations dans les tropiques excèdent habituellement les 100 pouces ou 2.500 millimètres, et peuvent être aussi hauts que 400 pouces ou 10.000 millimètres.

Dans les régions polaires les précipitations sont basses parce que l'air est trop froid pour contenir beaucoup de vapeur d'eau. En outre, l'air lourd et froid descend excluant beaucoup de formation de nuage. En fait, certaines régions de l'Antarctique et de l'Arctique sont aussi secs que les climats chauds des déserts subtropicaux, où la haute pression limite également la formation de nuages et les précipitations. Les déserts chauds et froids peuvent recevoir moins de 10 pouces ou 250 millimètres de précipitation tous les ans. En effet, dans quelques parties subtropicales, la pluie peut ne pas tomber pendant plusieurs années.

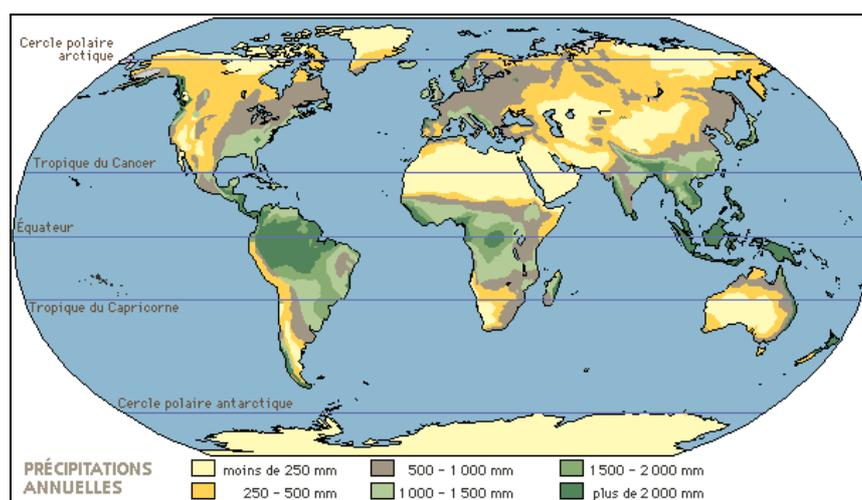


Figure n°13 : Précipitations annuelles dans le monde
Source : Encarta, 2005

CONCLUSION :

Ce chapitre a traité la notion du climat d'une façon détaillée. Le climat ensemble de phénomènes planétaires, en fonction duquel dépend la survie sur terre. Son influence est totale sur l'être humain qui tend toujours à bénéficier de ses avantages et à se protéger de ses effets indésirables. Pour ce on s'est trouvé incités à lui consacrer un chapitre entier vu que tout ce qui suivra n'échappera pas à sa liaison directe avec.

Ce chapitre fût entamé par la définition du climat. Ensuite, ont été présenté les facteurs qui influent sur ce dernier. Une classification des climats a été présentée , suivie par une présentation assez explicite des différents paramètres météorologiques appelés aussi « éléments du climat ».

L'objectif de ce chapitre était d'assurer une bonne connaissance et une meilleure compréhension des paramètres climatiques afin de pouvoir évaluer leur impact en milieu urbain, ce qui fera l'objet du prochain chapitre.

CHAPITRE III

LE MICROCLIMAT URBAIN



INTRODUCTION :

Actuellement, le climat terrestre est entrain de changer. Au 20^{ème} siècle, la température de la surface du globe a été clairement plus élevée que pendant n'importe quel siècle au cours des 1000 dernières années. Le climat du 20^{ème} siècle a été vraiment atypique.¹

Selon le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), la couche atmosphérique proche de la terre s'est réchauffée en moyenne entre 0,4° et 0,8°C au cours des 100 dernière années, et des recherches récentes de l'OMM (Organisation météorologique mondiale) , montrent que les dix années les plus chaudes ont été enregistrées depuis 1983 et dont huit d'entre elles depuis 1990 ².

Ce changement de climat est le résultat de nombreux facteurs assez complexes ,entre autre ceux liés aux nouvelles conditions atmosphériques qui ne cessent de subir des modifications dont certaines n'ont pu être expliquées jusqu'à nos jours. Ces changements deviennent de plus en plus perceptibles tout au long des mois et des saisons et d'après les nombreux travaux de recherche, qui se sont consacrés au diagnostic de ce phénomène (afin de pouvoir estimer ses conséquences et ses influences dans leurs dimensions spatiales et temporelles), les grands changements ayant attiré l'attention des chercheurs se résument en ce qui suit :

- Précipitations perturbées : le taux de précipitations a connu un grand changement et de vastes régions des cinq continents connaissent de fortes tendances à la hausse ou à la baisse par rapport à la moyenne habituelle des précipitations. Au cours du 20^{ème} siècle, les précipitations ont augmenté de 0,5% à 1% par décennie dans la plupart des pays de moyennes et hautes latitudes de l'hémisphère Nord, ainsi que dans une grande partie de l'Australie et de l'Amérique du sud. Elles ont connu par contre une forte diminution dans les zones tropicales et subtropicales au nord de l'équateur, y compris en Afrique , en Asie de l'Est et sur le continent Américain.
- Gaz à effet de serre concentrés : les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère ont augmenté en raison des activités humaines et la forte utilisation des combustibles fossiles tels que : le gaz, le pétrole, le charbon...etc. il suffit de dire

¹ www.civil.usherbrook.ca

² www.civil.usherbrook.ca

que la concentration de dioxyde de carbone (CO₂) dans l'atmosphère dépasse maintenant les 360 parties par million, contre 270 avant l'ère industrielle.

- Pollution atmosphérique accentuée : l'industrialisation intense, l'accroissement démographique et la forte densité de population en plus de l'automobile omniprésente forment une combinaison qui est à l'origine de l'élévation de taux de pollution ³.
- Changement climatique inquiétant : En se basant sur le contenu de la CCNUCC, (Convention Cadre Des Nations Unies Sur Les Changements Climatiques), notamment son article n°1 où on a défini le concept « changement climatique », comme étant : *des changements de climats qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère*. Et d'après le rapport présenté à la 9^{ème} session de la commission du développement durable, il a été conclu que : *Le phénomène du changement climatique engendrant le surchauffe du globe terrestre est fortement lié à la pollution atmosphérique de plus en plus inquiétante.*⁴ Cette pollution est entraînée essentiellement par un autre phénomène qui est l'étalement urbain, et ce au détriment de la qualité de l'air, de la vie et de la santé humaine et environnementale ⁵.

Barbara Boyle Torrey consultant au siège du Conseil de direction du PRB (population, référence, bureau) à l'ONU, a déclaré que : *« tandis que la population mondiale double, la population mondiale vivant en milieu urbain triple. D'ici à quelques années, plus de la moitié de la population mondiale vivra en zone urbaine »*.⁶

L'étalement urbain, est défini comme étant : *la croissance désordonnée des centres urbains* ⁷. Ce désordre englobe l'ensemble des facteurs d'ordre urbanistiques, environnementaux et même économiques et sociaux pouvant affecter négativement un écosystème qui doit être préservé. Selon l'ONU, on prévoit que sur 8,1 milliards d'habitants, 4,9 milliards vivront dans les villes d'ici 2030, contre 2,9 milliards sur 6,1 milliards d'individus que l'on compte actuellement (figure n°1).

³ <http://www.civil.usherbrook.ca>

⁴ <http://www.civil.usherbrook.ca>

⁵ <http://www.planbleu.com>

⁶ <http://www.ville.emard.com>

⁷ <http://www.planbleu.com>

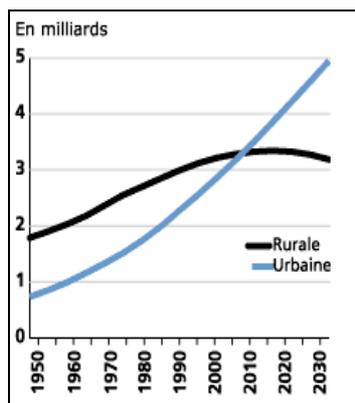


Figure n°1: Perspectives de l'urbanisation mondiale par décennie

Source : ONU, 2004

La population urbaine connaîtra un accroissement de plus en plus important avec un taux d'urbanisation de 2% prévu à l'échelle mondiale et de 2,6% quant aux pays en voie de développement et ce entre l'an 2000 et 2015⁸. La figure n°2 montre l'évolution du pourcentage de la population urbaine par continent.

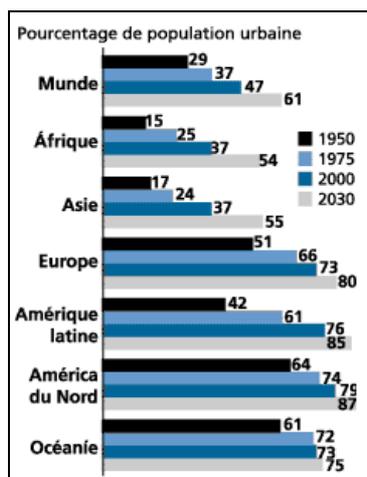


Figure n°2 : Perspectives de l'urbanisation mondiale par continent

Source : ONU, 2004

Cette intensification de l'urbanisation a apporté dans son sillage beaucoup de changements jusqu'ici inconnus non seulement sur les humains (maladies liées aux encombrements), mais également sur d'autres formes de vie en générant des changements physiologiques de la flore urbaine et de la faune relatifs à leur croissance et leur diversité.⁹ L'ensemble des paramètres sus indiqués se rassemble en un phénomène majeur spécifique

⁸ JOËLLE, Goyette Pernot et RAPHAËL Compagnon. *Energie et environnement*. Rapport de séminaire. École d'ingénieur et d'architecte de Fribourg, Genève, 2003.

⁹ <http://www.freefoto.com>

aux milieux urbains qui est l' « îlot de chaleur urbain (ICU) » qui ne cesse d'attirer l'attention des chercheurs : urbanistes, architectes et météorologues vu qu'il constitue un véritable danger qui menace la survie des populations et la durabilité des villes.

Donc, le climat spécifique aux villes dit : « climat urbain » résulte de ce processus rapide d'urbanisation d'où l'intérêt de bien le comprendre afin de l'intégrer dans le cadre de la planification urbaine en tant que concept nouveau.

Aujourd'hui, où le projet urbain est devenu d'actualité, des questions se posent à nouveau et les réponses doivent être traitées à partir des connaissances acquises en matière de « microclimatique urbaine », qui devient par conséquent un sujet de recherche.

Ce présent chapitre est une approche analytique dont l'objectif est de s'approfondir dans la notion du *climat urbain* ou *microclimatique urbaine* ou encore *climatologie des villes*. Elle fût entamée par la présentation de l'îlot de chaleur urbain. Ce phénomène micro climatique est au sommeil de notre réflexion vu qu'il constitue la réaction de plusieurs facteurs et paramètres spécifiques au milieu urbains. Sa compréhension met en rails le déroulement de notre recherche. Ensuite, une deuxième partie sera consacrée aux concepts de base liés au climat urbain. Seront présentés également les différents facteurs affectant directement le climat urbain. Enfin, les phénomènes micro climatiques en milieu urbain prendront une bonne part de cette approche et c'est là où sera expliqué le comportement des différents facteurs climatiques vis-à-vis des milieux rugueux qui caractérisent les villes.

1- L'ILOT DE CHALEUR URBAIN

Englobant l'ensemble des phénomènes précités, il nécessite de lui consacrer plus de détails et d'importance. L'accélération du rythme de l'urbanisation dans la deuxième moitié du XX^{ème} siècle a ouvert à la climatologie un champs de recherche nouveau, celui des modifications climatiques induites par la ville. La climatologie urbaine s'insère dans les préoccupations de la climatologie locale, qui étudie la relation entre le climat et l'environnement et se différencie ainsi de la climatologie synoptique. La manifestation la plus évidente du climat urbain est l'existence d'un « îlot de chaleur urbain (ICU) ».

1-1- Définition de l'ICU :

Les spécificités du milieu urbain sont visibles sur trois plans : radiatif, énergétique et aérodynamique. Ces facteurs déterminent alors un climat typique de l'environnement urbain ou les températures montrent la plus évidente des altérations qui est « l'îlot de chaleur urbain » ou « ICU »¹⁰.

On définit l'ICU comme étant ce phénomène microclimatique relatif aux zones urbanisées et caractérisé par des températures estivales plus élevées que l'environnement immédiat, avec des différences qui varient selon les auteurs de 5 à 10°C¹¹. de nombreuses études d'observation de l'évolution des températures en milieu urbain montre une corrélation entre la densification urbaine et l'augmentation de la température de l'air (figures n°3 et 4). Ainsi, des relevés sur une trentaine de villes de Californie et des zones rurales environnante 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.¹²

L'ICU, est la résultante des phénomènes climatologiques particuliers causés par les facteurs spécifiques au milieux bâtis plus denses. Il s'agit très certainement de la manifestation climatologique la plus évidente provoquée par l'urbanisation, dont le résultat est l'augmentation de la température de l'air .

¹⁰ DE HATTEN, Anne. *Mise en évidence des caractéristiques générales de l'îlot de chaleur urbain Strasbourgeois*. Thèse de maîtrise de Géographie. Université Louis Pasteur de Strasbourg. 2002 .p8

¹¹ Météo France **in** <http://www.meteocentre.com>

¹² Akbari et Al, 2001 **in** <http://www.cust.univ-bpclermont.fr>

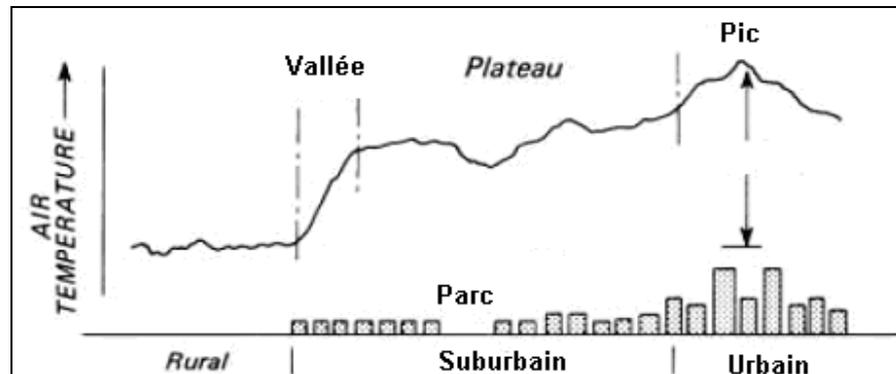


Figure n°3 : Profil d'un îlot de chaleur urbain et ses relations avec les paramètres de surface
Source : T.R.Oke, 1987

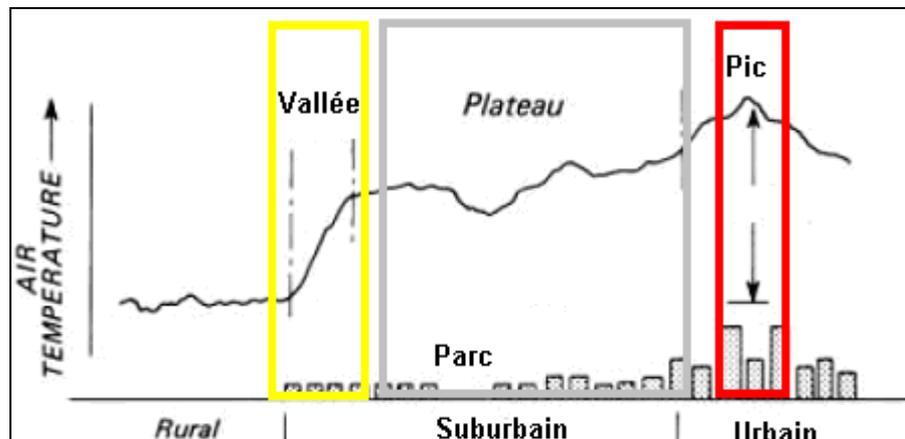


Figure n°4: Répartition du profil de l'ICU en pic, plateau et vallée en fonction des paramètres de surface
Source : Joëlle Goyette Pernot et Raphaël Compagnon, 2003

1-2- Ses caractéristiques :

Le climat urbain est caractérisé principalement par l'apparition de ce phénomène dit : îlot de chaleur urbain , ou l'écart de température observé entre le centre d'une ville et ses alentours est surtout sensible la nuit , parce que l'ICU , commence à croître en fin d'après midi, augmente rapidement autour et juste après le coucher du soleil, atteint son maximum autour du milieu de la nuit et décline près du lever du soleil pour atteindre son minimum dans le milieu de l'après midi ». ¹³

Cet ICU, n'est pas homogène, mais consiste plutôt en plusieurs tâches réparties dans les villes. Sa taille et son intensité sont variables .

L'ICU, ne varie pas uniquement dans le temps et du point de vue horizontal mais aussi verticalement . Il atteint une hauteur de 200 à 300m, soit 3 à 4 fois plus que la hauteur des immeubles. ¹⁴

1-3- Son intensité :

L'intensité de l'ICU peut avoir plusieurs significations selon les auteurs. Pour DETTWILLER en 1970 l'a défini comme étant la différence entre la température maximale et la température minimale, Oke, quant à lui a avancé en 1972 que cette intensité exprime la différence entre la température urbaine à un instant T et son homologue rurale au même instant. Dans tous les cas, l'intensité de l'ICU « est dépendante de la taille de la ville et de sa morphologie ». ¹⁵

L'augmentation de l'intensité est particulièrement rapide juste après le coucher du soleil du fait des différences importantes entre les gradients de refroidissement du rural et de l'urbain. L'environnement rural restitue rapidement son stock d'énergie, alors que pour l'urbain , ce processus est très lent. Plus tard dans la nuit, les deux gradients vont

¹³ DE HATTEN, Anne. *Mise en évidence des caractéristiques générales de l'îlot de chaleur urbain Strasbourgeois*. Thèse de maîtrise de Géographie. Université Louis Pasteur de Strasbourg. 2002. p10,11

¹⁴ <http://www.freefoto.com>

¹⁵ DE HATTEN, Anne. *Mise en évidence des caractéristiques générales de l'îlot de chaleur urbain Strasbourgeois*. Thèse de maîtrise de Géographie. Université Louis Pasteur de Strasbourg. 2002. p10

s'harmoniser et l'intensité va baisser. De même après le lever du soleil, les zones rurales se réchauffent plus vite que les zones urbaines faisant décliner l'intensité de l'îlot.¹⁶

L'intensité de l'ICU, est aussi fonction des paramètres météorologiques tels que la vitesse du vent, la couverture nuageuse et l'évapotranspiration. A titre d'exemple, l'augmentation de la vitesse du vent peut limiter l'intensité de l'îlot, cette intensité change d'une année à l'autre et d'un jour à l'autre. Elle peut être deux fois plus grande en hiver qu'en été à cause de toute la chaleur dégagée par les immeubles chauffés. Elle est aussi plus importante durant la nuit quand la surface réchauffée pendant la journée réemet sa chaleur à l'atmosphère. On a aussi observé à TOKYO, que l'intensité de l'ICU diminue pendant les vacances et les Week-End.¹⁷

1-4- Ses impacts:

La présence d'îlot de chaleur urbain représente un phénomène de plus en plus préoccupant. Nous n'avons qu'à regarder ces 10000 décès enregistrés dans la région parisienne en 2003¹⁸, en plus de nombreux cas d'hospitalisation.

Les conséquences de la présence des ICU sont très néfastes tant pour le milieu environnemental que le milieu humain surtout que les changements provoqués par la forte urbanisation engendrent des maladies liées à l'encombrement telles que : la tuberculose, la pneumonie, maladies respiratoires...etc. ils incluent également des changements physiologiques de la flore et de la faune et leur retardement, ainsi que des maladies liées à la croissance végétale». ¹⁹

1-5- Causes et facteurs contribuant à la formation de l'ICU :

- a. La réduction d'espaces verts, l'utilisation de matériaux qui absorbent la chaleur (au niveau des toits, les murs des bâtiments ainsi que les chaussées) représentent des

¹⁶ DE HATTEN, Anne. Mise en évidence des caractéristiques générales de l'îlot de chaleur urbain Strasbourgeois. Thèse de maîtrise de Géographie. Université Louis Pasteur de Strasbourg. 2002 .p11

¹⁷ <http://www.freefoto.com>

¹⁸ Journal « La presse » du 22 août 2003 in <http://www.equiterre.qc.ca>

¹⁹ <http://www.freefoto.com>

- facteurs importants. Ces matériaux absorbent la chaleur pendant la journée et la restitue pendant la nuit.
- b. La présence d'un flux de chaleur lié au chauffage urbain, à la circulation automobile et à l'activité industrielle s'avère aussi un facteur qui contribue de façon significative au développement de l'ICU.
 - c. Il ne faut pas oublier non plus le contexte climatique actuel ou les périodes de chaleur extrême sont de plus en plus fréquentes : au CANADA, les températures moyennes annuelles calculées pour le pays indiquent que sept des dix années les plus chaudes depuis 1948 sont survenues depuis 1980. ces hausses de température se reflètent tant par une augmentation des températures maximales ou minimales que par un nombre accru de journées de chaleur accablante contribuant à la formation de d'ICU.²⁰
 - d. La taille et la structure spatiale d'une ville sont aussi des paramètres importants , car les villes avec de petits immeubles répartis au milieu de nombreux espaces verts ne présentent pas ces ICU.²¹

D'après T.R.Oke en 1976, et en se basant sur certains indices caractérisant un site urbain tels que : la densité du bâti, la moyenne du ratio de la hauteur moyenne des immeubles sur la largeur moyennes des rues (H/W), le facteur de visibilité du ciel , l'albédo...etc, les causes d'un îlot de chaleur urbain sont les suivantes :

- L'augmentation des radiations provenant de l'atmosphère due à l'absorption du rayonnement en grande longueur d'ondes et sa rémission par l'atmosphère polluée.
- Le piégeage des radiations en grande longueur d'ondes par les « canyons urbains».
- Les propriétés des matériaux urbains permettant un stockage de la chaleur le jour et sa libération la nuit.
- La chaleur anthropique provenant des façades des immeubles.
- La baisse de l'évaporation due à une réduction de la végétation et aux surfaces imperméables ne permettant pas de constituer un stock.

²⁰ <http://www.equiterre.qc.ca>

²¹ <http://www.freefoto.com>

- La baisse de la perte de chaleur sensible due à la réduction de la vitesse du vent dans la canopée urbaine.²²

2- CONCEPTS

2-1- L'ATMOSPHERE :

2-1-a- Définition :

L'atmosphère est la couche gazeuse qui entoure la terre. Elle est maintenue en place par le champ gravitationnel. La profondeur de l'atmosphère varie de temps à autre. Elle est plus grande en été qu'en hiver, et elle varie également en fonction de la latitude. La chaleur rayonnante du soleil cause l'expansion des gaz atmosphériques dans l'espace, et c'est l'interaction entre cette force cinétique et la force d'attraction de la terre qui détermine les limites de l'atmosphère²³.

2-1-b- Composition :

L'atmosphère est un mélange de gaz divers. Les deux plus importants étant l'azote (78.09%) et l'oxygène (20.95%). La composition de l'atmosphère est d'une constance remarquable jusqu'à environ 300.000 pieds²⁴

2-1-C- Différentes couches (figure n°5) :

- La troposphère (ou la couche des changements): c'est la couche où nous vivons, caractérisée par une température qui décroît régulièrement avec l'altitude à un rythme de 1,98°C /1000 pi. Elle atteint une altitude de 60.000 pi au dessus de l'équateur, et 30.000 pi au dessus des pôles. A partir de cette altitude c'est la tropopause.
- La tropopause : c'est une couche où la température de l'air est passablement constante, variant entre -50 et -55°C. son épaisseur est d'environ 30.000 pi.

²² DE HATTEN, Anne. *Mise en évidence des caractéristiques générales de l'îlot de chaleur urbain Strasbourgeois*. Thèse de maîtrise de Géographie. Université Louis Pasteur de Strasbourg. 2002 .p10

²³ GUYOT, Gérard. *Climatologie de l'environnement ; cours et exercices corrigés*. Paris, Dunod, 1999 p167

²⁴ TABEAUD, Martine. *La climatologie*. Paris, Armand COLIN ,2000 p10

- La stratosphère : couche d'une profondeur de 50.000 à 80.000 Km environ , elle ne comporte aucune variation climatique et, de ce fait il n'y a pratiquement plus d'intempérie à partir de 35.000 pi²⁵

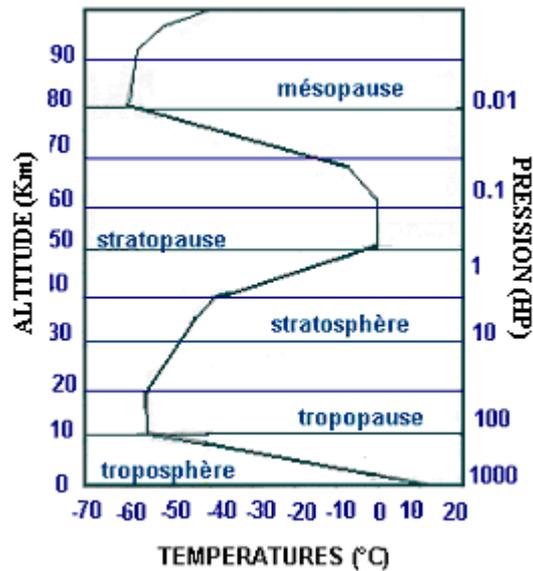


Figure n°5 : Différentes couches constituant l'Atmosphère

2-2- LES DIFFERENTES COUCHES LIMITES :

2-2-1-La couche limite atmosphérique (CLA) ou planétaire :

D'un point de vue dynamique, la couche limite atmosphérique est la zone de l'atmosphère au voisinage du sol dans laquelle se répercute directement par viscosité l'adhérence au sol de l'écoulement (figure n°6). D'un point de vue thermique, c'est la zone de l'atmosphère au voisinage de la surface terrestre dans laquelle, la variation diurne du rayonnement solaire est directement perceptible.²⁶

La hauteur de la couche limite atmosphérique qui varie en permanence dans le temps et dans l'espace est comprise en moyenne entre de 1 à 2 kilomètres pendant le jour à 100m ou moins la nuit²⁷.

²⁵ TABEAUD, Martine. La climatologie. Paris, Armand COLIN ,2000 p9

²⁶ GLOCKNER, Stéphane. Contribution à la modélisation de la pollution atmosphérique dans les villes. Thèse de doctorat. Université Bordeaux1. 2000 .p13

²⁷ BOURBIA, Fatiha. *Building cluster and shading in hot dry climate*. These de Doctorat. University of reading. 1999.p10

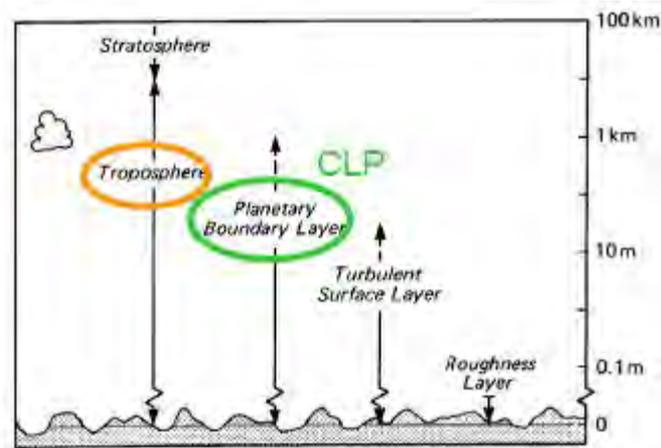


Figure n°6 : situation de la couche limite planétaire par rapport à la basse atmosphère

Source : Joëlle Pernot Goyette et Raphaël Compagnon, 2003

2-2-2-La couche limite urbaine (CLU) :

La couche limite urbaine est un cas particulier de la couche limite atmosphérique. Ce qui la différencie nettement de la CLA, est l'existence au dessus des villes d'un îlot de chaleur. Donc , l'ensemble de la structure de l'atmosphère urbaine apparaît comme un large dôme courbé sur l'ensemble de la masse urbaine. Cette masse est appelée « couche limite urbaine »²⁸ dont les caractéristiques sont régies par la nature de la surface urbaine générale . Elle se traite dans une échelle locale à une échelle méso²⁹ .

2-2-3-La canopée urbaine (CU):

C'est la partie basse de la couche limite urbaine, à proximité directe du sol, dans laquelle sont étudiés les écoulements entre les bâtiments. Elle est liée à la hauteur et à la densité des constructions et des obstacles naturels qui jalonnent l'espace urbain, et traitée à une échelle micro. Au sein de la couche séparant le sol de la canopée urbaine, les recherches portent sur la dispersion des polluants et sur le confort des espaces extérieurs³⁰(figure n°8 et 9)

²⁸ GLOCKNER, Stéphane. *Contribution à la modélisation de la pollution atmosphérique dans les villes*. Thèse de doctorat. Université Bordeaux1. 2000 .p15

²⁹ BOURBIA, Fatiha. *Building cluster and shading in hot dry climate*. Thèse de Doctorat. University of reading. 1999.p10

³⁰ GLOCKNER, Stéphane. *Contribution à la modélisation de la pollution atmosphérique dans les villes*. Thèse de doctorat. Université Bordeaux1. 2000 .p17

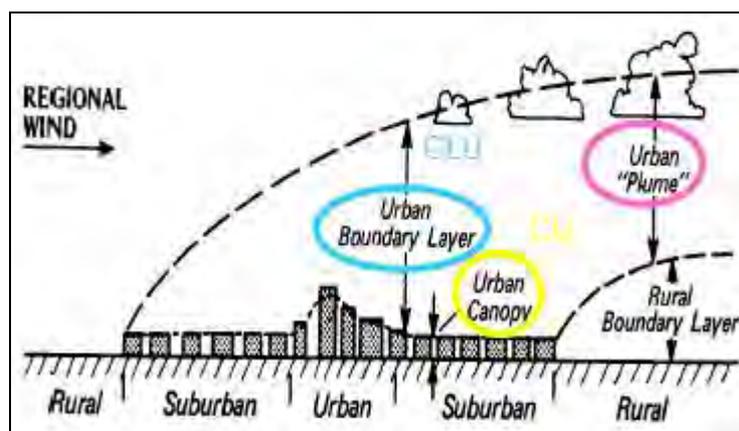


Figure n°8: Situation de la canopée urbaine par rapport à la couche limite urbaine
Source : Joëlle Pernot Goyette et Raphaël Compagnon, 2003

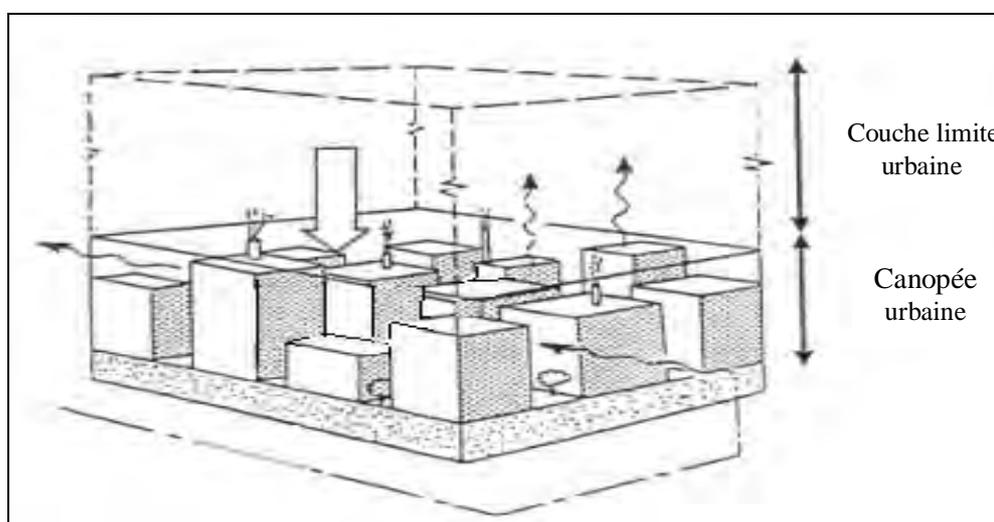


Figure n°9 : Présentation simplifiée de la couche limite urbaine et la canopée urbaine
Source : BOURBIA, 1999

2-3- CLIMAT URBAIN :

1. le climat urbain est l'état de l'atmosphère qui résulte du processus d'urbanisation.³¹
2. étant certain que l'impact d'un milieu urbanisé sur le climat d'une région est éprouvé, Jérôme Colin, chercheur à la faculté de Géographie et d'Aménagement de l'université de Strasbourg, a annoncé *qu'on ne peut parler de « climat urbain » que*

³¹ JOËLLE, Goyette Pernot et RAPHAËL Energie et environnement ; rapport de séminaire. École d'ingénieur et d'architecte de Fribourg. Genève. Compagnon. 2003.

s'il s'agit d'une accumulation ou une non dissipation des polluants atmosphériques.

32

3. G.Escourou , à son tour , lors d'une recherche sur le microclimat urbain de Genève a défini le climat urbain comme suit : *En effet, l'extension des immeubles d'habitation, l'augmentation du nombre de voitures, les gaz d'échappement, les lumières des rues, les systèmes de chauffage et de climatisation, l'imperméabilité des espaces, provoquent toute une série de facteurs qui modifient considérablement les conditions climatiques propre à une région donnée faisant naissance à un nouveau type de climat spécifique aux villes appelé : climat urbain.*³³
4. Le climat urbain d'une manière générale est : *plus chaud, moins bien éclairé, moins venteux, plus brumeux, plus pollué et souvent plus pluvieux que le climat de l'étendue de la région.*³⁴

2-4- ECHELLES DU CLIMAT :³⁵

Echelle micro (10⁻² à 10³m)

Echelle locale (10² à 5*10⁴m)

Echelle méso (10⁴ à 2*10⁵m)

Echelle macro (10⁵ à 10⁸m)

³² JEROME, Colin. *Définition d'une approche de la modélisation de la rugosité aérodynamique en milieu urbain*. Thèse de maîtrise de Géographie. Université Louis Pasteur de Strasbourg. 2001.p7

³³ <http://www.unige.ch>

³⁴ TAYAR, A/Hakim. *Espace de communication et climat*. Thèse de Magistère. Université de Biskra. 1996.p44

³⁵ BOURBIA, Fatiha. *Building cluster and shading in hot dry climate*. These de Doctorat. University of reading. 1999. p9

3- FACTEURS AFFECTANTS DIRECTEMENT LE CLIMAT URBAIN :

3-1- La morphologie propre à l'espace : la morphologie d'un site peut influencer positivement ou négativement les paramètres suivants :

- Répartition des zones ombrées et ensoleillées.
- Champs radiatifs et thermiques.
- Ecoulement de l'air.

3-2- Eléments contenus par l'espace :

3-2-1- Les activités humaines (anthropiques) :

L'industrialisation, les activités concentrées des habitants et l'élévation du trafic du moteur (figure n°10) augmentent davantage la consommation d'énergie et la pollution atmosphérique et abaissent la qualité environnementale et climatique. Les secteurs urbains déjà sans qualité climatique élevée emploient beaucoup plus d'énergie pour la climatisation en été et le chauffage en hiver et beaucoup plus d'électricité pour l'éclairage.



Figure n°10 : Différentes activités anthropiques
Source : JOËLLE Goyette Pernot et RAPHAËL Compagnon, 2003

3-2-2- Les matériaux :

La ville en tant qu'espace urbain, offre de nouvelles conditions de surfaces : rues asphaltées, cheminements pavés ainsi qu'une multitude de matériaux de revêtement des façades, donc une importante couche imperméable dite minérale couvre l'enveloppe de la ville.

Les propriétés thermiques de ces matériaux ainsi que leurs albédo ont un impact très important sur le bilan énergétique urbain. L'une des caractéristiques des matériaux les plus courants tels que la brique et l'asphalte, est leur faible capacité

thermique et leur grande conductivité. En d'autres mots, ils absorbent et libèrent efficacement la chaleur. Ces processus entraînent, par conséquent, une hausse rapide des températures qui demeurent élevées pendant une longue période.³⁶

3-2-3-L'albédo :

L'albédo est défini comme étant le rapport (évalué en %) de la quantité de lumière réfléchiée par une surface à la quantité de lumière incidente.³⁷

L'albédo, mesure également la quantité d'énergie solaire reflétée par une surface. Un albédo faible implique des températures de surface plus élevées puisqu'une grande quantité d'énergie est absorbée. A titre d'exemple : l'asphalte a un albédo de 0,05 à 0,20 et le goudron de 0,03 à 0,18. les surfaces noires exposées au soleil peuvent devenir jusqu'à 21°C plus chaudes que les surfaces blanches ayant un albédo de 0,50 à 0,90³⁸ (figure n°11).

De nombreuses études ont démontré des réductions significatives de la charge de refroidissement des bâtiments quand l'albédo est élevé : en changeant la couleur des surfaces par exemple.³⁹

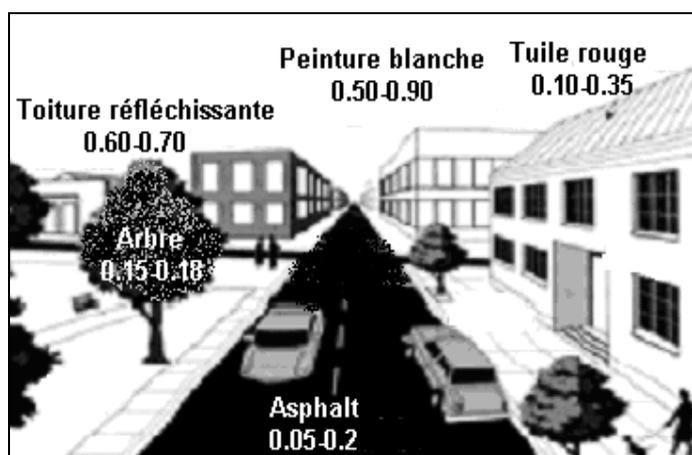


Figure n°11 : Différentes valeurs de l'albédo dans une ville
Source : Frédéric Guay et Yves Baudoin, 2003

3-2-4-La densité et taille de la ville :

Lorsque la densité de la population augmente, les activités urbaines vont s'intensifier, et par conséquent la pollution de l'air peut atteindre des valeurs dangereuses. Lors d'une recherche effectuée par T.J.Chandler en 1976 sur l'impact de la

³⁶ <http://www.insu.cnrs.fr>

³⁷ <http://www.cam.org>

³⁸ <http://www.equiterre.qc.ca>

³⁹ <http://www.jxj.com>

taille des villes sur la pollution de l'air , et en faisant ressortir les rapports entre les quantités de polluants solides mesurés dans des villes américaines à celles mesurées sur un site non pollué il a abouti aux résultats suivants ⁴⁰:

Taille de la ville	Polluants solides
25.000 habitants	3,5
100.000 habitants	3,8
400.000 habitants	4,0
1.000.000 habitants	5,5

Tableau n°1 : Evolution de la quantité de polluants en fonction de la tailles des villes
Source : Michel Bonavitacola,2001

3-2-5-Absence de végétation et d'eau :

Les arbres et les espaces verts contribuent de manière significative à la diminution des températures urbaines pendant la période d'été grâce au processus d'évapotranspiration⁴¹. Les arbres jouent également le rôle de filtre aux polluants et de masque aux bruits. Leur effet d'ombre contribue aussi à la diminution des besoins d'énergie pour se refroidir en été. En hiver , les arbres à feuilles caduques laissent tomber ces dernières permettant la pénétration des rayons solaires.

Des travaux de recherche ont prouvé que les secteurs verts diminuent la température moyenne de l'air dans une rue de 2°C.⁴² cependant, en milieu urbain, on remarque un faible taux d'évapotranspiration attribuable à la rareté des espaces verts.

4- LES PHENOMENES MICROCLIMATIQUES EN MILIEU URBAIN

En site urbain dense, il existe de nombreuses zones de confinement dont la circulation d'air peut être très variable en fonction . d'autres part, les apports énergétiques dus au rayonnement solaire et à l'activité humaine dans les zones faiblement ventilées peuvent entraîner des charges thermiques importantes.

⁴⁰ <http://www.cam.org>

⁴¹ <http://www.lemma.ulg.ac.be>

⁴² <http://www.jxj.com>

4-1- EFFETS AERODYNAMIQUES EN MILIEU URBAIN :

En site urbain, les potentiels de ventilation par l'effet direct du vent sont fortement diminués, d'autant plus que l'écoulement de l'air peut être modifié par la présence d'obstacles : bâti, végétation...(figure n°12 et 13 et 14), mais aussi par des phénomènes thermiques liés notamment à l'ensoleillement.

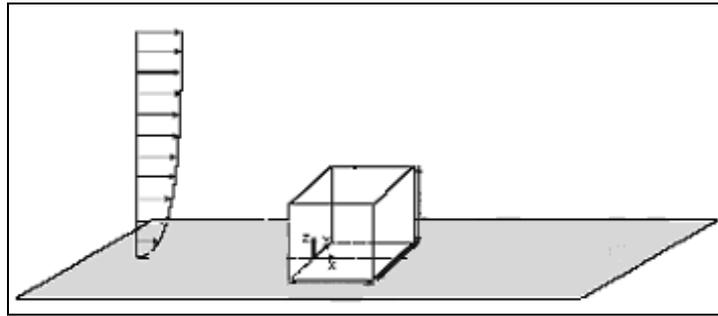


Figure n°12 : Réduction de la vitesse d'écoulement du vent en rencontre d'un obstacle
Source : Louka.P, Ketzel.M et Sahm.P ,2001

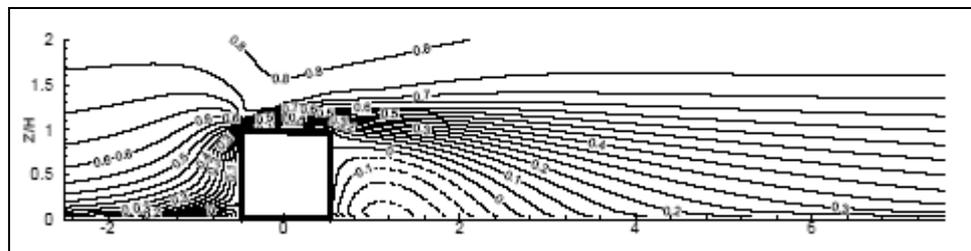


Figure n°13 : Comportement de l'écoulement du vent en rencontre d'un obstacle
Source : Louka.P, Ketzel.M et Sahm.P ,2001

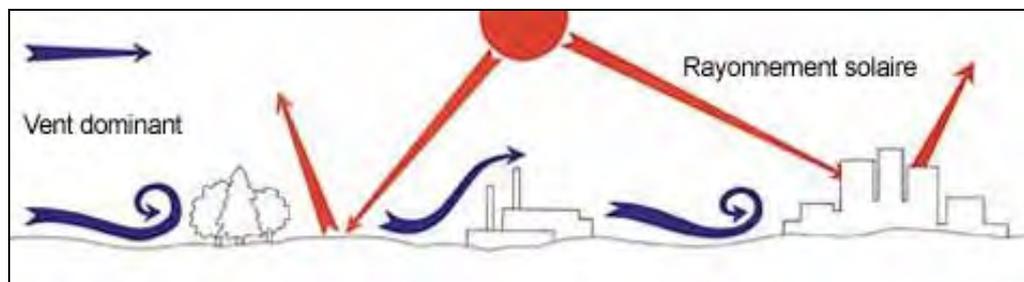


Figure n°14-a : Comportement de l'écoulement du vent en rencontre de plusieurs obstacles (vue en coupe)
Source : [http:// www.partnairsinaire.org](http://www.partnairsinaire.org)



Figure n°14-b: Comportement du vent en rencontre de plusieurs obstacles (vue en plan)
Source : Jean Louis Izard, 2000 ,(expérience en soufflerie)

En milieu urbanisé, le profil logarithmique de la vitesse du vent n'est vérifié que pour des altitudes Z largement supérieures à la hauteur de la canopée urbaine. Dans la couche comprise entre le sol et le niveau de la canopée urbaine, l'écoulement circule entre les porosités, c'est-à-dire les rues ou canyons urbains, les espaces dégagés et les vides séparant les bâtiments .

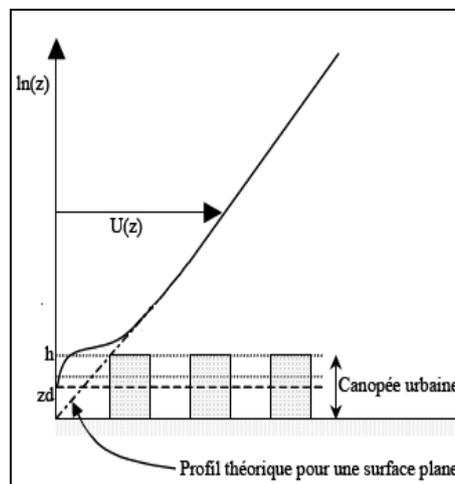


Figure n°15 : Perturbation de l'écoulement du vent en zone rugueuse (canopée urbaine)
Source : Jérôme COLIN,2001

En réalité, il faut tenir compte du fait que lorsque la densité du bâti dépasse un certain seuil, l'écoulement n'atteint plus la surface du sol. Il y a donc une hauteur non

concernée par l'écoulement, ce qui augmente d'autant la hauteur du niveau de base du profil du vent appelée « hauteur de déplacement » Z_d qui peut être égale à la hauteur de la canopée urbaine .

Dans la couche comprise entre la surface et la hauteur des éléments de rugosité, l'écoulement circule dans des porosités. Puisque la rugosité est liée à la hauteur de ces éléments, elle dépend aussi du volume des porosités, ou 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 ⁴³, par opposition à l'écoulement laminaire qui se produit au dessus de la hauteur de rugosité, et c'est là où le mouvement d'air connait un déplacement rectiligne.

Prenant le cas d'une surface sur laquelle sont disposés des obstacles très espacés. Lorsque l'écoulement rencontre un obstacle, il est en partie freiné et passe par-dessus l'obstacle pour ensuite regagner la surface. Si l'on resserre progressivement la trame d'obstacles, la densité sera telle que l'écoulement laminaire ne pourra plus retrouver le niveau de la surface en passant d'un obstacle au suivant. Il se crée alors une couche non influencée par l'écoulement laminaire, mais plutôt par l'écoulement turbulent engendré par des obstacles . La hauteur de cette couche est définie comme étant « la zone de déplacement »⁴⁴ (figure n°16)

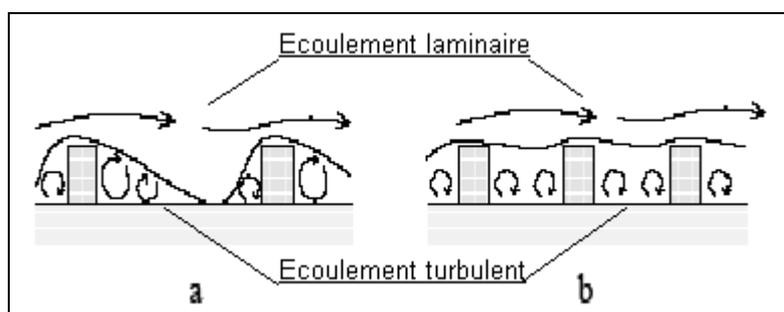


Figure n°16 : Comportement du vent en fonction de l'espacement entre les constructions

Source : Rafik BELARBI, Emmanuel BOZONNET et Francis ALLARD, 2002

⁴³ GENDEMER, Jacques et GUYOT, Alain. *La protection contre le vent*. Paris. 1981.p12

⁴⁴ JEROME, Colin. Définition d'une approche de la modélisation de la rugosité aérodynamique en milieu urbain. Thèse de maîtrise de Géographie. Université Louis Pasteur de Strasbourg. 2001.p10

a. Calcul de la vitesse du vent en milieu urbain :

La vitesse moyenne du vent varie avec la hauteur, la rugosité du sol et la topographie éventuelle des sites⁴⁵(figure n°17).

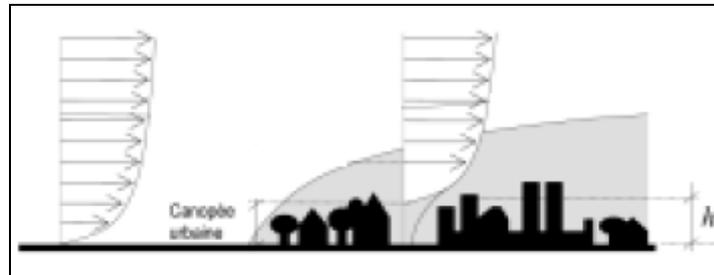


Figure n°17 : Variation de la vitesse du vent entre la ville et ses alentours (la campagne)

Source : Rafik BELARBI, Emmanuel BOZONNET et Francis ALLARD,2002

La variation de cette vitesse avec la hauteur et la rugosité peut être décrite avec la relation suivante :

$$V = K * V(\text{ref}) * \log Z/Z_0 = C * V(\text{ref})^{46} \quad \text{où:}$$

- K: coefficient fonction de la rugosité.
- Z : hauteur concernée.
- Z_0 : paramètre de rugosité.
- $V(\text{ref})$: vitesse moyenne mesurée par la station météo.
- C : coefficient de hauteur et de rugosité.

⁴⁵ GENDEMER, Jacques et GUYOT, Alain. La protection contre le vent. Paris. 1981.p13

⁴⁶ GENDEMER, Jacques et GUYOT, Alain. La protection contre le vent. Paris. 1981.p15

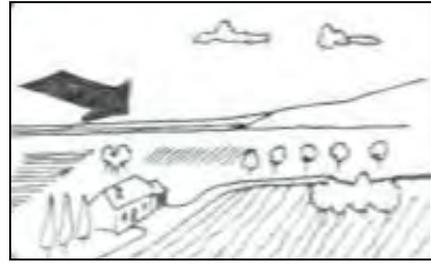
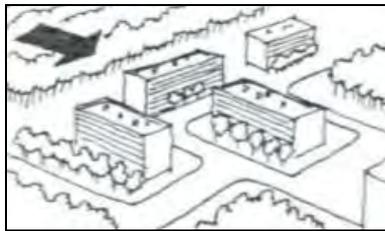
Différentes classes de rugosité :⁴⁷Classe1 : océan & grand lacClasse2 : rase campagne.Classe3 : banlieue.Classe4 : zone urbaine.Classe5 : centre d'une grande ville.

Figure n°18 : différentes classes de rugosité
 Source : Gendemer Jacques et Guyot Alain, 1981

⁴⁷ GENDEMER, Jacques et GUYOT, Alain. *La protection contre le vent*. Paris. 1981. p16

Variation des coefficients K et Z_0 selon les classes de rugosité ci-dessous désignées :

Classe de rugosité	I	II	III	IV	V
$Z_0(m)$	0,005	0,07	0,03	1	2,5
K	0,166	0,202	0,234	0,266	0,292

Tableau n°2 : Variation des valeurs de Z_0 et K en fonction des classes de rugosité
Source : Gendemer Jacques et Guyot Alain, 1981

b. Différents effets du vents au niveau du sol :⁴⁸ (figures n°19-a et 19-b)

- Effet de coin :

C'est l'effet d'écoulement aux angles des constructions. Cette accélération peut atteindre 40 à 100%, mais peut être évitée par la plantation d'arbres ou bien prévoir une ceinture de protection aux niveau des coins.

- Effet de sillage :

C'est un phénomène de circulation fluide tourbillonnaire en aval d'une construction. Il intègre l'effet de coin, mais son importance est inversement proportionnelle à la densité du bâti.

- Effet de trous (passage) sous immeuble :

C'est un phénomène d'écoulement relatifs aux bâtiments sur pilotis ou disposant d'un large porche traversant de part en par. L'effet sera d'autant plus limité que le vent est perpendiculaire à l'axe du trou. La présence de végétation peut diminuer voire annuler cet effet. L'accélération en ces point peut aller jusqu'à 20 à 50%.

- Effet de rouleau tourbillonnaire (tourbillon amont):

C'est le phénomène urbain par excellence. C'est simplement l'effet provoqué par l'impact direct du vent sur une façade et qui va générer de grandes perturbations du côté amont de l'immeuble. L'intensité sera dépendante de la distance à l'immeuble précédent, de la vitesse du vent, de la présence de végétation et celle d'éventuels auvents de protection. C'est ici aussi que la forme,

⁴⁸ <http://www.mrw.wallonie.be>

la hauteur, la modénature et les matériaux de façades vont jouer un rôle important.

- Effet de barre :

C'est un phénomène de déviation en vrille d'un vent qui arrive à l'axe d'une construction en forme de barre avec un angle de 45°. On peut limiter l'effet en aménageant le toit et les arêtes de la construction.

- Effet de venturi :

C'est l'effet d'entonnoir que peut former l'implantation de certains immeubles. Ainsi, une place va le provoquer si une ou des rues donne sur ses coins et que la direction du vent est favorable à son engouffrement dans ces rues. L'ampleur de ce phénomène peut aller jusqu'à faucher un piéton. La présence de volumes arrondi dans la zone d'accélération va empirer la situation. La plantation d'arbres demeure toujours la solution la plus adéquate.

- 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 grand, avec une amplitude proportionnelle à la petitesse des volumes de séparation

- Effet de canalisation :

Ce phénomène est assez courant en présence d'un long boulevard rectiligne. La force du vent peut être augmentée jusqu'à 30%, fonction de la longueur de l'axe et de sa forme rectiligne.

- 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.

- Effet de pyramide :

C'est un phénomène qui provient du groupement des constructions à décrochement et à caractère pyramidal. Les anomalies apparaissent essentiellement au niveau des balcons de crêtes, ce qui épargne au moins le sol.

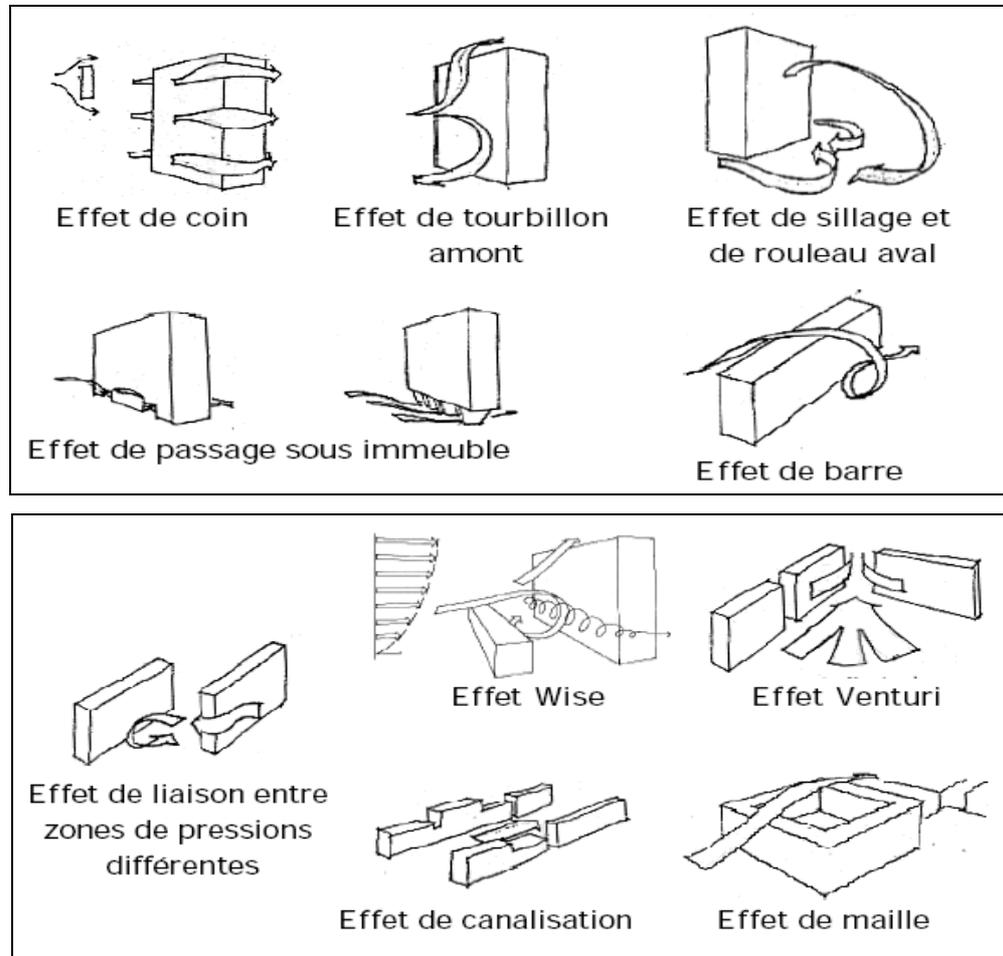


Figure n°19 : Différents effets du vents au niveau du sol
Source : Jean Louis Izard ,2000

c. Différents effets du vents au niveau de la basse atmosphère:

Ø **Le panache** : lorsque la vitesse du vent est supérieure à 3m/s, et suivant le type d'obstacles rencontrés et, les conditions génératrices de l'atmosphère, il peut se produire comme pour les fumées d'usines un « panache » (figure n°20).

Ø **Le dôme**: lorsque la vitesse du vent est plus faible, il peut se produire un « dôme », dans lequel, l'air de la ville est emprisonné : chauffé par le sol, l'air monte, devient plus lourd il redescend pour recirculer.⁴⁹ (figure n°20).

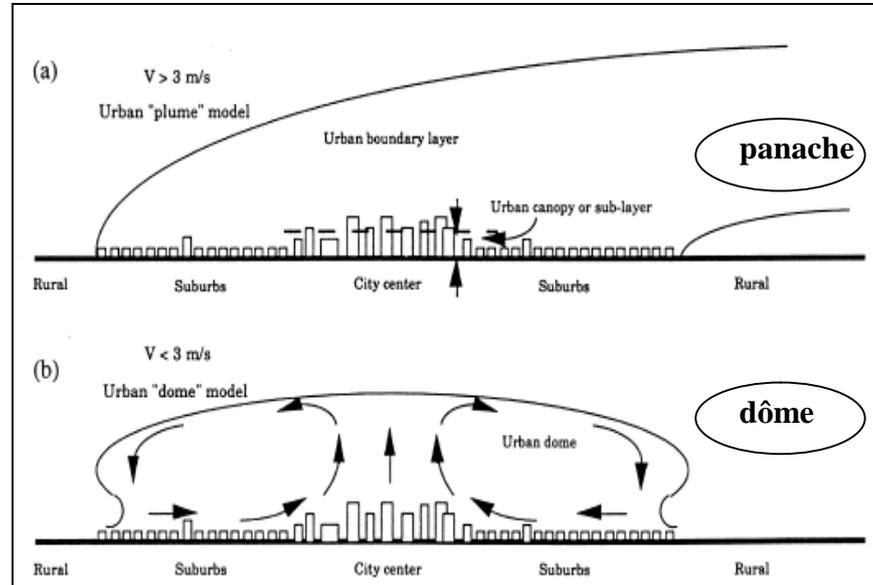


Figure n°20: Phénomènes de panache et de dôme urbains au dessus des villes
Source : Stéphane Glockner, 2000

4-2- EFFETS THERMIQUES EN MILIEU URBAIN :

- La distribution verticale de la température :

Dans des conditions atmosphériques normales, la température de la troposphère décroît au fur et à mesure que l'altitude augmente, à raison de ± 10 degrés par Km⁵⁰. Comme la température décroît quand l'altitude augmente, les polluants de l'air généralement chauds émis dans les centres urbains montent jusqu'à ce que la particule d'air qui les contient atteigne une température égale à celle de l'air ambiant⁵¹ (figure n°21).

⁴⁹ <http://www.cam.org>

⁵⁰ <http://www.encyclopetique.inst.st-joseph.qc.ca.htm>

⁵¹ <http://www.partnairsinaire.org>

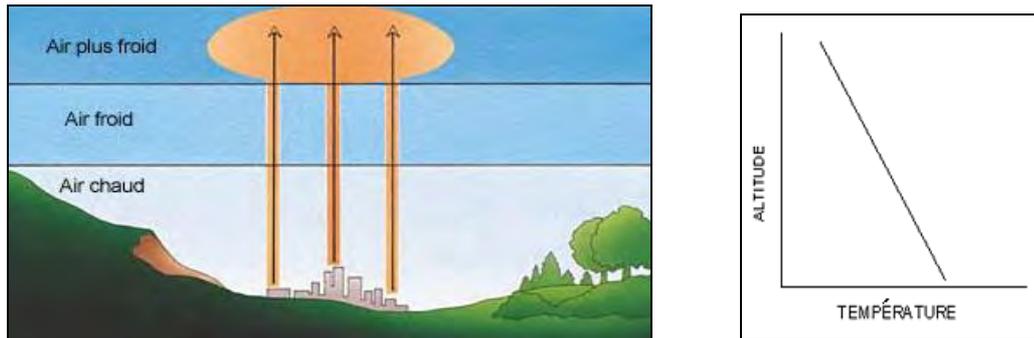


Figure n°21 : Variation de la température en fonction de l'altitude
 Source : [http:// www.partnairsinaire.org](http://www.partnairsinaire.org)

- Le bilan thermique urbain : ⁵²

• **Surface normale :**

L'équilibre thermique d'une surface normale donnée est la différence entre l'énergie gagnée et celle perdue. Théoriquement, un équilibre thermique d'une surface est décrit par la formule suivante (figure n°22) :

$$\mathbf{Q + H + E + G = 0}$$

Où :

Q : flux radiatif net global (toutes les ondes confondues).

H : la chaleur sensible absorbée ou transmise par l'air ou la terre

E : la chaleur latente libérée ou absorbée pendant un changement d'état de l'eau (par exemple l'évaporation implique l'absorption de l'énergie tandis que la condensation implique un dégagement d'énergie)

G : la chaleur transportée par conduction dans la terre

⁵² <http://www.atmosphere.mpg.de>

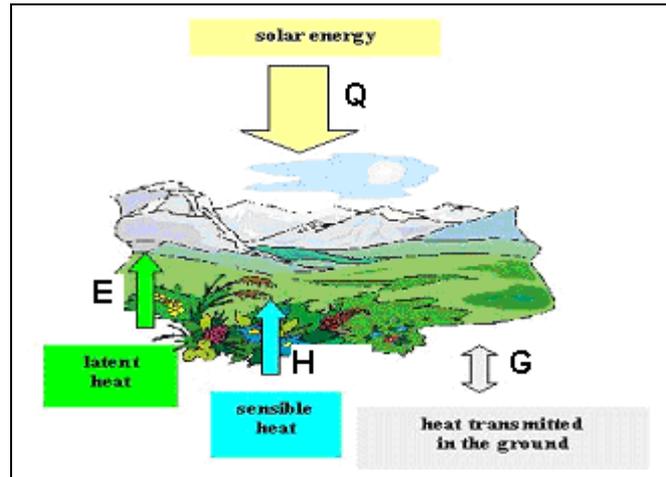


Figure n°22 : Eléments du bilan thermique d'une surface non urbaine
Source : Sébastien Wypych, 2003

A noter que pendant la journée, les signes sont différents que pendant la nuit :

- **Journée** : l'air est plus froid que la terre, ainsi le transfert thermique tend à diminuer la différence et à chauffer l'air :

$$Q - H - E - G = 0$$

- **Nuit** : il n'y a pas de soleil donc il n'y a pas de livraison d'énergie sur la surface de la terre, la chaleur ira de l'atmosphère à la terre. Habituellement, pendant la nuit, la terre se refroidit plus que l'air, alors que l'air se refroidit plus lentement :

$$- Q + H + E + G = 0$$

- **Surface urbaine** :

L'équilibre thermique d'un secteur urbain est d'une grande complexité à cause des volumes importants des bâtiments, de la diversité des matériaux utilisés, ainsi que des activités qui s'y déroulent. Ainsi, l'équilibre thermique pour un secteur urbain doit inclure une limite Q_p de stockage de la chaleur qui inclut l'échange thermique par la conduction entre terre, rues, et façades des bâtiments.

aussi bien qu'une limite Q_f pour représenter la chaleur anthropogène fournie à l'atmosphère principalement pendant la combustion des combustibles fossiles (figure n°23).

$$Q + Q_p + H + E + Q_f = 0$$

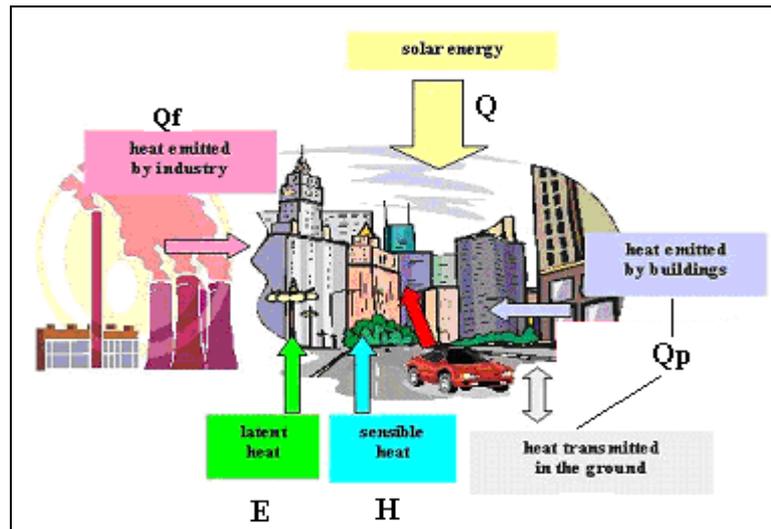


Figure n°23 : Eléments du bilan thermique en milieu urbain
Source : Sébastien Wypych, 2003

- facteurs influent le bilan thermique urbain: 53

- § La plupart des matériaux employés en ville sont caractérisés par une conductivité thermique élevée, et une bonne quantité de chaleur peut être rapidement stockée par les différentes surfaces de l'environnement urbain. Par conséquent, une ville se refroidit beaucoup plus lentement pendant la nuit que la banlieue et la zone rurale.
- § Les grandes usines émettent d'énormes quantités de chaleur. En moyenne, une grande usine peut fournir chaque jour à l'atmosphère urbaine quatre fois plus d'énergie que le rayonnement solaire incident.
- § En climats froids le chauffage domestique d'hiver à combustibles fossiles absorbe une énergie plus grande que celle du soleil, alors que dans des climats chauds la climatisation ajoute une autre charge thermique à un air déjà chaud.

⁵³ <http://www.atmosphere.mpg.de>

4-3- EFFETS RADIATIFS EN MILIEU URBAIN :

- Le bilan radiatif urbain :⁵⁴

$$Q = (R1 - R2) + (R3 - R4)$$

Rayonnement net = rayonnement solaire + rayonnement infrarouge où :

R1 : rayonnement solaire absorbé par la surface converti en flux de chaleur latente et sensible.

R2 : rayonnement réfléchi vers l'atmosphère ou vers d'autres surfaces.

R3 : rayonnement atmosphérique.

R4 : rayonnement terrestre.

4-4- PRECIPITATIONS EN MILIEU URBAIN :

Le mouvement vertical ascendant dû au réchauffement différentiel et au frottement accru favorise la formation de nuages et de précipitations au-dessus des milieux urbains. On attribue également ces phénomènes à l'accroissement du nombre de noyaux de condensation provenant de sources anthropiques. De plus, on a signalé à plusieurs endroits une augmentation des quantités de précipitations en aval des régions urbaines, ce qui est probablement causé par le transport des noyaux de condensation par les vents en altitude jusqu'aux régions rurales (figure n°24).

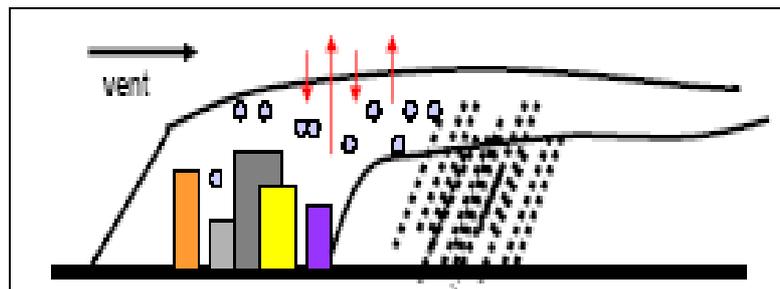


Figure n°24 : Formation des précipitations en milieu urbain
Source : Joëlle Goyette Pernot et Raphaël Compagnon, 2003

⁵⁴ JOËLLE, Goyette Pernot et RAPHAËL *Energie et environnement ; rapport de séminaire*. École d'ingénieur et d'architecte de Fribourg. Genève. Compagnon. 2003.

4-5- HUMIDITE EN MILIEU URBAIN :

Il a été mis en évidence un déficit d'humidité relative au centre des agglomérations. Plus l'air est chaud plus il peut contenir de vapeur d'eau, donc en ville, la proportion entre la vapeur contenue dans l'air et celle qu'il faudrait pour atteindre le point de saturation est faible.

Cependant, en analysant les pressions de vapeur, la ville peut avoir un excès d'humidité, qui est faible par rapport à la campagne particulièrement les nuits d'été, lié entre autre à la vapeur d'eau dégagée par les processus de combustion des véhicules, les émissions industrielles et l'irrigation des parcs et jardins (J.UNGER,2001).⁵⁵

En ville, une faible évapotranspiration, peu de rosée, la vapeur anthropique et la stagnation de l'air dans les canyons permettent de maintenir une atmosphère plus humide la nuit qu'à la campagne.

En été, le taux d'humidité relative dans les villes est habituellement inférieur de 10 % à celui des régions avoisinantes. En hiver, la différence est beaucoup moins grande. Ces chiffres présentent cependant certaines ambiguïtés, puisque l'humidité relative dépend de la présence d'eau et de la température. En hiver, par exemple, on note très peu de différence (environ 2 %). L'utilisation de combustibles fera augmenter quelque peu la teneur en eau de l'air.⁵⁶

4-6- QUALITE DE L' AIR EN MILIEU URBAIN :

4-6-1-Pollution :

La pollution générée par la circulation automobile aux cœurs des villes, et par les activités industrielles à sa périphérie, est un phénomène assez courant qui caractérise le climat urbain. C'est un problème aigu des grandes citées urbaines dans lesquelles nous vivons (figure n°25-a), et ses répercussions sur la santé publique deviennent de plus en plus

⁵⁵ DE HATTEN, Anne. *Mise en évidence des caractéristiques générales de l'îlot de chaleur urbain Strasbourgeois*. Thèse de maîtrise de Géographie. Université Louis Pasteur de Strasbourg. 2002 .p12

⁵⁶ <http://www.insu.cnrs.fr>

préoccupantes.⁵⁷ La pollution peut causer également des dégâts considérables sur les matériaux et la végétation.⁵⁸



Figure n°25-a : Exemple d'une mauvaise qualité de l'air à Mexico
Source : Encarta,2005

Une réduction de la visibilité accompagne généralement les hauts niveaux de pollution. Elle est causés par l'absorption de la lumière par les polluants gazeux et particulaires. Elle dépend de la position du soleil dans le ciel, ce qui fait que le smog peut avoir différentes couleurs selon le moment de la journée.⁵⁹

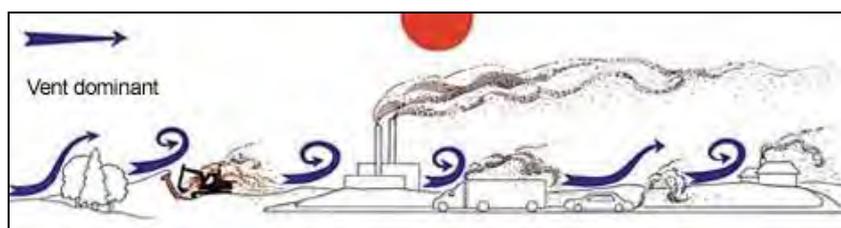


Figure n°25-b: Contribution des vents à la dispersion des polluants
Source : [http:// www.partnairsinaire.org](http://www.partnairsinaire.org)

Dans une inversion thermique, l'air froid est pris au piège sous une masse d'air chaud ou « couche d'inversion ». Pendant l'inversion, les polluants sont retenus sous un

⁵⁷ GLOCKNER,Stéphane. Contribution à la modélisation de la pollution atmosphérique dans les villes.Thèse de doctorat. Université Bordeaux1. 2000 .p7

⁵⁸ GLOCKNER,Stéphane. Contribution à la modélisation de la pollution atmosphérique dans les villes.Thèse de doctorat. Université Bordeaux1. 2000 .p8

⁵⁹ GLOCKNER,Stéphane. Contribution à la modélisation de la pollution atmosphérique dans les villes.Thèse de doctorat. Université Bordeaux1. 2000 .p9

plafond d'air chaud. Pendant les mois chauds, et comme la pollution photochimique est souvent la plus forte, une inversion thermique peut accroître le niveau de smog⁶⁰ (figure n°26).

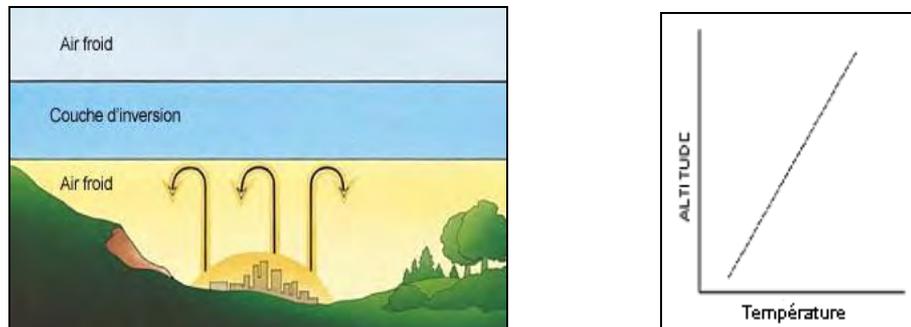


Figure n°26 : Phénomène d'inversion thermique
Source : [http:// www.partnairsinaire.org](http://www.partnairsinaire.org)

4-6-2- Brouillard :

- Les inversions des températures étant moins intenses et moins fréquentes, la formation de brouillard dans les villes est par conséquent plus sporadique. Cependant, la brume sèche composée de polluants émanant des régions urbaines peut réduire la visibilité en altitude.⁶¹
- Augmentation du smog urbain : 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 venteux⁶²

⁶⁰ [http:// www.partnairsinaire.org](http://www.partnairsinaire.org)

⁶¹ <http://www.insu.cnrs.fr>

⁶² <http://www.weatheroffice.pyr.ec.gc.ca>

CONCLUSION :

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

La multitude de formes urbaines complexes et hétérogènes qui caractérisent les villes déterminant une forte rugosité est étroitement liée au changement des paramètres climatologiques et par conséquent du bien être des usagers des espaces extérieurs , ainsi le type de climat affecte l'organisation des espaces extérieurs et oriente l'implantation des constructions.

Le climat urbain est un phénomène assez récent, d'une grande complexité et qui nécessite pour qu'il soit maîtrisé la compréhension d'une multitude de facteurs à des échelles variées en partant de l'échelle planétaire comportant l'ensemble des phénomènes atmosphériques, jusqu'à arriver à l'échelle de la plus petite unité de la structure urbaine qui est la « Rue » dans ses dimensions physiques et géométriques. Faisant l'objet du prochain chapitre, la rue sera mise en évidence , et l'impact de ses deux paramètres : géométrie et orientation sur l'ambiance thermique extérieure sera évalué.

CHAPITRE IV

IMPACT DE LA GEOMETRIE DES CANYONS URBAINS SUR LES VARIATIONS MICROCLIMATIQUES



INTRODUCTION :

Etant persuadé que l'urbanisme moderne a négligé presque totalement l'aspect climatique dans la conception des rues, il s'avère que les acteurs de l'acte urbain eux même n'intègrent pas cet aspect dans leurs priorités , et voici « Le Febre » expliquant dans ses analyses de la multifonctionnalité de celle-ci que « *la rue consiste en des fonctions abandonnées par l'urbanisme moderne : les fonctions informatives, symboliques et ludiques* »¹.

La crise d'énergie des années 70 a soutenu l'idée d'une conception à bas profil énergétique. Cependant , seul l'espace intérieur a bénéficié de cette nouvelle tendance. Ceci a conduit à un intérêt au confort donné à l'espace intérieur en dévalorisant celui de l'extérieur. La notion de confort des espaces extérieur n'a pas dépassé le seuil de prévoir quelques arbres alignés le long des boulevards afin d'un confort en premier lieu visuel, ou encore l'injection de mobilier urbain facilitant la tâche citadine de la population. S'intéresser aux paramètres climatiques : direction et vitesse des vents, course solaire, précipitations et humidité de l'air restent loin des préoccupations des intervenants sur l'espace urbain.

Actuellement, la conception de rues est généralement gérée par des impératifs d'ordre fonctionnel et relationnel dont l'objectif est de mieux structurer la ville et mieux desservir ses composants, sans se soucier de l'aspect climatique qui paraît être étranger à une urbanisation faisant de la rue une simple résultante du bâti.

Ce chapitre vise la mise en valeur de cette unité urbaine de base qui est « la rue », précisément celle de type « canyon », en évaluant son comportement vis-à-vis des différents effets climatiques notamment aérodynamiques, thermiques et radiatifs.

Ce chapitre mettra l'accent dans une première partie sur la détermination du concept « Rue ». tout en expliquant son aspect géométrique et sa classification en fonction de ses dimensions notamment sa largeur et la hauteur des constructions qui la délimitent. Une deuxième partie sera consacrée aux effets climatiques se manifestant dans un canyon urbain. Ce volet a mis l'accent sur les trois plus importants effets climatiques qui sont les effets aérodynamiques, thermiques et radiatifs.

¹ BESAAD,Nadia. *La rue, forme urbaine et pratiques sociales ; cas de la rue Belouizdad Boudjeriou à Constantine*. Thèse de Magistère. Université de Constantine.2001.p32,33

1- GEOMETRIE DE LA RUE :

1-1- Définition de la rue :

La rue est une partie de l'environnement urbain située entre l'échelle du bâtiment et celle de la canopée urbaine.

Définie comme étant la structure urbaine de base formée par un espace de circulation bordé de part et d'autre par une bande continue de constructions²,

Les caractéristiques géométriques de la rue sont définis par les trois dimensions : L, H, et W (figure n°1), d'où :

- L : Longueur des constructions bordant la rue.
- H : Hauteur des constructions.
- W : Largeur de la voie.

Ainsi que par son orientation.

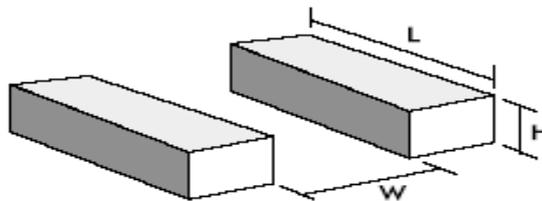


Figure n°1 : Dimensions d'une rue

Oke, en 1988, a affirmé qu'«on peut aboutir à une zone de compatibilité qui assure un compromis entre les différents objectifs visés dans la conception des rues». Il a ajouté qu'«on a besoin de plus de recherches afin d'arriver à normaliser une forme optimale de la rue offrant le confort climatique souhaité»³

1-2- Les formes géométriques de la rue :

La rue peut avoir l'une des formes urbaines de base suivantes :

1-2-1- Forme canyon :

Le mot «canyon» est un concept anglais qui détermine une vallée profonde creusée par un cours d'eau⁴ (figure n°2). En milieu urbain, le canyon est un espace étroit

²Larousse expression. Version1, 2002 [in http://www.larousse.fr](http://www.larousse.fr)

³ Fazio Ali Toudert et Helmut Mayer . building and environment, 2005 [in www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

⁴ Larousse expression. Version1, 2002 [in http://www.larousse.fr](http://www.larousse.fr)

limité par deux parois verticales très proches. Jean Louis Izard définit le canyon urbain comme étant une rue bordée d'immeubles et où la hauteur de ceux-ci est supérieure à deux fois la largeur de la rue ($H > 2W$)⁵ (figure n°3).

Cette configuration est naturellement la plus fréquente dans les zones urbaines. Elle est aussi la plus défavorable à une dispersion des polluants⁶



Figure n°3 : canyon urbain
Source : Sébastien Wypych,2003

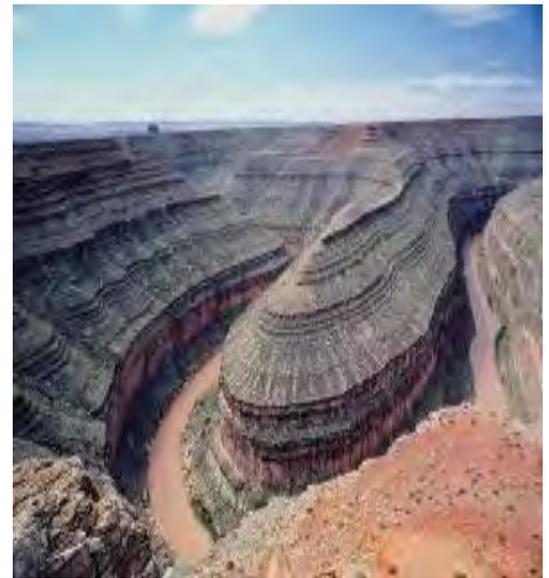


Figure n°2 : canyon naturel
Source : Sébastien Wypych,2003

1-2-2- Forme dièdre :

Un espace « dièdre » se forme lorsqu'une surface horizontale est interrompue par une surface verticale⁷. Dans un espace dièdre, le ciel et les façades sont vues angulairement de manière équivalente : on peut donc avoir en même temps un ensoleillement direct et un éclairage par les façades.

Dans ce cas l'une des conditions suivantes doit être vérifiée : $H=0,5W$ ou $H=W$ ⁸ (Figure n°5)

⁵ IZARD, Jean Louis. 2000. [in http://www.marseille.archi.fr](http://www.marseille.archi.fr)

⁶ <http://www.fasp.info>

⁷ IZARD, Jean Louis. 2000. [in http://www.marseille.archi.fr](http://www.marseille.archi.fr)

⁸ IZARD, Jean Louis. 2000. [in http://www.marseille.archi.fr](http://www.marseille.archi.fr)

1-2-3- Forme dégagée :

Dans un espace dégagé, le ciel occupe une proportion importante de la visibilité angulaire de l'espace : les rayonnements du soleil et du ciel sont prépondérants. Dans ce cas : $H < 0,25W$ ⁹ (figure n°5)

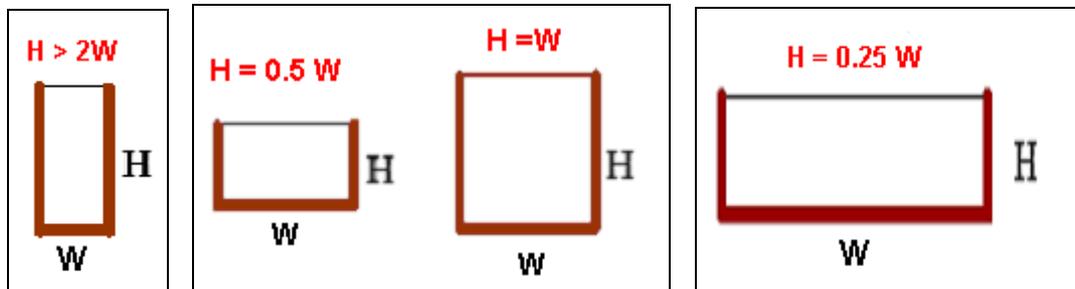


Figure n°4 : Différentes géométries de la rue : canyon, dièdre et dégagée
Source : Jean Louis Izard ,2000

2- LES EFFETS CLIMATIQUES DANS LA RUE :

2-1- Effets aérodynamiques à l'échelle d'une rue de type « canyon »:

Lorsque le vent dominant s'écoule autour des bâtiments, on peut distinguer une diversité de zones perturbées : sur la façade au vent, une zone de surpression, sur les côtés et les parties supérieures un décrochement et une couche limite turbulente, sur la façade sous le vent une zone de dépression turbulente. On distingue alors deux types d'écoulement principaux : longitudinal lorsque la rue est dans la direction principale du vent, et transversal lorsque l'axe de la rue est transverse à la direction de la vitesse du vent¹⁰ (figure n°6). L'orientation du canyon joue ici un rôle prépondérant.

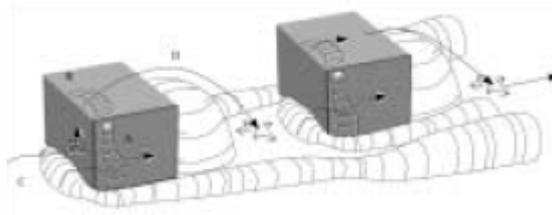


Figure n°5 : Allure de la structure de l'écoulement autour de cubes (petite rue) dans un flux turbulent
Source : Rafik BELARBI, Emmanuel BOZONNET et Francis ALLARD,2002

⁹ IZARD, Jean Louis. 2000. [in http://www.marseille.archi.fr](http://www.marseille.archi.fr)

¹⁰ <http://www.cust.univ-bpclermont.fr>

T.R.Oke en 1998, a étudié en soufflerie l'écoulement de l'air dans une rue de type « canyon », et a montré l'existence de trois régimes fonction de la dimension des bâtiments et de la distance les séparant (soit **L** : longueur du canyon, **H** : hauteur du canyon et **w** : largeur du canyon) ¹¹.

Il a pu aboutir aux résultats suivants :

- si les bâtiments sont bien espacés les uns des autres, l'écoulement s'apparente à une succession de structures identiques autour des bâtiments isolés (figure n°6-a).

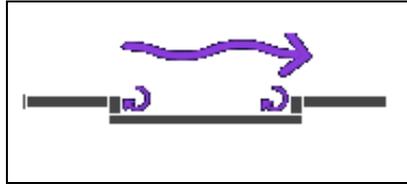


Figure n°6-a : Structures identiques autour des bâtiments isolés
Source : Stéphane Glockner, 2000

- Lorsque l'écart diminue, les sillages sont perturbés. L'écoulement en aval d'un bâtiment est renforcé par une déflexion au niveau de la face amont du bâtiment suivant (figure n°6-b).

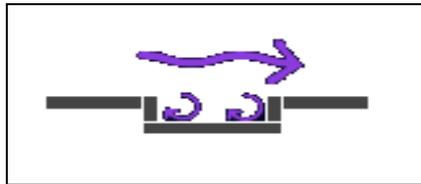


Figure n°6-b : Ecoulement à sillage perturbé
Source : Stéphane Glockner, 2000

- Lorsque le rapport H/W est encore plus faible, la rue se referme et une recirculation s'établit à l'identique d'une rue à l'autre. L'écoulement est alors dit « rasant ». ¹²
(figure n°6-c).

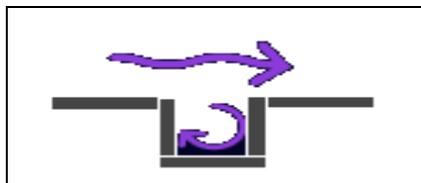


Figure n°6-c : Ecoulement rasant
Source : Stéphane Glockner, 2000

¹¹ GLOCKNER, Stéphane. *Contribution à la modélisation de la pollution atmosphérique dans les villes*. Thèse de doctorat. Université Bordeaux1. 2000 .p18

¹² GLOCKNER, Stéphane. *Contribution à la modélisation de la pollution atmosphérique dans les villes*. Thèse de doctorat. Université Bordeaux1. 2000 .p18

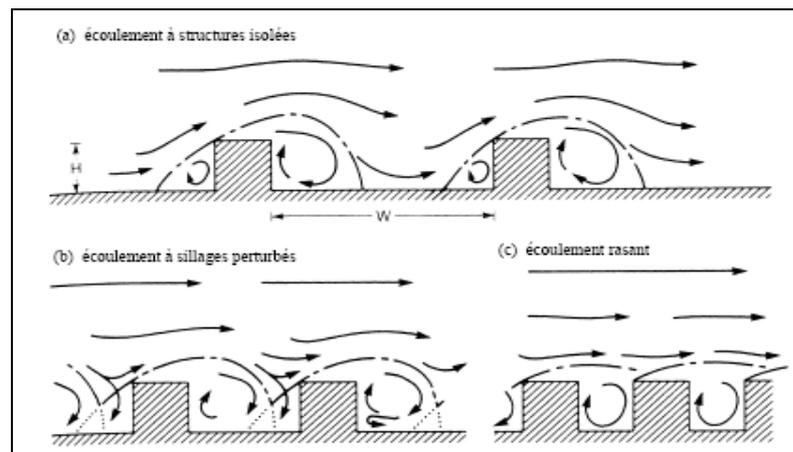


Figure n°7-a : Les trois types d'écoulement : à structure isolée, à sillage perturbé et rasant tels que présentés par T.R.Oke
 Source : T.R.Oke en 1998

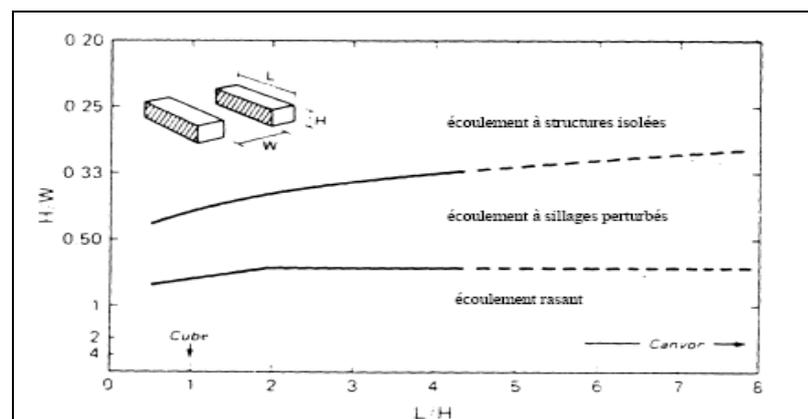


Figure n°7-b : Variation du régime d'écoulement en fonction des deux ratios :L/H et H/W
 Source : T.R.Oke en 1998

En plus de ces trois régimes d'écoulement de l'air , et en se basant sur les résultats d'une simulation effectuée par un logiciel intitulé k-ε, Oke a pu établir une classification de la rue « **canyon** » selon ses trois dimensions : L, H, et W .

Cette classification de T.R.Oke est illustrée dans le tableau ci-après :

Le ratio L/H	Largeur du canyon (m)	Le ratio H/W +Type du régime d'écoulement
Canyon cubique 1 (20m/20m)	20	1.0..... Ecoulement rasant
	27	0.74..... Transition à un sillage perturbé
	40	0.5..... sillage perturbé
	50	0.4..... transition à une rugosité isolée
	60	0.33..... rugosité isolée
	80	0.25..... rugosité isolée
Petit canyon 3 (60m/20m)	20	1.0.....Ecoulement rasant
	40	0.5..... sillage perturbé
	60	0.33..... transition à une rugosité isolée
	80	0.25..... rugosité isolée
Canyon de longueur moyenne 5 (100m/20m)	20	1.0Ecoulement rasant
	34	0.6transition à une rugosité isolée
	40	0.5sillage perturbé
	60	0.33sillage perturbé
	100	0.20rugosité isolée
	140	0.14rugosité isolée
Long canyon 7 (140m/20m)	20	1.0Ecoulement rasant
	40	0.5sillage perturbé
	74	0.27transition à une rugosité isolée
	100	0.2rugosité isolée
	140	0.14rugosité isolée

Tableau n°1 : Régime d'écoulement en fonction des trois dimensions H,L et W

Source : L.J.Hunter, I.D.Watson et G.T.Johson, 1991

2-2- Effets thermiques dans une rue de type « canyon » :

Le canyon urbain est un élément important de la structure urbaine des villes. La quantité de rayonnement solaire reçue par un canyon dans l'ensemble dépend de la géométrie de celui-ci défini par ses trois dimensions L,H et W ainsi que de son orientation. De plus, les propriétés des matériaux employés et la nature des revêtements des façades, de la chaussée et des toits des bâtiments sont importantes, non seulement du point de vue de leur conductivité thermique, mais également de leur réflectivité ou albédo.

- Ventilation limitée :

L'air dans un espace canyon est en général très calme, il en résulte de cette situation qu'un espace de type « canyon » connaît des températures stables, avec des échauffements et des refroidissements limités (faibles amplitudes). Dans les climats arides et semi arides, Le confort est souvent obtenu en été, sauf en cas de températures météo très

élevées accompagnées d'un vent fort, et très temporairement lorsque le rayonnement solaire pénètre dans le canyon. Les possibilités de ventilation par vent faible sont extrêmement limitées. Ces espaces sont en permanence dans l'ombre en hiver sauf lorsque le soleil se présente dans l'axe du canyon.¹³

- **Phénomène de convection :**

La convection naturelle s'y développe aussi bien à l'échelle du quartier qu'à l'échelle du canyon. C'est ce qu'a illustré Levis-Alvares en 1991 en simulant les écoulements de l'air dans un « canyon » d'une part en régime isotherme, et d'autre part en chauffant un des deux bâtiments. La recirculation principale est alors scindée en deux en raison des phénomènes de convection qui naissent le long du bâtiment de droite¹⁴ (Figure n°9°).

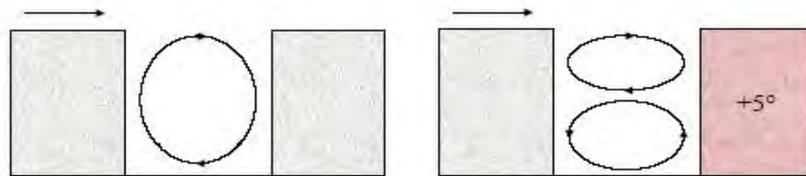


Figure n°8 : L'effet thermique des bâtiments sur la circulation de l'air dans une rue de type « canyon »
Source : Stéphane Glockner, 2000

2-3- Effets radiatifs dans un espace de type « canyon » :

- **Phénomène d'inter réflexion ou piégeage solaire:**

La prise en compte du rayonnement solaire et des échanges radiatifs entre les bâtiments est de première importance puisque la modification du bilan thermique de surface, en raison de présence des bâtiments est une des causes de l'existence d'un îlot de chaleur au dessus des villes. En effet, T.R.Oke a pu prouver en 1987 que pour une même superficie du sol, la surface totale offerte au rayonnement solaire est plus grande à la ville qu'à la campagne.

¹³ BENADJI, Amar. *Adaptation climatique ou culturelle en zones arides : cas du Sud-Est Algérien*. Thèse de Doctorat. Université de Aix-Marseille1.1999.p107

¹⁴ GLOCKNER, Stéphane. *Contribution à la modélisation de la pollution atmosphérique dans les villes*. Thèse de doctorat. Université Bordeaux1. 2000 .p20

Le rayonnement solaire ne parvient pas à pénétrer dans le canyon que lorsqu'il se présente dans le plan axial de celui-ci, ce qui dépend de l'orientation de ce plan. Le rayonnement solaire est alors piégé et peut provoquer des échauffements instantanés importants. Mais la durée de ce phénomène est faible pendant la journée suivant l'orientation de la rue.¹⁵

Ce phénomène connu sous le nom de piégeage solaire ou inter réflexion peut se produire dans les canyons urbains au cours duquel le rayonnement solaire soit reflété plusieurs fois successives laissant plus d'occasion à l'absorption¹⁶ (figures n°9-a et 9-b).

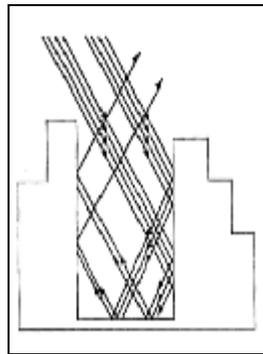


Figure n°9-a:
Phénomène d'inter réflexion
dans un « canyon »
2003
Source :Stéphane Glockner,2000

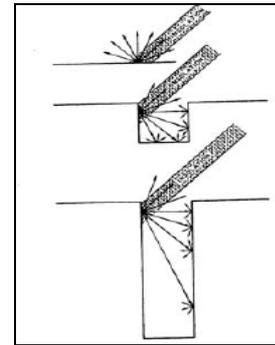


Figure n°9-b : Phénomène de réflexion
dans un « canyon » Source : Joëlle
Pernot Goyette et Raphaël Compagnon,

¹⁵ BENADJI, Amar. *Adaptation climatique ou culturelle en zones arides : cas du Sud-Est Algérien*. Thèse de Doctorat. Université de d'Aix-Marseille1.1999.p107

¹⁶ <http://www.atmosphere.mpg.de>

CONCLUSION :

Ce chapitre qui a traité l'unité urbaine de base qui est la rue, contribue à l'évaluation de la dimension climatique de la conception de celle-ci à travers les éléments qui la définissent : la géométrie et l'orientation.

Le présent chapitre a été réparti en deux parties. La première fût consacrée à l'aspect géométrique de la rue, et dans laquelle on a procédé d'abord par la définition du concept « Rue », puis on a donné la classification des rues en fonction de leurs géométrie notamment le ratio de la hauteur moyenne des construction sur la largeur de la rue (H/W), jusqu'à arriver à déterminer le concept « canyon » sur lequel on a accentué l'approche étant donné qu'il constitue l'objet de toute notre recherche. La deuxième partie a traité l'impact des canyons urbains sur les variations microclimatiques en traitant les trois effets climatiques prépondérants qui sont les effets aérodynamiques, thermiques et radiatifs.

Cette approche nous a éclairci le rôle que peut jouer la rue vis-à-vis des paramètres du climat et en premier lieu le vent et le soleil. Il s'est avéré qu'une hauteur importante des constructions , jumelée à une largeur réduite des rues crée un effet d'ombre considérable et augmente la vitesse de l'air lorsque le vent traverse l'axe de la rue. En contre partie, l'étroitesse du canyon peut engendrer l'effet d'inter réflexion favorisant l'occasion à l'absorption de la chaleur par les surfaces minérales constituant les façades des immeubles. Dans ce cas une ventilation naturelle s'avère nécessaire, et donc surgit l'importance de l'orientation du canyon qui devra être orienté dans le sens des vents dominants d'été, seul moyen de chasser la chaleur piégée à l'intérieur du canyon.

Le prochain chapitre fera la continuité de celui là. Il traitera la relation entre la géométrie des canyons et le confort thermique extérieur.

CHAPITRE V



IMPACT DE LA GEOMETRIE DES CANYONS URBAINS SUR LE CONFORT THERMIQUE EXTERIEUR

INTRODUCTION :

Après avoir traité l'aspect géométrique des canyons urbains et son influence sur le comportement des différents paramètres climatiques, le présent chapitre fait la continuation en procédant à l'évaluation de l'impact de ces canyons sur le confort thermique du piéton. Toutefois, pour un meilleur aboutissement de ce volet de la recherche, on est incité à éclaircir la notion du confort thermique extérieur

Le confort est une notion globale et assez indéterminée. La chaleur et le froid, la lumière et le bruit, le paysage et l'eau, la verdure et le prestige et beaucoup d'autres, sont autant des éléments qui définissent plusieurs paramètres climatiques, esthétiques et psychologiques désignant le confort.

Le confort est également une sensation subjective. Et ce n'est que par l'inconfort qu'on peut l'apprécier. Cette appréciation est différente selon les sociétés et suivant les individus. Toutefois, les définitions adoptées dans la littérature s'accordent toutes sur l'importance du confort thermique.

Le confort thermique correspond chez l'homme à une motivation qui le pousse à rechercher et parfois à intervenir sur certaines situations climatiques et à maintenir certaines d'entre elles afin d'un bien être physique et parfois moral . Le confort thermique est exprimé par une sensation d'agrément qui prend la place d'un désagrément causé par une réaction de gêne affectant l'organisme humain vis-à-vis du chaud ou du froid.¹ D'autres affirment que le confort n'est pas forcément lié au maintien permanent de la neutralité thermique, mais , il peut aussi résulter de l'alternance de stimuli qui se compensent, à condition que le sujet en ait une maîtrise parfaite.² Des travaux de recherche récents sur le confort adaptif mettent en valeur des

¹ Galeau et al,1989 **in** MASMOUDI,Soraya. *Relation entre géométrie urbaine,végétation et confort thermique extérieur : cas de la place dans les régions arides à climat chaud et sec*. Thèse de Magistère. Université Mohamed Kheidar. Biskra,2003.p22

²Hoffmann,1994 **in** MASMOUDI,Soraya. *Relation entre géométrie urbaine,végétation et confort thermique extérieur : cas de la place dans les régions arides à climat chaud et sec*. Thèse de Magistère. Université Mohamed Kheidar. Biskra,2003.p23

variations individuelles conduites par des stratégies personnelles qui peuvent être d'ordre physiologiques, psychologiques, social ou culturel.³

L'objectif de ce chapitre est d'abord de présenter un diagnostic général sur cette notion de confort thermique, puis d'évaluer sa relation avec les canyons urbains définis par leur orientation et leur géométrie et ce en se basant sur les travaux de recherche déjà effectués.

1- NOTIONS GENERALES SUR LE CONFORT :

La compréhension et l'évaluation du confort thermique dans les espaces extérieurs est un besoin de base de toute conception urbaine bioclimatique. Le confort thermique dans la conception de l'espace urbain était et est toujours une variable presque totalement oubliée principalement dans des régions méditerranéennes où les conditions climatiques sont (ou étaient) modérées⁴.

La vie quotidienne se caractérise par la pratique d'une multitude d'activités engendrant fatigue et stress. Il est important que l'individu surmonte ce désagrément physique et moral, or, il se trouve souvent contraint à des conditions climatiques défavorables qui lui causent un inconfort, une perte d'efficacité et parfois même des problèmes sanitaires. L'importance des effets du climat dans la vie de l'homme est donc majeure.

La tâche du concepteur est de créer une ambiance climatique qui contribue à améliorer les conditions d'activité et de repos des usagers de l'espace.

La réponse humaine à l'environnement du point de vue thermique ne dépend pas uniquement de la température de l'air, mais également de plusieurs autres paramètres. La température de l'air, l'humidité, les radiations et le mouvement de l'air produisent tous des effets thermiques et doivent être pris en considération simultanément.

³ Vinet,2000 [in](#) MASMOUDI,Soraya. *Relation entre géométrie urbaine,végétation et confort thermique extérieur : cas de la place dans les régions arides à climat chaud et sec*. Thèse de Magistère.

Université Mohamed Kheidar. Biskra,2003.p22

⁴ GIANNI Scudo,2002 [in](#) www.map211tb.com

1-1- FACTEURS DU CONFORT THERMIQUE :

1-1-1- Production de la chaleur par le corps humain :

La chaleur est continuellement produite par le corps humain. Toute l'énergie produite par celui-ci est le résultat des aliments qu'il consomme. Ce processus qui contribue à convertir la denrée alimentaire au sein d'une matière vitale à différentes formes d'énergie est appelé « métabolisme » d'où vient le terme « métabolisme basal » qui exprime la dépense énergétique minimale d'un sujet au repos complet depuis une demi-heure au moins, à jeun depuis 12 heures, dans une atmosphère de température moyenne de 16 °C, exprimée en grandes calories par mètre carré de surface corporelle. Le chiffre moyen pour un homme adulte est de 40.

parmi l'énergie totale produite par le corps humain seulement 20% est consommée et 80% est un surplus de chaleur qui doit être dissipé vers l'environnement.

1-1-2- Perte de la chaleur par le corps humain :

La chaleur profonde du corps humain est environ 37°C. afin de la maintenir stable, il est nécessaire de faire évacuer le surplus de chaleur à l'extérieur du corps. S'il y a d'autres formes de chaleur que l'homme reçoit de l'environnement, cette chaleur également doit être dissipée par l'un des modes suivants :

Ø Dissipation de la chaleur par convection :

La convection est la transmission de la chaleur du corps humain à l'air en contact direct avec la peau ou les habilles. Cet air se lève en devenant plus chaud laissant la place à l'air frais. La perte de chaleur par convection augmente par un mouvement d'air important, une température de l'air réduite et une température de la peau élevée.

Ø Dissipation de la chaleur par radiation :

La perte de chaleur radiante dépend de la température de la surface du corps et celle des surfaces opposées.

Ø Dissipation de la chaleur par évaporation :

La perte de chaleur par évaporation est dictée par le degré d'évaporation qui à son tour dépend de la température de l'air et de la quantité de l'humidité pouvant être évaporée. L'évaporation prend place dans les poumon à travers la respiration et sur la peau comme imperceptible transpiration et sueur.

Ø Dissipation de la chaleur à un degrés moindre par conduction :

La conduction dépend de la différence de température entre la surface du corps et l'objet en contact direct avec l'homme.

1-1-3-Mécanisme régulateur :

L'équilibre thermique de l'homme (figure n°1) peut être exprimé par l'équation :

$$\sum \text{gains} - \sum \text{pertes} = 0$$

$$\text{Met} - \text{Evp} \pm \text{Cnd} \pm \text{Cnv} \pm \text{Rad} = 0$$

Dont :

\sum gains :

Met : métabolisme (basal & musculaire)

Cnd : conduction (contact avec objet chaud)

Cnv : convection (si l'air est plus chaud que la peau)

Rad : radiation (du soleil, du ciel, des objets chauds)

\sum pertes :

Cnd : conduction (contact avec objet froid)

Cnv : convection (si l'air est plus frais que la peau)

Rad : radiation (vers soleil et surfaces froides)

Evp : évaporation (of moisture et sueur)

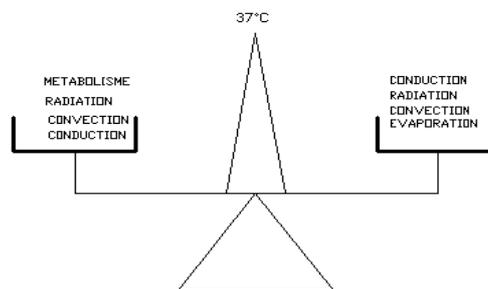


Figure 1 : Equilibre thermique du corps humain

Source : auteur

Si la somme de ces paramètres est > 0 : c'est-à-dire que :

- Circulation du sang accélérée.
- Plus de chaleur est transportée à la surface du corps.
- Température de la peau élevée.

Par conséquent : toutes les formes de pertes de chaleur sont accélérées.

Si la somme de ces paramètres est < 0 : c'est-à-dire que :

- Circulation du sang réduite.
- Le corps a besoin d'énergie.
- Température de la peau réduite.

1-2- INDICES DE CONFORT THERMIQUE :

Lorsque les concepteurs : architectes et urbanistes, ont commencé à étudier l'effet des conditions climatiques sur la physiologie humaine et par conséquent sur la façon adéquate de concevoir son espace de vie extérieur, ils se sont heurtés à la complexité de prendre en charge une multitude de variables climatiques simultanément.

Durant les 50 ans passés, les chercheurs ayant traité au confort notamment thermiques avaient comme objectif d'arriver à normaliser une référence de confort dite « indice de confort thermique » ou « échelle de confort ». Cependant, la majorité des indices ont dans un premier temps été développés pour définir le confort intérieur.

Les premières recherches se sont basées sur les systèmes de questionnaires en classifiant la sensation thermique entre deux extrémités : *très chaud* et *très froid*, ainsi que sur les essais de laboratoires sous des conditions climatiques artificielles.

Sur la base de beaucoup de recherches, on a fait ressortir une trentaine d'indices de confort thermiques, néanmoins, en ce qui concerne la présente recherche on ne citera que ceux liés au confort des espaces extérieurs.

1-2-1- Température effective corrigée (CET) :

Au moment où la température effective (ET) est définie par Houghton et Yaglou en 1923, les chercheurs de la « société américaine des processus de chauffage et de ventilation » sous forme d'un diagramme psychométrique qui fait ressortir des lignes de confort en tant que température d'une atmosphère calme et saturée qui peut produire en absence d'irradiations

solaires le même effet que l'atmosphère en question⁵, la température effective corrigée a intégré en plus l'effet des radiations solaires. A présent, cet indice est le plus utilisé.⁶

1-2-2-la chaleur équivalente (EW) :

Indice mis en place par Belford en Angleterre. Les paramètres pris en considération sont : la température de l'air, l'humidité, la température moyenne radiatif (MRT) ainsi que la température surfacique de la peau et de l'habillement. La chaleur équivalente est donnée par un nomogramme. Belford est arrivé à définir une zone de confort située entre 35°C avec une humidité relative basse et 30°C avec une humidité relative élevée, mais en sous-estimant l'effet de rafraîchissement de l'air en cas d'une haute humidité relative.

1-2-3-La température opérative (TO) :

C'est une autre échelle de confort développée en USA, par Winslow, Herrington et Gagge. Le principe est presque similaire à celui de la chaleur équivalente en combinant l'effet de la température de l'air et des radiations. Les recherches ont été effectuées dans une région spécifique où les effets de l'humidité et du mouvement de l'air ont été négligés.

1-2-4-Le vote moyen prévisible (PMV) :

Aujourd'hui, un des indices thermiques les plus connus est l'équation de confort de Fanger spécifique aux espaces intérieurs, qui permet le calcul du vote moyen prévisible (PMV). Fanger est arrivé à l'évaluation moyenne de l'environnement thermique pour un grand échantillon d'individus en se basant sur les sept échelles de confort définies par Ashrae⁷.

⁵ KOENIGSBERGER, O.H, INGERSOLL, T.G, MAYHEW, Alain and SZOKOLAY, S.V. *Housing and building*. London. Longman group. 1980 p47

⁶ KOENIGSBERGER, O.H, INGERSOLL, T.G, MAYHEW, Alain and SZOKOLAY, S.V. *Housing and building*. London. Longman group. 1980.p49

⁷ Mayer H. *Urban bioclimatology*. Experientia 1993;49:957-63.

Valeurs du « PMV »	Sensation humaine
-3	Froid
-2	Frais
-1	Légèrement frais
0	Confortable
+1	Légèrement chaud
+2	Chaud
+3	Très chaud

Tableau n°1 : Classification des valeurs du PMV selon les sept échelles de confort de « ASHRAE »
Source : H. Mayer,1993

Or, Michael Bruse dans ses travaux effectués lors de l'actualisation de son programme de simulation a adopté neuf échelles de confort propres aux espaces extérieurs (figure n°2), où la zone théorique de confort extérieur est comprise entre -3 et +3, ce qui fera la base de l'évaluation du confort thermique dans les prochain chapitre.

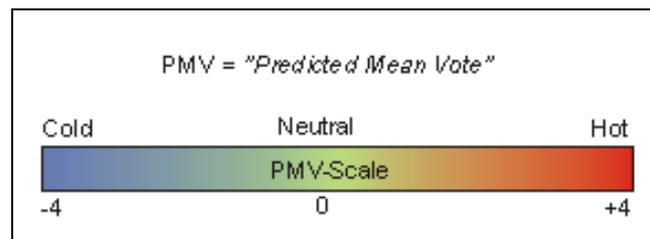


Figure n°2 : Classification des valeurs du PMV selon neuf échelles de confort
Source : Michael, BRUSE, 2004

1-2-5-La température physiologique équivalente (PET) :

L'idée fondamentale dans l'établissement de PET est le transfert du climat extérieur réel à un environnement intérieur fictif équivalent dans lequel la même sensation thermique peut être prévue. PET est définie comme étant la température de l'air à laquelle le bilan énergétique pour des conditions d'intérieur assumées est caractérisé par la même température du corps humain et de la peau et le même taux de sueur que ceux calculés pour les conditions extérieures réelles⁸. Cela, signifie qu'un individu dans une pièce avec une température d'air de 43°C atteint le même état thermique que dans les conditions en extérieur.

⁸ GIANNI Scudo, 2002 in www.map211tb.com

1-2-6-La température moyenne radiante (MRT) :

La température moyenne radiante intègre les flux de courte et grande longueur d'onde.⁹ La MRT est définie comme suit : si toutes les surfaces de l'environnement sont uniformément à cette température, il va se produire le même bilan thermique de cet environnement avec ses variations de températures de surfaces.¹⁰ La MRT contribue à l'évaluation des différents indices de confort thermique extérieur

2- RELATION ENTRE LE CONFORT THERMIQUE EXTERIEUR ET LA GEOMETRIE DE LA RUE

La rue est l'espace extérieur par excellence qui affecte directement la sensation de confort humain à l'intérieur comme à l'extérieur (de part sa géométrie et son orientation) et par conséquent sur la consommation énergétique des bâtiments¹¹. Cet extérieur lieu communautaire, attire l'attention de Gilot.C qui disait « *Si la ville se trouve dans une région trop chaude, il est nécessaire d'y faire les rues étroites et les plus exhausées, afin que par la grande ombre dont les rues étroites sont presque continuellement occupées, on tempère la chaleur de l'air* ». ¹²

En fonction de la conception de la rue dépend la réussite de toute approche urbaine bioclimatique¹³, sauf que le problème rencontré par les concepteurs est son adaptation aux besoins climatiques saisonniers. En effet, la nécessité d'une protection contre le soleil en été et le besoin de laisser pénétrer les rayons solaires en hiver impliquent respectivement une fermeture et une ouverture vers le ciel.

⁹ MASMOUDI, Soraya. *Relation entre géométrie urbaine, végétation et confort thermique extérieur : cas de la place dans les régions arides à climat chaud et sec*. Thèse de Magistère. Université Mohamed Kheidar. Biskra, 2003. p27

¹⁰ KOENIGSBERGER, O.H, INGERSOLL, T.G, MAYHEW, Alain and SZOKOLAY, S.V. *Housing and building*. London. Longman group. 1980 p53

¹¹ Fazia Ali Toudert et Helmut Mayer. "Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate". *Building and Environment*, 2005; 10:1016

¹² Gilot.C, 1986 **in** NOUIBAT, Brahim. *Adaptation d'un COS optimal à l'habitation individuelle en milieu aride et semi aride (cas de Boussaâda)*. Thèse de Magistère. Université Mohamed Kheidar. Biskra, 1997. p26

¹³ Oke T. "street design and urban canopy layer climate". *Energy and building*, 1988; 11: 103-13

2-1- CONFORT THERMIQUE DANS LA RUE D'APRES LES RECHERCHES PRECEDENTES:

Les caractéristiques du microclimat urbain au niveau de la rue a été pris en charge par de nombreuses études dont la majorité a été consacrée aux zones de moyennes latitudes, en s'accroissant soit sur le bilan énergétique telle que la recherche effectuée par Nunez.M et Oke.T.R en 1977¹⁴ et Todhunter. P.E en 1977¹⁵, soit sur les modifications thermiques et dynamiques dans la rue particulièrement celle du type canyon comme celle effectuée par Nakamura.Y et Oke.T.R en 1988¹⁶ et Coronel.J.F et Alvares.S en 2001¹⁷. L'ensemble de ces recherches et beaucoup d'autres ont défini la rue sur la base de deux paramètres : l'orientation et la géométrie désignée par le ratio H/W.

Parmi les recherches les plus récentes est celle de Fazia Ali Toudert et Helmut Mayer. Elle contribue profondément à une meilleure compréhension de la sensation thermique dans la rue pour les climats arides et semi arides. L'évaluation du confort thermique s'est basée sur l'indice de confort thermique extérieur PET (température physiologique équivalente) basé sur le bilan énergétique humain et qui prend en considération les capacités thermorégulatrices du corps humain à s'adapter aux différentes conditions microclimatiques. Cette recherche a encore confirmé que la géométrie de la rue et son orientation affectent directement et sensiblement le confort thermique extérieur du piéton.¹⁸

Les résultats obtenus se résument en trois aspects :

2-1-1- Aspect thermique et énergétique :

L'impact du ratio de la hauteur moyenne des bâtiments sur la largeur moyenne de la rue ainsi que l'orientation de celle-ci est considérable sur la magnitude du régime

¹⁴ Nunez.M et Oke.T.R. "The energy balance of an urban canyon". Journal of applied meteorology, 1977; 16:11-9

¹⁵ Todhunter. P.E. "Microclimatic variations attributable to urban canyon asymmetry and orientation". Physical Geography, 1990; 11:131-41

¹⁶ Nakamura.Y et Oke.T.R. "Wind, temperature and stability conditions in an east west oriented urban canyon". Atmospheric environment, 1988; 22:2691-700

¹⁷ Coronel.J.F et Alvares.S. *Experimental work and analysis of confined urban spaces*. Solar energy, 2001;70:263-73

¹⁸ Fazia Ali Toudert et Helmut Mayer. "Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate". Building and Environment, 2005; 10:1016

énergétique des espaces urbains¹⁹ et par conséquent sur le confort du piéton. La quantité de chaleur du volume d'air dans un canyon dépend de la température des surfaces qui est à son tour affectée par la durée de leur exposition au soleil et par conséquent du degré d'irradiation de toutes les surfaces de la rue (chaussée & façades)²⁰.

La température de surface est remarquablement réduite dans les zones ombrées ce qui est favorisé par le grand ratio $(H/W)^{21}$. Au même temps, la température de l'air dans un canyon connaît des modifications limitées par rapport à celle de l'air au dessus des toits²² excepté la couche d'air adjacente aux parois irradiées du canyon où l'air est évidemment plus chaud.²³

Pour les rues profondes, la stratification de l'air prend place dans le volume du canyon et l'air devient plus frais de quelques degrés tout près de la chaussée. Cependant la stratification verticale des températures surfaciques est beaucoup plus élevée que le gradient verticale de l'air.²⁴

a. Aspect dynamique :

L'air à l'intérieur du canyon est généralement calme, son altération dépend fortement de la vitesse et de l'angle d'incidence de l'air libre. La vitesse de l'air est considérablement réduite dans les rues larges surtout pour les incidences perpendiculaires à l'axe.²⁵ Dans le cas général, l'air libre connaît un écoulement laminaire au dessus du canyon avec une vitesse plus importante qu'à l'intérieur de celui-ci (figure n°3). L'orientations des

¹⁹ Nunez.M et Oke.T.R. "the energy balance of an urban canyon". Journal of applied meteorology, 1977;16:11-9

²⁰ Yochiba.A, Tommaga.K et Watani.S. *Field measurements and energy balance of an urban canyon in the summer season*. Energy an buildings,1990 91:15 16:417 23.

²¹ Santamouris.M, Papanikolaou.N, koronahis I, Livada.I et Asimakopoulos.D. "Thermal and air flow characteristics in a deep pedestrian canyon under hot weather conditions". Atmospheric environment, 1999;33:4503-21

²² Nunez.M et Oke.T.R. "The energy balance of an urban canyon".Journal of applied meteorology, 1977; 16:11-9

²³ Nakamura.Y et Oke.T.R. "Wind, temperature and stability conditions in an east west oriented urban canyon". Atmospheric environment, 1988; 22:2691-700

²⁴ Santamouris.M, Papanikolaou.N, koronahis I, Livada.I et Asimakopoulos.D. "Thermal and air flow characteristics in a deep pedestrian canyon under hot weather conditions". Atmospheric environment, 1999;33:4503-21

²⁵ Yochiba.A, Tommaga.K et Watani.S. "Field measurements and energy balance of an urban canyon in the summer season". Energy an buildings,1990 91:15 16:417 23.

canyons urbains dans le sens des vents dominants en été permet une meilleure ventilation, et chasse la chaleur piégée²⁶ (figure n°4).

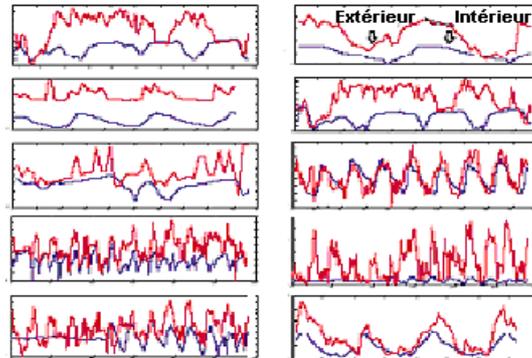


Figure n°3 : Vitesse de l'air à l'intérieur et à l'extérieur de dix canyons différents
Source : M.Santamouris, N.Klitsikas et K.Niahou,2002

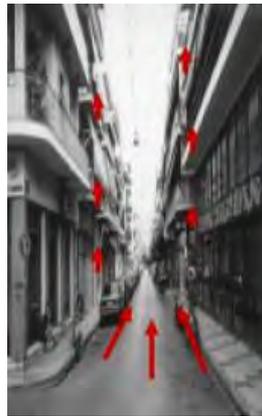


Figure n°4 : Ecoulement de l'air dans un long canyon Orienté dans le sens des vents
Source : M.Santamouris, N.Klitsikas et K.Niahou,2002

b. Aspect radiatif :

Les travaux de recherche sur la relation entre le confort thermique extérieur et la géométrie de la rue sont très limitées. La plupart des investigations appliquent les méthodes d'évaluation du confort intérieur aux espaces extérieurs en prenant en considération seulement la température de l'air, l'humidité et le mouvement d'air²⁷. La température moyenne radiante (T_{mrt}) est estimée être égale à la température de l'air. Cependant, cette vision ne reflète en aucun cas la réalité des espaces extérieurs étant donné que l'individu

²⁶ M.Santamouris, N.Klitsikas et K.Niahou. *Ventilation of street canyons and its impact on passive cooling design*,2002 in <http://www.lema.ulg.ac.be>

²⁷ Swaid.H, Bar.E.M et Hoffman.M.E. "A bioclimatic design methodology for urban outdoor space". *Theoretical and applied climatology* 1993;48:49-61

subit l'influence du rayonnement thermique du sol et des façades simultanément (figure n°5), ce qui contribue au surchauffe de l'air, par conséquent le degrés de confort et largement affecté.

Mayer.H et Hoppe.P ont prouvé en 1987 que la température moyenne radiante à l'intérieur du canyon peut être supérieure à la température de l'air de 30°C dans des conditions ensoleillées et même dans les zones ombrées, ce qui est du à l'effet des rayons solaires diffus et réfléchi.²⁸

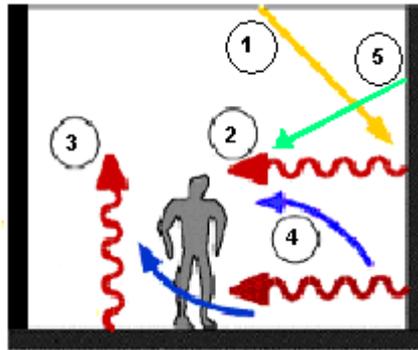


Figure n°5 : Différents flux radiatifs affectant le corps humain dans un canyon urbain
Source : Jean Louis Izard ,2000

- Où :
- 1 : Rayonnement solaire incident
 - 2 : Rayonnement thermique de la façade
 - 3 : Rayonnement thermique du sol
 - 4 : Convection des surfaces chaudes
 - 5 : Rayonnement solaire réfléchi par la façade

Armfield. J auteur de l'une des rares études sur le microclimat urbain des rues consacrée à l'analyse des effets des radiations solaires confirme le grand avantage de l'ombrage des espaces extérieurs qui contribue à la réduction des gains de chaleur radiante d'une personne comparée à une autre complètement exposée au soleil.²⁹

²⁸ Mayer.H et Hoppe.P. "Thermal comfort of man in different urban environments". Theoretical and applied climatology,1987;38:43-9

²⁹ Pearlmutter.D, Bitan.A et Berliner.P. "Microclimatic analysis of compact urban canyons in an arid zone". Atmospheric environment,1999;33:4143-50

Le résultat récapitulatif est que l'impact de ces deux paramètres est directement perceptible sur la température de l'air en milieu urbain ³⁰.

CONCLUSION :

Ce chapitre a traité la notion du confort d'une manière générale. Ont été définis les facteurs de confort thermique et a été discuté le mécanisme régulateur de l'être humain en mettant la lumière sur les éléments déterminant son équilibre thermique. La présentation des indices de confort nous a éclaircie la spécificité de chacun. Ces indices, initialement mis en place pour les espaces intérieurs des bâtiments, ont été développés afin qu'ils répondent aux exigences des espaces extérieurs par l'intégration des échanges radiatifs exprimés par la températures moyenne radiante.

Malgré que le confort thermique extérieur notamment au niveau des rues est très peu documenté, vu la difficulté liée à la qualification et à la quantification de ce concept, l'affirmation de la relation étroite entre la géométrie des canyons et le confort thermique des individus est donc nettement apparente à travers une série de travaux de recherches. L'ensemble de ces études ont affirmé que la sensation thermique est favorable dans le cas d'un grand ratio H/W dans les climats arides et semi arides et plusieurs études numériques (simulation) ont également démontré le rôle déterminant du ratio (H/W) ainsi que l'orientation de la rue quant à la réduction de la quantité des rayons solaires reçues par les parois du canyon (chaussée et murs) et par conséquent par le piéton.³¹

L'objectif de ce chapitre était d'approcher la contribution de l'espace extérieur urbains en particulier la rue de type canyon » au confort thermique à travers les éléments qui le définissent. Il s'agit principalement de la géométrie et de l'orientation.

Les champs thermiques et radiatifs engendrés par la géométrie de la rue définie par le ratio H/W et par son orientation affectent considérablement le degrés de confort de l'être humain et contribuent à la définition des principes de conception

³⁰ Barring et Al,1985 ; Eliasson,1992-1994 [in www.elsevier.com](http://www.elsevier.com)

³¹ Arofield.J. "Street design and urban canyon solar access". Energy en buildings,1990;14:117-31

urbaine devant être pris en compte en fonction du type de climat concerné. La prise en compte du climat ne peut être abordée de la même manière pour deux types de climats différents.

Etant donné que la partie pratique de la présente recherche sera consacrée à un site existant au centre de la ville de Constantine, on s'est trouvés incités à l'élaboration d'une approche analytique sur le climat qui caractérise la ville de Constantine, ce qui fera l'objet du prochain chapitre.

CHAPITRE VI

ANALYSE CLIMATIQUE DE LA VILLE DE CONSTANTINE



INTRODUCTION :

La prise en compte du climat lors de toute conception architecturale ou urbanistique est primordiale. Le concepteur , architecte ou urbaniste est appelé à lier les dimensions techniques et esthétiques de son oeuvre à une autre dimension inévitablement importante qui est cette nouvelle vision de « construire avec le climat » qui reste loin d'être la préoccupation des acteurs de l'acte architectural et urbanistique. Le tiers monde dont l'Algérie fait partie intégrante est sensé être le précurseur à la création architecturale climatique en raison de l'importante quantité d'énergie qu'il consomme notamment dans les lieux domestiques comparée à un niveau de vie assez critique.

Le concept «bioclimatique » fait référence à la bioclimatologie qui est une partie de l'écologie qui étudie plus particulièrement les relations entre les êtres vivants et le climat d'où une définition générale de l'architecture bioclimatique se découle de cela. Cette expression vise principalement l'amélioration du confort qu'un espace bâti peut induire de manière « naturelle » c'est à dire en minimisant le recours aux énergies non renouvelables. « *L'intérêt du Bioclimatique va donc du plaisir d'habiter ou d'utiliser un espace* » . (Izard et Guyot, 1979)

Dans le but d'une meilleure compréhension de la façon optimale d'utilisation des paramètres climatique dans la création architecturale et urbaine, et vu que cette recherche a prévu comme cas d'étude celui d'un site situé au centre ville de Constantine qui sera concernée par une investigation pratique dans le prochain chapitre, on a vu plus judicieux de consacrer ce présent chapitre d'abord à un bref aperçu sur la nature des différents climats régnant en Algérie et ensuite à une analyse climatique de ville de Constantine.

1- CLIMATS EN ALGERIE :

L'Algérie pays du Nord africain, est un vaste territoire d'une superficie de 2.381.741 Km², compris entre 18° et 38° de latitude Nord, et entre 9° de longitude Ouest et 12° de longitude Est (figure n°1).



Figure n°1 : Situation de l'Algérie
Source : Encarta,2005

A cette vaste étendue territoriale correspond une diversité de zones climatiques qu'on peut classer en deux grandes catégories :¹

1. ZONES CLIMATIQUES D'HIVER : (figure n°3)

- 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 ;

Ces trois zones sont classées en fonction de l'altitude en 07 sous zones comme suit (voir figure..) :

§ Sous zone H1a : littoral mer, altitude <500m : Caractérisée par des hivers doux avec des amplitudes faibles.

§ Sous zone H1b : arrière littoral montagne , altitude > 500m : caractérisée par des hivers plus froids et plus longs.

¹ DIB, Michel Nadia. *Recommandations architecturales. Alger*. ENAG-Edition. 1993. p9

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

2. ZONES CLIMATIQUES D'ETE : ² (figure n°4)

Cinq zones déterminent les zones climatiques d'été :

- 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 a les caractéristiques suivantes :

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

² DIB, Michel Nadia. *Recommandations architecturales*. Alger. ENAG-Edition. 1993.p11

2- ANALYSE CLIMATIQUE DE LA VILLE DE CONSTANTINE :

2-1- Situation de la ville de Constantine :

Constantine, ville du Nord Est algérien, située à 36°,17 de latitude Nord, et à 7°,23 de longitude Est. (figure n°2). Sa position par rapport aux coordonnées Lambert est de 284 à 289 pour les abscisses et 4024 à 4029 pour les coordonnées.

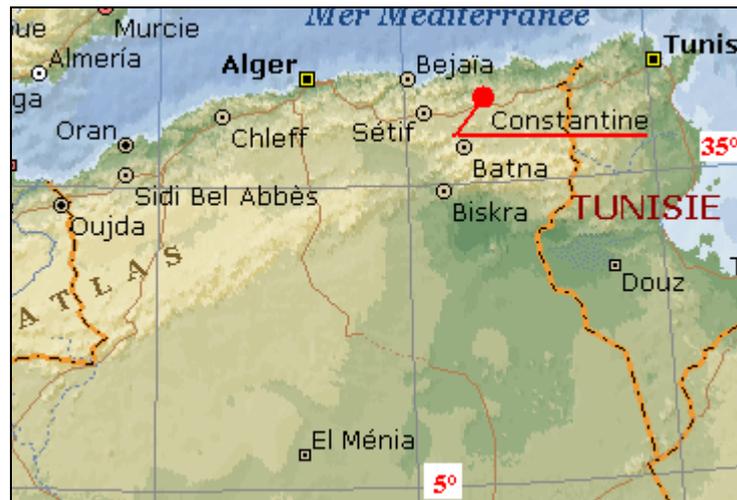


Figure n°2 : Situation de la ville de Constantine
Source : Encarta,2005

2-2- Classification climatique :

D'après la classification zonale indiquée plus haut, elle est située dans la zone climatique d'hiver H2a (figure n°3) et la zone climatique d'été E2³ (figure n°4) possédant :

- Un été plus chaud, moins humide où l'écart de température diurne est important.
- Un hiver froid et sec avec un écart de température diurne important.

³ DIB, Michel Nadia. *Recommandations architecturales*. Alger. ENAG- Edition. 1993.p10 et 11

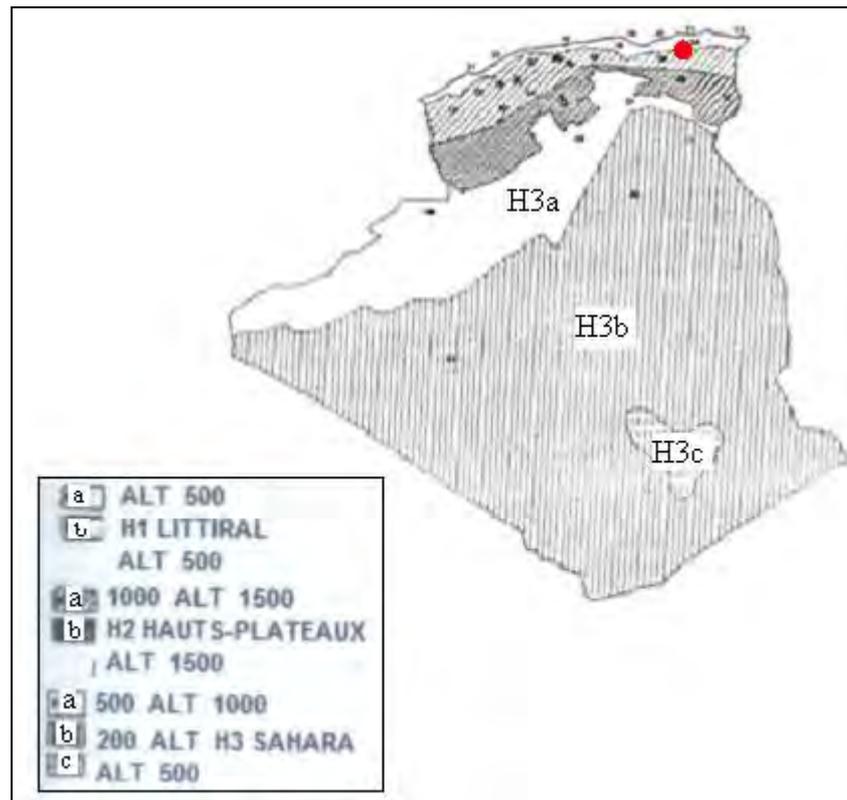


Figure n°3 : Les zones climatiques d’hiver en Algérie
Source : ENAG,1993

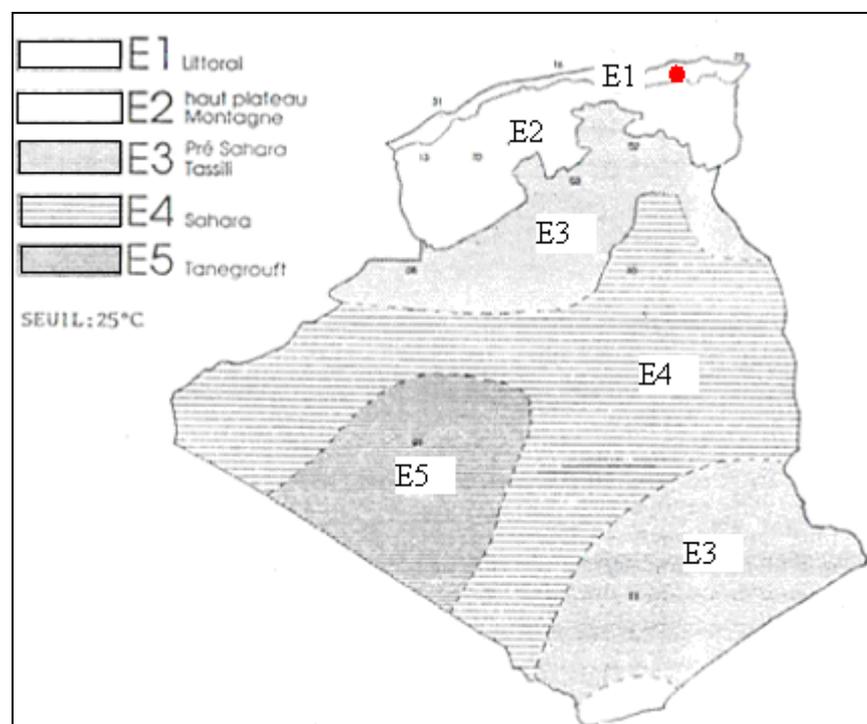


Figure n°4 : Les zones climatiques d’été en Algérie
Source : ENAG,1993

2-3- Interprétation des données climatiques :

2-3-1- Température de l'air :

La température moyenne annuelle est de 16°C, avec 16,5°C en Août pour le mois le plus chaud et 7,2°C en janvier pour le mois le plus froid (figure n°5).

La courbe des températures moyennes mensuelles évolue d'une manière régulière, les amplitudes ne sont pas très contrastées, par contre l'amplitude des valeurs annuelles est de 30,1°C, ce qui distingue les deux périodes qui forment l'année. Une période très chaude et sèche qui s'étale du mois de juin au mois de septembre, et une autre plus longue caractérisée par le froid et l'humidité et qui s'étale du mois d'octobre au mois de mars, exceptionnellement le mois d'octobre rejoint la courte durée de période où le temps est clément, celle des mois d'avril et mai durant lesquelles les températures sont comprises entre 12 et 18°C et les degrés d'humidité et de précipitations restent moyens pour participer dans l'adoucissement du temps. Les variations diurnes varient entre 13 et 16°C, et peuvent évoluer au delà de 23°C pendant la saison froide (hiver) durant laquelle le thermomètre descend en dessous de zéro.

2-3-2- Humidité relative :

La courbe de l'humidité relative croît dans le sens inverse que celle des températures et des radiations solaires, les moyennes mensuelles ne dépassent pas 60% pour les périodes humides ce qui laisse penser à un climat hivernal froid et sec (figure n°5).

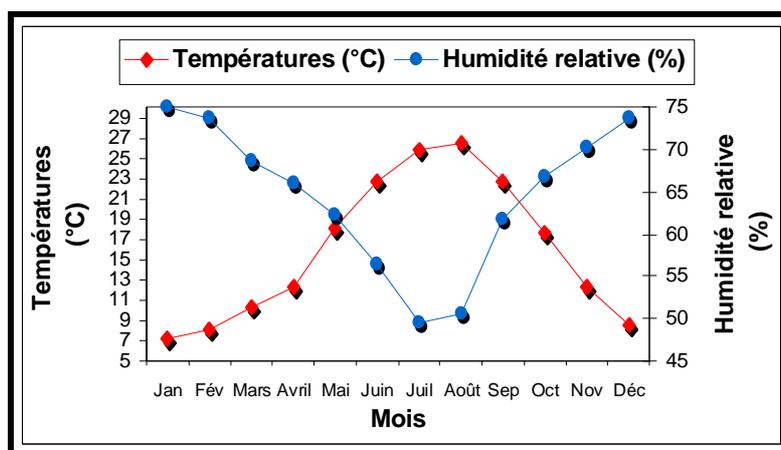


Figure n°5 : Variation moyenne mensuelle de la température et de l'humidité relative de l'air

2-3-3- Ensoleillement :

L'ensoleillement est considérable. Le nombre d'heures d'ensoleillement pour les périodes chaudes dépasse 14 heures par jour. En hiver il est de l'ordre de 9 ,ceci permet de considérer également l'énergie incidente sur le sol qui à son tour n'est pas négligeable. En été , au mois juillet la quantité d'énergie incidente sur un plan horizontal est de 8818wh/m².⁴ (figure n°6)

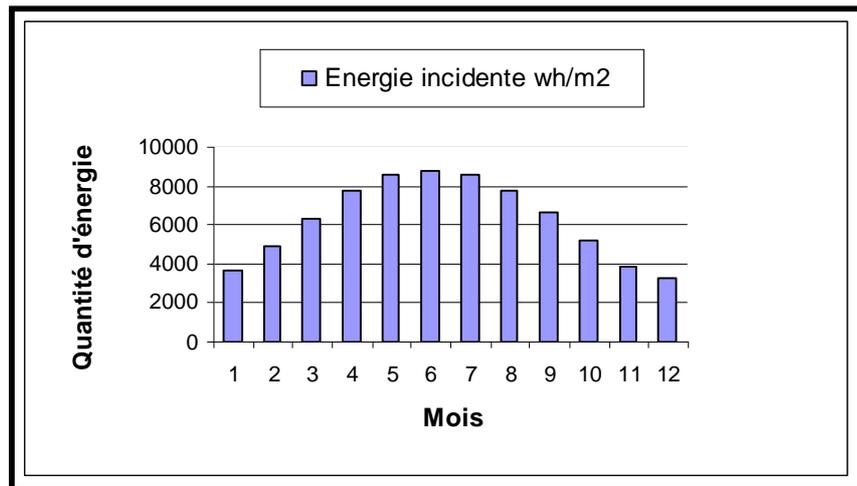


Figure n°6 : Variation moyenne mensuelle de l'énergie incidente (wh/m2)

D'après les isothermes présentés (figure n°7) on constate une relation étroite entre la température moyenne et la période de la journée (l'heure) et de l'année (mois).

D'où on peut déduire trois groupes de zones :

- Une première zone de sous - échauffement qui s'étale du mois de Janvier , février , mars , octobre , novembre et décembre et qui nécessite forcément un chauffage d'appoint.
- Une deuxième zone de confort qui est intermédiaire entre la limite inférieure neutre (20.55 °C) et la limite supérieure neutre (24.55 °C) et qui s'étalé du mois de mai et avril. La température dan cette zone et dans les limites de confort.
- Une troisième zone de sur – échauffement (surchauffe) qui s'étale du mois de juin , juillet et août ou la température dépasse 25°C et surtout entre 10 H00 et 16H00 dont l'intensité du soleil et forte (nécessitent un control solaire) .

⁴ Office national de la météorologie,2004

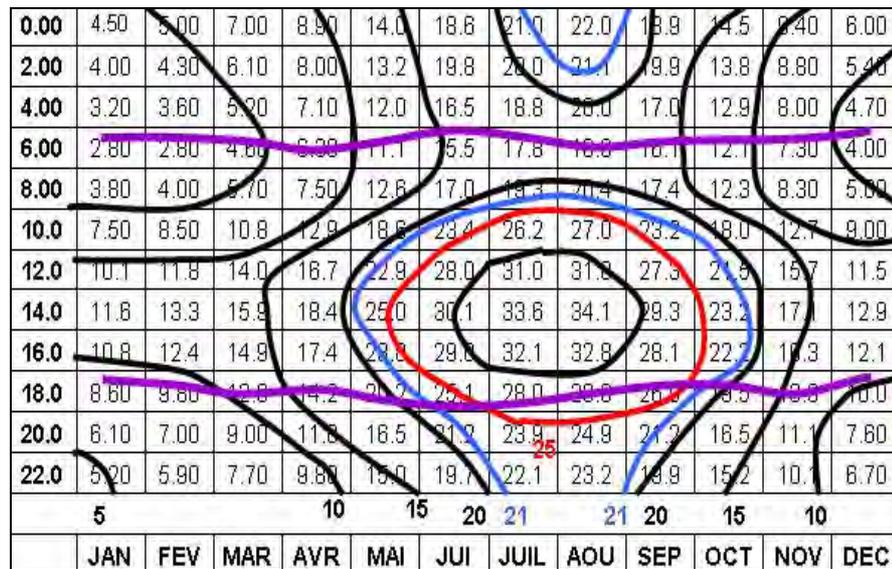


Figure n°7 : Isothermes indiquant les différentes zones thermiques

Le diagramme solaire (figure n°8), montre que la trajectoire solaire est plus importante en été (21 Juin jour le plus long de l’année) qu’en hiver (21 décembre, jour le plus cours de l’année).

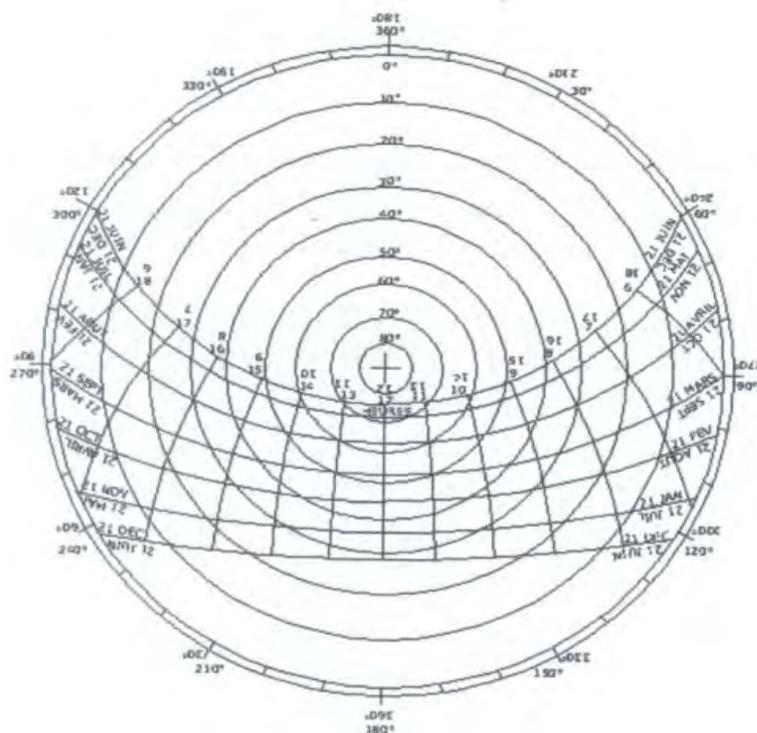


Figure n°8 : Diagramme solaire indiquant la trajectoire solaire pour la ville de Constantine – latitude 36° 17’

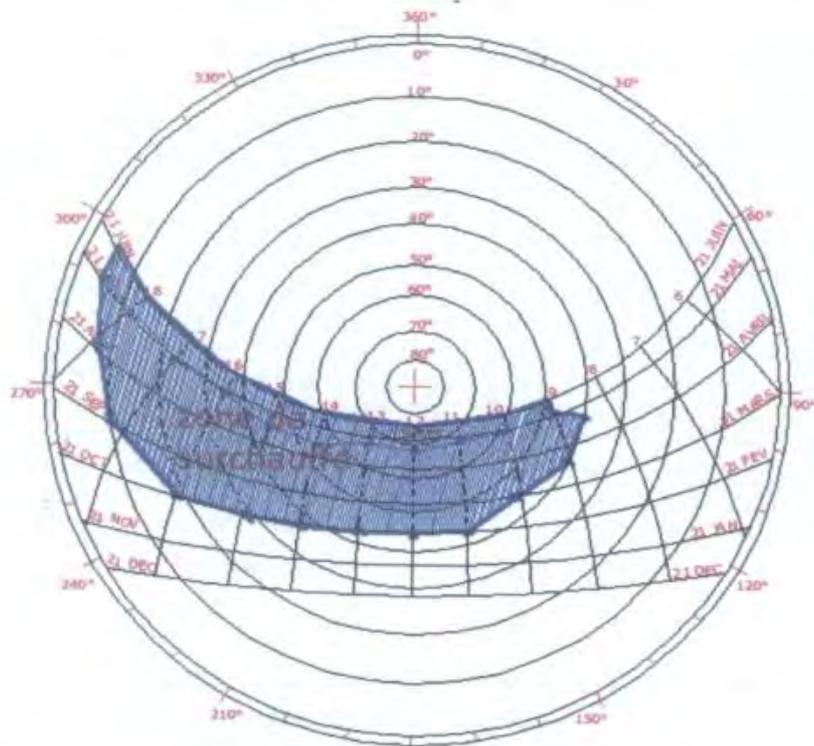


Figure n°9 : Zone de surchauffe
pour la ville de Constantine – latitude 36° 17'

A Constantine , la durée d'insolation est très importante pendant toute l'année. Il est de l'ordre de 7480 wh/m²/jour pour une surface horizontale pendant le mois de Juillet avec une durée maximale de 11h 5mn (figure n°10). Le mois où le ciel est plus clair , cette surface reçoit une fraction d'insolation importante de l'ordre de 80%.

En hiver, le rayonnement solaire global atteint son maximum en Janvier. Il est de l'ordre de 2334wh/m²/jour avec une durée maximale de 151h (figure n°10). le mois où le ciel est couvert, la surface reçoit une fraction d'insolation de l'ordre de 45%.

Ces données montrent que : l'intensité des radiations globales augmentent en été (saison chaude et sèche) et diminue en hiver (saison froide et humide). L'ensoleillement est donc un facteur majeur dans la variation de la température.

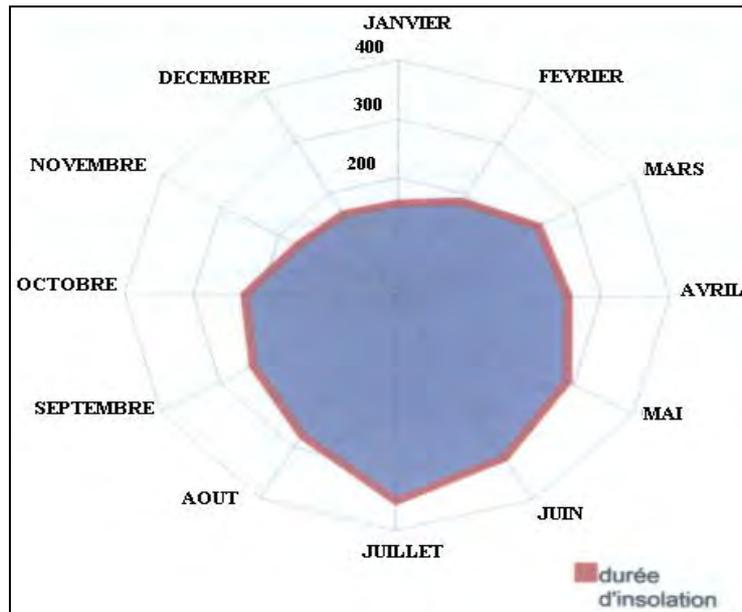


Figure n°10 : moyenne mensuelle de la durée d'insolation en heures pour la ville de Constantine

Source : ONM Ain El Bey Constantine -période 1994/2003-

2-3-4- Précipitations :

La répartition annuelle des précipitations est marquée par une période courte de sécheresse (quatre mois : juin, juillet, août, et septembre) où les précipitations sont très faibles et si elles existent elles tombent sous forme d'orage, le reste paraît plus humide (figure n°11).

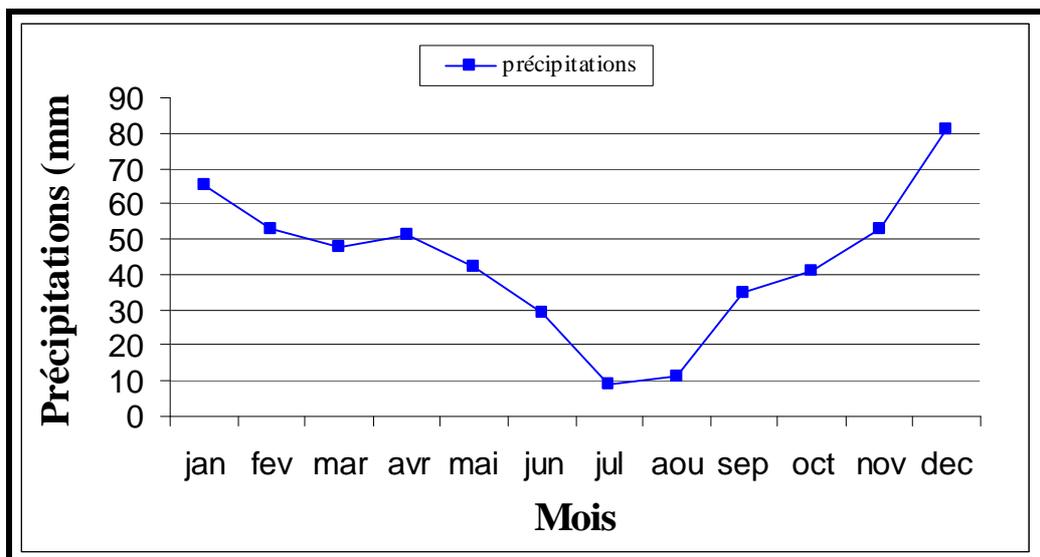


Figure n°11 : Répartition annuelle des précipitations

2-3-5- Vents :

Les vents qui prédominent à Constantine sont de direction nord et nord ouest avec des vitesses moyennes qui varient entre 2,3 et 2,9m/s, pour une moyenne annuelle de 2,4m/s, et une fréquence moyenne de 45%. Ces vents sont froids et humides pendant la période hivernale. Les vents de sable (sirocco) soufflent au moins une fois par an en été particulièrement (figure n°12).

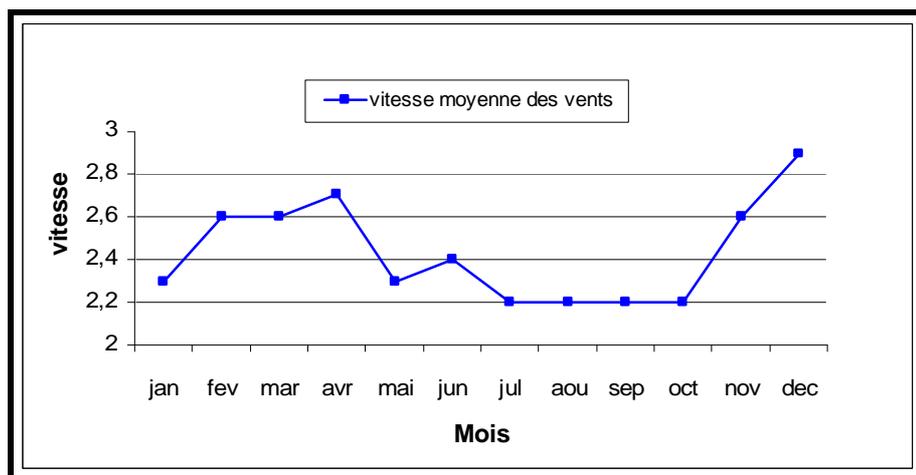


Figure n°12 : Variation de la vitesse moyenne des vents

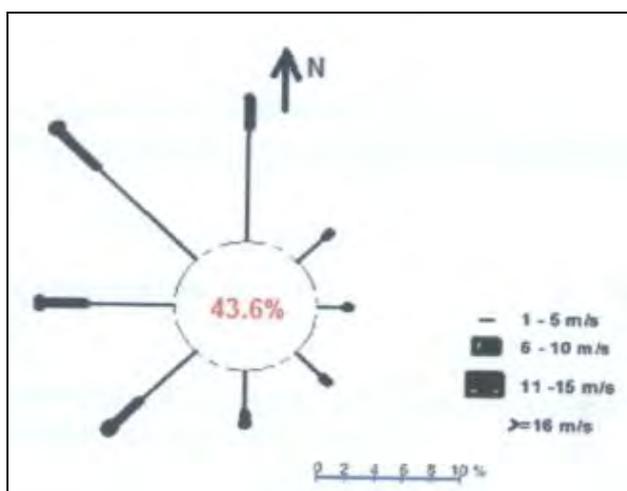


Figure n°13 : Rose des vents pour la ville de Constantine
Source : ONM Ain El Bey- Constantine
Période 1995/2004

2-3-6- Indice d'aridité :

d'après ED.MARTONNE, l'indice d'aridité est donné par la formule suivante :

$$Ia = P/T+10$$

D'où ; Ia : est l'indice d'aridité

§ P : précipitations annuelles.

§ T : température moyenne annuelle

La lecture de cet indice se fait comme suit :

Ø $Ia < 5$: c'est l'indice d'aridité absolue ou hyper aridité

Ø $5 < Ia < 10$: c'est l'indice d'aridité

Ø $10 < Ia < 20$: c'est l'indice de semi aridité

Pour la ville de Constantine on obtient :

Ia = 19 . on remarque que : $20 > Ia = 19 > 10$

donc le climat de Constantine est **SEMI- ARIDE**

CONCLUSION :

En conclusion, le climat de Constantine apparaît à travers les chiffres comme un climat rude, caractérisé par un hiver froid ,et un été chaud et sec. Une humidité relative moyenne et des précipitations considérables en hiver et rare en été.

Vu les changements des données de la dernière décennie ce climat qui jadis était marquée par quatre saisons distinctes répondant chacune aux caractéristiques de l'hiver, l'automne, le printemps, et l'été, a finalement basculé du côté des climats semi- arides. Cette nouvelle réalité nécessite de nouvelles stratégies quant à la révision de la problématique de l'espace urbain en prenant en considération une semi aridité qui risque de basculer encore plus vers l'aridité absolue.

Dans le but de tester et d'évaluer les conclusions du présent chapitre, et les associer à la réalité de l'espace urbain en l'occurrence la rue de type canyon, on est incité à procéder à un travail de terrain sur un tissu urbain existant situé au centre de la ville de Constantine ce qui fera l'objet de la prochaine partie de l'étude.

CHAPITRE VII



PARTIE PRATIQUE

« INVESTIGATION »

INTRODUCTION :

La présente recherche ayant trait à l'impact de la géométrie des canyons urbains sur l'ambiance thermique extérieure ne peut être consolidée qu'à travers un travail de terrain en choisissant comme site d'investigation celui qui présente les caractéristiques physiques et géométriques recherchées.

Le volet pratique de ce travail sera abordé sur la base d'une investigation sur terrain dont l'objectif est d'abord d'évaluer le comportement du climat en fonction d'un paramètre précis qui est la géométrie de la rue, pour ce, la recherche s'est accentuée sur les effets climatiques les plus perceptibles affectant directement le site choisit qui sont les effets thermiques , radiatifs et aérodynamiques.

Cette investigation devra faire ressortir l'importance de la conception urbaine de la rue vis-à-vis du bien être de l'usager tout en s'insérant dans le contexte du climat semi aride d'une part , et aboutir à des résultats qui peuvent être généralisés d'autre part.

La méthodologie d'approche de cette phase de la recherche sera basée sur une campagne de mesure qui s'étalent sur quatre jours successifs. Deux axes routiers comportant sept stations ont fait l'objet de cette campagne.

Les instruments utilisés consistent en un thermocouple qui permet de mesurer la température de l'air et des surfaces et un hygromètre qui mesure l'humidité relative de l'air.

Ce chapitre sera débuté tout d'abord par la présentation du site d'investigation en traitant les points suivants :

- Situation du site
- Critères du choix du site
- Analyse climatique du site
- Matériaux
- Trafic routier
- Topographie

Ensuite, on abordera le volet relatif à la campagne de mesure qui traitera les points suivants :

- Période de mesure
- Instruments de mesure
- Choix des axes à développer
- Choix des stations de mesure
- Choix des canyons à comparer
- Résultats et discussion

1- PRESENTATION DU SITE (Cas d'étude) :

1-1- Situation du site :

Le terrain d'investigation choisi est un site urbain au cœur de la ville de Constantine (figure n°1). Il s'agit du « **COUDIAT** », un site qui date de l'époque coloniale . Situé en plein centre ville , relativement haut (par rapport à son environnement immédiat), d'une altitude moyenne de 630m environ. Ce site est choisi de façon à être le plus représentatif possible.

L'occupation du sol du « Coudiat » consiste à des immeubles à destination mixte (habitat, commerce et lieux de travail) d'une hauteur qui varie de 8 à 25 mètres et structurée par un tracé de voirie nettement en damier.



Figure n°1 : Situation du site d'investigation

Source : Couverture aérienne de la ville de Constantine, DHW, 1995.

1-2- Critères du choix du site :

Les critères du choix de ce site ont été les suivants :

Ø La situation :

Pour que le site d'investigation soit aussi représentatif que possible, sa situation géographique est d'une grande importance. Donc, situé en plein centre ville est un principe de base pour le traitement du microclimat urbain .

Ø La géométrie urbaine :

La géométrie des rues offerte par la typologie des constructions caractérisée par le ratio de la hauteur moyenne des immeubles sur la largeur moyennes des rues (H/W) présente un modèle réel type du « canyon urbain » où la hauteur des immeubles est estimée à plus de quatre fois la largeur de la chaussée. En plus de la forme « canyon », le site présente d'autres formes pouvant contribuer à l'enrichissement des résultats en l'occurrence la forme dièdre et la forme dégagée.

Ø Morphologie :

Le Coudiat est un site relativement plat (figure 3-a et 3-b). C'est un haut plateau d'une altitude moyenne de 630m. La grande importance de ce critère consiste au fait de pouvoir négliger l'impact du relief au sein du site.

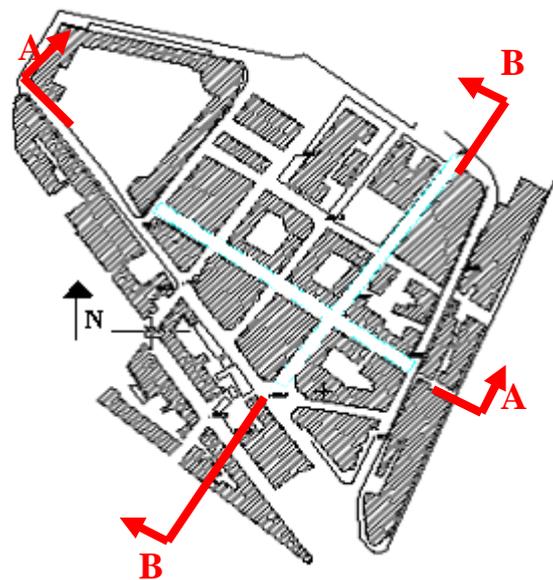


Figure n°2 : Plan de masse du site d'investigation

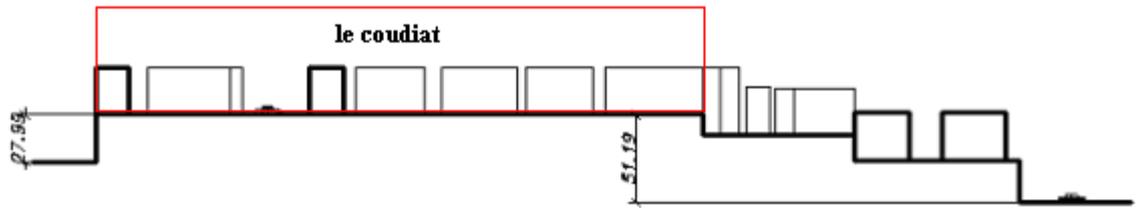


Figure n°3-a : Coupe : AA

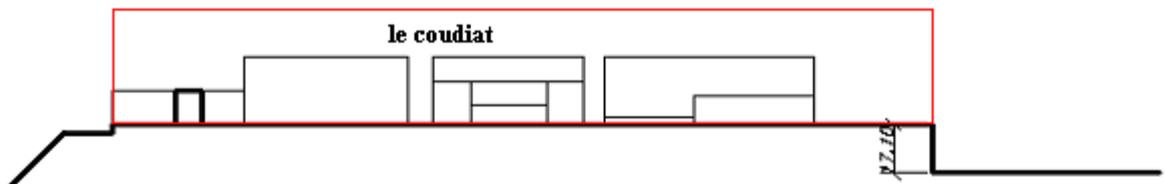


Figure n°3-b : Coupe : BB

Ø L'absence de végétation :

L'absence de végétation a permis d'aborder l'investigation sans tenir compte de l'impact de ce paramètre.

Ø l'orientation des axes :

L'orientation des rues offre la possibilité d'évaluer l'impact de ce facteur sur l'ambiance thermique extérieure. Pour ce, le site investigué présente au minimum deux orientations NE/SO et NO/SE .

1-3- Analyse climatique du site :

- Ensoleillement :

L'altitude importante du site favorise son exposition au soleil notamment dans sa partie Sud , or que sa géométrie urbaine dominante qui consiste en une série de courts canyons crée un effet d'ombre important sur les façades et la chaussée. Cet effet désirable en été rend l'espace extérieur assez fréquentable. Les différents canyons ne sont ensoleillés que pendant de très courtes durées où les rayons solaires touchent directement les axes des canyons (figure n°4)

- Mouvement de l'air :

Le site d'investigation est caractérisé par une nette exposition aux vents dominants Nord d'été et Nord-Ouest d'hiver (figure n°4). La vitesse de l'air peut être donnée par la formule suivante .

$$\Delta V = K * V(\text{ref}) * \log Z/Z_0 = C * V(\text{ref})^1$$

- $\Delta V = 0,292 * 2,8 * \log (10/2,5)$
- $\Delta V = 0,49 \text{ m/s}$
- $V = 2,8 + 0,49 = 3,29 \text{ m/s}$

D'où:

- ΔV : La variation de cette vitesse avec la hauteur et la rugosité
 K : Coefficient fonction de la rugosité.
 $V(\text{ref})$: Vitesse moyenne mesurée par la station météo.
 Z : Hauteur concernée.
 Z_0 : Paramètre de rugosité.
 C : Coefficient de hauteur et de rugosité.

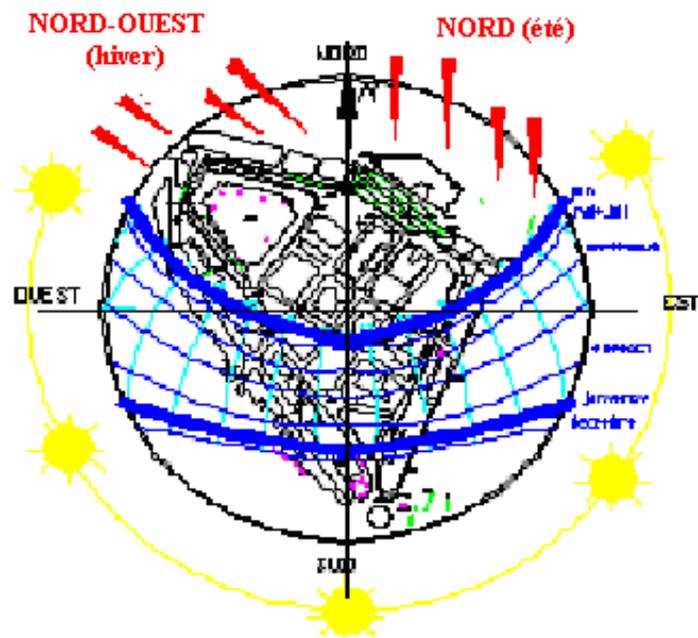


Figure n°4 : Trajectoire solaire et direction des vents affectant le site

¹ voir les détails dans le chapitre « microclimat urbain ».

1-4- Matériaux :

- La pierre :

Composant essentiel des constructions de l'époque coloniale qui occupent le site notamment au niveau des murs des façades. La pierre possède des caractéristiques thermiques importantes notamment :

- 1- Inertie thermique importante.
- 2- Restitution de la chaleur après stockage.
- 3- Conductivité thermique égale à $1,8 \text{ w/m}^\circ\text{c}$.²

- Le verre :

Le vitrage simple est l'élément déterminant dans le traitement des façades. Le rapport du vitrage par rapport à l'ensemble des façades est de l'ordre de 50% environ. La conductivité thermique du verre égale à $1,0 \text{ w/m}^\circ\text{C}$ est plus faible que celle de la plupart des métaux.³

- L'asphalte :

Revêtement de la chaussée de l'ensemble des voies mécaniques desservant le site d'investigation. D'une conductivité thermique égale à $0,7 \text{ w/m}^\circ\text{C}$.

1-5- Couleurs :

Différentes couleurs caractérisent l'environnement urbain du site à savoir les façades et la chaussée à travers lesquelles, différentes valeurs de l'albédo ont été déduites (tableau n°1). L'importance de ce paramètre consiste en sa relation étroite avec la quantité d'énergie réfléchie et par conséquent sur le degré d'échauffement des surfaces et de l'air.

Objets	Revêtement	Couleurs	Albédo
Façades	Peinture	Blanc	0.90
Façades	Peinture	Beige	0.50
Chaussée	Asphalte	Noir	0.05

Tableau n°1 : Différentes valeurs de l'albédo

Source : www.equiterre.qc.ca

² <http://www.oqlf.gouv.qc.ca>

³ <http://www.protherm.rhone.ch>

1-6- Trafic routier :

Le trafic routier est étroitement lié à la pollution atmosphérique. Les répercussions de celle-ci sur le bien être des individus sont nombreuses notamment en ce qui concerne l'affectation du confort thermique extérieur caractérisée par un surchauffe de l'air.⁴

Le « Coudiat » lieu de concentration des activités administratives et scolaires connaît un flux très important de circulation mécanique précisément pendant la journée. Environ 2000 véhicules par jour ont été comptabilisés sur les deux axes routiers objet de cette investigation. Les principaux types de polluants générés par les véhicules sont le monoxyde de carbone (CO) causé principalement par les voitures à essence et Les oxydes d'azote (NOx) produits tant par les moteurs à essence que diesel⁵.

2- CAMPAGNE DE MESURE :

2-1- Instrument de mesure :

Le travail de terrain effectué à l'intérieur du tissu urbain décrit ci-dessus, consiste en une campagne de mesure de deux paramètres : la température de l'air et de surface par le biais d'un instrument appelé « thermocouple », doté d'une sonde pour la mesure des températures surfacique.(figure n°5)



Figure n°5 : Instrument de mesure
(thermocouple)

⁴ GLOCKNER, Stéphane. *Contribution à la modélisation de la pollution atmosphérique dans les villes*.
Thèse de doctorat. Université Bordeaux1.2000.p7

⁵ [http:// www.nmarcoux .aol.com](http://www.nmarcoux.aol.com)

2-2- Période de mesure :

Etant donné que le climat de la ville de Constantine est caractérisé par deux saisons distinctes : une chaude et l'autre froide, Les mesures des températures de l'air et de surfaces se feront durant les deux mois : Janvier pour la saison froide et Juillet pour la saison chaude la plus chaude en ayant comme référence les données météorologiques de la ville de Constantine.

2-3- Choix des axes a développer :

Notre investigation sera accentuée sur deux axes : (figure n°6)

- Le 1^{er} axe : orienté Nord-Est / Sud-Ouest.
- Le 2^{ème} axe : orienté Nord-Ouest / Sud-Est .

Malgré que le site choisi est complètement ouvert vers le nord , et qu'il subisse donc la nette exposition aux vents dominants d'été, il est bien clair que les deux axes routier étudiés sont complètement protégés des vents vu que les constructions constituant l'environnement immédiat jouent le rôle de pare vent (figure n°6). Cette caractéristique nous permet de négliger l'impact du mouvement d'air sur l'ambiance thermique des deux canyons.

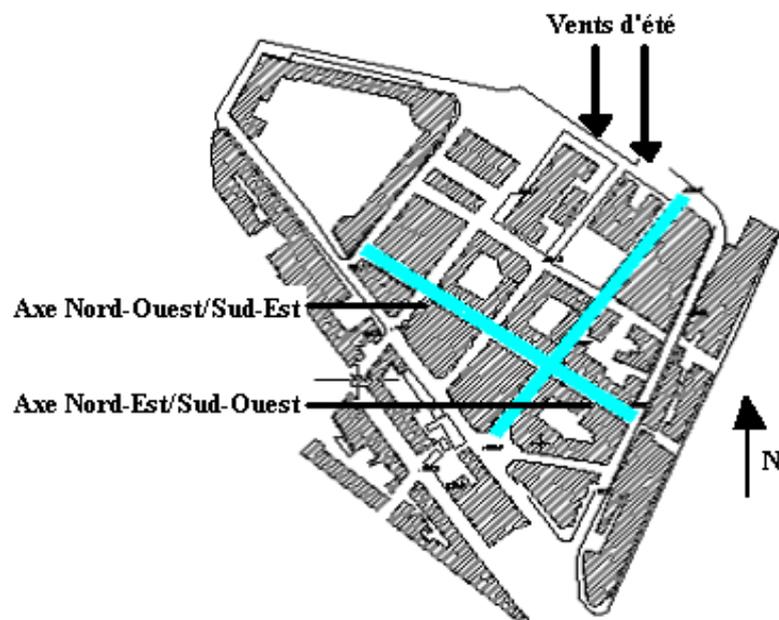


Figure n°6 : Les deux axes choisis pour étude

2-4- Choix des stations de mesure :

Le choix des stations de mesure au nombre de sept (figure n°7) est basé sur le fait de vouloir étudier les cas les plus significatifs. Leur importance consiste en ce qui suit :

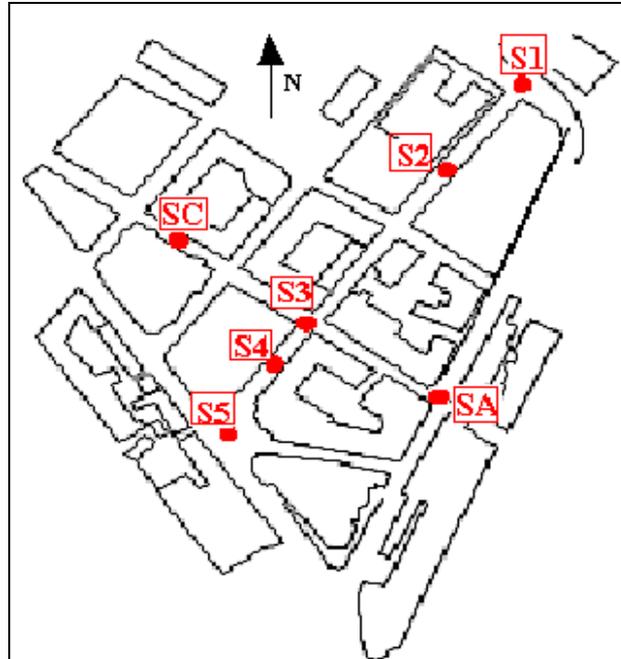


Figure n°7 : Les différentes stations de mesure

2-4-1- Axe Nord-Est/ Sud-Ouest : (figure n°8-a)

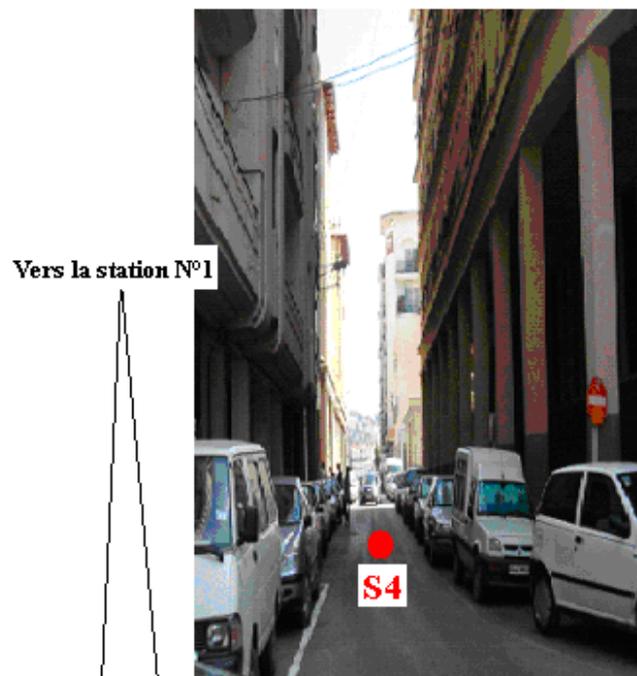


Figure n°8-a : Vue sur l'axe Nord-Est/Sud-Ouest

C'est le premier axe faisant l'objet d'une prise de mesures au niveau de cinq (05) stations dont le choix a été basé sur des différences géométriques (figure n°8-b). L'objectif était de démontrer lequel des trois types d'espaces : dégagé, semi ouvert et canyon influe positivement sur les températures de l'air et de surfaces.



Figure n°8-b: Plan de l'axe Nord-Est/Sud-Ouest

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

- Station 1 (S1) : Endroit très haut, complètement ouvert vers le Nord (figure n°9).

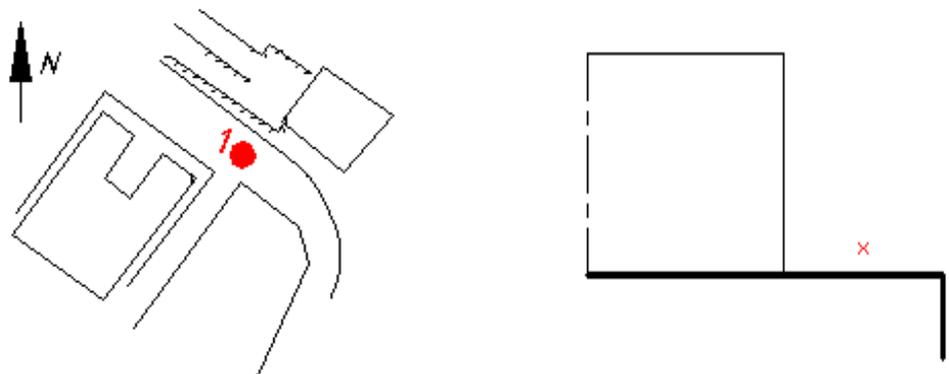


Figure n°9 : Station de mesure n° 1
(Photo fish-eye, Plan, Coupe)

- Station 2 (S2) : Endroit à proximité d'un espace ouvert (figure n°10).

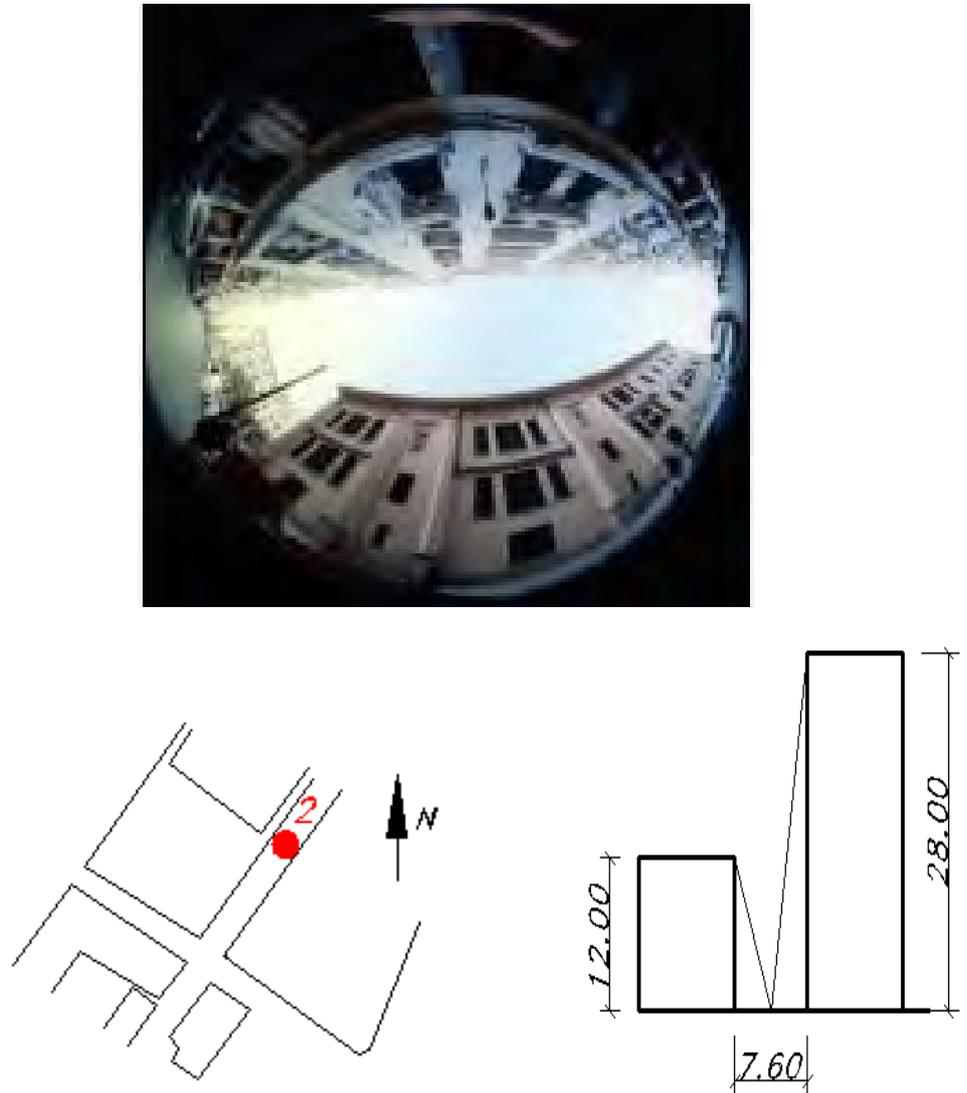


Figure n°10 : Station de mesure n° 2
(Photo fish-eye, Plan, Coupe)

- Station 3 (S3) : Intersection de deux axes (figure n°11).

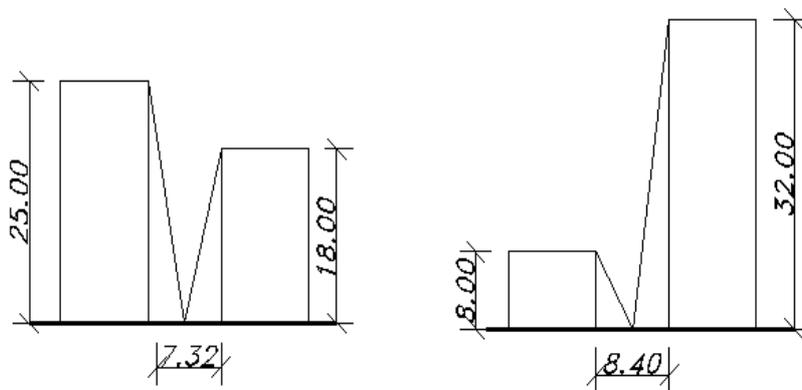
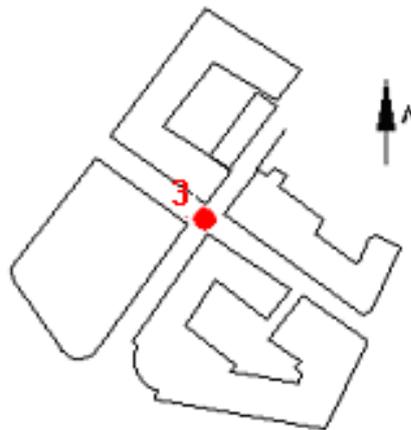


Figure n°11 : Station de mesure n° 3
(Photo fish-eye, Plan, Coupe)

-Station 4 (S4): Canyon urbain très étroit (figure n°12).

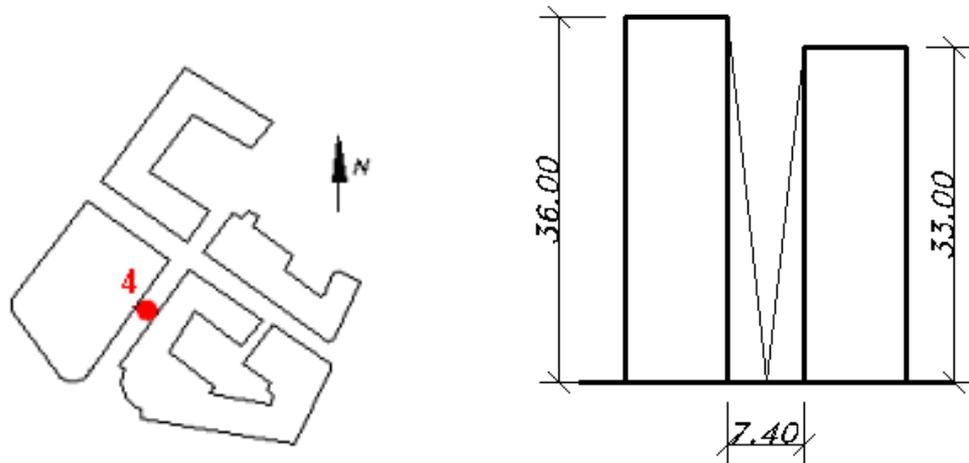


Figure n°12 : Station de mesure n° 4
(Photo fish-eye, Plan, Coupe)

- Station 5 (S5): Espace partiellement ouvert, à l'intersection de trois axes (figure n°13).

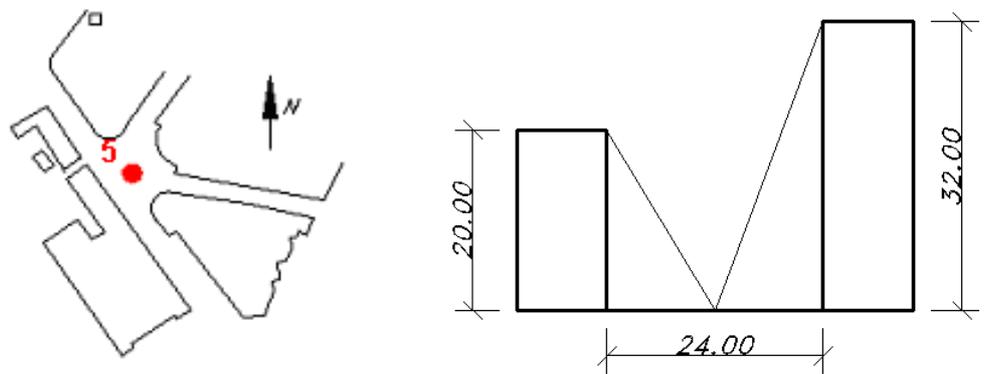


Figure n°13 : Station de mesure n° 5
(Photo fish-eye, Plan, Coupe)

2-4-2- Axe Nord-Ouest/Sud-Est : (figure n°14-a)

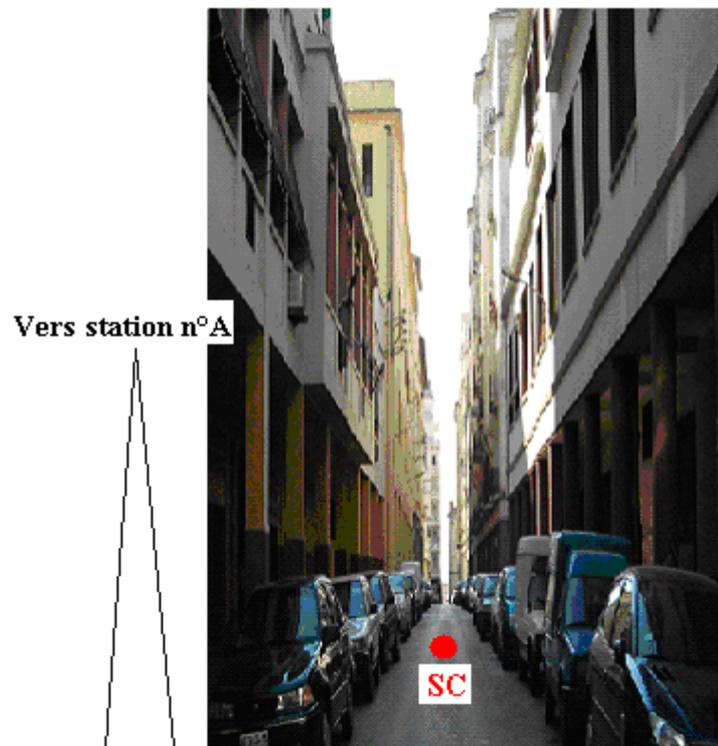


Figure n°14-a : Vue sur l'axe Nord-Ouest/Sud-Est

C'est le deuxième axe comportant deux stations de mesure (figure n°14-b). Le choix de ces deux stations est basé sur la différence géométrique entre eux. L'objectif était d'abord l'évaluation de l'impact de leur facteur d'ouverture au ciel sur les températures de l'air et de surfaces, et ensuite de procéder à une comparaison entre les températures de l'air et de surfaces des deux stations 4 et C situées dans le premier et le deuxième axes respectivement.



Figure n°14-b : Plan de l'axe Nord-Ouest/Sud-Est

Les détails géométriques des deux stations sont présentés ci-dessous :

- Station A (SA): Intersection de deux axes (figure 15).

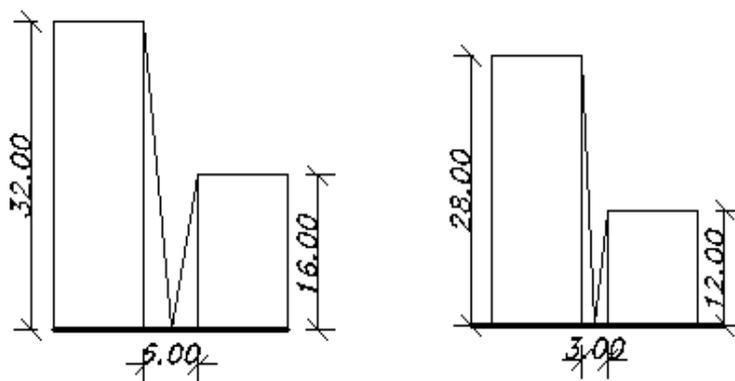
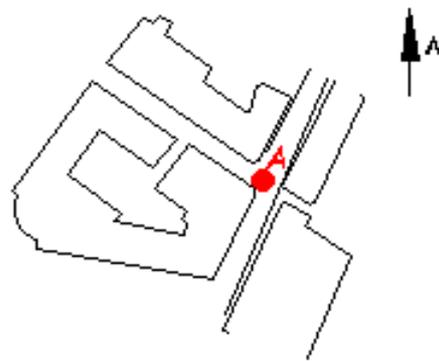


Figure n°15 : Station de mesure n° A
(Photo fish-eye, Plan, Coupe,)

- **Station C (SC)**: Canyon urbain très étroit (figure 16).

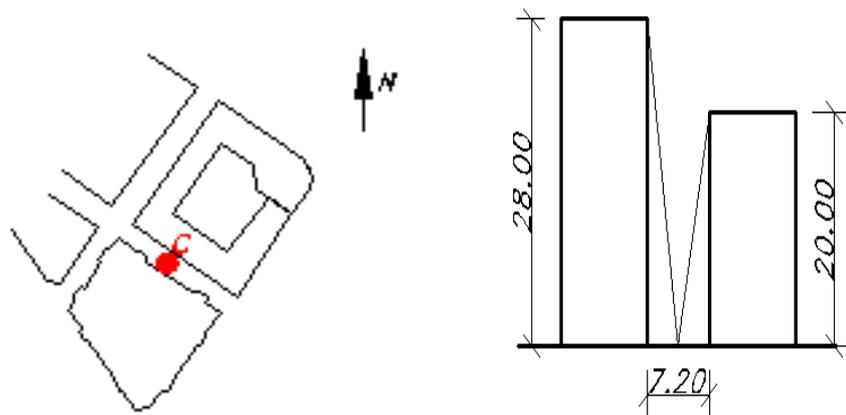


Figure n°16 : Station de mesure n° C
(Photo fish-eye, Plan, Coupe)

2-5- Choix des canyons à comparer :

Les deux stations de mesure n°4 et C ont été choisit pour être les deux canyons devant faire l'objet d'une comparaison en matière de température de l'air et de surface (sol). Ces deux canyons, orientés respectivement NE-SO et NO-SE (figures 17 et 18), présentent les mêmes caractéristiques en matière de revêtement des surfaces et de couleurs. La différence entre eux consiste en deux paramètres :

1. L'orientation.
2. La géométrie défini par le ratio H/W et donc par la valeur du facteur d'ouverture au ciel (SVF). Cette divergence permet d'évaluer l'impact de ces deux paramètres sur l'ambiance thermique extérieur.

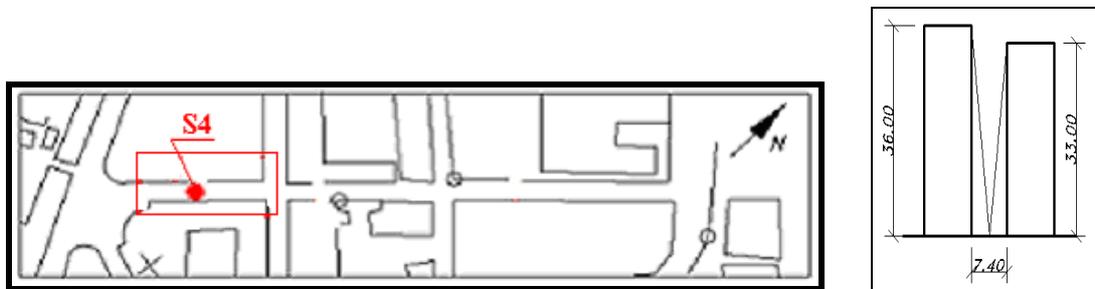


Figure n°17 : Canyon orienté Nord-Est/Sud-Ouest (plan + coupe)

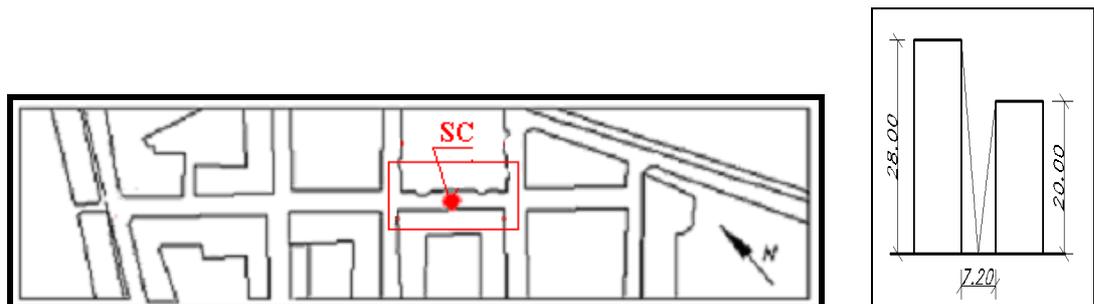


Figure n°18 : Canyon orienté Nord-Ouest/Sud-EST (plan + coupe)

3- RESULTATS

3-1- En été

L'interprétation des résultats de mesures a conduit d'une part à la vérification des conclusions de nombreux travaux de recherches effectués au niveaux de certaines villes et sites à travers le monde. D'autres part, d'importants résultats spécifiques à notre cas d'étude ont été découverts. Dans les deux cas, on s'est trouvé en face de phénomènes parfois prévisibles, mais parfois contradictoires et inattendus, mais qui nécessitent d'être vérifiés et argumentés.

- Comme l'a confirmé le chercheur Canadien Tim. R. Oke de l'université de Vancouver en 2002, la température au sol en ville est plus élevée que dans les zones qui lui sont périphériques (zones rurales, banlieue...)⁶.

Notre cas d'étude « le Coudiat », situé en cœur de la ville de Constantine, n'échappe pas à cette conclusion du fait que la température de l'air tout au long des deux axes qui ont fait l'objet de la campagne de mesure, et au niveau de l'ensemble des stations (donc, indépendamment de l'orientation du canyon et de sa géométrie) est nettement supérieure à la température de référence mesurée par les services de la météo, ayant comme stations de mesure celles implantées à la périphérie de la ville.⁷(figure n°19)

- durant la période de mesure, la température de l'air entre 24h00 et 06h00, a toujours connu une hausse déterminante allant jusqu'à 6 à 8°C (figure n°19). Ceci est expliqué par le fait que le phénomène qui se produit consiste en la restitution de la chaleur par les matériaux constituant les façades des immeubles ainsi que le revêtement du sol ayant déjà un albédo très faible.

A titre indicatif, l'albédo du goudron est de l'ordre de 0,03.⁸Ce processus affecte directement la température de l'air.

⁶ <http://www.meteocentre.com>

⁷ <http://www.meteocentre.com>

⁸ Frédéric GUAY et Yves BAUDOUIN, 2003 in <http://www.equiterre.qc.ca>

A. au niveau de l'axe orienté Nord-Est/Sud-Ouest :

1- le premier résultat constaté est la distinction entre trois catégories d'espaces : espace canyon, espace dégagé et espace dièdre (figure n°20). Parmi les cinq stations situées dans cet axe on a :

- § la station n°1 est un espace dégagé.
- § La station n°5 est un espace dièdre.
- § La station n°4 est un espace canyon.

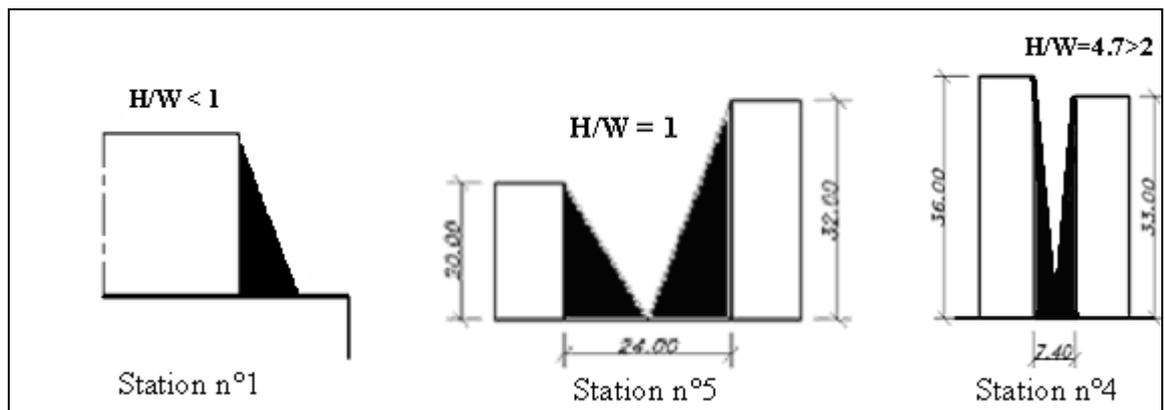


Figure n°20 : Distinction entre espace dégagé, espace dièdre et espace canyon

- La station n°1 est un espace complètement dégagé, ouvert vers le Nord-Est, la température de l'air au niveau de cet espace est généralement supérieure à celle du canyon n°4 pendant presque toute la journée (figure n°21), ceci est dû au fait que :

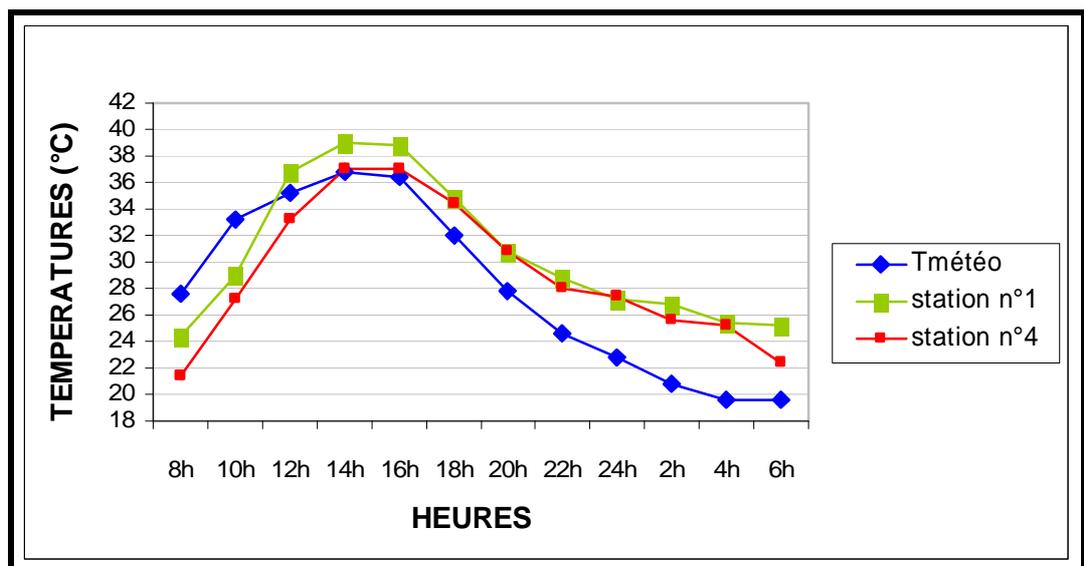


Figure n°21 : Variation de la température de l'air : axe NORD-EST / SUD-OUEST Stations 1 et 4

- cet espace est exposé aux rayons solaires d'été pendant une longue durée .Donc une durée d'insolation plus importante que celle du canyon . (figure n°22).
- Absence totale de végétation et de toute source de rafraîchissement ou d'ombrage.
- L'importante durée d'insolation liée au faible albédo des matériaux couvrant le sol et les façades limitrophes ainsi que l'importance de la surface directement exposée au soleil engendrent un stockage consistant de la chaleur pendant la journée et sa restitution la nuit , ce qui contribue fortement au surchauffe de l'air des nuit d'été.⁹

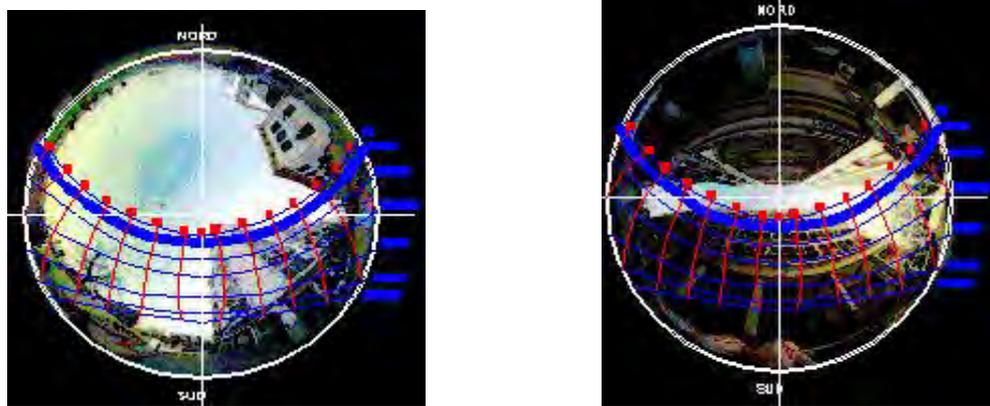


Figure n°22 : Ensoleillement des deux stations 1 et 4

Cette conclusion a été nettement apparente au niveau de la figure n°19, qui montrent qu'une importante quantité de chaleur est restituée uniquement par le sol, ce qui a causé directement une surélévation de la température de l'air et ce au niveau de l'ensemble des stations de mesures.

Le canyon n°4 est donc plus frais que l'espace dégagé représenté par la station n°1. Ceci est également expliqué par le fait que :

- L'effet d'ombrage engendré par l'importance de la hauteur du canyon contribue fortement à la réduction de la température de l'air.

Dans ce même contexte, Stéphane Glockner dans sa recherche intitulée « contribution à la modélisation de la pollution atmosphérique dans les villes » effectuée en l'an 2000 a précisé que dans un climat semi aride, un canyon urbain ayant des façades à grand albédo peut éventuellement engendrer un phénomène d'inter réflexion entre les deux parois et par

⁹ <http://www.atmosphere.mpg.de>

conséquent un surchauffe de l'air. Sauf que ce phénomène ne peut durer qu'une période très réduite de la journée¹⁰ (figure n°23).

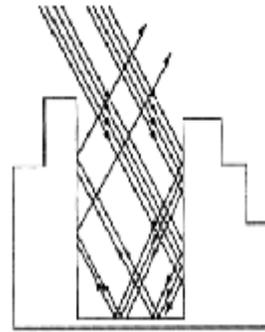


Figure n°23 : Phénomène d'inter-réflexion
Source : GLOCKNER,Stéphane,2000

- Les résultats ci-dessus mentionnés ont pu être vérifiés après avoir calculer le facteur d'ouverture au ciel (ou Sky View Factor). Celui-ci est naturellement plus important dans l'espace dégagé(= 0,58) que dans le canyon n° 4 (= 0,12) (figure n° 24).

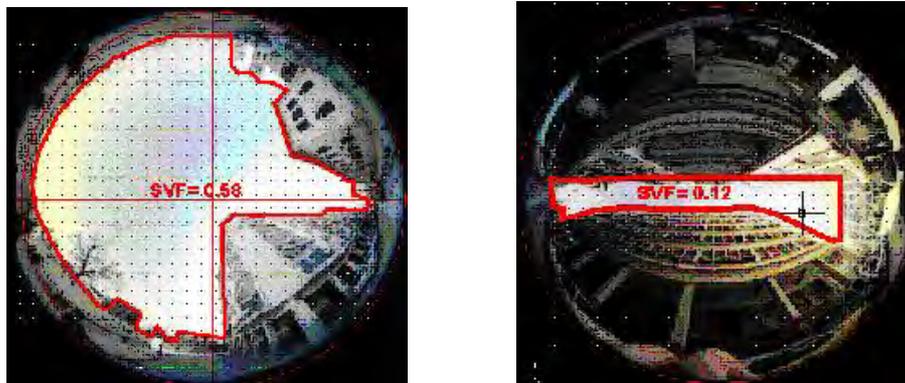


Figure n°24 : SVF au niveau des deux stations 1 et 4

- 2- La station n°5 est un espace de type « dièdre » orienté vers le Sud-Ouest. D'après la figure n°25, cet espace connaît une température de l'air presque égale à celle du canyon pendant toute la nuit et le début de la matinée, sauf qu'elle connaît une hausse importante dans l'après midi , vu que :

¹⁰ GLOCKNER ,Stéphane. *Contribution à la modélisation de la pollution atmosphérique dans les villes.* Thèse de doctorat. Université Bordeaux1. 2000 .p17

- d'après la photo fish eye (figure n°26), dans l'après midi , le soleil frappe directement cet espace pendant une longue durée (06 heures environ).
- Le SVF de l'espace dièdre = 0,23 est plus important que celui du canyon n° 4 = 0,12 (figures n°26 et 27).

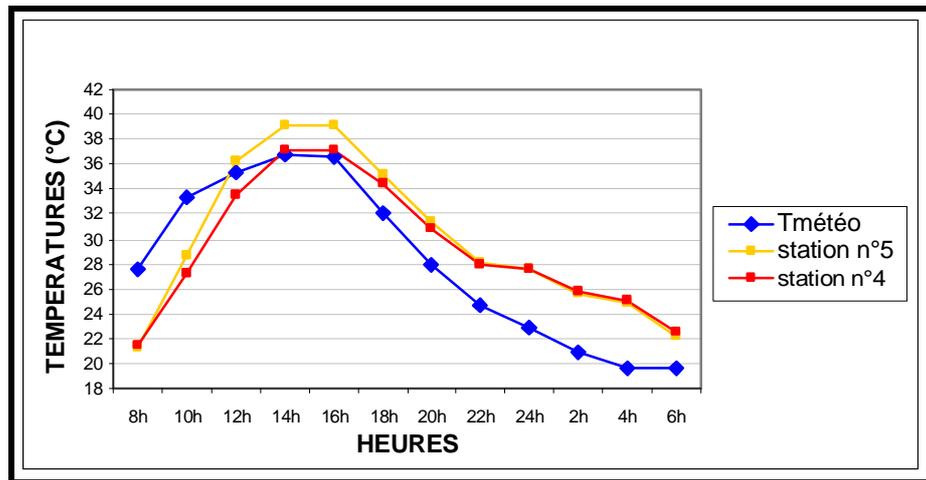


Figure n°25: Variation de la température de l'air : axe NORD-EST/SUD-OUEST
Stations 5 et 4

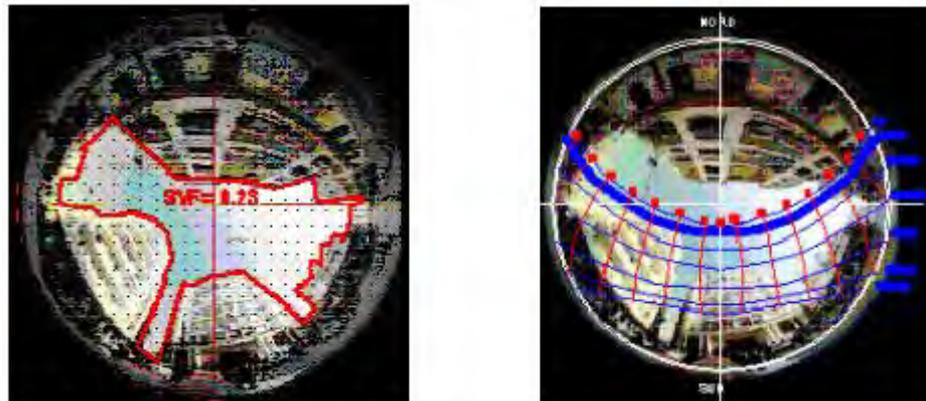


Figure n°26 : SVF et ensoleillement de la station 5

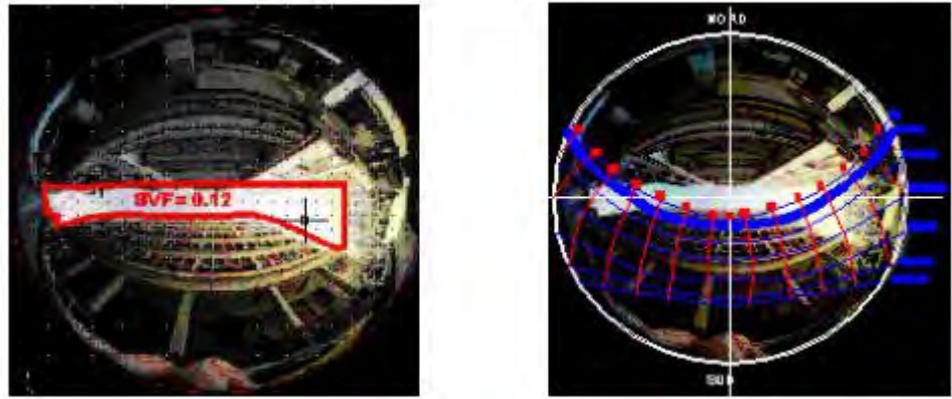


Figure n°27 : SVF et ensoleillement de la station 4

3- Variation de température de l'air entre espace dégagé et espace dièdre :

Malgré que les variations de la température de l'air de ces deux espaces ne sont pas très perceptibles, il est important de mentionner que la station n°5 qualifiée d'être de type dièdre est d'une température de l'air moins importante que celle de la station n°1. (figure n°28).

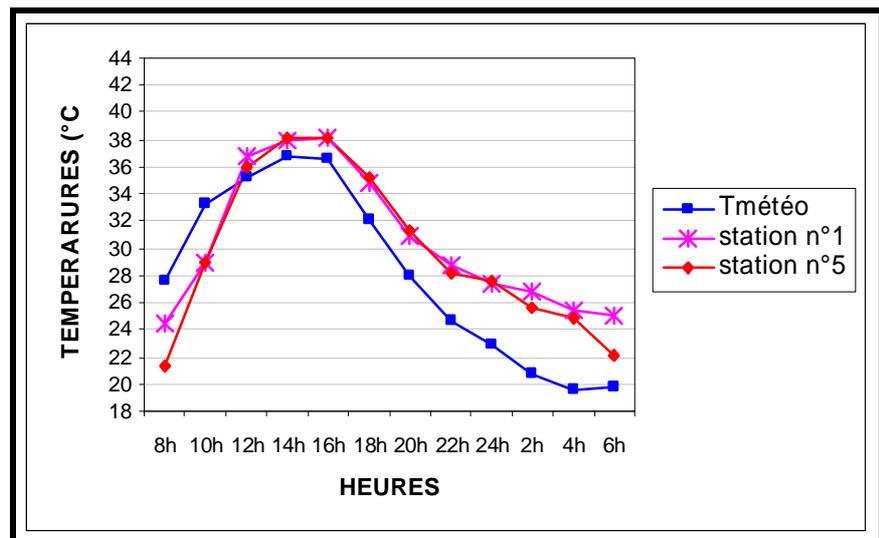


Figure n°28 : Variation de la température de l'air : axe NORD-EST/SUD-OUEST Stations 1 et 5

Cette variation est due à :

- l'exposition de l'espace dégagé aux radiations solaires intenses de l'été pendant une durée plus importante (10h 15mn) que l'espace dièdre (06h 15mn) (figures n°29 et 30) dans lequel les rayons solaires sont interrompus par des obstacles verticaux.¹¹

¹¹ IZARD, Jean Louis. 2000. [in http://www.marseille.archi.fr](http://www.marseille.archi.fr)

- Le SVF calculé au niveau de ces deux espaces accentue ce résultat¹² : 0,58 dans l'espace dégagé et 0.23 pour l'espace dièdre (figures n° 29 et 30).

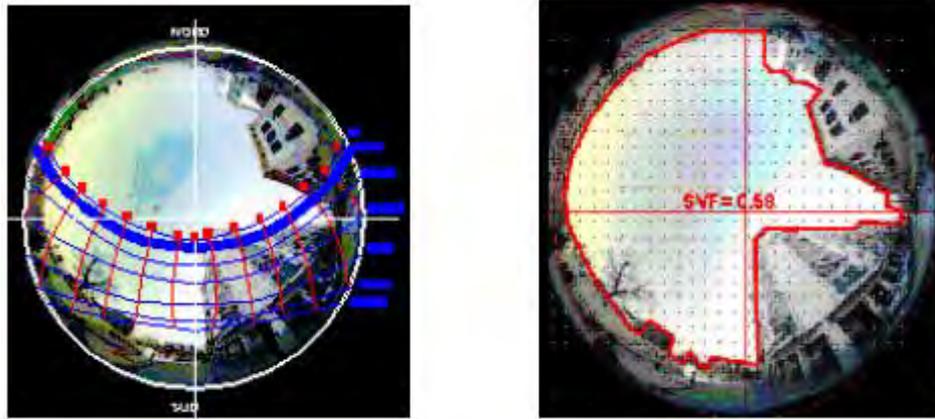


Figure n°29 : SVF et ensoleillement de la station 1

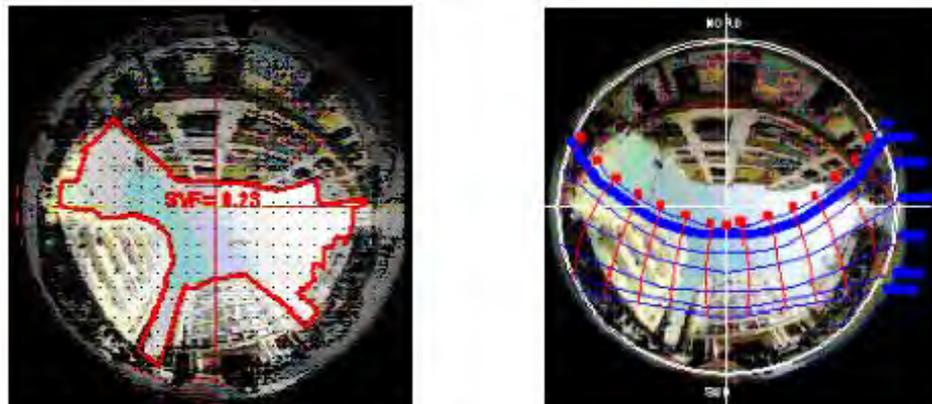


Figure n°30 : SVF et ensoleillement de la station 5

4- Le rôle du facteur d'ouverture au ciel (SVF) :

le facteur d'ouverture ou de visibilité du ciel appelé aussi facteur du ciel est défini comme étant la portion du ciel vue à partir d'un point précis¹³. Ce facteur peut être calculé par une méthode plutôt géométrique adoptée par Jean Louis IZARD dans sa recherche sur le microclimat des formes urbaines en l'an 2000. elle consiste en la répartition de la surface d'un cercle sous forme de grille dont les points sont équidistants, ensuite le

¹² DE HATTEN, Anne. *Mise en évidence des caractéristiques générales de l'îlot de chaleur urbain Strasbourgeois*. Thèse de maîtrise de Géographie. Université Louis Pasteur de Strasbourg. 2002. p10

¹³ Marie.K. Svensson. *Sky view factor analysis- Implications for urban air temperatures differences*. Meteorol. 2004;11:201-211

superposer sur une photo fish eye. Le rapport du nombre de points vue par le ciel sur le nombre total des points de la grille donne la valeur en pourcentage du SVF¹⁴ (figure n°31).

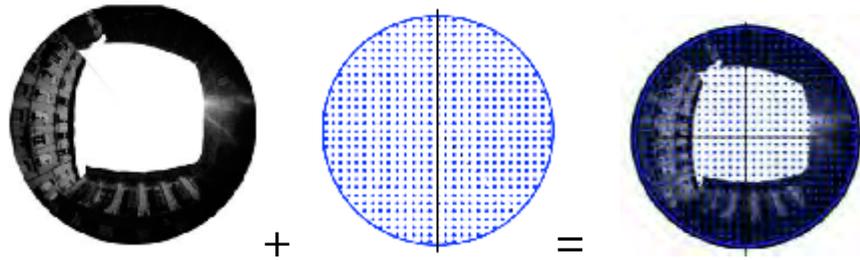


Figure n°31 : Méthode de calcul du SVF

Source : IZARD, Jean Louis, 2000

Ce facteur joue un rôle déterminant dans le surchauffe de l'air et des surfaces. Cette conclusion prouve ce que K.E.Runnals et T.R.Oke ont conclu en l'an 2000 après un travail de recherche élaboré sur le microclimat urbain de la ville de Strasbourg.¹⁵

Afin de comprendre le maximum de paramètres influents sur l'ambiance thermique de notre cas d'étude, on a procédé au calcul du SVF au niveau des différentes stations de mesure.

Après une évaluation des variations des températures du sol et de l'air en fonction des différentes valeurs du SVF, il s'est avéré que le SVF influe énormément et surtout sur la température du sol. (figure n°32).

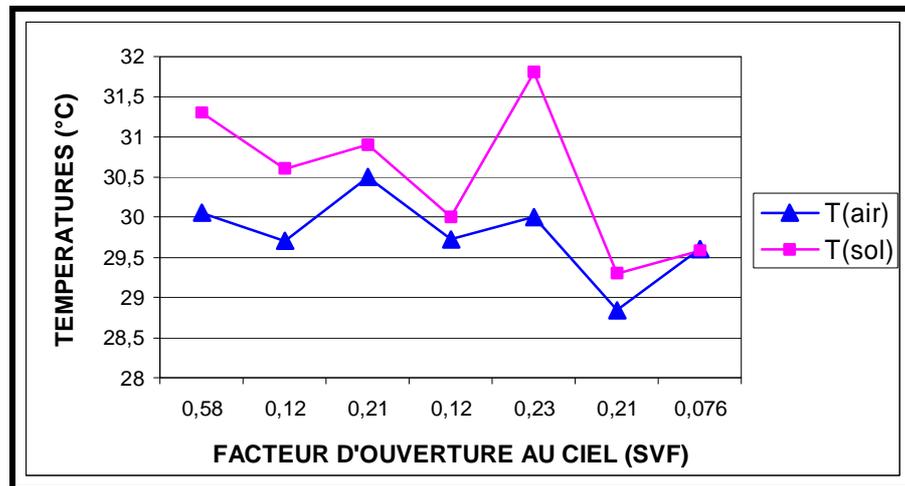


Figure n°32 : Variations des températures de l'air et de surfaces en fonction du SVF

Stations : 1,2,3,4,5,A et C

¹⁴ IZARD, Jean Louis. 2000. [in http://www.marseille.archi.fr](http://www.marseille.archi.fr)

¹⁵ DE HATTEN, Anne. *Mise en évidence des caractéristiques générales de l'îlot de chaleur urbain Strasbourgeois*. Thèse de maîtrise de Géographie. Université Louis Pasteur de Strasbourg. 2002.P10

Les figures de 33 à 39 montrent qu’au niveau de toutes les stations de mesure, une grande corrélation existe entre la température surfacique du sol et la température de l’air. Par conséquent on peut déduire que la température de l’air augmente considérablement en fonction de l’augmentation du facteur d’ouverture au ciel (SVF).

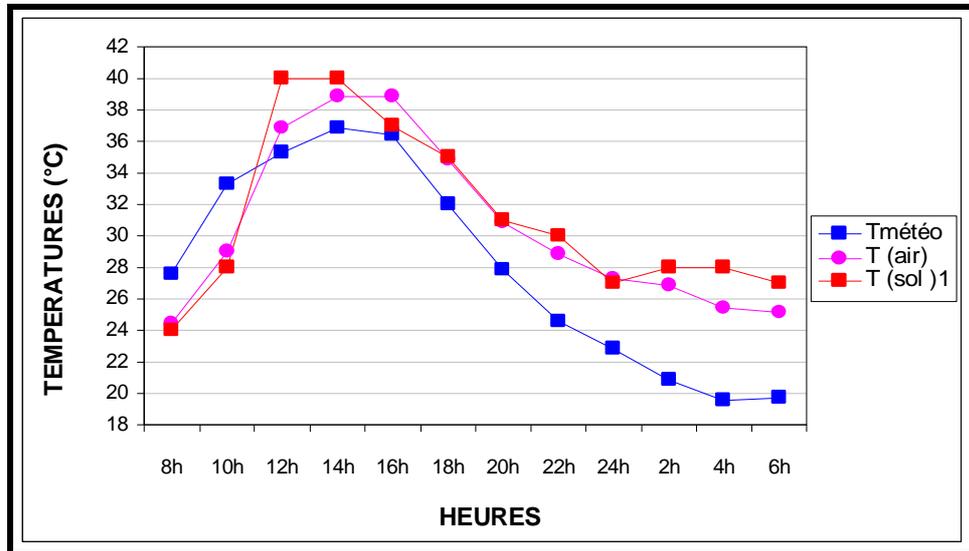


Figure n°33 : Comparaison entre les températures de l'air et du sol Station n°1

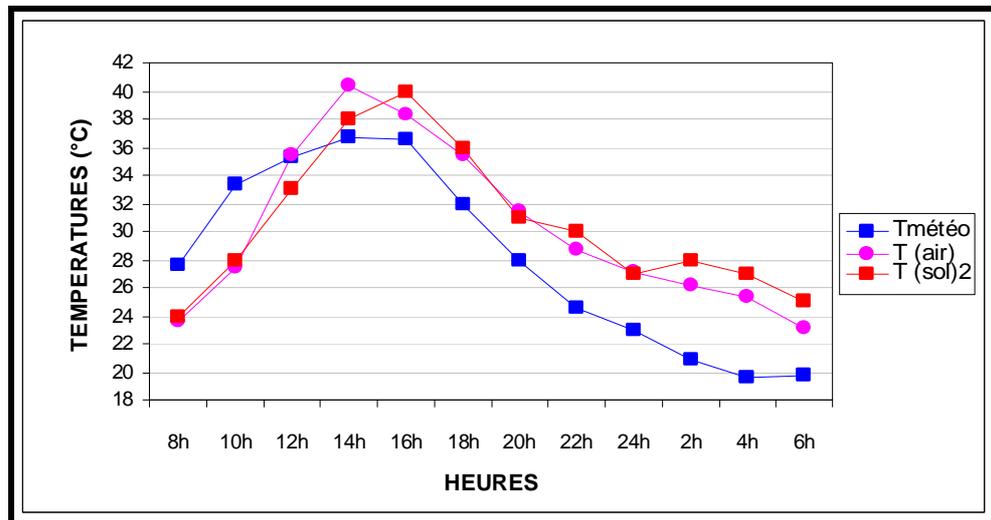


Figure n°34 : Comparaison entre les températures de l'air et du sol Station n°2

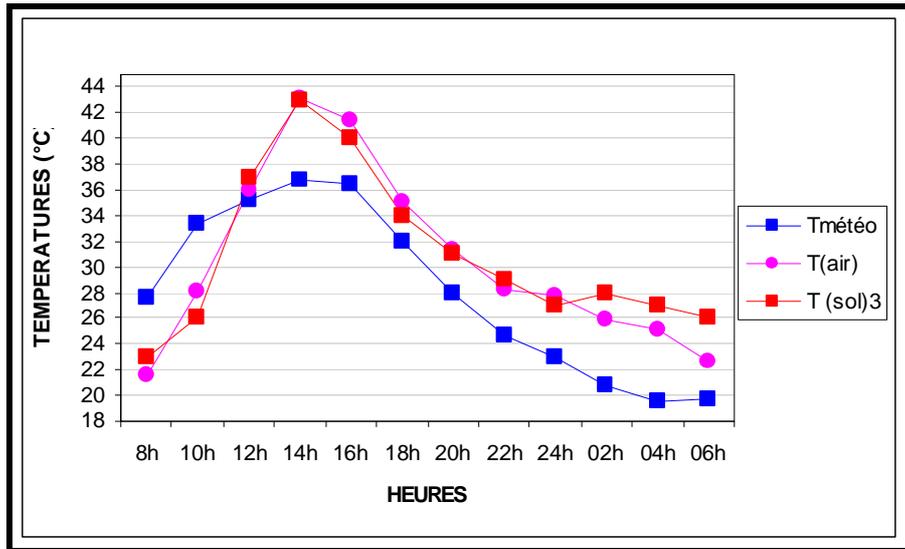


Figure n°35 : Comparaison entre les températures de l'air et du sol Station n°3

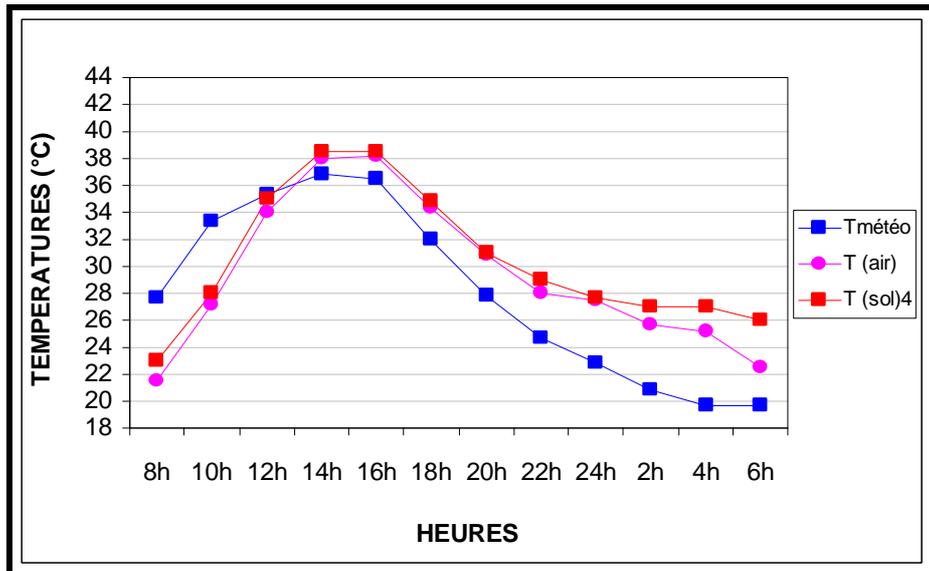


Figure n°36 : Comparaison entre les températures de l'air et du sol Station n°4

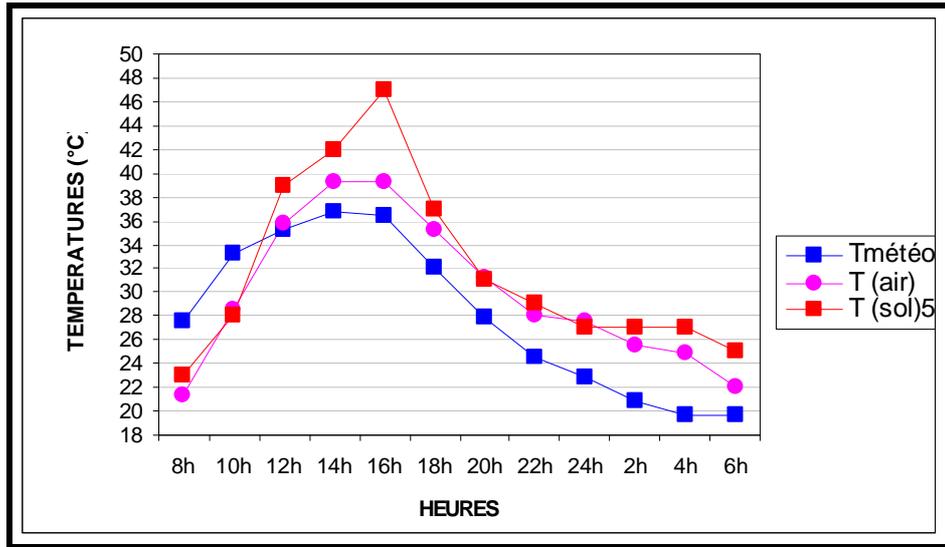


Figure n°37 : Comparaison entre les températures de l'air et du sol : Station n°5

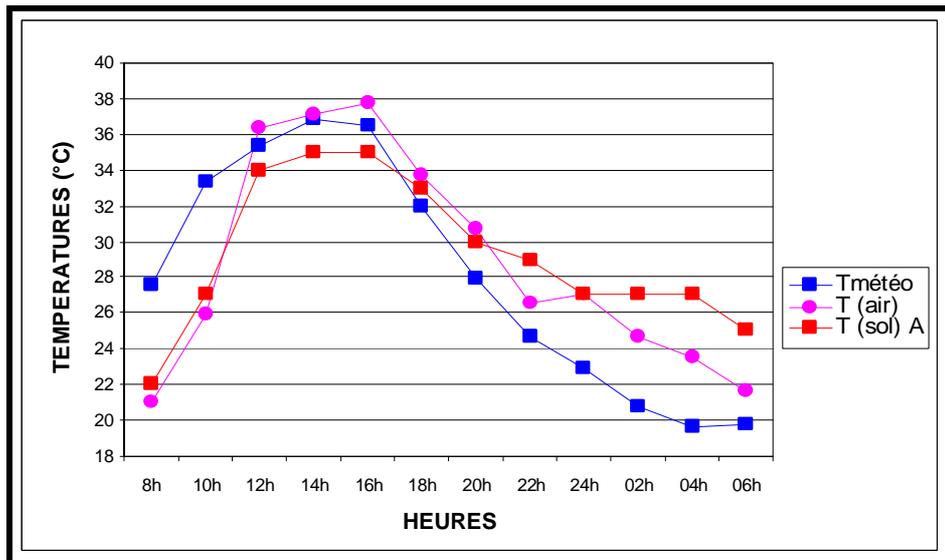


Figure n°38 : Comparaison entre les températures de l'air et du sol : Station n° A

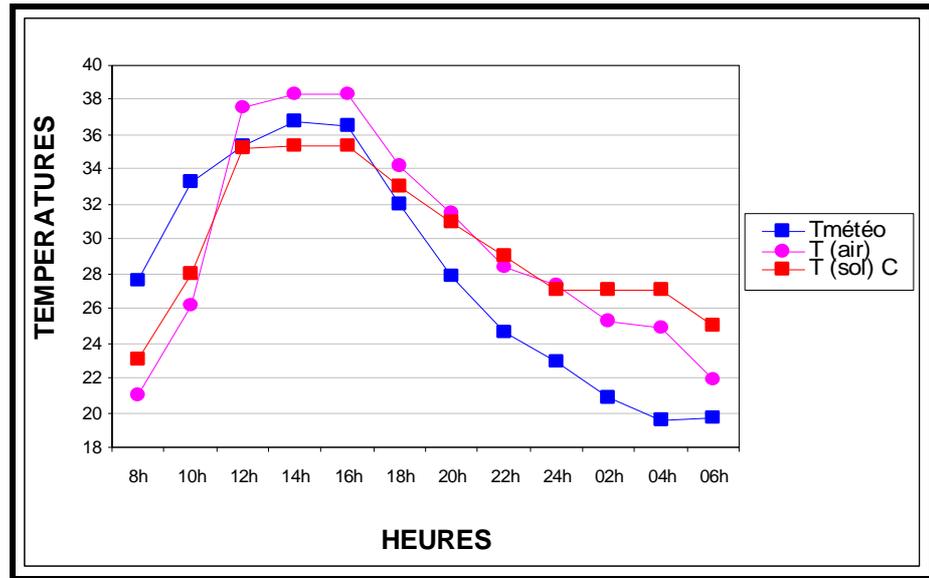


Figure n°39 : Comparaison entre les températures de l'air et du sol Station n° C

B. Comparaison entre les deux canyons : Nord-Est/Sud-Ouest et Nord-Ouest/Sud-Est :

1- La température de l'air dans le canyon n°4 orienté NE/SO, est en général moins importante que celle mesurée dans le canyon n°C orienté NO/SE (figures n°40) et ce pendant les 24 heures les plus chaudes de la période de mesures. Ceci, est du au fait que :

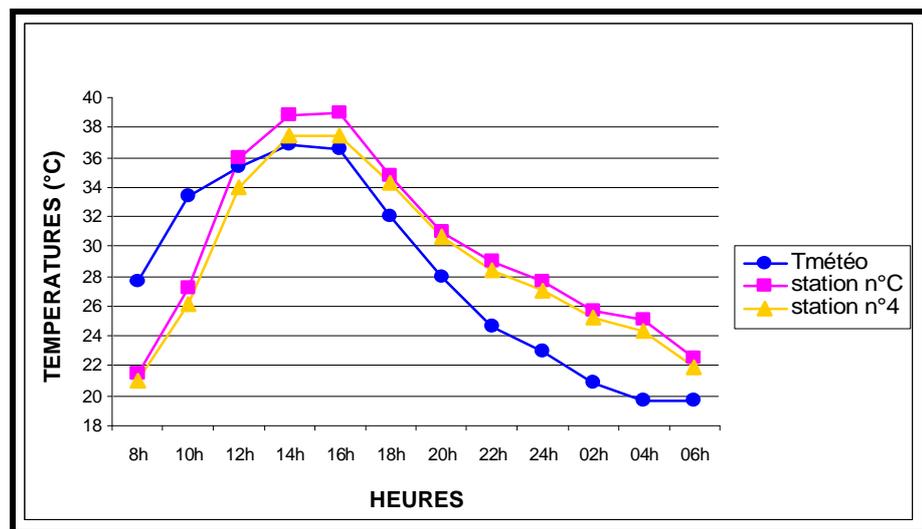


Figure n°40: Variation de la température de l'air entre les deux canyons N°4 et C

Ø Le ratio H/W du canyon n°4 (= 4.7) est plus important que celui du canyon n°C (= 3.3) (figures n°41 et 42), ce qui contribue à la création d'un effet d'ombre assez important et diminue considérablement la durée d'insolation du canyon n°4 , par conséquent les parois du canyon reçoivent moins de rayons solaires ¹⁶.(figures n°43 et 44)

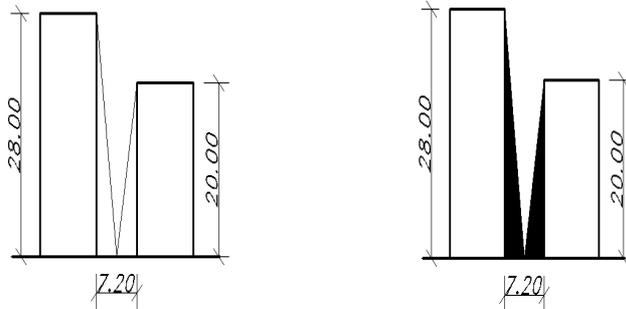


Figure n°41 : Coupe transversale du canyon n°C
H/W = 3.3

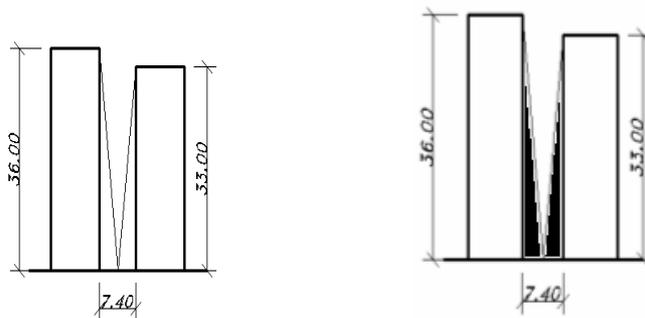


Figure n°42 : Coupes transversale du canyon n°4
H/W = 4.7



Figure n°43 : SVF au niveau des stations 4 et C

¹⁶ Santamouris.M , Papanikolaou.N, koronahis I, Livada.I et Asimakopoulos.D. “*thermal and air flow characteristics in a deep pedestrian canyon under hot weather conditions*”. Atmospheric environment,1999;33:4503-21

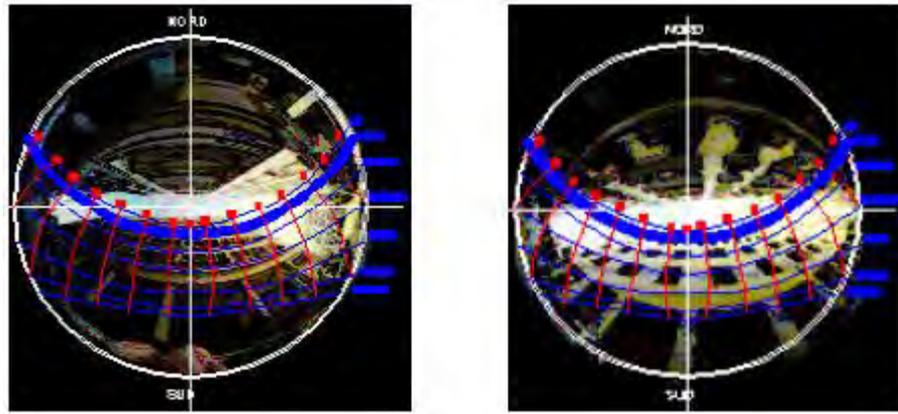


Figure n°44 : Ensoleillement au niveau des stations 4 et C

2- Relation entre le SVF et le ratio H/W:

Dans un canyon urbain, le ratio de la hauteur moyenne des constructions sur la largeur moyenne de la rue affecte d'une façon considérable la température de l'air et des surfaces ¹⁷. Le ratio H/W est inversement proportionnel au facteur d'ouverture au ciel (SVF). Cependant, le phénomène qui s'est produit est que le SVF au niveau du canyon n°C est plus important que celui calculé au niveau du canyon n°4 malgré que son ratio H/W est moins important. Ceci est expliqué par le fait que le canyon n°4 est affecté par la proximité d'un espace dièdre (partiellement ouvert) ce qui a engendré la visibilité d'une importante portion du ciel.

¹⁷ Armfield..J. "Street design and urban canyon solar access". Energy en buildings,1990;14:117-31

3-2- En hiver :

La température de l'air au niveau des deux canyons est plus élevée que celle enregistrée par les services de la météo. Ce phénomène est du entre autre à la forte concentration des activités anthropiques (trafic routier, chauffage...) engendrant l'évacuation d'une quantité d'énergie considérable issue de combustibles divers ¹⁸.

(figures n°45 et 46)

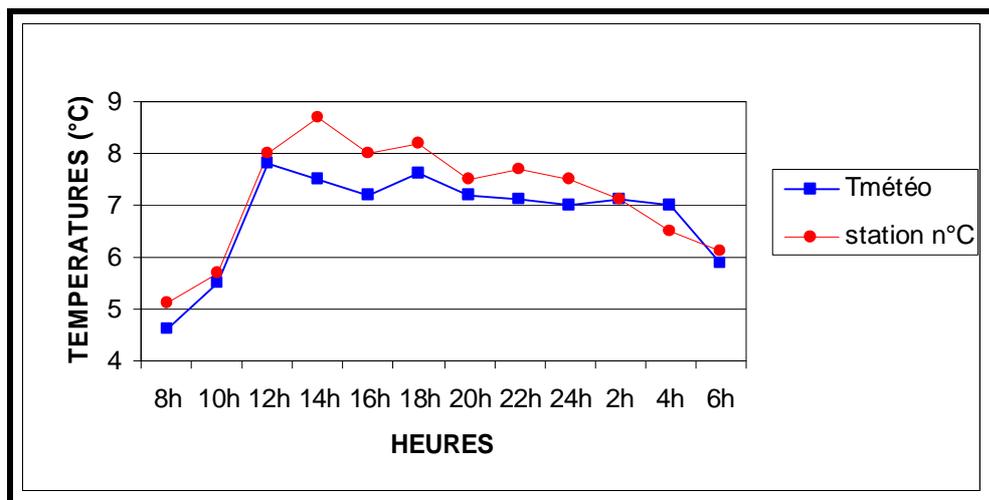


Figure n°45 : Variations de la température de l'air au niveau du canyon n°C par rapport à la température météo

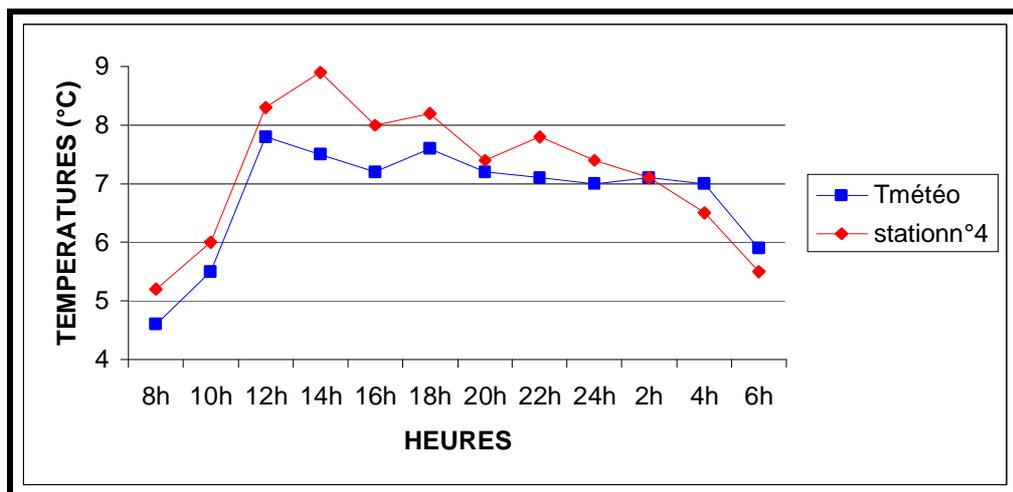


Figure n°46 : Variations de la température de l'air au niveau du canyon n°4 par rapport à la température météo

¹⁸ JOËLLE, Goyette Pernot et RAPHAËL Compagnon. *Energie et environnement*. Rapport de séminaire. École d'ingénieur et d'architecte de Fribourg, Genève, , 2003.

La température de l'air dans le canyon n°4 est plus élevée que celle enregistrée dans la station n°1 qui consiste en un espace complètement ouvert. Ceci est du évidemment à l'exposition de ce dernier aux vents froids d'hiver alors que la protection des deux canyons de ces vents contribue à l'élévation de la température de l'air (figures n°47).

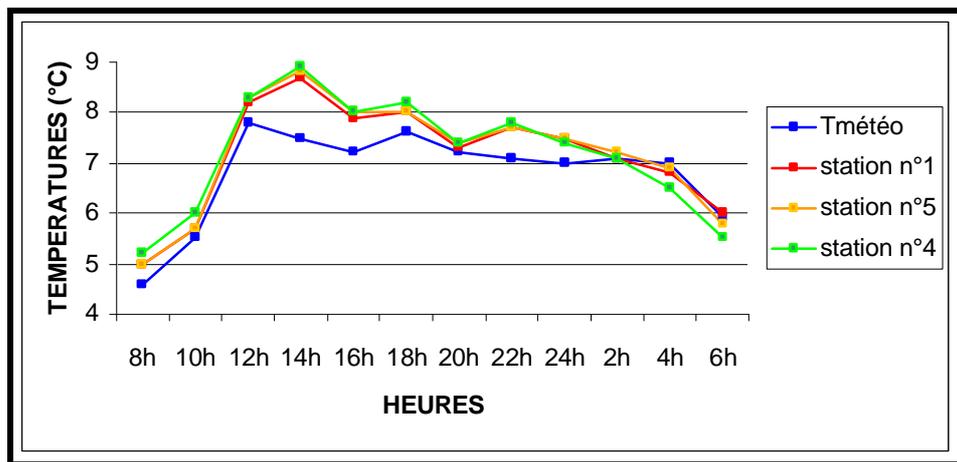


Figure n°47 : Variations de la température de l'air au niveau des stations n°1, 5, et 4 par rapport à la température météo

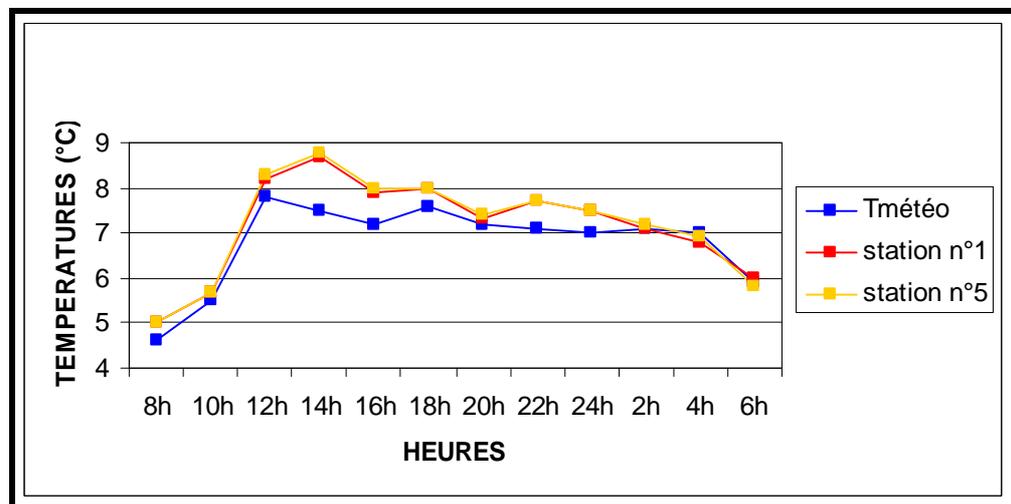


Figure n°48: Variations de la température de l'air au niveau des stations n°1 et 5 par rapport à la température météo

La température de l'air au niveau de la station n°4 est presque égale à la température de l'air dans le canyon n°C, ce qui peut être expliqué par le fait que les deux

canyons sont complètement protégés des vents froids. En plus qu'ils ne sont pas du tout touchés par les rayons solaires du fait que la hauteur solaire est réduite en hiver (figure n°49).

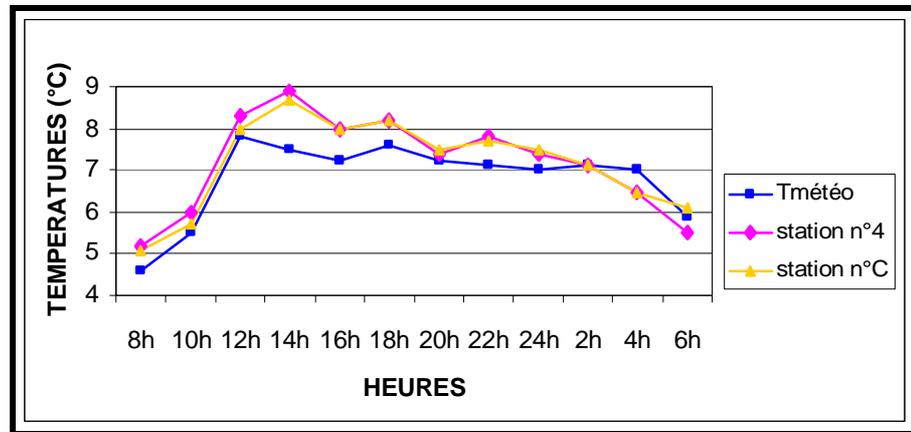


Figure n°49 : Variations de la température de l'air au niveau des canyons n° 4 et C par rapport à la température météo

CONCLUSION :

Sur la base de cette investigation sur un site urbain existant, et en comparant des espaces géométriquement différents (dégagé, dièdre et canyon), on a pu classer les causes de surchauffe de l'air comme suit :

- Le SVF est un paramètre essentiel causant le surchauffe de l'air en milieux urbains (En terme de géométrie des canyons , la largeur de ceux-ci dicte l'importance du SVF).
- Comme l'ont confirmé Pearlmutter.D, Bitan.A et Berliner.P en 1999 en analysant les effets des radiations solaires ,l'ombrage des espaces extérieurs est d'un grand avantage étant donné qu'il contribue fortement à la réduction des gains de chaleur radiante ce qui influe directement sur la température de l'air.¹⁹ Dans un climat semi aride, la géométrie d'un canyon urbain crée cet effet d'ombre et adoucie la température des surfaces et de l'air.
- Le surchauffe des centres urbains (en prenant comme exemple notre cas d'étude) par rapport aux zones périphériques est une réalité, vu que d'après les résultats de cette recherche, la température de l'air au centre ville dépasse largement celle de la banlieue mesurée par les stations météorologiques. Son explication ne peut être que la réaction de plusieurs paramètres influents directement les climats urbains :
 - Les matériaux utilisés en villes favorisent considérablement la restitution de la chaleur la nuit après son stockage pendant le jour.
 - L'albédo notamment celui de l'asphalte (= 0,05)couvrant les chaussées joue également un rôle très important quant à l'augmentation de la température de l'air.
 - Le manque flagrant de végétation et de source de rafraîchissement.
 - L'utilisation intense des activités anthropiques (trafic routier, , climatisation domestique, ...etc.).
- En comparant la température de l'air dans des canyons orientés différemment on a déduit que le canyon orienté NE-SO est plus frais que celui orienté NO-SE . ceci est dû au fait que le ratio de la hauteur moyenne des constructions sur la largeur moyenne de la

¹⁹ Pearlmutter.D, Bitan.A et Berliner.P. "*Microclimatic analysis of compact urban canyons in an arid zone*". Atmospheric environment,1999;33:4143-50

chaussée du canyon NE-SO est le plus élevé et par conséquent un effet d'ombre plus important.

Ces conclusions mettaient en valeur la température de l'air et de surfaces en tant que facteurs déterminant de l'ambiance thermique extérieure et ce par rapport à la température météorologique comme référence de base. Cependant elles ne peuvent en aucun cas quantifier l'intensité des radiations solaires causant le surchauffe de l'air et des surfaces ni encore évaluer le confort thermique dans la rue vu que l'instrument utilisé ne permet pas une recherche assez poussée. Pour ce, une simulation numérique s'avère indispensable et fera l'objet du prochain chapitre.

CHAPITRE VIII

SIMULATION NUMERIQUE



INTRODUCTION :

L'évaluation du confort thermique extérieur au moyen de simulation numérique est devenue un sujet d'actualité. Les programmes de simulation divers ouvrent des axes de recherches assez impressionnants et permettent de vérifier et d'évaluer les théories les plus anciennes et celles les plus récentes ayant trait à la bioclimatique urbaine et architecturales. La présente recherche s'est basée sur le programme de simulation ENVI-met3 , un logiciel déjà testé et exploité dans plusieurs travaux de recherche.

L'objectif de ce chapitre est d'abord de prouver les résultats de la campagne de mesure détaillée dans le chapitre précédent, puis de les compléter par l'évaluation du confort thermique au niveau des deux axes concernés, et enfin de procéder au changement des paramètres supposés avoir un impact considérable sur le confort extérieur en l'occurrence la géométrie des canyons (H/W) et leur orientation.

ENVI-met3 permet l'évaluation du confort thermique sur la base de l'indice de confort PMV ou vote moyen prévisible. Cet indice initialement développé pour les milieux intérieurs fût adapté aux espaces extérieurs par Jendritzky en 1993.¹

Le chapitre abordera les points suivants :

- Description du logiciel de simulation ENVI-met3
- Simulation du site d'investigation
 - * Résultats
- Changement des paramètres
 - * Résultats

¹ Michael, BRUSE,2004 **in** [http:// www.envimet.com](http://www.envimet.com)

I. Description du logiciel de simulation ENVI-met3 :

ENVI-met3 est un programme tridimensionnel de simulation élaboré par « Michael Bruse » de l'institut de géographie à l'université de « Bochum » en Allemagne.² Ce logiciel permet de calculer l'ensemble des variables climatiques qui permettent d'évaluer le bilan énergétique des espaces extérieurs : température et vitesse de l'air, rayons solaires de courtes et grandes longueurs d'ondes, températures des surfaces, indices de confort...etc.

ENVI-met3 peut être exploité pour les structures urbaines les plus complexes en se basant sur une base de données devant comporter les paramètres de référence des surfaces (conductivité thermique, albédo...) et de l'air (données météorologiques relatives à la température et l'humidité relative de l'air) ainsi que les spécificités de l'aire objet de la simulation (latitude, longitude et altitude). L'aspect géométrique de l'aire à simuler est également pris en considération. ENVI-met3 offre la possibilité de dessiner les différents composants de l'aire urbaine en question avec leurs dimensions réelles et à une échelle appropriée.

L'exploitation du programme ENVI-met3 est jumelée par celle d'un autre programme appelé « Leonardo » qui permet de lire les résultats de la simulation en 2D et 3D déjà effectuée par ENVI-met3 (figure n°1)

La simulation peut être effectuée sur micro-ordinateur personnel, seulement elle peut prendre plusieurs heures selon la capacité de ce dernier. Cependant, et afin de pouvoir lire les résultats, Leonardo nécessite pour son exploitation un micro-ordinateur assez puissant d'une mémoire minimale de 256 Mo.

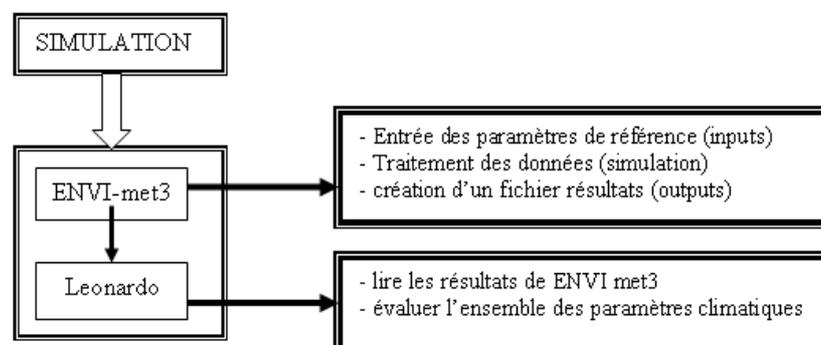


Figure n° 1 : Organigramme récapitulatif des étapes de la simulation

² Michael, BRUSE, 2004 in [http:// www.envimet.com](http://www.envimet.com)

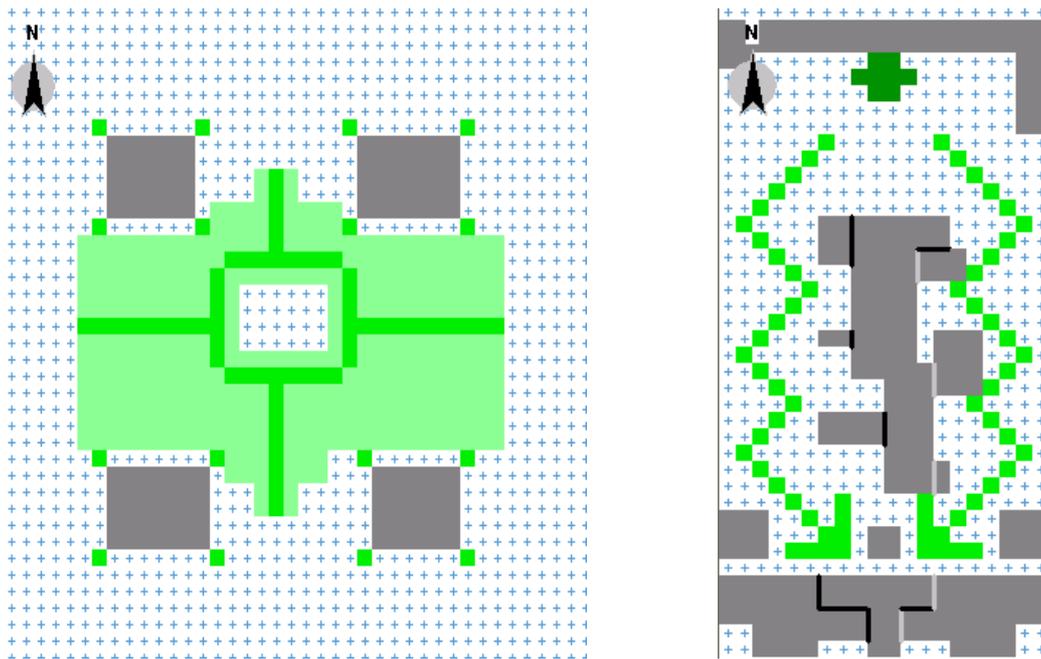


Figure n°2 :Exemple de deux sites simulés tels qu'ils sont dessinés dans ENVI-met3
Un parc et un centre urbain
Source : <http://www.envimet.com>

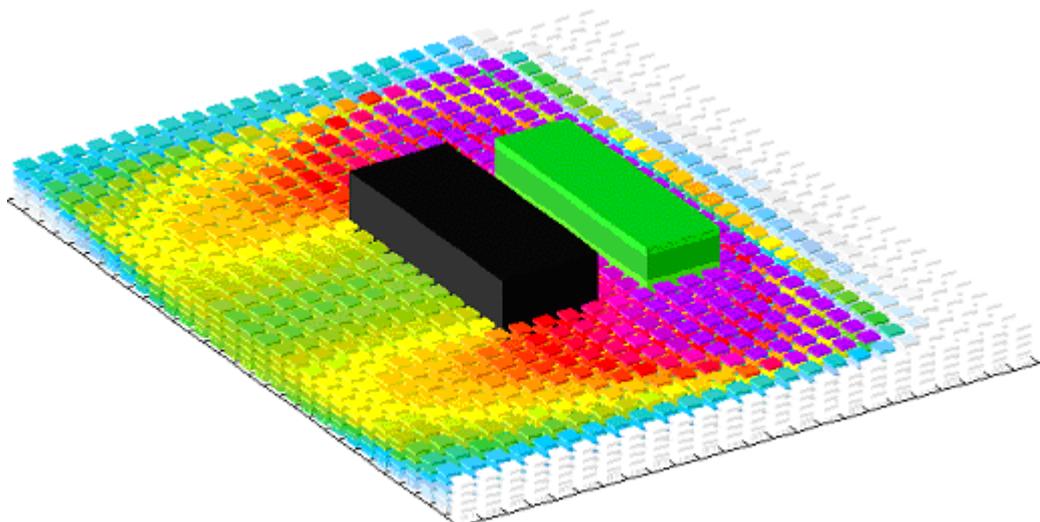


Figure n°3 :Exemple d'un site simulé tel qu'il est dessinés dans ENVI-met3
Un canyon urbain
Source : <http://www.envimet.com>

II. Exploitation du programme ENVI-met3 dans des recherches universelles :

Ce logiciel, dont la dernière actualisation s'est effectuée en l'an 2004 par son auteur Dr Michael Bruse, a été exploité et adopté par plusieurs laboratoires de recherche et institut d'enseignement supérieur tel que le laboratoire « Image et Ville » de l'université Louis Pasteur de Strasbourg et l'institut de météorologie de Freiburg en Allemagne³.

ENVI-met3 a été également l'outil de recherche de plusieurs travaux ayant trait à la microclimatologie urbaine par de nombreux chercheurs entre autres le chercheur allemand « Helmut Mayer » en collaboration avec « Fazia Ali Toudert » dans leur recherche intitulée « Etude numérique sur les effets des canyons urbains dans les climats chauds et secs »⁴.

Ce programme est soumis à une mise à jour périodique chaque année afin qu'il puisse être adaptable aux dernières découvertes dans le domaine de la microclimatologie urbaine. Il peut être associé à d'autres programmes dont certains ont été élaborés par le même auteur. Ces avantages que nous offre le programme ENVI-met3 ont encouragés les chercheurs dans le monde entier à le maîtriser afin d'une fiabilité certaine de leurs résultats.

III. Simulation des deux axes NE/SO et NO/SE :

Dessiner les deux axes routiers qui ont déjà fait l'objet d'une campagne de mesure est la première étape à effectuer. Deux échelles sont à respecter, une échelle planimétrique où la vue en plan doit être à une échelle adéquate reflétant la réalité du terrain et une échelle altimétrique où les différentes hauteurs des constructions doivent être soigneusement présentées. Ce fichier de dessin est de type .in (figures n°13-a et 13-b)

³ <http://www.envi-mett.com>

⁴ Ali-Toudert F, Helmut M [in www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

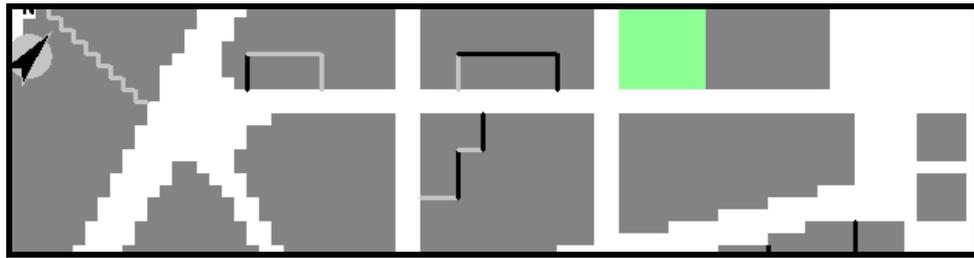


Figure n°13-a
Plan du 1^{er} axe simulé ; Nord Est -Sud Ouest
Dessiné dans un fichier .in

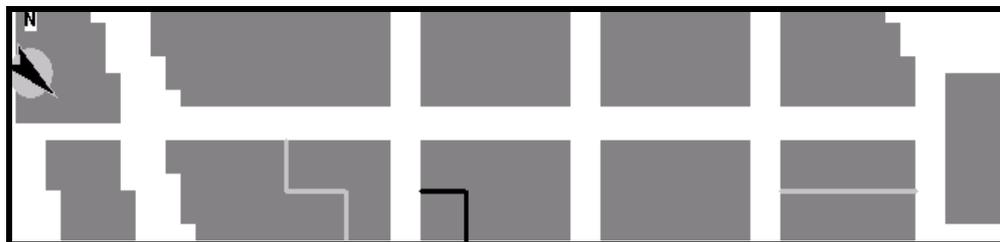


Figure n°13-b
Plan du 2^{ème} axe simulé ; Nord Ouest -Sud Est
Dessiné dans un fichier .in

La deuxième étape consiste en la configuration du dessin précédent en créant un fichier dont le type est désigné dans ENVI-met par (.cf). Ce fichier contient toutes les données d'entrée (inputs) de l'aire à simuler (tableau n°1)

Situation de la ville de Constantine	Longitude: 7.23 EST. Latitude: 36.17 NORD. Altitude: 650m
Type de Climat	Chaud et sec en été (semi aride)
Jour de la simulation (jour type d'été).	24 et 25 Juillet 2004
Durée de la Simulation.....	de 08:00 à 06:00 (24 heures)
L'aire à simuler.....	Voir figure ci dessous
Vitesse de l'air.....	2.1 m/s à 10 m au dessus de la terre
direction des vents dominants.....	Nord en été et Nord Ouest en hiver
Temperature intérieure[K].....	293 (20°C)
Conductance thermique des murs.....	0.379 [W/m²K]
Conductance thermique des toitures...	1.94 [W/m²K]
Albédo des murs.....	0.5
Albédo des toitures.....	0.5

Tableau n°1 : Paramètres du site simulé

La troisième étape sera le lancement de la simulation dont la durée est fonction de la complexité de l'aire à simuler. Enfin, la quatrième étape consiste en la lecture des résultats de la simulation, pour ce, il est nécessaire de faire démarrer le programme « Leonardo » qui donne la possibilité de lire les résultats recherchés en 2D et 3D (figure n°14-a et 14-b) avec une présentation basée sur des couleurs et des courbes.

Une animation est également possible avec « Leonardo » notamment pour la présentation du mouvement de l'air traversant un tissu urbain poreux, ou la présentation de la trajectoire et de la variation de la vitesse des particules des différents polluants contenus dans l'air.

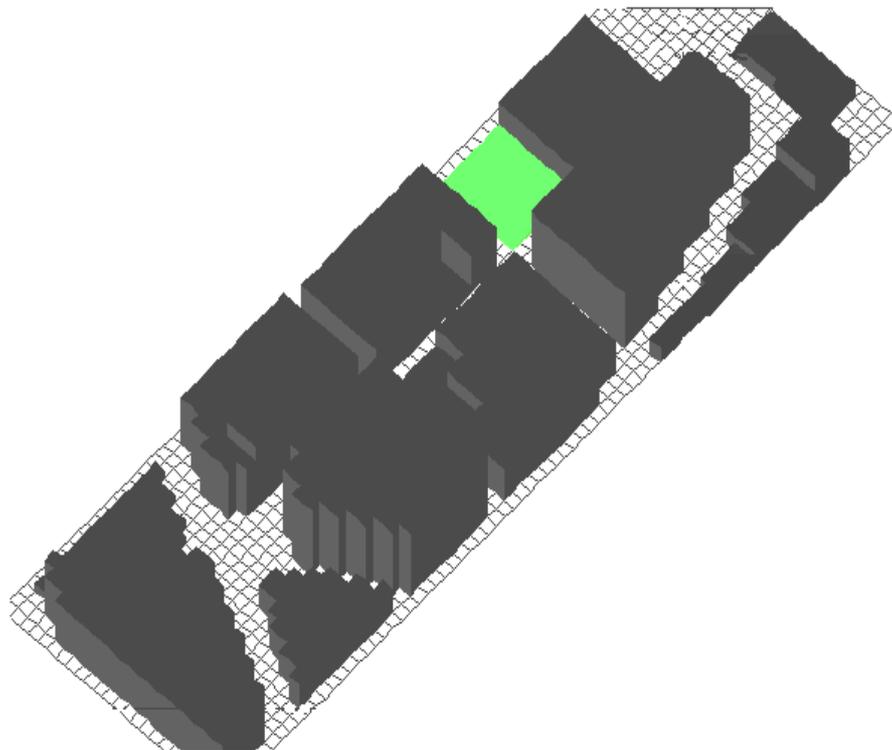


Figure n°14-a
Exemple n°1 d'une présentation en 3D
Vue en 3D du 1^{er} axe simulé ; Nord Est -Sud Ouest
Lue par Leonardo

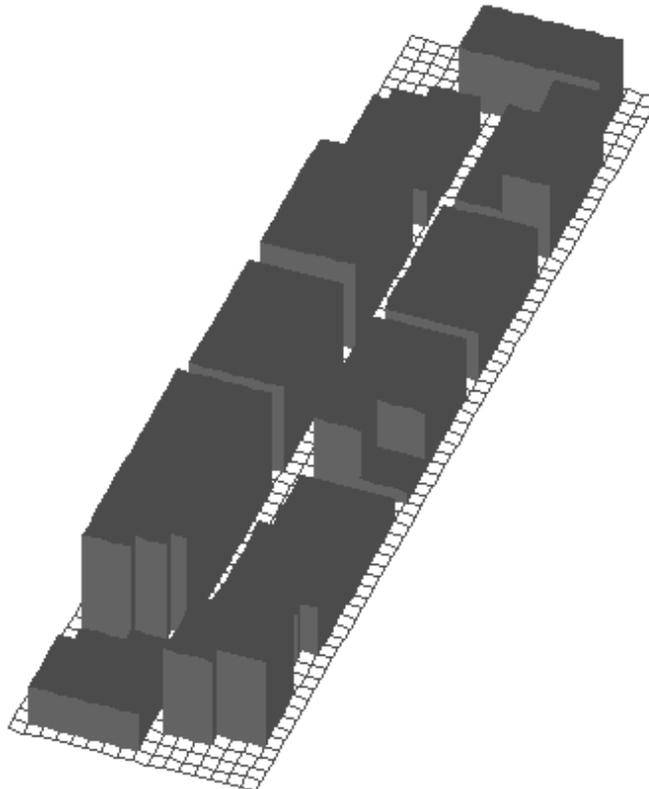


Figure n°14-b
Exemple n°2 d'une présentation en 3D
Vue en 3D du 2^{ème} axe simulé ; Nord Ouest -Sud Est
Lue par Leonardo

Résultats :

1. Validation du programme ENVI-met3 :

Les figures de 15 à 37 montrent la variation de quatre paramètres climatiques à savoir : la température de l'air, la température moyenne radiante, la vitesse de l'air ainsi que l'indice de confort PMV pour les deux axes routiers simulés NE/SO et NO/SE, et ce pendant trois différentes périodes de la journée :

- Début de la journée : 8h00
- Après midi : 15h00
- La nuit : 00h00

Les résultats obtenus ont été les suivants :

Axe NE-SO :

La température de l'air :

Au début de la journée (8h00), la température de l'air au niveau de l'espace dégagé de l'ordre de 24°C est plus élevée que le canyon n°4 et l'espace dièdre (figure n°15). Dans l'après midi (15h00), la température de l'air des deux espaces dégagé et dièdre connaît une hausse importante arrivant jusqu'à 35.5°C ET 35°C respectivement. Le canyon n°4 est légèrement moins chaud (figure n°19). A minuit, la température de l'air des trois espaces est moins élevée que dans la journée de l'ordre de 30°C dans les espaces dièdre et dégagé et 29°C au niveau du canyon (figure n°23).

Ce constat résulte qu'au niveau de l'orientation NE-SO, avec un ratio H/W= 4.7, le canyon offre plus de fraîcheur que les deux espaces dégagé et dièdre. Ce résultat est nettement conforme à celle obtenue par la campagne de mesure précédemment détaillée.

Température moyenne radiante et PMV:

La température moyenne radiante au niveau de l'ensemble des espaces dégagé, dièdre et canyon connaît une grande corrélation avec la température de l'air et également avec l'indice de confort PMV. Ceci est expliqué par l'impact direct des irradiances provenant des différentes surfaces sur la température de l'air⁵

⁵ Swaid.H, Bar.E.M et Hoffman.M.E. "A bioclimatic design methodology for urban outdoor space".

Cette corrélation est présentée par le tableau suivant :

	Tair			MRT			PMV		
	8H00	15H00	00H00	8H00	15H00	00H00	8H00	15H00	00H00
Espace dégagé	24	35.6	30	71	79	21	3.0	6.5	1.36
Canyon	23.7	35	29	43	58	19.5	1.4	4.9	1.2
Espace dièdre	23.7	35.3	29.9	32	84.42	20.0	0.76	6.9	1.28

Axe NE-SO et NO-SE :

En procédant à une comparaison entre les deux canyons n°4 et C situés respectivement sur les deux axes NE-SO et NO-SE, il s'est avéré comme le montre le tableau ci-après que le canyon n°4 est le plus avantageux étant donné qu'il offre plus de confort que le canyon n°C. Il est également nettement apparent que plus la température de l'air est réduite, plus la température moyenne radiante et le PMV sont réduits.

	MRT			Tair			PMV		
	8H00	15H00	00H00	8H00	15H00	00H00	8H00	15H00	00H00
Canyon n°4 (NE-SO)	43	58	19.5	23.7	35	29	1.4	4.9	1.2
Canyon n°C (NO-SE)	43.8	60.6	18.25	23.8	36.4	30	1.44	5.15	1.21

Mouvement de l'air :

Au niveau des deux orientations, bien que la vitesse de l'air au-dessus des toits est généralement plus importante qu'à l'intérieur du canyon, elle connaît une stabilité assez apparente pendant la journée, variant entre 1.50 à 2.4 m/s au niveau de l'axe NE-SO (figures n°18, 22 et 26) et entre 0.80 à 1.20 m/s au niveau de l'axe NO-SE (figures n°30, 34 et 38). Ceci est dû au fait que les deux axes simulés sont complètement à l'abri des vents dominants Nord d'été.

1) Simulation de l'axe Nord Est -Sud Ouest

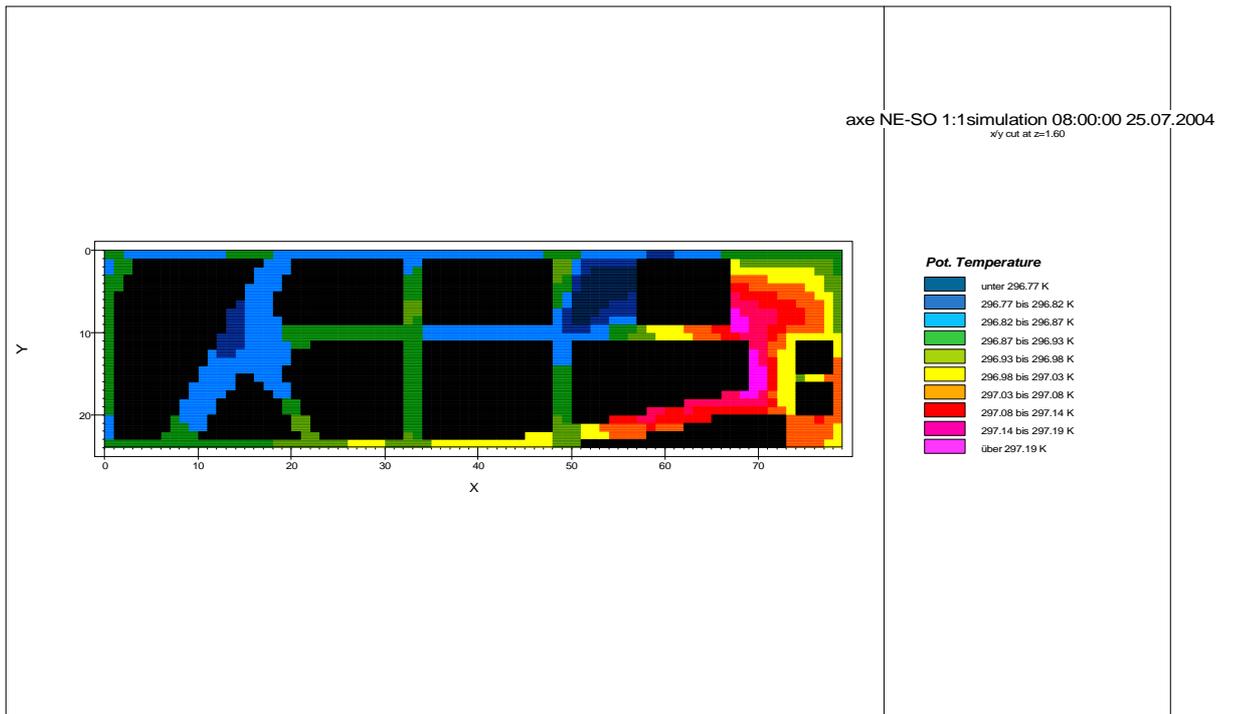


Figure n°15 : Variation de la température de l'air, axe NE-SO à 8h00

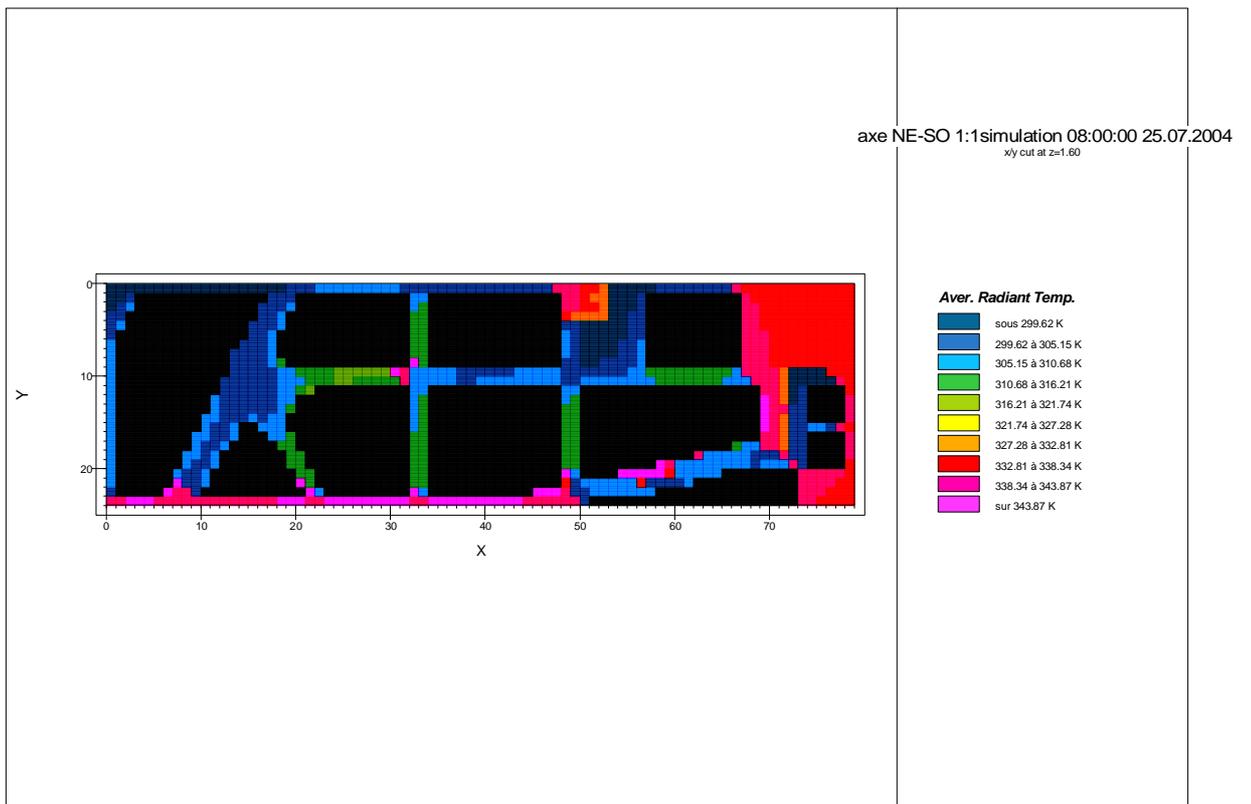


Figure n°16 : Variation de la température moyenne radiante, axe NE-SO à 8h00

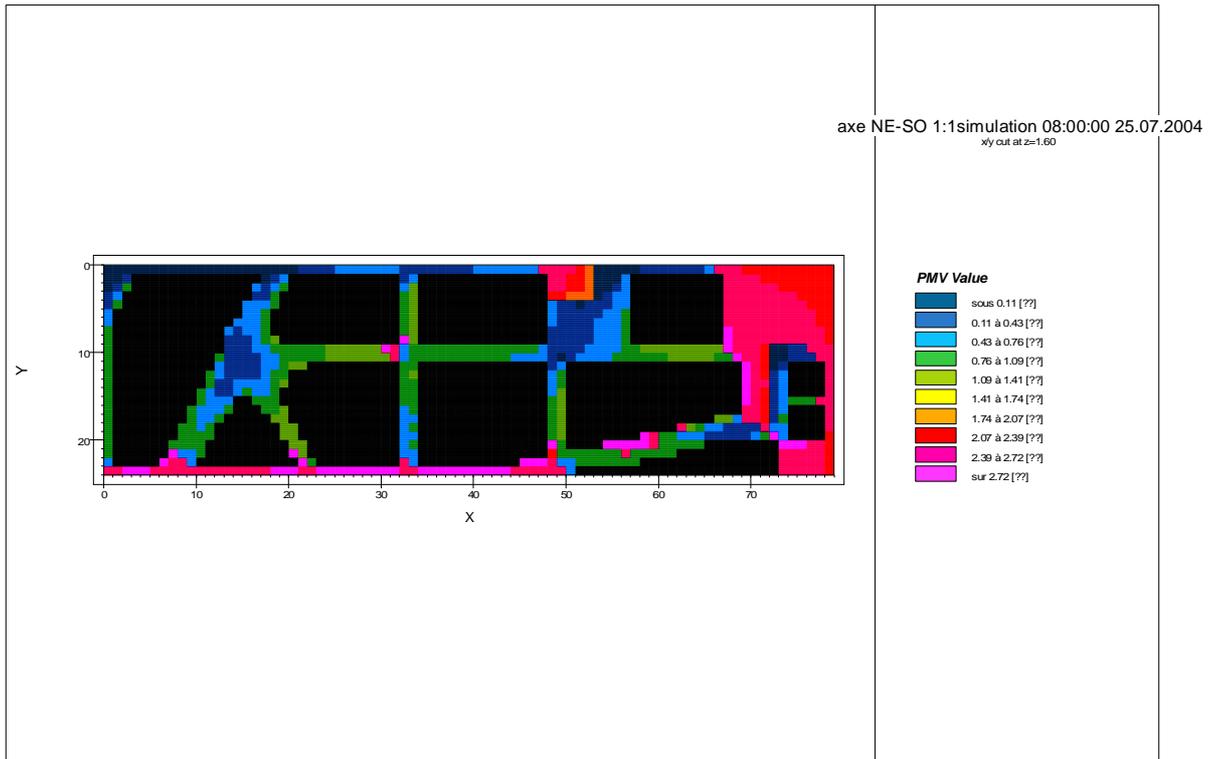


Figure n°17 : Variation du PMV, axe NE-SO à 8h00

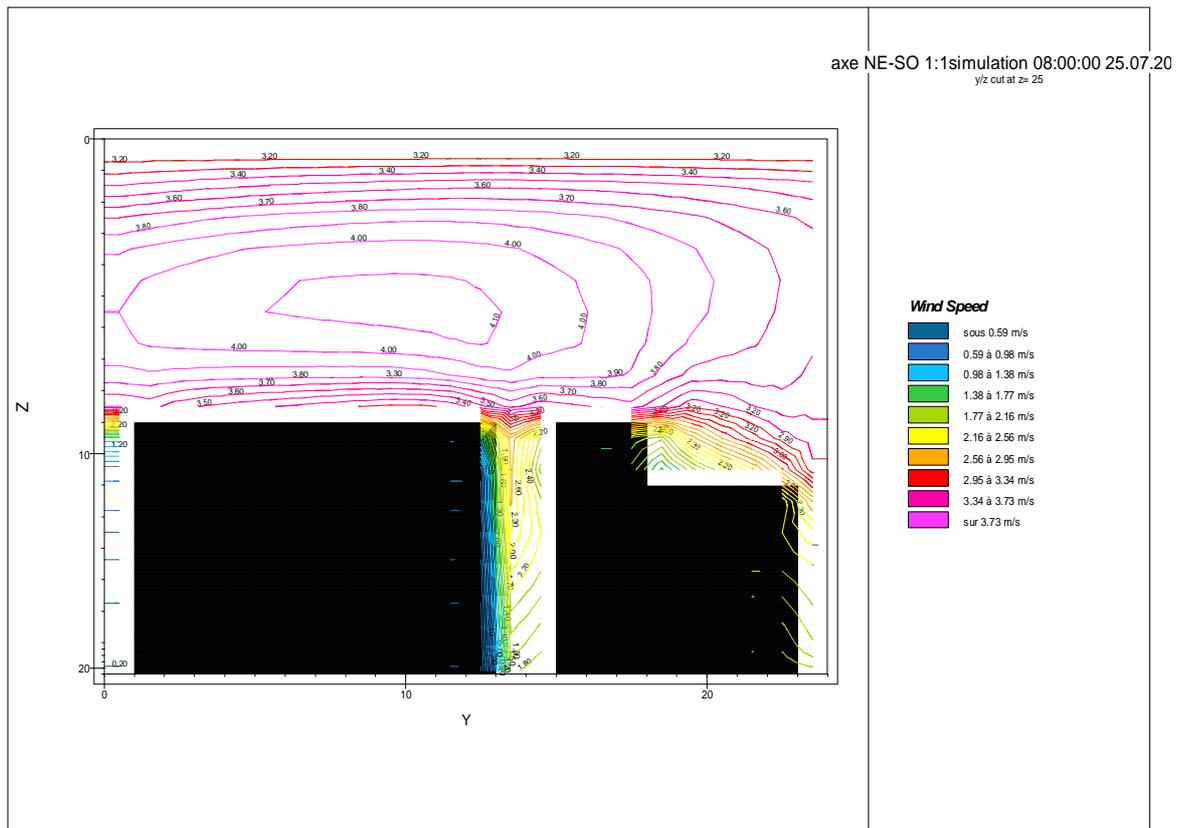


Figure n°18 : Variation de la vitesse de l'air, axe NE-SO à 8h00

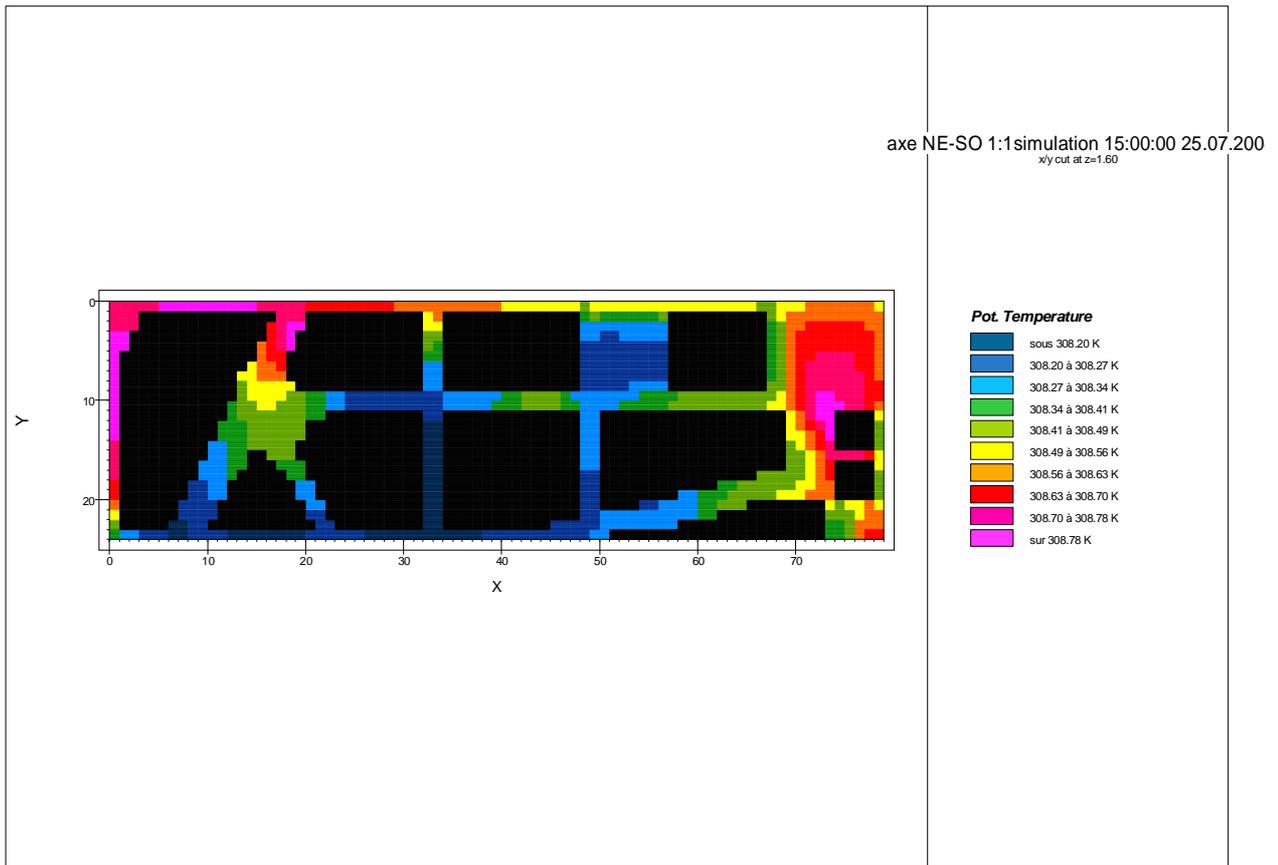


Figure n°19 : Variation de la température de l'air, axe NE-SO à 15h00

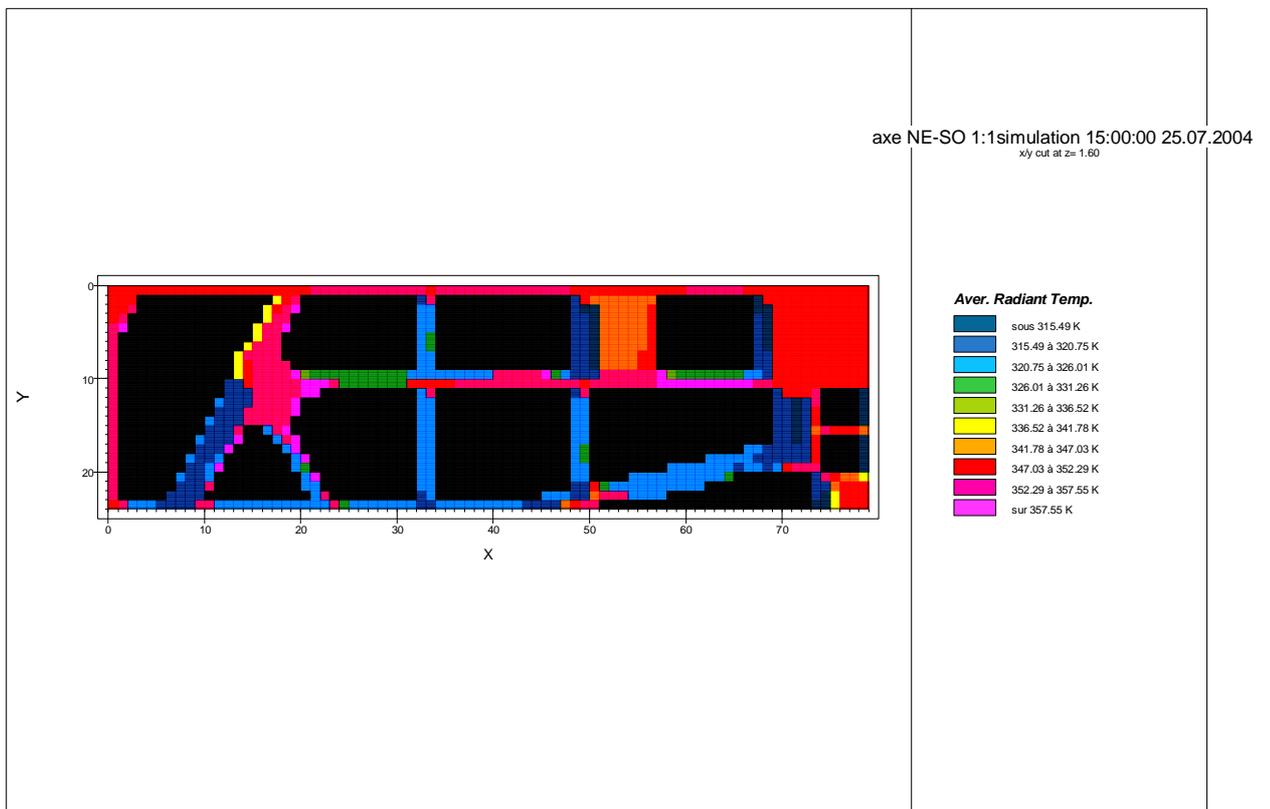


Figure n°20 : Variation de la température moyenne radiante, axe NE-SO à 15h00

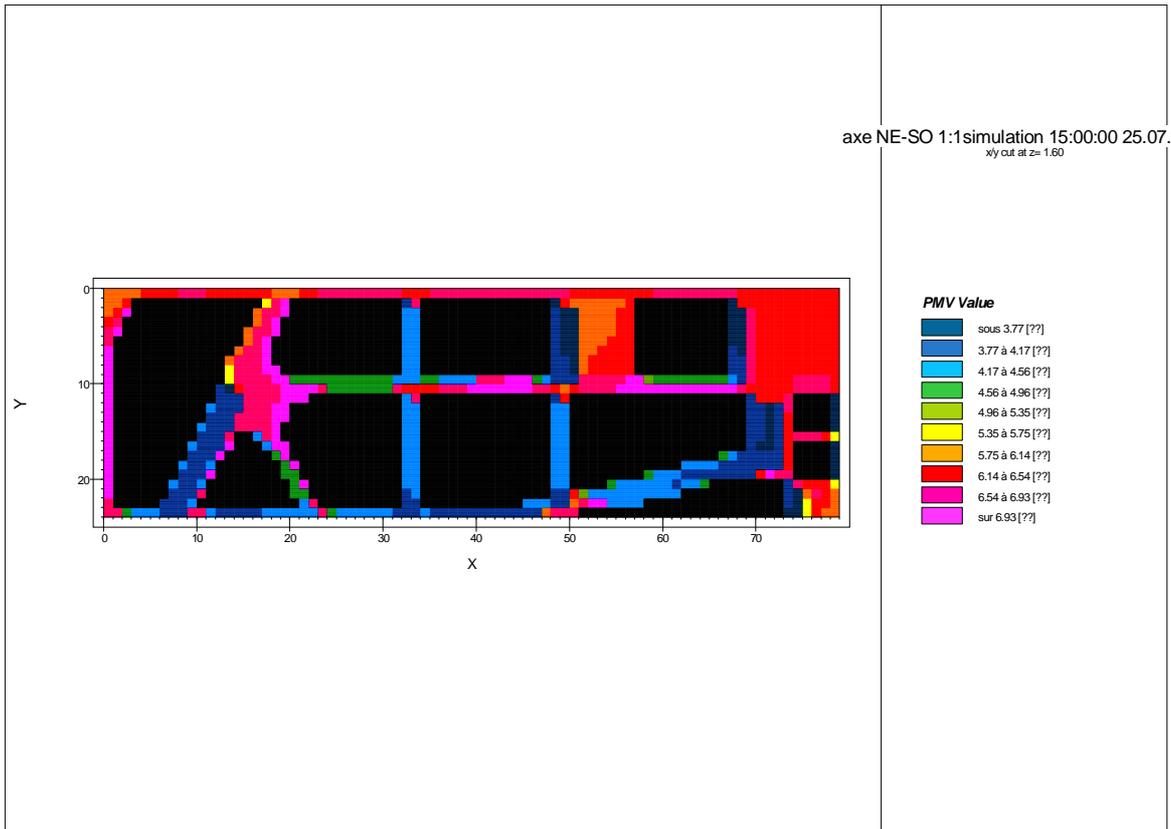


Figure n°21 : Variation du PMV, axe NE-SO à 15h00

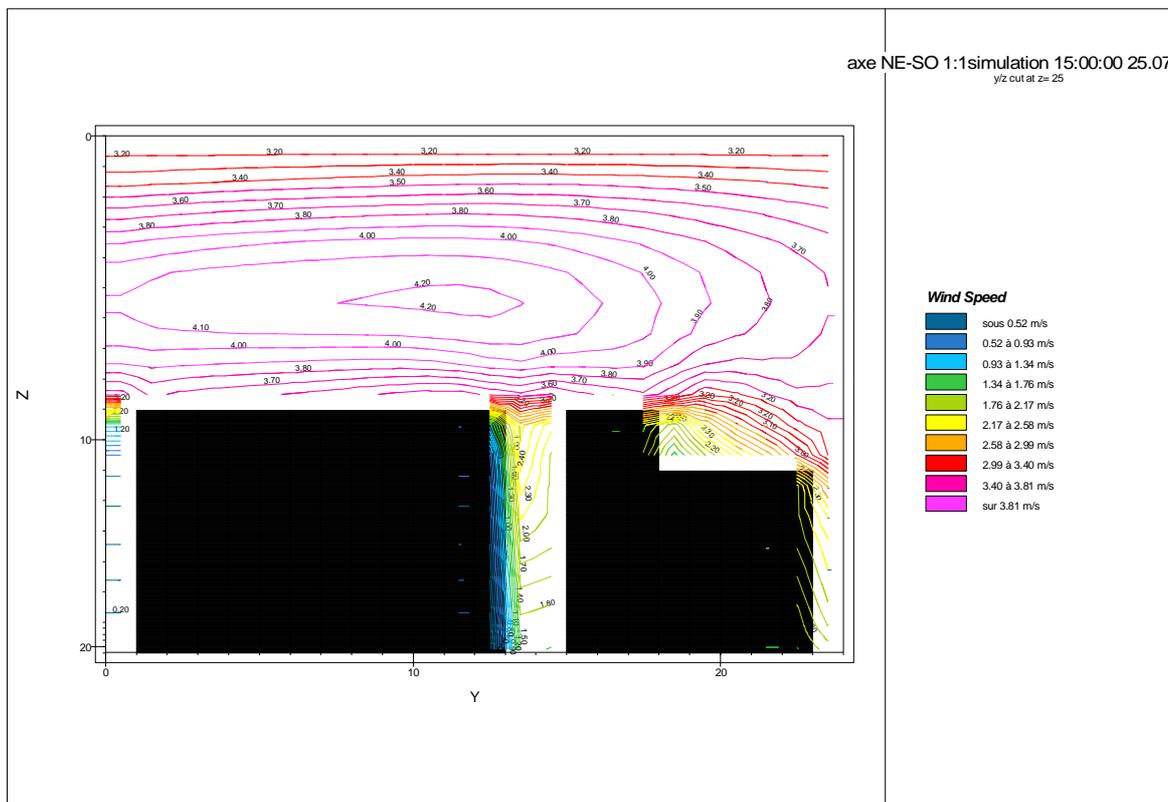


Figure n°22 : Variation de la vitesse de l'air, axe NE-SO à 15h00

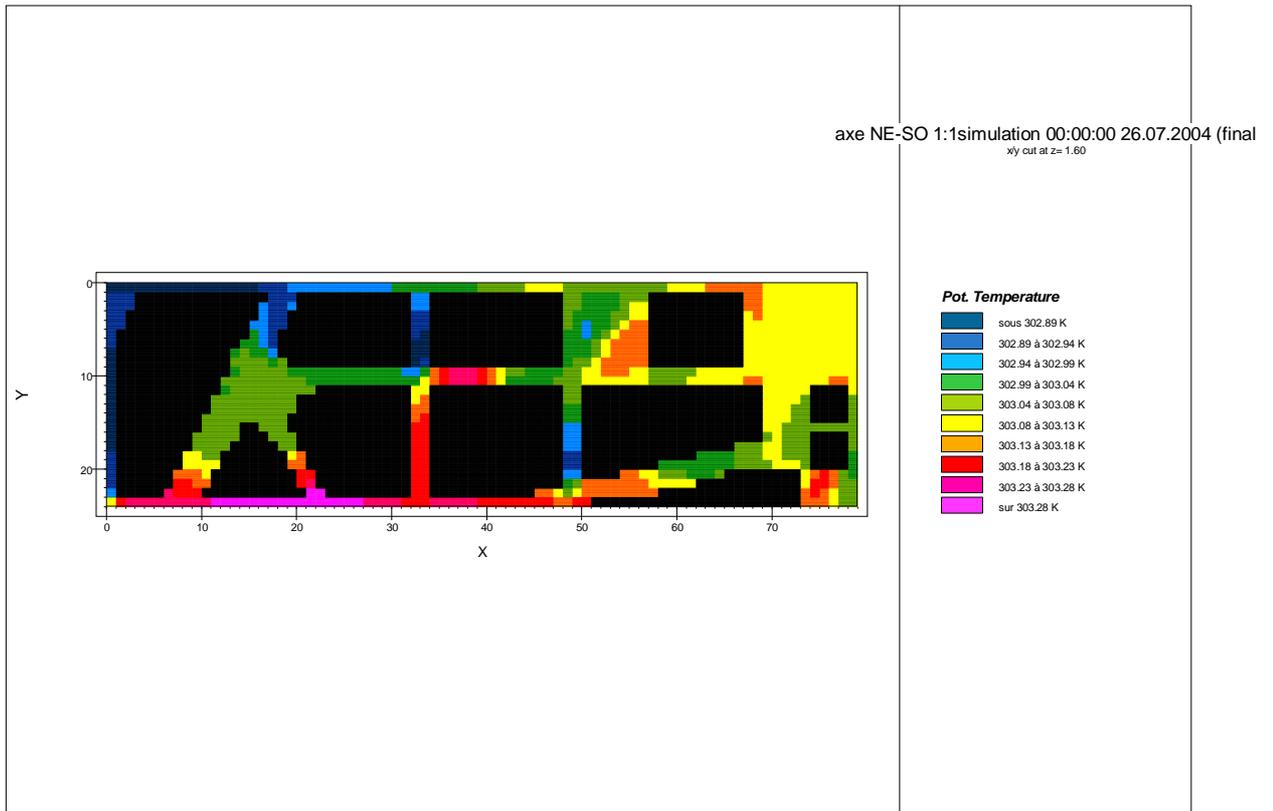


Figure n°23 : Variation de la température de l'air, axe NE-SO à 00h00

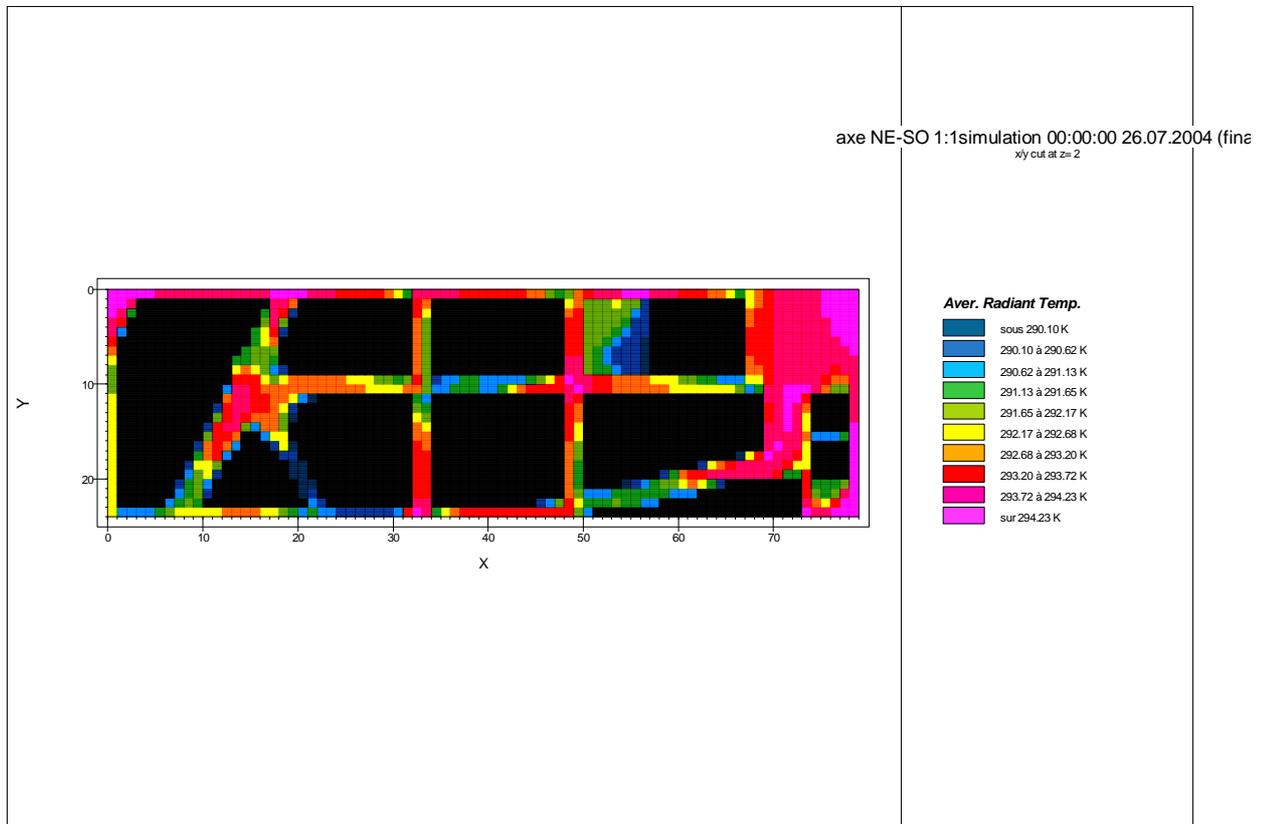


Figure n°24 : Variation de la température moyenne radiante, axe NE-SO à 00h00

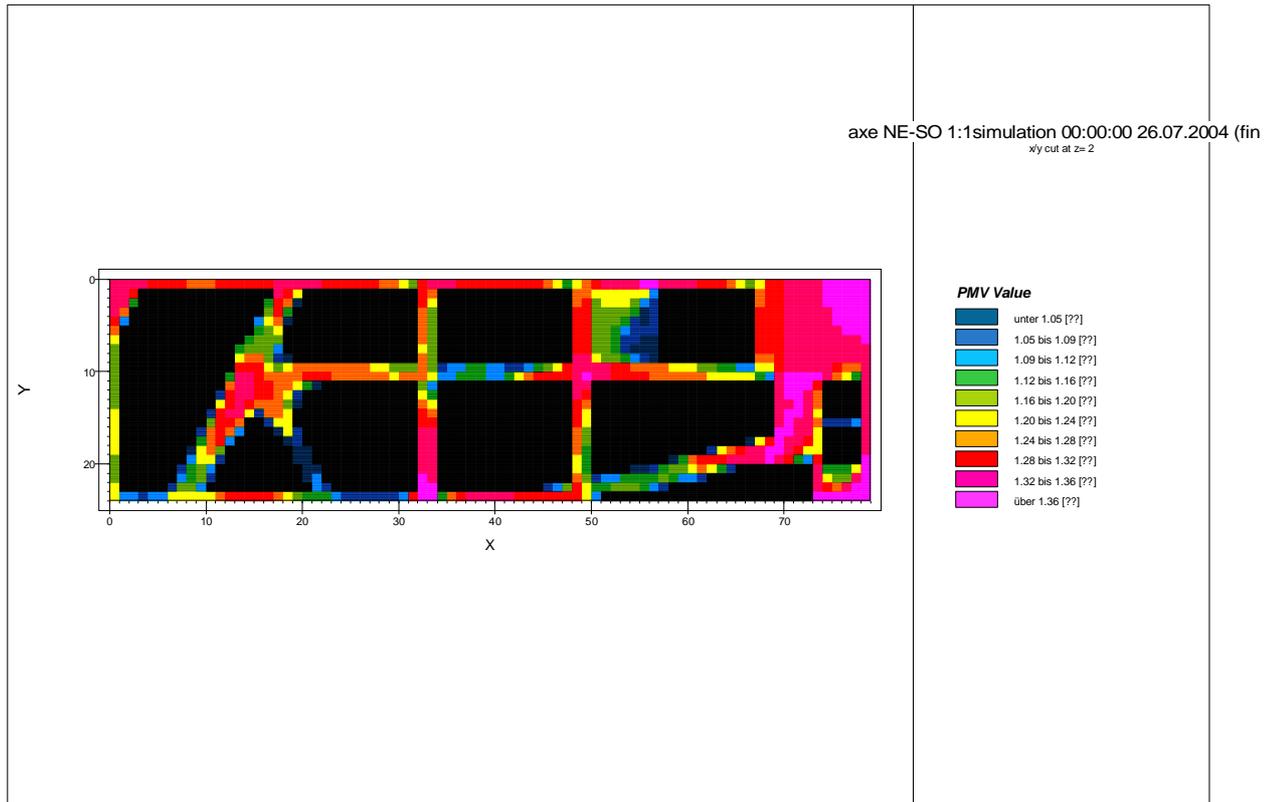


Figure n°25 : Variation du PMV, axe NE-SO à 00h00

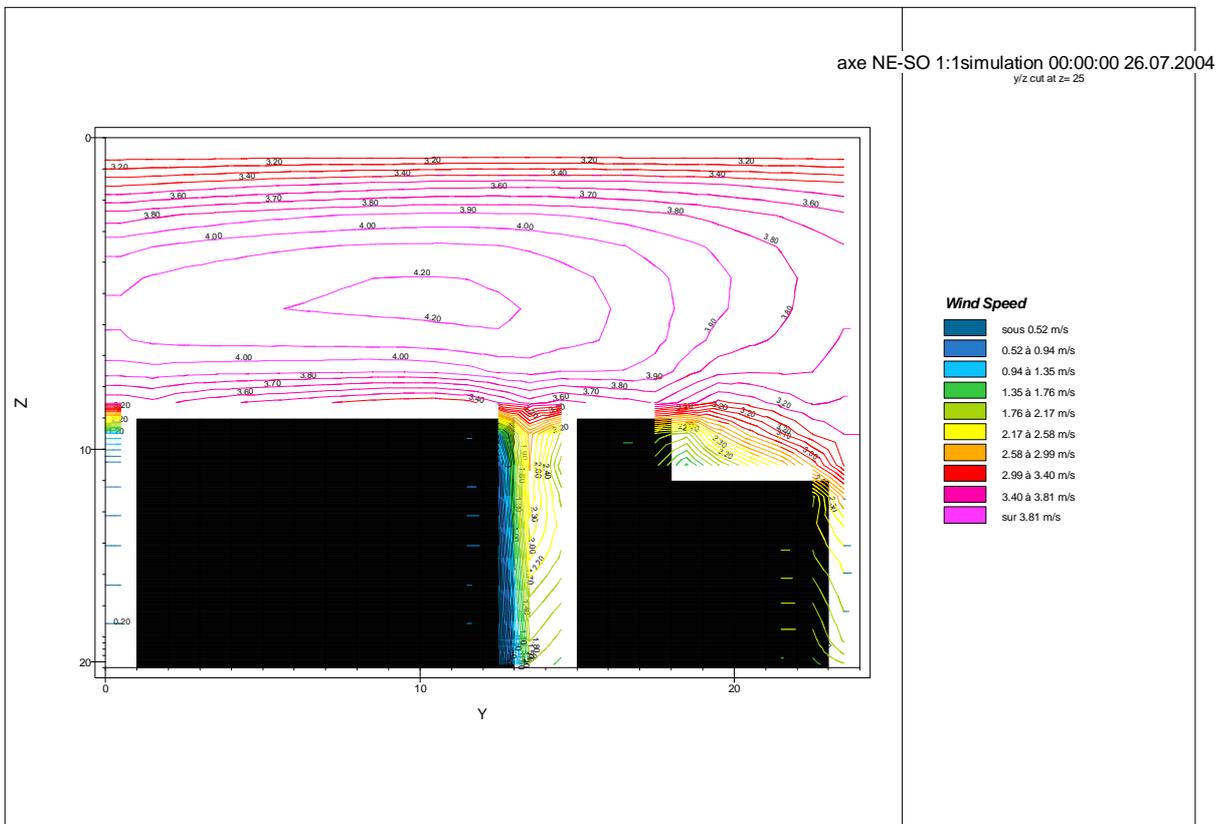


Figure n°26 : Variation de la vitesse de l'air, axe NE-SO à 00h00

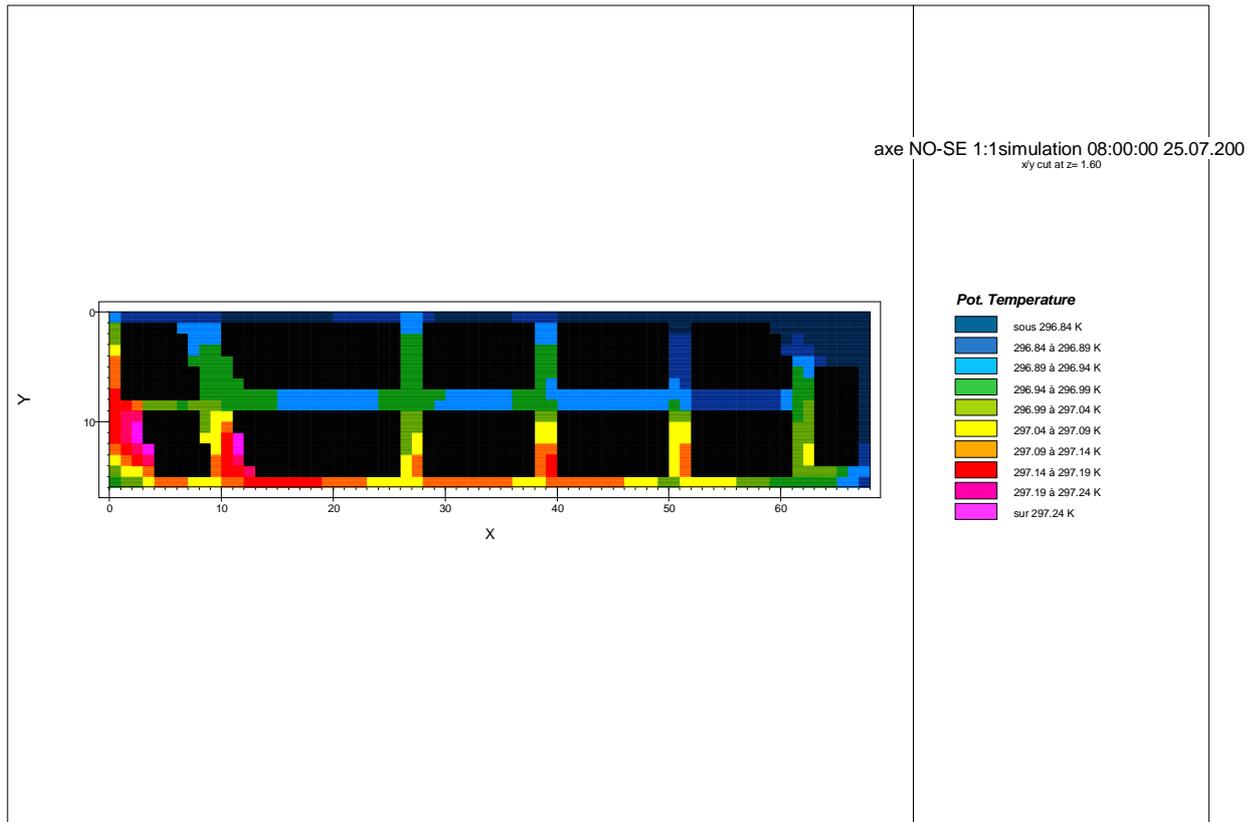


Figure n°27 : Variation de la température de l'air, axe NO-SE à 8h00

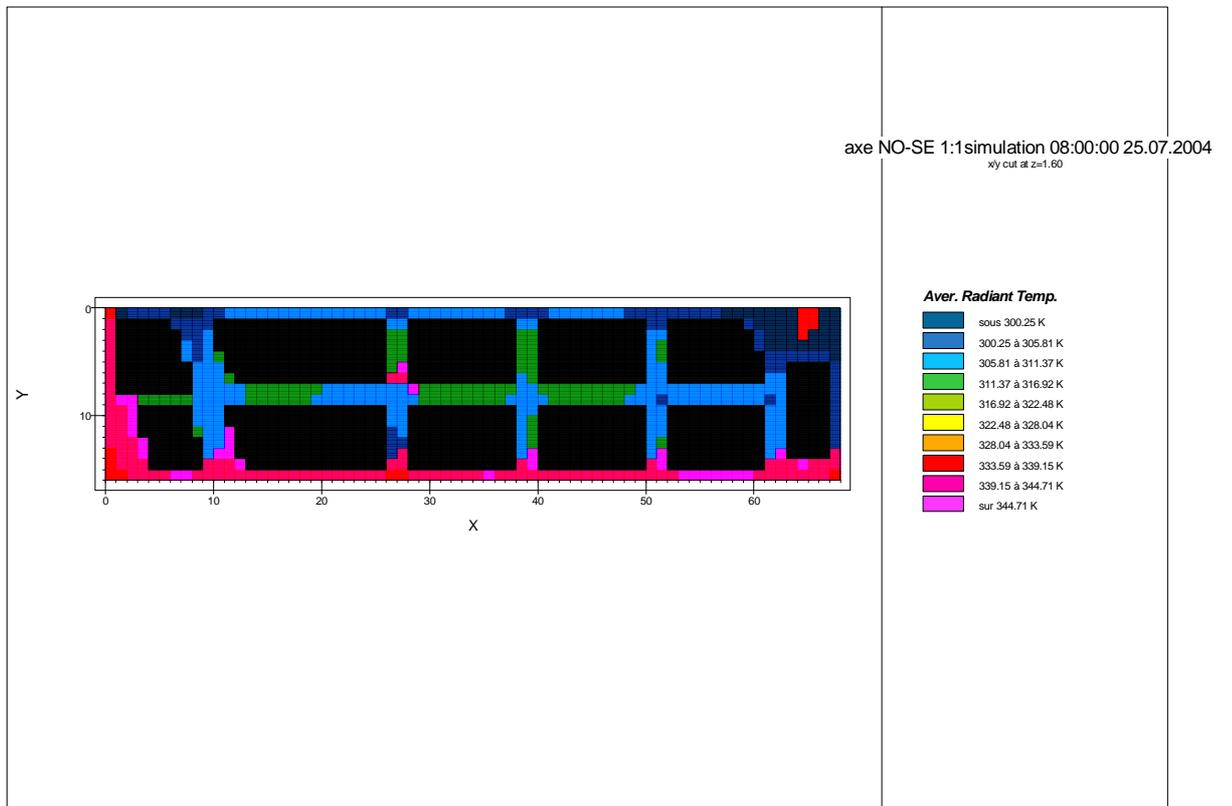


Figure n°28 : Variation de la température moyenne radiante, axe NO-SE à 8h00

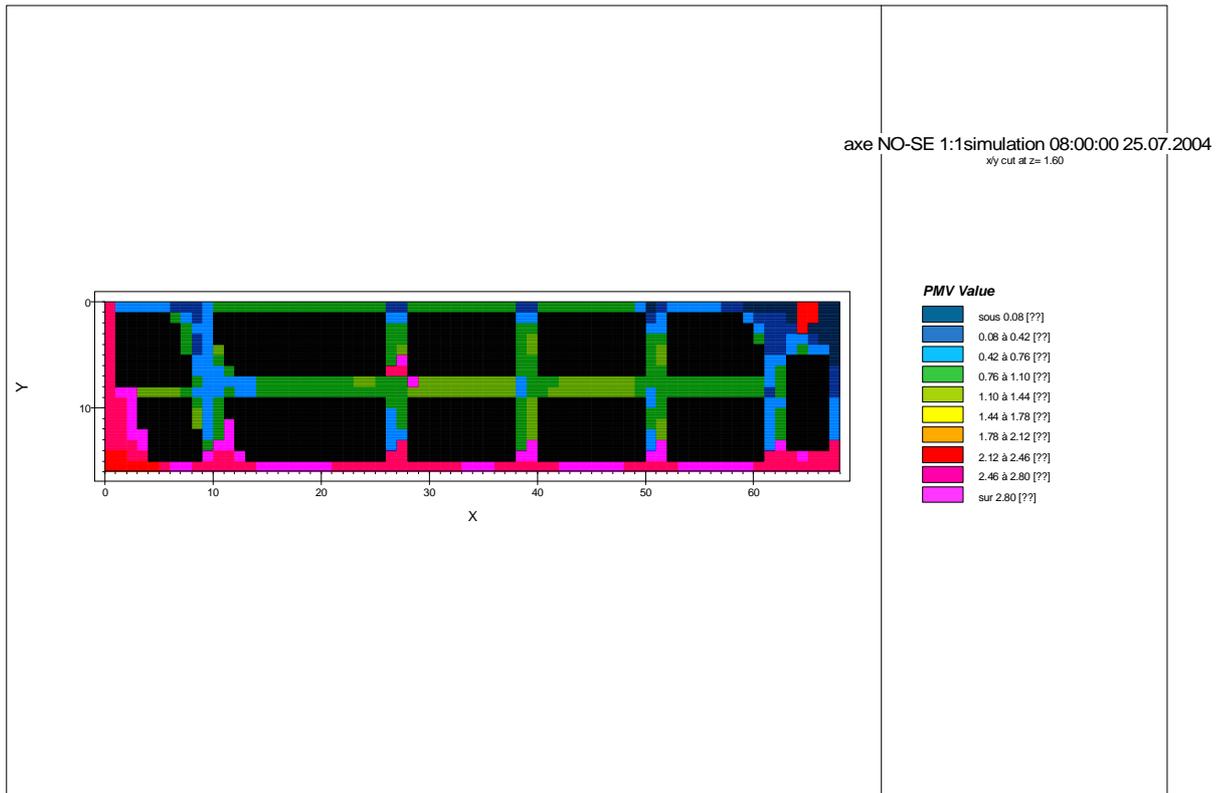


Figure n°29 : Variation du PMV, axe NO-SE à 8h00

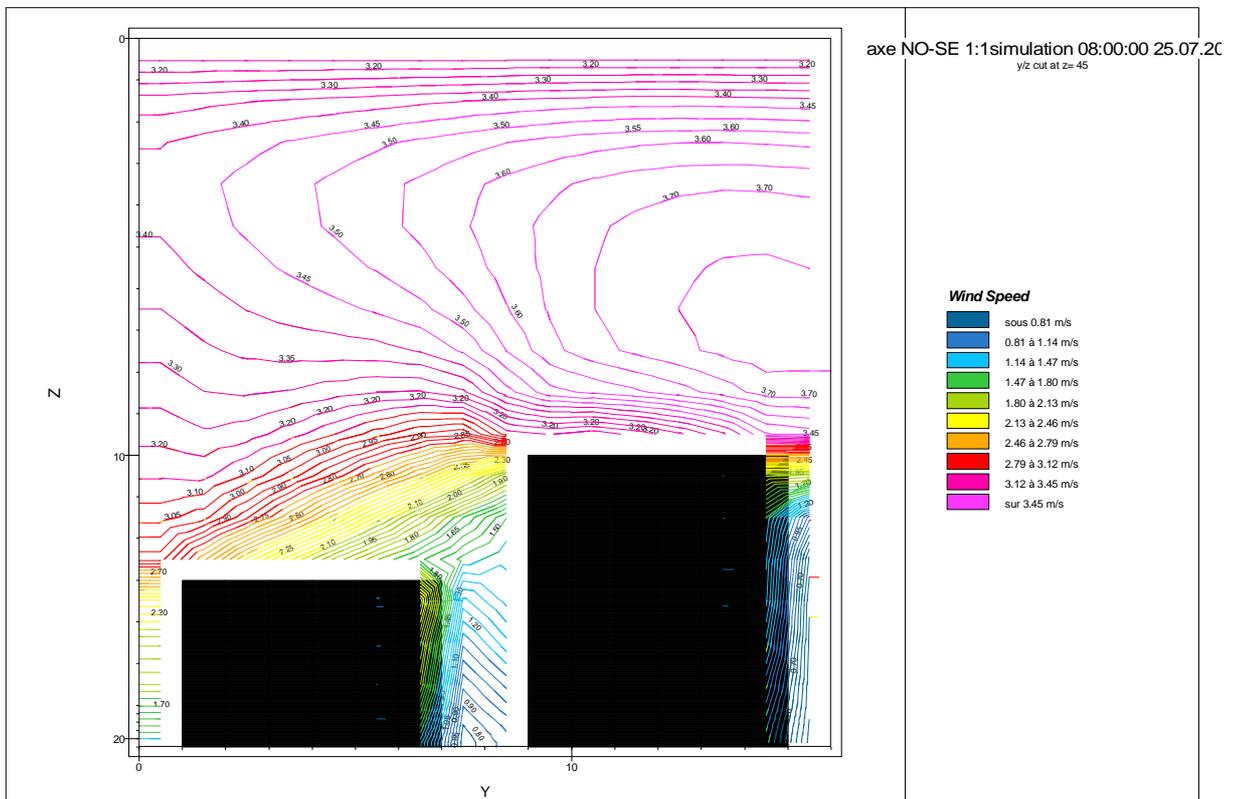


Figure n°30 : Variation de la vitesse de l'air, axe NO-SE à 8h00

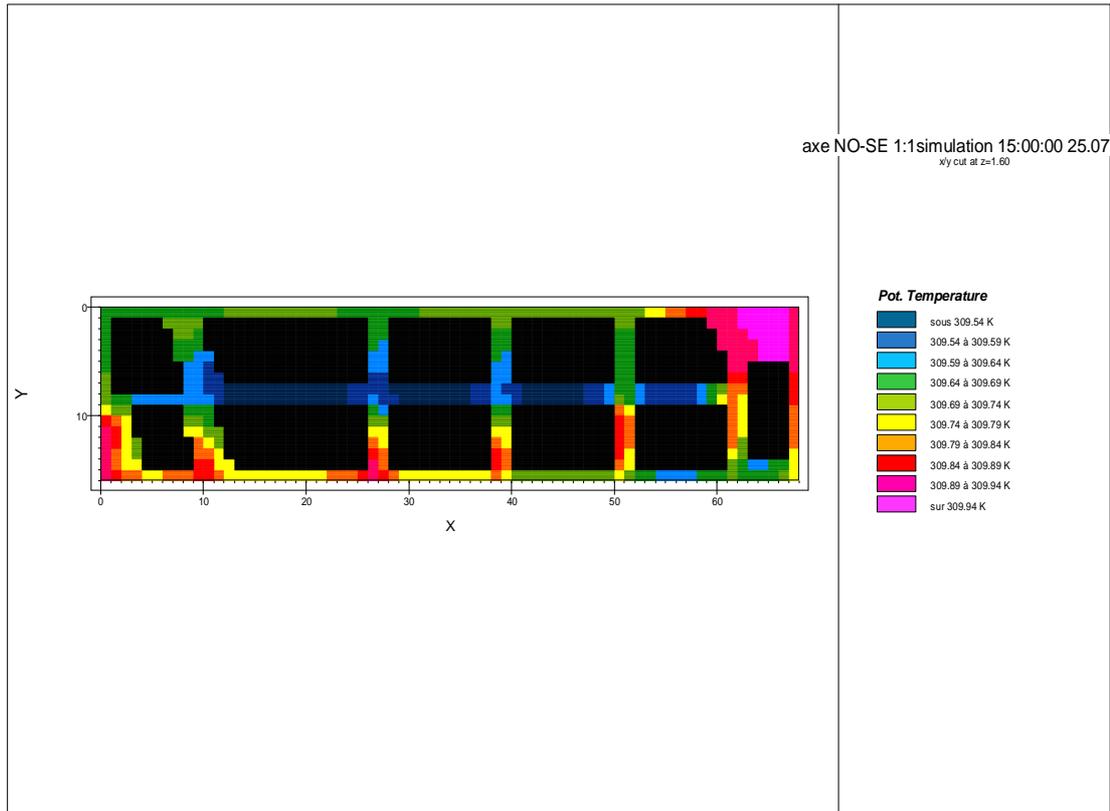


Figure n°31 : Variation de la température de l'air, axe NO-SE à 15h00

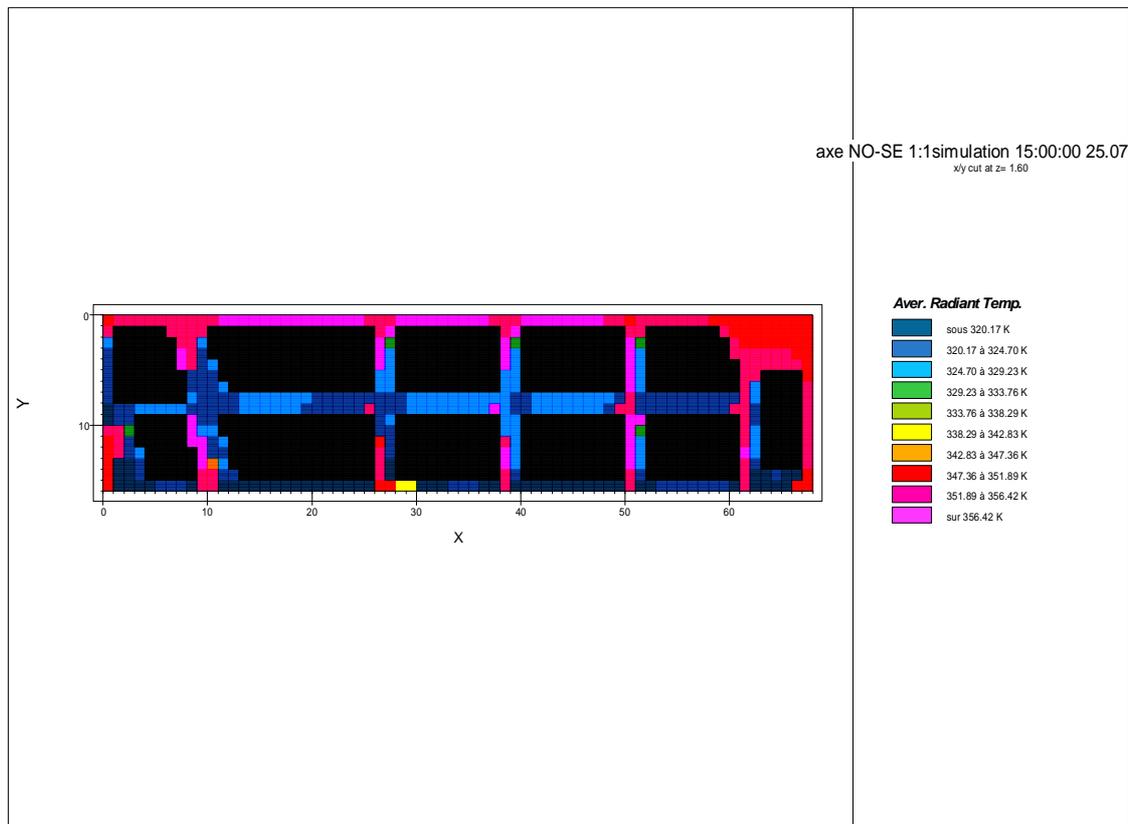


Figure n°32 : Variation de la température moyenne radiante, axe NO-SE à 15h00

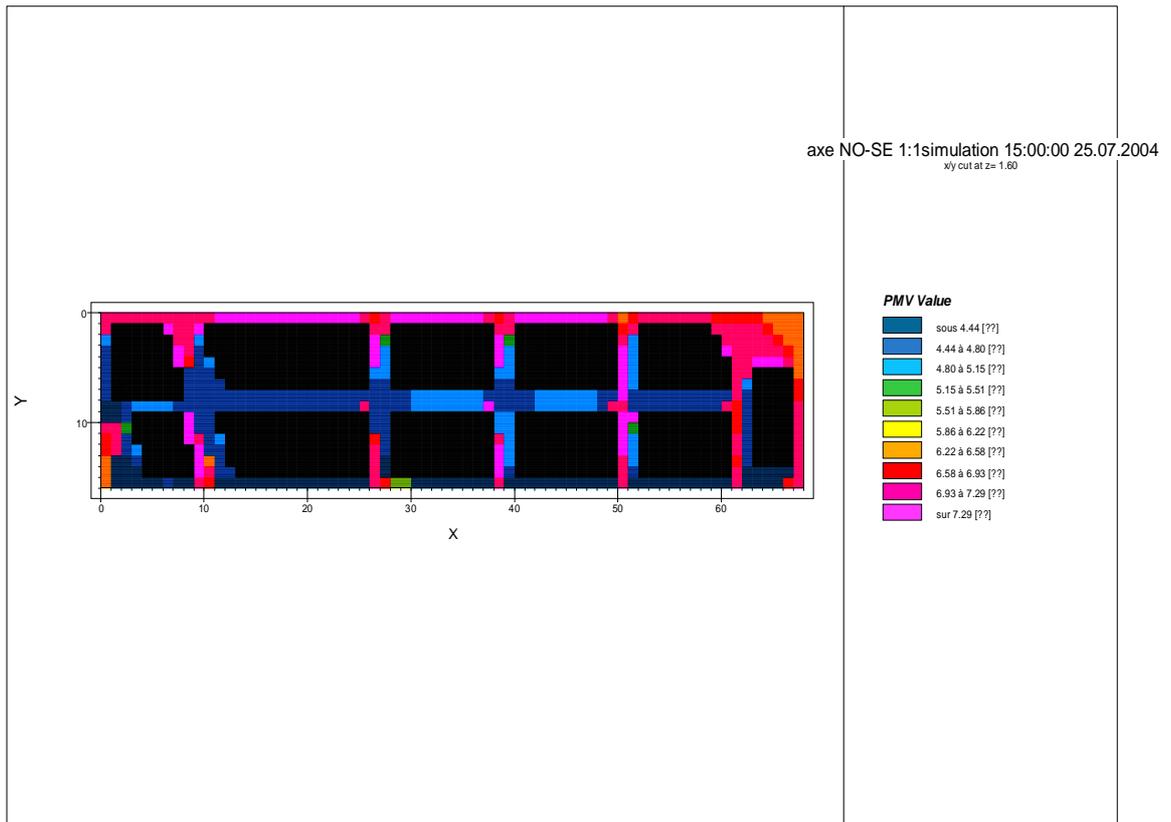


Figure n°33 : Variation du PMV, axe NO-SE à 15h00

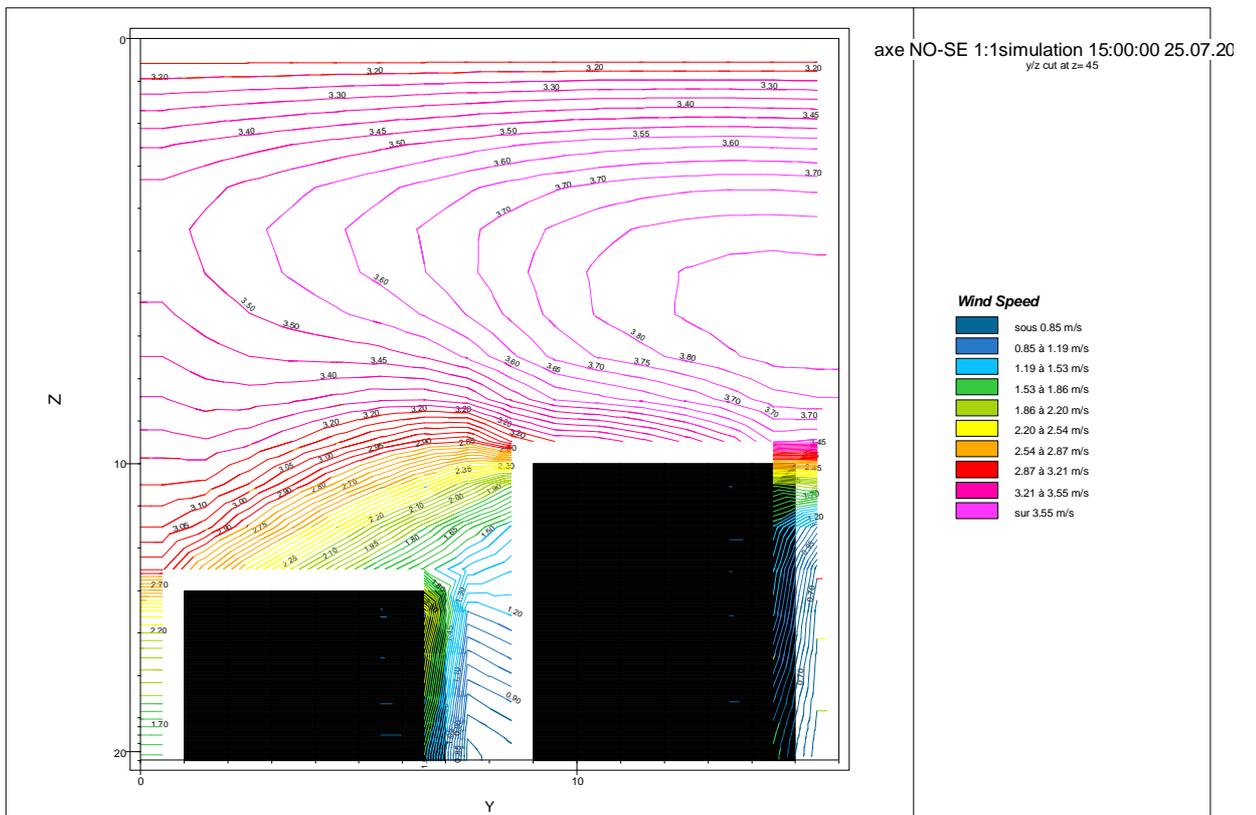


Figure n°34 : Variation de la vitesse de l'air, axe NO-SE à 15h00

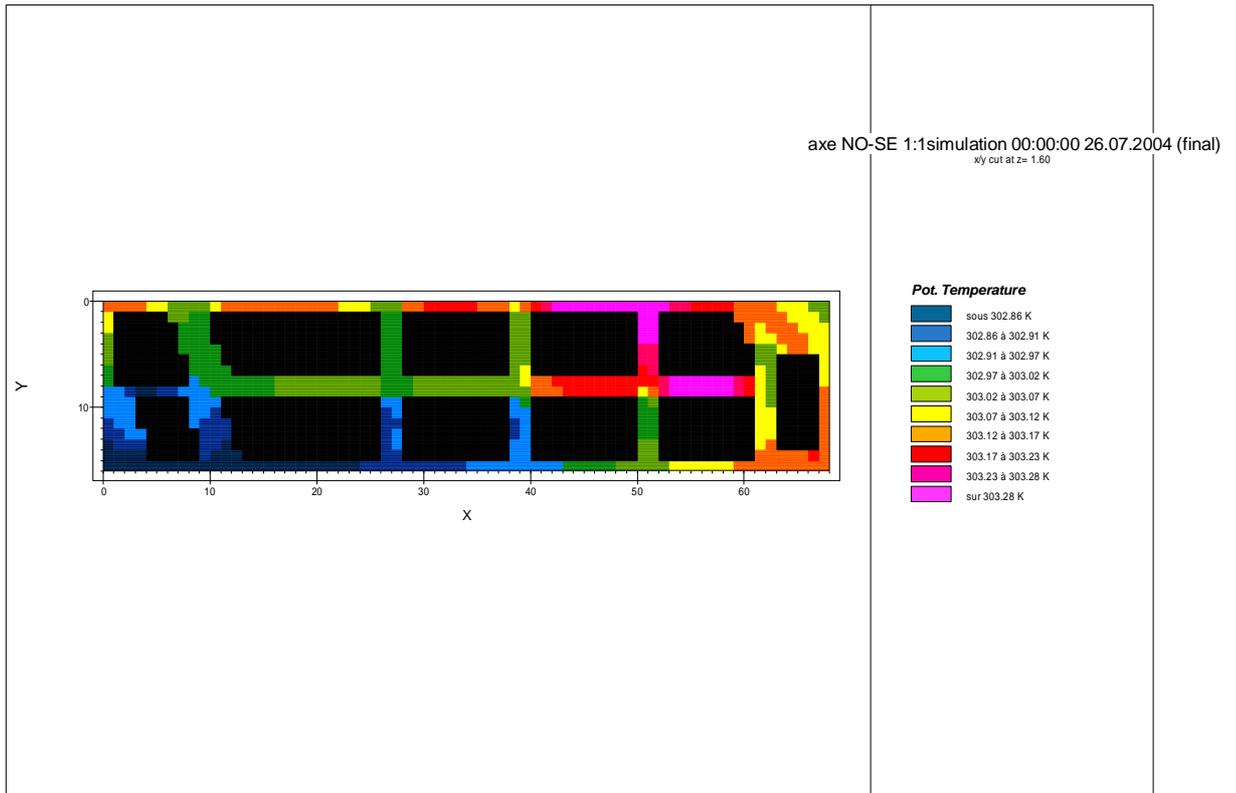


Figure n°35 : Variation de la température de l'air, axe NO-SE à 00h00

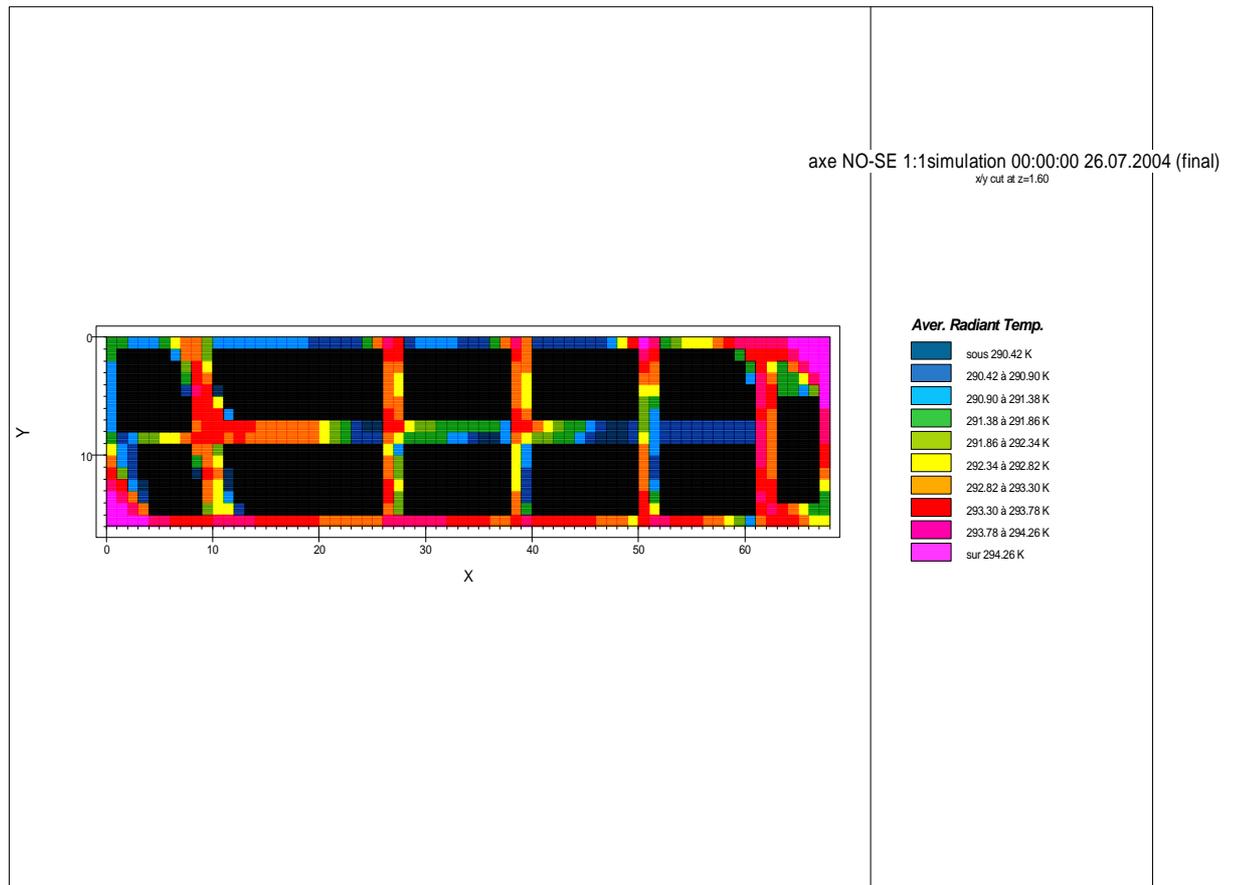


Figure n°36 : Variation de la température moyenne radiante, axe NO-SE à 00h00

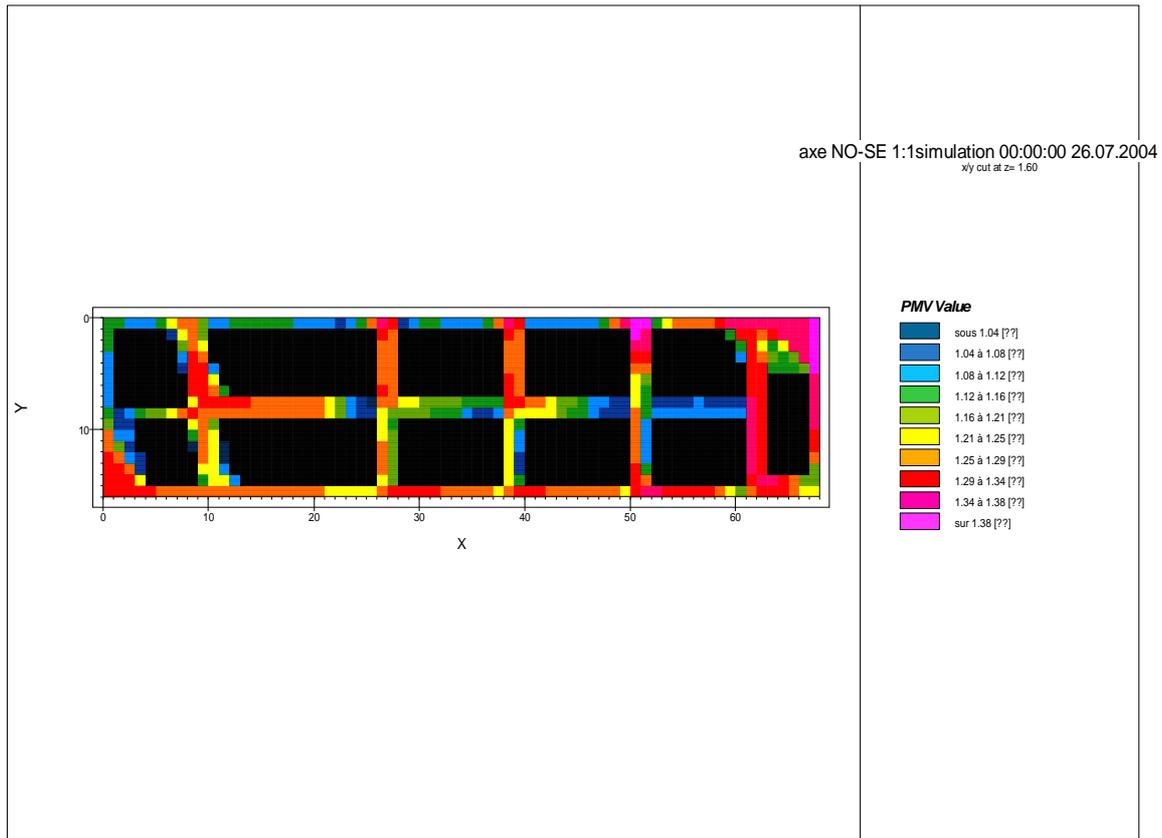


Figure n°37 : Variation du PMV, axe NO-SE à 00h00

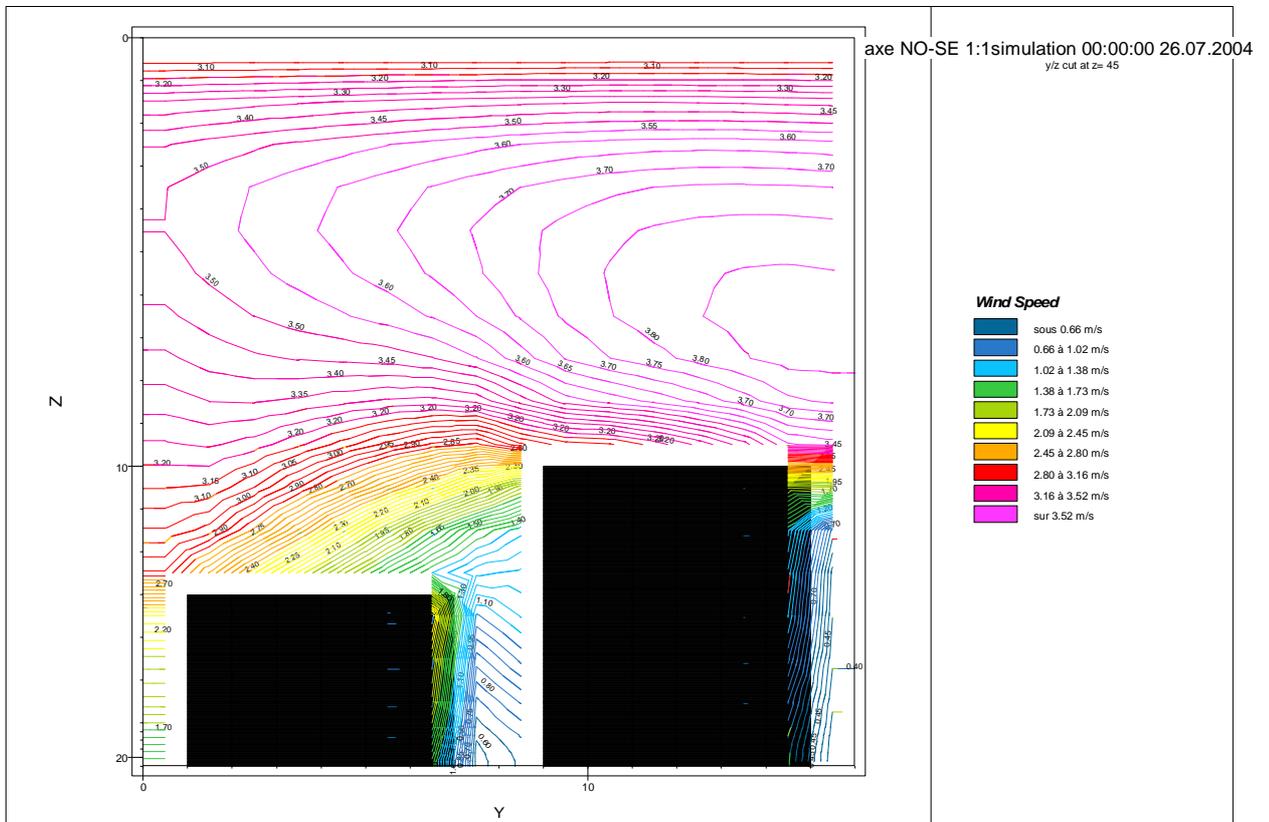


Figure n°38 : Variation de la vitesse de l'air, axe NO-SE à 00h00

IV. Simulation des deux canyons NE/SO et NO/SE :

Résultats :

Température de l'air :

La figure n°39 montre la différence de température de l'air entre les deux canyons simulés à 1.60m au dessus du sol. La température de l'air au niveau du canyon NE-SO est généralement plus faible que celle du canyon NO-SE. Cette différence atteint un maximum de 1.5°C pendant la journée. Cette réduction de la température est due essentiellement à la différence de géométrie⁶ ($H/W = 4.7$ pour le canyon NE-SO et $H/W = 3.3$ pour le canyon NO-SE).

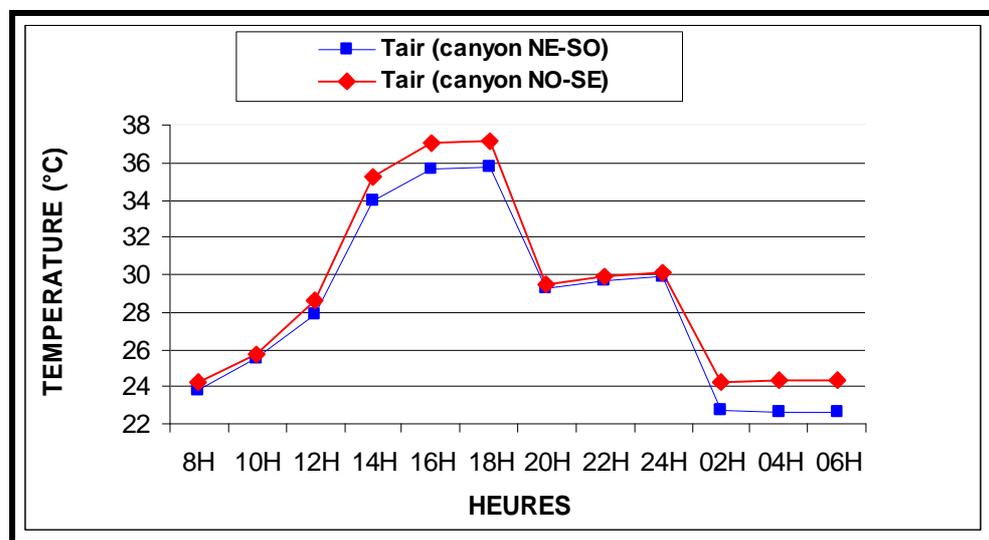


Figure n°39 : Variation de la température de l'air dans les deux canyons NE-SO et NO-SE

La variation de la température de l'air dans un canyon urbain est réduite, mais sa distribution à travers le canyon est d'une grande importance. Yochiba.A, Tommaga.K et Watani.S ont montré que la température de l'air est plus importante tout près du sol et qu'elle décroît en fonction de la hauteur du canyon⁷.

⁶ Santamouris.M , Papanikolaou.N, koronahis I, Livada.I et Asimakopoulos.D. "thermal and air flow characteristics in a deep pedestrian canyon under hot weather conditions". Atmospheric environment, 1999;33:4503-21

⁷ Yochiba.A, Tommaga.K et Watani.S. field measurements and energy balance of an urban canyon in the summer season. Energy an buildings,1990 91:15 16:417 23.

Givoni, a suggéré que dans les climats chauds et secs, et avec une forte densité urbaine, la plupart des échanges radiatifs prennent place au niveau du toit. Si l'albédo du toit est important, l'air à son niveau devient plus frais et plus dense qu'au niveau du sol⁸.

La différence de température entre le niveau du sol et le dessus du toit au niveau des deux canyons simulés est assez importante. Elle atteint un minimum de -1.9°C pendant la journée dans le canyon NO-SE, et un maximum de 1°C en fin de journée dans le canyon NE-SO (figure n°40).

La température au dessus du toit est plus faible qu'à l'intérieur des deux canyons pendant la journée et inversement, elle devient plus importante pendant la nuit. Ceci, est dû à la réduction du mouvement de l'air dans les deux canyons vu que l'angle d'incidence des vents dominants d'été (Nord) sont à 45° des deux axes.

En conclusion, la géométrie du canyon et son orientation par rapport à la course solaire et au mouvement de l'air est un paramètre très important affectant sans doute le confort thermique extérieur.

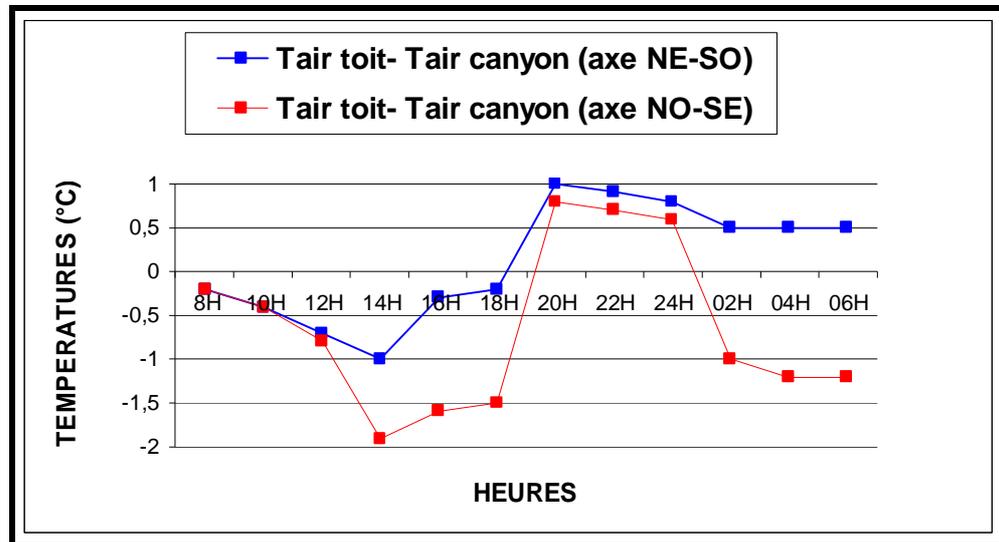


Figure n°40 : Différence de température entre le dessus du toit et l'intérieur des canyons NE-SO et NO-SE

⁸ Nunez.M et Oke.T.R. "the energy balance of an urban canyon". Journal of applied meteorology, 1977; 16:11-9

Température moyenne radiante :

La température moyenne radiante est un paramètre important affectant l'organisme de l'être humain. Elle exprime l'effet radiatif de l'ensemble de l'environnement⁹.

La figure n°41 montre que le canyon NE-SO avec un ratio de 4.7 Et un SVF de 0.12 permet l'accès directe des rayons solaires d'été touchant ainsi une importante partie des surfaces (sol & façades) comparé avec le canyon NO-SE avec un ratio de 3.3 Et un SVF de 0.076.

La température moyenne radiante varie en fonction de l'importance des radiations solaires reçues et réfléchies par les surfaces¹⁰. Sa valeur maximale atteint 70°C pour les deux canyons, au moment où la valeur minimale enregistrée dans la nuit est de l'ordre de 14.50°C dans le canyon NE-SO et 14.7°C dans le canyon NO-SE (figure n°41).

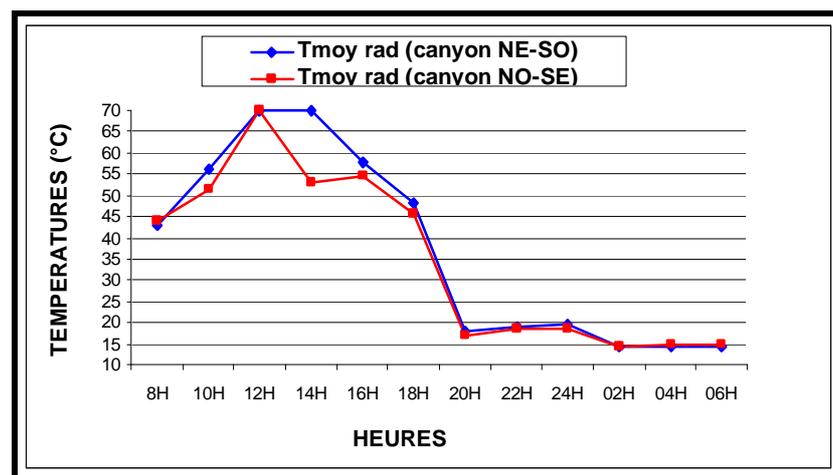


Figure n°41 : Variation de la température moyenne radiante dans les deux canyons NE-SO et NO-SE

Vote moyen prévisible (PMV):

Le confort thermique au niveau des deux canyons simulés est évalué en fonction de l'indice de confort PMV. Les valeurs du PMV sont comprises entre six échelles

⁹ Pearlmutter.D, Bitan.A et Berliner.P. "Microclimatic analysis of compact urban canyons in an arid zone". Atmospheric environment, 1999;33:4143-50

¹⁰ Mayer.H et Hoppe.P. "thermal comfort of man in different urban environments". Theoretical and applied climatology, 1987;38:43-9

qui varient entre -4 et $+4^{\circ}\text{C}$ où -4°C est le seuil du « froid » et $+4^{\circ}\text{C}$ est celui du « chaud »¹¹, le niveau « 0 » correspond à la sensation neutre. Cet indice varie entre 6.4 et -0.71 dans le canyon NE-SO et entre 5.20 et -0.23 dans le canyon NO-SE

La valeur du PMV dans les deux canyons est dans la zone de confort entre 8h00 et 12h00 et entre 19h00 et 6h00, cependant, elle se trouve dans la zone chaude entre 12h00 et 19h00. Néanmoins, l'ambiance thermique dans le canyon NE -SO se trouve plus proche à la température neutre que celle du canyon NO -SE. (voir figure n°42).

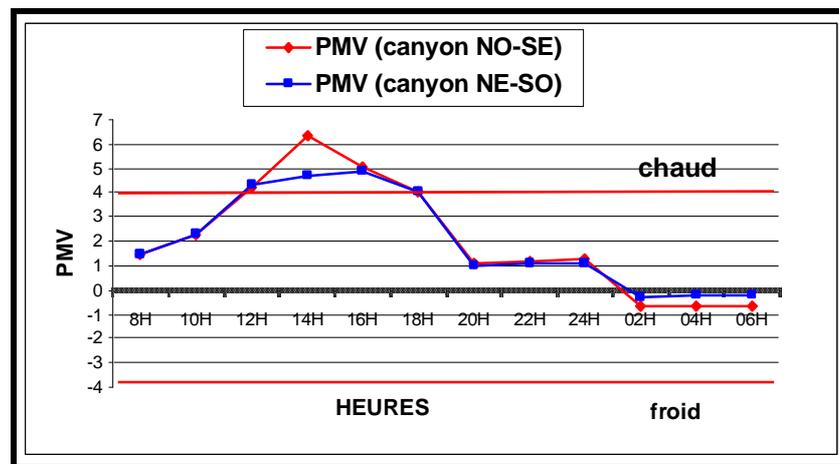


Figure n°42 : Variation du PMV dans les deux canyons NE-SO et NO-SE

En fonction des variations des températures bi-horaires mentionnées dans les tableaux .. ci-dessous, on peut conclure que la valeur du PMV est directement liée à la température de l'air dans les deux canyons (figures n°43 et 44) et que généralement le PMV est dans la zone de confort pendant la nuit mais l'ambiance thermique est considérée comme chaude pendant la journée. Néanmoins, le PMV est plus proche de la zone de confort dans le canyon NE -SO que dans le canyon NO -SE.

Heure	8h00	10h00	12h00	14h00	16h00	18h00	20h00	22h00	24h00	02h00	04h00	06h00
température	23.8	25.5	27.9	34.0	35.7	35.8	29.3	29.7	29.9	22.7	22.6	22.6

Tableau n°.. : Variation des température bi-horaires dans le canyon NE-SO

¹¹ Spagnolo.Jennifer and Richard. De Dear.D, "a field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia". Building and environment,2003;38: 721-738

Heure	8h00	10h00	12h00	14h00	16h00	18h00	20h00	22h00	24h00	02h00	04h00	06h00
température	23.8	25.5	27.9	34.0	35.7	35.8	29.3	29.7	29.9	22.7	22.6	22.6

Tableau n°.. : Variation des température bi-horaires dans le canyon NO-SE

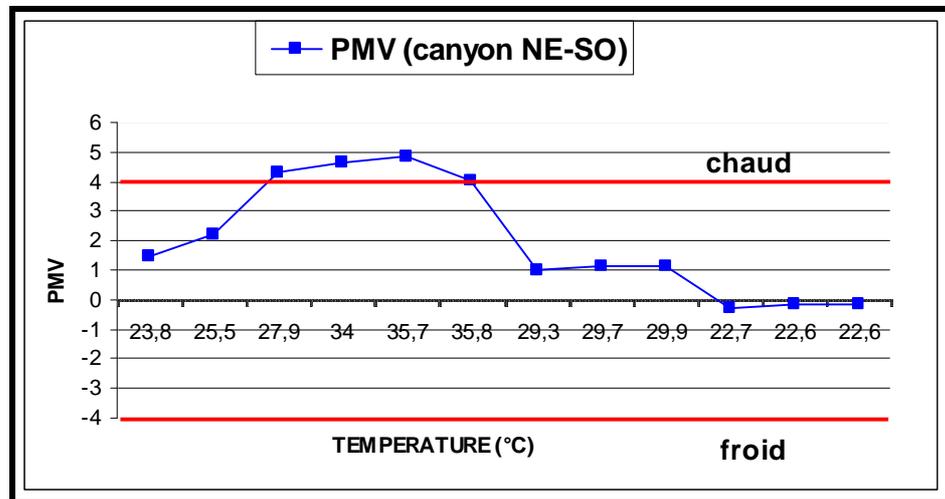


Figure n°43 : Variation du PMV dans le canyon NE-SO

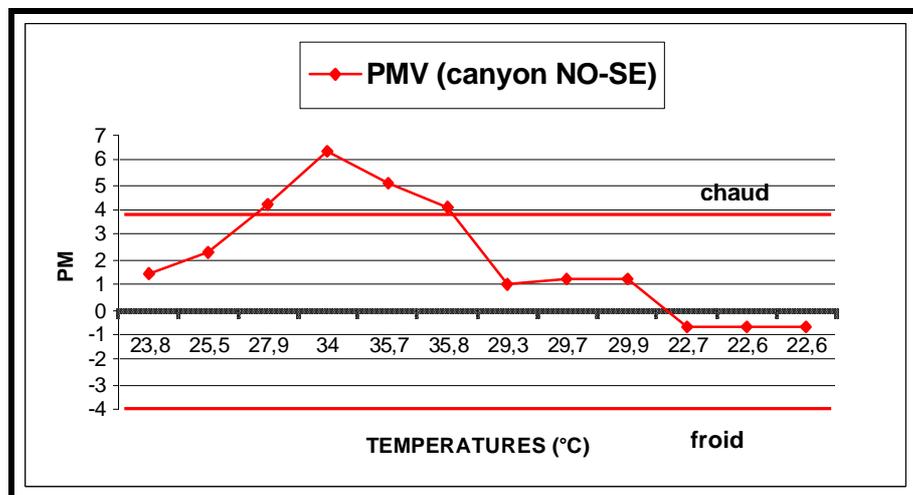


Figure n°44 : Variation du PMV dans le canyon NO-SE

En conclusion, le canyon orienté NE –SO avec un ratio égale à 4.7 est le plus avantageux, pour un confort thermique extérieur. A noter que ce résultat est conforme à celui de l’investigation pratique objet du chapitre précédent.

Cependant, ce résultat ne peut être généralisé étant donné que le paramètre affectant réellement le confort thermique dans un canyon ne peut être distingué seulement par la simulation de ces deux canyons. Pour ce, il est indispensable de procéder au changement des deux paramètres : le ratio H/W et l'orientation afin d'aboutir à une géométrie et une orientation optimale propre au climat de la ville de Constantine (figures n°45 et 46).

V. CHANGEMENT DES PARAMETRES :

a. Ratio H/W = 4 :

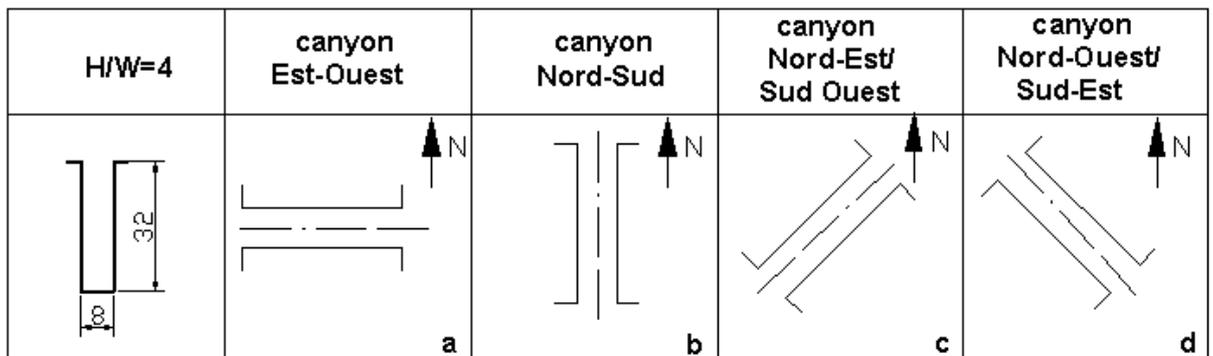


Figure n°45 : Changement d'orientation avec un ratio H/W = 4

b. Ratio H/W = 1 :

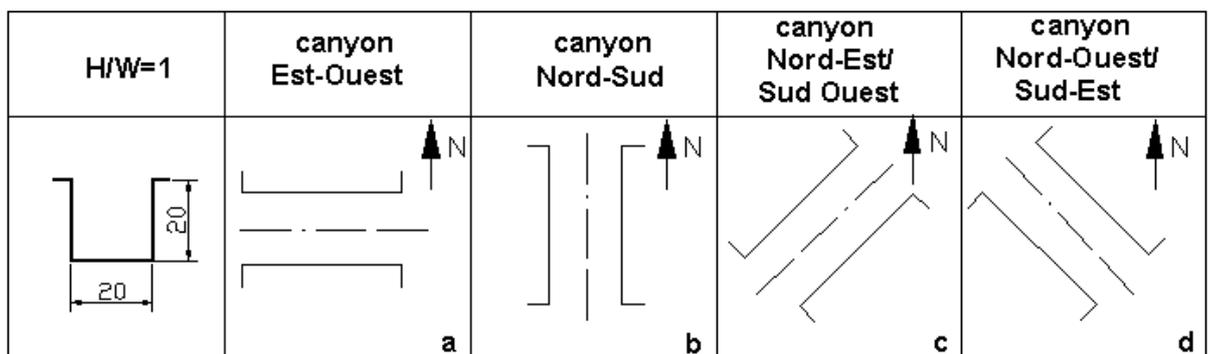


Figure n°46 : Changement d'orientation avec un ratio H/W = 1

Pour le changement des paramètres, la période à simuler est choisi entre 10h00 et 15h00 vu que :

- C'est la période où généralement le soleil est à ses hauteurs maximales (la hauteur maximale du soleil atteint 75° à 13h00).
- C'est la période où l'ambiance thermique dans les deux canyons NE-SO et NO-SE fût considérée comme chaude.
- C'est la période de la journée où le site est largement fréquenté par le public.

Résultats :

Les figures n°47,48,49 et 50 montrent que le ratio $H/W = 4$ offre plus de confort que le ratio $H/W = 1$ pour toutes les orientations. Ceci est du à :

- § L'effet d'ombre engendré causé par la grande hauteur des façades ce qui réduit les surfaces touchées directement par les rayons solaires, résultat déjà vérifié et publié par Arofield.J en 1990.¹²
- § La réduction du facteur d'ouverture au ciel (SVF) est également un paramètre déterminant. Un SVF réduit offre plus d'ombre et par conséquent permet l'infiltration de moins de radiations solaires.¹³

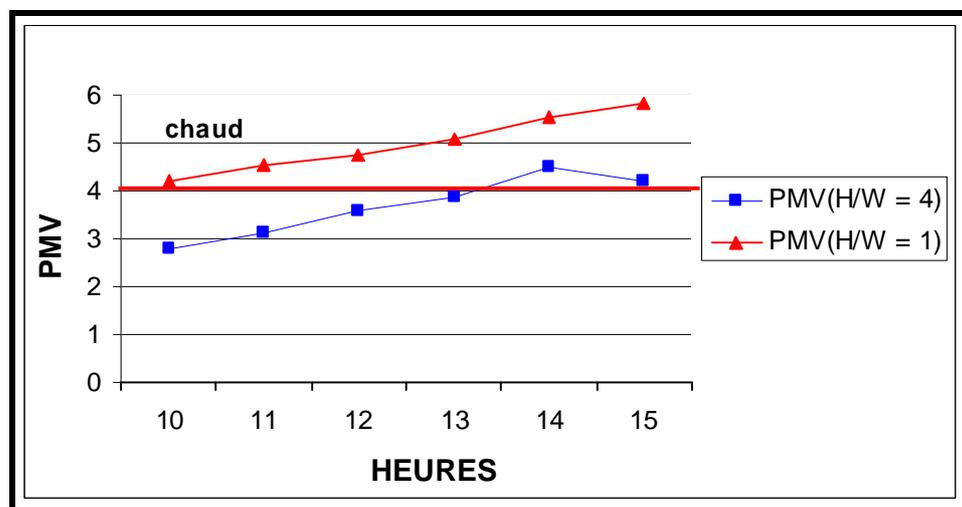


Figure n°47 : Variations du PMV pour l'orientation EST-OUEST

¹² Arofield.J. "Street design and urban canyon solar access". Energy en buildings,1990;14:117-31

¹³ Marie.K. Svensson. Sky view factor analysis- Implications for urban air temperatures differences. Meteorol. 2004;11:201-211

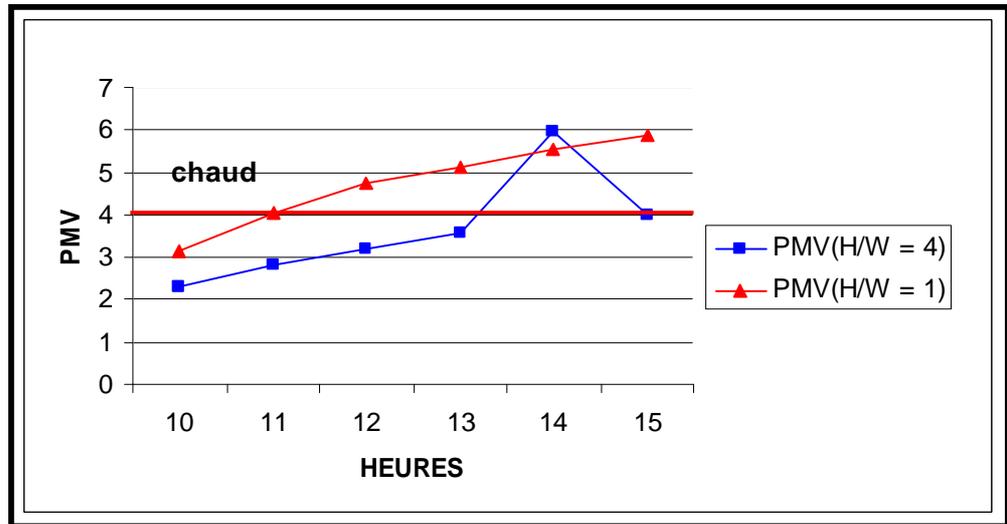


Figure n°48 : Variations du PMV pour l'orientation NORD-EST SUD-OUEST

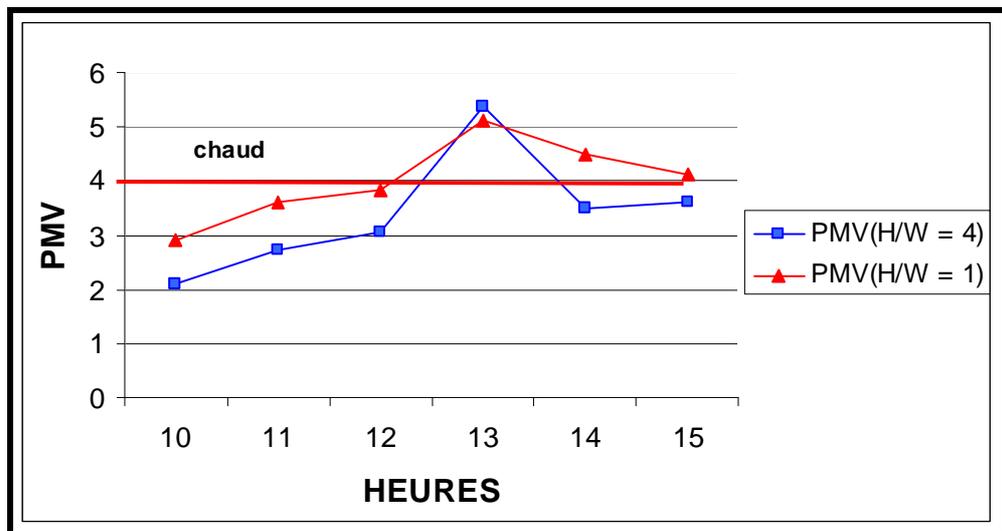


Figure n°49 : Variations du PMV pour l'orientation NORD-SUD

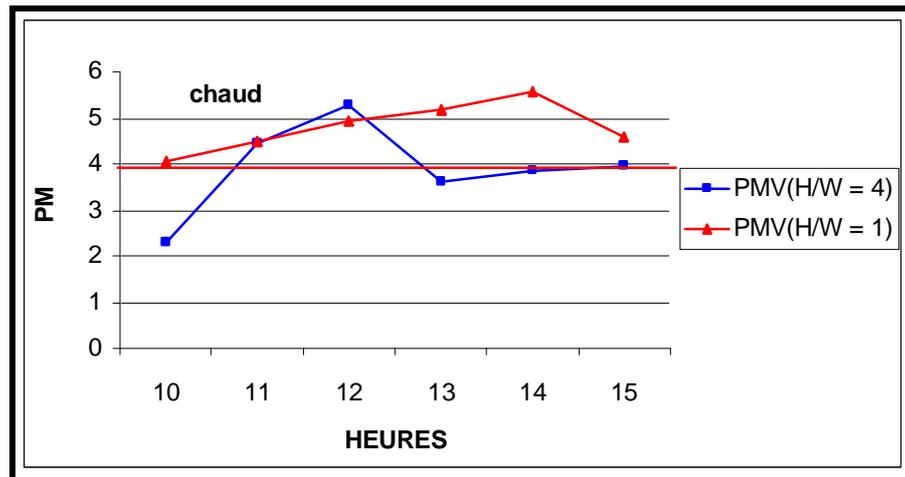


Figure n°50 : Variations du PMV pour l'orientation NORD-OUEST SUD-EST

Les figures n°51 et 52 montrent que l'orientation NORD-SUD offre plus de confort dans le cas des deux ratio $H/W=4$ et $H/W=1$. Ceci est dû à l'écoulement des vents dominants Nord d'été ce qui permet une meilleure ventilation.¹⁴

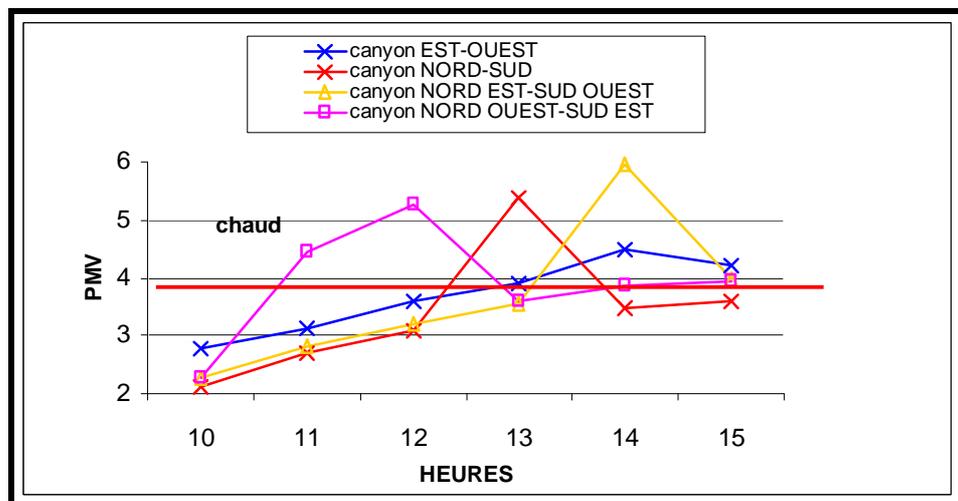


Figure n°51 : Variations du PMV pour les quatre orientations Ratio $H/W=4$

¹⁴ M.Santamouris, N.Klitsikas et K.Niahou. *ventilation of street canyons and its impact on passive cooling design*, 2002 in <http://www.lema.ulg.ac.be>

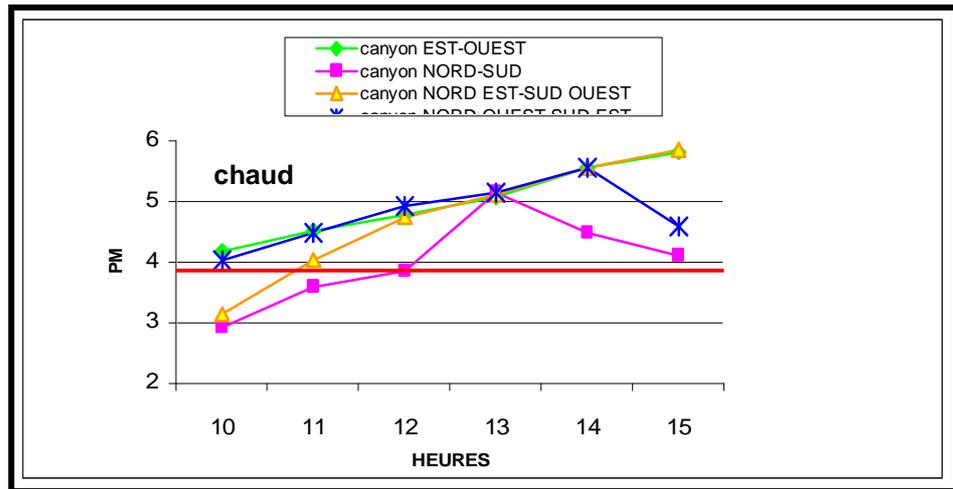


Figure n°52 : Variations du PMV pour les quatre orientations
Ratio H/W= 1

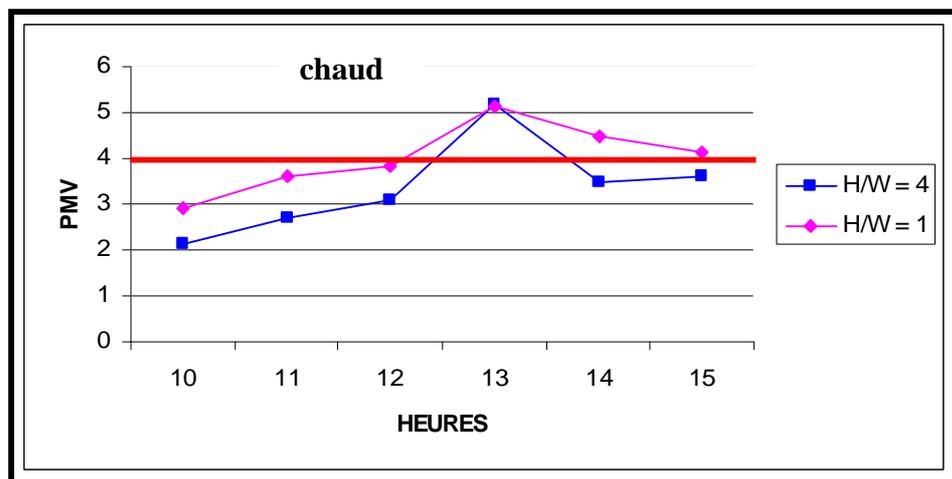


Figure n°... : Variations du PMV pour les deux ratios 1 & 4
Orientation Nord-Sud

A travers les figures de 53 à 60 qui montrent l'effet du vent dans les deux canyons simulés ayant respectivement des ratios de l'ordre de 1 et 4 à une heure fixe (13h00) et pour toutes les orientations, on peut conclure que le mouvement de l'air dans le canyon le plus large permet le balayage de l'ensemble du volume d'air dans le canyon.

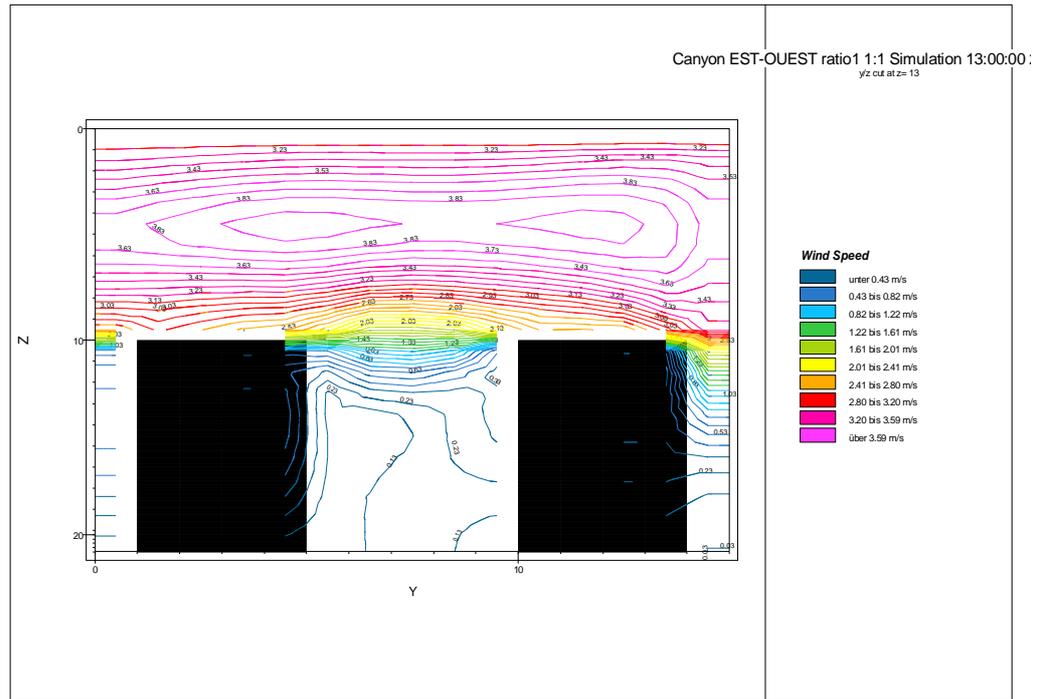


Figure n°53 : Variation de la vitesse de l'air, canyon EST-OUEST, Ratio=1 à 13h00

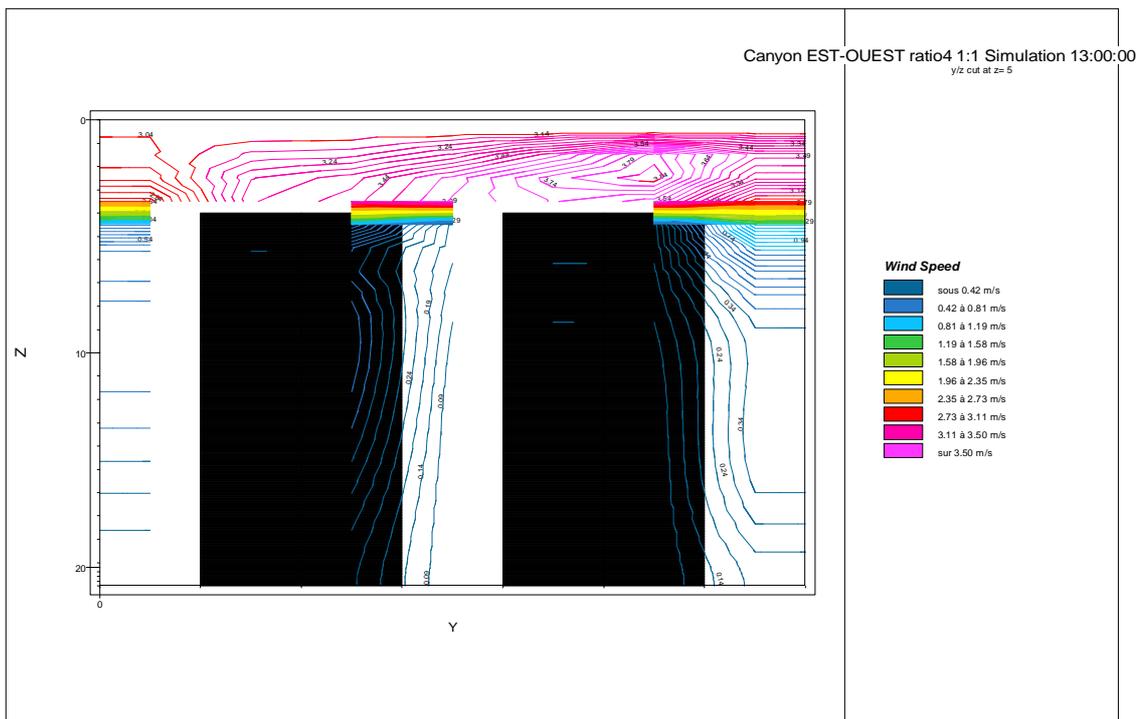


Figure n°54 : Variation de la vitesse de l'air, canyon EST-OUEST, Ratio = 4 à 13h00

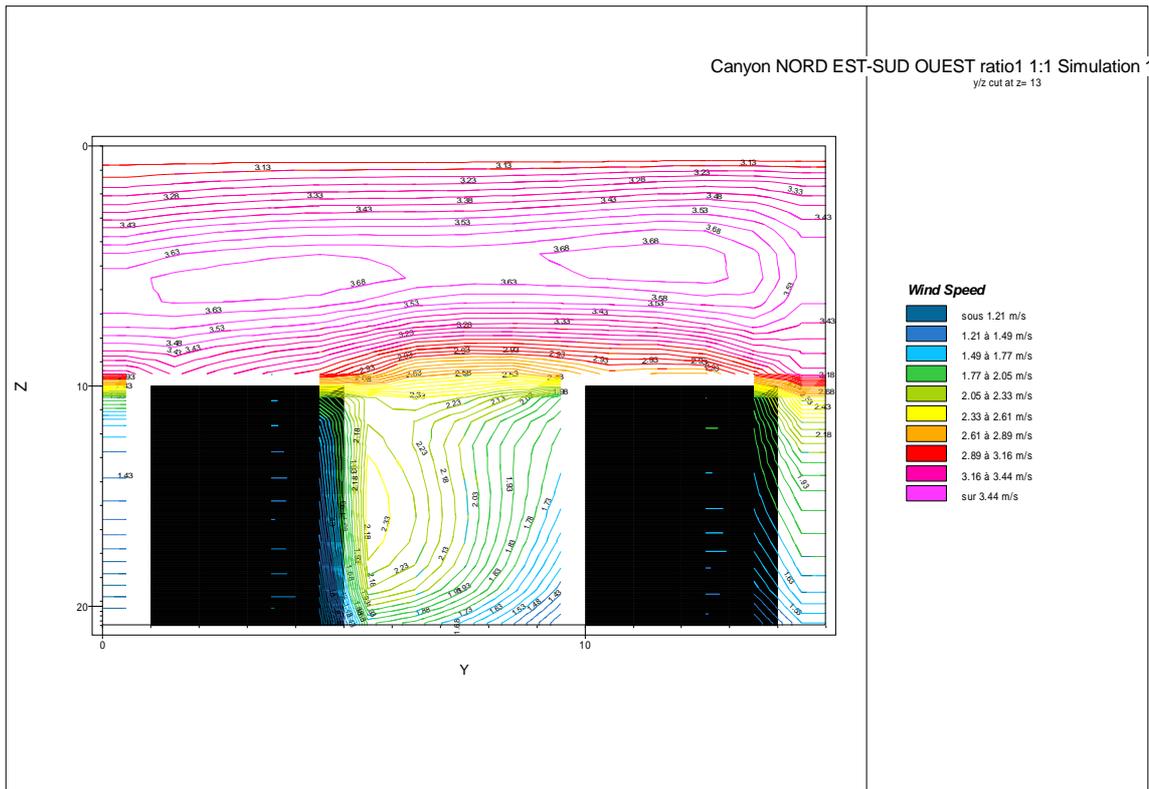


Figure n°55 : Variation de la vitesse de l'air, canyon NORD EST-SUD OUEST, Ratio=1 à 13h00

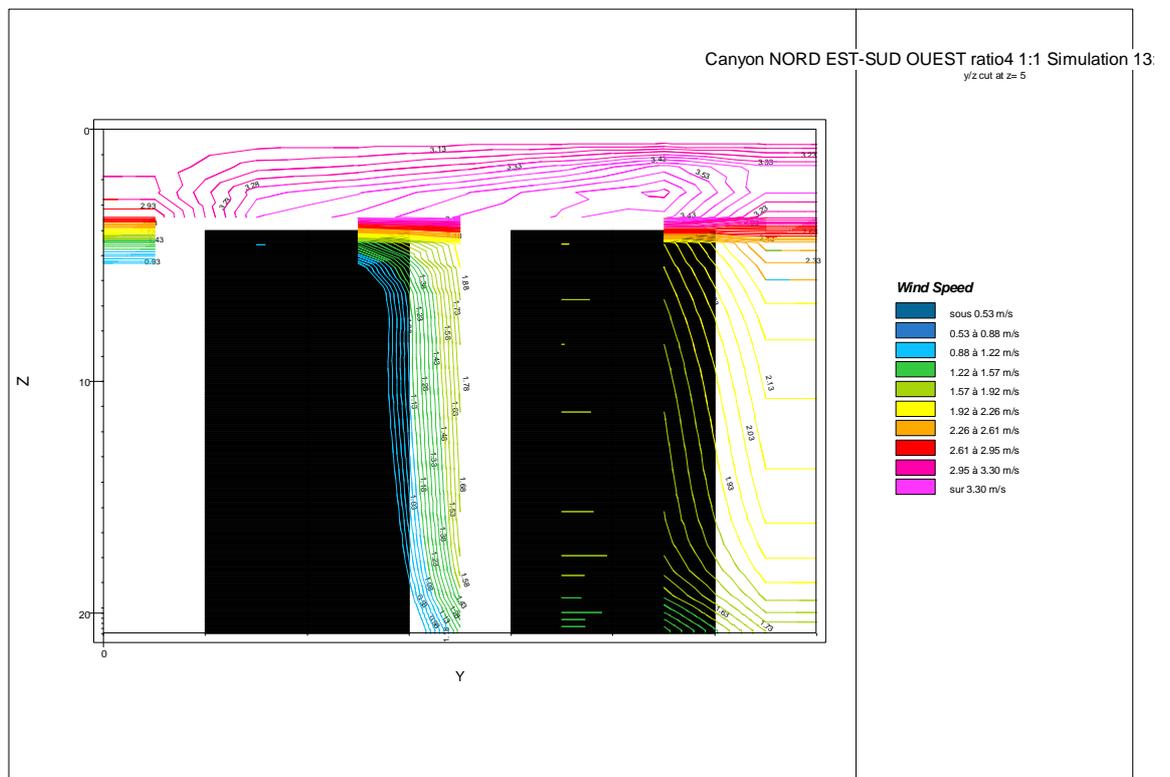


Figure n°56 : Variation de la vitesse de l'air, canyon NORD EST-SUD OUEST, Ratio=4 à 13h00

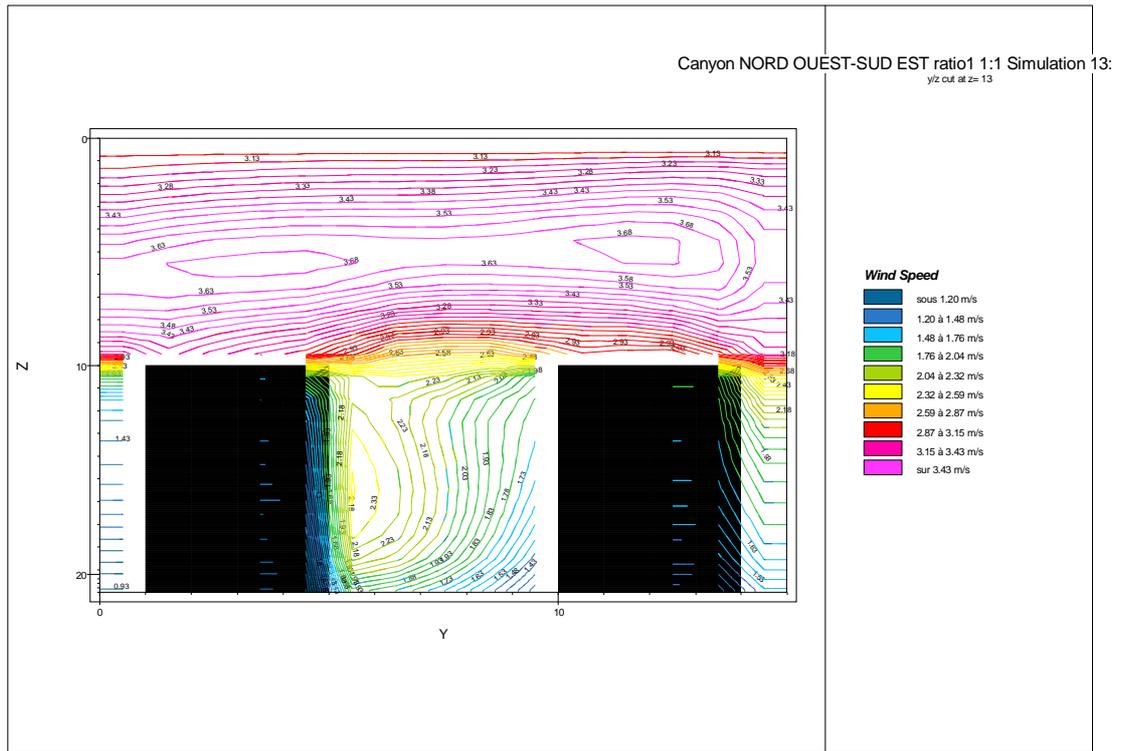


Figure n°57 : Variation de la vitesse de l'air, canyon NORD OUEST-SUD EST, Ratio=1 à 13h00

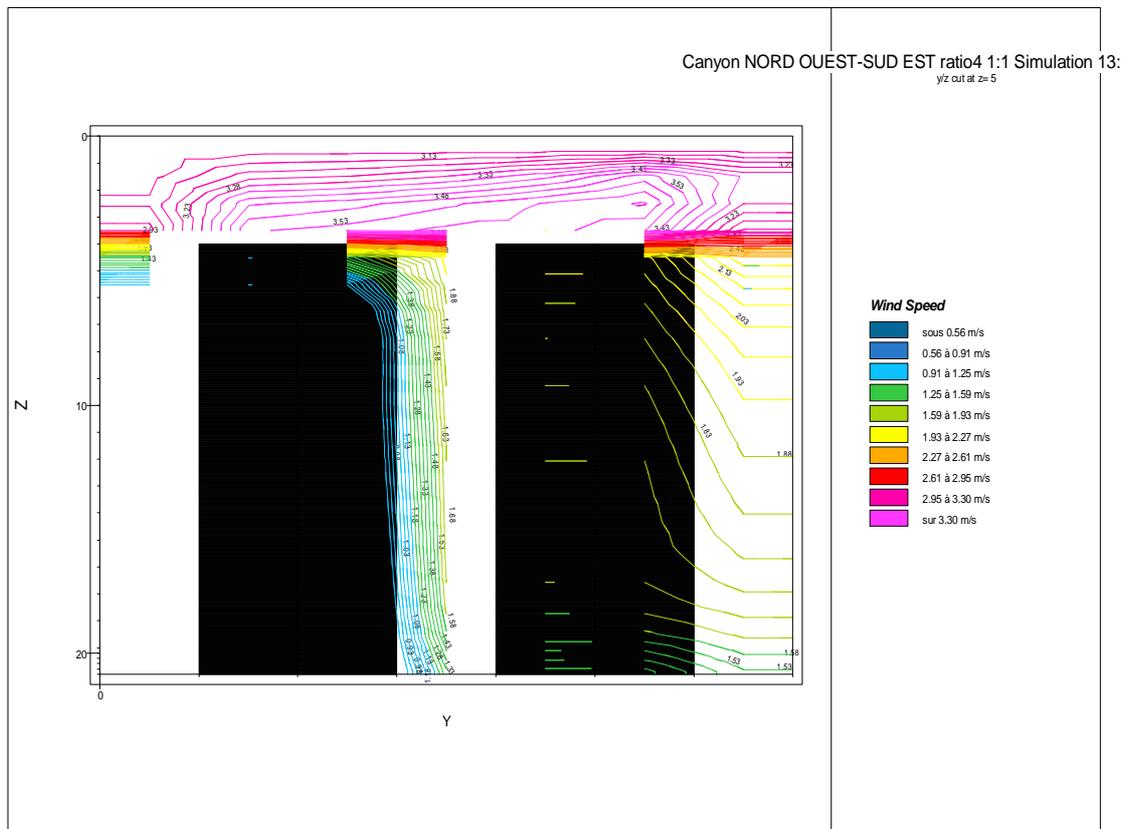


Figure n°58 : Variation de la vitesse de l'air, canyon NORD OUEST-SUD EST, Ratio=4 à 13h00

Les figure n°61 et 62 montrent à titre d'exemple que le gradient de la vitesse de l'air entre le début et la fin du canyon Nord-Sud (donc dans le sens d'écoulement des vents dominants d'été) à ratio= 1 est égal à 1m/s c'est à dire plus importante que celui du canyon à ratio= 4 avec une même orientation qui est égal à 0.2 m/s. ceci, nous confirme ce que Yochiba.A, Tommaga.K et Watani.S ont pu prouvé à travers une étude établie sur le bilan énergétique à l'intérieur d'un canyon urbain où ils ont abouti au fait qu'une rue large contribue à la diminution de la vitesse de l'air même si elle est orientée dans le sens d'écoulement des vents.¹⁵

¹⁵ Yochiba.A, Tommaga.K et Watani.S. "*field measurements and energy balance of an urban canyon in the summer season*". Energy an buildings,1990 91:15 16:417 23.

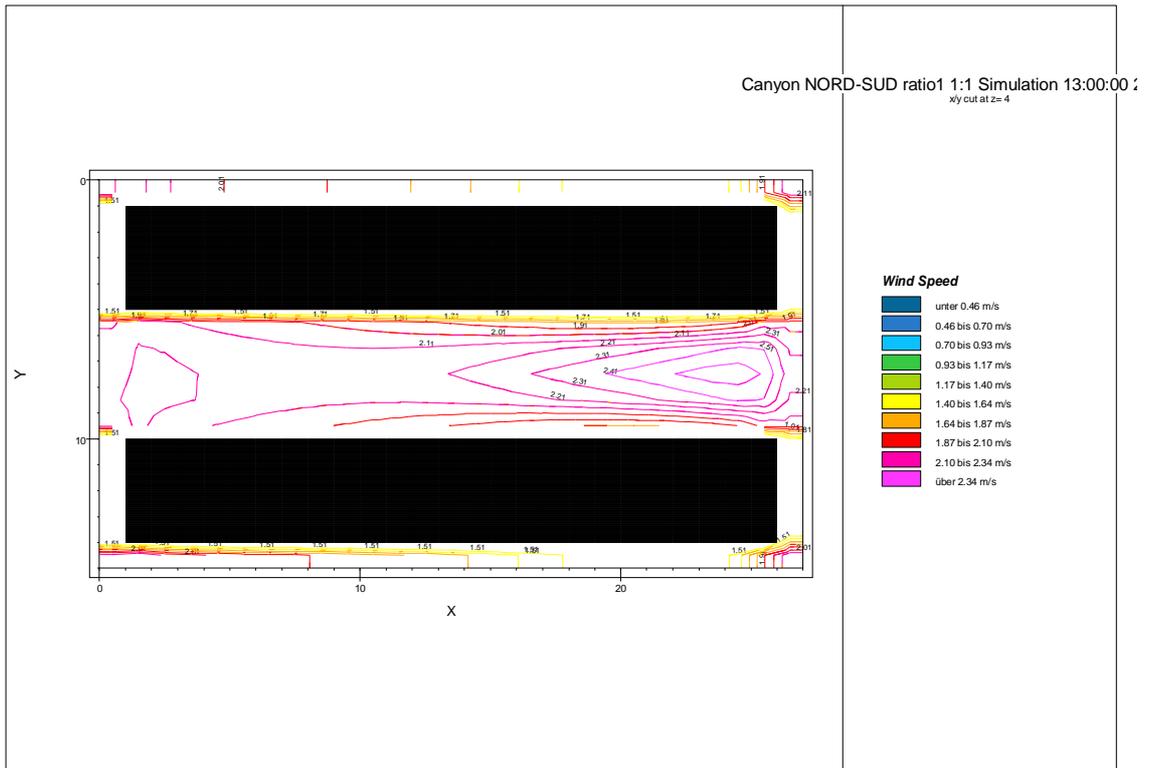


Figure n°61 : Vue en plan du canyon NORD -SUD, Ratio=1 à 13h00 indiquant la variation de la vitesse de l'air

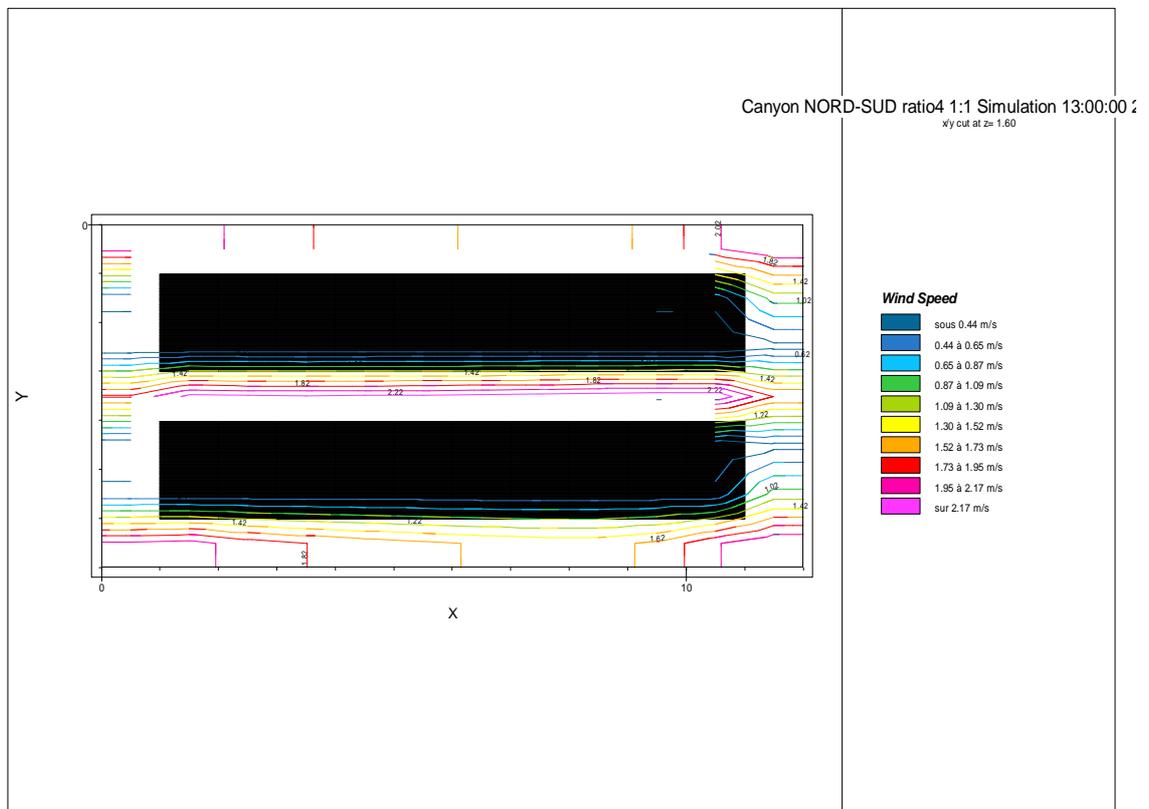


Figure n°62 : Vue en plan du canyon NORD -SUD, Ratio=4 à 13h00 indiquant la variation de la vitesse de l'air

CONCLUSION :

Ce présent chapitre a traité l'étape la plus délicate de notre recherche qui consiste en l'exploitation d'un programme de simulation assez récent dont la dernière version fût révisée en l'an 2004. ceci nous a offert la chance de le découvrir en s'imbibant dans de nouvelles options aussi riches qu'impressionnantes.

Le chapitre fût entamé par la présentation du logiciel « ENVI-met3 » , en présentant les différentes étapes à suivre ainsi que l'ensemble des icônes et commandes utiles à sa bonne exécution. Ensuite, ont été présentés les paramètres de base ou les entrées faisant l'objet du fichier (inputs) qui caractérisent l'aire à simuler. Ces paramètres concernent l'aspect géographique, physique et météorologique du site en question. Après, les résultats ont été présentées sous forme de vue en 2D et 3D.

Le premier objectif de ce chapitre a été atteint du moment où ENVI-met3 a fait ressortir des résultats conformes à l'investigation pratiques objet du chapitre précédent. Le deuxième objectif qui est l'évaluation de l'impact de la géométrie et l'orientation des canyons urbains sur le confort thermique extérieur a également connu un aboutissement assez satisfaisant.

La conception urbaine en zones arides et semi aride a fait l'objet de divers recherches à travers ces dernières années. Le résultat obtenu par la totalité de ces travaux est le soutien de la conception de tissus compact offrant plus de confort thermique notamment en période chaude. La présente recherche qui consiste en l'évaluation du confort thermique dans un canyon urbain sur la base du programme tridimensionnel de simulation ENVI-met3 contribue à la consolidation de ce résultat étant donné qu'un canyon urbain avec un grand ratio H/W s'avère le plus avantageux pour le confort thermique des usagers en été à condition de veiller à choisir l'orientation offrant plus de ventilation en période estivale qui est l'orientation Nord pour le climat de Constantine en vu de chasser la chaleur piégée dans les canyons.

ENVI-met3, nous a permis d'évaluer une multitude de paramètres climatiques simultanément. Ceci, est d'un apport considérable surtout quant à la fiabilité des résultats. La température de l'air est un paramètre climatique déterminant affectant sensiblement le confort thermique extérieur. Toutefois , elle est directement affectée par le mouvement de l'air ainsi que par l'irradiation solaire manifestée sous forme de la température moyenne radiante.



CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

La présente recherche a traité l'impact de la géométrie des canyons sur la température de l'air et des surfaces, ainsi que sur le confort thermique des usagers. L'effet du milieu urbain sur le climat a été pris en considération dans cette recherche à une échelle qualifiée de microclimatique. L'examen des modifications du climat à travers les différents niveaux scalaires a permis de situer l'espace extérieur urbain à une échelle microclimatique et mettre l'accent sur les éléments qui caractérisent l'ambiance thermique à ce niveau spatial. L'analyse des caractéristiques de la micro climatologie urbaine nous a incité à éclaircir le phénomène de l'îlot de chaleur urbain qui était notre point de départ de la problématique relative au micro climat urbain.

Nous rappelons que cette recherche a nécessité trois parties précédemment détaillées ,une partie théorique issue d'une analyse bibliographique répartie en six chapitres : Cette partie fût entamée par un bref historique sur l'adaptation de la rue aux différentes conditions climatiques à travers l'histoire. Ensuite, on a présenté des données générales sur le climat. L'intérêt était d'assurer une bonne connaissance et une meilleure compréhension des paramètres climatiques afin de pouvoir évaluer leur effets en milieux urbains.

Puis, on a procédé à une approche analytique dont l'objectif est de s'approfondir dans la notion du microclimat urbain et sa relation avec le processus rapide d'urbanisation. Les effets aérodynamiques , thermiques et radiatifs du climat en milieu urbain ont été également traités afin de pouvoir évaluer le rôle de la conception urbaine sur le climat à une échelle micro climatique. Le comportement des différents éléments du climat en milieu urbain a fait l'objet d'un diagnostique dont l'objectif était de mieux maîtriser l'impact qu'ils subissent par les milieux rugueux.

En allant du macro au micro, il a fallu consacrer un chapitre entier à ce composant de base des tissus urbains qui est « la Rue » précisément celle du type « canyon ». La mise en valeur de ce concept fût entamé tout d'abord par sa définition et celle des paramètres qui la caractérisent en mettant l'accent sur son aspect géométrique et les effets climatiques qu'elle génère notamment aérodynamiques, thermiques et radiatifs.

Avant d'entamer la relation entre la géométrie des canyons et le confort thermique extérieur,à travers des travaux de recherches déjà effectués, on a jugé indispensable de

présenter les données de base ayant trait à la notion de confort extérieur ce qui nous a incité à éclaircir le comportement du métabolisme humain vis-à-vis du climat.

Procéder à une recherche pratique sur terrain a exigé une analyse climatique sur la ville de Constantine ce qui nous a permis la classification du climat Constantinois, ainsi que l'aboutissement à des orientations et des recommandations qui peuvent éventuellement dicter des principes de base de la conception urbaine bioclimatique. Cette approche a été basée sur des méthodes d'analyse climatiques et bioclimatiques universelles.

Une deuxième partie a concerné une investigation sur un tissu urbain existant qui est le « Coudiat » de Constantine, pour ce, une importante campagne de mesure a eu lieu sur deux axes routiers comportant sept stations de mesure et ce pendant plusieurs jours successifs. Les mesures de la températures de l'air et des surfaces (chaussée) ont été effectuées en moyen d'un thermocouple .

Avant d'entamer la procédure des canyons urbains, le premier résultat obtenu par cette investigation est la distinction entre trois types d'espaces urbains caractérisant notre site : espace dégagé, espace dièdre et espace canyon. Ce résultat a permis d'évaluer l'espace canyon par rapport aux deux autres. Par conséquent , on a pu conclure qu'un tissu urbain compact est le plus avantageux en période chaude offrant plus d'ombre et de fraîcheur.

La deuxième conclusion est la forte corrélation qui existe entre la température de l'air dans un canyon urbain et son ratio H/W. Parmi les deux canyons investigués celui orienté NE-SO avec un ratio égale à 4.7 offre plus de fraîcheur que le canyon orienté NO-SE avec un ration égale à 3.3. Une corrélation existe également entre le facteur d'ouverture au ciel (SVF) et la température de l'air et des surfaces.

Cependant , ces résultats malgré l'apport bénéfique qu'ils apportent nécessitaient d'être validés et complétés par un programme de simulation surtout que l'instrument de mesure employé ne permet pas d'évaluer le confort thermique extérieur.

La simulation numérique constitue la troisième partie de la recherche. Elle s'est basée sur un programme tridimensionnel appelé « ENVI-met3 » qui a permis de vérifier et de valider d'abord les résultats obtenus par la campagne de mesure puis d'évaluer le confort thermique au niveau des canyons urbains en question. Le canyon orienté NE-SO est le plus confortable que celui orienté NO-SE, ce qui est conforme aux résultats de l'investigation.

En procédant à la modifications des deux paramètres : orientation des canyons et le ratio H/W, avantage offert par le programme de simulation exploité, il s'avère qu'un canyon urbain à géométrie compacte , donc ayant un ratio H/W important orientée Nord-Sud est le mieux avantageux pour un confort thermique d'été pour un climat semi aride comme celui de la ville de Constantine. Au moment où un grand ratio H/W crée un effet d'ombre important et diminue la quantité de rayons solaires pouvant toucher les parois du canyon, l'orientation Nord-Sud parallèle à la direction des vents dominants Nord d'été favorise une bonne ventilation naturelle.

L'indice de confort thermique PMV développé tant pour les espaces intérieurs qu'extérieurs¹ est fortement lié à la température de l'air à l'intérieur des canyons urbains et ce d'après les résultats de la simulation.

L'impact de la géométrie des canyons urbains et de leur orientation sur la température de l'air ainsi que sur le confort thermique extérieur est donc très important.

Les résultats de cette présente recherche sont maintenant en mesure d'être généralisés vu que la simulation numérique nous a offert la possibilité de créer une base de donnée assez fiable. D'autres axes de recherche s'ouvrent et beaucoup d'interrogations peuvent être résolus du moment où ENVI-met3 est capable d'évaluer et de tester une multitude de paramètres liés à la micro climatique urbaine.

En conclusion, les objectifs précédemment tracés ont été atteint et les hypothèses mises en place ont été largement vérifiées.

¹ Mayer H. *Urban bioclimatology*. Experientia 1993;49:957–63.

BIBLIOGRAPHIE :I. Livres :

1. O.H.Koenigsberger, T.G.Ingersoll, A.Mayhew et S.V.Szokolay. *housing and building ; Patone. Climatic design*. London,1980.
2. LUCIA, Mascaro. *Urban environment*. Porto Alegre(Brazil),1996.
3. GANDEMER, Jacques et GUYOT,Alain. *La protection contre le vent*. Paris, centre scientifique du bâtiment,1981.
4. DESSUS,Benjamin et PHARABOD,François. *L'énergie solaire*. Paris,que sais je ?,2002.
5. Olgyay and Olgyay. *Solar control and shading devices*. New Jersey,1976.
6. EVANS, Martin. *Housing, climate and comfort*. New york,1980.
7. MAZRIA,Edward. *Le guide de l'énergie solaire passive*. Parenthèses,1975.
8. GUYOT,Gérard. *Climatologie d l'environnement*. Paris,Dunod,1999.
9. JEAN PIERRE Muret, YVES MARIE Allain et MARIE LISE Sabrie. *Les espaces urbains ; Concevoir, Réaliser, Gérer*. Paris, le moniteur, 1987.
10. PEUPORTIER Bruno. *Eco-conception des bâtiments ; bâtir en préservant l'environnement*. Paris, les presses,2003.
11. LE CHAPEELLIER,Pierre. *Le vent, les éoliennes et l'habitat*. Paris, Eyrolles,1981.
12. TABEAUD,Martine. *La climatologie*. Paris, Armand Colin.2000.
13. *Archi bio*. Parenthèse édition, 1979
14. DIB,Michel Nadia. *Recommandations architecturales*. Alger. ENAG-Edition. 1993

II. Thèses et mémoires :

1. NOUIBAT,Brahim. *Adaptation d'un COS optimal à l'habitation individuelle en milieu aride et semi aride (cas de Boussaâda)*. Thèse de Magistère. Université Mohamed Kheidar. Biskra,1997.
2. SEGUIROU,Belkacem. *Vers une approche environnementale de l'espace urbain : influence des règles du prospect sur les formes urbaines en milieu arides et semi arides (cas de Biskra)*. Thèse de Magistère. Université Mohamed Kheidar. Biskra,2002.

3. TAYER,A/Hakim. *Espaces de communication et climat*. Thèse de Magistère. Université Mohamed Kheidar. Biskra,1996.
4. MASMOUDI,Soraya. *Relation entre géométrie urbaine,végétation et confort thermique extérieur : cas de la place dans les régions arides à climat chaud et sec*. Thèse de Magistère. Université Mohamed Kheidar. Biskra,2003.
5. 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 : ensemble de bâtiments collectifs des zhun à Biskra*. Thèse de Magistère. Université Mohamed Kheidar. Biskra,2003.
6. BENADJI Amar. *Adaptation climatique ou culturelle en zones arides ; cas du Sud-Est Algérien*. Thèse de Doctorat,Université d'Aix Marseille I,1999.
7. GLOCKNER,Stéphane. *Contribution à la modélisation de la pollution atmosphérique dans les villes*. Thèse de Doctorat, Université Bordeaux I,2000.
8. DE HATTEN,Anne. *Mise en évidence des caractéristiques générales de l'îlot de chaleur urbain Strasbourgeois*. Thèse de maîtrise de Géographie. Université Louis Pasteur de Strasbourg. 2002.
9. JEROME,Colin. *Définition d'une approche de la modélisation de la rugosité aérodynamique en milieu urbain*. Thèse de maîtrise de Géographie. Université Louis Pasteur de Strasbourg. 2001
10. BOURBIA, Fatiha. *Building cluster and shading in hot dry climate*. Thèse de Doctorat. University of reading. 1999

III. Publications :

1. F. Bourbia, F. Boucheriba et H.Tebbani, *Street design and outdoor comfort for semi arid climate*. PLEA,2005. Paper accepted for publication in July 2005.
2. Oke T. *Street design and urban canopy layer climate*. Energy and Buildings 88;11:103–13.
3. Ali-Toudert F,Bensalem R. *A methodology for a climatic urban design*. Proceedings of the 18th conference on PLEA, Florianopolis, Brasil, 7–9 November 2001. p. 469–73.
4. Nunez M,Oke T. *The energy balance of an urban canyon*. Journal of Applied Meteorology 1977;16:11–9.

5. Yoshida A, Tominaga K, Watani S. *Field measurements on energy balance of an urban canyon in the summer season*. Energy and Buildings 1990–91;15–16:417–23.
6. Arnfield J, Mills GM. *An analysis of the circulation characteristics and energy budget of a dry, asymmetric, east–west urban canyon*. II. Energy budget. International Journal of Climatology 1994;14:239–61.
7. Todhunter PE. *Microclimatic variations attributable to urban canyon asymmetry and orientation*. Physical Geography 1990;11:131–41.
8. Nakamura Y, Oke T. *Wind, temperature and stability conditions in an east–west oriented urban canyon*. Atmospheric Environment 1988;22:2691–700.
9. Santamouris M, Papaniko, Laou N, Koronakis I, Livada I and Asimakopoulos D. *Thermal and air flow characteristics in a deep pedestrian canyon under hot weather conditions*. Atmospheric Environment 1999;33:4503–21.
10. Grundström K, Johansson E, Mraisi M, Ouahrani D. *Climat et urbanisme, la relation entre confort thermique et la forme du cadre bâti*. Report 8. Housing Development and Management, Lund University; 2003.
11. Coronel JF, Alvarez S. *Experimental work and analysis of confined urban spaces*. Solar Energy 2001;70:263–73.
12. Swaid H, Bar-El M, Hoffman ME. *A bioclimatic design methodology for urban outdoor spaces*. Theoretical and Applied Climatology 1993;48:49–61.
13. Mayer H, Hoppe P. *Thermal comfort of man in different urban environments*. Theoretical and Applied Climatology 1987;38:43–9.
14. Mayer H. *Urban bioclimatology*. Experientia 1993;49:957–63.
15. Pearlmutter D, Bitan A, Berliner P. *Microclimatic analysis of “compact” urban canyons in an arid zone*. Atmospheric Environment 1999;33:4143–50.
16. Arnfield J. *Street design and urban canyon solar access*. Energy and Buildings 1990;14:117–31.
17. Hoppe P. *The physiological equivalent temperature—a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment*. International Journal of Biometeorology 1999;43:71–5.
18. Office National de la Météorologie. *Atlas climatologique national, Station Ghardaïa*, Partie: recueil de données, Alger; 1985.
19. Ravérau A. *Le Mzab une leçon d’architecture*. Sindbad; 1981.

20. Givoni B. Climate considerations in building and urban design. New York: Van Nostrand Reinhold,1997.
21. Golany G,editor. Design for arid regions. New York: Van Nostrand Reinhold,1982.
22. Arnfield J. Two decades of urban climate research: a review of turbulence,exchange es of energy and water,and the urban heat island. International Journal of Climatology 2003;1–26.
23. Herbert JM,Johnson GT,Arnfield J. Modelling the thermal climate in city canyons. Environmental Modelling Software 1998;13:267–77.
24. Mills G. Simulation of the energy budget of an urban canyon I. Model structure and sensitivity test. Atmospheric Environment 1993;27b:157–70.
25. Arnfield J. A simple model of urban canyon energy budget and its validation. Physical Geography 2000;21:305–26.
26. Arnfield J,Herbert JM, Johnsson GT. A numerical simulation investigation of urban canyon energy budget variations. Proceedings of the second symposium on urban environment,AMS, 1998;2–5.
27. Swaid H,Hoffman ME. Prediction of urban air temperature variations using the analytical CTTC model. Energy and Buildings 1990;14:313–24.
28. Asawa T,Hoyano A,Nakaoh hkubo K. Thermal design tool for outdoor space based on numerical simulation system using 3DCAD. Proceedings of the 21st conference on PLEA,Eindhove n, The Netherlands,19–22 September, 2004. p. 1013–8
29. Teller J,Azar S. TOWNSCOPE II—A computer system to support solar access decision-making. Solar Energy 1999;70:187–200.
30. Bruse M. *The influences of local environmental design on microclimate- development of a prognostic numerical Model ENVI-met for the simulation of Wind, temperature and humidity distribution in urban structures*. Ph.D. Thesis,Germany : University of Bochum; 1999 (in German).
31. Bruse M,Fleer H. *Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three-dimensional numerical model*. Environmental Modelling Software 1998;13:373–84.
32. Bruse M. ENVI-met homepage: www.envi-met.com,2004.
33. VDI. Methods for the human-biometeorological assessment of climate and air quality for urban and regional planning. Part 1: climate. VDI Guideline 3787,Part 2,1998.
34. Fanger PO. Thermal comfort. Copenhagen: Danish Technical Press; 1970.

35. Pickup J, de Dear R. An outdoor thermal comfort index (OUTSET*) –part 1- The model and its assumptions. Proceedings of the 15th International congress biometeorology and international conference on urban climatology, Sydney, Australia. 1999. p. 279–83.
36. Watson ID, Johnsson GT. Estimating person view-factors from fish eye lens photographs. *International Journal of Biometeorology* 1988;32:123–8.
37. Nikolopoulou M, Baker N, Steemers K. Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter. *Solar Energy* 2001;70:227–35.
38. ASHRAE, Chapter 13—measurements and instruments. In: *Handbook of Fundamentals*. Atlanta, ASHRAE ; 2001. p. 13.26–7.
39. Krysa SA, Brown RD. Radiation absorbed by a vertical cylinder in complex outdoor environments under clear sky conditions. *International Journal of Biometeorology* 1990;34:69–75.
40. Hoppe P. A new procedure to determine the mean radiant temperature outdoors. *Wetter und Leben* 1992;44:147–51 (in German).
41. Knowles RL. The solar envelope: its meaning for energy and buildings. *Energy and Buildings* 2003;35:15–25.
42. Capeluto IG, Shaviv E. On the use of solar volume for determining the urban fabric. *Solar Energy* 2001;70:275–80.
43. Pereira FOR, Silva CAN, Turkienikz B. A methodology for sunlight urban planning: a computer-based solar and sky vault obstruction analysis. *Solar Energy* 2001;70:217–26.
44. Mills G. The radiative effects of building groups on single structures. *Energy and Buildings* 1997;23:51–61.
45. Spagnolo J, de Dear R. A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia. *Building and Environment* 2003;38:721–38.
46. Nagara K, Shimoda Y, Mizuno M. Evaluation of the thermal environment in an outdoor pedestrian space. *Atmospheric Environment* 1996;30:497–505.

IV. Sites Internet :

[http:// www.civil.usherbrook.ca](http://www.civil.usherbrook.ca)

<http://www.planbleu.com>

<http://www.ville.emard.com>

<http://www.freefoto.com>

<http://www.cust.univ-bpclermont.fr>

<http://www.equiterre.qc.ca>

<http://www.unige.ch>

<http://www.insu.cnrs.fr>

<http://www.equiterre.qc.ca>

[http:// www.cam.org](http://www.cam.org)

<http://www.lema.ulg.ac.be>

<http://www.jxj.com>

<http://www.mrw.wallonie.be>

<http://www.encyclopetique.inst.st-joseph.qc.ca.htm>

[http:// www.partnairsinaire.org](http://www.partnairsinaire.org)

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

<http://www.weatheroffice.pyr.ec.gc.ca>

<http://www.cust.univ-bpclermont.fr>

<http://www.ciep.fr>

[http://www. Congonline.com](http://www.Congonline.com)

<http://www.literva.pf>

<http://www.eleves.mines.inpl-narey.fr>

[http:// www.oqlf.gouv.qc.ca](http://www.oqlf.gouv.qc.ca)

[http:// www.protherm.rhone.ch](http://www.protherm.rhone.ch)

[http:// www. nmarcoux.aol.com](http://www.nmarcoux.aol.com)

[http:// meteocentre.com](http://meteocentre.com)

LISTE DES FIGURES

Numéro de la figure	Titre	Page
CHAPITRE I		
Figure n°1a	Ancienne rue romaine	10
Figure n°1b	Tracé des rues de la ville de Timgad	10
Figure n°2	Dimensionnement d'une rue traditionnelle	12
Figure n°3	Vue sur la ville d'Avignon au XVIIème siècle, Concentration forte et anarchique des rues	13
Figure n°4	Place saint pierre (Vatican)	14
Figure n°5	rue d'Herculanum	15
Figure n°6	Place de l'étoile (Paris)	18
Figure n°7	Champs élysées (Paris)	18
CHAPITRE II		
Figure n°1-a	Direction du vent dans l'hémisphère Nord	27
Figure n°1-b	Direction du vent dans l'hémisphère Sud	27
Figure n°2-a	Mouvements des vents si la terre ne tournait pas	28
Figure n°2-b	Régime des vents affecté par la rotation de la terre	29
Figure n°3	Turbulence du vent autour d'une vitesse moyenne V_0	30
Figure n°4	Mouvement apparent du soleil	31
Figure n°5	Répartition des rayons solaires en fonction de longueurs d'ondes	32
Figure n°6	Bilan annuel des échanges d'énergie terre/espace en kWh/m ²	33
Figure n°7	L'atmosphère traversée par les rayons solaires	33
Figure n°8	Les différents flux radiatifs	35
Figure n°9-a	le rayonnement terrestre aux grandes longueurs d'ondes	35
Figure n°9-b	le rayonnement infrarouge émis par la Terre	35
Figure n°10	Rotation de la terre autour de son axe	36
Figure n°11	Rotation de la terre autour du soleil	37
Figure n°12	Evaporation moyenne annuelle par latitude (en cm)	39
Figure n°13	Précipitations annuelles dans le monde	40
CHAPITRE III		
Figure n°1	Perspectives sur l'urbanisation mondiale par décennie	44
Figure n°2	Perspectives de l'urbanisation mondiale par région	44
Figure n°3	Profil d'un îlot de chaleur urbain et ses relations avec les paramètres de surface	47
Figure n°4	Répartition du profil de l'ICU en pic, plateau et vallée en fonction des paramètres de surface	47
Figure n°5	Différentes couches constituant l'Atmosphère	52
Figure n°6	Situation de la couche limite planétaire par rapport à la basse atmosphère	53
Figure n°7	Différentes couches de la couche limite planétaire	54
Figure n°8	Situation de la couche limite urbaine par rapport à la couche limite rurale	54
Figure n°9	Présentation simplifiée de la couche limite urbaine et la canopée urbaine	54
Figure n°10	Différentes activités anthropiques	56
Figure n°11	Différentes valeurs de l'albédo dans une ville	57
Figure n°12	Réduction de la vitesse d'écoulement du vent en rencontre d'un obstacle	59
Figure n°13	Comportement du vent en rencontre d'un obstacle	59
Figure n°14-a	Comportement du vent en rencontre de plusieurs obstacles (vue en coupe)	59
Figure n°14-b	Comportement du vent en rencontre de plusieurs obstacles (vue en plan)	60
Figure n°15	Perturbation de l'écoulement du vent en zone rugueuse (canopée urbaine)	60
Figure n°16	Comportement du vent en fonction des espacements entre les constructions	61
Figure n°17	Variation de la vitesse du vent entre la ville et ses alentours (la campagne)	62
Figure n°18	Différentes classes de rugosité	63

Figure n°19	Différents effets des vents au niveau du sol	66
Figure n°20	Phénomènes de panache et de dôme urbains au-dessus des villes	67
Figure n°21	Variation de la température en fonction de l'altitude	68
Figure n°22	Eléments du bilan thermique d'une surface non urbaine	69
Figure n°23	Eléments du bilan thermique en milieu urbain	70
Figure n°24	Formation des précipitations en milieu urbain	71
Figure n°25-a	Exemple d'une mauvaise qualité de l'air à Mexico	73
Figure n°25-b	Contribution des vents à la dispersion des polluants	73
Figure n°26	Phénomène d'inversion thermique	74
CHAPITRE IV		
figure n°1	Dimensions d'une rue	77
figure n°2	canyon urbain	78
figure n°3	canyon naturel	78
figure n°4	Différentes géométries de la rue : canyon, dièdre et dégagée	79
figure n°5	Allure de la structure de l'écoulement autour de cubes (petite rue) dans un flux turbulent	79
Figure n°6-a	Structures identiques autour des bâtiments isolés	80
Figure n°6-b	Écoulement à sillage perturbé	80
Figure n°6-c	Écoulement rasant	80
Figure n°7-a	Les trois types d'écoulement : à structure isolée, à sillage perturbé et rasant tels que présentés par T.R.Oke	81
Figure n°7-b	Variation du régime d'écoulement en fonction des deux ratios : L/H et H/W	81
Figure n°8	L'effet thermique des bâtiments sur la circulation de l'air dans une rue de type « canyon »	83
Figure n°9-a	Phénomène d'inter-réflexion dans un « canyon »	84
Figure n°9-b	Phénomène d'inter-réflexion dans un « canyon »	84
CHAPITRE V		
Figure n°1	Équilibre thermique du corps humain	89
Figure n°2	Classification des valeurs du PMV selon neuf échelles de confort	92
Figure n°3	Vitesse de l'air à l'intérieur et à l'extérieur de dix canyons différents	96
Figure n°4	Écoulement de l'air dans un long canyon orienté dans le sens des vents	96
Figure n°5	Différents flux radiatifs dans un canyon urbain	97
CHAPITRE VI		
Figure n°1	Situation de l'Algérie	101
Figure n°2	Situation de la ville de Constantine	103
Figure n°3	Les zones climatiques d'hiver en Algérie	104
Figure n°4	Les zones climatiques d'été en Algérie	104
Figure n°5	Variation mensuelle de la température et de l'humidité relative de l'air	105
Figure n°6	Variation moyenne mensuelle de l'énergie incidente	106
Figure n°7	Isothermes indiquant les différentes zones thermiques	107
Figure n°8	Diagramme solaire indiquant la trajectoire solaire pour la ville de Constantine	107
Figure n°9	Zone de surchauffe pour la ville de Constantine	108
Figure n°10	Moyenne mensuelle de la durée d'insolation pour la ville de Constantine	109
Figure n°11	Répartition annuelle des précipitations	109
Figure n°12	Variation de la vitesse moyenne des vents	110
Figure n°13	Rose des vents pour la ville de Constantine	110
CHAPITRE VII		
Figure n°1	Situation du site d'investigation	115
Figure n°2	Plan de masse du site d'investigation	116
Figure n°3-a	Coupe : AA	117
Figure n°3-b	Coupe : BB	117
Figure n°4	Trajectoire solaire et direction des vents	118

Figure n°5	Instrument de mesure	120
Figure n°6	Les deux axes choisis pour étude	121
Figure n°7	Les différentes stations de mesure	122
Figure n°8-a	Vue sur l'axe Nord-Est/Sud-Ouest	122
Figure n°8-b	Plan de l'axe Nord-Est/Sud-Ouest	123
Figure n°9	Station de mesure n° 1 (plan, coupe , photo fish-eye)	124
Figure n°10	Station de mesure n° 2 (plan, coupe , photo fish-eye)	125
Figure n°11	Station de mesure n° 3(plan, coupe , photo fish-eye)	126
Figure n°12	Station de mesure n° 4 (plan, coupe , photo fish-eye)	127
Figure n°13	Station de mesure n° 5 (plan, coupe , photo fish-eye)	128
Figure n°14-a	Vue sur l'axe Nord-Ouest/Sud-Est	129
Figure n°14-b	Plan de l'axe Nord-Ouest/Sud-Est	129
Figure n°15	Station de mesure n° A	130
Figure n°16	Station de mesure n° C	131
Figure n°17	Canyon orienté Nord-Est/Sud-Ouest (plan + coupe)	132
Figure n°18	Canyon orienté Nord-Ouest/Sud-EST (plan + coupe)	132
Figure n°19	Variation de la température de l'air durant la période de mesure Pour l'ensemble des stations	134
Figure n°20	Distinction entre espace dégagé, espace dièdre et espace canyon	135
Figure n°21	Variation de la température de l'air:axe NORD-EST / SUD-OUEST Stations 1 et 4	135
Figure n°22	Ensoleillement des deux stations 1 et 4	136
Figure n°23	Phénomène d'inter-réflexion	137
Figure n°24	SVF au niveau des deux stations 1 et 4	137
Figure n°25	Variation de la température de l'air : axe NORD-EST/SUD-OUEST Stations 5 et 4	138
Figure n°26	SVF et ensoleillement de la station 5	138
Figure n°27	SVF et ensoleillement de la station 4	139
Figure n°28	Variation de la température de l'air : axe NORD-EST/SUD-OUEST Stations 1 et 5	139
Figure n°29	SVF et ensoleillement de la station 1	140
Figure n°30	SVF et ensoleillement de la station 5	140
Figure n°31	Méthode de calcul du SVF	141
Figure n°32	Variations des températures de l'air et de surfaces en fonction du SVF Stations : 1,2,3,4,5,A et C	141
Figure n°33	Comparaison entre les températures de l'air et du sol Station n°1	142
Figure n°34	Comparaison entre les températures de l'air et du sol Station n°2	142
Figure n°35	Comparaison entre les températures de l'air et du sol Station n°3	143
Figure n°36	Comparaison entre les températures de l'air et du sol Station n°4	143
Figure n°37	Comparaison entre les températures de l'air et du sol : Station n°5	144
Figure n°38	Comparaison entre les températures de l'air et du sol : Station n° A	144
Figure n°39	Comparaison entre les températures de l'air et du sol Station n°: C	145
Figure n°40	Variation de la température de l'air entre les deux canyons N°4 et C	145
Figure n°41	Coupe transversale du canyon n°C H/W = 3.3	146
Figure n°42	Coupes transversale du canyon n°4 H/W = 4.7	146
Figure n°43	SVF au niveau des stations 4 et C	146
Figure n°44	Ensoleillement au niveau des stations 4 et C	147
Figure n°45	Variations de la température de l'air au niveau du canyon n°C par rapport à la température météo	148
Figure n°46	Variations de la température de l'air au niveau du canyon n°4 par rapport à la température météo	148
Figure n°47	Variations de la température de l'air au niveau des stations n°1,5, et 4 par rapport à la température météo	149
Figure n°48	Variations de la température de l'air au niveau des stations n°1 et 5 par rapport à la température météo	149

Figure n°49	Variations de la température de l'air au niveau des canyons n° 4 et C par rapport à la température météo	150
CHAPITRE VIII		
Figure n°1	Organigramme récapitulatif des étapes de la simulation	154
Figure n°2	Exemple de deux sites simulés tels qu'ils sont dessinés dans ENVI-met3 : Un parc et un centre urbain	155
Figure n°3	Exemple d'un site simulé tel qu'il est dessiné dans ENVI-met3 : Un canyon urbain	155
Figure n°4-a	Plan du 1 ^{er} axe simulé ; Nord Est -Sud Ouest Dessiné dans un fichier .in	157
Figure n°4-b	Plan du 2 ^{ème} axe simulé ; Nord Ouest -Sud Est Dessiné dans un fichier .in	157
Figure n°5-a	Exemple n°1 d'une présentation en 3D Vue en 3D du 1 ^{er} axe simulé ; Nord Est - Sud Ouest Lue par Leonardo	158
Figure n°5-b	Exemple n°2 d'une présentation en 3D Vue en 3D du 2 ^{ème} axe simulé ; Nord Ouest - Sud Est Lue par Leonardo	159
Figure n°6	Variation de la température de l'air, axe NE-SO à 8h00	162
Figure n°7	Variation de la température moyenne radiante, axe NE-SO à 8h00	162
Figure n°8	Variation du PMV, axe NE-SO à 8h00	163
Figure n°9	Variation de la vitesse de l'air, axe NE-SO à 8h00	163
Figure n°10	Variation de la température de l'air, axe NE-SO à 15h00	164
Figure n°11	Variation de la température moyenne radiante, axe NE-SO à 15h00	164
Figure n°12	Variation du PMV, axe NE-SO à 15h00	165
Figure n°13	Variation de la vitesse de l'air, axe NE-SO à 15h00	165
Figure n°14	Variation de la température de l'air, axe NE-SO à 00h00	166
Figure n°15	Variation de la température moyenne radiante, axe NE-SO à 00h00	166
Figure n°16	Variation du PMV, axe NE-SO à 00h00	167
Figure n°17	Variation de la vitesse de l'air, axe NE-SO 00 8h00	167
Figure n°18	Variation de la température de l'air, axe NO-SE à 8h00	168
Figure n°19	Variation de la température moyenne radiante, axe NO-SE à 8h00	168
Figure n°20	Variation du PMV, axe NO-SE à 8h00	169
Figure n°21	Variation de la vitesse de l'air, axe NO-SE à 8h00	169
Figure n°22	Variation de la température de l'air, axe NO-SE à 15h00	170
Figure n°23	Variation de la température moyenne radiante, axe NO-SE à 15h00	170
Figure n°24	Variation du PMV, axe NO-SE à 15h00	171
Figure n°25	Variation de la vitesse de l'air, axe NO-SE à 15h00	171
Figure n°26	Variation de la température de l'air, axe NO-SE à 00h00	172
Figure n°27	Variation de la température moyenne radiante, axe NO-SE à 00h00	172
Figure n°28	Variation du PMV, axe NO-SE à 00h00	173
Figure n°29	Variation de la vitesse de l'air, axe NO-SE à 00h00	173
Figure n°30	Variation de la température de l'air dans les deux canyons NE-SO et NO-SE	174
Figure n°31	Différence de température entre le dessus toit et l'intérieur des canyons NE-SO et NO-SE	175
Figure n°32	Variation de la température moyenne radiante dans les deux canyons NE-SO et NO-SE	176
Figure n°33	Variation du PMV dans les deux canyons NE-SO et NO-SE	177
Figure n°34	Variation du PMV dans le canyon NE-SO	178
Figure n°35	Variation du PMV dans le canyon NO-SE	178
Figure n°36	Changement d'orientation avec un ratio H/W= 4	179
Figure n°37	Changement d'orientation avec un ratio H/W= 1	179
Figure n°38	Variations du PMV pour l'orientation EST-OUEST	180
Figure n°39	Variations du PMV pour l'orientation NORD-EST SUD-OUEST	181
Figure n°40	Variations du PMV pour l'orientation NORD-SUD	181
Figure n°41	Variations du PMV pour l'orientation NORD-OUEST SUD-EST	182
Figure n°42	Variations du PMV pour les quatre orientations Ratio H/W= 4	182

Figure n°43	Variations du PMV pour les quatre orientations Ratio H/W= 1	183
Figure n°44	Variations du PMV pour les deux ratios 1 & 4 Orientation Nord-Sud	183
Figure n°45	Variation de la vitesse de l'air, canyon EST-OUEST, Ratio=1 à 13h00	184
Figure n°46	Variation de la vitesse de l'air, canyon EST-OUEST, Ratio = 4 à 13h00	184
Figure n°47	Variation de la vitesse de l'air, canyon NORD EST-SUD OUEST, Ratio=1 à 13h00	185
Figure n°48	Variation de la vitesse de l'air, canyon NORD EST-SUD OUEST, Ratio=4 à 13h00	185
Figure n°49	Variation de la vitesse de l'air, canyon NORD OUEST-SUD EST, Ratio=1 à 13h0	186
Figure n°50	Variation de la vitesse de l'air, canyon NORD OUEST-SUD EST, Ratio=4 à 13h00	186
Figure n°51	Variation de la vitesse de l'air, canyon NORD -SUD, Ratio=1 à 13h00	187
Figure n°52	Variation de la vitesse de l'air, canyon NORD -SUD, Ratio=1 à 13h00	187
Figure n53	Vue en plan du canyon NORD -SUD, Ratio=1 à 13h00 indiquant la variation de la vitesse de l'air	189
Figure n°54	Vue en plan du canyon NORD -SUD, Ratio=4 à 13h00 indiquant la variation de la vitesse de l'air	189

Numéro du tableau	Titre	Pages
CHAPITRE III		
Tableau n°1	Evolution de la quantité de polluants en fonction de la tailles des ville	58
Tableau n°2	Variation des valeurs de Zo et K en fonction de classe de rugosité	64
CHAPITRE IV		
Tableau n°1	Régime d'écoulement en fonction des trois dimensions H,L et W	82
CHAPITRE V		
Tableau n°1	Classification des valeurs du PMV selon les sept échelles de confort de « ASHRAE »	92
CHAPITRE VII		
Tableau n°1	Différentes valeurs de l'albédo	119
CHAPITRE VIII		
Tableau n°1	Paramètres du site simulé	157
Tableau n°2	Relation entre Tair,MRT et PMV au niveau des trois espaces Dégagé, dièdre et canyon	161
Tableau n°3	Relation entre Tair,MRT et PMV au niveau des deux canyons NE-SO et NO-SE	161
Tableau n°4	Variation des température bi-horaires dans le canyon NE-SO	177
Tableau n°5	Variation des température bi-horaires dans le canyon NO-SE	178

ICU	:Ilot de chaleur urbain
SVF	:Facteur d'ouverture au ciel
H	:Hauteur de la rue (m)
L	:Longueur de la rue (m)
W	:Largeur de la rue (m)
CLU	:Couche limite urbaine
CLP	:Couche limite planétaire
CU	:Canopée urbaine
PMV	:Vote moyen prévisible
MRT	:Température moyenne radiante (°C)
PET	:Température physiologique équivalente (°C)
CET	:Température effective corrigée (°C)
EW	:Chaleur équivalente (°C)
TO	:Température opérative (°C)
V	:Variation de la vitesse du vent en milieu urbain (m/s)
Vo	:Vitesse moyenne du vent (m/s)
Ia	:Indice d'aridité
.in	: Fichier de dessin de l'aire à simuler
.cf	Fichier de configuration de l'aire à simuler



ANNEXES

ANNEXES I



MESURES DES TEMPERATURES DE L’AIR ET DU SOL AU NIVEAU DES DEUX AXES INVESTIGUES

JOURNEE DU 24/07/2004**I- MESURES DE TEMPERATURES ET DE L'HUMIDITE RELATIVE:****A- AXE MUSEE/HOTEL DES FINANCES:**

	STATION 1					STATION 2					STATION 3					STATION 4					STATION 5				
	G	D	A	S	H	G	D	A	S	H	G	D	A	S	H	G	D	A	S	H	G	D	A	S	H
08h	24	24	24,5	24	58	24	24	23,6	24	59	23	22	21,5	23	55,2	23	23	21,5	23	54,9	23	23	21,3	23	55,3
10h	28	28	29	28	34,2	28	28	27,5	28	39,5	27	27	28,1	26	33,1	28	28	27,2	28	37,1	28	28	26,5	28	37,5
12h	33	34	33,5	40	17,7	31	33	35,5	33	19,7	32	33	36	37	17	31	31	36	35	18,8	32	32	37	39	18,8
14h	33	34	37,3	40	16,9	33	36	40,4	38	13,7	33	33	43,2	43	11,6	33	34	38,8	37	16,1	34	33	40,6	42	14,5
16h	35	35	37,1	37	17,2	34	37	32,4	40	14,3	34	34	41,4	40	12	35	34	39	38	14,5	35	34	39,5	47	14,7
18h	34	34	34,8	35	21,3	34	34	35,5	36	20,1	33	33	35	34	21,9	33	32	34,4	33	24,1	33	34	35,2	37	24,1
20h	31	31	30,9	31	34	31	31	31,4	31	28,8	30	30	31,4	31	29,8	31	31	30,9	31	30,6	31	31	31,3	31	30,8
22h	30	30	28,8	30	40,1	30	30	28,7	30	39,4	29	29	28,3	29	38,9	29	29	28	29	37,5	29	29	28,1	29	38
24h	27	27	27,3	27	38	27	27	27,1	27	38	27	27	27,7	27	37,5	27	27	27,5	27	36,6	27	27	27,5	27	36,3
02h	28	28	26,8	28	39,8	28	28	26,2	28	40,8	28	28	25,9	28	41	27	27	25,7	27	40,8	27	27	25,6	27	40,8
04h	28	28	25,5	28	43,3	27	27	25,4	27	43,3	27	27	25,2	27	43,1	27	27	25,1	27	43	27	27	24,8	27	43
06h	27	27	25,1	27	41,5	27	27	23,1	25	44,2	26	26	22,7	26	46,3	26	26	22,5	26	47,2	25	25	22,1	25	47,9
	30,6	31	30,71	32,3	31	30,2	31	30,6	31,5	30,2	29,9	30	31,7	32,2	29,9	29,9	29,8	30,79	31	30,9	30	29,9	31,2	33,1	30,9

B- AXE CAFE ROYAL/LYCEE EL-HOURIA:

	STATION A					STATION B		STATION C				
	G	D	A	S	H	G	D	G	D	A	S	H
08h	23	23	21	22	56,4	23	23	23	23	21	23	56,6
10h	28	28	25,9	27	40,3	27	27	28	28	26,2	28	37,3
12h	32	32	36,4	34	16,5	32	32	31	31	37,5	36	18,3
14h	34	34	37,1	35	16	33	33	33	32	38,3	35	15,5
16h	34	35	37,8	35	15,9	35	34	33	33	38,3	34	15,9
18h	32	32	33,7	33	27,5	33	33	31	31	34,2	33	26,5
20h	31	31	30,7	30	32,6	30	31	31	31	31,5	31	29,9
22h	29	29	26,61	29	35,1	29	29	29	29	28,4	29	35,7
24h	27	27	27,1	27	30,4	27	27	27	27	27,3	27	36,5
02h	27	27	24,7	27	43,2	28	28	27	27	25,3	27	41,7
04h	27	27	23,5	27	43,1	27	27	27	27	24,8	27	43,1
06h	25	25	21,6	25	50,5	26	26	25	25	21,9	25	48,5
	29,8	30	29,92	30,2	31,1	30	30	29,4	29,3	30,8	30,4	31,2

JOURNEE DU 25/07/2004**I- MESURES DE TEMPERATURES ET DE L'HUMIDITE RELATIVE:****A- AXE MUSEE/HOTEL DES FINANCES:**

	STATION 1					STATION 2					STATION 3					STATION 4					STATION 5				
	G	D	A	S	H	G	D	A	S	H	G	D	A	S	H	G	D	A	S	H	G	D	A	S	H
08h	27	27	28,8	26	35,3	27	27	26,7	27	39,8	27	27	27,4	27	36,1	27	27	26,5	27	39,3	27	27	26	26	41
10h	29	29	31,1	29	31	29	29	28,7	29	34,7	29	29	33,8	29	25,1	31	31	31,7	31	31	31	31	30,7	31	31,5
12h	32	32	37,2	32	20,4	32	32	34,1	32	23,2	32	32	34,5	32	24	32	32	34,5	33	25,3	33	33	34,7	33	23,5
14h	32	32	32,5	31	32,3	32	32	34	32	29,3	32	33	37,5	32	23,3	33	33	35,1	33	29,2	33	33	36,4	33	26,6
16h	31	31	30,3	31	39,5	31	31	33,2	31	32	31	32	33,5	32	32,3	31	31	32,5	30	34,6	31	31	34	31	30,6
18h	30	30	29,3	30	35,4	30	30	29	30	36,7	30	30	28,4	30	36,7	29	29	28,3	29	37,6	29	29	30,4	29	28,9
20h	28	28	25,3	28	33	27	27	25,1	27	33,6	26	27	25,1	27	33,5	27	27	25	27	33,8	27	27	25,1	27	33,7
22h	25	25	24,1	25	24	25	25	23,7	25	34	25	25	23,7	25	34,1	25	25	23,7	25	33,8	25	25	23,8	25	34
24h	26	26	25,2	26	33	26	26	24,1	26	34,1	26	26	23,3	25	36,3	25	25	23,2	25	36,8	25	25	24,1	24,3	38
02h	25	25	24,9	25	33	25	25	24	25	34,2	25	25	23	25	34,2	24	25	25	25	36	24	24	23,9	24	38
04h	25	24	24	24	33,1	25	25	23,8	25	34	25	25	22,8	24	34	24	24	22	24	38	24	24	25	24	38,4
06h	24	24	24	24	33,1	24	24	22	24	35	24	24	22,1	24	35	24	24	23	24	38,1	24	24	23,6	24	39,1

B- AXE CAFE ROYAL/LYCEE EL-HOURIA:

	STATION A					STATION B		STATION C				
	G	D	A	S	H	G	D	G	D	A	S	H
08h	26	26	26,3	26	35,3	27	27	26	26	25,8	26	40,9
10h	31	31	30,5	30	31,4	31	29	31	31	32,5	31	28,4
12h	33	33	36,1	33	19,1	33	33	33	33	33,7	33	25,7
14h	33	33	33,1	33	32,6	33	32	33	33	35,5	33	29
16h	31	31	30,8	30	36	31	31	31	31	33,3	31	32,3
18h	30	30	28,6	29	36	29	30	30	30	30,2	30	34,1
20h	26	26	25,2	26	33,8	27	27	26	26	25,5	27	33,4
22h	25	25	23,6	25	33,5	25	25	25	25	24,1	25	33,4
24h	24	24	22,6	24	38,3	25	25	24	24	23,7	24	38
02h	24	24	23	24	38,5	25	25	24	24	23,7	24	38
04h	24	24	22,9	24	39	24	24	24	24	23,5	24	38,7
06h	24	24	22,3	24	39,2	24	24	24	24	22	24	39

JOURNEE DU 26/07/2004**I- MESURES DE TEMPERATURES ET DE L'HUMIDITE RELATIVE:****A- AXE MUSEE/HOTEL DES FINANCES:**

	STATION 1					STATION 2					STATION 3					STATION 4					STATION 5				
	G	D	A	S	H	G	D	A	S	H	G	D	A	S	H	G	D	A	S	H	G	D	A	S	H
08h	26	26	25	26	50,2	26	26	23,2	26	53,8	26	25	22,7	26	55,2	25	25	23,2	25	53,3	24	25	22,6	24	56,5
10h	27	27	27,9	28	44	27	27	26,5	27	46,4	27	27	26,4	27	46,6	27	27	26,6	27	46	27	27	26	27	47,3
12h	28	27	29,2	27	37,2	28	28	28,6	27	39,5	28	28	28,4	28	39	28	28	28	28	41,8	28	28	27,8	28	42,4
14h	31	31	30,6	31	33,8	31	30	28,6	30	22,5	31	32	32	31	23,8	32	31	30,8	31	33	31	31	30,1	31	34
16h	31	31	31	31	37,3	31	31	31	31	35,4	31	31	31	31	31,3	31	31	31	30	34,7	31	31	31	31	29,6
18h	28	28	27,3	28	34,1	28	28	27,3	28	33,5	28	28	27,7	28	32,9	28	28	26,7	28	34,7	28	28	27,2	28	31,6
20h	26	26	23,8	26	44	26	26	23,6	26	44,8	26	26	23,6	26	44,8	26	26	23,7	25	44,3	25	25	24	25	44,6
22h	24	24	22,6	24	52,8	23	24	21,5	24	53,4	23	23	21,6	23	52,7	23	23	21,8	23	52,5	23	23	22,9	23	52
24h	25	25	24,6	26	41,3	26	26	23,6	25	41	25	26	22,9	24	43,1	25	25	22,8	25	42,2	25	22	22,7	28	42,3
02h	24	24	24,2	24	42,3	24	24	22,1	23	42,4	24	24	22	23	42,3	23	23	22,6	25	42,5	23	23	22,3	23	42
04h	23	23	22,6	23	42	23	23	22	23	42,2	23	23	22	23	42,2	23	23	22,1	23	42,1	22	22	22	23	42,1
06h	24	23	22,7	22	53,3	24	22	18,2	22	53,1	20	21	17,4	22	53,8	21	21	17,7	20	52,8	21	21	17,6	21	52,9

A- AXE CAFE ROYAL/LYCEE EL-HOURIA:

	STATION A					STATION B		STATION C				
	G	D	A	S	H	G	D	G	D	A	S	H
08h	25	25	22,9	24	57,1	25	26	25	25	23,6	25	52,3
10h	27	27	27,1	27	44,4	27	27	27	27	28,5	27	39,4
12h	28	28	27,4	28	42	28	28	28	28	27,7	28	41,7
14h	30	30	28,9	30	35,4	31	31	31	31	29,8	31	33,9
16h	31	31	28,3	31	36,7	31	31	32	32	32	32	33,9
18h	28	28	26,4	28	34,4	28	28	28	28	27,3	28	33,4
20h	25	25	23,2	25	48,2	26	26	25	25	24	25	45
22h	23	23	21,9	23	51,3	23	23	23	23	22,1	23	51
24h	24	24	22,6	24	42,2	24	24	24	24	22,9	24	42,4
02h	23	23	22,4	23	41,9	23	23	23	23	22,7	23	42,6
04h	23	23	22	22	42,3	22	23	23	23	22	23	42,2
06h	21	21	17,7	21	32	21	20	21	20	17,7	21	52,2

JOURNEE DU 27/07/2004**I- MESURES DE TEMPERATURES ET DE L'HUMIDITE RELATIVE:****A- AXE MUSEE/HOTEL DES FINANCES:**

	STATION 1					STATION 2					STATION 3					STATION 4					STATION 5				
	G	D	A	S	H	G	D	A	S	H	G	D	A	S	H	G	D	A	S	H	G	D	A	S	H
08h	21	21	21,5	21	50,2	21	21	21,6	21	50,3	21	21	20,9	21	52,3	21	21	20,8	21	51,9	21	21	20,5	21	53,4
10h	26	26	28	26	36,6	27	27	25,5	27	42,4	27	27	25,9	27	41,2	27	27	24,8	27	43,8	27	26	24,9	27	43
12h	28	28	27	27	34	28	28	27,1	27	36	28	28	27,9	28	34,6	28	28	28,5	28	34,3	28	28	29	28	28,8
14h	29	29	29,8	29	31,5	29	29	29,8	29	31,6	29	30	30,4	30	30,2	30	30	29,3	30	32,2	30	30	29,4	30	32,2
16h	30	30	29,7	30	33	30	30	30,4	30	31,7	30	30	29,7	30	32,5	30	30	28,9	29	33,5	30	30	30,6	30	32,4
18h	29	29	29,8	29	29,9	29	29	29,2	29	30,7	29	29	28,5	29	32,2	29	29	37,9	29	31,5	29	28	27	28	32
20h	27	27	26	27	47	27	27	28,6	27	46	27	26	25,3	26	49	27	27	24,9	27	49,4	27	27	25,1	26	49,3
22h	26	26	23,1	26	59	26	26	22,6	26	60	26	25	22,4	25	66	26	25	22	25	58,7	25	25	22,6	25	59,5
24h	24	24	23,8	24	55,2	24	24	22,2	24	57	24	24	22	24	58,4	24	24	22	26	58	24	24	22	24	58,1
02h	24	24	24,4	24	58,3	24	24	22	24	58	24	24	22	24	58	24	24	22,6	24	58,5	24	24	22,3	24	58,3
04h	23	23	22,3	23	58,4	23	23	22,2	23	58	23	23	22	23	59,4	23	23	22,5	23	58,6	22	23	23	23	58,2
06h	23	23	22,9	23	58,9	23	23	22,8	23	58,3	23	23	22,3	23	58,6	23	23	21,9	23	58	23	23	22,9	23	58,6

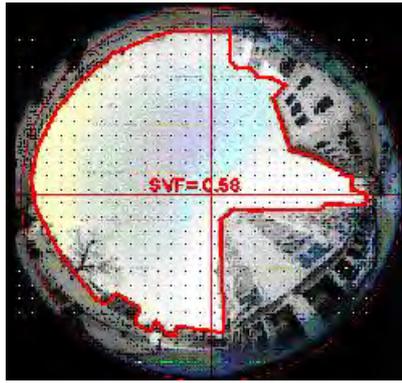
A- AXE CAFE ROYAL/LYCEE EL-HOURIA:

	STATION A					STATION B		STATION C				
	G	D	A	S	H	G	D	G	D	A	S	H
08h	21	21	20,6	21	52,2	21	21	21	21	20,3	21	52,6
10h	26	26	24,5	26	43,4	27	27	26	27	24,6	26	42,8
12h	29	29	28,4	28	32,6	28	28	29	29	29,8	29	31,4
14h	29	29	28,8	29	32,2	30	30	29	29	29,5	29	31,1
16h	30	30	28,3	29	34,3	30	30	30	30	29,5	29	33,4
18h	28	28	27,4	28	32,6	29	29	28	28	27,8	28	32
20h	26	26	24,7	26	47,8	27	27	26	26	24,9	26	49,6
22h	25	24	22,4	24	50,8	25	25	25	25	22,4	25	60,3
24h	24	24	22	24	59,1	24	24	24	24	22,3	24	57
02h	24	23	22,4	24	58,7	24	23	23	23	22,1	23	58
04h	23	22	22,5	23	59,2	23	22	23	23	22,3	22	57
06h	23	23	22	23	58	22	23	22	22	22,1	22	56,8

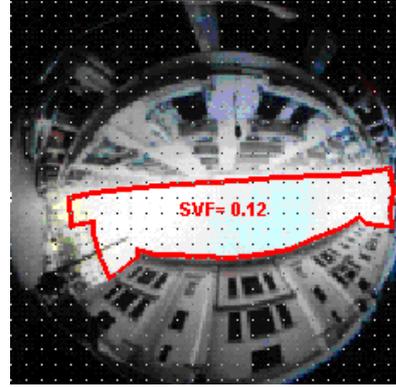


ANNEXES II

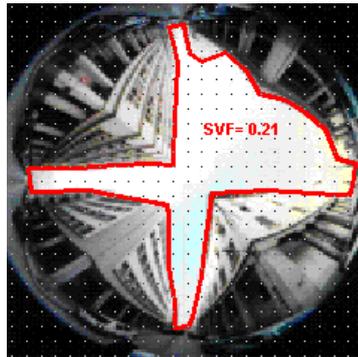
VALEURS DU SVF CALCULE AU NIVEAU DES
SEPTS STATIONS DE MESURE



Station n°1



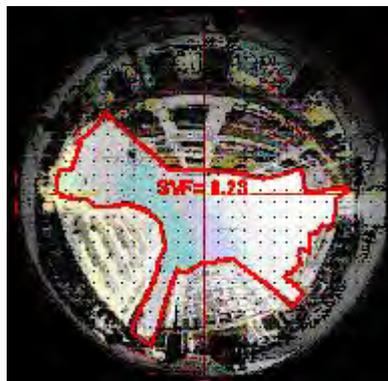
Station n°2



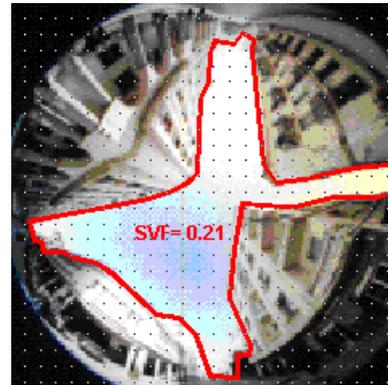
Station n°3



Station n°4



Station n°5



Station n°A

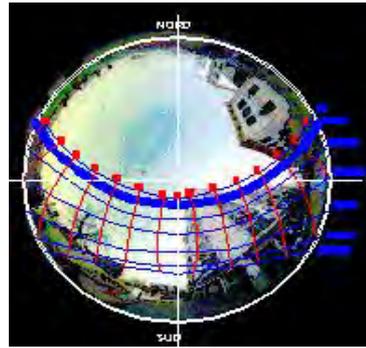


Station n°C

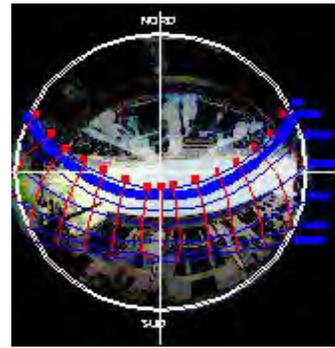


ANNEXES III

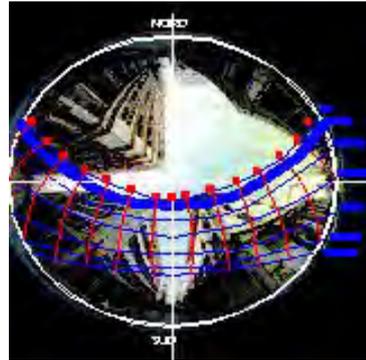
ENSOLEILLEMENT DES SEPTS STATIONS DE MESURE



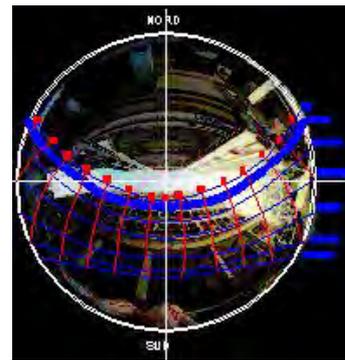
Station n°1



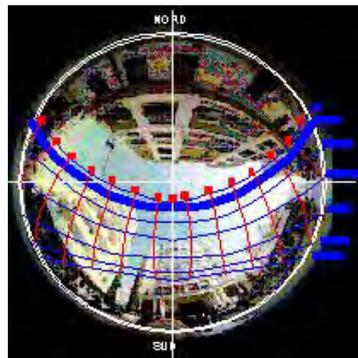
Station n°2



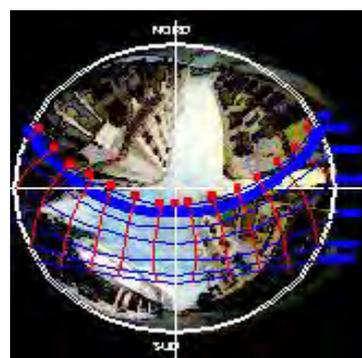
Station n°3



Station n°4



Station n°5



Station n°A



Station n°C

Figure n°39 : Trajectoire solaire au niveau des sept stations de mesure

ANNEXE IV



ETAPES A SUIVRE LORS DE LA SIMULATION

Étape n°1 : Dessiner l'aire à simuler (création du fichier .in)

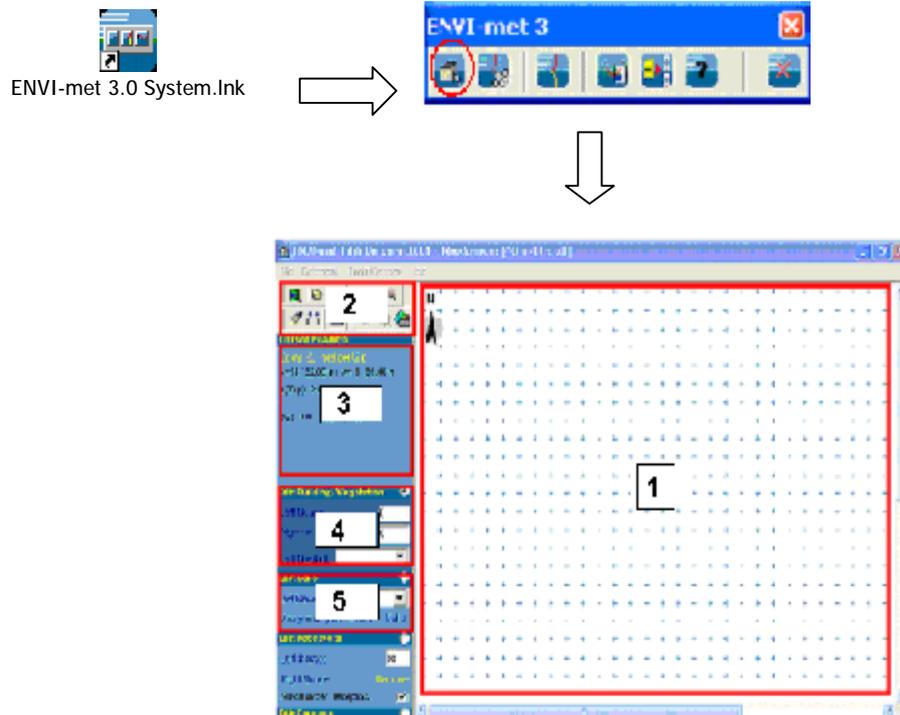


Figure n°4 : Accès au fichier de dessin (.in)

- 1 : Fenêtre de dessin de l'aire à simuler (grille)
- 2 : Barre de commande
- 3 : Aperçu des coordonnées x,y,z de n'importe quel point du dessin
- 4 : Données relatives à la hauteur des constructions et de la végétation
- 5 : Emplacement du ou des récepteurs (point d'observation)

1. Réglage de la grille :

- Ø Echelle et orientation



Figure n°5 : Réglage de la grille de dessin et de l'orientation du site

Ø Bordure et déplacement :

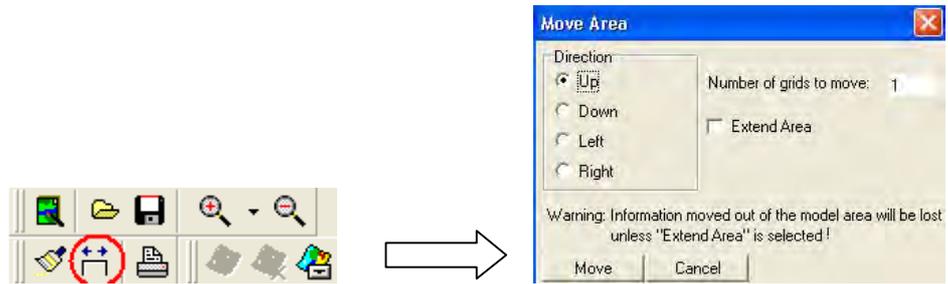


Figure n°6 : Réglage de la taille de la grille et de sa position

Etape n°II : configurer le dessin (création du fichier .cf ou inputs)

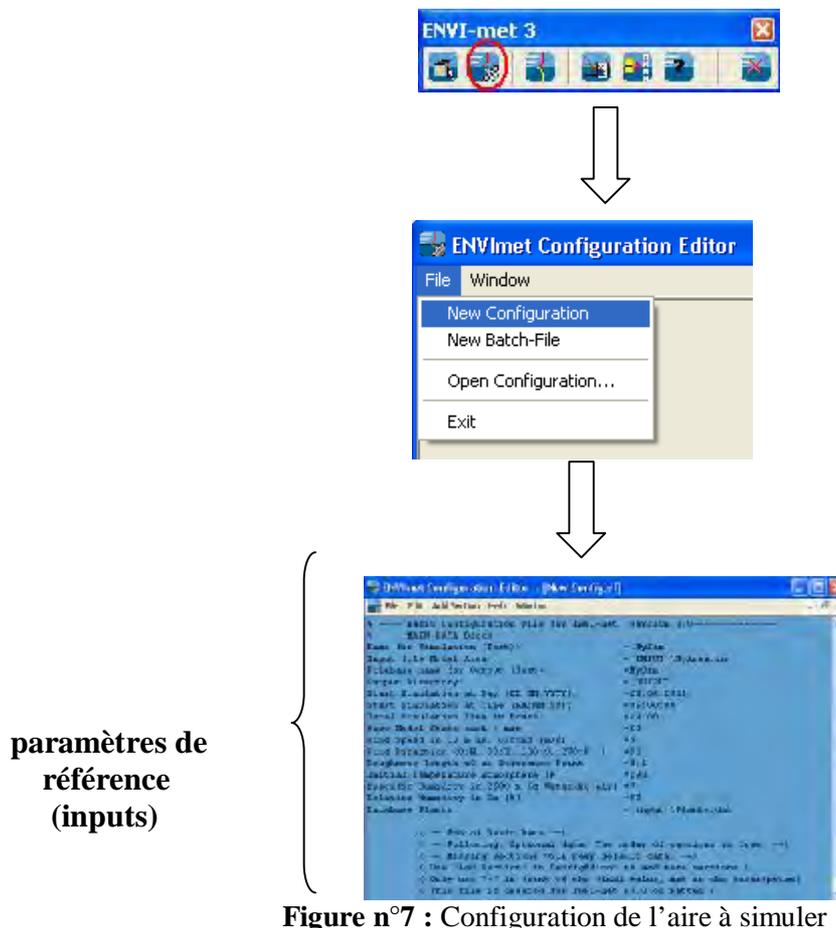


Figure n°7 : Configuration de l'aire à simuler

Etape n°III : lancement de la simulation :

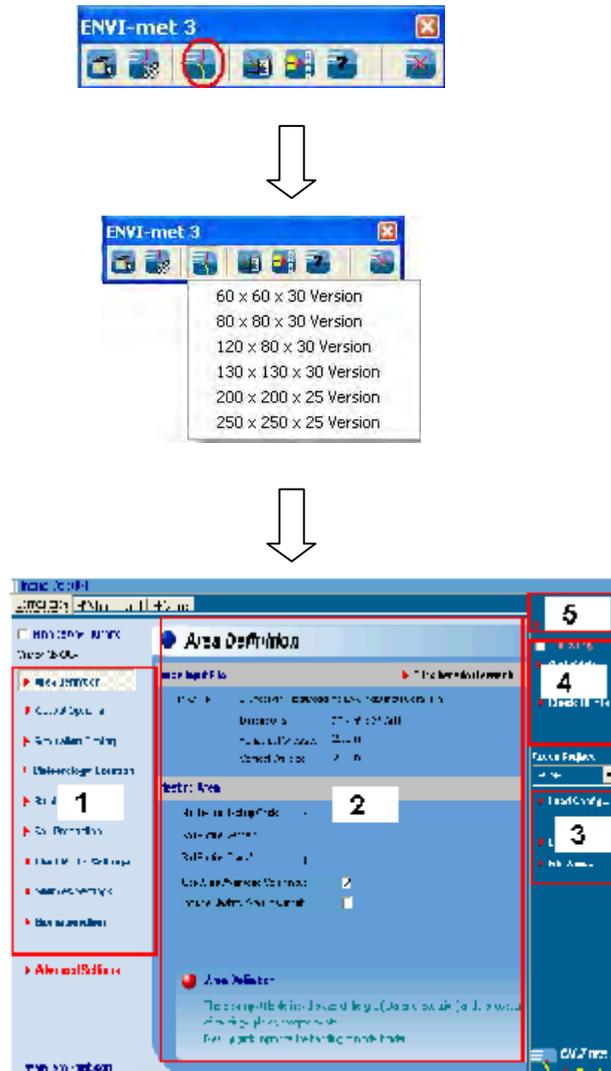


Figure n°8 : Etapes à suivre pour le lancement de la simulation

- 1 : Différents paramètres faisant l'objet du fichier .cf (inputs)
- 2 : Détails de chaque paramètre sélectionné
- 3 : Dernières vérifications des deux fichiers .in et .cf
- 4 : Vérification d'éventuelles erreurs avant le lancement de la simulation
- 5 : Lancement de la simulation

Etape n°IV : lire les résultats de la simulation (programme Leonardo)

Ø Accès à Leonardo :

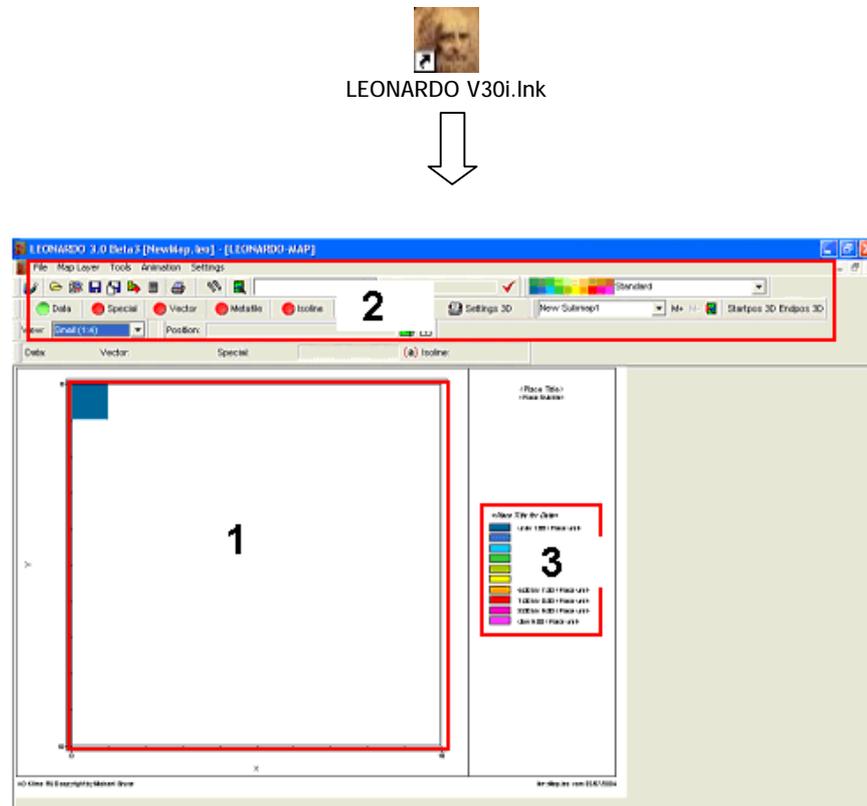


Figure n°9 : Accès à Leonardo

1 : Aperçu des résultats de la simulation

2 : Barre des commande

3 : Légende des résultats

Ø Accès au fichier « résultat »

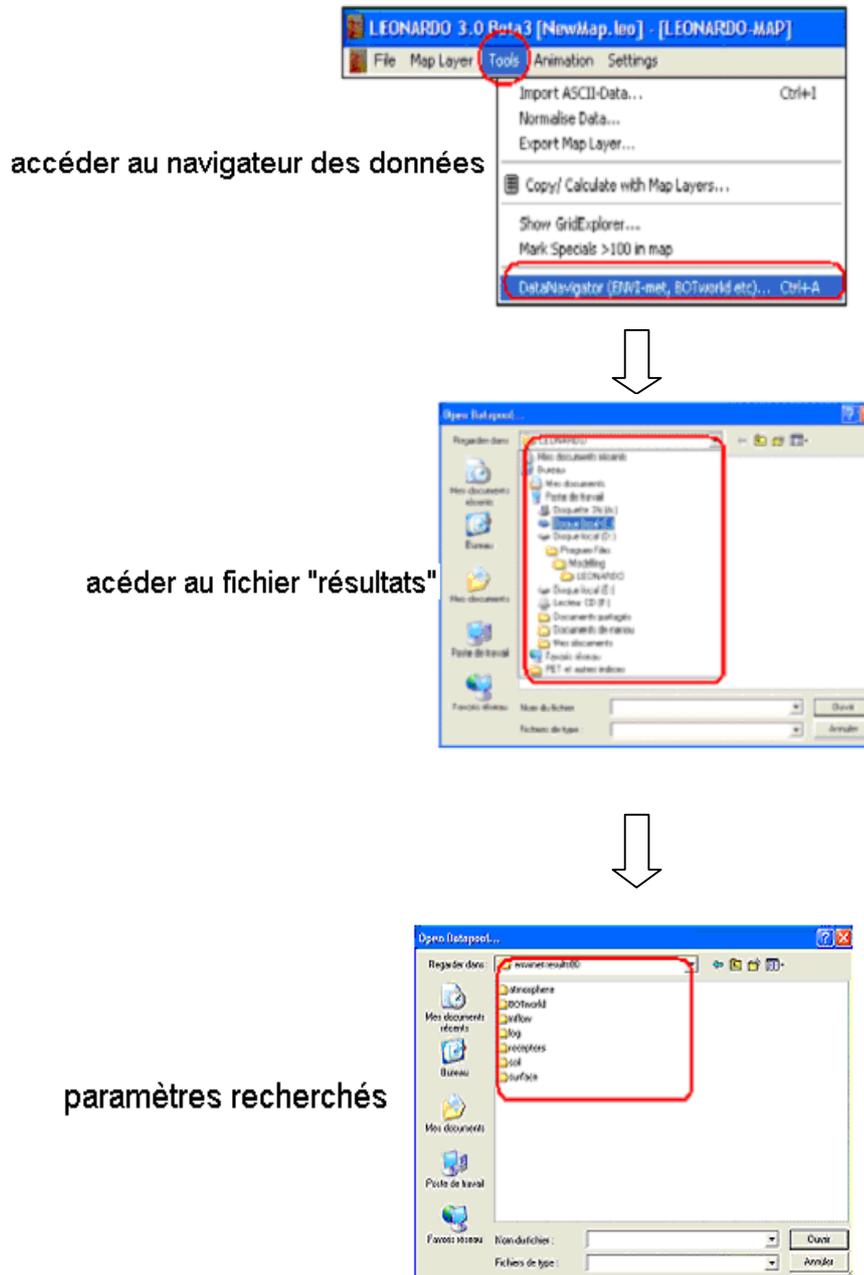


Figure n°10 : Accès au fichier « Résultats »

RESUME :

Les espaces extérieurs urbains , contrairement aux espaces intérieurs des bâtiments qui tendent à priori à avoir les conditions thermiques relativement régulières et contrôlables, sont définis par de grandes variations quotidiennes et saisonnières des paramètres microclimatiques beaucoup plus difficile à gérer . Le climat spécifique aux villes dit « climat urbain » résulte d'un processus rapide et incontrôlable d'urbanisation d'où l'intérêt de bien le comprendre afin de l'intégrer dans le cadre de la planification urbaine en tant que concept nouveau. L' îlot de chaleur urbain (ICU) phénomène propre aux milieux urbains ne cesse d'attirer l'attention des chercheurs vu q'il constitue un véritable danger qui menace la survie des populations et la durabilité des villes. Ses causes sont multiples , entre autres T.R Oke a avancé en 1976 que « *les canyons urbains peuvent agir en tant que gorges qui maintiennent la chaleur par le piégeage des radiations en grandes longueur d'ondes. Ces canyons contribuent à l'augmentation de la température de l'air dans les villes* ». Cette théorie nous a incité à accentuer notre recherche sur les canyons urbains. L'objectif est d'évaluer leur impact sur la température de l'air et par conséquent sur le confort thermique extérieur d'une part et arriver à définir la géométrie et l'orientation optimales de la rue pouvant offrir ce confort recherché d'autre part.

La recherche fût entamée par une approche théorique couvrant les différents axes liés à notre sujet, en partant par un aperçu historique sur l'adaptation climatique de la rue à travers l'histoire, et en présentant les spécificités du climat en général, à une échelle microclimatique et bien évidemment à l'échelle de la rue jusqu'à arriver à une analyse climatique de la ville de Constantine.

Un travail pratique de terrain fût nécessaire, où une campagne de mesure s'est effectuée sur un tissu urbain existant situé en plein centre ville de Constantine. Les résultats de cette investigations correspondent à la première tranche de l'objectif mis en place qui est l'évaluation de l'impact des canyons sur la température de l'air qui s'est avéré important. Ensuite, fût présentée une simulation numérique en moyen d'un logiciel tridimensionnel intitulé « ENVI-met3 », qui a permis de vérifier le résultat du travail de terrain , puis d'atteindre la deuxième tranche de l'objectif ciblé qui est l'évaluation de l'impact des canyons sur le confort thermique extérieur.

Les canyons urbain ont été pris en compte du point de vue géométrie et orientation.

Mots clés : Microclimat, Canyon urbain, Confort extérieur, ENVI-met3

SUMMARY:

The urban external spaces, contrary to interior spaces of the buildings which tend a priori to have the relatively regular and controllable thermal conditions, are defined by great daily and seasonal variations of the microclimatic parameters much more difficult to manage. The climate specific to the cities says "urban climate" results from a fast and unverifiable process of urbanization from where interest to understand it well in order to integrate it within the framework of the city planning as a new concept. The urban heat island (UHI), phenomenon specific to the urban environments does not cease drawing the attention of the researchers. It constitutes a true danger which threatens survival of the populations and the durability of the cities. Its causes are multiple. T.R Oke has advanced into 1976 that "*the urban canyons can act as throats which maintain heat by the trapping of long wave radiations. These canyons contribute to the increase in the temperature of the air in the cities*". This theory encouraged us to accentuate our research on the urban canyons. The objective is to evaluate their impact on the temperature of the air and consequently on external thermal comfort on the one hand and to define the optimal geometry and the orientation of the street being able to offer this required comfort on the other hand.

Research was started by a theoretical approach covering the various axes related to our subject, while leaving by a historic insight on the climatic adaptation the street through the history, and by having specificities of the climate in general, on a microclimatic scale and well cavity on the scale of the street until arriving at a climatic analysis of the town of Constantine.

One then carried out a practical work of ground, where a series of measurement was carried out on an existing urban fabric located in full centre town of Constantine. The results of this investigations correspond to the first section of the objective set up which is the evaluation of the impact of the canyons on the temperature of the air which proved to be significant. Then, one carried out with a numerical simulation by using a three-dimensional software called ENVI-met3 which made it possible to check the result of the practical work, then of reaching the second section of the objective which is the evaluation of the impact of the canyons on external thermal comfort. The urban canyons were taken into account from the geometry point of view and orientation.

Key words: Microclimate, Urban canyon, External comfort, ENVI-met3

