



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université Larbi Tébessi - Tébessa
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département d'Architecture



Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de master en Architecture
Option : Architecture et environnement

***Impact de la végétation sur le confort thermique d'été dans les espaces
urbains extérieur.***

Cas d'étude Boulevard Larbi Ben M'hidi Alger.

Elaboré par :

- DIB Amir

Encadre par :

Mme. LACHEHEB Sarah

Membres de jury :

Dr. FEZZAI Soufiane

Dr. AHRIZ Atef

Année universitaire 2018/2019

Résumé	06
Introduction	08
Problématique	09
Hypothèses de la recherche	09
Iles objectifs	10
Méthodologie de travail	10
I. Chapitre I : Le confort thermique extérieur	11
Introduction	11
1. Les paramètres du confort thermique	11
1.1. Paramètres liés à l'environnement	12
1.2. Paramètres relatifs à l'individu	13
1.2.1. La vêtue	13
1.2.2. Le métabolisme	14
1.3. Le climat d'un local, grandeur complexe et son effet	16
2. Les échanges thermiques	17
2.1. Les échanges radiatifs	18
2.2. Les échanges convectifs	19
2.3. Pertes par respiration	20
2.4. Pertes par diffusion d'humidité à travers la peau	20
2.5. Pertes thermiques par sudation	21
3. Les indices de confort thermique	21
3.1. Les inconforts locaux	22
3.2. Asymétrie de rayonnement	22
3.3. Température du sol	23
3.4. Gradient vertical de température	24
3.5. Courant d'air	24
4. Les indices de confort ou de stress thermique en espace intérieur	25
4.1. Indice de la « Température Résultante »	25
4.2. Indice de la « Température Effective » et ses dérivées	26
4.3. Les indices PMV et PPD	28
5. Les indices de confort ou de stress thermique en espace extérieur	29
5.1. Les effets du vent	31
5.2. La température radiante moyenne en extérieur	33
5.3. Indice de contrainte thermique	33
Conclusion	35
II. Chapitre 02 : L'impact de la végétation sur le confort thermique dans les espaces urbain extérieur.	38
Introduction	38
1. La végétation et les particularités du milieu urbain :	38
1.1. Qualités et classification associées à la végétation	40
1.2. Dimensions structurelles et composition urbaine	41
1.3. L'utilisation des arbres dans le projet	44
1.4. La végétation comme solution microclimatique	46
1.5. Modification des échanges radiatifs en présence de végétation	48
1.6. Température de surface des végétaux	53
1.7. Impact de la végétation sur les températures d'air et de surface	55
5.4. Impacte d'un arbre seul	55
5.5. Impacte des arbres d'alignement dans une rue canyon	56
5.6. Influence des arbres d'alignement sur le confort dans la rue	57
3. La végétation au niveau des espaces extérieurs	58
3.1. Les parcs urbains	59

3.2. Les arbres de rue	60
3.3. La végétalisation des sols urbains	61
3.4. Critères de choix des végétaux	62
3.5. Les arbres d'alignement (cas d'étude)	63
3.5.3. Les règles routières	63
3.5.4. La hauteur des arbres d'alignement	64
3.5.5. La surface ombragée d'alignement d'arbre	64
Conclusion	65
III. Chapitre 03 : Présentation et analyse du cas d'étude	67
1. Présentation de la ville :	67
1.1. Relief	68
1.2. Climat	68
1.2.1. Températures et humidité	69
1.2.2. L'ensoleillement	69
1.2.3. Pluviométrie	70
1.2.4. Les vents	70
2. Critère de choix de cas d'étude	71
2.1. Présentation de la zone d'étude	72
2.2. Situation géographique	72
2.3. Historique de l'urbanisation de la zone d'étude	72
2.4. Accessibilité	73
2.5. Cadre bâti	73
2.5.1. Typologie d'habitat	73
2.5.2. Hauteurs des constructions	74
2.5.3. Commerce et service	74
2.5.4. Les équipements	75
2.6. Le Cadre Non Bâti	75
2.7. Analyse de la végétation du boulevard	76
IV. Chapitre 4 : la simulation	81
Introduction	81
1. Simulation de l'impact des arbres en micro climatologie urbaine	81
2. Les modèles de simulation numériques	82
2.1. Les méthodes descriptives	82
2.2. Les méthodes physiques	83
2.3. Modèles climatiques à l'échelle locale	83
3. Présentation d'ENVI-met 3.1	84
3.1. Avantages du logiciel Envi-met	85
3.2. Limites du logiciel Envi-met	86
3.3. Le calcul du modèle comprend	86
3.4. Interfaces du logiciel et L'architecture du modèle	87
3.5. Données d'entrée (Inputs)	88
3.5.1. Fichier Editeur (*.in)	88
3.5.2. Fichiers de configurations C.F (*.cf)	91
3.6. Les sorties (Outputs)	94
4. Résultats et discussion	95
4.1. Première simulation	95
4.2. Douzième simulation	96
4.3. Variation de température atmosphérique entre S1 et S2	100
Conclusion général	104
Bibliographie	106

Remerciement :

C'est avec un grand plaisir que je réserve ces lignes en signe de gratitude et reconnaissance à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Je tiens à remercier en premier lieu Dieu le tout puissant de m'avoir donné le souffle et l'aptitude pour mener à terminer ce travail.

A mes chers parents qui m'ont soutenu durant toutes mes années d'études et pour leurs sacrifices, A ma chère tante HADJIRA qu'elle m'a aidé dans tout et mon chemin qu'elle je trouve toujours à mes coté ainsi qu'à toute ma famille

Que Dieu vous protège et vous garde pour moi.

. Mes remerciements particuliers à mon encadreur Mme.LACHHEB Sara pour son aide, ses conseils, son esprit critique et son soutien tout au long de la réflexion de cette recherche. Je remercie aussi les membres de jury Dr. AHRIZ Atef et Dr. FEZZAI Soufiane qui ont acceptés d'assister à la soutenance et de corriger le mémoire.

Enfin mes remerciements aux gens qui ont participé de près ou de loin dans la réalisation de mon mémoire.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail ; A mes chers parents mon cher père, ma chère mère et ma chère tante Hajdira qui ont tout fait pour que je réussisse dans ma vie, que Dieu me les protège, A mes chères sœurs pour leur aide, leur patience, et leurs écoutes., ainsi qu'à toute ma famille et tous mes amis.

Abstract :

Public urban spaces are considered to be one of the most important building blocks and components of the city, but they have deteriorated, been neglected and diminished by the accelerated urbanization phenomenon, which has led to deterioration and degradation of the microclimate.

Vegetation is put forward because it is primarily a measure of climate change. the urban tree has many environmental benefits, it refreshes and purifies the air of pollution and provides shade in the environment.

To understand the importance of the urban tree, this work studied the impact of vegetation on thermal comfort and the urban microclimate. In this context we chose the street Larbi Ben M'hidi, in the center of Algiers, as a case study. A digital simulation tool was implemented with ENVI-met 3.1 for this boulevard. This study evaluated the behavior of climate change in the absence, presence and variation of vegetation density and therefore evaluated the thermal variables.

Key words :

Larbi Ben M'hidi (Alger centre), Urban public space, Urban vegetation, Microclimate, exterior thermal confort, tree alignement.

Résumé

Les espaces urbains publics sont considérées comme l'une des composantes et des éléments de base les plus importants de la ville, mais ils se sont détériorés, négligés et ont diminué en raison du phénomène d'urbanisation accéléré, ce qui a entraîné une détérioration et dégradation du microclimat.

La végétation est mise en avant car il s'agit en premier lieu d'une mesure du changement climatique. L'arbre urbain présente de nombreux avantages environnementaux : il rafraîchit et purifie l'air de la pollution et fournit de l'ombre dans l'environnement.

Afin de connaître l'importance de l'arbre urbain, ce travail a étudié l'impact de la végétation sur le confort thermique et le microclimat urbain. Dans ce contexte on a choisi la rue Larbi Ben M'hidi, au centre d'Alger, comme un cas d'étude. On a pratiqué un outil de simulation numérique avec ENVI-met 3.1 a été réalisé pour de ce boulevard. Cette étude a évalué le comportement du changement climatique en l'absence, la présence et la variation de la densité de la végétation et a donc évalué les variables thermiques.

Mot clé :

Larbi Ben M'hidi (Alger centre), les espaces urbains publics, Microclimat urbain, végétation urbaine, Confort thermique extérieur, arbre d'alignement.

ملخص

تعتبر المساحات الحضرية العامة من أهم مكونات وإساسيات المدينة ولكنها تدهورت وانخفض معدلها بسبب ظاهره التحضر. وقد تسبب غيابها في تدهور المناخ المحلي ومن أهم أسباب ظاهره الحرارة هو ظاهرة التحضر.

وفي هذا السياق يتم تسليط الضوء على الغطاء النباتي لأنه يعتبر مقياساً لتغير المناخ من الدرجة الأولى. تتميز الشجرة الحضرية بالعديد من المزايا البيئية فهي تقوم بتبريد وتنقية الهواء من التلوث وتوفير الظل في المحيط. من أجل معرفه اهميه الشجرة الحضرية قام هذا العمل بدراسة تأثير الغطاء النباتي على الراحة الحرارية والمناخ المحلي.

تم تنفيذ أداة محاكاة رقمية باستخدام برنامج Envi-met 3.1 في هذا الشارع. قيمت هذه الدراسة سلوك تغير المناخ في غياب ووجود وتنوع كثافة الغطاء النباتي وبالتالي تقييم المتغيرات الحرارية.

الكلمات الدالة

العربي بن مهدي وسط الجزائر، المساحات العمرانية العمومية، الأشجار، المناخ المحلي، الراحة الحرارية الخارجية، أشجار المحاذات.

Introduction :

Aujourd'hui, le climat est devenu plus sensible et plus vulnérable, sensibilisant le public à la nécessité de protéger l'environnement naturel.

L'une des questions les plus importantes soulevées lors des sommets internationaux est de traiter de la planification et de l'architecture urbaines d'une manière qui respecte et préserve l'environnement.

Les problèmes naturels soulevés à l'échelle mondiale ont imposé à l'urbanisme de trouver un compromis entre développement inéluctable des villes urbaines et environnement urbain.

Selon (Toudert 2001) *« Le défi majeur de l'urbanisme pour les prochaines décennies, est de trouver un compromis entre développement inévitable des villes et un environnement urbain de grande qualité. En effet, le débat autour des graves problèmes environnementaux »*.

Les espaces publics jouent un rôle important dans la construction des villes et leur rôle dans le processus de conception varie selon les époques, L'espace public aussi collective les individus et leurs relations dans une unité.

Les parcs, les arbres et les espaces publics paysagers permettent d'évaluer l'environnement et d'affecter la température des villes, *« les cours intérieures et les bâtiments. Sachant que la température des villes est généralement plus élevée d'un ou deux degrés que celle de la campagne »* (Rogers 2000) Comme ils fournissent la climatisation.

Grâce à la présence de plantes qui purifient l'air et examinent l'atmosphère en absorbant du CO₂ et en libérant de l'oxygène en éliminant ainsi le climatiseur et nourrir les zones urbaines. La végétation répare et fixe également les sols, protège contre les contaminants et constitue un rempart contre les inondations.

L'espace urbain attire les habitants de la ville et impose une certaine relation aux structures de la civilisation. Le confort climatique est le contrôle de l'intensité de la fréquentation.

« Peu importe le dessin au sol, le cheminement que les utilisateurs vont créer, obéissent à une logique toujours semblable : au plus court ou plus confortable ou plus agréable. Dans certains cas l'aménagement conçu est adopté alors que dans d'autres, seul un consensus spontané s'établit, en étant ainsi la trace préétablie. Ces logiques piétonnières se croisent évidemment avec celles des véhicules qui empruntent les voies qui leur sont réservées, avec leurs points d'arrêt, de stationnement, etc. » disait (B. e. Al 1984)

Les espaces urbaines telles que les bâtiments sont une source d'environnements thermiques spécifiques, qui peuvent être adaptés au confort thermique ou plus ou moins adaptés aux

usages de la ville. Ces ambiances doivent être contrôlées par une conception maîtrisée, en fonction des usages programmés.

Problématique :

Le contexte climatique de la ville contrôle le processus de conception et de rénovation architecturale, qui est lui-même lié à la question du confort thermique. La conception urbaine devrait donc inclure tous les facteurs environnementaux.

La végétation est un facteur clé du changement de température de surface car elle affecte directement sur la combinatoire microclimatique résultantes : les feuilles des plantes absorbent les radiations de grande longueur d'onde et les zones ombragées fournissent des échangeurs de chaleur latents qui modifient la température de l'air.

Le climat urbain peut être modifié à un niveau du microclimat depuis la densité des constructions, revêtement du sol, hauteur des constructions, orientation, largeur des rues, situation et la présence d'eau.

Comme il peut être modifié grâce à la végétation (ombre, refroidissement, obstruction vent). Malgré le grand rôle de cette dernière on la trouve généralement seulement sous forme de tâches vertes sur les plans de masse. Sa définition son implantation n'a jamais eu la moindre attention et si on les aborde on se contente de leur rôle esthétique.

Pour démontrer l'impact de la végétation sur la modération du microclimat urbain et le confort thermique, le présent travail prendra la rue Larbi Ben M'hidi comme cas d'étude. Espace urbain (situé à Alger-Centre), caractérisé par une importante masse végétale. Elle est une des principales artères commerciales du centre-ville d'Alger.

Alors qu'elle est l'apport de la végétation sur le microclimat et le confort thermique de cet espace ?

Qu'elle est l'impact de leurs répartitions et leurs espèces ?

Hypothèses de la recherche :

Certains chercheurs pensent que l'effet de la végétation est vraiment considérable lorsque qu'il s'agit d'une surface importante. D'autres pensent qu'avec un seul arbre on peut la modifier.

Il est probable que le microclimat urbain est généré à partir des paramètres climatiques génériques, la forme et les composants de l'espace urbain. On estime que le degré de confort peut être aperçu à partir de la densité de la fréquentation. La végétation joue un grand rôle

dans l'amortissement des excès de chaleur et la modération du microclimat car grâce à l'amortissement des radiations solaires et le processus d'évaporation l'arbre joue un rôle dans l'atténuation des températures.

On suppose que la performance de l'arbre est liée à plusieurs paramètres tel que : l'espèce, la densité et l'implantation.

Les objectifs :

L'espace urbain public est le support des activités citadines, lieu d'échange et de rencontre, moyen d'équilibre physique et psychologique. Sans importance autant qu'élément structurant de la ville exige une disposition de certaines qualités de confort thermiques qui puissent attirer les citoyens. Dans ce sens ce travail convoite les objectifs suivants:

D'abord, il faut revaloriser les espaces urbains en améliorant leurs qualités. Le plus on doit faire ressortir les paramètres susceptibles de créer un microclimat confortable dans les espaces urbains. En effet, il est nécessaire de démontrer l'importance de la végétation dans la modération du microclimat et veiller à l'amélioration des ambiances thermiques extérieures sans oublier le traitement de la question du confort thermique extérieur qui reste un facteur primordial.

Ainsi, les résultats obtenus peuvent être utiles pour les architectes, les urbanistes et paysagistes dans la conception des espaces offrant une meilleure qualité de confort et d'agrément pour les usagers.

Méthodologie de travail :

Premièrement, une familiarisation avec les différents concepts propres à l'urbanisme bioclimatique et à notre objet d'étude. Cette première phase sera développée en deux chapitres. Le premier chapitre consiste en une approche théorique sur la notion du confort thermique extérieur et les différentes recherches menées dans cet axe.

Les caractéristiques et le rôle de la végétation urbaine dans la ville vont être développés au cours du deuxième chapitre.

Après avoir acquis toutes les notions élémentaires au cours de la partie théorique la deuxième partie pratique donc le troisième chapitre comprendra présentation et analyse du cas d'étude et dans le quatrième chapitre l'application de la simulation.

Chapitre I : Le confort thermique extérieur.

Introduction :

Le confort est un état d'équilibre entre l'être humain et son milieu, il peut être défini aussi comme une sensation complexe produite par un système de facteurs physiques, physiologiques et psychologiques conduisant l'individu à exprimer le bien-être de son état.

Le confort thermique peut être défini comme le ressenti d'une personne n'ayant ni trop chaud, ni trop froid. Dans les mêmes conditions thermiques et avec la même activité physique, la sensation de confort ou d'inconfort thermique varie d'une personne à l'autre selon l'âge, la physiologie individuelle, le moment de la journée... La mise en œuvre des normes de confort thermique a ainsi pour objectif de satisfaire 95% et non 100% des personnes exposées à des conditions thermiques données.

Différents facteurs sont à prendre en compte : la température, l'habillement, l'humidité de l'air, la vitesse de l'air, le rayonnement thermique, le métabolisme

Le confort thermique peut être défini comme :

1^{ème} : « Le confort thermique est défini comme un état de satisfaction vis-à-vis de l'environnement thermique. Il est déterminé par l'équilibre dynamique établi par échange thermique entre le corps et son environnement »

2^{ème} : « A été défini comme étant la condition dans laquelle aucune contrainte significative n'est imposée aux mécanismes thermorégulateurs du corps humain. Permet l'obtention de conditions optimales pour tous les systèmes fonctionnels de l'organisme ainsi qu'un haut niveau de capacité de travail ».

3^{ème} : « la condition d'esprit qui exprime la satisfaction quant à l'ambiance thermique »¹⁰.

4^{ème} : D'après la norme (ISO s.d.)7730, « il y a situation de confort thermique si deux conditions sont satisfaites : Le bilan thermique de l'individu est équilibré sans que ses mécanismes autorégulateurs ne soient pas trop sollicités » (ISO s.d.) (Iturra s.d.)

1. Les paramètres du confort thermique :

La sensation de confort thermique est fonction de plusieurs paramètres :

-Les paramètres physiques d'ambiance, au nombre de quatre, sont la température de l'air, la température moyenne radiante, la vitesse de l'air, et l'humidité relative de l'air ;

-Les paramètres liés à l'individu, ils sont multiples, on recense notamment deux paramètres

Principaux qui sont l'activité et la vêtue de l'individu ;

-Les Paramètres liés aux gains thermiques internes, gains générés dans l'espace par des sources internes autres que le système de chauffage. (Éclairages, appareils électriques, postes informatiques. (Liébard 2005, 30)

Paramètres liés à l'individu	L'activité physique et l'habillement
Paramètres liés à l'environnement	La température de l'air, les sources de rayonnement (radiateurs, soleil), la température des surfaces environnantes, la vitesse relative de l'air par rapport au sujet et l'humidité relative de l'air.
Autres influences	Gains thermiques internes, Degré d'occupation des locaux, Couleur, Ambiance,etc.

Tableau 01 : paramètre influent sur le confort thermique (Liébard 2005)

1.1. Paramètres liés à l'environnement :

Généralement, pour évaluer le confort thermique dans le bâtiment, la prise en compte de l'environnement relatif à l'individu nécessite, cette dernière est couplée par d'autres paramètres climatiques tels que :

- Température de l'air
- Température radiante moyenne
- Humidité de l'air
- Vitesse de l'air
- En extérieur, en plus de tous les paramètres précédemment cités, il faut prendre en compte :
 - Les apports solaires (directs, indirects et diffus)
 - La température de la voûte céleste
 - Les phénomènes naturels : la pluie, la grêle, la neige, etc.

6. La température ambiante altère la sensation de chaleur, lorsque le niveau de l'humidité est élevé et la vitesse de l'air faible, la sensation d'humidité de la peau augmente également avec la température ambiante. Mais sous des conditions, faible humidité et une vitesse de l'air élevée, la peau peut rester sèche même à des températures fortes (malgré l'augmentation de la sueur).

7. La température de l'air ambiant ou température sèche est mesurée par un thermomètre au bulbe sec (thermomètre doit être aplati pour éviter l'influence du rayonnement), l'intervalle de confort va généralement de 18 à 25° C. (lumineuse, thermique et énergétique. s.d.)

1.2. Paramètres relatifs à l'individu :

1.2.1 La vêtture :

Les vêtements permettent de créer un microclimat sous-sentimental, à travers leurs résistances thermiques, en modifiant les échanges de chaleur, entre la peau et l'environnement. Leur rôle essentiel est de maintenir le corps dans des conditions thermiques acceptables, été comme hiver.

La vêtture a un rôle primordial d'isolant thermique, notamment en période hivernale et dans toutes les ambiances froides, ce rôle est pris en compte à travers la définition d'un indice de vêtture, exprimé en Clo (Unité d'isolement vestimentaire, 1 Clo = 0.155 m² °C.W-1) , caractérisant la résistance thermique d'un vêtement.

La nature du tissu, la coupe des vêtements et l'activité du sujet influencent aussi ces échanges thermiques avec l'environnement. (THELLIER 1999)

Habillement	Isolement thermique	
	(Clo)	(m ² K/W)
Aucun	0	0
Shorts	0,1	0,015
Habits légers d'été	0,5	0,08
Habits légers de travail	0,7	0,11
Habits d'hiver pour l'intérieur	01	0,155

Tableau 02 : isolement thermique du aux vêtements. Source : Guide technique de la diffusion d'air, 2006

Selon (Baruch, *L'homme, l'architecture et le climat*. 1978, 84) « A des températures de l'air inférieures à 35°C, l'effet est toujours de réduire la perte de chaleur » sèche » du corps et ainsi de produire un effet d'échauffement. A des températures de l'air supérieures à 35°C, les effets des vêtements sont plus complexes. D'un côté ils réduisent le gain de chaleur « sèche » en provenance de l'ambiance mais d'un autre côté, ils augmentent l'humidité et réduisent la vitesse de l'air en contact avec la peau, ce qui se traduit par une diminution du refroidissement résultant de l'évaporation de la sueur " (GIVONI 1975)

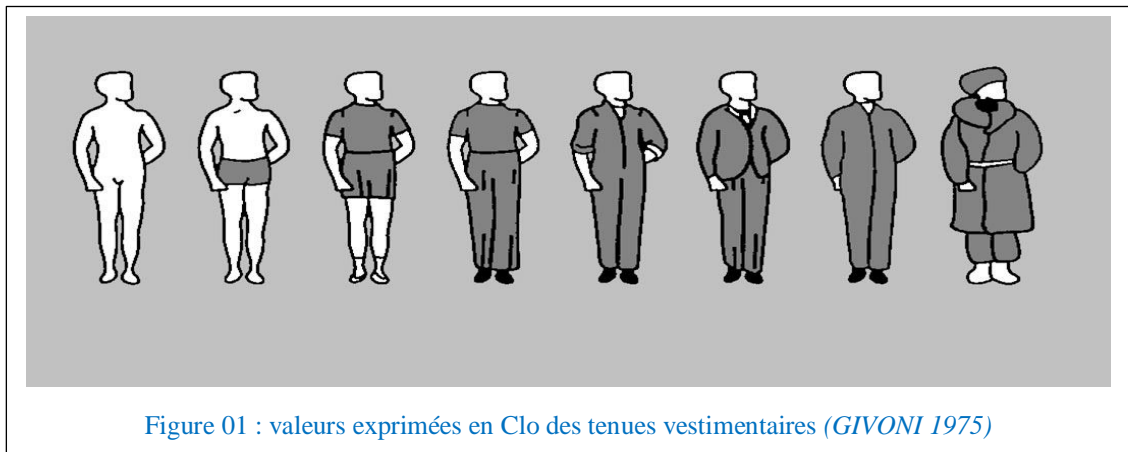


Figure 01 : valeurs exprimées en Clo des tenues vestimentaires (GIVONI 1975)

1.2.2 Le métabolisme :

Activité	Production de chaleur	
	MET	W/m ²
- Repos	0,8	46
- Assis inactif	1	58
- Debout, décontracté	1,2	70
- Assis en activité travaux de bureau	1,2	70
- Activité légère debout	1,6	93
- Activité moyenne debout	2	116
- Activité importante (travaux lourds des industries.	3	174

Tableau 1 : Production de chaleur en fonction de l'activité. Source : (Guide technique de la diffusion d'air 2006)

Le métabolisme (noté M) qui s'exprime en Met²³, représente la quantité de chaleur, produite par le corps humain permettant de maintenir celui-ci autour de 36,7 °C, par heure et par mètre carré de la surface du corps au repos ainsi que la chaleur produite par l'activité humaine. C'est une grandeur toujours positive non nulle, l'activité métabolique minimale vitale est évaluée à 0,7 Met, mais cette valeur est en fonction des paramètres physiologiques, notamment le poids, la taille, et le sexe.

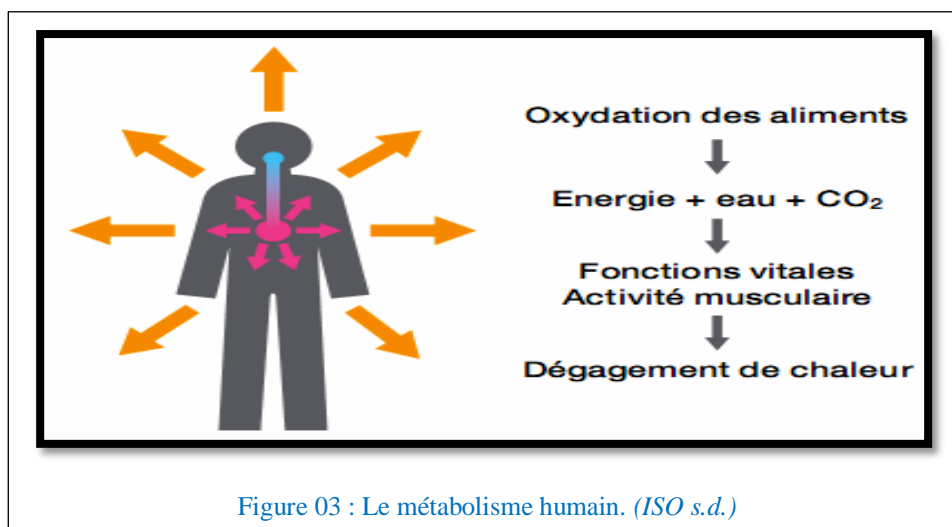
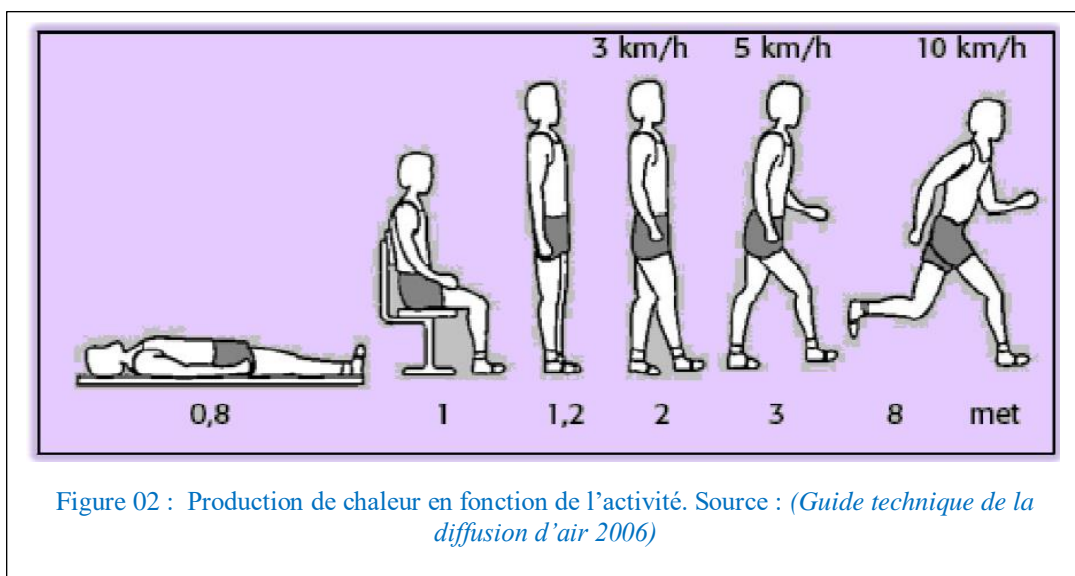
Le niveau d'activité se mesure en "met", les valeurs caractéristiques de l'activité métabolique des individus sont fournies dans le tableau suivant :

Selon Pierre Fernandez, « Concevoir des bâtiments bioclimatiques, fondements et méthodes », (le Moniteur 2009, 94): il y a trois différents niveaux de métabolisme :

Métabolisme de base : nécessaire à la vie, il concerne la position couchée à jeun (la digestion consomme de l'énergie). Pour une personne « normalisée », ce métabolisme est de l'ordre de 75W

Métabolisme de repos : c'est la chaleur minimale produite dans des conditions pratiques de repos du corps, par exemple en position assise, ce métabolisme est de l'ordre de 105W

Métabolisme de travail : qui dépend de l'activité physique, comme exemple le travail de bureau, ce métabolisme est de l'ordre de 105 à 140 W (*Moniteur 2009*)



Selon le Guide technique de la diffusion d'air, les conditions qui déterminent le bien-être thermique (cités dans le tableau suivant), selon la norme ISO 7730 (conditions thermiques

modérées), sachant que ces conditions ne prennent pas en compte les exigences d'économie d'énergie. (ISO s.d.)

<p>Température opérative :</p> <p> Été : 23/26°C</p> <p> Hiver : 20/24 °C</p>
<p>Différence verticale de température</p> <p> < 2/3 fC/m</p>
<p>Température surfacique du sol :</p> <p> En général : 19/26°C</p> <p> Un sol rayonnant : 19/29°C</p>
<p>Asymétrie de Rayonnement :</p> <p> En général : < 10°C</p> <p> Plafond radiant : < 5°C</p>
<p>Vitesse moyenne de l'air Vr :</p> <p> Été : < 0,25 m/S</p> <p> Hiver: < 0,15 m/S</p>

Tableau 2: les seuils de bien-être thermique. Source : *(Guide technique de la diffusion d'air 2006)*

1.3. Le climat d'un local, grandeur complexe et son effet sur les individus du corps :

Selon ([Hoffmann 1994]) La température, l'humidité et le rayonnement sont des variables permanâtes, faire en sorte que l'homme les réponde et les interagisse. Si le taux de production de la chaleur dans le corps n'est pas égal au taux des pertes, la différence est stockée ce qui entraîne un changement de la température moyenne du corps. Sur des périodes longues le stockage net de chaleur doit être nul, mais sur de courtes périodes la capacité thermique du corps est suffisamment importante pour absorber temporairement les écarts avec une faible variation de la température. La chaleur spécifique du corps a été quantifiée à une valeur de 3,49 kJ/kg.K. Soit environ 83 % de la valeur relative à l'eau. Pour un homme de 70 kg et de surface 1.8 m², le taux d'élévation de la température moyenne du corps (en K/s) est défini en fonction du taux de stockage de chaleur (S)

Ainsi, la température de corps augmente de 1 K en 1 heure avec un taux de stockage de 38 W/m² (Mc Intyre 1980)

Acclimatation thermique du corps : l'exposition régulière à la chaleur va déclencher une acclimatation du sujet, c'est-à-dire :

- Déclenchement de la sudation plus important.
- Débit sudoral plus important.
- Efficacité thermoïnique plus grande.

Ceci a pour conséquence de baisser la température rectale, la fréquence cardiaque et de permettre une meilleure performance pour l'opérateur. L'attention sera portée vers les processus de déshydrations, dangereux pour l'opérateur malgré l'acclimatation.

Les normes prennent en compte l'acclimatation du sujet dans l'évaluation de la contrainte thermique. D'une manière générale, le lapse de temps à cette dernière est d'environ 15 jours.

Inertie thermique du corps :

En conditions chaudes, le phénomène de sudation apparaît avec un certain décalage avant de réagir rapidement aux variations des contraintes thermiques. Ce retard est fonction de l'acclimatation des individus. Il est plus important pour les femmes que pour les hommes et peut dépasser une heure. Après plusieurs jours passés en conditions chaudes, l'organisme augmente son débit sudoral et peut ainsi maintenir son équilibre thermique dans des conditions plus dures.

En régime transitoire, même pour des variations relativement rapides, les indices de confort, développés pour la plupart en statique, ne donnent pas une image trop éloignée de l'optimum de confort. Même si un temps de stabilisation de la sensation thermique apparaît après un changement des conditions thermiques et peut atteindre plusieurs heures, il n'affecte que des fractions d'unité de vote et peut en pratique être négligé ([Hoffmann 1994])

2. Les échanges thermiques :

« L'homme produit et échange de la chaleur. Sa production de chaleur interne se répartit dans sa masse corporelle tandis que ces échanges thermiques externes se font à la surface cutanée » disait (Mc Intyre 1980).

Le corps humain en tant que système ouvert, est en interaction permanente avec son environnement via des échanges cutanés et respiratoires, la diffusion de chaleur entre l'individu et l'ambiance s'effectue selon les lois de la physique peut être mise à profit d'une élévation de la température interne, ou bien être dissipée à l'extérieur :

Ces échanges thermiques suivent cinq modes différents qui sont ; la conduction, la convection, le rayonnement, l'évaporation et la respiration. (De Herde s.d.)



Figure 4 : L'interaction thermique entre le corps humain et son environnement. Source: (De Herde s.d.)

2.1. Les échanges radiatifs :

D'après Vinet Jérôme s.d.) (Vinet Jérôme s.d.) « Les parois froides ou chaudes entraînent des déséquilibres au niveau des échanges radiatifs qui peuvent engendrer une sensation d'inconfort. On considère qu'il n'y a pas de gêne si, à 1m devant la façade, l'écart entre la température radiante orientée vers cette façade et la température radiante vers la cloison opposée ne dépasse pas 8° C ». C'est la différence de température radiante moyenne entre deux faces d'une pièce. Elle peut engendrer une sensation d'inconfort. Il s'agit principalement d'échanges, entre la surface du corps et les surfaces de la pièce. Ainsi, des inconforts froids peuvent être perçus par rayonnement à proximité des parois froides (exemple : mur mal isolé, fenêtre simple vitrage).



Figure 05: Asymétrie de la température rayonnante et insatisfaction. Source : www.ergonomie.chups.jussieu.fr

2.2. Les échanges convectifs

La convection est le transfert de chaleur entre la peau et l'air qui l'entoure.

Elle dépend de la différence entre la température de l'air et celle de la surface exposée, peau ou vêtement. Si la température de la peau est supérieure à la température de l'air, la peau va se refroidir. Dans le cas contraire, elle va se réchauffer.



Figure 06 : Asymétrie de la température rayonnante et insatisfaction. Source : www.ergonomie.chups.jussieu.fr

La convection (C) : c'est l'échange de chaleur entre l'organisme et le fluide qui l'entoure (généralement gazeux). Qui représente plus de 35 % des pertes de chaleur. Elle dépend de la vitesse du fluide et la tenue vestimentaire.

-Selon la vitesse de l'air, il existe deux types de convection, la convection naturelle ou libre quand la vitesse de l'air est inférieure à 0,2 m/s et la convection forcée pour des vitesses supérieures à 0,2 m/s (c'est le cas des ventilateurs).

Lorsque la vitesse de l'air est élevée les échanges convectifs influent d'une façon importante sur le bilan thermique de l'individu, « Les échanges par convection sont réduits par les vêtements et augmentent avec la vitesse de l'air, d'où la recherche de courant d'air et le port de tenue légère en été « Avec une humidité de 50%, un courant d'air de 0,5m/s donne sur la peau nue, une sensation d'abaissement de la température de l'air de 3,5°C »18.

Les échanges par convection sont régis par l'équation :

$$C=hc.Fcl (Ta-Tsk)$$

Où : hc : coefficient de transfert de chaleur par convection (w.m.k)

Fcl : facteur de réduction des échanges de chaleur par les vêtements (chaleur sèche)

Ta : température de l'air (°C) mesurée.

Tsk : température cutanée locale (°C).

2.3. Pertes par respiration :

Avant d'arriver aux poumons, l'air circule dans des conduits plus ou moins long elles fonctionnent comme un échangeur de surface quasi infinie, d'environ 100 m². Comme la température de l'air est le plus souvent inférieure à la température du corps, au fur et à mesure de son trajet l'air se réchauffe : il capte la chaleur des tissus proches qui donc se refroidissent.

De même les surfaces humides des conduits et des poumons cèdent de l'humidité à l'air qui est plus sec la quantité de vapeur d'eau expirée est de l'ordre de 30 g/h . Arrivé dans les alvéoles l'air est donc à la température du corps et saturé en humidité ce qui facilite les échanges.

Lors de l'expiration, l'air va se refroidir légèrement en se dirigeant vers le milieu extérieur (puisque lorsqu'il est entré il a refroidi les tissus !). L'humidité de l'air va alors se condenser et être récupérée par l'épithélium du conduit ventilatoire.

Dans les conditions courantes d'activité légère ou de repos, les pertes de vapeur d'eau par les poumons sont environ de 11,5 W (correspond à 360 g d'eau/jour). Ces pertes augmentent au cours d'exercices musculaires. (canvas.V 22 mai 2003)

2.4. Pertes par diffusion d'humidité à travers la peau :

Chaque expiration respiratoire induit l'élimination de vapeur d'eau. La quantité diffusée par cette voie dépend de la saturation en eau de l'air inspiré : l'élimination sera nulle si l'air inspiré est déjà saturé en vapeur d'eau. La perte d'eau éliminée par diffusion passive respiratoire représente en moyenne 300 ml par jour, soit une perte de chaleur de 200 kcal.

L'eau éliminée par diffusion passive cutanée, après passage à travers l'épiderme, représente une quantité environ deux fois plus importante : environ 600 à 800 ml par jour, soit une perte de 400 kcal. (canvas.V 22 mai 2003)

La perspiration est un phénomène d'évaporation diffusive continue liée à la présence permanente d'eau sur la peau. La quantité d'eau évaporée par perspiration est fonction des conditions hygrométriques de l'air ambiant, mais avoisine 11 g/h par m² de peau. (canvas.V 22 mai 2003)

2.5. Pertes thermiques par sudation :

Sudation : l'extraction naturelle de l'eau s'effectue à partir des glandes sudoripares. En générale, La quantité de sueur évaporée est liée aux conditions de l'ambiance entourée par l'homme (l'humidité relative, température et la vitesse de l'air). D'après la figure 8, on remarque le taux de refroidissement par évaporation de la sueur est important avec l'augmentation de la vitesse de l'air et la température de l'air. (canvas.V 22 mai 2003)

3. Les indices de confort thermique.

De nombreux travaux de recherche, réalisés à l'intérieur des bâtiments ou dans des conditions expérimentales parfaitement contrôlées en laboratoire, ont recensé les principales causes d'inconfort et ont permis d'établir un certain nombre d'indices, nommés « indices de confort thermique », qui sont en général définis en fonction de la température et de la vitesse de l'air. Nous ne citerons ici que les indices les plus couramment utilisés dans l'ensemble des normes de confort. Selon (Baruch, L'homme, l'architecture et le climat. 1978): *« il est nécessaire d'évaluer les effets combinés des facteurs d'ambiance sur les réponses physiologiques et sensorielles du corps et d'exprimer toute combinaison de ceux-ci sous la forme d'un seul paramètre. Ainsi tous les facteurs sont combinés à l'intérieur d'une seule formule, connue sous le nom d'indice thermique »*.

Il existe en littérature un certain nombre de méthodes dites d'évaluation du confort thermique, basées sur des expérimentations menées par différents chercheurs et mettant en œuvre différents paramètres de détermination du confort thermique.

Plusieurs méthodes de combinaison ont été développées par les chercheurs pour la manipulation simultanée des variables du confort. Parmi ces méthodes, on peut citer les indices les plus applicables :

- L'indice de contrainte thermique (ITS),
- Le vote moyen prévisible modifié (PMV),
- La température physiologique équivalente (PET) et
- La nouvelle température effective standard modifiée (OUT_SET).

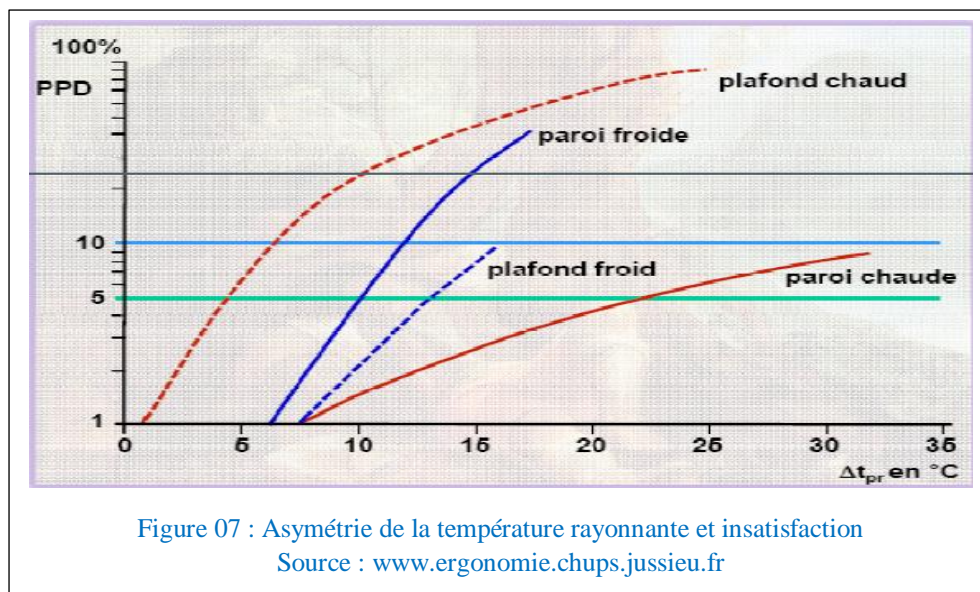
3.1. Les inconforts locaux :

Nombreuses sources d'inconfort local et parmi les plus traités les plus souvent échangés dans les traités thermiques de bâtiment, on cite : l'asymétrie de rayonnement horizontale et verticale, le gradient vertical de température d'air, la sensation de courant d'air, un air respiré trop chaud ou trop froid, des extrémités froides du corps, une humidité excessive ou insuffisante, des différences de température d'air le long du corps.

L'espace extérieur cherche à déterminer le degré des inconforts locaux et les résultats ne peuvent donc pas aboutir en milieu urbain, mais les problèmes de traitement doivent être traités et intégrés dans l'analyse microclimat urbain. (Moujalled 2007)

Un inconfort local peut également être dû à des différences de températures anormalement élevées entre la tête et la cheville, avec un sol trop chaud ou trop froid, ou à une asymétrie de rayonnement thermique. Ainsi, le confort thermique peut être affecté par plusieurs facteurs, citons³⁸ : Le courant d'air local, l'asymétrie de la température de rayonnement, la différence verticale de la température de l'air et la température des planchers. (Moujalled 2007)

3.2. Asymétrie de rayonnement :



Est définie par la différence de température radiante moyenne entre deux faces d'une pièce. Elle peut engendrer une sensation d'inconfort. « Les parois froides ou chaudes entraînent des déséquilibres au niveau des échanges radiatifs qui peuvent engendrer une sensation d'inconfort. On considère qu'il n'y a pas de gêne si, à 1m devant la façade, l'écart entre la température radiante orientée vers cette façade et la température radiante vers la cloison opposée ne dépasse pas 8° C ». D'après la figure, on notera que le plafond chaud est nettement

moins bien supporté qu'un plafond froid, alors qu'une paroi chaude est préférée qu'une paroi froide.

Généralement, « l'asymétrie de température rayonnante due à des surfaces verticales froides doit être inférieure à 10°C. L'asymétrie rayonnement due à un plafond chauffant doit être inférieure à 5°C » (Jérôme 2000, 105)

3.3. Température du sol :

La température du sol est plus ressentie au travers des chaussures légères.

([Hoffmann 1994]., Précise qu'une température de plancher trop élevée ou trop basse entraîne un inconfort au niveau des pieds. Selon le Guide technique de la diffusion d'air, « *Les limites pour les températures du sol sont comprises entre 19 et 29°C. La température du sol dans les pièces prévues pour des séjours prolongés ne doit pas excéder 26°C* »

D'autres éléments influençant le confort thermique ont été étudiés : l'âge, le sexe, la nourriture, la localisation géographique, la couleur des murs, le bruit, la lumière. Toutefois, il ne peut exister de règles de confort universelles du fait de grandes variations géographiques et intra-individuelles⁴⁴, sauf que Les médecins de l'habitat sain proposent les valeurs suivantes pour chaque facteur du confort⁴⁵:

- * Température des murs : $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$
- * Humidité relative entre 30 et 70%
- * Température du sol : 19 à 24°C
- * Vitesse de l'air : inférieure à 0,20 m/s ;
- * Différence de température entre deux murs d'une même pièce doit être inférieure à 10°C
- * Différence de température entre le sol et le plafond doit être inférieure à 5°C.

La figure suivante montre qu'une corrélation négative entre la température du sol et le pourcentage des gens insatisfaits où la T sol est < 24°C, au-delà de cette valeur on remarque une corrélation positive. (canvas.V 22 mai 2003)

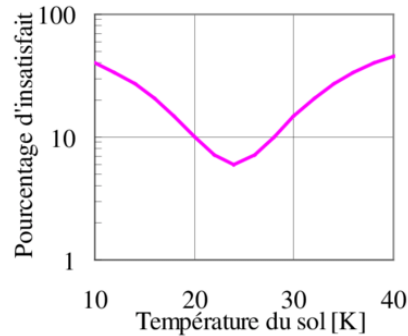


Figure 08 : effet de la température du sol

Source : www.tudor.lu/cms/henritudor/content.../CA_Roulet_Batiment_Sain08.pdf

3.4. Gradient vertical de température :

En pratique, il est recommandé un différentiel maximum de température de 2°C pour chaque mètre de hauteur, pour se maintenir dans certaines limites de garantie, lorsque les conditions ne sont pas totalement optimum.

D'après (Chemillier 1986): « Dans les bâtiments on considère généralement que l'écart entre les températures mesurées à 1,10 m et à 0,10 m doit rester inférieur à 3°C »

3.5. Courant d'air :

La perception d'un courant d'air localisé notamment au niveau de la nuque ou du visage est un élément d'inconfort. Cette perception du courant d'air dépend de la vitesse de l'air, de la température de l'air, de la zone du corps concernée.

Ce facteur est considéré comme l'un des principales sources d'inconfort local. Une vitesse de l'air variable est plus gênante qu'à vitesse stable. Mais aussi la qualité de l'air influe sur la sensation d'inconfort (chaud, froid)

Dans la norme ISO 7730-93, une équation relie le pourcentage d'insatisfaits (PD) aux caractéristiques du courant d'air ([Hoffmann 1994).

$$PD = (34 - T_{air}) (U - 0.05)^{0.622} (37 \sigma + 3.14)$$

Avec :

T_{air} : température d'air

U : vitesse moyenne de l'air

• : écart type des vitesses d'air ou turbulence absolue.

4. Les indices de confort ou de stress thermique en espace intérieur :

4.1 Indice de la « Température Résultante » :

L'indice de la température résultante est proposé par (Missenard 1959) cet indice est basé sur l'hypothèse que l'équilibre thermique serait maintenu entre le corps et l'ambiance (la température humide, la vitesse de l'air, le métabolisme, et les vêtements) malgré les variations de l'humidité et la vitesse de l'air, appliqués sur des sujets au repos sans aucune activité.

Cet indice est encore dénommée température opérative, selon (J.P s.d.) la température opérative est définie comme la température d'une enceinte virtuelle où la température de l'air et la température radiante sont égales, ce qui induit le même flux d'échange de chaleur par convection et rayonnement.

« Si la vitesse de l'air est nulle ou négligeable, ce qui est souvent le cas lorsqu'il n'y a pas de courant d'air, la température opérative est la moyenne arithmétique de la température de l'air et de la température radiante. Si la vitesse de l'air vaut 2m/s ou plus, la température opérative est égale à la température de l'air, les surfaces environnantes n'ont plus d'effet sensible » . On peut calculer la température opérative selon l'équation suivante :

$$T_{op} = a T_a + (1-a) T_r .$$

Où : T_{op} = température opérative (°C)

a = 0,5 + 0,25v, a = facteur obtenu selon la vitesse de l'air (v), T_a = température de l'air (°C),

T_r = température moyenne de radiante (°C), v : la vitesse de l'air

Suivant les normes de l'ISO 7730 les seuils de confort pour la température opérative sont comme suit : - Pour l'été : 22.5°C < T_{op} < 28°C.

Pour l'hiver : 20°C < T_{op} < 23.5°C

La figure suivante (II.13) donne la température opérative idéale (un PMV nul en fonction des conditions suivantes : le métabolisme, l'habillement, la vitesse de l'air moins de 0,1m/s, et une humidité relative varie entre 35 à 65 %). A titre d'exemple, à un isolement vestimentaire lourd de 1.5 clo pour un métabolisme de travail très léger estimé à 2 met, la

température opérative optimale de confort doit être de 12.2 °C. (Chemillier d'après Vinet Jérôme 2000)

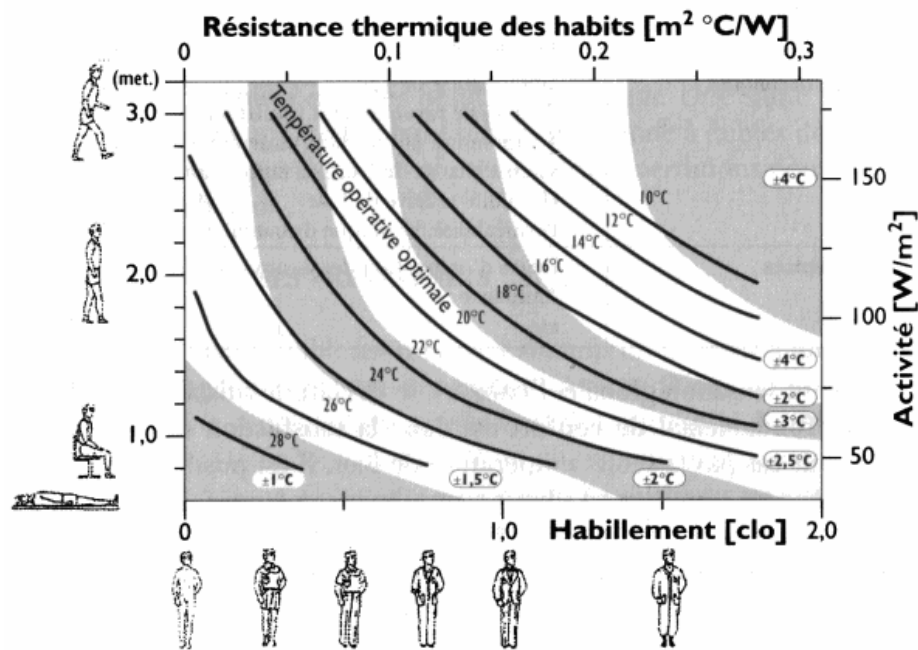


Figure 09: La température opérative idéale en fonction du métabolisme et l'habillement
 Source : (Vogt J.J, 1985 cités par Martinet C. & Meyer J.P, 1999)

4.2. Indice de la « Température Effective » et ses dérivées :

Entre 1923-1925, le laboratoire de recherche de « l'American society of heating and air conditionné engainées » (A.S.H.A.C.E) a développé un indice qui s'appelle "l'indice de la température effective" représenté sur un abaque en fonction d'une combinaison des facteurs climatiques et qui sont : la température de l'air, l'humidité, et la vitesse de l'air. Les limites des facteurs climatiques couverts par la température effective sont :

- Température d'air : 1 à 43 °C
- Température à bulbe humide : 1 à 43 °C
- Vitesse d'air : 10 à 350 cm/s.

L'indice a été effectivement utilisé pour prescrire la limite des contraintes thermiques sur des recrues marines non acclimatées aux U.S.A. Il a été recommandé que la formation des recrues devrait cesser quand l'indice a atteint 29.40 °C et toute l'activité ardue dévie.

Les expériences ont basé sur la réaction humaine pour déterminer les effets des combinaisons liés aux facteurs d'ambiance, où les sujets se déplacent entre deux pièces. Deux échelles sont développées, pour des sujets à demi-nus et pour des sujets habillés de vêtements d'été. (Jérôme 2000).

Il existe deux abaques, l'UN se rapportant à des hommes travaillant nus jusqu'à la ceinture, l'autre à des hommes complétement habillés pour le travail sous abri.

(.Smith s.d.) a proposé une modification sur cet indice, il introduit le taux de sudation comme une variable dépendante à l'indice de la température effective selon différents métabolismes. L'indice de la température effective est encore celui qui est utilisé largement, il a le mérite de la simplicité et n'exige pas d'instrumentation sophistiquée. Les incertitudes sur cet indice se manifeste, car il est basé sur des impressions thermiques instantanées et ne prend pas en considération les effets de la chaleur radiante lors de l'élaboration de l'indice (la température effective original). Soutenant encore par ça l'avis de (GIVONI 1975): « *Son emploi dans la comparaison des différentes ambiances, ou dans le choix d'alternatives pour la conception des bâtiments et du conditionnement d'air, peut en certains cas conduire à des résultats erronées* »

« *L'évaluation du SET requiert deux étapes. La première est de trouver la température de la peau et la mouillure cutanée de l'individu à partir du modèle de thermorégulation à deux nœuds* » selon (G. Al 1986)

D'après (Intyre 1980) « *La deuxième étape consiste à trouver la température d'un environnement standard qui génère les mêmes valeurs de température et de mouillure à partir de l'analyse des transferts de chaleur du corps. L'indice SET est donc fonction du niveau d'activité, des caractéristiques d'isolation des vêtements et des variables physiques de l'environnement. La valeur SET est directement liée à la sensation et non à la température de l'air* »

SET (C°)	Sensation	Etat physiologique d'un individu sédentaire
> 37.5	Très chaud, inconfortable	Défaillance de la régulation
34.5 – 37.5	Chaud, très inacceptable	Sueur abondante
30.0 – 34.5	Chaud, inconfortable, inacceptable	Sueur
25.6 – 30.0	Légèrement chaud, légèrement inacceptable	Sueur faible, vasodilatation
22.2 - 25.6	Confortable et acceptable	Neutralité

17.5 – 22.2	Légèrement frais, légèrement inacceptable	Vasoconstriction
14.5 – 17.5	Frais et inacceptable	Refroidissement lent du corps
10.0 – 14.5	Froid et très inacceptable	Frisson

Tableau 05 : Correspondance entre SET sensation et état physiologique (Mc Intyre 1980)

4.3. Les indices PMV et PPD :

Le PMV et PPD sont des modèles d'évaluation des conditions du confort thermique développé par (Fanger s.d.).

Le PMV établi par Fanger permet de mesurer une sensation thermique globale du corps humain à partir du métabolisme et donne la moyenne des votes en référence à une échelle de sensation thermique. Les valeurs de l'indice PMV varient entre -3 et 3 comme l'indique le Tableau suivant :

Valeurs de L'indice PMV	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3
Sensation Thermique	Chaud	Tiède	Légèrement tiède	Neutre	Légèrement Frais	Frais	Froid

Tableau 06 : Correspondances entre PMV et échelle des sensations thermiques (fanger s.d.)

La sensation thermique n'étant pas suffisante pour exprimer le confort, Fanger a proposé un autre indice qui complète le PMV, le « PPD » (pourcentage prévu des insatisfaits). Cet indice donne des informations sur le pourcentage de la population insatisfait vis à vis d'une ambiance thermique. Les expériences réalisées par P.O. Fanger avec des groupes de personnes confirment qu'il existe une relation entre les indices et cela selon l'équation suivante :

$$P.P.D. = 100 - 95 \cdot \text{Exp} [-(0,03353 \cdot \text{PMV}^4 + 0,2 \cdot \text{PMV}^2)]$$

Selon la norme ISO, l'ambiance thermique est acceptable ou propice au confort thermique pour la majorité des personnes qui y sont soumise, quand le PMV est compris entre les deux sensations légèrement tiède et légèrement frais : $-1 < \text{PMV} < +1$. (ISO s.d.)

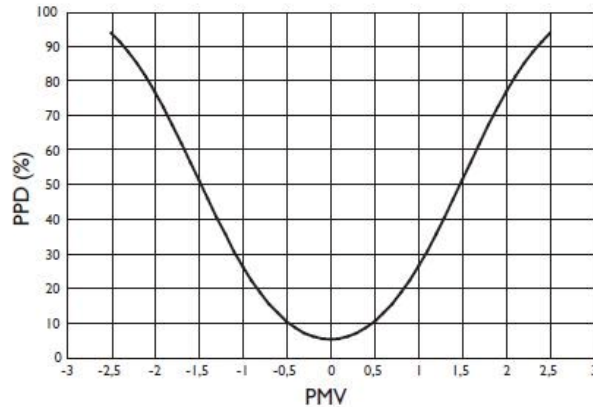


Figure 11 : Détermination du pourcentage prévisible d'insatisfaits (PPD) en fonction du vote moyen prévisible (PMV). Source : (Millanoye.M 2002)

5. Les indices de confort ou de stress thermique en espace extérieur :

Le confort ne dépend pas seulement du paramètre température mais aussi de l'hygrométrie de l'air ambiant. C'est pour cela pour être plus précis, on parle de confort thermo hygrométrique. Les principaux facteurs qui régissent les échanges de chaleur entre une personne et son environnement et qui ont une incidence sur son confort thermique sont les suivants :

Pour l'environnement : La température de l'air et ses fluctuations, le rayonnement thermique, l'humidité, la vitesse de l'air, la température des objets avec lesquels la personne est en contact.

« La température du milieu ambiant joue également un rôle essentiel et l'influence de l'humidité paraît beaucoup moins importante » selon (S. e. al et Sacré et al 1994)

La sensation de chaleur et de froid à l'intérieur d'un local dépend essentiellement de composantes suivantes :

- a) La température de l'air t_A et sa répartition dans le temps et dans l'espace dans la zone de séjour (zone occupée),
- b) La température moyenne t_M des parois du local et l'angle solide sous lequel l'occupant voit les diverses surfaces à différentes températures,
- c) L'humidité relative de l'air du local,
- d) La vitesse de l'air v_A dans la zone de séjour,
- e) La direction de l'air, c'est-à-dire les parties du corps frappées par le courant d'air,

f) L'effort physique dépensé dans le travail,

g) L'habillement.

Ces facteurs influencent le bien-être thermique et peuvent être appelés composantes du climat au sens le plus étroit. D'après une définition due à A. V. Humboldt, " il faut entendre par climat toute modification de l'atmosphère rendue perceptible à nos sens ".

Les architectes et les ingénieurs attendent souvent des valeurs numériques nettement définies pour le climat optimal, si possible sous l'aspect d'un diagramme unique, un tel problème est difficile, non seulement du fait du grand nombre des composantes énumérées, mais aussi à cause de l'enchevêtrement mutuel en partie très compliqué et encore imparfaitement éclairci des composantes physiques du climat a) à d) combinées deux à deux, trois à trois ou quatre à quatre, comme il sera exposé plus loin . Il faut surtout considérer que, concernant le bien-être thermique, on ne peut donner aucun standard ou valeur normalisée au sens des caractéristiques physiques de la matière, car malgré des composantes de climat identiques, les besoins d'élimination de chaleur et la sensation de confort diffèrent avec les individus et plus encore avec les peuples. On peut donner comme raisons, l'activité, la difficulté, l'Age, le sexe, la constitution individuelle, l'état de santé, le climat extérieur, l'habillement, le type et la durée des occupations, l'ameublement et l'aménagement du local, etc....Ajoutons à cela les habitudes de vie différentes selon les contrées ou les continents. Ainsi la température des locaux est généralement plus faible en Angleterre, en France et dans une partie des pays nordiques qu'en Allemagne, elle est par contre plus élevée dans une grande partie de l'Afrique du Nord. En conséquence les données expérimentales réunies par exemple aux USA concernant les valeurs d'état de l'air optimales dans un local climatisé ne peuvent être transposées pour les conditions climatiques et de vie en Afrique ou du Proche-Orient que moyennant de soigneuses modifications. (Chevillier d'après Vinet Jérôme s.d.)

5.1 Les effets du vent :

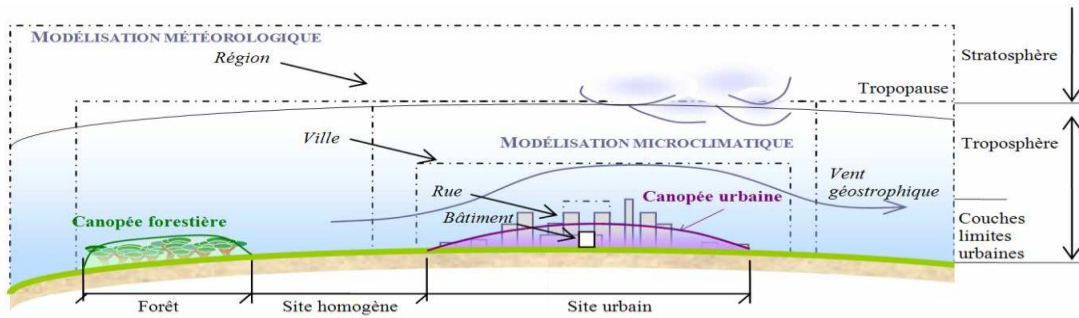


Figure 12 : De la modélisation météorologique à la modélisation microclimatique, jusqu'à l'interface bâti / environnement proche. (Chevillier d'après Vinet Jérôme s.d.)

En milieu urbain, les mouvements d'air sont fortement perturbés par de nombreux obstacles de formes diverses. Cette perturbation atmosphérique peut être abordée à différentes échelles, selon la représentation simplifiée de (la Figure 12) :

Loin du sol, à plus de 1000 m, les perturbations sont faibles et le vent est sensiblement parallèle aux isobares, ce qui correspond à l'équilibre géostrophique entre la force de Coriolis et la force du gradient de pression. Plus près du sol, les forces de frottement sur le sol rugueux réduisent la vitesse du vent et sont sources de turbulence. Sur un site homogène, comme en zone rurale (Figure suivante), la rugosité est identique en tout point : le vent moyen ne dépend a priori que de l'altitude au point considéré et peut être modélisé par une loi logarithmique ((Gandemer 1981)

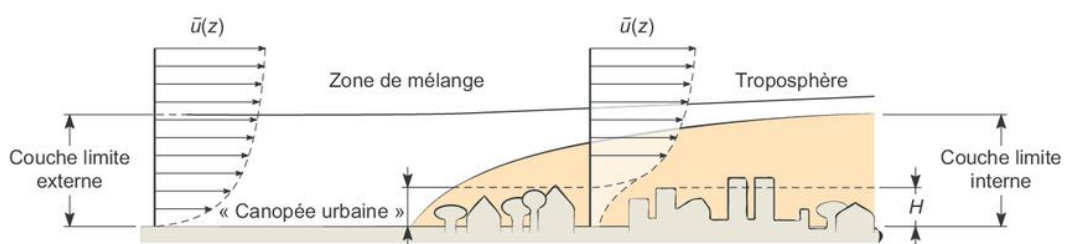


Figure 13 - Profil de vent dominant moyen en site homogène et en site urbain (Kiefer s.d.)

Le vent moyen entre les bâtiments est très affaibli et la modélisation empirique de ces écoulements s'inspire de l'écoulement d'air sous la canopée forestière (Nicholson 1975) Le niveau moyen des constructions, qui font obstacle à l'écoulement, permet définir une sous-

couche atmosphérique d'écoulement fortement perturbé, canopée urbaine. Dans la suite, nous avons retenu des modèles proposés pour l'étude de la dispersion des polluants ((Nicholson 1975, 1973) que nous avons développé dans un code de calcul au cours de notre étude.

La combinaison de ces modèles selon des scénarii simples a été définie de façon à pouvoir définir les écoulements dans une rue canyon, comme le montre le schéma à la Figure 14. L'utilisation de cette approche nécessite toutefois de connaître les paramètres qui caractérisent la morphologie du site étudié, et nous nous sommes basé sur des mesures effectuées sur les canyons urbains étudiés dans le cadre du projet (Urbvent Allard et Ghiaus 2004)). Les évolutions de vitesse moyenne obtenues montrent une bonne cohérence avec les valeurs mesurées, comme dans le cas représenté à la Figure 13. Le modèle développé ici nous a donc permis d'estimer l'évolution de la vitesse d'air en tout de la rue canyon en fonction des paramètres caractérisant le site et des données météorologiques disponibles pour l'extérieur de la ville.

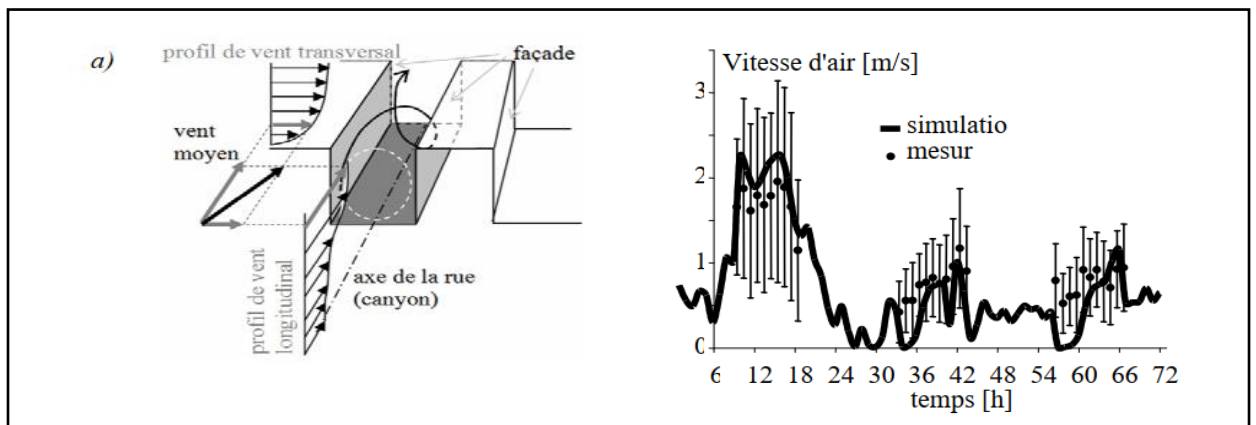


Figure 14) schématisation du modèle de vent dans la rue ; b) application au cas de la rue Kaniggos : évolution sur 3 jours de la vitesse moyenne calculée et mesurée au centre de la rue.

Cette approche permet d'estimer rapidement l'évolution de la vitesse d'air sur une période d'étude cohérente avec les études d'énergétique du bâtiment et dans notre cas d'étude sur 28 jours. Néanmoins, cette estimation simplifiée ne tient pas compte du couplage avec les autres paramètres climatiques, et donc des phénomènes de convection naturelle qui peuvent être significatifs dans le cas de faibles vitesses d'air. L'effet de l'interaction de ces autres paramètres climatiques est présenté au paragraphe suivant, et le modèle a ensuite été développé en tenant compte de ces couplages.

5.2 La température radiante moyenne en extérieur :

On a noté plusieurs formulations de la température radiante moyenne (T_{mrt}) dans l'analyse bibliographique. « *La température radiante moyenne intègre les flux de courtes et grandes longueurs d'onde et peut être calculée en utilisant la méthode de Höppe (1992)* » [Matzarakis et al. 1998] en considérant que la densité de flux radiatif moyen (ϕ_{net} exprimé en $W.m^{-2}$) absorbé par le corps, s'obtient en faisant la somme pondérée (W_i) des flux CLO et GLO absorbés mesurés, dans les 6 directions pour un individu qui est debout ou qui marche. A partir de ce résultat, il est possible d'appliquer la loi de Stefan-Boltzmann pour calculer la température radiante moyenne T_{mrt} en Celsius :

$$\phi_{net} = \sum_{i=1}^6 W_i \cdot ((1 - \alpha) \cdot \phi_{CLO,i} + \varepsilon \cdot \phi_{GLO,i})$$

$$T_{mrt} = \sqrt[4]{\phi_{net} / (\varepsilon \cdot \sigma)} - 273.2$$

« *La température radiante moyenne en Kelvin peut également être calculée à partir de la formule suivante, dans laquelle F_i est le facteur de forme entre la personne et la surface d'indice i , F_{ciel} est le facteur de forme entre la personne et le ciel et $L \cdot$ le rayonnement atmosphérique GLO reçu sur un plan horizontal* » [Penicaud 1978] :

$$\sigma T_{mrt}^4 = \sum_i F_i \left[\varepsilon_i \sigma T_i^4 + (1 - \varepsilon_i) \phi_{GLO,i} \right] + \frac{F_{ciel}}{0.5} L \downarrow$$

5.3 Indice de contrainte thermique :

Indice de contrainte thermique est tiré de plusieurs équations qui forment un modèle mathématique décrivant les mécanismes biophysiques, qu'implique le maintien de l'équilibre thermique entre le corps et le milieu ambiant, compte tenu des variations du pouvoir thermolytique de la sudation. Cet indice fournit une estimation linéaire continue de la contrainte thermique ; il est utilisable pour évaluer l'astreinte physiologique lorsque la sudation reflète la charge thermique. Les domaines des facteurs couverts par l'I.C.T. sont : température d'air : 20 à 50 °C, tension de vapeur d'eau : 5 à 40 mm Hg, vitesse d'air : 0.1 à 3.5 m/s, rayonnement solaire : totalité du domaine 600 Kcal/h, métabolisme : 100 à 600 Kcal/h, tenue vestimentaire : semi nudité, vêtement léger d'été, combinaisons industrielles ou militaires.

En 1936, Winslow et al ont introduit la notion de calorimétrie fractionnelle, c'est-à-dire la détermination des quantités de chaleur échangées par les diverses voies selon les principes de la physique. Après, (Hatch 1955)ont les utilisés dans la définition d'un nouvel indice de contrainte thermique (I.C.C). Celui-ci est déduit des flux de chaleur échangés avec l'ambiance par rayonnement et par convection (R + C) et de la production de chaleur métabolique (M) dont la somme représente la charge thermique totale à dissiper par évaporation (Ereq) pour maintenir l'équilibre thermique. L'indice a été basé sur plusieurs hypothèses d'ordre physiologique.

Au repos, la contrainte thermique totale exerçant sur les sujets est égale à l'évaporation requise de la sueur. $E=M +R+C$.

Où : R : rayonnement, C : convection, M : métabolisme, E : évaporation

L'effort physiologique imposé au corps par une contrainte calorifique donnée est déterminé par le rapport de l'évaporation requise sur la capacité évaporatoire maximale de l'air Emax. Lorsque le corps est soumis à la contrainte calorifique, la température cutanée est maintenue stable.

Après huit heures d'exposition aux effets de l'ambiance pour une personne moyenne, la capacité maximale de sudation est estimée à 1L/jour pour donner une valeur de refroidissement de 600 kcal/h.

Les domaines des facteurs couverts par l'I.C.C sont : température du bulbe sec : 21 à 49 °C, tension de vapeur d'eau : 3 à 42 mm Hg, une vitesse d'air entre : 0.25 à 10 m/s et un métabolisme : 100 à 500 Kcal/h. (W. e. al 1936)

Position	Site	Kpe
Assis le dos tourné au soleil	Désertique Forêt	0.386 - 0.379
Debout le dos tourné au soleil	Désertique Forêt	0.306 - 0.266

Tableau 06: Coefficients (Baruch, L'homme, l'architecture et le climat. 1978)

Se basant sur les études antérieures d'Olgay, Givoni a élaboré une méthode expérimentale où il représente les limites des ambiances confortables sur un diagramme psychométrique courant. Il présente une méthode plus performante que celle de V. Olgay, dans l'évaluation des exigences physiologiques du confort. (Olgay s.d.)

Givoni définit le confort en considérant la personne en état d'activité, Par l'intermédiaire de son diagramme bioclimatique, il a prouvé qu'avec l'application des concepts de l'architecture,

l'effet de variation climatique de l'environnement extérieur peut être réduit au minimum. Il a alors mis au point un outil synthétisant les zones thermo-hygrométriques et les moyens d'intervention par des dispositifs architecturaux ou techniques qui peuvent être utilisés pour remédier aux sollicitations du climat⁶⁸. Ceci est exprimé sur un diagramme psychométrique ou bioclimatique (figure), présenté dans son ouvrage « L'homme, l'architecture, le climat » (Baruch, L'homme, l'architecture et le climat. 1978)

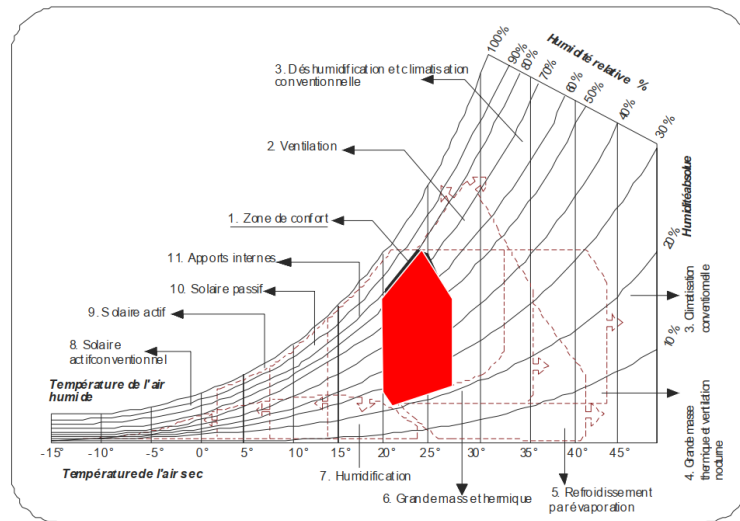


Figure 14: Zones de confort selon le diagramme bioclimatique de (Baruch, L'homme, l'architecture et le climat. 1978)

La zone de confort est positionnée au centre, l'aire extérieure à cette zone est subdivisée en zones secondaires, où l'auteur propose différentes procédures permettant de réintégrer les exigences de confort universelles. Sa zone de confort se situe entre les températures 20 et 27°C, C'est à dire qu'il considère que toutes les personnes, quel que soit la latitude à laquelle ils se trouvent, réagissent de la même manière au confort. (Baruch, L'homme, l'architecture et le climat. 1978)

Conclusion :

Afin de définir le contexte global de la recherche et introduire l'analyse d'en abordant l'objet de l'étude « le confort thermique » et « les différents paramètres du confort thermique /les échanges thermique» suivant un cadre théorique multidisciplinaire : physiologique, physique, technique et sensoriel (perceptif), l'étude proposée dans ce chapitre mène à une exploration détaillée des différentes méthodes d'analyse bioclimatique et d'évaluation quantitative du confort thermique à l'intérieur d'un local. Plusieurs auteurs ont tenté de répondre à ces questions

Le confort thermique est un élément essentiel pour le bien-être de l'occupant dans son environnement bâti. La prise en compte de celui-ci dans l'habitat implique de considérer leur différent aspect. Les paramètres qui influencent le confort thermique peuvent être divisés en deux types : les paramètres physiques (telles que la température de l'air, la vitesse de l'air.) et les paramètres d'ordre personnels (comme l'habillement, l'activité). L'homme est un homéotherme, il doit maintenir sa température interne voisine de 37°C, l'adaptation à chaque échange thermique implique des réponses d'ordre physiologique, comportementale et parfois technique pour assurer l'équilibre entre le corps et l'environnement.

Fanger définit le confort de point de vue des éléments sensoriels du confort, pour lui le confort est un état d'esprit exprimant la satisfaction de son environnement, c'est l'évaluation subjective. Ces études traitent l'effet combiné des paramètres physiques pour connaître les limites de la zone de confort thermique et proposent des indices et de diagrammes bioclimatiques.

Les indices thermiques sont le résultat de plusieurs études sur le confort thermique qui combinent entre plusieurs facteurs de l'environnement dans un seul paramètre. Un certain nombre de critères ou d'indices ont été utilisés pour essayer de cerner cette notion assez subjective de confort. Ils sont basés sur la température, l'humidité de l'air et le vent.

De nombreux indices sont disponibles pour calculer a priori les sensations thermiques d'un individu en fonction des variables citées précédemment. Les plus connus sont le PMV, et le PPD. Cependant, leur utilisation reste limitée à des ambiances modérées, stationnaires et homogènes c'est-à-dire une proportion infinitésimale des cas rencontrés dans le bâtiment.

Chapitre II :

L'impact de la végétation sur
le confort thermique dans les
espaces urbain extérieur.

II Chapitre 02 : L'impact de la végétation sur le confort thermique dans les espaces urbain extérieur.

Introduction :

La nature en ville, expression évocatrice mais imprécise, n'est pas une invention récente. Les parcs et les jardins, les espaces minéraux plantés, les ceintures vertes, les espaces verdoyants de toute espèce, publics et privés, utilitaires ou décoratifs, jardins suspendus, jardins de poche ou grandes trames vertes, bois et bosquets, terres agricoles, ménagés ou aménagés dans les interstices des zones bâties, ont toujours été présents dans la ville. On parle aujourd'hui aussi d'agriculture interurbaine et d'agriculture périurbaines. La nature reste une valeur sûre. Spontanée, apprivoisée, domestiquée ou fabriquée, elle résiste aux transformations des régimes de l'urbain, à ses temporalités et à ses modes de régulation.

La répartition de la végétation dans une zone urbaine joue un rôle majeur dans la fourniture de conditions environnementales satisfaisantes dans la zone urbaine pour ses habitants. Cependant, dans la plupart des villes, ces zones de végétation sont menacées par une utilisation alternée des terres urbaines en raison de la pression exercée sur les terres.

Ces derniers temps, l'importance de la végétation urbaine dans la prévention de la détérioration de la dégradation de l'environnement urbain a été reconnue. La végétation dans les zones urbaines contrôle fortement l'environnement thermique, elle contribue à la rétention des eaux de ruissellement et réduit le niveau de particules en suspension dans l'atmosphère. D'où la quantité et la qualité de la végétation urbaine et de l'activité économique en détresse.

En supplément de la végétation, d'autres paramètres peuvent influencer la qualité de l'air en ville : La topographie des lieux notamment, l'arrangement et la disposition des rues et des bâtiments, qui jouent un rôle sur la dispersion des polluants, le trafic routier et la composition du parc automobile, et la direction des vents. (Amphoux 2009)

1. La végétation et les particularités du milieu urbain :

La présence de végétation en ville contribue à atténuer localement les îlots de chaleur urbains. En effet, l'ombre apportée principalement par les arbres, permet de réduire la température de surface des bâtiments et des matériaux de revêtement en diminuant la chaleur emmagasinée par les fenêtres, murs et toits sous l'effet du rayonnement solaire. De plus, le phénomène d'évapotranspiration qui se produit au niveau de la végétation rase

(pelouses) comme arborée intervient également. Il combine deux mécanismes conduisant à la perte d'eau par la végétation : d'une part par évaporation au niveau des feuilles, d'autre part par transpiration. Pour réaliser l'évapotranspiration, les végétaux utilisent de l'énergie solaire, ce qui réduit la quantité d'énergie transférée dans l'air environnant sous forme de chaleur. En parallèle, l'eau perdue par la végétation est transférée dans l'air, ce qui l'humidifie et lui confère une certaine fraîcheur. (Kaplan et al. (1989) ; Lambin 2009 ; Kuo (2001) 1989-2001)

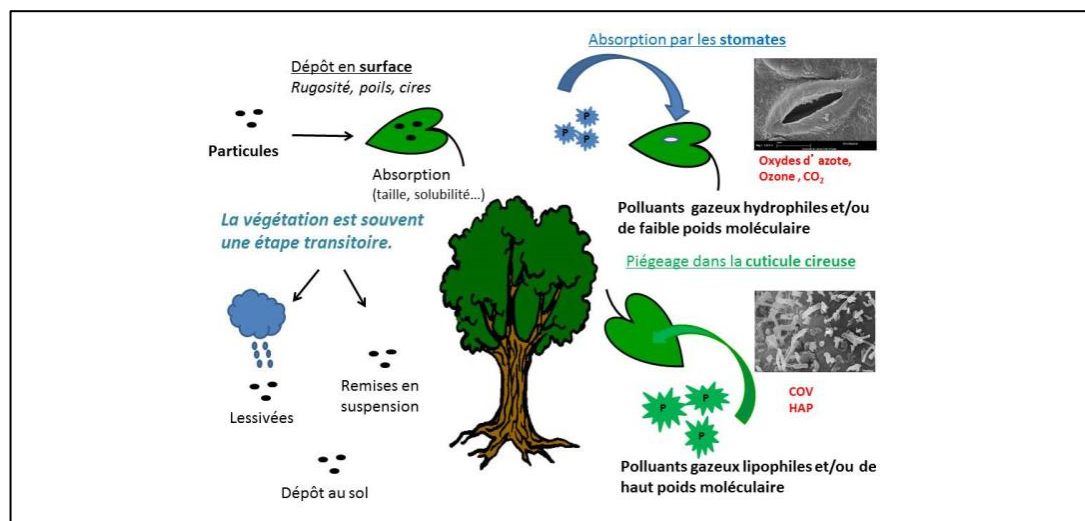


Figure 15 : Mécanismes d'interactions entre les plantes et les polluants. Source ; (Kaplan et al. (1989) ; Lambin 2009 ; Kuo (2001) 1989-2001)

Dans certains cas, selon leur densité de plantation et leur morphologie, les arbres peuvent altérer l'écoulement de l'air, ce qui freine la dispersion des polluants et entraînerait même une augmentation des polluants, qui se concentrent donc à certains endroits. Ce peut être par exemple le cas dans des rues encaissées.

Bien qu'elle puisse contribuer à améliorer la qualité de l'air, la végétation présente aussi des aspects négatifs tels que l'émission de COV qui sera plus ou moins importante selon l'espèce d'arbres. En plus de ces émissions, il faut considérer celles de CO₂ et de méthane liées à la décomposition de la biomasse végétale.

Enfin, il est nécessaire de privilégier les espèces les moins invasives et non allergisantes dans l'aménagement des espaces verts ou la plantation d'alignement d'arbres en ville. (Kaplan et al. (1989) ; Lambin 2009 ; Kuo (2001) 1989-2001)

2.1. Qualités et classification associées à la végétation :

Le terme de « nature en ville » désigne l'ensemble des espaces et ressources naturelles (espèces animales et végétales, eau) et les écosystèmes présents en milieu urbain. D'après la définition issue du Plan « Restaurer et valoriser la nature en ville », elle regroupe « l'air, l'eau, les sols, et le tissu vivant constitué de micro-organismes, faune, flore, milieux naturels et semi-naturels, agricoles et forestiers, squares, jardins, parcs urbains, toitures et murs végétalisés, etc. La nature comprend donc tout ce qui est vivant en milieu urbain, par opposition avec les composantes minérales de la ville.

Plus particulièrement, la végétation en ville prend des formes très diverses. Afin de ces différencier formes, voici deux exemples de méthodes classifications des espaces verts extraits de la littérature scientifique. (Drénou 1999)

Exemple de classification :

- **Classe 1** : les espaces floraux (espaces composés de massifs floraux, de jardinières et de suspensions florales) ;
- **Classe 2** : les espaces horticoles (parcs et jardins, sites à fort décorum, comme les parties centrales des boulevards périphériques) ;
- **Classe 3** : les espaces verts urbains (espaces collectifs publics plantés et engazonnés dans les lotissements et les accompagnements de voirie) ;
- **Classe 4** : les espaces extensifs (grands espaces publics intermédiaires entre les espaces urbains et les espaces naturels où la flore locale est maintenue et préservée) ;
- **Classe 5** : les espaces naturels (fourrés, haies bocagères, bois, prairies, bords de rivière, ruisseaux, lacs, mares et landes...)

Classification selon type de feuillage :

- **Feuillage caduque** : De manière un peu surprenante, les arbres à feuilles caduques comme le chêne, le platane, l'érable, l'orme ou le bouleau, alors que leurs feuilles tombent à l'automne, sont également appelés « feuillus ». Ex : Chêne, Hêtre, Bouleau, etc ...
- **Feuillage persistant** : Les arbres à feuilles persistantes, comme l'expression l'indique clairement, sont des végétaux qui ne perdent pas leur feuillage en automne.

En réalité, tous les arbres perdent leurs feuilles pour répondre à un besoin naturel de régénérescence. Ex : Sapins, Pins ...

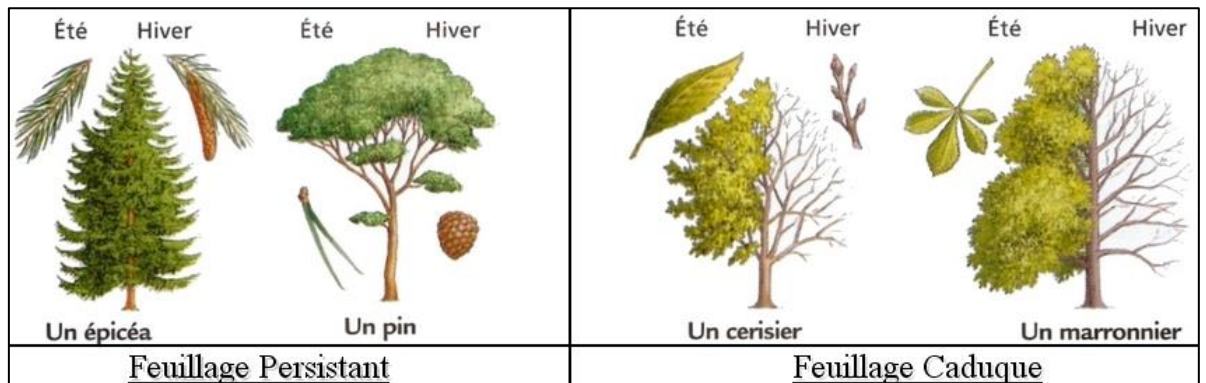


Figure 16 : Classification selon type de feuillage Source : M. RAMIERE - Mai 2006

D'autres critères de classification peuvent également être cités :

Les espaces publics / les espaces privatifs

La taille des espaces verts

La végétation sol / la végétation hors sol

Les formes de végétation traditionnelles / les formes de végétation innovantes.

2.2. Dimensions structurelles et composition urbaine :

La capacité d'adaptabilité des espèces végétales est à prendre en compte car les nuisances précédemment citées sont autant de problèmes pour les différentes essences. En effet, les arbres doivent présenter des caractéristiques essentielles à leur survie Faculté à tolérer plusieurs stress, Résister aux maladies du sol et de l'air, Résister à la pollution, à l'ombre des bâtiments Choisir des espèces dont le bois n'est pas cassant et dans le paysage urbain, une grande variété d'arbre existe. Les dimensions des arbres sont des paramètres important à contrôler aussi bien en tant qu'impact sur l'occupation d'espace que sur l'ombre générée par ceux-ci. Ont les racines ne peuvent pas détériorer les trottoirs et les canalisations.

Pour répondre à des exigences culturelles ou utilitaires, l'homme adapte l'arbre à un milieu qu'il a transformé. Certaines formes, comme les ragosses, sont caractéristiques de régions du Grand Ouest. Leur forme est facilement reconnaissable et identifie le paysage de ces régions.

Les catalogues des pépiniéristes permettent de connaître avec précisions les caractéristiques des arbres. C'est un outil indispensable au paysagiste. D'autres bases de

données existent comme par exemple Végébase, une base de données en cours de réalisation initiée par Plante & Cité. Elle doit devenir un outil d'aide au choix des végétaux lors de la conception d'espaces verts. Plantus est une base de données qui donne de nombreuses informations botaniques et culturelles. Elle permet notamment de sélectionner les critères de choix du végétal (exemple : arbre à floraison rouge, adapté aux sols calcaires...) (Ip K. 2010)

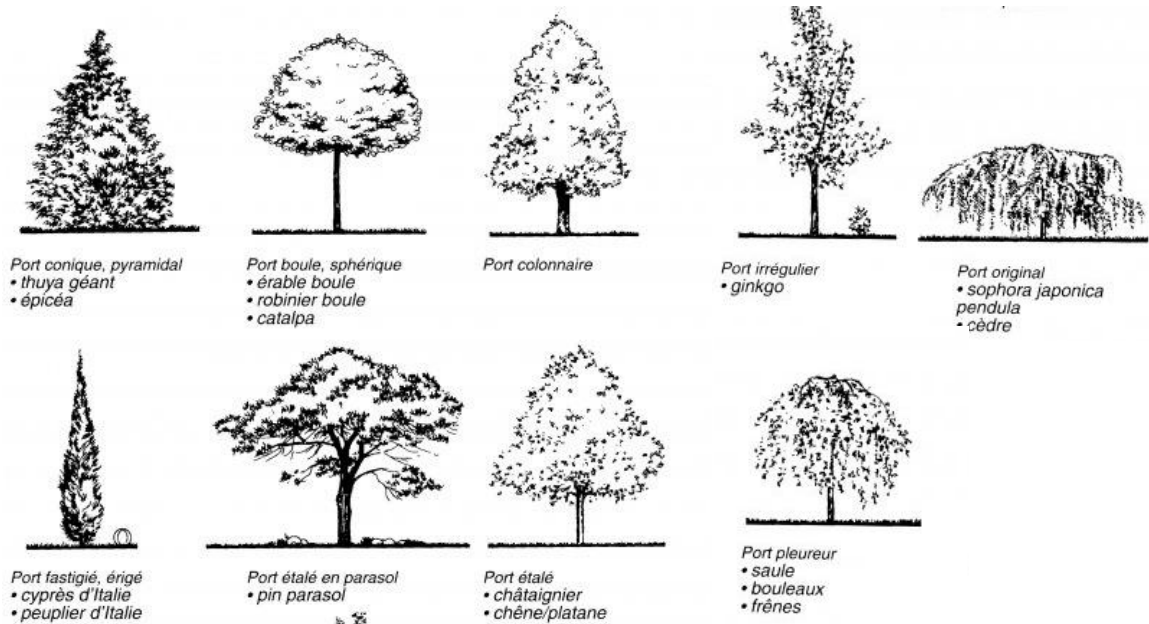


Figure 17 : Ports d'arbre en ville (Larue 1996)

Les dimensions des arbres sont des paramètres important à contrôler aussi bien en tant qu'impact sur l'occupation d'espace que sur l'ombre générée par ceux-ci. Il est nécessaire

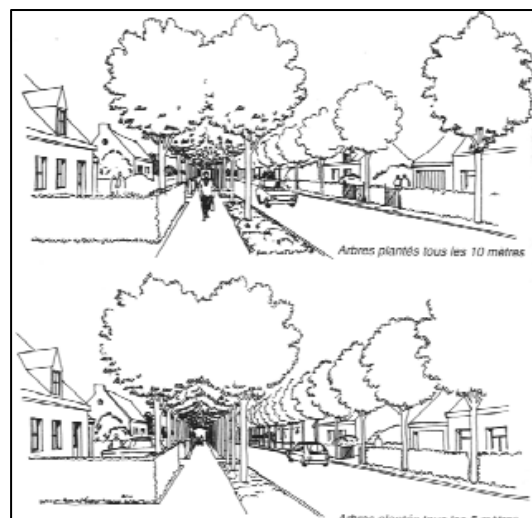


Figure 18: Modification de l'espace grâce à l'espacement entre les arbres (Larue 1996)

de prendre en considération les dimensions des arbres comme des paramètres importants pour contrôler aussi bien en tant qu'impact sur l'occupation d'espace que sur l'ombre générée par ceux-ci l'on souhaite intégrer des arbres en espace urbain.

Les pépiniéristes préparent différentes formes par des tailles de formation. Ils proposent entre autres : des tiges fléchées avec un tronc bien droit et des branches bien réparties tout le long du tronc, des tiges couronnées où les branches charpentières partent sensiblement du même endroit pour former une couronne, des cépées, et plusieurs brins partent de la base, en fuseau ou colonne, ainsi que des formes architecturées. (Abdelkrim. s.d.)

Les distances de plantation au niveau du réseau départemental et communal sont fixées par les communes et les départements par arrêtés communaux ou préfectoraux. Mais il fait maintenant nous pencher sur le rôle concret des arbres dans une démarche de projet urbain



Figure 19 :Taille architecturée, en rideau, à Chantilly. Source ; Google image

2.3. L'utilisation des arbres dans le projet :

Dans le temps, partout dans le monde la végétation a beaucoup été utilisée comme matériau de construction. Le souci de construire avec le végétal, de l'insérer dans l'architecture est perçu différemment, agrément et embellissement des façades et cache misère selon certains, pour d'autres, utilitaire ou technique (ombrage...)

Aujourd'hui c'est son rôle bioclimatique qui est le plus recherché, dans ce sens, Blumenthal s'interroge sur la possibilité de considérer la végétation comme essentielle en architecture, elle a un impact positif sur la durabilité de la construction et l'amélioration de son cadre de vie. Selon (Daures s.d.): « *La végétation de l'architecture est une voie pour améliorer le confort et la qualité de vie tout en incitant à la rencontre grâce au renforcement du caractère identitaire des quartiers* ». On trouve la végétation dans les différents espaces dans l'habitat sur des terrasses, toits, balcons, murs, jardin..., et cela s'appelle aujourd'hui l'architecture végétale.

L'intégration de la végétation dans l'architecture contemporaine représente une occasion de conception pour les concepteurs et les architectes. Par ailleurs, dans une perspective de végétalisation de l'espace urbain, plusieurs procédés offrent maintenant la possibilité de verdifier les surfaces urbaines telles que les toitures et les parois verticales des constructions.

Aujourd'hui, les plantes sur les toits et les murs sont de plus en plus intégrées dès la phase de la conception, tandis que des supports allégés et des matériaux modernes facilitent leur diffusion progressive à l'ensemble des projets, de construction neuve comme de réhabilitation. Autour des constructions, la végétation prend des formes diverses, isolée (arbres, arbustes), tapissant (gazon, herbes) comme elle peut constituer une seconde enveloppe du bâtiment (mur végétal, toit végétal). Dans toutes ces formes, la végétation protège le bâtiment en réduisant les transferts de chaleur par convection et les gains par rayonnement ce qui améliore son comportement énergétique.

Dispositifs urbains	Dispositifs urbains	Végétation
Places	Anciennes (dans ensembles médiévaux)	Peu ou pas plantées Arbres monumentaux
	Classiques	Dépourvues de végétation à l'origine puis plantées
	A ordonnancement végétal	Plantation en trame régulière
	Places-jardins, Squares	Ambiance de nature, lieux de dépaysement et de tranquillité.
Ruelles, cours, sentes	Rues Réseaux d'accès aux quartiers de faible densité	Végétation plus ou moins décidée, pergolas, plantes décoratives
	Réseaux d'accès aux quartiers de faible densité	Végétation plus ou moins décidée, pergolas, plantes décoratives
Ceintures vertes	Promenades associées aux enceintes	Lignes d'arbres
Boulevards	Voies de circulation qui entourent partiellement la ville, le quartier	Plantation sur les trottoirs et les terrepleins
Déviations	Voies de contournement	Mise en valeur du paysage, des points de vue, des ronds-points
Allées	Espaces de cheminement linéaire	Espaces de cheminement linéaire
Cours Avenues	Espaces de forme rectangulaire, orientés vers un point de vue remarquable	Ordonnancement végétal et architecturé planté sur sa longueur de lignes d'arbres
	Rues conduisant à une ville ou à un lieu prestigieux	Plantation de 25 à 30 m de hauteur, symétrie longitudinale

Quais, rives,	Espaces à proximité de l'eau (rivière, fleuve, lac, océan)	Plantation d'alignement Arbres isolés ou bosquet
Esplanades	Compositions monumentales liées à un paysage exceptionnel	La végétation a un rôle d'accompagnement en cadrant la vue
Jardins	Classique	Plantation régulière, symétrique
	Pittoresques	Rappel de la nature et de la campagne
Espaces verts	Formes d'occupations du sol qui s'accompagnent de présence végétale	Surfaces plantées, espaces libres, ambiances végétales isolées de la circulation et de la ville, terre-pleins engazonnés, aires de jeux

Tableau 10 : Relations urbanisme-végétation (Stefulesco 1993)

Le végétal, sous ses différentes formes, a plusieurs effets, un aspect esthétique stupéfiant, de même, il peut servir à corriger une vue déplaisante ou à mettre en valeur un élément remarquable. Comme dans l'architecture traditionnelle du Japon, il est recommandé de concevoir les percements d'une habitation, non seulement pour répondre au simple usage des lieux à éclairer ou à ventiler, mais aussi pour souligner une vue sur un élément végétalisé existant ou une perspective sur un paysage préservé. (Daures. s.d.)

Le végétal est un élément qui participe le plus dans les recherches scientifiques, il constitue une base pour la majorité des médicaments que la science médicale a créés, c'est elle qui assure la survie des êtres vivants (animal, humain) en se servant comme nourriture. Non seulement le domaine de la recherche scientifique qui se réfère à cet élément pour assurer ses besoins, mais aussi, un arbre ou un ensemble végétal remarquables par leurs tailles, leurs floraisons contribuent à l'orientation et au repérage, employé comme un guidage optique, comme une signalisation routière en l'implantant aux abords d'une route. Par ses caractéristiques, il permet de se protéger des rayonnements solaires et contre les regards indiscrets, dans certains cas il joue un rôle de séparation en définissant des limites entre deux propriétés. En général, le végétal est un élément indispensable dans la majorité des activités humaines que ce soit en domaine de la science ou pour les autres domaines. (Daures s.d.)

L'élément végétal est un matériau esthétique par excellence. Avec ses aptitudes à croître et à se régénérer, il est un être vivant dynamique, il peut se faire beau sans une grande peine de façonnage, il joue sur les formes et les couleurs, ce qui lui donne une valeur ornementale et décorative, c'est un élément qui permet de rester toujours en contact avec la nature. Il a un rôle primordial dans la création des ambiances en apportant de nouvelles odeurs, de nouveaux sens, de l'ombre ... L'élément végétal a une action certes sur le psychisme,

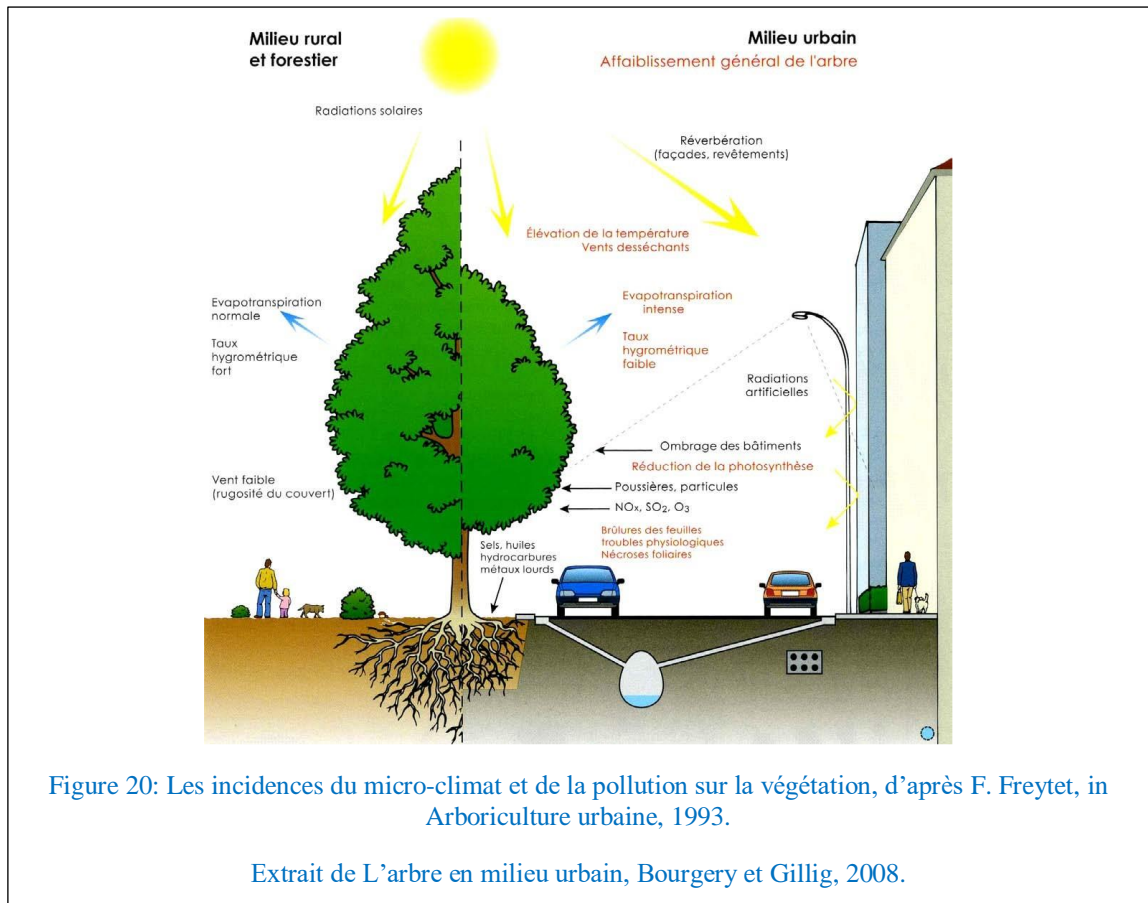
relaxation et santé sont dues à l'influence des couleurs surtout pour le vert et le bleu reconnus pour leurs vertus apaisantes. Les qualités esthétiques des végétaux dépassent leur simple fonction d'enjoliveur ou de cache-misère, car la dynamique induite par ce jeu est teintée de références aussi bien à la nature qu'au temps par leur évolution formelle et chromatique à travers les saisons. (Daures. s.d.).

Le végétal peut jouer le rôle d'un vecteur de signification en rapport avec la religion et la mythologie, il est le chemin ascensionnel par lequel transitent ceux qui passent du visible à l'invisible (Dieux, esprits, âmes, souverains et médiateurs) empruntent ce chemin entre ciel et terre (sa verticalité aérienne et souterraine symbolise l'ascension vers le ciel et la descente aux enfers). (Daures. s.d.)

Il symbolise tantôt les forces de la vie, tantôt l'homme, tantôt une famille. Certains arbres ont une symbolique propre, l'olivier représente la paix, la sérénité, le chêne la robustesse, la longévité.

2.4. . La végétation comme solution microclimatique :

La végétation en ville peut donc influencer le microclimat urbain. Cependant, évaluer la réduction de température de l'air par les végétaux reste complexe car ceci dépend à la fois de la surface végétalisée et des surfaces environnantes. En effet, différents facteurs viennent moduler les effets de la végétation sur le climat. (KARIMA s.d., 84)



C'est l'ombrage apporté par les houppiers et les troncs des arbres qui est prédominant dans l'effet de rafraîchissement. Cependant, l'évapotranspiration de la végétation herbacée exerce une influence complémentaire en abaissant les températures dans les espaces verts non ombragés. De plus, la superficie de végétation doit aussi être intégrée car l'ampleur des effets de la végétation est fonction de l'échelle des surfaces végétales et des espaces entre celles-ci. Toutefois, le rayon d'action reste principalement local. De plus, il semblerait que des petites surfaces suffisamment espacées (environ 200 m selon les études) offrent aussi un rafraîchissement efficace. (Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs, Environmental Pollution, 159, Issues 8–9, p. 2119-2126 s.d.)

En conclusion, la circulation de l'air frais dégagé par les surfaces vertes est facilitée en jouant sur la diversité de la végétation telle que les arbres, les arbustes ou les pelouses ainsi qu'en jouant sur la disposition des différents types de végétation.

L'aménagement entre aussi en jeu dans la régulation des températures urbaines notamment l'albédo des surfaces et des matériaux. Pour mémoire, l'albédo correspond au rapport entre la quantité d'énergie solaire réfléchi et la quantité d'énergie solaire reçue. Ainsi, la stratégie la plus efficace pour rafraîchir le climat urbain est celle qui allie l'augmentation de

l'albédo des surfaces à l'augmentation de la couverture végétale. L'impact de la forme des bâtiments et de leur organisation est également à prendre en compte : ainsi, la stagnation des masses d'air chaud locales est favorisée dans les rues encaissées qui sont étroites et délimitées par de hauts bâtiments.

D'autres formes de végétation telles que les toitures et les murs végétalisés contribuent à l'atténuation des îlots de chaleur urbains. Par exemple, l'implantation de toitures végétalisés augmente l'albédo du toit des bâtiments et limite l'énergie emmagasinée par ceux-ci. De plus, elles permettent aussi de réduire les dépenses énergétiques liées à la climatisation des bâtiments. (Architecture durable et végétal s.d.)

L'effet des toits et murs végétalisés varie en fonction du type de climat : plus il est chaud et sec, plus l'effet sera important. Il semble que les murs végétaux aient un effet rafraîchissant plus important que les toits végétalisés dans les rues encaissées. Mais le rafraîchissement maximal de l'air dans ces rues comme sur les toits des bâtiments adjacents est obtenu en végétalisant les toitures et les murs.

Les végétations grimpantes, en agissant comme des dispositifs « d'ombrage biologique », peuvent également atténuer les îlots de chaleur urbains. La végétalisation des façades a un impact sur la température de l'air extérieur et agit comme un isolant thermique, ce qui régule la température à l'intérieur des bâtiments. Elle diminue la réduction des dépenses énergétiques liées à la climatisation en été ou au chauffage en hiver. De même, les haies d'arbres réduisent la pénétration du vent à l'intérieur du bâtiment permettant ainsi des économies de chauffage en réduisant le taux d'infiltration de l'air extérieur. (Susca T. 2001)

2.5. Modification des échanges radiatifs en présence de végétation :

Les études des échanges radiatifs et énergétiques se produisant entre un couvert végétal de grande superficie et la masse atmosphérique à son contact répondent entre autre à deux préoccupations :

- Sur le plan agronomique, la nécessité de comprendre les interactions sol-plante-atmosphère et leurs évolutions en fonction des phases phénologiques du système végétal cultivé ;
- Sur le plan climatique, l'estimation de l'impact des modifications physiologiques des couverts végétaux (transformation de la forêt en cultures annuelles puis en défriches) sur certains paramètres climatiques tels que la concentration en vapeur d'eau et la température de l'air, et leurs conséquences l'exemple de la forêt dense humide en région équatoriale est

caractéristique : les changements de la couverture forestière liés à la déforestation entraînent des modifications de certaines variables physiques du milieu comme l'humidité et la température de l'atmosphère.

Nous analyserons l'ensemble des échanges radiatifs et énergétiques qui contribuent à établir l'état d'équilibre biologique et climatique d'un système végétal, ce qui nous permet de préciser l'importance de l'impact des modifications que l'homme introduit, consciemment ou non.

Description des échanges.

Le nouvel état des échanges énergétiques entre le sol, la végétation et l'atmosphère, introduit des effets physiques qui influencent défavorablement les conditions climatiques et l'équilibre de l'écosystème. Le bilan radiatif au-dessus d'un couvert végétal s'écrit :

$$R_n = R_g - R_r + R_a - R_t$$

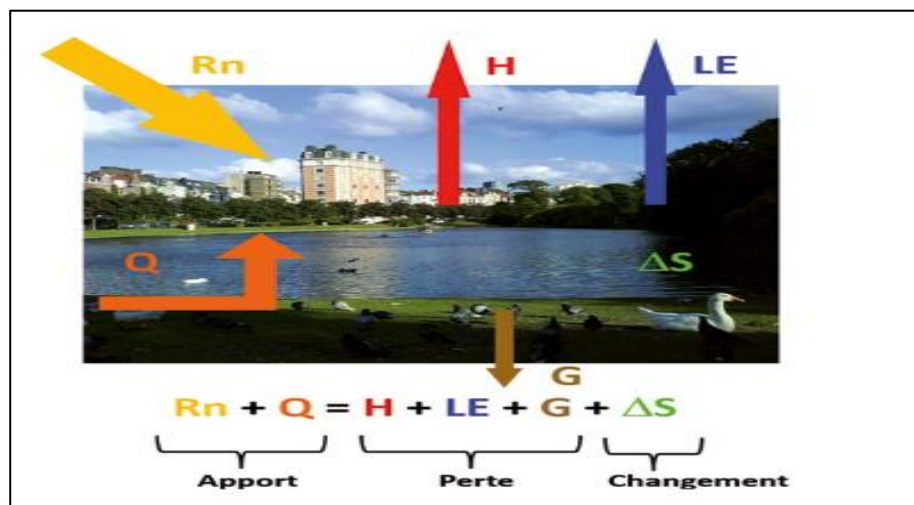


Figure 21 ; Bilan d'énergie appliqué à la surface urbain

R_n : rayonnement net ou énergie totale absorbée par la surface du couvert ;

R_g : rayonnement solaire global reçu ;

R_r : rayonnement réfléchi par la surface du couvert ;

R_a : rayonnement atmosphérique ;

R_t : rayonnement émis par le système sol-végétation.

Deux de ces termes, R_r et R_t , dépendent des caractéristiques de la couverture végétale et sont donc susceptibles de se modifier avec leur changement. Le tableau 1 donne un ordre de grandeur des variations mesurées au-dessus de divers types de végétation en zone équatoriale

Variations de certains termes du bilan radiatif selon la couverture végétale pour une même valeur du rayonnement global.

	Forêt	culture	jachère/sol nu.
R_g (Mm ⁻²)	600	600	600
R_r/R_g (%)	12 à 15	18 à 22	25 à 30
R_a-R_t (m ⁻²)	-30	-110	-150
R_n/R_g (%)	72 à 76	65 à 71	55 à 60

Tableau 11 : Variations de certains termes du bilan radiatif selon la couverture végétale pour une même valeur du rayonnement global

Ainsi les changements physiologiques du couvert forestier induisent :

- au niveau du bilan radiatif, des modifications de la réflexion de l'énergie solaire incidente, et de la fraction d'énergie rayonnante émise par la surface. Végétale ;
- au niveau des échanges turbulents, un rééquilibrage des processus de transfert convectif : la réduction des évapotranspirations est compensée par une augmentation des échanges de chaleur. En effet, la modification de la couverture végétale entraîne un changement de la quantité totale d'énergie absorbée

R_n : le rapport R_n/R_g diminue en passant d'une surface forestière à une culture ou une jachère. Ainsi davantage d'énergie rayonnante est rétrocedée à l'atmosphère dont une partie sera perdue par le système terrestre. Quant à la répartition de cette quantité d'énergie absorbée, elle se réalise selon les divers processus de transferts dont les plus importants concernent les échanges de chaleur latente et de chaleur sensible.

L'équation simplifiée du bilan d'énergie d'une surface végétale s'écrit :

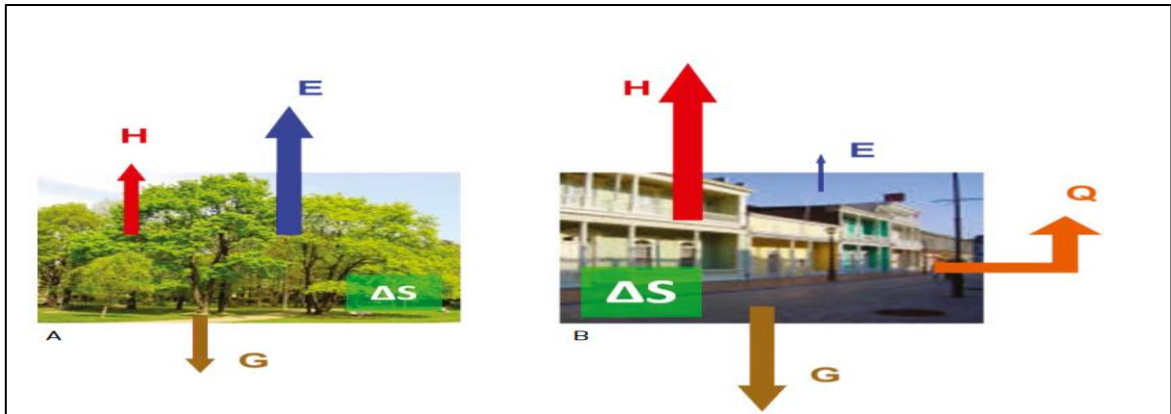


Figure 22: Bilan d'énergie sur une scène végétale (A) et une scène de bâti (B). En ville la faible évaporation (E), les sources internes (Q), le meilleur stockage (ΔS) et la plus faible vitesse des vents favorisent

$$R_n = L, R_{TR} + H + G$$

Avec ETR correspondant à la fraction d'eau transférée par le Système à l'atmosphère (évapotranspiration), et L : chaleur latente de vaporisation ; H : flux de chaleur sensible dissipée dans l'atmosphère et G : flux de chaleur conductator échangé avec le sol. A l'interface végétation-atmosphère, l'état d'équilibre s'établira principalement entre les deux types d'échange de vapeur d'eau et de chaleur sensible. Le tableau II donne quelques exemples de la répartition énergétique mesurée entre les différents échanges se produisant au niveau des couverts végétaux.

Les valeurs des flux de chaleur latente des couverts végétaux en région humide dépendent de la fraction d'énergie solaire absorbée, R_n , de la disponibilité en eau dans le sol et du degré d'activité du système végétal. Le rapport H/LR ou rapport de Rowen traduit l'importance des échanges de chaleur sensible par rapport à ceux de vapeur d'eau. Ce rapport

est relativement faible, compris entre 0 et 0,4 tant que l'eau dans l'intégration des mesures instantanées journalières

Système végétal	Rn	LE	LE/Rn	H	H/Rn	H/LE	G	G/Rn
	Wm-2	Wm-2		Wm-2			Wm-2	
forêt d'hévéa								
sans stress	625	487	.77	116	.18	.23	22	.03
stress hydrique	538	196	.36	322	.59	1.64	20	.03
culture de riz								
sans stress	548	431	.78	90	.16	.21	28	.05
stress hydrique	506	311	.61	170	.33	.55	25	.05
culture de manioc								
sans stress	352	292	.82	18	.05	.06	52	.15
stress hydrique	316	161	.57	70	.22	.39	65	.21
sol nu	430	52	.12	236	.55	4.50	142	.33

Figure 23: Répartition énergétique de Rn selon les divers processus en fonction des conditions hydriques du sol et du couvert végétal (MONTFSY et al. 1981, 1985)

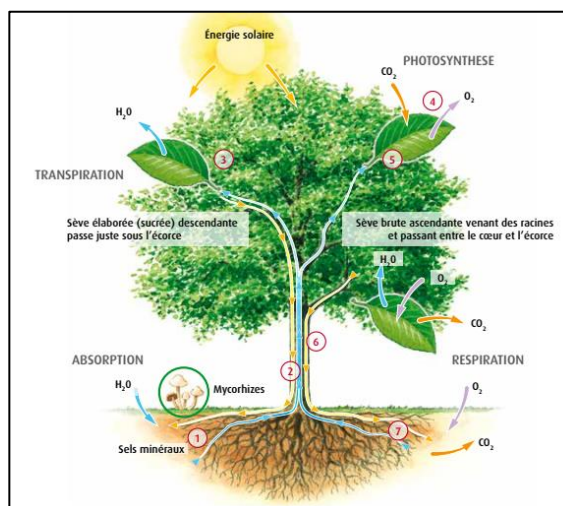


Figure 24 : La photosynthèse et la circulation de la sève élaborée.

les surfaces et, par voie de conséquence, l'atmosphère ;– une plus grande interception de l'énergie radiative en raison du faible albédo (faible pouvoir réfléchissant) de nombreux matériaux urbains et du rôle de « piège radiatif » joué par la présence des bâtiments, en particulier dans les rues étroites bordées de hauts immeubles (« canyons urbains ») ;– un bien meilleur stockage de chaleur (ΔS) par les matériaux urbains (bâtiments, vêtements...), du fait de leurs propriétés thermiques (les plantes ont une faible inertie thermique et n'emmagasinent que très peu de chaleur.

– l'existence de sources de chaleur interne à la ville (Q), qui n'ont pas d'équivalent dans une scène végétale (production de chaleur par les transports, le chauffage, la climatisation, l'industrie...); – enfin, des vents plus faibles en moyenne à l'échelle de la ville, modérant les échanges thermiques avec l'atmosphère (même si localement peuvent se produire des accélérations, en fonction de la configuration des bâtiments). Ces cinq grandes raisons permettent de comprendre l'origine de l'îlot de chaleur urbain. Un milieu urbain étant constitué d'un mélange, en proportions variables, d'espaces bâtis et d'espaces végétalisés, les deux premières de ces raisons laissent penser que la présence de végétation en ville est de nature à limiter l'échauffement de l'air (et favoriser son humidification par la transpiration végétale). Aussi des espaces végétalisés sont-ils aptes à constituer des îlots de fraîcheur au sein de l'îlot de chaleur urbain. C'est la question que nous allons maintenant aborder. L'évaporation de l'eau du sol (via la transpiration foliaire en particulier), phénomène consommateur en énergie qui tend à limiter l'échauffement des surfaces végétales. Bien sûr, l'ampleur de ces effets dépend considérablement du type de végétation urbaine concerné et de la quantité de biomasse végétale présente. (J 2009)

2.6. Température de surface des végétaux :

Les arbres à larges feuilles caduques qui interceptent l'énergie due au rayonnement de grande longueur d'onde ne dissipent pas immédiatement leur chaleur par refroidissement convectif.

L'énergie retenue par les feuilles résulte d'une combinaison entre une plus forte transpiration et une clôture partielle des stomates qui entraîne une augmentation de la température des feuilles, celles-ci ne pouvant plus évacuer ces apports. L'écart maximal, en condition extrême, entre les températures des feuilles et de l'air varient de 9°C pour un arbre au-dessus d'une surface en asphalte à 4°C lorsqu'il est au-dessus d'une pelouse. En effet, les espèces à stomates sensibles ou celles placées en zones arides avec une humidité faible, retiennent l'énergie, augmentent la température des feuilles et la valeur du déficit de pression de vapeur entre les feuilles et l'air ce qui peut accélérer le processus de fermeture et donc d'échauffement. Un regroupement des arbres ou une augmentation de la densité de la couronne peut permettre une dissipation du rayonnement intercepté sur plus de feuilles et ainsi réduire les gains d'énergie.

« Ainsi, les constantes de temps sont de l'ordre de quelques secondes pour les petites feuilles, de quelques minutes pour les feuilles larges et de quelques heures pour le tronc »

selon (al. s.d.)« *Enfin, nous ajoutons que la température des troncs suit la température de l'air avec une différence positive moyenne de 0.5 °C, l'écart maximal étant de 2°C en début d'après-midi* » d'après (Escourou 1981)

L'état hydrique des formations végétales qui constituent le couvert végétal, en relation avec le niveau des réserves en eau des sols, est évidemment le premier facteur de risque pour les incendies de forêts sous l'angle de l'influence des facteurs climatiques.

Son suivi par un modèle de bilan hydrique (tel que le modèle EARTH mis au point par (Choisnel s.d.) à la Météorologie nationale permet de caractériser globalement la situation, au niveau d'une région, et par comparaison aux séries historiques. Il ne peut cependant pas traduire les importantes variations spatiales résultant des situations locales, en relation avec la répartition des épisodes pluvieux, et les particularités liées au sol, à la topographie, au type de couvert, etc. Le développement récent des techniques de télédétection, en particulier satellitaires, permet de disposer de moyens d'observation réguliers, bien adaptés à la surveillance du couvert végétal, et utilisables en particulier pour traduire les variations spatiales à l'échelle régionale considérée. Aussi l'idée d'une surveillance des massifs forestiers, dans l'optique de la mise en évidence de situations à risque pour les incendies, a-t-elle fait son chemin ces dernières années.

Encore faut-il établir, à partir des méthodes d'observation existantes et des particularités des capteurs satellitaires disponibles, les modalités éventuelles d'utilisation d'un tel dispositif. (E, Impact des microclimats urbains sur la demande énergétique des bâtiments, cas de la rue canyon, Thèse de doctorat université de 2005)

2.7. Impact de la végétation sur les températures d'air et de surface :

2.7.1. Impacte d'un arbre seul :

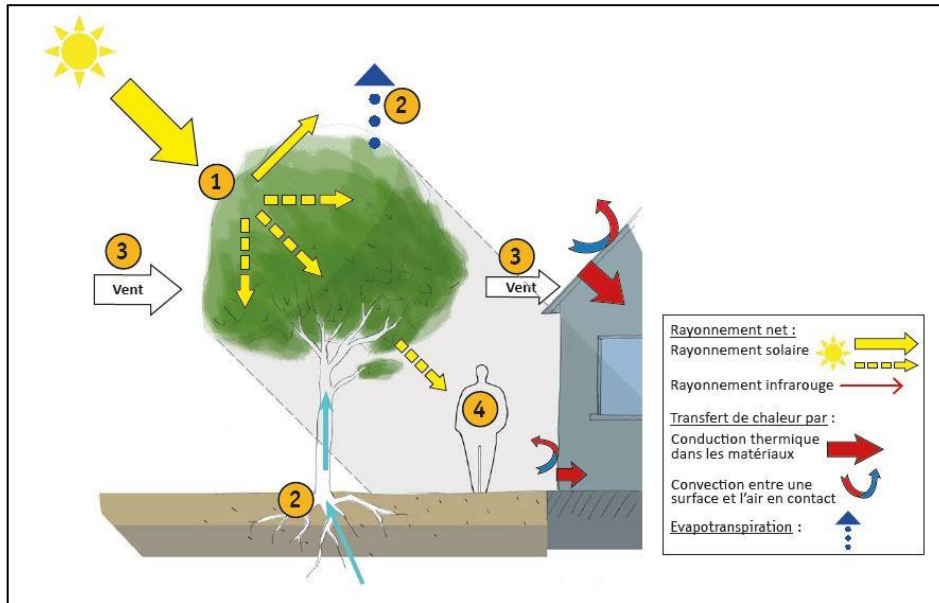


Figure 25 : Influence d'un arbre seul sur son environnement Source : Livre impact du végétale en ville

Le rayonnement solaire qui atteint la canopée va subir plusieurs processus : la partie interceptée par le feuillage est soit absorbée soit réfléchi (environ 30%). En fonction de la densité du feuillage, une partie sera également transmise. À l'ombre, les surfaces se réchauffent moins : l'arbre apporte une protection contre le rayonnement solaire direct.

La transpiration de l'arbre consomme une grande partie de l'énergie reçue par rayonnement solaire et évite la surchauffe du feuillage.

Les racines des arbres adultes vont plus en profondeur que celles de la végétation de surface et accèdent ainsi à des ressources en eau plus importantes. Dans ces conditions, les arbres adultes sont moins sensibles au stress hydrique (phénomène de cavitation qui touche les arbres adultes).

Les arbres offrent une protection contre le vent, ce qui réduit le renouvellement de l'air à proximité des surfaces et donc les échanges de chaleur et d'humidité entre celles-ci et l'air.

Pour les arbres à feuilles caduques, en hiver il ne reste que les branches : les effets d'ombrage et de réduction du vent seront donc beaucoup moins importants. En contrepartie, le rayonnement solaire qui passe à travers les branches peut réchauffer les bâtiments.

2.7.2. Impacte des arbres d'alignement dans une rue canyon:

La géométrie urbaine représente un piège radiatif. Les scientifiques ont démontré que les arbres d'alignement diminuent les effets du piégeage radiatif dans le cas le plus représentatif d'une rue canyon symétrique :

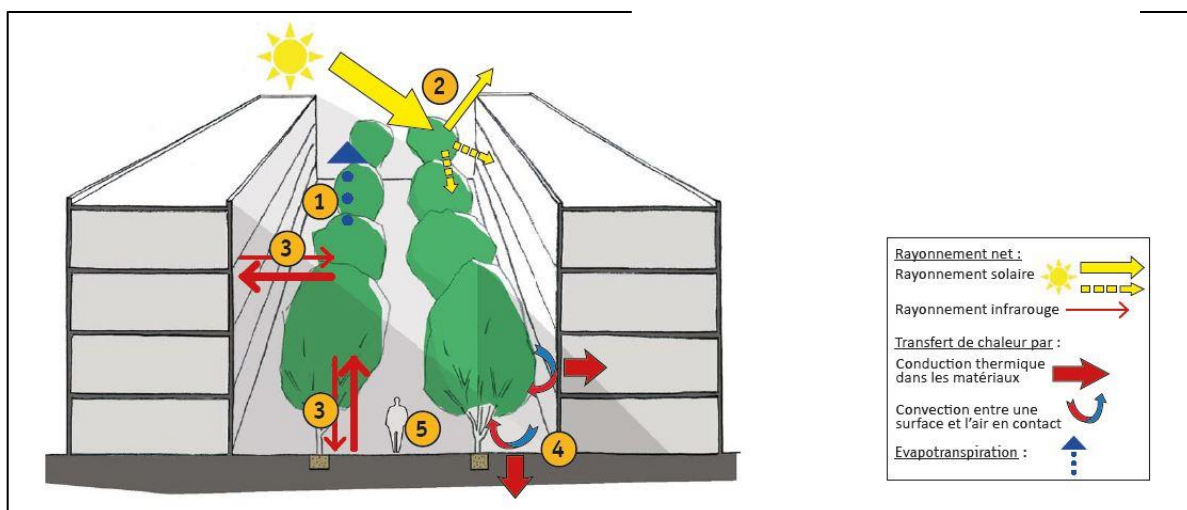


Figure 26 : Influence des arbres d'alignement dans une rue canyon

L'énergie correspondant au rayonnement intercepté par le feuillage est en partie utilisée pour l'évaporation. Celle-ci rafraîchit l'air ambiant et augmente son humidité. Elle permet également au feuillage de rester à une température proche de celle de l'air.

Le rayonnement solaire intercepté et réfléchi par les arbres en direction du ciel ne participe pas au réchauffement de la rue. Ils ombrent également des surfaces qui si elles étaient exposées atteindraient des températures élevées et émettraient un rayonnement infrarouge plus énergétique.

Le feuillage intercepte également le rayonnement infrarouge limitant ainsi les échanges de chaleur entre les différentes surfaces (façades et rue), et les pertes de chaleur de la rue (rayonnement émis en direction du ciel).

En période estivale, les arbres et en particulier leurs houppiers sont des surfaces radiatives « fraîches » par rapport aux surfaces urbaines minérales. Ainsi, les échanges entre la canopée et les éléments de la rue (façades et sol) contribuent à diminuer les températures des surfaces.

Par rapport à une rue sans végétation, les surfaces se réchauffent moins et donc : réchauffent moins l'air de la rue par convection thermique, limitent le stockage de chaleur dans les matériaux pendant la journée.

La vitesse du vent dans la rue est limitée par sa configuration et les arbres limitent encore plus cette vitesse. L'air se renouvelle difficilement. Cette diminution du piégeage radiatif a un impact sur le confort thermique et sur les consommations d'énergie.

En période estivale, la participation des arbres au confort thermique des citoyens est importante :

- Dans la rue, l'ombrage des arbres évite aux passants d'être directement exposés au rayonnement solaire.
- La diminution des températures de surface, l'augmentation de l'humidité liée à l'évapotranspiration et la diminution du vent jouent sur le confort thermique.

2.7.3. Influence des arbres d'alignement sur le confort dans la rue :

Résultats produits par le CERMA (Szucs A., Musy M.) avec le modèle : Solene-microclimat.

Scénario: Le confort thermique est évalué dans la rue, à 16h et pour les conditions météorologiques du 8 juillet 2010 sur Nantes. De nombreuses configurations ont été évaluées : différentes orientations de la rue (Nord Sud, Est Ouest, et Nord-est Sud-ouest) et hauteurs (H) et largeur (L) de rue : H et L = 14 m, H = 21 m et L = 14 m, H et L = 21 m). La configuration de référence est une rue complètement minérale et le scénario végétalisé représente une rue avec deux alignements d'arbres de 9m de haut. Les arbres ne manquent pas d'eau : l'évapotranspiration est donc maximale.

Résultats: Pour l'ensemble des scénarios, les arbres d'alignement permettent de diminuer la température de l'air de quelques degrés. Par contre pour les surfaces, la diminution des températures à l'ombre peut dépasser les 10 C° et ainsi améliorer significativement le confort dans la rue.

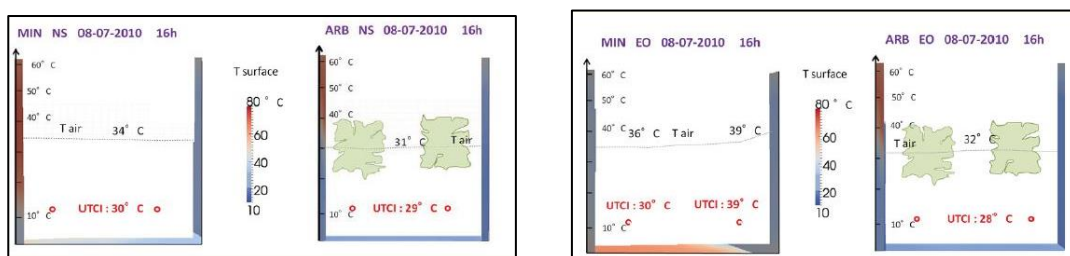


Figure 27 ; Influence des arbres d'alignement sur le confort dans la rue

Figure 01: Évolution des conditions dans une rue entre le cas sans végétation (à gauche) et le cas avec des arbres d'alignement (à droite). La rue est large de 14m et haute de 21m, elle est orientée Est Ouest. L'UTCI* représente la température ressentie pour un passant (calculé pour

une humidité de 50% et un vent de 0.9m/s), T_{air} est la température de l'air à 2m au-dessus du sol, MRT est la température radiante moyenne au niveau du sol.

Figure 02 : Évolution des conditions dans une rue entre le cas sans végétation (à gauche) et le cas avec des arbres d'alignement (à droite). La rue est large de 21m et haute de 21m, elle est orientée Nord Sud. L'UTCI* représente la température ressentie pour un passant (calculé pour une humidité de 50% et un vent de 0.9m/s), T_{air} est la température de l'air à 2m au-dessus du sol, MRT est la température radiante moyenne au niveau du sol.

Pour la rue orientée Est Ouest (Figure 23), les arbres d'alignement permettent de diminuer l'UTCI* et d'obtenir des conditions correspondantes à un stress thermique modéré (à droite). La partie supérieure du bâtiment de droite n'est pas protégée par les arbres, elle se réchauffe plus que la partie inférieure : ces besoins énergétiques pour la climatisation sont plus importants.

3. La végétation au niveau des espaces extérieurs

La (figure 1A) présentent une thermographie infrarouge à fine échelle réalisée sur la ville de Rotterdam. Cette thermographie a été comparée avec une carte d'occupation du sol donnant le pourcentage de surface végétale calculé quartier par quartier. Le résultat de la comparaison est frappant, car la température décroît pratiquement linéairement avec le pourcentage d'espace vert (Figure 1 B) : avec 60 % de surface végétale, la température n'est que de 22-23 C°, alors qu'au cœur de la ville où tout est minéral, elle est 6 ou 7 C° plus élevée. La présence de végétation s'accompagne donc d'une baisse significative de la température de surface ; il faut toutefois noter que sur une telle scène urbaine, les quartiers les plus végétalisés peuvent être aussi ceux où la production d'énergie anthropique (chauffage, industrie, circulation automobile...) est la plus faible. Si nous reprenons maintenant l'exemple de la thermographie de Paris pendant la canicule, on observe une relation équivalente à celle vue pour la Figure 1 à Rotterdam (Figure 2). Les parties les plus végétales de l'agglomération parisienne, notamment les bois de Boulogne et de Vincennes évoqués plus haut, ont les températures les plus faibles. Les parties très minérales, au cœur du nuage rouge, ont les températures les plus élevées. (Dousset et coll. août 2003)

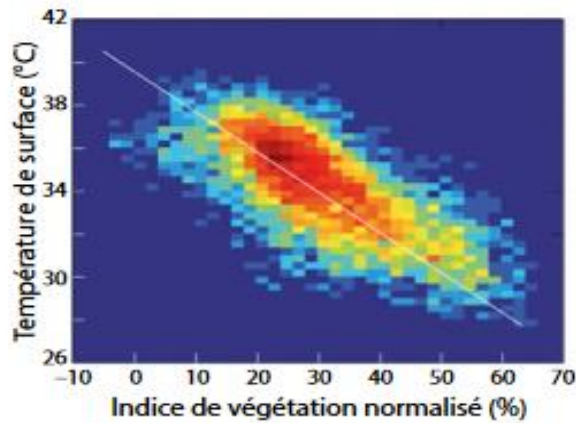


Figure 28 Les parties végétalisées de Paris ont une température plus faible que les parties minérales (l'indice en abscisses est une évaluation de la quantité de surface végétale présente sur une zone donnée ; la température est en ordonnées). Source : (Dousset et coll. août 2003)

3.1. Les parcs urbains :

Pour examiner l'influence de la végétation urbaine sous ses différentes formes, commençons par les parcs urbains. Une étude a comparé un parc dans la ville de Mexico, d'une taille d'environ 2-3 km de large, à un autre beaucoup plus petit à Kumamoto (Japon), de 200 m de diamètre. Au cœur du parc mexicain, la température au petit matin était de 5 °C inférieure à celle mesurée à quelque distance de là ; pour le parc japonais, la différence était deux fois plus faible. Même si ces exemples sont pris dans des contextes très différents (tissu urbain, saison, espèces présentes...), ils révèlent néanmoins une observation plus générale : la température de l'air est plus faible au cœur du parc qu'à l'extérieur (de quelques degrés au maximum, à un moment donné), et l'intensité de l'îlot de fraîcheur généré dépend de la taille du parc, un petit parc n'affectant que localement la température de l'air alors qu'un grand parc conduit à une baisse plus forte, qui s'étend sur une zone plus étendue. La zone d'influence s'avère être de l'ordre de la taille du parc : un parc de 500 mètres de diamètre diminue la température de manière notable sur environ 500 mètres autour. Ainsi, quelques grands parcs arborés provoqueraient un plus grand refroidissement que de nombreux petits parcs de même surface totale : la surface affectée est la même, mais les températures sont plus basses dans le premier cas. Une synthèse bibliographique a récemment été conduite sur environ vingt-cinq parcs urbains, en vue d'étudier leur influence sur la réduction moyenne de la température de l'air. Sur la période diurne (6h-20h) comme pendant la nuit (22h-6h), cette réduction moyenne est de l'ordre de 1 °C (les cas extrêmes étant d'environ 2 °C). Les parcs tendent également à humidifier l'air, par transpiration de la végétation et évaporation de l'eau contenue dans les sols ; peu de données sont disponibles sur ce point. (E, impact

des microclimats urbains sur la demande énergétique des bâtiments, cas de la rue canyon, Thèse de doctorat université de 2005)

3.2. Les arbres de rue :

L'arbre en ville a d'abord un effet d'ombrage local, limitant l'apport d'énergie radiative sur le piéton, mais aussi sur les surfaces de sol et de bâtiments affectés par l'ombre. Cette baisse de rayonnement incident dépend notamment de la densité de feuillage, de la taille des feuilles et de la géométrie de la couronne ; elle peut entraîner une baisse significative de la température de surface des bâtiments, et donc des dépenses de climatisation et du transfert de chaleur à l'atmosphère, ce qui tend à diminuer le phénomène d'îlot de chaleur urbain. Les arbres à feuilles caduques ont l'avantage de laisser passer le rayonnement en hiver tout en offrant de l'ombrage en été. Cet effet d'ombrage, qui a fait l'objet de nombreuses études, reste très limité spatialement à l'échelle d'un arbre. En revanche, un ensemble d'arbres d'alignement, comme il en existe sur de nombreuses avenues (Figure 3), peut avoir un effet significatif sur le microclimat à une échelle plus grande. On a pu mettre en évidence des refroidissements de l'air de l'ordre de 2 à 3 °C par une belle journée d'été, ainsi qu'une humidification de l'air. Cet effet est d'autant plus important que la température de l'air est plus élevée. S'il peut être ressenti en dehors de la zone arborée (rues adjacentes), il décroît néanmoins rapidement avec la distance, prise perpendiculairement à l'avenue, et disparaît au bout de quelques dizaines de mètres au maximum. (Zölch, Maderspacher et Wamsler s.d.)



Figure 29 Arbres d'alignement à Paris (boulevard de Rochechouart et boulevard de Clichy)

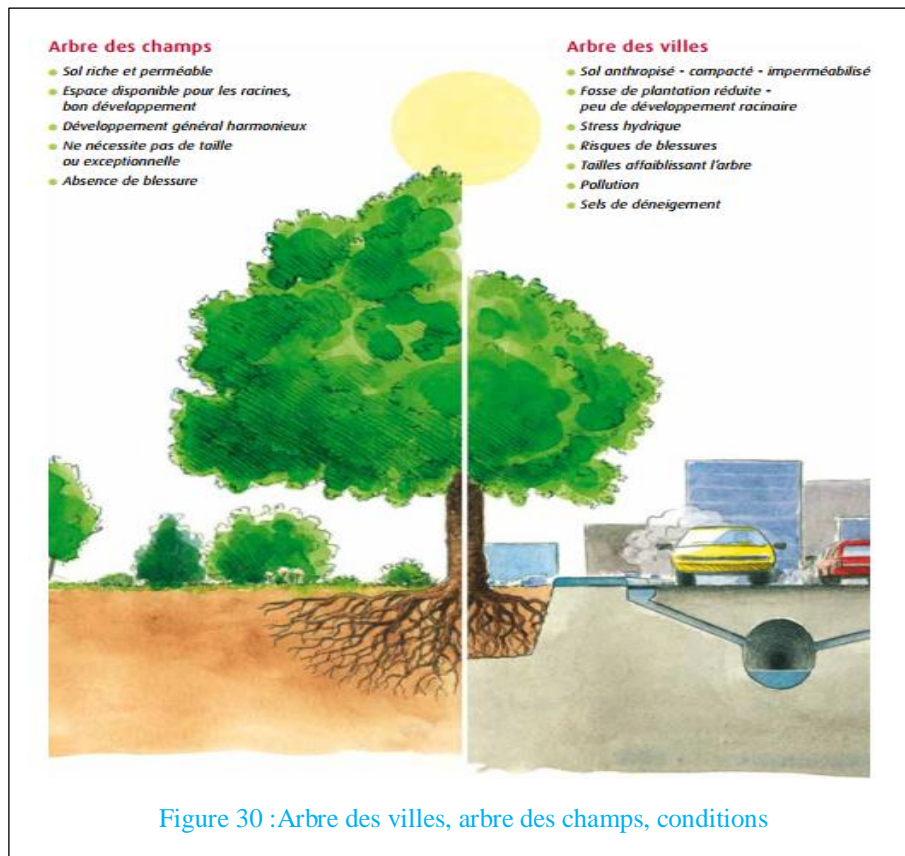
L'effet d'ombrage peut avoir d'autres conséquences indirectes : on a par exemple montré que la présence d'arbres sur les parkings permettait de limiter l'émission de COV (composés organiques volatils, voir plus loin), occasionnée par l'évaporation du carburant

des véhicules. De manière générale, la baisse de température occasionnée par la végétation est de nature à diminuer les émissions de polluants et ralentir la chimie dans lesquels ils sont impliqués. (Zölch, Maderspacher et Wamsler s.d.)

3.3. La végétalisation des sols urbains :

Quatre points sont à retenir :

- si la végétation y est suffisamment dense, ces façades et toitures végétales sont de bons isolants qui améliorent de façon significative la consommation énergétique, aussi bien en hiver pour le chauffage qu'en été pour la climatisation ;
- l'impact de ces façades végétales sur la température de l'air est faible, à moins que tous les murs soient couverts de végétation. Compte tenu de leur taille limitée, et même si leur température de surface est plus faible que sur des toitures non végétales, les toitures végétales ont également un impact limité sur la température de l'air ; comme elles concernent des couches d'atmosphère plus élevées, elles n'ont en outre pas beaucoup de conséquences sur le confort du piéton ;
- au-delà du bénéfice visuel qu'elles peuvent apporter, les façades vertes peuvent néanmoins améliorer le confort thermique du piéton, non par un effet sur la température de l'air mais plutôt par un effet radiatif : la végétation s'échauffant beaucoup moins qu'un mur au soleil, elle reste pratiquement à la température de l'air et induit donc une charge radiative plus faible sur le piéton ;
- il faut savoir que l'irrigation de ces façades et toitures végétales consomme beaucoup d'eau, ce qui, en plus de lourdes contraintes techniques liées à l'étanchéité, peut poser des problèmes dans les régions où la ressource en eau n'est pas abondante. (An evaluation of heat mitigation measures at the micro-scale. Urban For. Urban Green. , 20, 305–316. 2016)



3.4 Critères de choix des végétaux :

D'après (Gelgon s.d.) considèrent que la sélection des végétaux pour un aménagement doit prendre en considération l'analyse de certains paramètres, on retrouve les paramètres édaphiques (structure, texture, PH, profondeur du sol...), les paramètres climatiques (températures, pluviométrie, ensoleillement, luminosité...), la disponibilité spatiale (pour le développement optimal du végétal), et aussi les caractéristiques botaniques à savoir : les critères propres à la végétation (dimensions, époque de floraison, feuillage, adaptations ...) et le facteur psychosociologique (association des végétaux, et leur comportement en groupe, ainsi que les ambiances qu'ils génèrent).

Aux paramètres précédents, la végétation accompagnant un bâtiment doit entrer autres s'accorder avec le style architectural. Par ailleurs, certaines espèces sont recommandées sur les terrasses ou balcons, plantés dans des pots ou directement sur dalle pour la création d'ambiances et de microclimats, d'autres espèces sont plantées pour leurs effets aromatiques, médicinales ou condimentaires. (Zölch, Maderspacher et Wamsler s.d.)

3.5 Les arbres d'alignement (cas d'étude) :



Figure 31 : Les arbres d'alignement ; L'Hôtel Villa Alessandra est idéalement situé en plein cœur du 17^{ème} arrondissement de Paris

Depuis le XVIII^{ème} siècle, les plantations d'alignement font partie des paysages de nos villes. Conçues à l'origine dans un but économique, elles sont devenues des composantes esthétiques indissociables de la qualité urbaine.

Les arbres d'alignement, ces plantations « faites dans les villes et en bordure des principales voies de communication, rues, avenues, boulevards, quais, sur les places, promenades et mails »,

L'alignement d'arbres est défini comme un ensemble de sujets arborés, la plupart du temps d'une même essence et organisé selon un schéma simple et volontaire, la ligne. Il peut être multiplié pour varier l'effet ou créer un espace particulier. C'est ainsi que si les alignements routiers sont la plupart du temps par deux, sur les cours ou les allées il peut en exister des séries parfois importantes. L'objet de la présente fiche concerne donc l'alignement en tant que structure spatiale et élément du vocabulaire du projet d'aménagement de l'espace.

(Zölch, Maderspacher et Wamsler s.d.)

3.5.1 Les règles routières :

Les règles routières L'Etat édicte des règles qui sont souvent reprises par les autres propriétaires et gestionnaires que sont les départements ou les villes. Les arbres sont considérés comme des obstacles et à ce titre doivent disparaître. Hors agglomération, les règles actuellement en vigueur prévoient leur disparition quand ils sont à moins de sept mètres du bord des chaussées. Lorsqu'il est indispensable de conserver des sujets existants, arbres protégés ou de grande valeur patrimoniale, des glissières sont mises en place.

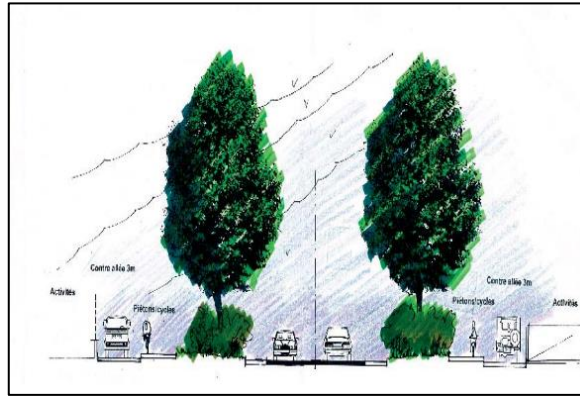


Figure 32 : Un projet de ville

3.5.2 La hauteur des arbres d'alignement

Les hauteurs d'arbres d'alignements varient selon l'âge et l'essence des spécimens. Elles sont très difficiles à déterminer puisque leurs valeurs changent régulièrement. Afin donc de cartographier les arbres d'alignement du boulevard Larbi Ben M'hidi (Alger) par taille, Elle comportait 3 classes des hauteurs de végétation (de 1 à 5 mètres, de 5 à 10 mètres et plus de 10 mètres).

3.5.3 La surface ombragée d'alignement d'arbre

Les alignements d'arbres Le droit réglant le voisinage Les règles du droit privé réglementent le voisinage des arbres. C'est ainsi qu'un végétal de plus de deux mètres de haut ne peut être implanté à moins de deux mètres de la limite de voisinage. Mais cette règle ne s'applique pas en droit public. C'est ainsi qu'il n'est pas fixé de distance de voisinage pour les végétaux sis dans le domaine public, quelle que soit leur taille.

Une fois tracés ces linéaires d'arbres, on a établi des « buffers » ou (zones) de 2 mètres de part et d'autre de chaque segment du linéaire d'arbres, qui correspondent aux surfaces « ombragées », c'est-à-dire situées à l'ombre de la végétation des arbres d'alignement.

Les outils informatiques permettent alors des tris, la programmation des travaux de gestion, des remplacements...C'est le début de la réalisation indispensable d'un programme cohérent de remplacement des sujets à supprimer et des travaux d'entretien et de gestion. Ce schéma s'applique aussi, bien sûr, aux alignements nouveaux. Dès la plantation, on s'attachera prévoir sur des périodes assez longues la gestion nécessaire au bon développement. (caue60 s.d.)

Conclusion :

Pour conclure cette étude exploratoire, il apparaît que c'est la diversité de la végétation présente en ville, tout comme celle de ses formes qui offre le plus de bénéfices environnementaux et sanitaires. Si la végétation peut avoir de nombreux impacts positifs, quelques aspects dans le choix des espèces implantées nécessitent toutefois une certaine vigilance. On pense notamment à la gestion des espèces envahissantes ou émettrices de terpènes (qui sont des composés organiques volatils précurseurs d'ozone), à l'impact carbone et au coût d'entretien d'espèces non locales, ou encore à l'aménagement et la morphologie des arbres, qui peuvent freiner la dispersion des polluants dans les rues encaissées. D'un point de vue sanitaire, l'attention sera notamment à porter sur les espèces allergisantes (par exemple le bouleau, le noisetier, certaines espèces de cyprès...) et la gestion de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques pour l'entretien des espaces verts. Afin de garantir le meilleur bénéfice de la végétation sur la qualité de vie des citoyens, les retombées environnementales, paysagères mais aussi sanitaires sont donc à prendre en compte de façon concertée dans les projets d'implantation de végétation en ville.

Chapitre III :

Présentation et analyse du
cas d'étude (Boulevard
Larbi Ben M'hidi - Alger).

III. Chapitre 03 : Présentation et analyse du cas d'étude

1. Présentation de la ville :

Alger Centre est une commune de la capitale et le chef-lieu de la wilaya. Elle compte sur son territoire les principales rues commerçantes et administratives, des directions de grandes entreprises et des banques, le palais du gouvernement et plusieurs ministères, ainsi que le port d'Alger La commune d'Alger Centre est l'image de la capitale, elle génère des mouvements et des dynamiques qui font d'elle un lieu de choix et une image de prestige. (BEN-HAMOUCHE 2018)

Alger-Centre est une commune de la wilaya d'Alger en Algérie. Elle constitue le cœur de la ville d'Alger, même si le cœur historique est constitué par la Casbah.

Alger-Centre est la commune centrale de l'Alger moderne. Elle compte les principales rues commerçantes et administratives avec le siège du gouvernement, l'Assemblée nationale, le Conseil de la Nation, plusieurs ministères ainsi que le siège de la wilaya d'Alger.

Sa façade maritime est entièrement occupée par le siège des forces navales, la pêche et le port. (BEN-HAMOUCHE 2018)



Figure 33: Alger et ses communes, source ; Google image

La ville d'Alger est parmi les villes de grande importance vue sa situation stratégique dans le bassin méditerranéen ; elle est la porte de l'Afrique vers l'Europe.

Et pour l'accéder on va présenter dans ce rapport les voies principales dans la ville d'Alger ainsi que notre terrain d'intervention. (DELUZ 1988)

1.1. Relief :

L'étude géologique de la région algéroise, peu étendue en surface et formant un rocher qui s'avance dans la mer, révèle qu'en arrière il est recouvert par un cordon de dunes au-delà duquel on retrouve les terrains sédimentaires de la série tertiaire.

Dans une esquisse géologique et topographique du littoral d'Alger datant de 1911, il apparaît que ce littoral comprend essentiellement toute la région basse qui borde sur plus de 100 kilomètres le pied de l'Atlas, depuis le massif de Sidi-Fredj au nord de Thénia des Beni Aïcha, jusqu'au mont Chenoua à l'ouest de Tipaza. (DELUZ 1988)

Le relief se caractérise par trois zones longitudinales : le Sahel, le littoral et la Mitidja.

1.2. Climat :

La ville d'Alger en général est une ville littorale de la mer de méditerranée caractérisé par un climat méditerranéen qui est caractérisé par :

1.2.1. Températures et humidité :

Caractérisé par une température généralement modérée de moyenne annuelle de 19.2°C, froide de moyenne de 6-19°C en hiver et chaude en été de moyenne 20-35°C avec la présence d'une degré d'humidité élevée de toute l'année tant qu'une ville littorale est de moyenne de 60-80 %.

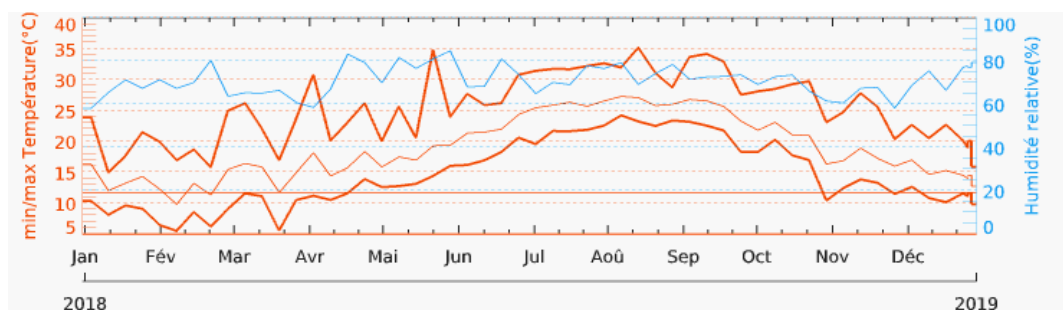


Figure 34: Diagramme de températures et humidité d'Alger centre de 20187

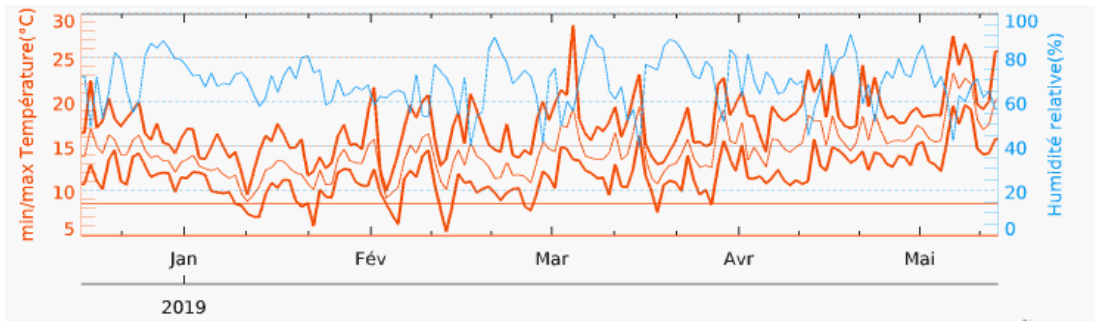


Figure 35: Diagramme de températures et humidité d'Alger centre de 2019

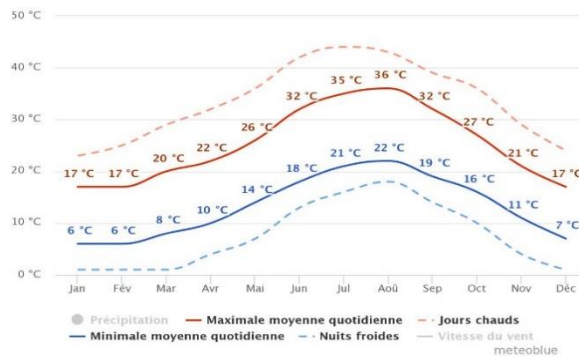


Figure 36: Diagramme de températures moyenne d'Alger centre de 30 dernières années

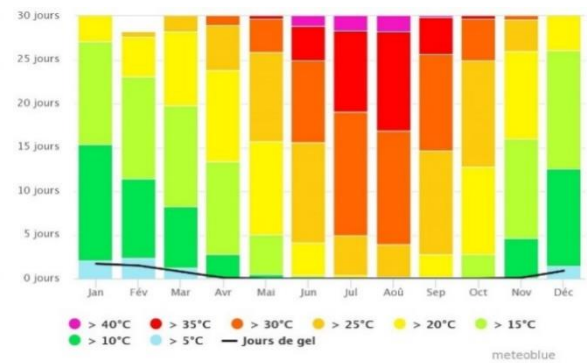


Figure 37: Diagramme de températures maximale d'Alger centre de 30 dernières années

1.2.2. L'ensoleillement

La ville est généralement ensoleillée de moyenne de 135 jours de l'année surtout en été de moyenne 15 jours/mois, ou partiellement nuageux de moyenne de 140 jours. La moyenne de l'ensoleillement par jours et généralement 11-15 h/jr en été et 8-11 h/jr en hiver dans les jours ensoleillés.

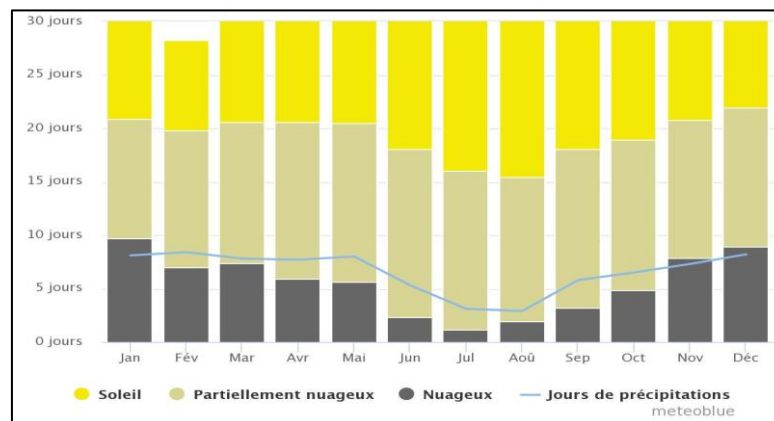


Figure 38: Diagramme de moyenne d'ensoleillement d'Alger centre de 30 dernières années

1.2.3. Pluviométrie :

Alger centre est caractérisée par une précipitation profuse moyenne annuelle entre 700 et 737 mm durant la saison froide de Novembre à Mars ; et un été sec appart de quelques orages de mois d'aout.

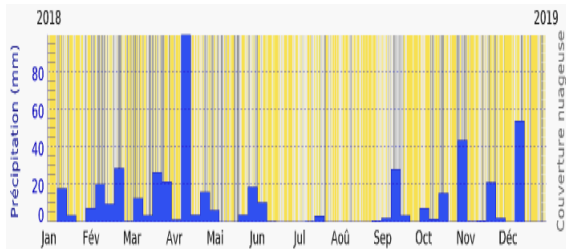


Figure 39: Diagramme de précipitations d'Alger centre de 2018

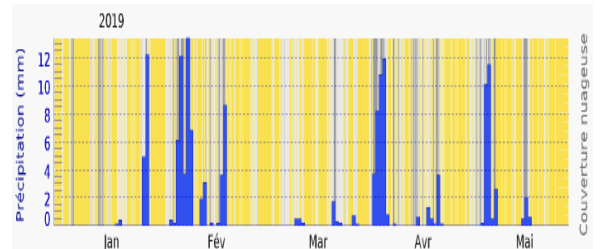


Figure 40: Diagramme de précipitations d'Alger centre de 2019

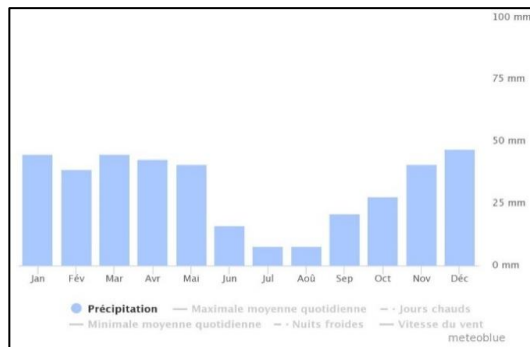


Figure 41 : Diagramme de précipitations moyenne d'Alger centre de 30 dernières années

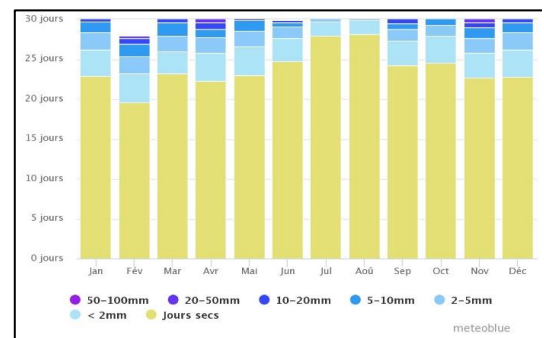


Figure 42: Diagramme de quantité de précipitations d'Alger centre de 30 dernières années

1.2.4. Les vents :

Les vents dominants d'Alger centre sont les vents d'est-nord-est et nord-est dans la saison froide depuis novembre vers avril avec une vitesse moyenne de 5 à 38 Km/h et parfois plus que 50 km/h, et les vents de l'ouest et ouest-sud-ouest depuis mai vers octobre d'une vitesse légère de moyenne de 5 à 28.

(www.meteoblue.com/fr/meteo/semaine/alger_alg s.d.)

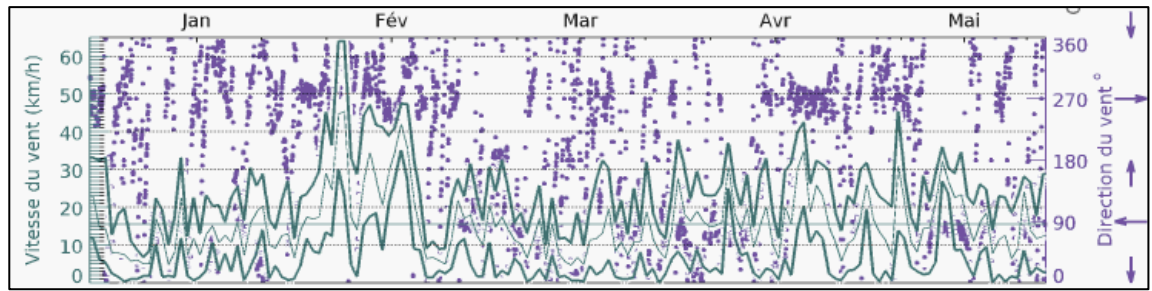


Figure 43: Diagramme des vents d'Alger centre de 2019

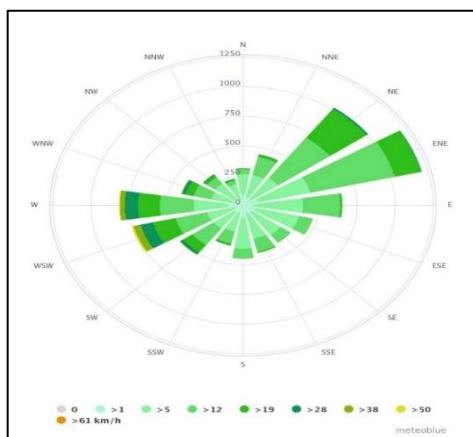


Figure 44: Rose des vents

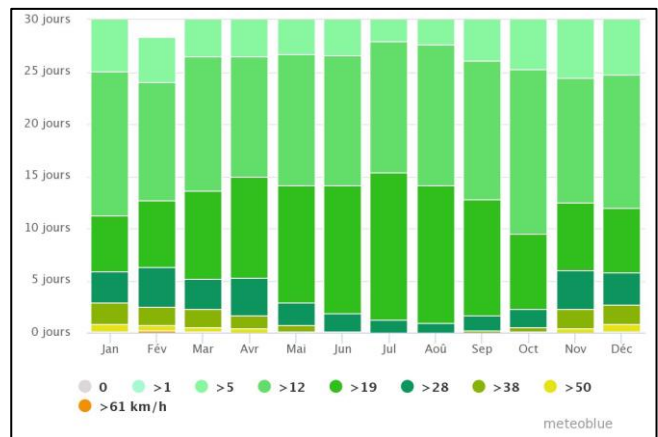


Figure 45: Diagramme de vitesse des vents

2. Critère de choix de cas d'étude :

Les principaux sites d'investigation sont localisés dans la ville d'Alger, on cite les principales raisons du choix qui sont :

Alger étant la première métropole algérienne, résumant les facteurs aggravants de l'îlot de chaleur urbain.

Présence d'importantes surfaces végétalisées datant de la période coloniale.

Accessibilité aux plans cartographiques, morphologique et monographique

Et enfin la mise à disposition de statistiques par les services concernés.

Le tout avec l'objectif de démontrer les dispositions des arbres d'alignement dans le milieu urbain et leur rôle et impact sur le microclimat.

Le choix s'est porté sur le site distinct, c'est un boulevard qui se situe au milieu d'Alger centre qui s'appelle Larbi Ben M'hidi

2.1. Présentation de la zone d'étude :

Le boulevard Larbi Ben M'Hidi est une des principales artères commerciales du centre-ville d'Alger. Elle est coupée au milieu par la place de l'Emir Abdelkader, la longueur de Boulevard est 380 m et la largeur 18 m.



Figure 46 ; boulevard larbi ben mhidi ;
Source photo prise par l'auteur

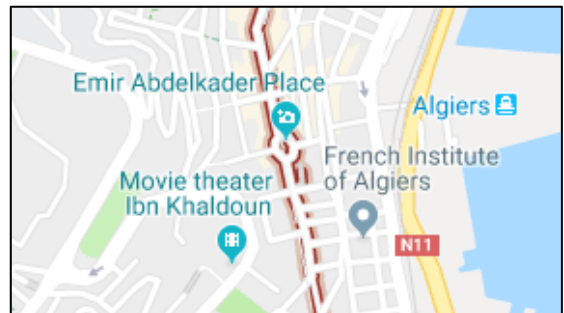


Figure 47 : Situation du boulevard ; google maps

2.2. Situation géographique :

Notre zone d'étude se situe au Nord de la wilaya d'Alger. Elle est délimitée : Au Nord par le Port d'Alger Au Nord-Est par le square Sofia et au Sud-Est par la place de la Grande Poste Au Sud le côté sud du boulevard Larbi Ben M'Ilidi et le côté Sud-Ouest de la rue Bab Azzoun AL'Ouest par la Place des Martyrs (BEN-HAMOUCHE 2018)

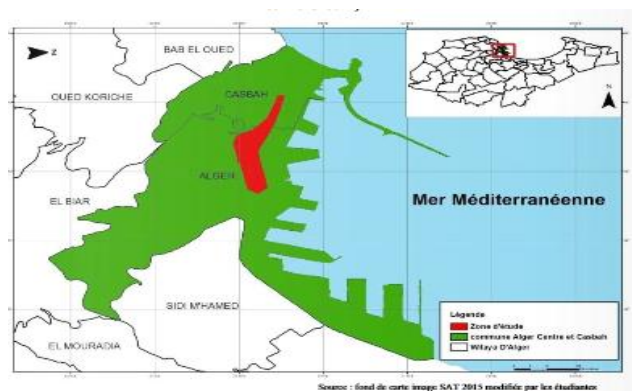


Figure 48 : Carte d'Alger SAT 2015 Modifier par Auteur

2.3. Historique de l'urbanisation de la zone d'étude :

La rue Larbi Ben M'hidi constitue l'axe majeur de la première implantation française à Alger hors de l'enceinte de la ville précoloniale (Casbah). Elle fut conçue par Pierre Auguste Guiauchain dès 1846 et constitua l'axe de centralité le plus ancien du tissu colonial. Le

boulevard Zirout Youcef (ex-Carnot) construit en 1913 du square Sofia au square Port Said, est caractérisé par son allée d'immeubles à arcades. (BEN-HAMOUCHE 2018)

2.4. Accessibilité :

Rue Larbi Ben M'hidi est accessible : Au Nord par la rue Bab El Oued, au sud par la route nationale N°8, au Sud- Est par la rue frère Kheladi, rue mohamed Boumandjel et au sud-ouest par la route Mohamed Bouzbari, la place E.Abdelkader est une maille orthogonale, statue et escaliers , qui joue aussi le rôle de carrefour et donne un effet de visé



Figure 59 : Situation du boulevard ; google maps

2.5. Cadre bâti :

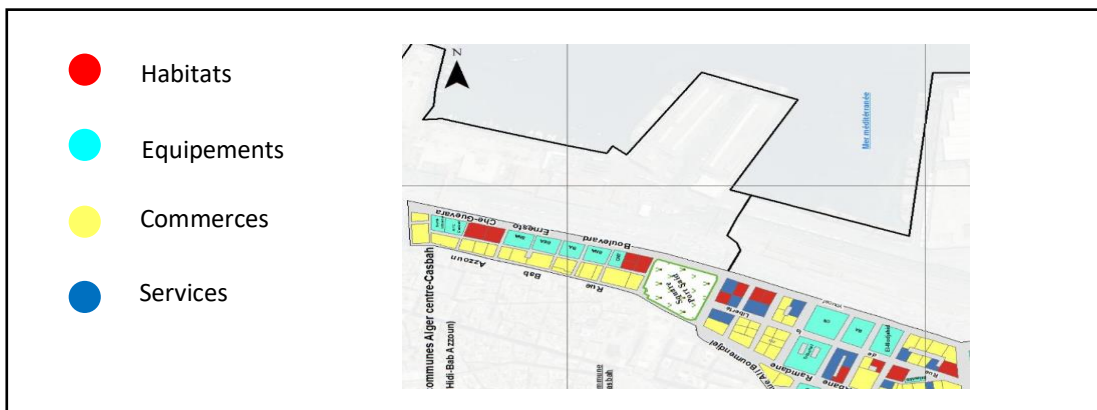


Figure 50 ; cadre bâti du boulevard ; source : Carte d'Alger Traiter par auteur

2.5.1. Typologie d 'habitat :

Notre zone d'étude est caractérisée par un habitat colonial collectif et un tissu mixte où les îlots sont organisés en groupement d'habitation, activités commerciales, des services et d'équipements, à l'exception d'un seul immeuble qui représente un Centre Culturel où on trouve une architecture récente, causant une rupture dans le tissu urbain.

2.5.2. Hauteurs des constructions :

Niveau	Hauteur m
R+1	07
R+2	10
R+3	13
R+4	16
R+5	19
R+6	22
R+7	25

Tableau 12 donnés du relevé urbain et l'enquête sur terrain, réalisé par l'auteur

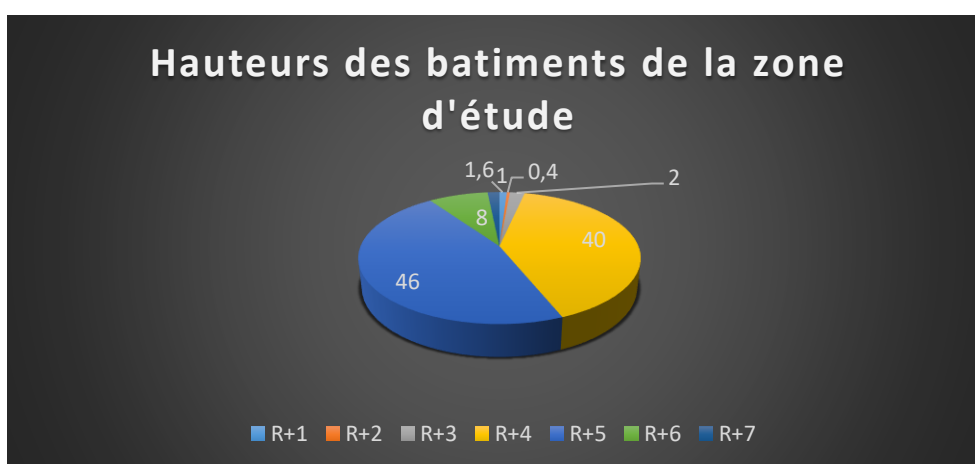


Figure 51 : Graphe, réalisé par l'auteur

2.5.3. Commerce et service :

Activité	Nombre	(%)
Commerce	37	80
Service	09	20
Total	46	100

Tableau 13 : analyse du Commerce et service du boulevard larbi ben mhidi

D'après le tableau et le spectre qui représentent les commerces et les services de Boulevards, nous distinguons une prédominance des commerces avec un taux de 80% équivalant à 37 locaux. Les 20 % restants représentent les services divers. Cette activité commerciale et services représentent une forte concentration au niveau des rez-de-chaussée des immeubles. A noter que notre zone d'étude connaît une importante animation et fréquentation de la population



Figure 52 : Realiser par Auteur

2.5.4. Les équipements :

La zone d'étude accueille des équipements de centralité à rayonnement national et de souveraineté comme la Grande poste, le siège de l'Assemblée populaire nationale (APN), le siège de la Wilaya d'Alger, le Tribunal, le siège de la Banque Nationale d'Algérie (BNA), la Banque Extérieure d'Algérie (BEA), le Conseil de la nation (CN), la Banque d'Algérie (BA), le journal El-Moudjahid et l'Hôtel Es-Safir, ainsi que des équipements à caractère éducatif tels que l'école primaire de la liberté et l'école coranique, des équipements culturels tels que le centre culturel français et le centre culturel Larbi Ben M'hidi et la Mosquée qui représente un équipement culturel.

2.6. Le Cadre Non Bâti :

Il est constitué par les Voies et la place Emir Abdelkader :

Espaces libres Place Emir Abdelkader : se situe au centre de l'axe Larbi Bon M'hidi, elle occupe une place d'un carré parfait et elle est très fréquentée par les touristes.



Figure 53: place El Amir Ahdelkader Source prise par Auteur

Les voies : la rue frère Kheladi, rue Mohamed Boumandjel, la route Mohamed Boubzari...



Figure 54 : Boulevard L'arbi Ben M'hidi prise par Auteur

3. Analyse de la végétation du boulevard

Le type d'arbre du boulevard c'est l'arbre persistant qui s'appelle « Pallida ». Ces arbres d'alignement sont repartis le long de la rue du boulevard afin qu'elle soit divisée en trois zones en fonction des différents alignement et densité.

On a devisé le boulevard sur 03 portion selon la densité d'arbres :

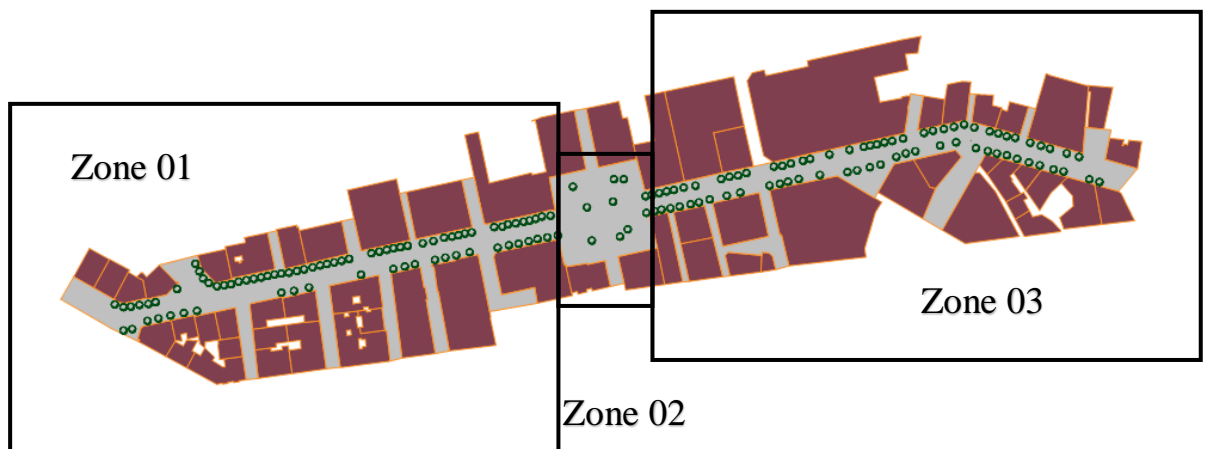


Figure 55 : Analyse de la végétation du boulevard ; source ENVI met traité par l'auteur

3.1. Zone 1 :

Dans cette zone, on a constaté que les arbres d'alignement sont organisés de manière urbaine et repartis selon certaines mesures, de sorte que la distance entre chaque arbre soit de 2 à 4 mètres et que la distance entre les arbres et les bâtiments soit de 2.5 à 3 mètres.



Figure 56 ; photo du Z1 : prise par l'auteur



Figure 57 ; photo représente les mesures entre l'arbre et les bâtiments : photo Prise par l'auteur

On a également remarqué que les arbres étaient taillés sous la forme d'un parasol qui leur permettrait de créer un ombre approprié et d'embellir le lieu. Donc cette zone a une densité d'arbre important.



Figure 58 : la forme des arbres ; photo prise par l'auteur



Figure 59 : la forme des arbres ; photo prise par l'auteur

3.2. Zone 2 place el Emir :

Cette zone n'a pas d'arbre d'alignement mais quelques arbres et palmiers sont distribués de manière aléatoire sur le trottoir, donc cette zone n'est pas dense en arbre.



Figure 60 ; place El Emir Z2 : photo prise par l'auteur

3.3. Zone 3 :

Dans cette zone, on a remarqué que les arbres d'alignement sont mal organisés et la distance entre les arbres n'est pas respectée.



Figure 61 ; la diminution de la densité des arbre Z3. Photo prise par l'auteur

Aussi les arbres sont distribués au hasard et ne sont pas organisés ni coupés ou taillés.



Figure 62: la male distribution des arbres : photo prise par l'auteur



Figure 63 : la male organisation des arbres : photo prise par l'auteur

On note qu'il y a une diminution marquée de la densité des arbres donc il n'y a pas assez d'ombre.

Chapitre IV :
La simulation avec
Envi-met 3.1

IV. Chapitre4 : la simulation

Introduction :

Avec l'avancée continue du processus d'urbanisation, la dégradation de l'environnement thermique urbain est devenue un problème majeur, en particulier dans les mégapoles telles que Guangzhou, dans les zones à climat chaud et subtropical et humide. Pour refroidir ces villes, l'utilisation des arbres urbains en tant que moyen efficace de réguler les conditions climatiques urbaines suscite de plus en plus l'attention. Selon des études antérieures, les arbres urbains peuvent contrôler le rayonnement solaire incident, modifier la température de l'air et augmenter l'humidité de l'air en fournissant de l'ombre et en convertissant le rayonnement solaire en flux de chaleur latent par la transpiration .

les Éléments importants de refroidissement urbain passif jouant un rôle clé dans les interactions thermiques entre différents environnements urbains, les arbres urbains doivent également être pris en compte dans le processus de modélisation de tels environnements dans le cadre de l'évaluation de ces interactions au moyen de simulations . (BOUYER J. 2009)

1. Simulation de l'impact des arbres en micro climatologie urbaine :

Un microclimat créé par les aménagements naturels peut être bénéfique à la fois pour le confort et la réduction des consommations énergétiques des bâtiments. L'enveloppe extérieure du bâtiment n'est pas le seul élément interagissant avec le climat. Les conditions intérieures et l'inertie thermique sont aussi des éléments qui y participent. La consommation énergétique dans les bâtiments est aujourd'hui très importante et devrait encore croître en raison de l'évolution des exigences des usagers et l'augmentation permanente de la population mondiale

Des outils simplifiés sous forme de guides pratiques basés sur des règles de conception ou bien sous forme d'outils informatiques simplifiés de simulation ne nécessitant pas de connaissances approfondies dans le domaine de la climatologie urbaine, tous deux permettant une évaluation grossière mais rapide et exposant les grandes tendances climatiques suivi par la nature d'un ou plusieurs aménagements.

Des outils plus fins et précis faisant appel à des techniques de simulation physique calculant les champs de variables microclimatiques et les consommations énergétiques réelles des bâtiments du site considéré.

2. Les modèles de simulation numériques :

Les modèles de simulation numériques, en climatologie urbaine, s'appliquent à l'échelle de la canopée urbaine et prennent en compte la surface urbaine selon deux méthodes différentes, l'une dite méthode par discrétisation spatiale et l'autre dite méthode de paramétrisation, d'après (BENZERZOUR (2004)).- Modèle de simulation numérique par discrétisation spatiale : cette méthode s'applique généralement à des échelles spatiales limitées qui sont plus proches de l'échelle microclimatique que de l'échelle climatique locale. Il s'agit de prendre en compte l'aspect tridimensionnel des espaces urbains en prenant en compte le tracé et les hauteurs réelles des espaces et des bâtiments. Ensuite, un maillage assez fin est appliqué aux surfaces et aux éléments de la canopée urbaine pour permettre d'analyser les mécanismes de propagation des phénomènes physiques des surfaces et de l'air correspondant à l'échelle de la canopée qui peut aller d'un espace urbain à un ensemble bâti (environs quelques centaines de mètres).

- Modèle de simulation par paramétrisation : la discrétisation spatiale exige des temps de calculs trop importants qui ne permettent pas de l'appliquer à l'échelle climatique locale et encore moins à l'échelle méso. Pour pallier à cela, les modèles physiques qui s'appliquent à des échelles ont été contraints de réduire la complexité morphologique de la surface urbaine à un certain nombre de paramètres représentatif de l'influence de cette dernière sur les échanges sol - atmosphère. Parmi le plus connu des concepts est le canyon urbain. (BOUYER J. 2009)

2.1. Les méthodes descriptives

Il y a eu de nombreuses méthodes et outils, tels que :

- Les mesures sur terrain (in-situ), mesure de la température à divers endroits par le thermocouple comme l'étude Vancouver, Canada, 200 ; (Akbari 2000).
- L'utilisation de l'outil cartographique et les données thermiques obtenue par satellite, tel que l'étude de Providence, USA, 2001 (logiciel UTM, et les images satellite Landsat 7).

Méthodes basées sur le traitement de données climatiques mesurées à partir de stations météorologiques fixes, Ainsi que d'autre étude de la densité urbaine sur la balance

énergétique des surfaces et leurs rapports au climat local, etc. comme l'exemple d'étude de Genève.

2.2. Les méthodes physiques

Pour l'étude des perturbations climatiques engendrées par une ville, il est intéressant de distinguer, nous l'avons vu, trois échelles d'étude : la micro-échelle, l'échelle locale et la méso-échelle. Le climat urbain ou, plus précisément, les différents phénomènes physiques à son origine sont aujourd'hui modélisés à chacune de ces trois échelles avec plus ou moins de précision. Plusieurs modèles ont ainsi été développés, avec chacun leurs propres hypothèses et leur propre portée.

Il Ya eu de nombreuses méthodes et logiciels de simulation numériques, tel que :

2.3. Modèles climatique à l'échelle locale

Les modèles qui simulent l'échelle locale ou l'échelle du quartier sont caractérisés par un maillage (discrétisation spatiale) relativement fin, qui permet une description précise du cadre bâti afin d'aboutir à une représentation des qualités climatiques les plus proches du réel. Nous allons présenter trois modèles LUMPS, SOLENE et ENVI-met (BOUYER J. 2009) :

- **LUMPS :**

Le modèle LUMPS (Local Scale Urban Meteorological Parametrization Schene) consiste en une série d'équations permettant de calculer les flux de chaleurs dans l'environnement urbain à l'échelle locale, à savoir le flux de stockage, ainsi que les flux de chaleur sensible et latente, (Ringebach, 2004)

Les effets du vent et des sources importantes de chaleur anthropique sont mal pris en compte, et que dans les situations où ces variables sont importantes, LUMPS ne peut être utilisé.

- **SOLENE :**

Logiciel thermo-radiatif a été élaboré par le CERMA (Centre de Recherche Méthodologique d'Architecture) de Nantes. Il peut être appliqué à un modèle 3D de la géométrie urbaine détaillé, pas besoin de simplifier. Il permet de simuler pour tous les points de la géométrie reproduite les différents flux du bilan radiatif et la température de surface.

Il se base sur un système ouvert de questionnement solaire, lumineux et thermique organisé autour de fonctions de simulation, il travaille à une échelle plus réduite, celle d'un ensemble urbain donné par sa volumétrie. Par contre Il ne prend pas en compte le flux de chaleur latente et de chaleur anthropique et n'intègre pas les bilans hydriques. (Ringebach, 2004 ; Colombert, 2008). Une application du modèle sur un quartier de Marseille, (Groleau et al, 2003), et la ville de Strasbourg, (Ringebach, 2004)

- **Envi-met (Environmental Meteorology) :**

Ce modèle a été développé au département de géographie de l'université de Bochum en Allemagne par Michael Bruse (1998). Il simule les interactions entre différentes surfaces 3D urbaines, la végétation et l'atmosphère ; il permet d'analyser l'impact des modifications de l'environnement urbain sur le microclimat, (Colombert, 2008)

ENVI-met est un modèle 3D non hydrostatique qui s'appuie sur une grille géométrique. La résolution maximale est de 250x250x25 mailles, ce qui permet de couvrir une zone de 1km x 1km l'équivalent d'un quartier. « Il calcule l'écoulement du vent autour des différentes structures urbaines ainsi que les autres variables associées au bilan d'énergie et aux processus de transfert atmosphérique (calcul des ombres, de la réflexion, de la turbulence, de l'évaporation des plantes, etc. », (Colombert, 2008, p131).

L'interface est simple d'utilisation, permet d'entrer les différents paramètres de simulation à savoir l'implantation du bâti, la hauteur des bâtiments, emplacement et type de végétation, nature de sols, etc. La simulation qui peut être effectuée sur un ordinateur de bureau, peut prendre entre quelques heures et quelques jours selon la modélisation effectuée, (Colombert, 2008)

Selon ses caractéristiques et l'échelle de nos sites d'investigation, nous pouvons conclure qu'ENVI-met est le plus adapté à notre recherche. Il propose un niveau de simplicité adéquat pour le cadre bâti et il intègre plus en détail la végétation et ses inter-réactions avec l'atmosphère. Ce qui permet de simuler un boulevard de 800 m

3. Présentation d'ENVI-met 3.1 :

Envi-met est un modèle qui a été développé au département de géographie de l'université de Bochum en Allemagne par Michael Bruse (1998). Envi-met permet de créer un modèle

tridimensionnel et de simuler les phénomènes microclimatiques à l'échelle locale et à la micro-échelle.

Il simule les interactions entre différentes surfaces urbaines ; le sol, les surfaces, la végétation et l'atmosphère Martins, (2011)

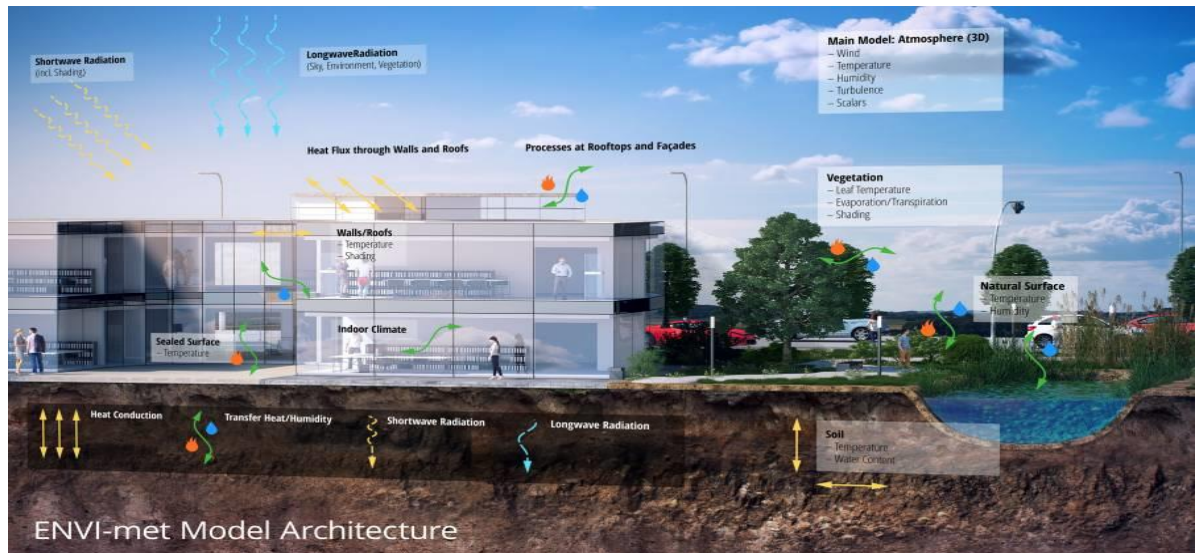


Figure 64. Les interactions calculées par Envi-met, www.envi-met.com

Il permet d'analyser l'impact des modifications de l'environnement urbain sur le microclimat, (Colombert, 2008).

ENVI-met est un modèle 3D non hydrostatique qui s'appuie sur une grille géométrique. La résolution maximale est de 250x250x25 mailles, ce qui permet de couvrir une zone de 1km x 1km l'équivalent d'un quartier. « Il calcule l'écoulement du vent autour des différentes structures urbaines ainsi que les autres variables associées au bilan d'énergie et aux processus de transfert atmosphérique (calcul des ombres, de la réflexion, de la turbulence, de l'évaporation des plantes, etc.) », (Colombert, 2008, p131).

ENVI-met est accessible gratuitement pour des raisons d'étude et de recherche scientifique (site web : www.envi-met.com) ; il est accompagné d'un outil de visualisation (LEONARDO) permet de visualiser les résultats en 2d et en 3d (Bruse, 2004).

3.1 Avantages du logiciel Envi-met :

- (Selon (Atik 2011)Envi-met offre une multitude d'avantages dont on cite ceux relatifs à notre recherche :
- La simulation dynamique du microclimat avec un cycle journalier.

- Le traitement de plusieurs structures urbaines : bâtie avec différentes configuration, possibilité d'utiliser plusieurs types de végétation et calculer l'effet de l'ombre d'évapotranspiration et de photosynthèse, et enfin il propose différent type de sol.
- La haute résolution spatiale et temporelle est utilisée par le logiciel.
- Le nombre des entrées nécessaires pour la simulation est limité alors que celui des sorties est illimité.

3.2. Limites du logiciel Envi-met :

Malgré ses avantages Envi-met à aussi des limites dont on cite :

- Durée de simulation importante, de 24h à 48h.
- Complexité de visualisation des résultats et sous forme limités.

D'autres cités par (Atik 2011):

- La configuration obligatoire d'un terrain plat et des toitures horizontales
- Les outils de création de l'environnement urbain sont limités aux bâtiments, matériaux de sols/trottoirs et arbres/végétation et il n'y en a aucun outil pour créer d'autres objets en tant que structures indépendantes des éléments bâtis.
- L'eau dans le milieu urbain et naturel représenté par ENVI-met comme un type de sol, il ne prend pas en charge l'eau animé comme les fontaines et jets d'eau.

3.3. Le calcul du modèle comprend :

Flux de rayonnement à ondes courtes et à ondes longues en ce qui concerne l'ombrage, la réflexion et le ré-rayonnement des systèmes de construction et de la végétation

Transpiration, évaporation et flux de chaleur sensible de la végétation dans l'air, y compris la simulation complète de tous les paramètres physiques de la plante (par exemple, le taux de photosynthèse)

Calcul dynamique de la température de surface et de la température de paroi pour chaque élément de façade et de toiture prenant en charge jusqu'à 3 couches de matériaux et 7 points de calcul dans le mur / toit.

Echange d'eau et de chaleur à l'intérieur du sol, y compris l'absorption d'eau par les plantes

Représentation 3D de la végétation, y compris la modélisation dynamique du bilan hydrique de chaque espèce

Dispersion de gaz et de particules. Le modèle prend en charge les particules (y compris la sédimentation et le dépôt au niveau des feuilles et des surfaces), les gaz inertes et les gaz réactifs du cycle de réaction NO-NO₂-Ozone.

Calcul d'indices biométéorologiques tels que la température moyenne de rayonnement, le PMV / PPD, le PET ou l'UTCI via BioMet

3.4. Interfaces du logiciel et L'architecture du model :

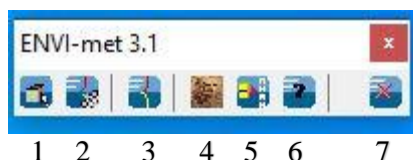


Figure 65 : Interfaces du logiciel Envi-met 3.1

1	L'éditeur de la zone/modèle
2	l'éditeur de configuration
3	Démarrer simulations
4	LEONARDO visualisation des résultats
5	Extracteur de fichiers
6	Manual
7	Terminer

Tableau 15: les commande de l'envi met 3.1

Afin de lancer une simulation par Envi-met deux principaux fichiers d'entrés (Input) doivent être préparés, le premier c'est le fichier éditeur (.in) et le deuxième fichier de configuration (.cf) qui comportent les différentes données relatives au site et les circonstances de la simulation.

On a créé deux fichiers éditer le premier avec la végétation et l'autres sans végétation.

Pour faire une simulation par l'ENVI-met, il faut passer par les étapes suivantes :

- Ouvrir l'éditeur de la zone, Select bitmap (importer l'image du terrain à simuler du format 'bmp'. (Figure 66)

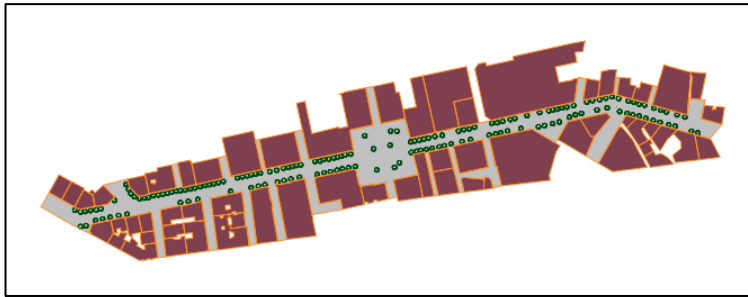


Figure 66 : l'image du terrain 'bmp' ; traiter par auteur

3.5. Données d'entrée (Inputs)

3.5.1. Fichier Editeur (*.in): Programme qui permet d'introduire la structure urbaine dans le logiciel. Il se présente sous forme d'une surface de dessin qu'on peut délimiter en fonction du model qu'on veut simuler. (Figure 3)

- **Création de la zone :**

Pour créer une zone il suffit d'insérer ses dimensions et ses données géographique. La figure (03) montre les données relatives au Boulevard Laarbi Ben M'hidi , la hauteur on la fixe à deux fois la hauteur du bâtiment le plus haut 2x25m afin d'intégrer les interactions avec la couche limite atmosphérique et pour avoir des résultats plus corrects, latitude 36.42 et longitude 3.12.

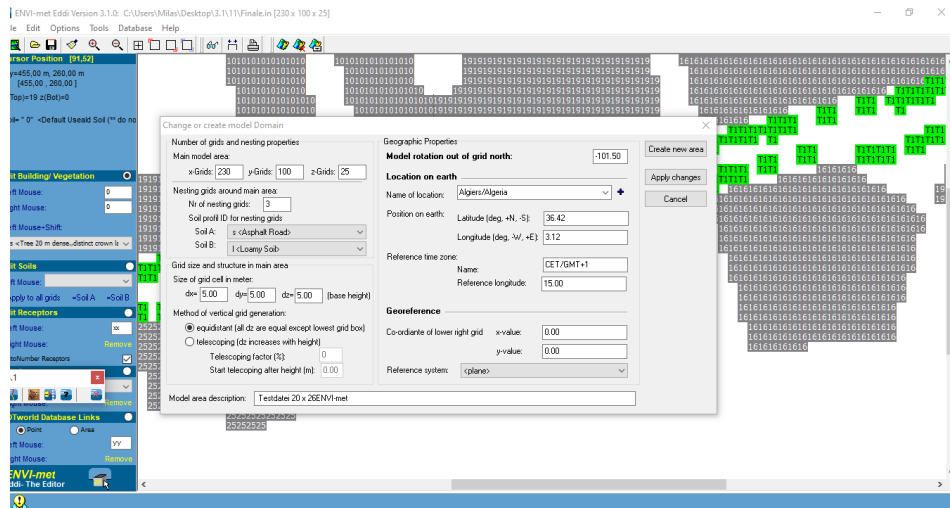


Figure 67 : la création de la zone dans le fichier éditeur, traité par auteur

- **Modélisation de la zone :** Grâce à cet éditeur on peut projeter les constructions en déterminant leurs hauteurs ainsi que tous les éléments saillants. La sélection et la projection des différents types de plantes existantes.

Pour Envi-met les plantes ne sont pas de simples obstacles physiques face au vent et aux radiations solaires. Ce sont des corps biologiques qui interagissent avec l'environnement par des échanges thermiques et évaporatifs.

La végétation est schématisée comme une colonne en 1D avec une hauteur Z_p , la profondeur des racines est Z_r . Chaque colonne est composée de 10 espacements égaux, de même pour les racines.

Pour chaque calque correspondent une densité de la surface foliaire (LAD) et la densité de la surface des racines (RAD). Cette décomposition est employée pour chaque type de végétation rangeant de l'herbe aux grands arbres. D'autres paramètres physiologiques comme la résistance des stomates, la nature des plantes (caduques où persistantes), l'albédo des feuilles, l'émissivité est constante ([Ali-Toudert 2005])

Toutes ces données sont stockées dans un fichier donné PLANTS.DAT. (Figure 4 ;5 :6)

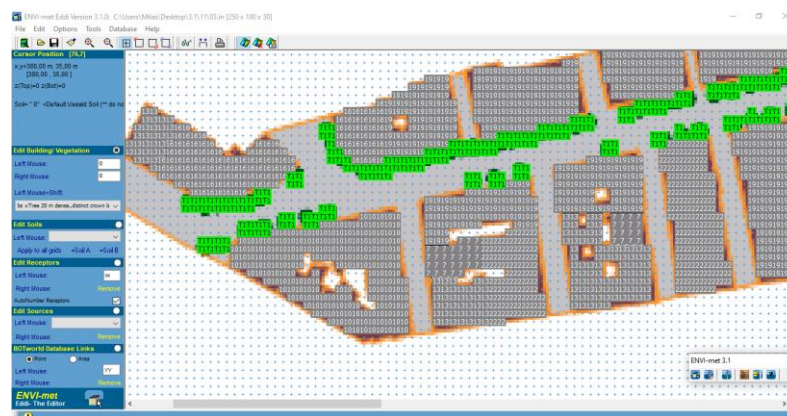


Figure 68 Editeur du bâti/végétation

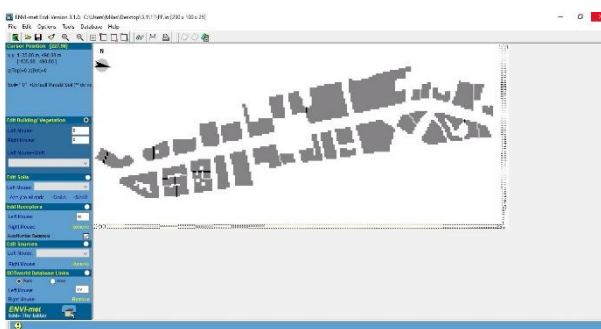


Figure 69 : model sans végétation

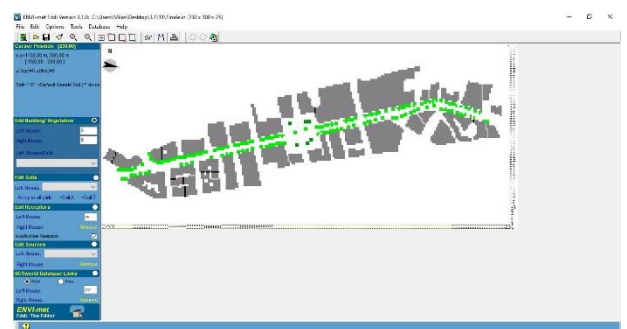


Figure 70 : model avec végétation

*****ENVI-met Vegetation Database v3 *****													
ID_C?	TY	rs	m	a_f	HH	HH	TT	LAD1	LAD10	RAD1	RAD10	RAD10	NAME
MO	C3	01	400	0.20	20.00	02.00	0.040	0.000	0.100	0.100	0.100	0.100	Tree 20m aver. dense., no distinct crownlayer
DO	C3	01	400	0.20	20.00	02.00	0.110	0.000	0.100	0.100	0.100	0.100	Tree 20 m dense., no distinct crown layer
DM	C3	01	400	0.20	20.00	02.00	0.075	0.000	0.100	0.100	0.100	0.100	Tree 20 m dense., distinct crown layer
dm	C3	01	400	0.20	20.00	02.00	0.075	0.000	0.100	0.100	0.100	0.100	Tree 20 m dense., distinct crown layer
ds	C3	01	400	0.20	10.00	02.00	0.075	0.000	0.100	0.100	0.100	0.100	Tree 10 m dense.,distinct crown layer
sm	C3	01	400	0.20	20.00	02.00	0.150	0.000	0.100	0.100	0.100	0.100	Tree 20 m very dense, distinct crown layer
H2	C3	01	400	0.20	02.00	01.00	2.000	2.000	0.100	0.100	0.100	0.100	Hedge dense, 2m
T1	C3	01	400	0.20	10.00	02.00	0.000	0.000	0.100	0.100	0.100	0.100	Tree 10 m very dense, leafless base
g	C3	03	200	0.20	00.50	00.50	0.300	0.300	0.100	0.100	0.100	0.100	Grass 50 cm aver. dense
bs	C3	01	400	0.20	20.00	02.00	0.000	0.000	0.100	0.100	0.100	0.100	Tree 20 m dense.,distinct crown layer
m	C4	03	200	0.20	01.50	00.50	0.300	0.300	0.100	0.100	0.100	0.100	Maize, 1.5 m

Figure 71 : Données de base de la végétation (PLANTS.DAT)

La Figure recense les données de base des espèces de végétation contenues dans le model Envi-met 3.1

ID: Référence propre à chaque espèce. Ces ID sont utiles pour Envi-met pour ne pas confondre la végétation avec les constructions.

C?: Définition de la plante en fonction de la capacité de fixation du CO2.

TY: Type de plante, 01 pour caduque, 02 pour les conifères et 03 pour les herbes.

rs_min: Résistance minimale des stomates : Considérée 400 pour les arbres et 200 pour herbe.

a_f: Albédo de la feuille considéré 0.2 (peut être modifié s'il s'agit des types bien spécifiques)

HH.HH: La hauteur de la plante.

TT.TT: Profondeur des racines.

LAD1 et LAD10: La densité de la surface de la feuille en m2/m2 de LAD1 jusqu'à LAD10.

RAD1 et RAD10: La densité de la surface des racines m2/m2 de RAD1 jusqu'à RAD10.

Pour LAD1 et RAD1 $Z/H = 0.1$ jusqu'à $Z/H = 1$ (LAD10 et RAD10) où Z est la hauteur du LAD et où RAD et H est la hauteur de la plante où la profondeur des racines.

NAME : Donne un nom à la plante.

- **Sol :** La sélection du type de sol est similaire aux plantes, toutes les propriétés des sols sont définies dans un fichier d'entrée : PROFILES.DAT (Figure 09)

00:	ID	.015	.025	.035	.045	.055	0.07	0.09	0.15	0.25	0.35	0.45	0.75	1.25	1.75	_z0	_a	_em	Name	
01:	0	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	0.015	0.00	0.98	Unsealed
02:	s	ab	ab	ab	ab	ab	ab	ab	ab	ab	1e	1e	1e	1e	1e	1e	0.010	0.20	0.90	Asphalt
03:	p	zb	zb	zb	zb	sd	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	0.010	0.40	0.90	Pavement
04:	l	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	0.015	0.00	0.98	Loamy Soil
05:	sd	sd	sd	sd	sd	sd	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	0.050	0.30	0.90	Sandy Soil
06:	w	ww	ww	ww	ww	ww	ww	ww	ww	ww	ww	ww	ww	ww	ww	ww	0.010	0.00	0.96	Deep Water

Figure 72 : Données de base des sols (PROFILES.DAT)

La (Figure 5) résume les différents types de sols inclus dans cette version d'Envi-met 4.0 :

ID : Ces deux lettres relient le sol aux données du fichier PROFILES.DAT

V: Type de sol, 0: Pour un sol normal, 1: matériaux étanche (aucun échange d'eau), 2: eau profonde.

ns: Volume d'eau de saturation [m^3m^{-3}]

nfc: Volume d'eau contenu dans le champs de capacité en [m^3m^{-3}]

nwilt: Le volume d'eau pour le point de rosé (pour les modèles avec végétation) [m^3m^{-3}]

matpot : Matrice du Potentiel de saturation en [m]

hydr: Conductivité hydraulique pour le point de saturation.

CP : Volume de la capacité thermique.

b: Constante de Clapp et Hornberger

HCN: Conductivité thermique du matériau [$Wm^{-1}K^{-1}$]

Name: Nom donné pour identification.

- **Sources** : Définir les différentes sources qui se trouvent tel que : "CO", "CO2", "NO", "NO2", "S02", "NH3", "H2O2".
- **Récepteur** : Envi-met peut projeter jusqu'a 100 récepteurs. Se sont des points qui donnent les paramètres d'un point à l'intérieur du model simulé de Z=0 jusqu'à Z max. Donc, je redessine le terrain avec toutes les données.

3.5.2. Fichiers de configurations C.F (*.cf)

Ce sont des fichiers textes qui décrivent les caractéristiques principales de la simulation :

```

ENVI-met Configuration Editor - [Finale]
File Edit Add Section Help Window

% ---- Basic Configuration File for ENVI-met Version 3 ----
% ---- MAIN-DATA Block ----
Name for Simulation (Text):           = Finale
Input file Model Area                 =C:\Users\Milas\Desktop\3.1\11\Finale.in
Filebase name for Output (Text):      =Finale
Output Directory:                     =[OUTPUT]
Start Simulation at Day (DD.MM.YYYY):  =07.07.2019
Start Simulation at Time (HH:MM:SS):   =06:00:00
Total Simulation Time in Hours:        =24.00
Save Model State each ? min           =60
Wind Speed in 10 m ab. Ground [m/s]   =3.61
Wind Direction (0:N..90:E..180:S..270:W..) =90
Roughness Length z0 at Reference Point =0.1
Initial Temperature Atmosphere [K]    =306.95
Specific Humidity in 2500 m [g Water/kg air] =16.525
Relative Humidity in 2m [%]           =38.7
Database Plants                       =[input]\Plants.dat

( -- End of Basic Data --)
( -- Following: Optional data. The order of sections is free. --)
( -- Missing Sections will keep default data. --)
( Use "Add Section" in ConfigEditor to add more sections )
( Only use "=" in front of the final value, not in the description)
( This file is created for ENVI-met V3.0 or better )

[RECEPTORS]
RECEPTOR 1 Co-ordinate               =1,1
% --remove line above if your receptors are in the area input file--
Save Receptors each ? min             =60.0
[POSITION]
Longitude (+:east -:west) in dec. deg =3.12
Latitude (+:northern -:southern) in dec.deg =36.42
Longitude Time Zone Definition:        =15.0
[BUILDING]
Inside Temperature [K]                 = 298
Heat Transmission Walls [W/m²K]        =1.7
Heat Transmission Roofs [W/m²K]       =0.7
Albedo Walls                           =0.5
Albedo Roofs                           =0.08

```

Figure 73 : Fichier de configuration

- **Détail des simulations :**

N°	Date / Heure	Duré de simulation	Vitesse du vent m.s-1	Direction du vent	Température initiale K	Humidité spécifique g/kg	Humidité relative %
S1 (avec végétations)	07/07/2019 06.00	12h	3.61	90	306.95	16.52	38.7
S2 (sans végétations)	07/07/2019 06.00	12h	3.61	90	306.95	16.52	38.7

Tableau 16 Type de paysage

Date/heure : La date a été choisies le 07/07/2019 (C'est le jour le plus chaud du mois). Le choix de l'heure de lancement de simulation est très important parce qu'il fixe les paramètres météorologiques.

Donnés météorologiques : ont à récupérer à partir d'une référence électronique (www.ogimet.com) qui contient des informations professionnelles sur les conditions météorologiques dans le monde, la station de référence choisi est la station la plus proche de nos cas d'études celle d'Alger Port (Latitude : 36.46N ; Longitude : 03.06E Altitude : 12 m).



Figure 74 ; les donnée météorologique 07/07/2019. Source www.ogimet.com

- **Type de terrain et valeur de rugosité :**

Le tableau (2) montre les types de terrain et la valeur de rugosité (α)

Type de paysage	Classe de rugosité
Villages, petites villes, terrain agricole avec de nombreuses ou de hautes haies vives, des forêts et un terrain très accidenté	3
Grandes villes avec de hauts immeubles	3.5
Très grandes villes avec de hauts immeubles et des grattes ciel	4

Tableau 17 : Définitions selon l'Atlas éolien européen

- **Nature des surfaces et valeur d'albédo :**

L'albédo est relatif à la couleur des surfaces, le tableau (3) montre les valeurs d'albédo attribué pour les mus et les toitures.

Nature des surfaces	Valeurs d'albédo
Peinture blanche	0.5
Gravillon	0.08

Tableau 18 : Akbari et Al 1982. Atik 2011

- **Exécution des simulations :**

La simulation peut être exécutée dans un ordinateur de bureau performant, une simulation peut durer de 24h à 48h, la photo montre les ressources matérielles mis en place pour effectuer les simulations.

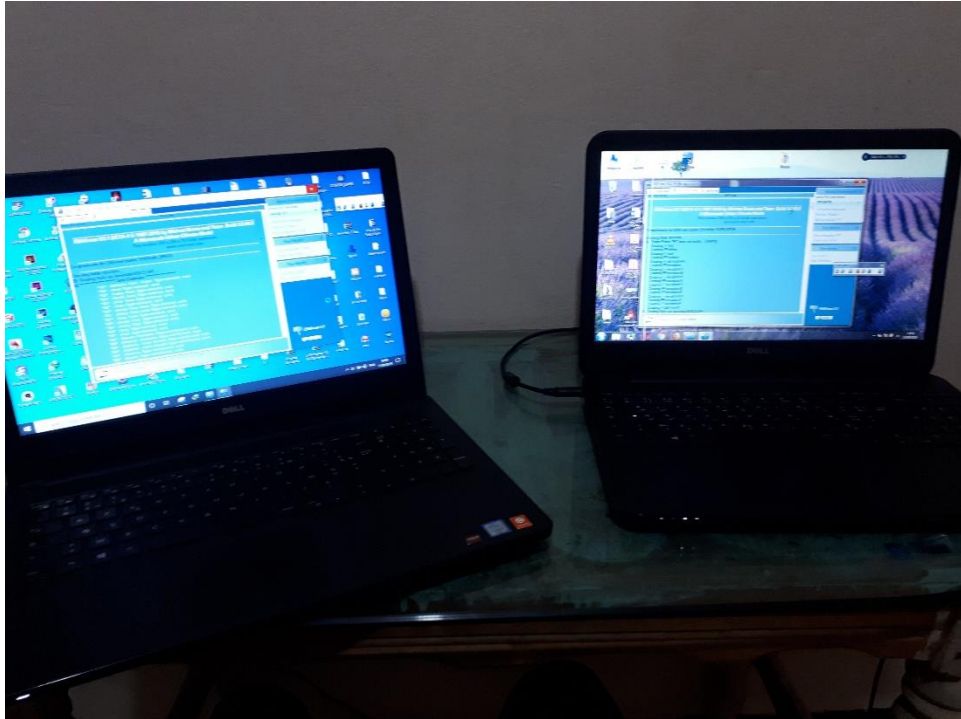


Figure 75 : Ressources matérielles mis en place pour les simulations

3.6. Les sorties (Outputs) :

Envi-met peut générer une multitude de paramètres sous plusieurs répertoires les plus importants sont :

- **Fichier de sortie en 3D**

Il Contient les fichiers atmosphère, surface et sol. Les résultats sont stockés sous un format binaire. Dans ce travail ils sont visualisés grâce à un autre logiciel LEONARDO.

- **Fichier des récepteurs**

Ces fichiers permettent la définition des récepteurs à l'intérieur du model et de les voir de plus en plus en détail. Se sont de simples fichiers qui peuvent être visualisés avec un simple programme tel qu'Excel, Bloc-notes et Wordpad.

- **1D fichier model**

Contient les données du profil vertical du model unidimensionnel d'Envi-met dans un format ASII. Ces fichiers sont généralement utilisés pour la vérification et la résolution des problèmes qui peuvent figurer pendant la simulation ([Bruse 2004])

4. Resultants et discussion:

4.1. Première simulation :

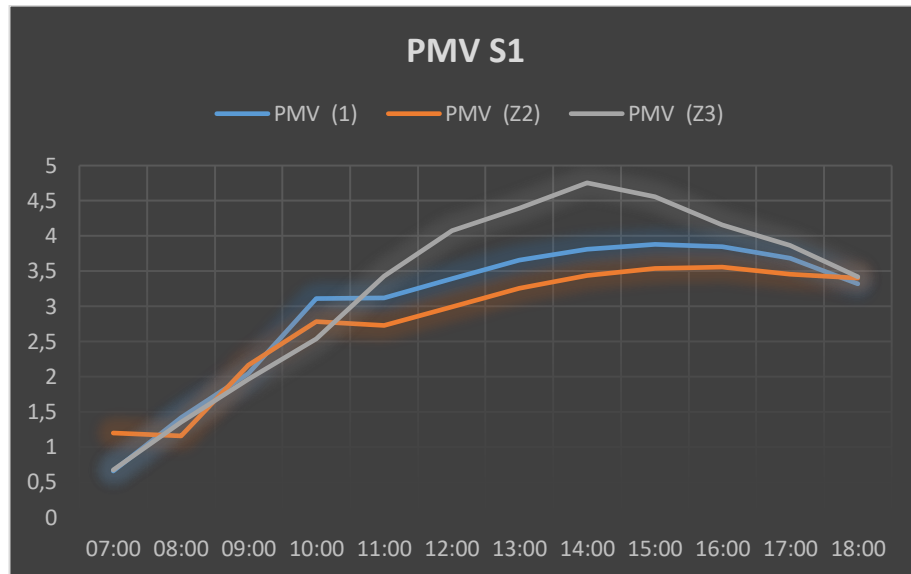


Figure 76; Graphe 01. Résultats PMV S1

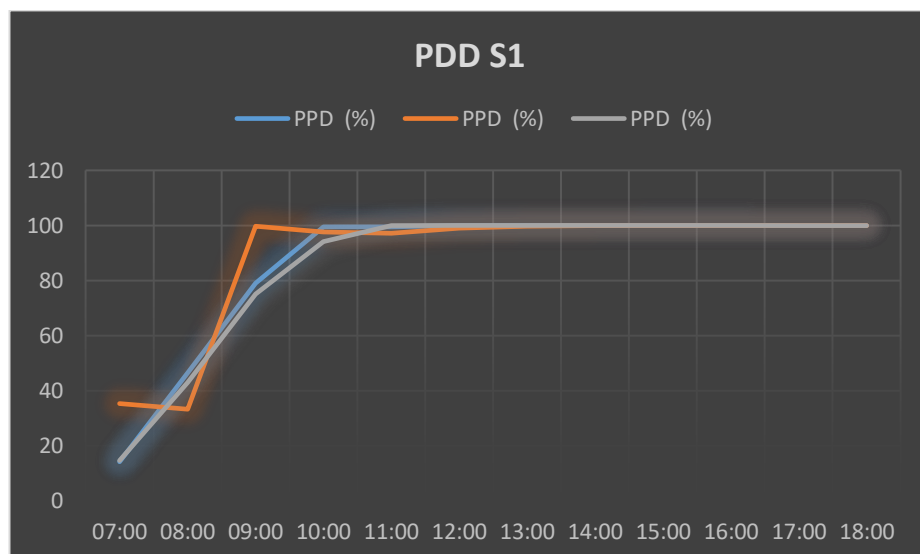


Figure 77. Graphe 02. Résultats PDD S1

Les graphes 01 et 02 représente le changement de PMV et PDD (avec la végétation) durant les heures de la simulation (de 06.00 h au 18.00 h), Le PMV de la Z3 à augmenter constamment de 0.67 à 7.00h avec un PDD de 14.11% (microclimat est optimal), PMV = 1.41 PDD = 46.52 à 8.00h (microclimat légèrement chaud), PMV = 2.04 PDD = 78.94 à 9.00h (microclimat chaud), PMV = 3.10 PDD = 99.50 à 10.00h (microclimat très chaud), jusqu'à 14.00h ou elle atteint sa valeur Maximale PMV 4.75 et PDD 100% (microclimat très

chaud), après de 14.00 h jusqu'à 18.00h le PMV a descendit progressivement jusqu'à 3.42 (microclimat très chaud).

De 07.00h au 08.00h le PMV et PDD de la Z2 à descende légèrement de 1.19 et 35.15% à 1.15 et 33.22% (microclimat légèrement chaud). Tender que le PMV et PDD du Z3 à augmenter progressivement de 0.65 et 14.55% à 1.41 et 42.96% (microclimat optimale a 8.00h et l'égerment chaud a 9.00h), après a 9.00h jusqu'à 10.00h les 02 courbes Z1 ; Z2 ont augmentent progressivement avec le même rythme Z1 (PMV/PDD) 1.49 et 78.94% jusqu'à 3.10 et 99.50% (l'égerment chaud a 9.00h, très chaud a 10.00h), Z2 (PMV/PDD) 1.15 et 99.62% jusqu'à 2.78 et 97.10% (l'égerment chaud a 9.00h, chaud a 10.00h), de 10h à 11h les courbes ont stabilisé Z1(PMV/PDD) 3.1 et 99.52% (très chaud), Z2(PMV/PDD) 2.73 et 97.10%. De 11.00h à 16.00h les 2 courbes Z1 ; Z2 ont augmentés l'égerment jusqu'à étendre ces valeur Maximal Z1 3.88 PMW et 100% PDD (très chaud) Z2 3.55 PMV et 100% PDD (très chaud). De 16.00h à 18.00h les 2 courbes Z1 ; Z2 ont distendis l'égerment jusqu'à Z1 3.31 et 99.85% (très chaud), Z2= 3.39 et 99.91% (très chaud).

4.2. Douzième simulation :

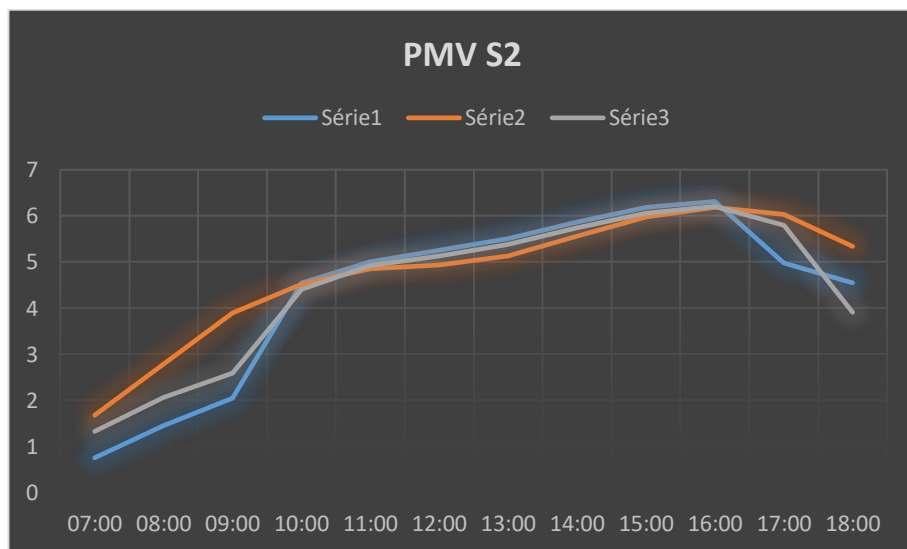


Figure 78. Graphe 03. Résultats PMV S2

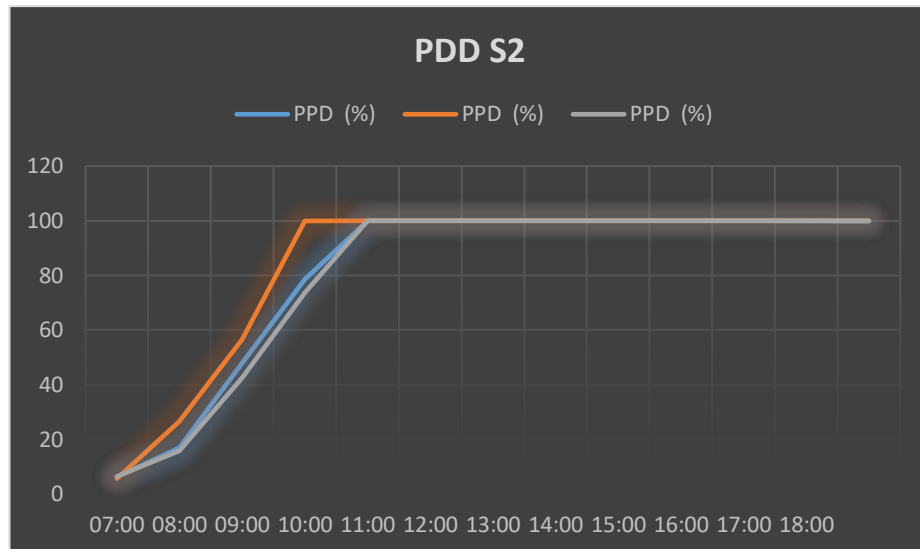


Figure 79. Graphe 04. Résultats PMV S2

Les graphes 03 et 04 représente le changement de PMV et PDD (sans la végétation) durant les heures de la simulation (de 06.00 h au 18.00 h) dans les 03 zones (Z1,Z2 et Z3), Le PMV de la Z1 et Z3 ont augmenté progressivement avec le même rythme a 7.00h Z1 (PMV/PDD) 0.75 et 6.18% (microclimat est optimal) Z3 (PMV/PDD) 1.32 et 6.42% (l'égerment chaud), à 8.00h Z1 (PMV/PDD) 1.44 et 16.91% (l'égerment chaud) Z3 (PMV/PDD) 2.05 et 15.67 (microclimat chaud), a 09.00h Z1 (PMV/PDD) 2.04 et 47.92% (microclimat chaud) Z3 (PMV/PDD) 2.58 et 42.60% (microclimat chaud), a 10.00h Z1 (PMV/PDD) 4.54 et 100% (très chaud) Z3 (PMV/PDD) 4.40 et 100% (microclimat très chaud).

De 11.00h à 16.00h les 2 courbes Z1 ; Z2 ont augmentés l'égerment jusqu'à étendre ces valeur Maximal Z1 6.31 PMW et 100% PDD (très chaud) Z3 6.20 PMV et 100% PDD (très chaud). De 16.00h à 18.00h les 2 courbes Z1 ; Z2 ont distendis l'égerment jusqu'à Z1 4.54 et 99.97% (très chaud), Z3= 3.90 et 99.96% (très chaud).

La courbe de Z2 a augmenté progressivement PMV = 1.67 PDD = 05.62% à 07.00h (microclimat est optimale), PMV = 2.77 et PDD = 56.64% à 08.00h (chaud), De 08:00 à 16:00: La courbe Z2 a augmenté légèrement où elle atteint une valeur maximale de PMV 6.18 et PDD 100%, après de 16.00h jusqu'à 18.00h la courbe a descendu pour atteindre un PMV de 5.34 et PDD 100%.

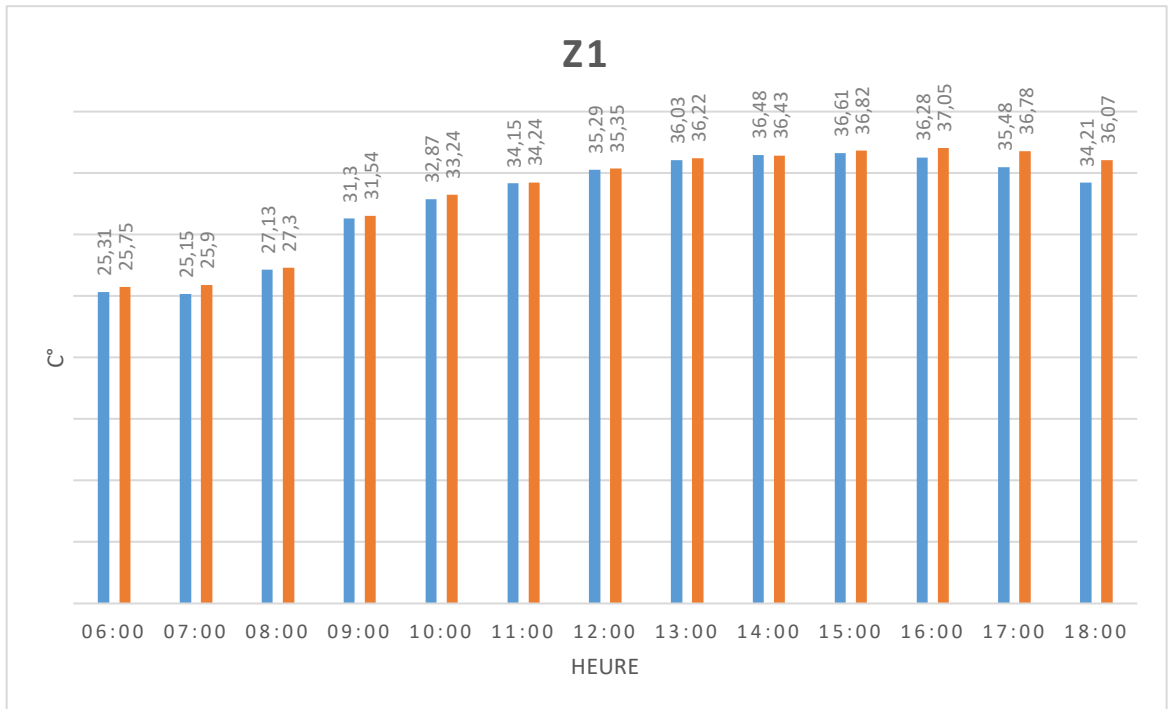


Figure 80. Graphe 05 variation des températures d'air S1/S2 de Z1

Graphe 05: Représente la variation des températures d'air dans les deux Simulation avec et sans végétations dans les trois zones de boulevard. La lecture de graphe détermine trois périodes, La 1^{ère} période de 06.00h jusqu' 08.00h on remarque que la température allant de 25.31C° et 27.13 C° de S1 ; 25.75 et 27.30 C° de S2, avec une différence l'égerment de 0.75 C° Maximum entre S1 et S2. La 2^{ème} période de 09.00h jusqu'à 15.00h on remarque une augmentation l'égerment de la température jusqu'à étendre ces valeur Maximal à 16.00h S1 36.28 C° et S2 37.05 C°, avec une différence l'égerment 0.37 C° Maximum à 10.00h entre S1 et S2. La 3^{ème} période entre 16.00h et 18.00h la température a augmenté jusqu'à la valeur maximum S1 36.28 C° et S2 37.05C°, avec une différence importante dans cette période 1.86 C°.

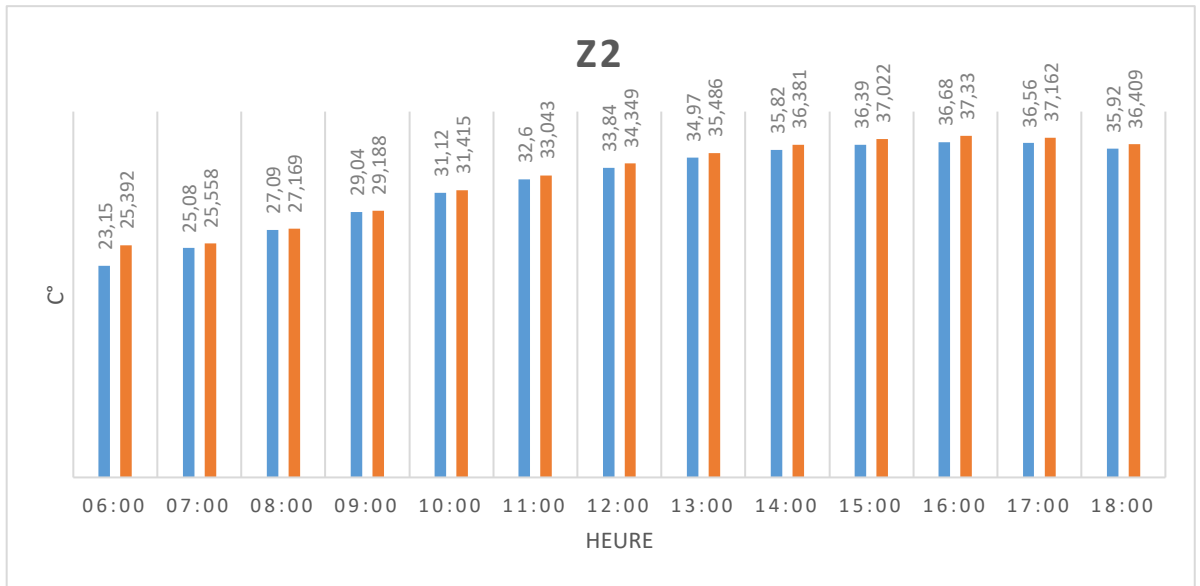


Figure 81. Graphe 06 variation des températures d'air S1/S2 de Z2

Graphe 06: Représente la variation des températures d'air dans les deux Simulation avec et sans végétations dans les trois zones de boulevard. La lecture de graphe détermine trois périodes, La 1ere période de 06.00h jusqu'à 08.00h on remarque que la température allant de 25.08C° et 29.04 C° de S1 ; 25.55 et 29.18 C° de S2, avec une différence l'égerment de 0.47C° Maximum entre S1 et S2. La 2ème période de 09.00h jusqu'à 15.00h on remarque une augmentation l'égerment de la température jusqu'à étendre ces valeur Maximal à 16.00h S1 36.68 C° et S2 37.33 C°, avec une différence l'égerment 0.65 C° Maximum à 10.00h entre S1 et S2. La 3ème période entre 16.00h et 18.00h la température a augmenté jusqu'à la valeur maximum S1 35.98 C° et S2 36.04C°, avec une différence importante dans cette période 0.06 C°.

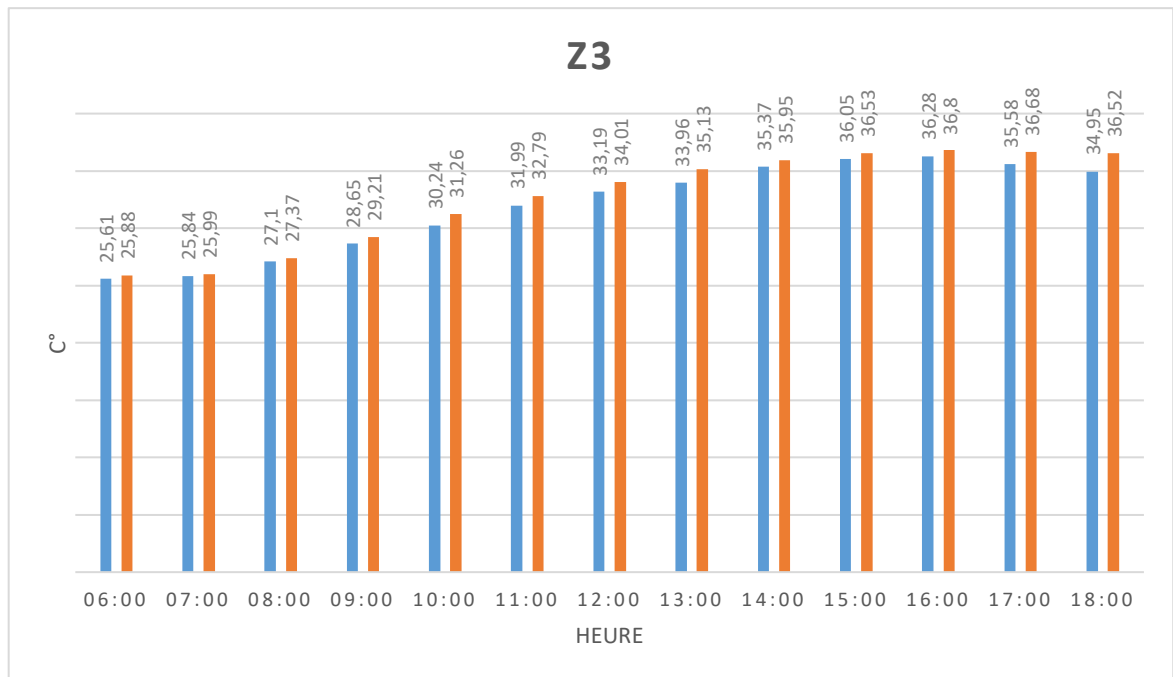


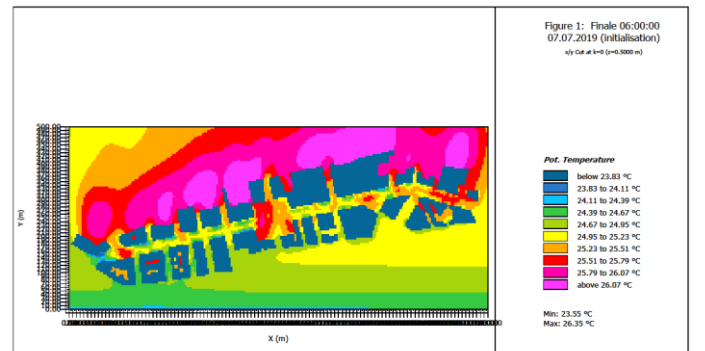
Figure 82. Graphe 07 variation des températures d'air S1/S2 de Z3

Graphe 07: Représente la variation des températures d'air dans les deux Simulation avec et sans végétations dans les trois zones de boulevard. La lecture de graphe détermine trois périodes, La 1ere période de 06.00h jusqu'à 08.00h on remarque que la température allant de 25,61C° et 27,10 C° de S1 ; 25.88 et 27,37 C° de S2, avec une différence l'égerment de 0.27C° Maximum entre S1 et S2. La 2ème période de 09.00h jusqu'à 15.00h on remarque une augmentation l'égerment de la température jusqu'à étendre ces valeur Maximal à 16.00h S1 36.28 C° et S2 36,89C°, avec une différence l'égerment 0.61 C° Maximum à 10.00h entre S1 et S2. La 3ème période entre 16.00h et 18.00h la température a augmenté jusqu'à la valeur maximum S1 34,95C° et S2 36.52C°, avec une différence importante dans cette période 1,87 C°.

4.3. Variation de température atmosphérique entre S1 et S2 :

Afin de montrer les différences entre les microclimats des deux simulations, on s'est basé sur la représentation cartographique des températures de l'air. Cette dernière reflète les différentes interactions entre la zone d'étude et l'atmosphère, autrement dit c'est la synthèse du bilan radiatif, énergétique, hydrique, et aérodynamique.

Les résultats sont présentés en plusieurs période avec un intervalle de deux heures. On va suivre la même logique pour la présentation des résultats dans la même heure le boulevard avec végétation la 1^{er} et sans végétation la suite.



A 6.00h dans cette période on remarque que la température d'air qui varie entre S1 (23.55 et 26.35 °C) ; S2 (24.35 et 26.43).

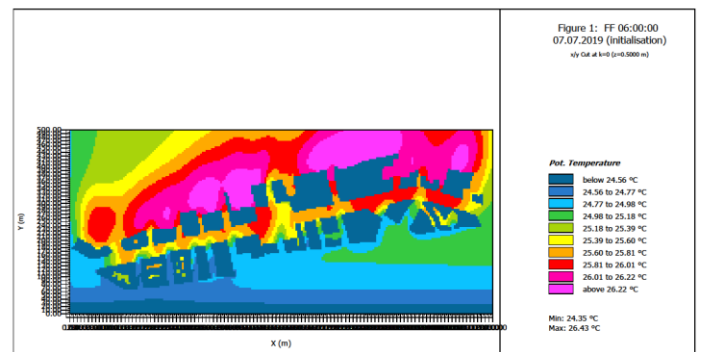
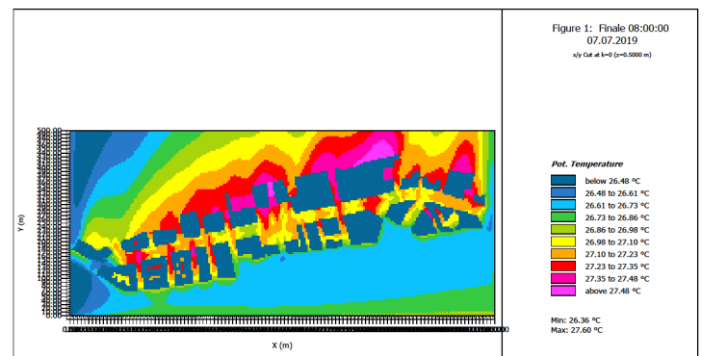


Figure 83 : Pot température a 06.00h



A 8.00h dans cette période on remarque que la température d'air qui varie entre S1 (26.36 et 27.60 °C) ; S2 (26.37 et 27.59).

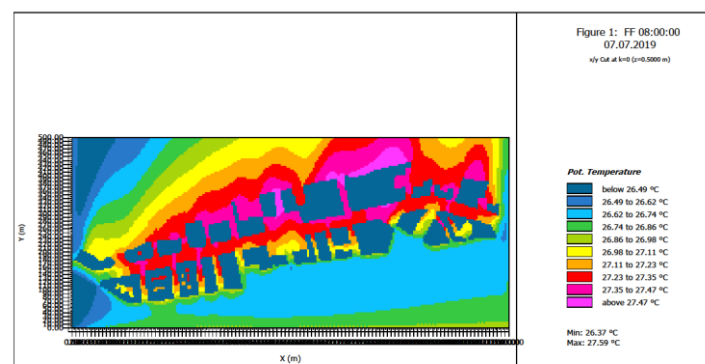
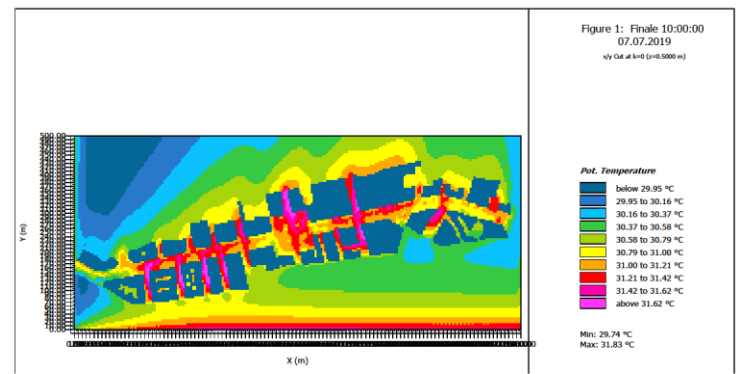


Figure 84 : Pot température a 08.00h



A 10.00h dans cette période on remarque que la température d'air qui varie entre S1 (29.74 et 31.83 °C) ; S2 (29.76 et 31.88).

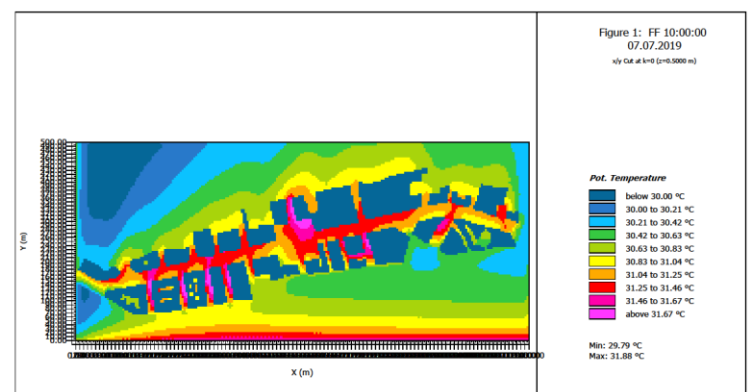
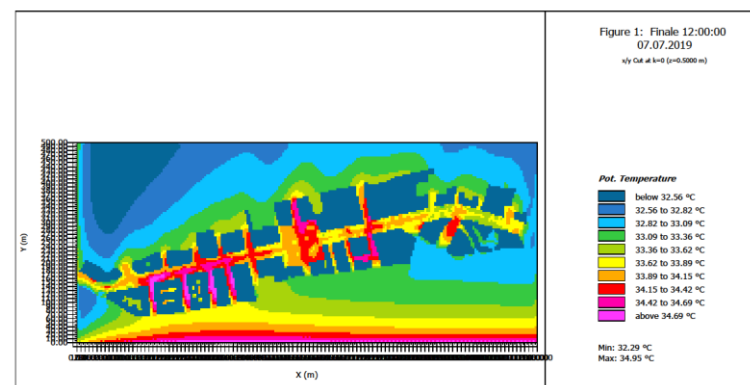


Figure 85 : Pot température a 10.00h



A 12.00h dans cette période on remarque que la température d'air qui varie entre S1 (32.29 et 34.95 °C) ; S2 (32.38 et 35.04).

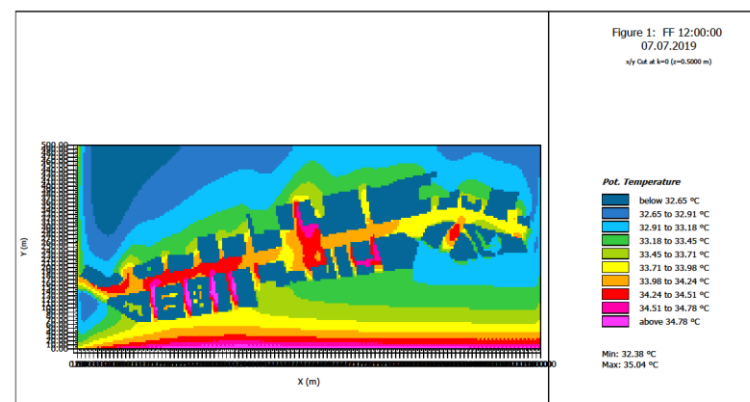
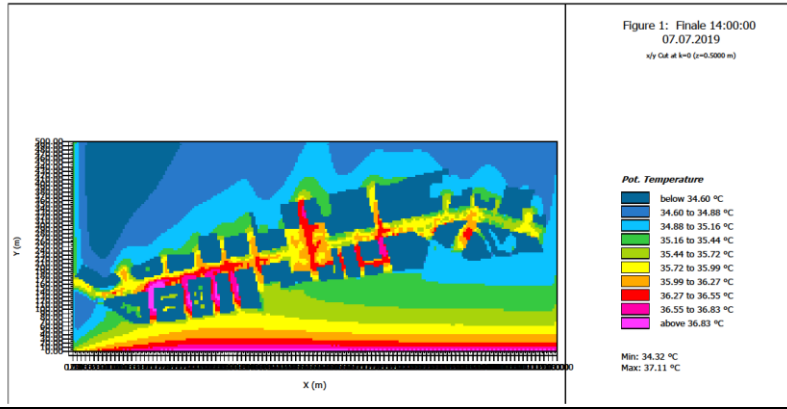


Figure 86 : Pot température a 12.00h



A 14.00h dans cette période on remarque que la température d'air qui varie entre S1 (29.74 et 31.83 °C) ; S2 (29.76 et 31.88).

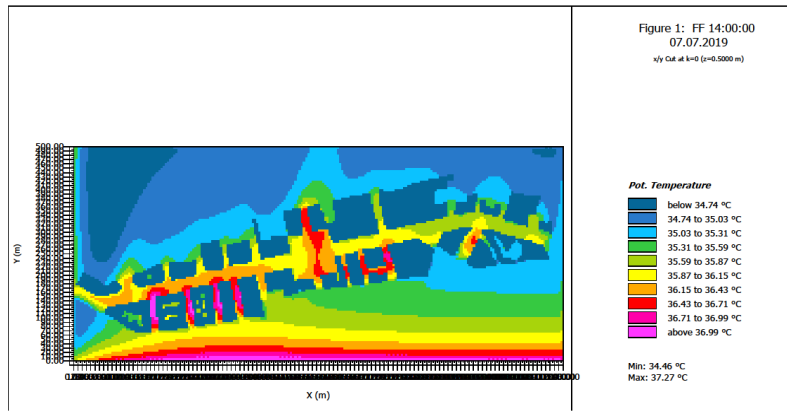
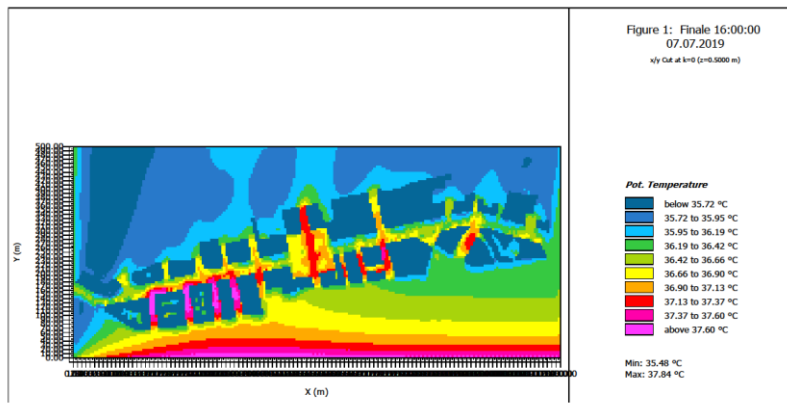


Figure 87 : Pot température a 14.00h



A 16.00h dans cette période on remarque que la température d'air qui varie entre S1 (35.48 et 37.84 °C) ; S2 (35.74 et 37.91).

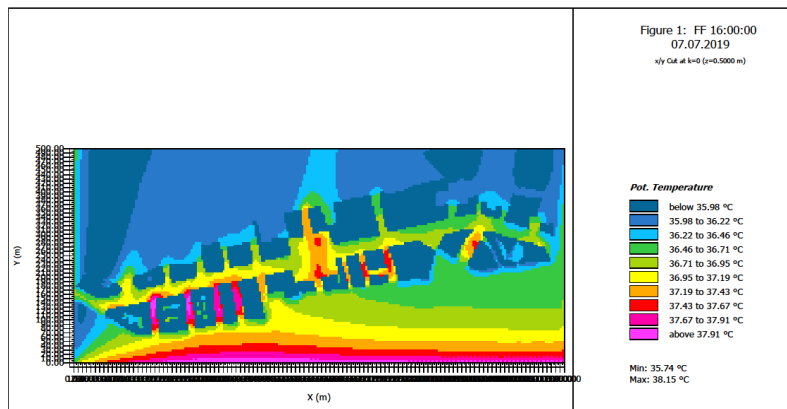
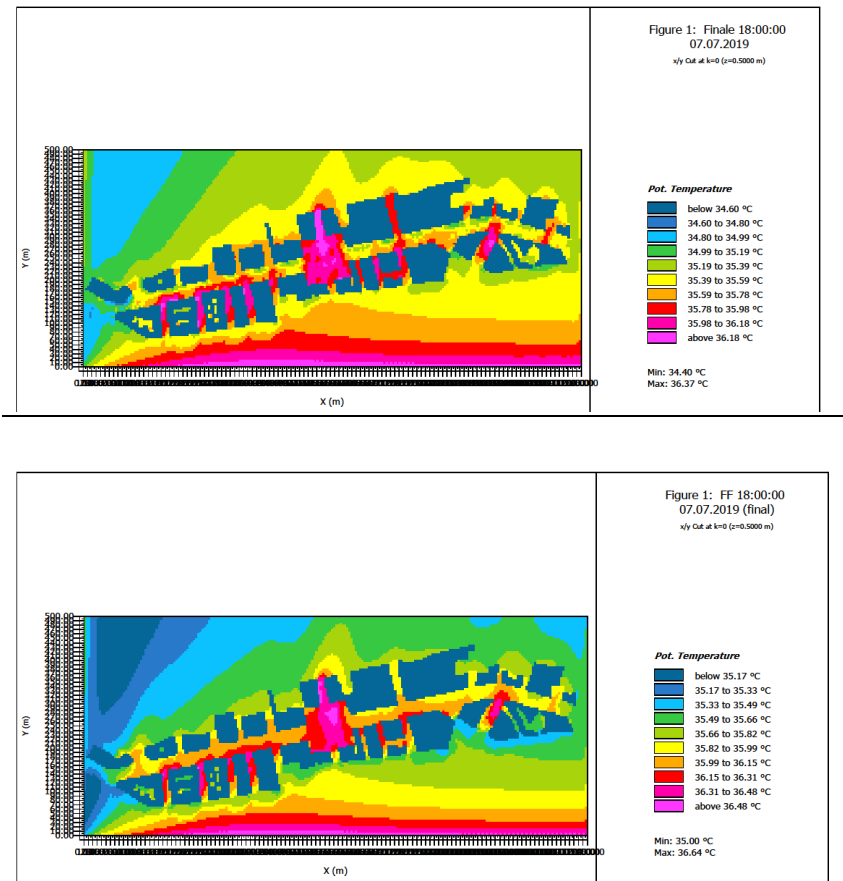


Figure 88 : Pot température a 16.00h



A 18.00h dans cette période on remarque que la température d'air qui varie entre S1 (34.40 et 36.37 °C) ; S2 (35.00 et 36.04).

Figure 89 : Pot température a 18.00h

Conclusion général

L'un des éléments environnementaux les plus importants est l'espace public urbain. Il est considéré comme un élément essentiel de la formation urbaine. Lorsque il est affecté par le microclimat ainsi que par les conditions de confort actuel, la température de l'air ambiant, la température de la surface et l'humidité, ainsi que la vitesse du vent pouvant être modérée. Cela dépend également des matériaux de construction utilisés, l'ingénierie et des éléments naturels tels que la surface de l'eau et la végétation. Ce travail tend à souligner le rôle de la végétation dans la réduction de la température élevée produite dans les espaces publics urbains au cours de la période estivale.

Le cas d'étude est un boulevard situé en plein centre d'Alger. Il se présente sous forme d'une rue alignée par des arbres dont répartis le long de cette rue en fonction du positionnement des magasins au niveau du rez-de-chaussée.

L'objectif de la présente étude est d'explorer l'influence de la végétation sur le microclimat dans le boulevard de Larbi Ben M'hidi où on a appliqué la simulation de deux cas (avec végétation mais avec une variation de la densité et dans le cas sans végétation).

L'investigation du microclimat au sein du boulevard a révélé que les zones denses en végétation présentent en général un effet de rafraîchissement important. Ce dernier varie d'une zone à l'autre et dépend des conditions d'ombre, de la densité de la végétation, du facteur d'ouverture au ciel (SVF), de la nature du sol et de la disponibilité en eau de surface.

On conclut que Le microclimat urbain varie selon les caractéristiques physiques des situations et des formes de chaque élément du paysage urbain et des conditions climatiques de la région concernée. « Soleil, la verdure et l'espace sont les trois matériaux de l'urbanisme..... ».

Le microclimat urbain change non seulement à cause de la végétation, il y a plusieurs paramètres l'influents directement .

- Le manque total de végétation et des plans d'eau.
- Les activités anthropiques sont intenses (trafic routier, climatisation domestique.....etc.)
- Matériaux de constructions utilisées en ville favorisent énormément la restitution de la chaleur la nuit après son stockage le jour.
- L'albédo important de l'asphalte (=0.05) couvrant les chaussées, fait augmenter la température de l'air.

Dans les futures études de considérer les interactions entre différents phénomènes, qui conduisent à penser les scénarios de verdissement urbain en termes de compromis : par exemple, comment assurer un rafraîchissement de l'air urbain par la végétation sans émettre une trop grande quantité de COVB qui pourrait entraîner une augmentation de la teneur en ozone ? Ou encore comment favoriser l'ombrage des rues sans restreindre trop fortement leur ventilation ? Comment favoriser la végétation urbaine sans conduire à une consommation d'eau qui pourrait s'avérer problématique dans un éventuel contexte de restriction ? Ces questions demandent de toute évidence une approche transdisciplinaire de la végétalisation des villes car elles débordent largement du strict cadre du microclimat et de la qualité de l'air : la végétation exerce aussi des effets avérés, non abordés dans ce chapitre, sur la propagation du bruit, l'infiltration de l'eau et le ruissellement, l'érosion du sol, la biodiversité ; et elle remplit des fonctions plus subjectives liés à l'esthétique, au bien-être du citoyen, au lien social que peuvent favoriser les espaces verts, etc. C'est bien l'ensemble des services écosystémiques que la végétation urbaine procure aux êtres humains qu'il faudra prendre en compte dès lors que l'on voudra imaginer et mettre en place des schémas de verdissement.

Bibliographie

(Bruse, 1999. «www.envi-met.com/). (Bruse, 2004 ; Ali-Toudert 2005 ; Yu et Hien 2006).»

2004- 2006- 2005.

(Nicholson, Hotchkiss. 1975, 1973.

«cnrm-game-meteo.fr/surfex/.» s.d.

.Smith, F.E. s.d.

[Ali-Toudert. 2005.

[Bruse. 2004.

«[Hoffmann .» 1994.

1991, Monteith et al. 1991.

Abdelkrim., ZOUZOU. «Solutions hybrides pour maintenir le Confort Thermique et Visuel.

Université.» s.d.

ABDOU., Samira LOUAFI BELLARA. Saliha. «Effet de l’ombrage sur le confort

thermique et visuel.» s.d.

Akbari, Hashem. 2000.

Akbari, Hashem. 2000.

Al, Bertrand et. 1984.

Al, Gagge. 1986.

al, Sacré et, et Sacré et al. «Sacré et al.» 1994.

al, Winslow et. 1936.

al., Monteith et. «1991.» s.d.

Amphoux. «« La notion de motif, un outil d’analyse et de projection des rapports entre urbanisation et naturation dans les territoires suburbains », Tra-cés, 6, pp. 12-15.»

2009.

«An evaluation of heat mitigation measures at the micro-scale. Urban For. Urban Green. ,

20, 305–316.» 2016.

«Architecture durable et végétal.» s.d.

Atik. 2011.

Badariotti, Dominique. «Le renouvellement urbain en France : du traitement morphologique à l'intervention sociale.» france: hal , 22 12 2006.

Baruch, GIVONI. « L'homme, l'architecture et le climat.» paris, 1975.

Baruch, GIVONI. *L'homme, l'architecture et le climat.* paris: moniteur, 1978.

BEN-HAMOUCHE, MUSTAPHA. *L'ARCHITECTURE ET L'URBANISME DU MAGHREB AUX XIX-XX SIECLES cas d'Alger (1800-2000).* Alger: Offices des Publications Unuversitaires, 2018.

BENZERZOUR, M. (2004).

BOUYER J. «Modélisation et simulation des microclimats urbains, Étude de l'impact de l'aménagement urbain sur les consommations énergétiques des bâtiments. Thèse de doctorat, école doctorale de Nantes, science de l'ingénieur, Géosciences, Architecte.» 2009.

BRIDGE, Nicole. *Architecture 101 : From Frank Gehry to Ziggurats, an Essential Guide to Building Styles and Materials.* Holbrook, MA, Etats Unis: Adams Media Corporation, 2015.

canvas.V. «"L'homme dans son environnement climatique : facteurs d'influence, thermorégulation, sensibilité et confort thermiques". In : "Habitat, confort et énergie". Actes de la 13e Journée du CUEPE.» 22 mai 2003.

caue60. «amenagement-paysager/vous-plantiez/les-arbres-dalignement.» s.d.

Chemillier. 1986.

Chemillier d'après Vinet Jérôme. «Contribution à la modélisation thermo-aéraulique du microclimat urbain. Caractérisation de l'impact de l'eau et de la végétation sur les conditions de confort en espaces extérieurs, thèse de doctorat, 2000. P : 105.» 2000.

Chevillier d'après Vinet Jérôme. «Contribution à la modélisation thermo-aéraulique du microclimat urbain.» s.d.

CHOAY, François. *Dictionnaire de L urbanisme et de L aménagement.* PARIS: Presses Universitaires de FRANCE, 1988.

Choisnel. s.d.

CHRLOT-VALADIO. *Développement Durable et Rnouvellement Urbain*. PARIS: & Outherquin, 2006.

«Consolidation et requalification unrbaines .» *Collectivites viables*. mercredi fevirier 2019.
http://collectivitesviables.org/articles/consolidation-et_requalification-urbaines.aspx.

Coombes. 1993.

Daures, Jean-François. s.d.

Daures., Jean-François. « Architecture végétal. P20.» s.d.

De Herde, André. Liébard, Alain. s.d.

DELUZ, J.J. *L'URBANISME ET L'ARCHITECTURE D'ALGER Aperçu critique* . ALGER: Office des Publications Universitaires , 1988.

Dousset et coll., 2011. «(Dousset et coll., 2011).» Paris, août 2003.

Drénou, Christophe. « ingénieur à l'Institut pour le Développement Forestier, .» 1999.

E, BOZONNET. « Impact des microclimats urbains sur la demande énergétique des bâtiments, cas de la rue canyon, Thèse de doctorat université de.» 2005.

E, BOZONNET. «impact des microclimats urbains sur la demande énergétique des bâtiments, cas de la rue canyon, Thèse de doctorat université de.» 2005.

Escourou. 1981.

fanger. s.d.

Fanger. s.d.

FrançoisChoay, Pierre Merlin. *Dictionnaire de L'urbanisme et de L'aménagement*. paris: Pressses Universitaires de France, 1988.

Gandemer. 1981.

Gelgon, archer et. s.d.

GIVONI, Baruch. «L'homme, l'architecture et le climat.» paris, 1975.

- Givoni., B. «l'homme l'architecture et le climat, B. Givoni. P .98. Traduction de J.L.Izard.» s.d.
- Givoni., B. «l'homme l'architecture et le climat, i.P112 Traduction de J.L.Izard.» s.d.
- Groleau et al. 2003.
- Groleau et al. 2003.
- «Guide technique de la diffusion d'air.» 2006.
- Hatch, Belding &. 1955.
- Intyre, Mc. 1980.
- Ip K., Lam M., Miller A. « Shading performance of a vertical deciduous climbing plant canopy, Building and Environment, Volume 45, Issue 1, p.81-88.» 2010.
- ISO. «Ambiances thermiques modérées – Détermination des indices PMV et PPD etspécification des conditions de confort » AFNOR, Paris. 1994 l'European Passive Solar Handbook. cite in.» s.d.
- Iturra, Esteban Emilio Montenegro. «« Impact de la configuration des bâtiments scolaires sur leur performance.» s.d.
- J, BOUYER. «Modélisation et simulation des microclimats urbains, Étude de l'impact de l'aménagement urbain sur les consommations énergétiques des bâtiments. Thèse de doctorat, école doctorale de Nantes, science de l'ingénieur, Géosciences, Architect.» 2009.
- J.P, Martinet.C et Meyer. s.d.
- Jaquier, Anaïs. *Le renouvellement urbain d'un quartier existant de la ville d'Yverdon-les-Bains*. Enoncé théorique de Master en Architecture, Lausanne: Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2018.
- Jérôme, Vinet. «Chemillier , Contribution à la modélisation thermo-aéraulique du microclimat urbain. Caractérisation de l'impact de l'eau et de la végétation sur les conditions de confort en espaces extérieurs, thèse de doctorat, 2000. P : 105.» 2000.
- Jones, Alexandrii E. et. «Temperature decreases in an urban canyon.» 2008.
- «Kaplan et al. (1989) ; Lambin 2009 ; Kuo (2001) .» 1989-2001.

- KARIMA, BENHALILOU. «impact de la végétation grimpante sur le confort hygrothermique estival du bâtiment cas du climat semi-aride. Université MENTOURI CONSTANTINE. P84.» s.d.
- Kiefer, (Plate et. «2001.» s.d.
- Larue. 1996.
- Larue. 1996.
- Larue. 1996.
- «le Moniteur.» 2009.
- LESPEL, René. *ALGER Etude de géographie et d'histoire urbaine*. Paris: Librairie Felix ALCAN, 1931.
- LESPEL, RENE. *ALGER Etude de Géographie et d'Histoire urbaines*. PARIS: F.PAILLART, 1930.
- Liébard, A et De Herde. « Le Moniteur Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques.» paris, 2005.
- LIEBARD, A. & DE HERDE, A. 2005.
- lumineuse, thermique et énergétique*. Thèse de doctorat Faculté des études supérieures de l'Université Laval., s.d.
- «Mc Intyre.» 1980.
- «Mc Intyre.» 1980.
- Millanoye.M. 2002.
- Missenard. 1959.
- Moniteur, le. 2009.
- Moujalled, B. « « Modélisation dynamique du confort thermique ». Thèse de doctorat présentée à l'institut des sciences appliquées .» LYON, 2007.
- Nicholson. 1975.
- Olgyay, Givoni. s.d.

«Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs, Environmental Pollution, 159, Issues 8–9, p. 2119-2126.» s.d.

Rogers. 2000.

Saidouni, Maouia. *Eléments d'introduction a l'urbanisme Histoire, methodologie, réglomentation*. Alger: CASBAH Edition, 2000.

SAIDOUNI, Maouia. *Elments d'introduction à l'urbanisme Histoire, Methodologie, Réglementation*. ALGER: CASBAH Edition, 2000.

Selon (Atik. 2011.

Stefulesco. 1993.

Susca T., Gafn S.R., Dell’Osso G.R. «Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs, Environmental Pollution, 159, Issues 8–9, p. 2119-2126.» 2001.

THELLIER, FRANÇOISE. « L’HOMME ET SON ENVIRONNEMENT THERMIQUE – MODELISATION .» TOULOUSE, 1999.

Toudert, ali. 2001.

Urbvent Allard et Ghiaus. 2004.

Vinet. 2000.

«Vinet Jérôme .» s.d.

«Vogt J.J, 1985 cités par Martinet C. & Meyer J.P.,» 1999.

«www.cnrm-game-meteo.fr/surfex/.» s.d.

«www.meteoblue.com/fr/meteo/semaine/alger_alg.» s.d.

«[www.meteoblue.com/fr/meteo/semaine/alger_alg% c3% a9rie_2507480](http://www.meteoblue.com/fr/meteo/semaine/alger_alg%c3%a9rie_2507480).» s.d.

Yorke, Trevor. *Art Deco House Styles*. Countryside Books, 2011.

Zölch, T., J. Maderspacher, et Wamsler. « Using green infrastructure for urban climate-proofing:.» s.d.

L’homme l’architecture et le climat, B. Givoni.P112 Traduction de J.L.Izard.

Chapitre 2

Amphoux, P. (2009) « La notion de motif, un outil d'analyse et de projection des rapports entre urbanisation et naturation dans les territoires suburbains », Tra-cés, 6, pp. 12-15.

Kaplan et al. (1989) ; Lambin 2009 ; Kuo (2001) ;

Alexandrii E. et Jones P. (2008). Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates, Building and Environment, 43, Issue 4, p. 480-493

Christophe Drénou, ingénieur à l'Institut pour le Développement Forestier, 1999

Ip K., Lam M., Miller A. (2010). Shading performance of a vertical deciduous climbing plant canopy, Building and Environment, Volume 45, Issue 1, p.81-88

- Jean-François Daures. Architecture végétal. P20

- ZOUZOU Abdelkrim. Solutions hybrides pour maintenir le Confort Thermique et Visuel. Université

KASDI MERBAH OUARGLA.08/06/2015.

-J.L.Larcher et T. Gelgon, « Aménagement des espaces verts urbains et du paysage rural», 3^eéd.

- Présenté par : Melle BENHALILOU KARIMA. Impact de la végétation grimpante sur le confort hygrothermique estival du bâtiment cas du climat semi-aride. Université MENTOURI CONSTANTINE. P84

Architecture durable et végétal

Susca T., Gafn S.R., Dell'Osso G.R. (2011). Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs, Environmental Pollution, 159, Issues 8–9, p. 2119-2126

Samira LOUAFI BELLARA. Saliha ABDYOU. Effet de l'ombrage sur le confort thermique et visuel dans les espaces extérieurs : cas de l'esplanade de l'Université Mentouri de Constantine, Est de l'Algérie. p27

<https://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre4/chapitre4.html>

BOUYER J., (2009). Modélisation et simulation des microclimats urbains, Étude de l'impact de l'aménagement urbain sur les consommations énergétiques des bâtiments. Thèse de doctorat, école doctorale de Nantes, science de l'ingénieur, Géosciences, Architectural.

- BOZONNET E., (2005). Impact des microclimats urbains sur la demande énergétique des bâtiments, cas de la rue canyon, Thèse de doctorat université de

LA ROCHELLE, Spécialité génie civil.

Ch Ballinas, M.; Barradas, V.L. Transpiration and stomatal conductance as potential mechanisms to mitigate the

heat. Bowler, D.E.; Buyungali, L.M.; Knight, T.M.; Pullin, A.S. Urban greening to cool towns and cities:

A systematic review of the empirical evidence. *Landsc. Urban Plan.* 2010, 97, 147–155.

[CrossRef] apitre

Chatzidimitriou, A.; Axarli, K. Street canyon geometry effects on microclimate and comfort: A case study in

thessaloniki. *Procedia Environ. Sci.* **2017**, 38, 643–650. [CrossRef]

Streiling, S.; Matzarakis, A. Influence of single and small clusters of trees on the bioclimate of a city: A case

study. *J. Arboric.* **2003**, 29, 309–316.. Konarska, J.; Uddling, J.; Holmer, B.; Lutz, M.;

Lindberg, F.; Pleijel, H.; Thorsson, S. Transpiration of urban

trees and its cooling effect in a high latitude city. *Int. J. Biometeorol.* **2016**, 60, 159–172.

[CrossRef] [PubMed]

Huang, Y.J.; Akbari, H.; Taha, H.; Rosenfeld, A.H. The potential of vegetation in reducing summer cooling

loads in residential buildings. *J. Appl. Meteorol.* **2010**, 26, 1103–1116. [CrossRef]. Kotzen,

B. An investigation of shade under six different tree species of the Negev desert towards their

potential use for enhancing micro-climatic conditions in landscape architectural development. *J. Arid Environ.*

2003, 55, 231–274. [CrossRef]

Marti-Ibanez, F. On the development of an urban passive thermal comfort system in Cairo, Egypt.

Build. Environ. **2009**, 44, 1907–1916.. Morakinyo, T.E.; Kong, L.; Lau, K.L.; Yuan, C.; Ng,

E. A study on the impact of shadow-cast and tree species

on in-canyon and neighborhood's thermal comfort. *Build. Environ.* **2017**, 115, 1–17.

[CrossRef]. Zölch, T.; Maderspacher, J.; Wamsler, C.; Pauleit, S. Using green infrastructure for urban climate-proofing:

An evaluation of heat mitigation measures at the micro-scale. *Urban For. Urban Green.* **2016**, 20, 305–316.

[CrossRef]

Liste des figures :

N° de la figure	Titre
Chapitre 1	
Figure 1	Valeurs exprimées en Clo des tenues vestimentaires.....12
Figure 2	Production de chaleur en fonction de l'activité.....15
Figure 3	Le métabolisme humain.....15
Figure 4	L'interaction thermique entre le corps humain et son environnement..... 17
Figure 5	Asymétrie de la température rayonnante et insatisfaction..... 18
Figure 6	Asymétrie de la température rayonnante et insatisfaction..... 19
Figure 7	Asymétrie de la température rayonnante et insatisfaction..... 22
Figure 8	Effet de la température du sol.....24
Figure 9	La température opérative idéale en fonction.....26
Figure 10	Détermination du pourcentage prévisible l'insatisfaits.....29
Figure 11	De la modélisation météorologique à la modélisation microclimatique.....31
Figure 12	De la modélisation météorologique à la modélisation microclimatique.....31
Figure 13	Schématisation du modèle de vent dans la rue.....32
Figure 14	Zones de confort selon le diagramme bioclimatique de Givoni.....35
Figure 15	Diagramme de l'indice de la température Résultante.....36
Figure 16	mesure du taux de sudation sous l'exposition au rayonnement solaire.....36
Chapitre 2	
Figure 17	Mécanismes d'interactions entre les plantes et les polluants.....39
Figure 18	Ports d'arbre en ville41
Figure 19	Modification de l'espace grâce à l'espacement entre les.....42
Figure 20	Taille architecturée, en rideau, à Chantilly.....42
Figure 21	Les incidences du micro-climat et de la pollution.....46
Figure 22	Bilan d'énergie appliqué à la surface urbain48
Figure 23	Bilan d'énergie sur une scène végétale.....50
Figure 24	La photosynthèse et la circulation de la sève élaborée.....51
Figure 25	Influence d'un arbre seul sur son environnement54
Figure 26	Influence des arbres d'alignement dans une rue canyon56
Figure 27	Influence des arbres d'alignement sur le confort dans la rue.....56
Figure 28	Les parties végétalisées de Paris ont une température.....58
Figure 29	Arbres d'alignement à Paris (boulevard de Rochechouart et boulevard59
Figure 30	Arbre des villes, arbre des champs, conditions.....61
Figure 31	Les arbre d'alignement ; L'Hôtel Villa Alessandra est idéalement.....62
Figure 32	Un projet de ville.....63
Figure 33	
Chapitre 3	
Figure 34	Alger et ses communes.....66
Figure 35	Diagramme de températures et humidité d'Alger centre de 2018.....67
Figure 36	Diagramme de températures et humidité d'Alger centre de 2019.....68
Figure 37	Diagramme de températures moyenne d'Alger centre de 30 dernières68

Figure 38	Diagramme de moyenne d'ensoleillement d'Alger centre de 30 dernières...68
Figure 39	Diagramme de précipitations d'Alger centre de 2018.....69
Figure 40	Diagramme de précipitations d'Alger centre de 2019.....69
Figure 41	Diagramme de précipitations moyenne d'Alger centre de 30 dernières an...69
Figure 42	Diagramme de quantité de précipitations d'Alger centre de 30 dernières ...69
Figure 43	Diagramme des vents d'Alger centre de 2019.....70
Figure 44	Rose des vents.....70
Figure 45	Diagramme de vitesse des vents.....70
Figure 46	Boulevard larbi ben mhidi71
Figure 47	Situation du boulevard ; google maps.....71
Figure 48	Carte d'Alger SAT 2015 Modifier par Auteur.....71
Figure 49	Situation du boulevard ; google maps.....72
Figure 50	Cadre bâti du boulevard.....72
Figure 51	Graphe, réalisé par l'auteur.....73
Figure 52	Graphe, réalisé par l'auteur.....73
Figure 53	Place El Amir Ahdelkader Source prise par Auteur.....75
Figure 54	Boulevard Larbi Ben Mhidi75
Figure 55	Analyse de la végétation du boulevard ; source ENVI met traité par76
Figure 56	Photo du Z1 : prise par l'auteur.....76
Figure 57	Photo représente les mesures entre l'arbre.....77
Figure 58	La forme des arbres ; photo prise par l'auteur.....77
Figure 59	La forme des arbres ; photo prise par l'auteur.....77
Figure 60	Place El Emir Z2 : photo prise par l'auteur.....77
Figure 61	La diminution de la densité des arbre Z3. Photo prise par l'auteur.....78
Figure 62	La male distribution des arbres : photo prise par l'auteur.....78
Figure 63	la male distribution des arbres : photo prise par l'auteur.....78
Chapitre 4	
Figure 64	Les interactions calculées par Envi-met,.....84
Figure 65	Interfaces du logiciel.....86
Figure 66	Image du terrain format BMP.....86
Figure 67	La création de la zone dans le fichier éditeur, traité par auteur87
Figure 68	La modélisation de la végétation88
Figure 69	La zone sans végétation.....88
Figure 70	La zone avec végétation.....88
Figure 71	Donnée de base de la végétation.....89
Figure 72	Donnée de base de sole.....89
Figure 73	Fichier de configuration.....90
Figure 74	Les donnée météorologique 07/07/2019... ..92
Figure 75	Ressources matérielles mis en place pour les simulations.....93
Figure 76	Graphe 01. Résultants PMV S1 95
Figure 77	Graphe 02. Résultants PDD S1..... 95
Figure 78	Graphe 03. Résultants PMV S2 96
Figure 79	Graphe 04. Résultants PDD S2 97
Figure 80	Graphe 05 variation des températures d'air S1/S2 de Z199
Figure 81	Graphe 06 variation des températures d'air S1/S2 de Z2 100
Figure 82	Graphe 07 variation des températures d'air S1/S2 de Z3 100
Figure 83	Pot température a 06.00h101
Figure 84	Pot température a 08.00h101
Figure 85	Pot température a 10.00h102
Figure 86	Pot température a 12.00h102
Figure 87	Pot température a 14.00h103
Figure 88	Pot température a 16.00h103
Figure 89	Pot température a 18.00h104

Listes des tableaux :

N° du tableau	Titre
Chapitre 1	
Tableau 1	Paramètre influent sur le confort thermique12
Tableau 2	Isolement thermique du aux vêtements. Source : Guide technique de la14
Tableau 3	Production de chaleur en fonction de l'activité.18
Tableau 4	Les seuils de bien-être thermique. 18
Tableau 5	Correspondance entre SET sensation et état physiologique28
Tableau 6	Correspondances entre PMV et échelle des sensations thermiques 28
Tableau 7	Effet de la température du sol.....20
Tableau 8	Coefficients Indice de contrainte thermique.....34
Tableau 9	Détermination du pourcentage prévisible l'insatisfaits.....26
Chapitre 2	
Tableau10	Relations urbanisme-végétation.....44
Tableau 11	Variations de certains termes du bilan radiatif.....49
Chapitre 3	
Tableau 12	Donnés du relevé urbain et l'enquête sur terrain, réalisé par l'auteur.....73
Tableau 13	analyse du Commerce et service du boulevard larbi ben mhidi.....73
Chapitre 4	
Tableau 14	Interfaces du logiciel.....84
Tableau 15	Les commande de l'envi met.....86
Tableau 16	type de paysage.....92
Tableau 17	Définitions selon l'Atlas éolien européen.....93
Tableau 15	Akbari et Al 1982. Atik 2011.....93