



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université Ziane Achour –Djelfa
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de sciences de la Terre et de l'univers

Mémoire de fin d'étude

**Pour L'obtention Du Diplôme D'e Master En Géographie
Et Aménagement Du Territoire
Option : Villes, Dynamique Spatiale Et Gestion**

Etude de phénomène d'ilot de chaleur en milieu
urbain (ICU) et confort thermique
(Étude de cas Messaad)

Réalisé par :kezrane ahmed

Promoteur : kherfane noureddine

Président de jury :

Examineurs :

2020/2021

Remerciement

*je voudrais remercier avant tout Mon Dieu Allah de
m'avoir donné le courage et la volonté de mener à bien ce
travail.*

*Je remercie également ma famille qui m'a encouragé tout au long de
mes études, de même que mon entourage proche et mes amis.*

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail :

À mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

À mes chères

À tout, mes amis,

Pour tous les merveilleux souvenirs que nous avons partagés

Ensembles ;

Et enfin, un grand merci à tous ceux et celles qui m'ont aidé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Sommaire

Remerciement	
DEDICACE	
Liste des abréviations	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des Graphes	
Liste des Cartes	
Introduction générale	
Problématique	
Chapitre I : cadre théorique	
Introduction	3
1. L'îlot de chaleur urbain : formation et adaptation	4
1.1. Description du phénomène	4
1.1.1. La couche limite atmosphérique urbaine.....	4
1.1.2. Définition de l'îlot de chaleur urbain	5
1.2. Historique d'ICU.....	6
1,3 Les causes de l'îlot de chaleur urbain.....	7
1.4. Conséquences de l'îlot de chaleur urbain.....	10
2. L'îlot de fraîcheur urbain	11
2.1. Définition de l'îlot de fraîcheur urbain	11
3. Microclimat	12
4. Les matériaux de construction durables	12
5. Confort thermique	13
6. Parc urbain écologique	14
7. Détente et loisirs	15
8. Commerce	15
9. Relation loisirs / commerce	16
10 Les conditions des îlots de chaleur urbains	16
10.1 Les facteurs naturels	16
10.2. Les facteurs anthropiques	17
11. La détection des îlots de chaleur urbains	19
conclusion.....	30
chapiter 02 Diagnostiquer l'Ilot de chaleur urbain	31
1. Présentation de la zone d'étude	31
1.1. Situation Géographique et administrative de la commune de Messaad	Error! Bookmark not defined.

2. Analyse du milieu physique	33
3. Etude climatique	43
4. Evolution de la population	47
5. L'emploi	51
6. La structure urbaine.....	55
7. Les équipements urbains	60
8. Les caractéristiques du cadre non bâti	67
9. Mesures de l'îlot de chaleur urbain de surface	69
10. Mesures mobiles	70
Chapiter 03 méthodes d'évaluer l'îlot de chaleur urbain	71
introduction	72
1. méthodes d'évaluer l'îlot de chaleur urbain	73
1.1. Calcul en fonction de la taille de la ville	73
1.1.1. Modèles à l'échelle de la ville	73
1.2. A l'aide de mesures de température de surface : satellitaire et locale	74
1.3. Température de l'air	74
1.4. L'indice « UTCI » (Universal thermal climate index)	75
2. Les échanges radiatifs	76
3. Rayonnement solaire	77
4. Oke	78
5. Morphologie urbaine et taille des villes	79
6. Le terme de stockage de la chaleur	81
7. Impact de la densité urbaine	81
8. Occlusivité	87
9. Définition de la télédétection	98
10 Les indices	99
11. Google earthengine (GEE)	103
12. Système d'information géographique (SIG).....	108
Chapiter 04 cartographier l'îlot de chaleur urbain	110
introduction.....	111
1. localisation des réseau de stations météorologiques à Massaad	112
conclusion	144
Chapiter 05 propositions	145
1. Intérêts de la végétalisation et bénéfices environnementaux	146
2. la végétation comme régulateur thermique en milieu urbain	148
3. Amélioration du confort thermique par la végétation	151
4. Plantation ponctuelle d'arbres et de végétation	152
5.Végétalisation des stationnements:	153

6. Végétalisation du pourtour des bâtiments	153
7. Murs végétaux:	154
8. Toits verts	155
Conclusion générale	158
Références bibliographiques.....	160
Résumé.....	166
ملخص	168

Liste des tableaux

Tableau N°01: répartition des pentes dans la commune de MESSAAD	38
Tableau N °02: hydrogéologie de la ville de Messaad	42
Tableau N°03: Plans d'occupation des sols de la ville de Messaad	43
Tableau N°04: les variations mensuelles des pluviométries dans la commune de Messaad entre (1981-2018)	44
Tableau N°05 les températures moyennes mensuelles en (°C) de la commune de messaad	44
Tableau N°06: Variation mensuelles des vents dans la commune de Messaad Entre (1981-2018)	46
Tableau N°07: Evolution de la population de la ville de Messaad	47
Tableau N°08: La population aux différents horizons	49
Tableau N°09: Répartition de la population par tranche d'âge et par sexe	49
Tableau N°10: Répartition de la population par grandes tranches d'âges	50
Tableau N°11: Répartition de la population active et non active de la ville Messaad (2008)	52
Tableau N°12: Répartition de la population occupée par branche d'activité (2017)	53
Tableau n°13: L'évolution du nombre de logements selon les modes d'habitat de la ville de Messaad	56
Tableau N°14: L'évolution de taux d'occupation par logement (TOL) de la Ville de Messaad	58
Tableau N°15: Taux d'occupation des pièces du logement de la ville de Messaad	59
Tableau N°16: les équipements administratifs dans la ville de MESSAAD 2012	60
Tableau N°17: les équipements éducatifs dans la ville de Messaad 2019	61
Tableau N°18: les équipements scolaires dans la ville de Messaad 2019	62
Tableau N°19: les équipements secondaire dans la ville de Messaad 2019	62
Tableau N°20: les équipements sanitaires dans la ville de Messad 2019	64
Tableau N°21: les unités industrielles dans la ville de Messaad	65
Tableau N°22: les types de commerce dans la ville de Messaad	66
Tableau N°23: Etat de réseau de voirie dans la ville de Messaad en 2014	67
Tableau N°24: Réseaux des eaux potables de la ville	68
Tableau N°25: les réseaux d'assainissement de la ville	68
Tableau N°26: réseaux divers de la ville de Messaad	69
Tableau N°27: Comparaison des toits verts de types extensif et intensif	157
Tableau N°28: Il représente la relation entre l'élévation de température, son intensité, les dimensions et la forme de la rue	81

Liste des figures

Figure N°1 : Description de la couche limite atmosphérique (CLA) et de sa décomposition en couche limite rurale (CLR) et couche limite urbaine (CLU), elle-même décomposée en couche limite de surface (CLS), couche limite de canopée urbaine (CU) et couche de mélange.....	04
Figure N°2: Variation spatiale de la température de l'air le long d'une coupe transversale d'une zone urbanisée.....	05
Figure N°3: Évolution temporelle des températures de l'air en milieu rural et urbain observées dans l'agglomération toulousaine le 25 février 2005 pendant la campagne CAPITOUL.	06
Figure N°4: Comparaison des composantes du bilan d'énergie (rayonnement net, flux de chaleur sensible et latent, stockage de chaleur) pour un jour d'été moyen à Vancouver (British Columbia), en zone rurale (haut) et en zone péri-urbaine (bas). Dans la colonne de gauche sont tracés les cycles diurnes des flux et à droite leur valeurs agrégées sur les heures de jour.....	08
Figure N°5: Exemples de facteurs de vue du ciel (Sky View Factor donc SVF en anglais) pris avec un objectif fish-eye à Curitiba au Brésil.....	09
Figure N°6: Représentation schématique du phénomène de brise urbaine.	10
Figure N°7: diagramme bioclimatique de Givoni Software analysisys bio (source : UFSC 2011) Diagramme psychométrique pour définir les zones du confort thermique.....	14
Figure N°8: Urban Boundary Layer et Urban Canopy Layer.	17
Figure N°9: De gauche à droite : écoulement écumant, d'interférence et de rugosité.....	18
Figure N° 10: Plantes exotiques à Paris.....	19
Figure N° 11: Plantes exotiques à Paris (détail).....	19
Figure N° 12: Thermographie par satellite de la ville de New York. Source : NASA.....	21
Figure N°13: Front de mer à Durban (Afrique du Sud). Source : Wikipedia.....	22
Figure N°14: Hôpital de la ville Messaad.....	58
Figure N°15: Les indices.....	63
Figure N°16: GEE.....	67
Figure N°17: Collections d'images dans le GEE.....	68
Figure N°18: L'interface du programme GEE.....	68
Figure N°19: La collection des données climatiques en GEE.....	70
Figure N°20: Récepteurs (2), (5) et (8) dans le modèle ENVI-met.....	76
Figure N°21: Terre - Soleil [Mazria 1981].....	78
Figure N°22: Terre-Soleil-Saisons [Mazria 1981].....	78
Figure N°23: Représentation schématique des principales composantes de l'atmosphère urbaine. Source : Voogt, 2004.....	79
Figure N°24: Effet du piégeage radiatif en ville. (Source : Colombert, 2008).....	79

Figure N°25: Oke en 1988 est le premier à établir qu'il existe une relation entre la température et la géométrie du canyon urbain à travers le Facteur de Vue du Ciel (FVC). (Knodel. S.H,2012)	80
Figure N°26: Représentation du facteur de vue du ciel dans une rue canyon décrite par sa largeur (W) et les hauteurs des bâtiments l'encadrant (H1 et H2) (Source : Colombert.M, 2008)	80
Figure N°27: Divers albédos de la ville. Compris entre 0 et 1 (Source : http://www.notre-planete.info , 2015)	81
Figure N°28: Répartition des rues face au vent et sa direction	81
Figure N°29: Representation des echelles climatiques et atmospheriques, de l'echelle meso (a), a l'echelle locale (b) et micro (c) (OKE, 2006) cite par STOKA,S. (2011), pp16.....	85
Figure N°30: Profil de la circulation de l'air dans une rue canyon en fonction du rapport d'aspect H/W de la hauteur et de sa largeur : (a) écoulement à rugosité isolée, (b) un écoulement à interface de sillage, (c) écoulement rasant (Oke et Nakamura, 1988).....	85
Figure N°31: Profil d'un îlot de chaleur urbain (en Pic, plateau et vallee) et ses relations avec les parametres de surfaces (T.R.Oke, 1987).....	86
Figure N°32: Regime dit a rugosite isolee. OKE, T.R. (1978)	86
Figure N°33: Regime dit a interface de sillage. OKE, T.R. (1978).....	87
Figure N°34: Regime dit rasant. OKE, T.R. (1978)	87
Figure N°35: Regime d'ecoulement du vent, (b) influence de la geometrie du canyon (H/l) et Du batiment (L/l) sur l'ecoulement. (a) OKE, T.R. (1988). (b) HOSKER (1985).....	87
Figure N°36: Phenomene de peage dans un canyon urbain (Phenomene d'inter reflexion dans un canyon) GLOCKNER, S. (2000) et (Phenomene de reflexion dans un canyon) PERNOT, J.& COMPAGNON, R	88
Figure N°37: Comportements aérauliques dans une rue et rapports d'aspect [Sini <i>et al.</i> 1996] ...	94
Figure N°38: Ecoulements aérauliques obtenus avec le code CHENSI [Sini <i>et al.</i> 1996]	95
Figure N°39: Ecoulements aérauliques obtenus avec le code N3S [Vinet <i>et al.</i> 2000b]	95
Figure N°40: Sollicitations thermiques dans le canyon [Sini <i>et al.</i> 1996].....	96
Figure N°41: Îlot de chaleur de surface à Pyongyang et Beijing. Source : Tran et al. (2006).....	99
Figure N°42: réseau de stations météorologiques à Massaad	103
Figure N°43: Diagramme des services écosystémiques. Source : metrovancouver.org	136
Figure N°44: Gauche : comparaison de la température de l'air mesurée dans une cour semi fermée aménagée selon trois configurations différentes : herbe, herbe et toile tendue au sommet des bâtiments, herbe et arbres. Droite : différence de température entre ces configuration et le cas de référence (sol nu). Source : Shashua-Bar, David Pearlmutter et Evyatar Erell (2009)	138
Figure N°45: Comparaison des niveaux de sensation thermique (4=confortable, 5=chaud, 6=très chaud, 7=extrêmement chaud) évaluées dans une cour semi-fermée aménagée selon dif- férents	

aménagements : sol nu, herbe, sol nu et arbres, herbe et arbres. Source : Shashua- Bar, David
Pearlmutter et Evyatar Erell (2011)141

Figure N°46: Végétalisation du pourtour du bâtiment143

Figure N°47: Murs végétaux de façade 144

Figure N°48: Toits végétaux extensifs Source : Avec l’aimable autorisation de Léonard, 2009.
.....145

Liste des Graphes

Graphe N°01: classes des pentes	38
Graphe N°02: pluviométrie annuelle de Messaad entre (1981-2018)	44
Graphe N°03: Température moyenne mensuelle dans la commune de Messaad entre (1981-2018)	45
Graphe N°04: Rose de Vent	47
Graphe N°05: Evolution de la population de la ville de Messaad (1987-2019)	48
Graphe N°06: pyramide d'âge de la population dans la ville de Messaad	50
Graphe N°07: Répartition de la population occupée par branche D'activité économique	53
Graphe N°08: L'évolution du nombre de logements selon les modes d'habitat de la ville de Messaad (1987-2011)	56

Liste des Cartes

Carte N°1: situation géographique et administrative de la commune de Messaad	33
Carte N°2: géologie de la zone d'étude	34
Carte N°3: Altimétrie de la commune de Messaad	37
Carte N°4: la pente de la zone d'étude	39
Carte N°5: hydraulique de la zone d'étude	40
Carte N°6: Plans d'occupation des sols de la ville de Messaâd	42
Carte N°7: répartition de la population par district de l'agglomération chef-lieu de messaad	55
Carte N°8: la commune de Messaad	142

Introduction

La ville est un système complexe : les fonctions et les services qu'elle offre (se loger, travailler, se distraire) génèrent des flux de personnes, de marchandises, d'énergies, de déchets, d'eaux, d'informations... dont les volumes dépendent fortement de son organisation et de son aménagement (L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise d'Energie¹. Les milieux urbanisés modifient également de façon plus locale leurs caractéristiques climatiques du fait de la densité et des caractéristiques thermiques et notamment radiatives du tissu urbain (Colombert et Boudes 2012²).

Le changement climatique apparaît comme un des problèmes les plus inquiétants que connaît l'environnement de notre planète. A long terme, la rapidité et l'ampleur de ces changements peuvent avoir de nombreuses conséquences néfastes sur l'environnement à savoir : les inondations, les séismes, la sécheresse, ...etc.

La hausse constante de la température (observée et projetée) ainsi que la présence de périodes de températures extrêmes, en particulier en été, accentueront vraisemblablement un problème déjà connu: l'effet de l'îlot de chaleur urbain (ICU) (El Atari et Abou 2015³) qui fait référence à l'anomalie positive de température d'air existant entre le centre d'une agglomération et les zones non urbanisées alentours. Ce phénomène climatique entraîne de nombreuses conséquences sur l'environnement urbain dense en infrastructures et au couvert végétal limité (Leconte 2014⁴), qui, soumis à la radiation solaire, accumule de la chaleur et crée des conditions thermiques particulières.

Le défi majeur de l'urbanisme pour les prochaines décennies, est de trouver un compromis entre un développement inévitable des villes et un environnement urbain de grande qualité. En effet, le débat autour des graves problèmes environnementaux soulevés à l'échelle mondiale (changement climatique négatif, effet de serre, pollution,... etc.) met en avant la responsabilité des villes dans cette situation et le rôle déterminant que peut jouer la conception urbaine pour réaliser un développement durable (Achour Bouakkaz 2006⁵).

La ville est particulièrement concernée par le changement climatique: ses bâtiments consomment de l'énergie et rejettent des gaz à effet de serre. Son climat local est accentué par la formation d'ICU. Les usages de climatisation ou de chauffage de ses habitants sont variés. Ses modifications structurelles sont soumises à une forte inertie qui oblige à raisonner, tout comme pour le changement climatique, à l'échelle du siècle.

L'Algérie s'inscrit parfaitement dans ce processus de changement du climat et plus précisément d'augmentation de la température, vu qu'elle a enregistré ces dernières années des températures inhabituelles et très élevées sur la plupart des régions du territoire national.

[ADEME] 2013) ¹

Colombert et Boudes 2012 ²

El Atari et Abou 2015 ³

Leconte 2014 ⁴

Achour Bouakkaz 2006 ⁵

Dans les années futures, l'accentuation de ce phénomène va dégrader le confort thermique urbain et amplifier la vulnérabilité de la population urbaine face aux fortes chaleurs (Roux 2014⁶). En effet, la hausse des températures moyennes journalières affecte le confort thermique au milieu urbain ainsi que la consommation énergétique estivale des bâtiments. Par ailleurs, le phénomène d'ICU influe sur la santé publique, particulièrement en période caniculaire. Dans ces conditions, les impacts sanitaires des pics de températures sont multiples, touchant principalement les populations à risques telles que les jeunes enfants et les personnes âgées. Ces vagues de chaleur peuvent également entraîner une augmentation du taux de mortalité.

Pour adapter les villes au climat, il est indispensable de commencer dès maintenant d'agir sur la qualité de vie en milieu urbain (Masson et al. 2013⁷). L'urbanisme durable recouvre d'emblée de multiples dimensions ; environnementale, économique, écologique, sociale, sanitaire et plus largement culturelle. Il s'agit de penser de faire la ville autrement, de créer un autre modèle d'aménagement, d'intégrer de manière conséquente une perspective de développement durable dans la planification urbaine et de développement urbain, mais également, d'inventer d'autres modes de vie, les façons d'habiter, de se déplacer, de consommer.

Chapitre I :

Cadre

Théorique

Cette première partie introduit les notions propres à la thermique et particulièrement au phénomène d'ICU. L'objectif est d'évaluer le contexte de l'agglomération masaad afin de déterminer son influence sur l'ICU. La topographie dans laquelle s'insère

est décrite, puis la dynamique démographique du territoire est exposée. L'exposition du territoire au changement climatique passe par l'étude préalable du climat observé à masaad. Les normales climatiques des principaux facteurs météorologiques caractérisant les types de temps sont décrites. Puis, deux méthodes de régionalisation des modèles globaux du changement climatiques sont introduites afin d'établir leurs avantages, leurs limites et leurs incertitudes.

La question de l'ICU est liée au développement des villes. Les premiers travaux coïncident avec la fondation des cités. Dans ce chapitre, un résumé non-exhaustif de l'histoire de la climatologie urbaine est présenté dans un premier temps. Puis, nous nous intéresserons plus particulièrement au déroulement historique des travaux portant sur l'ICU. L'émergence des études de l'ICU a conduit à la formulation de ses principes et de ses mécanismes. Les spécificités du climat urbain sont détaillées, du bilan radiatif au bilan énergétique, afin de dégager les principaux facteurs. A partir de ces éléments, la variabilité spatio-temporelle de l'ICU est définie ainsi que les échelles associées.

1. L'îlot de chaleur urbain

1.1. Description du phénomène

1.1.1. La couche limite atmosphérique urbaine

Les propriétés physiques du sol, qu'elles soient radiatives, thermiques, hydriques ou aérodynamiques, définissent un bilan d'énergie global qui modifie les propriétés de l'atmosphère. La couche limite atmosphérique est la partie de l'atmosphère dans laquelle cette influence est la plus forte car gouvernée par des constantes de temps courtes (de l'ordre de la journée au maximum). Ainsi, la présence d'une ville au milieu d'une campagne implique la présence de surfaces imperméables, de bâtiments et de flux anthropiques (comme le trafic routier, la présence d'usines ou le chauffage et la climatisation des bâtiments) qui modifient le bilan énergétique de la surface. Les villes donnent donc naissance à un microclimat particulier, le microclimat urbain.

La couche limite atmosphérique urbaine a une épaisseur variant sur un cycle journalier complet de quelques kilomètres le jour à quelques centaines de mètres la nuit (Dupont et al. 1999). Elle se décompose en plusieurs couches illustrées par la figure 1.

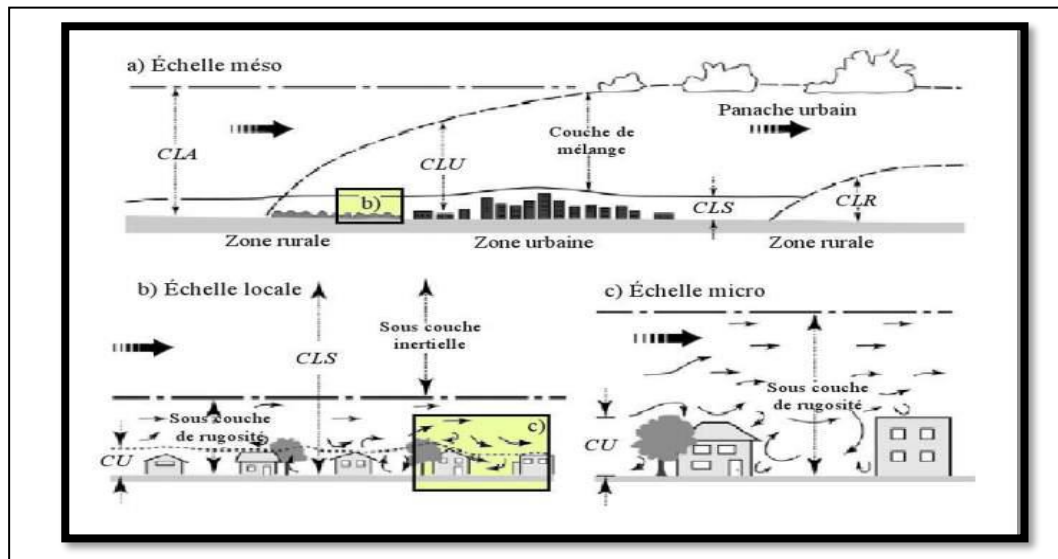


Figure N° 1 : Description de la couche limite atmosphérique (CLA) et de sa décomposition en couche limite rurale (CLR) et couche limite urbaine (CLU), elle-même décomposée en couche limite de surface (CLS), couche limite de canopée urbaine (CU) et couche de mélange. Source : adaptation de Oke (2006) par Bouyer (2009)

La couche limite atmosphérique urbaine se décompose en deux couches :

- ✓ la couche de mélange, sa partie haute, qui ne subit que peu les effets de rugosité de la surface et qui est le siège d'une importante convection due aux effets thermiques et aux vents synoptiques ;
- ✓ la couche limite de surface qui représente environ 10% de la hauteur totale de la couche limite atmosphérique (Robitu 2005). D'après Oke (1976), la couche limite de surface se décompose en trois sous-couches :

- ✓ la partie haute, la sous-couche inertielle, qui n'est pas affectée directement par les éléments de rugosité mais par la rugosité moyenne de la zone au-dessus de laquelle elle se trouve, grâce au brassage turbulent de l'air (Erell et al. 2012) ;
- ✓ la sous-couche de rugosité, en dessous de la sous-couche inertielle, qui s'étend du sommet de la canopée urbaine à une hauteur de 1,5 à 4 fois la hauteur des éléments de rugosité (Grimmond et al. 1999). Cette sous-couche est le siège de flux turbulents inhomogènes dus à l'influence directe des bâtiments ;
- ✓ la couche limite de canopée urbaine, qui est la couche située entre le sol et le sommet des bâtiments. Cette couche est la plus importante car c'est dans celle-ci que vivent les habitants d'une ville. Elle est aussi la plus complexe à modéliser car les effets de turbulence y sont les plus importants.

1.1.2 Définition de l'îlot de chaleur urbain

Le microclimat urbain est caractérisé par un phénomène communément appelé l'îlot de chaleur urbain (voir Figure.2 pour une illustration), correspondant à la différence de température existant au sein de la ville et dans sa périphérie (Oke 1976 ; Gartland 2010).

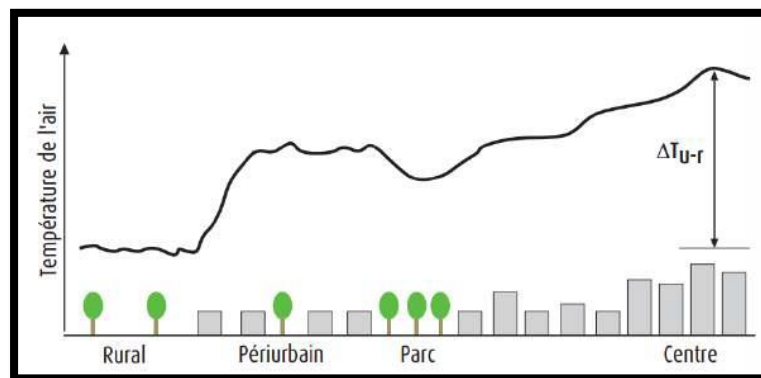


Figure N° 2: Variation spatiale de la température de l'air le long d'une coupe transversale d'une zone urbanisée. Source : Pigeon et al. (2008a)

L'ICU est principalement dû à la présence de bâtiments et de surfaces imperméables en ville. Le tissu urbain stocke de la chaleur le jour et la relâche vers l'atmosphère la nuit. À la campagne, l'énergie solaire n'est pas stockée mais sert à l'évapotranspiration du sol et des plantes. L'ICU est donc un phénomène principalement nocturne.

Il a été mis en évidence pour la première fois à Londres en 1820 (Landsberg 1981) mais son étude s'est fortement développée à partir des années 1970 (voir Stewart (2011) pour une chronologie détaillée). Trois types d'îlots de chaleur urbains peuvent être distingués.

1. L'îlot de chaleur urbain souterrain. Les villes ont tendance en effet à avoir un sous-sol plus chaud qu'à la campagne (Taniguchi et al. 2008). Ce phénomène est le moins étudié dans la littérature.

2. L'îlot de chaleur urbain de surface caractérisé par la différence de température des revêtements urbains (routes, sols, toits entre autres) et des sols naturels. Les nombreux matériaux composant une ville

impliquent des différences de température fortes au sein même de la ville en fonction de l'albédo des matériaux.

3. L'îlot de chaleur urbain atmosphérique qui correspond à la différence de température de l'air existant entre la ville et la campagne. Ce phénomène peut être étudié soit au-dessus de la canopée urbaine soit au coeur de la canopée.

Comme l'étude de cette thèse est centrée sur l'îlot de chaleur ressenti par les habitants, j'étudierai principalement l'îlot de chaleur situé dans la canopée urbaine et celui-ci sera noté ICU ou appelé 'îlot de chaleur urbain' par la suite. Toute référence à un autre type d'îlot de chaleur sera explicitement mentionnée.

L'ICU se manifeste principalement la nuit par temps de ciel clair avec peu de vent. Il est plus marqué en début de nuit et peut atteindre des valeurs allant jusqu'à plus de 10°C (Oke 1973). Pour une ville comme Toulouse, son intensité a atteint en hiver, en conditions favorables, la valeur de 4°C pendant la campagne CAPITOUL (Masson et al. 2008) (voir Figure 3).

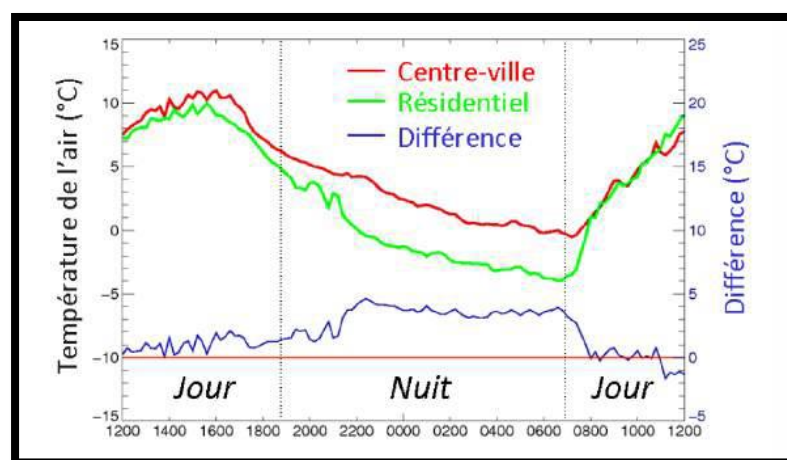


Figure N° 3: Évolution temporelle des températures de l'air en milieu rural et urbain observées dans l'agglomération toulousaine le 25 février 2005 pendant la campagne CAPITOUL. Source :Pigeon et al. (2008a)

1.2. Historique d'ICU

Les ICU étaient déjà présents même avant l'apparition des changements climatiques. Au 19^e siècle, Londres était l'une des villes les plus peuplées de la planète. C'est dans cette ville que l'étude de la climatologie urbaine débuta. Afin de pouvoir mesurer le climat urbain, les outils et procédures nécessaires furent développés.

Le premier à avoir constaté les effets des ICU, sans toutefois nommer le phénomène est Luke Howard. Il a constaté que la ville de Londres, à cause de ses infrastructures, de la population et de la pollution, accumulait plus de chaleur que la campagne voisine. À cette époque, le terme ICU n'était pas encore utilisé, on se limitait à parler seulement de différence de température.

Les origines du terme «ICU» sont floues. Depuis les premières études de Howard, des chercheurs climatologues ont étudié le climat urbain. Par des modèles climatiques en constante évolution, ils ont travaillé à le comprendre. Les instruments de mesure ont continué d'évoluer, des méthodes et outils d'analyses sont devenus disponibles.

Bien que le phénomène d'ICU soit connu depuis plus de 200 ans, il a connu un essor médiatique dans la dernière décennie. Cet engouement médiatique est probablement dû aux catastrophes climatiques et aux effets liés tels que vécus dans plusieurs pays et grandes villes et du fait qu'il est certain qu'ils se reproduiront (Filiatreault 2015)

1.3 Les causes de l'îlot de chaleur urbain

La différence de température entre la ville et sa campagne environnante s'explique par le remplacement de sols perméables et végétalisés par des matériaux et revêtements imperméables. L'étude de la différence des bilans d'énergie des surfaces rurales et urbaines permet de comprendre la formation de ce phénomène.

Pour une surface rurale, le bilan d'énergie s'écrit

avec Q_{-} le flux de rayonnement infra-rouge et solaire net, QH le flux de chaleur sensible, QLE le flux de chaleur latente, $_{-}QS$ le terme de stockage de chaleur dans le sol et les bâtiments et $_{-}QA$ l'advection de la chaleur par le vent.

Le bilan énergétique d'une surface urbaine, formulé par (OKE 1988) reprend le bilan effectué à la campagne en lui ajoutant un flux anthropique QF dû aux activités anthropiques comme le trafic routier, les activités industrielles, le chauffage ou la climatisation des bâtiments.

L'ICU va être dû d'une part à la présence de ces flux anthropiques, mais aussi à une différence dans la distribution de la chaleur dans les termes de flux de chaleur sensible, latente et de stockage.

La figure.4 donne un exemple de ce phénomène pour un jour moyen d'été à Vancouver.

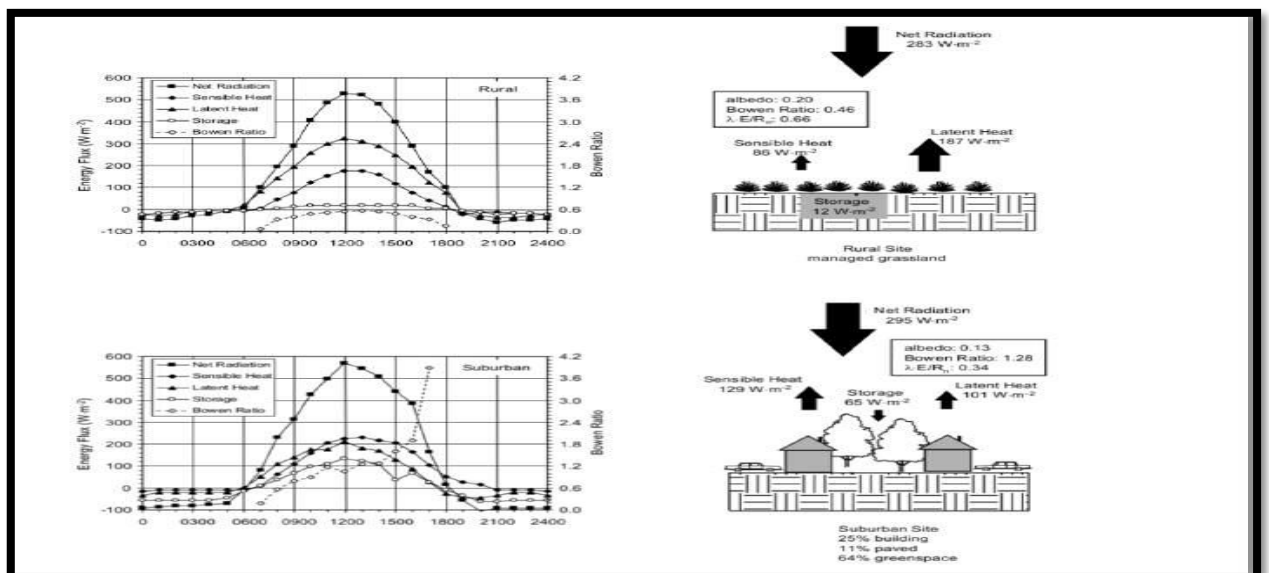


Figure N° 4: Comparaison des composantes du bilan d'énergie (rayonnement net, flux de chaleur sensible et latent, stockage de chaleur) pour un jour d'été moyen à Vancouver (British Columbia), en zone rurale (haut) et en zone péri-urbaine (bas). Dans la colonne de gauche sont tracés les cycles diurnes des flux et à droite leur valeurs agrégées sur les heures de jour. Source : Bonan (2002) d'après Cleugh et al. (1986)

À la campagne, le bilan d'énergie se caractérise par un fort flux de chaleur latente dû à l'évapotranspiration du sol et des plantes. Les termes de stockage et de chaleur sensible y sont assez

faibles. En zone péri-urbaine, le terme de stockage est beaucoup plus élevé grâce aux matériaux urbains ayant une forte capacité thermique. De plus le rapport de Bowen, défini comme le rapport QH/QE est inversé en ville (1, 28) par rapport à la campagne (0, 48). L'énergie stockée le jour dans les matériaux est restituée la nuit par refroidissement infra-rouge, ce qui implique une température nocturne plus élevée en ville que dans sa périphérie.

Les causes de l'ICU peuvent être plus détaillées qu'à travers la lecture de ce cas précis. D'après Stewart et al. (2012), ces causes sont les suivantes.

1. Une meilleure absorption du rayonnement solaire (et donc une augmentation de Q_{-}) due au piégeage radiatif par les surfaces verticales et horizontales de la ville ainsi que par les réflexions multiples sur ces surfaces. La morphologie de la ville offre donc une plus grande surface d'échange thermique qu'une surface plane naturelle.

2. Le rayonnement infra-rouge est mieux retenu dans les rues des villes ayant un facteur de vue du ciel élevé (ce qui entraîne une augmentation de Q_{-}). Le facteur de vue du ciel est défini comme la partie du ciel qui n'est pas obstruée par une structure urbaine. Le facteur de vue du ciel vaut 1 pour un ciel dégagé et 0 lorsqu'il est complètement obstrué (voir Figure 5). Ainsi l'énergie stockée dans les bâtiments la nuit est difficilement rejetée à l'atmosphère à cause de la rétention du rayonnement infra-rouge par les surfaces verticales urbaines.



Figure N° 5: Exemples de facteurs de vue du ciel (Sky View Factor donc SVF en anglais) pris avec un objectif fish-eye à Curitiba au Brésil.. Source : Krüger et al. (2011)

3. Un meilleur stockage et relâchement de la chaleur par les bâtiments et les routes en ville (donc une augmentation de Q_S). Ce phénomène est dû aux propriétés thermiques des bâtiments, au piégeage radiatif mais aussi à la convection qui est plus faible en ville. Les vents sont en effet atténués en ville par rapport à la campagne d'environ 50% (Gartland 2010) à cause de la rugosité qui y est plus forte.

4. En ville, une plus grande partie du rayonnement solaire est converti en chaleur sensible plutôt qu'en chaleur latente (diminution de Q_{LE} et augmentation de QH). Le remplacement des sols humides et de plantes par des matériaux imperméables y inverse le rapport de Bowen par rapport à la campagne.

5. Des émissions anthropiques (le facteur QF) plus grandes dues au trafic routiers, aux activités industrielles ou au chauffage et à la climatisation. De Munck et al. (2013) ont montré que l'emploi intensif de climatisation à Paris pourrait augmenter la température en ville d'environ 1°C la nuit en condition de canicule.

De plus, l'amplitude de l'ICU est contrôlée par les conditions météorologiques synoptiques. Par exemple, l'ICU est moins intense en conditions nuageuses (Morris et al. 2001 ; Alonso et al. 2007) et il diminue lorsque la vitesse du vent augmente (Alonso et al. 2007 ; Memon et al. 2010). Cela implique qu'une ville côtière, sous l'influence régulière d'une brise de mer, subit des îlots de chaleur plus faibles qu'une ville continentale. Par ailleurs, les propriétés du site rural sont aussi un facteur de contrôle de l'amplitude de l'ICU (Arnfield 1990). Une variation de la température de l'air du site rural peut être provoquée par sa teneur en humidité du sol. Le jour, plus l'humidité du sol est importante, plus la température du site est faible (à cause de l'évaporation au niveau du sol) et plus l'ICU sera fort.

Enfin, l'ICU s'auto-régule en donnant naissance à une brise urbaine (Ado 1992 ; Lu et al. 1997 ; Hidalgo et al. 2010). En effet, les températures plus élevées en ville qu'à la campagne créent une circulation d'air, un vent thermique, comme le décrit la figure 6. La brise urbaine amène par des flux convergents l'air frais de la campagne vers la ville. Un flux ascensionnel se crée en centre ville et l'air est évacué par un flux divergent vers la campagne.

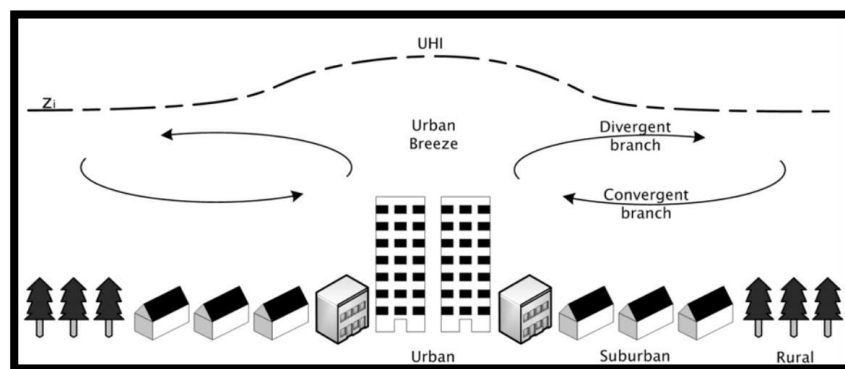


Figure N° 6: Représentation schématique du phénomène de brise urbaine. Source : Hidalgo Rodriguez (2008)

L'ICU est donc un phénomène complexe. Il est induit par la morphologie et l'occupation du sol caractéristiques des villes ainsi que par les flux anthropiques qui y sont produits. Son intensité dépend fortement des conditions météorologiques synoptiques.

1.4. Conséquences de l'îlot de chaleur urbain

L'ICU a de nombreuses conséquences sur la qualité de vie des habitants d'une ville. Celui-ci augmente la pollution de l'air (Gartland 2010 ; Lai et al. 2009) car la création d'ozone au niveau du sol augmente avec la température. Les habitants d'une ville sont aussi très sensibles au confort thermique. Lors de la canicule à Paris en août 2003, une surmortalité très élevée a été constatée

avec plus de 15000 décès en excès au cours de cet événement imputables aux extrêmes chaleurs (Fouillet et al. 2006 ; Laaidi et al. 2012). Durant cette période, la température en ville n'est pas redescendue en-dessous de 25°C pendant plusieurs jours ce qui a créé un stress thermique intense et fatal aux personnes âgées ou fragiles. De plus, l'ICU joue sur la consommation énergétique des villes car la demande de chauffage et de climatisation est liée à la température extérieure. Lors de la canicule de 2003, la sur-consommation énergétique avait été estimée à 10% de la consommation d'électricité totale. Néanmoins, en hiver aux moyennes latitudes, l'ICU peut être un avantage car il contribue à diminuer la consommation de chauffage (Taha 1997).

2. L'îlot de fraîcheur urbain

2.1. Définition de l'îlot de fraîcheur urbain

Un îlot de fraîcheur urbain (IFU) est défini par un périmètre urbain dont l'action rafraîchissante permet d'éviter ou de contrer directement ou indirectement les effets des ICU.

L'existence d'un IFU découle directement de :

- La présence de végétation qui contribue, par l'ombrage et/ou l'évapotranspiration, à rafraîchir l'air.

- L'utilisation de matériaux généralement pâles, donc présentant un albédo élevé, lesquels contribuent à réfléchir la chaleur ambiante (Fernandez et Deshaies 2013).

➤ Les formes des IFU

En ville, les IFU peuvent se présenter sous diverses formes. Il peut s'agir de toits blancs, d'espaces verts (parcs, jardins), de structures verdies (murs végétalisés), d'arbres de rue, de portions de terre en culture ou en friche,... etc (Fernandez et Deshaies 2013).

➤ Le rôle d'IFU

L'ombrage des arbres contribue à réduire la température de surface du sol, des bâtiments et des infrastructures. En effet, la canopée, là où se trouve plus de 80 % du feuillage, capte la majorité de l'énergie solaire. Un arbre dont la canopée est légère intercepte entre 60 et 80 % de la lumière du soleil, tandis qu'un arbre dont la canopée est dense intercepte jusqu'à 98 % de cette lumière.

Quant à l'évapotranspiration, elle se produit naturellement par :

- La transpiration des plantes qui, après avoir absorbé l'eau du sol pour en capter les éléments nutritifs, en relâchent une partie par leurs feuilles.

- L'évaporation de l'eau contenue dans le sol. Afin de s'évaporer, cette eau absorbe la chaleur de l'air ambiant, causant ainsi un refroidissement localisé.

De plus, les végétaux absorbent du dioxyde de carbone et captent d'autres contaminants, poussières et particules fines, améliorant ainsi la qualité de l'air. La végétation aurait donc la capacité de capter certains éléments à l'origine de la formation du smog et de lutter contre le réchauffement.

Le choix des matériaux de construction en fonction de leur albédo peut également contribuer à lutter contre les ICU. Ainsi, les matériaux utilisés doivent-ils être sélectionnés en fonction d'un albédo élevé, pouvant réfléchir davantage les rayons plutôt que de les absorber (Fernandez et Deshaies 2013).

➤ **Les bienfaits des IFU**

Les arbres présents dans les boisés ont la capacité de filtrer jusqu'à 85 % des particules en suspension dans l'air. Cela contribue à améliorer la qualité de l'air respiré par les populations et à diminuer l'incidence de certaines maladies.

De plus, la présence de végétation a des effets positifs sur la gestion du stress, la fatigue mentale et l'état d'esprit, améliorant ainsi la qualité de vie des citoyens. La beauté et les commodités associées à ces milieux incitent à la pratique d'activités physiques, telles que la marche.

Les environnements verts permettraient également de réduire les inégalités en santé, ainsi que les inégalités matérielles et sociales. Ces espaces, incluant les arbres et les herbes, inciteraient aux contacts entre voisins et renforceraient les liens de voisinage, augmentant ainsi la surveillance des lieux et réduisant potentiellement les actes criminels.

Enfin, les arbres ont une valeur économique: ils réduisent la quantité d'infrastructures de drainage nécessaires et les coûts liés au risque accru d'inondations et de débordements (Fernandez et Deshaies 2013).

Microclimat urbain Il est possible de différencier quatre types d'échelle des climats: l'échelle globale, l'échelle régionale, l'échelle locale et l'échelle microclimatique. Ce dernier désigne généralement des conditions climatiques limitées à une région géographique très restreinte, significativement distinctes du climat général de la zone où se situe cette région (Ballout 2010). Un microclimat est le climat distinctif d'un secteur à petite échelle, comme un jardin, un parc, une vallée ou une partie d'une ville.

3. Microclimat

« Climat régnant dans une petite couche de l'atmosphère adjacente à une surface quelconque (sol, roche...etc.) et de dimension inférieure au décimètre → cette notion et parfois étendue de façon abusive à une petite région (ville, vallée...etc.) il vaut mieux alors parler de climat local. »

4. Les matériaux de construction durables

un matériau durable est un matériau de construction qui a une relation avec l'efficacité énergétique, est un matériau de construction qui répond aux critères techniques habituellement exigés des matériaux de construction (performances techniques et fonctionnelles, qualité architecturale, durabilité sécurité facilité d'entretien, résistance au feu, à la chaleur...etc.) « Mais aussi à des critères environnementaux ou socio environnementaux, tout le long de son cycle de vie.»

➤ **Caractéristiques générales**

- « Ils utilisent des matières premières naturelles abondantes et/ou renouvelables.

- Ils nécessitent peu d'énergie grise pour leur fabrication, la mise en œuvre.....
- Ils sont recyclables ou non polluant lors de leur mise en décharge.
- Ils valorisent les ressources locales.
- Ils ne nuisent pas à la santé des professionnels de la construction, et des occupants.
- Pour un usage donné, ils sont aussi performants que les matériaux conventionnels. »

➤ **Caractéristiques techniques**

- «Performances techniques et fonctionnels, qualité architecturales, durabilité et facilité d'entretien.

- Impacts Environnementaux et sanitaires des éco matériaux : économies de ressources, maîtrise du risque sur l'environnement et sur la santé. »

5. Confort thermique

➤ **Confort**

« Ensemble des commodités qui rendent la vie plus agréable, plus facile ; bien-être matériel qui résulte : le confort d'un appartement, d'une voiture. »²¹

➤ **Confort thermique**

Le confort thermique pourrait se définir comme un sentiment de bien-être vis-à-vis d'un environnement thermique. Cet état de satisfaction peut être ressenti en toute circonstance : chez soi, au bureau ou à l'extérieur, en fonction des échanges thermiques s'effectuant entre le corps et son environnement. À la maison, « le confort thermique est généralement atteint en dépit des températures extérieures défavorables. Il s'agit donc d'avoir suffisamment chaud en hiver et d'être suffisamment au frais en été, malgré le climat extérieur. Le confort thermique dépend également de la sensibilité de notre corps, selon l'activité menée. Ainsi, la plage de températures idéale n'est pas la même au repos, au travail ou en pleine activité sportive. Le confort thermique peut encore dépendre des courants d'air, de [l'humidité relative](#) et de la perception subjective (état de santé, âge, fébrilité, contexte social). »

➤ **Paramètres du confort thermique**

Le confort thermique est traditionnellement lié à 6 paramètres :

- 1- Le métabolisme, qui est la production de chaleur interne au corps humain permettant de maintenir celui-ci autour de 36.7°C. un métabolisme de travail correspondant à une activité particulière s'ajoute au métabolisme de base du corps au repos.
- 2- L'habillement, qui représente une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement.
- 3- La température ambiante de l'air T_a .
- 4- La température moyenne des parois T_p .

- 5- L'humidité relative de l'air (HR), qui est le rapport exprimé en pourcentage entre la quantité de l'eau contenue dans l'air et la température (Ta) et la quantité maximale d'eau contenue à la même température.
- 6- La vitesse de l'air, qui influence les échanges de chaleur par convection. Dans le bâtiment, les vitesses de l'air ne dépassent généralement pas 0,2 m/s.

De façon simplifiée, on définit une température de confort ressentie (appelée aussi

« température opérative » ou « température résultante sèche »). $T^{\circ} \text{ opérative} = (T^{\circ} \text{ ambiante} + T^{\circ} \text{ parois}) / 2$

Cette relation simple s'applique pour autant que la vitesse de l'air ne dépasse pas 0,2m/s.

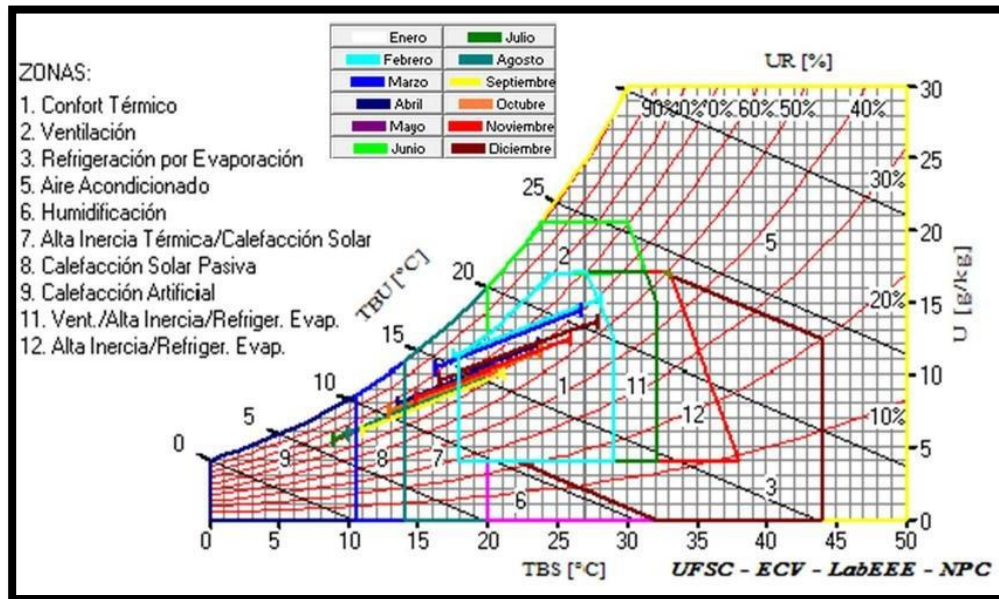


Figure N°7: diagramme bioclimatique de Givoni Software analysisys bio (source : UFSC 2011) Diagramme psychométrique pour définir les zones du confort thermique.

6. Parc urbain écologique

➤ Parc

1- « Terrain boisé enclos, assez vaste et entourant parfois un château, ménagé pour l'agrément, la promenade, ou servant de réserve de gibier. 2- grand jardin public. 3- ensemble de matériels, d'installation de même nature dont disposent un pays, une entreprise etc. : le parc informatique de la mairie, le parc immobilier d'un ministère. 4- emplacement industriel de stockage a l'air libre : parc de ferrailles. 5- petit enclos où l'on place les enfants en bas âge pour qu'ils y jouent sans danger.»

➤ Parc urbain

Un parc urbain est une zone délimitée et aménagée dans la ville en vue d'offrir des loisirs et des espaces verts aux résidents et aux visiteurs de la municipalité. «Cet espace ouvert est prévu à l'usage récréatif, le plus souvent détenu et entretenu par une collectivité locale avec un accès public. Il joue un rôle important dans les continuités écologiques à l'échelle de la ville. »

7. Détente et loisirs

➤ Détente

1- « Fait de se relâcher, en parlant de quelque chose qui est tendu : la détente de la corde d'un arc. 2- effort musculaire puissant et vif qui produit l'extension du corps ou d'un membre, en partic, du membre inférieur : Santer qui a une belle détente. 3- décontraction, repos du corps ou de l'esprit : délasserment s'accorder un moment de détente. 4- diminution de la tension entre états : amélioration des relations internationales. 5- diminution de la pression d'un gaz par augmentation de son volume (CONTR. Compression). 6- pièce du mécanisme d'une arme à feu qui pressée par le tireur, agit sur la gâchette et fait partir le coup. »

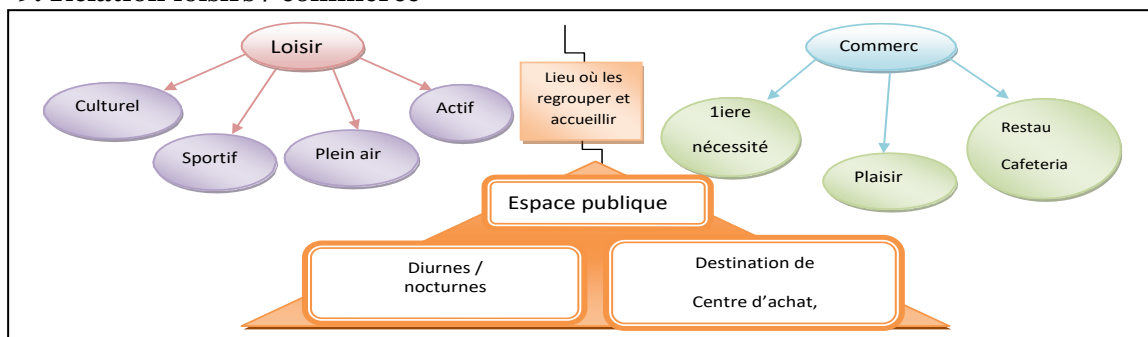
➤ Loisirs

« Le loisir est l'activité que l'on effectue durant le temps libre dont on peut disposer. Ce temps libre s'oppose au temps prescrit, c'est-à-dire contraint par les occupations habituelles (emploi, activités domestiques, éducation des enfants...) ou les servitudes qu'elles imposent (transports, par exemple) afin de remplir le temps libre et de profiter de la vie. Le loisir est un état d'être, une condition de l'âme n'ayant aucun rapport au temps. Eminemment élitaire, il est perçu comme étant la contemplation, la célébration de la vie, la base de la culture et des arts. Cette conception découle naturellement de l'héritage laissé par les philosophes grecs, et notamment Aristote, pour qui seuls les citoyens, c'est-à-dire les gens libres, non soumis à l'esclavage et dégagés de toutes obligations, peuvent accéder aux activités nobles : la politique, la culture et la contemplation. »

8. Commerce

Activité principale d'échange des biens et services entre les êtres humains. Le lieu où l'organisation, ou s'exerce l'activité d'échange. « Ensemble de transactions entre individus, entre organisations, ou entre individus et organisations. Il complète l'activité de production en permettant de rémunérer la fourniture d'un bien ou d'un service par la monnaie. »

9. Relation loisirs / commerce



10. Les conditions des îlots de chaleur urbains

10.1. Les facteurs naturels

Les facteurs d'origine naturelle concourant à la formation des ICU ressortent de trois catégories distinctes : climatologie, météorologie et topographie.

➤ Climatologie

L'énergie apportée par le soleil sous forme de chaleur est d'autant plus importante que celui-ci est haut (point de culmination). Il devrait donc faire plus chaud lors du solstice d'été. Cependant, ce raisonnement est inexact si on omet de prendre en considération l'inertie de la Terre. Au printemps et en été, celle-ci accumule de la chaleur avec pour conséquence un ralentissement de l'élévation de la température. On observe le phénomène inverse en automne et en hiver : la Terre restitue la chaleur accumulée au printemps et en été.

➤ Météorologie

Le climat des zones non bâties diffère de celui des villes. Conformément à la mécanique des fluides, l'écoulement du vent en rase campagne est laminaire (la mesure de sa vitesse permet de visualiser un comportement stable). Au-dessus des villes s'observe des couches d'air chaud, de telle façon qu'elles sont couvertes d'une cloche invisible (urban boundary layer ou UBL). Cette cloche est d'une altitude très supérieure aux faîtes des constructions, y compris des immeubles de grande hauteur (IGH). Au-dessus de la canopée urbaine (urban canopy layer ou UCL), c'est-à-dire des toitures, une seconde cloche épouse littéralement la forme du bâti. Quand le vent s'approche de la ville, il se réchauffe et sa viscosité diminue. Il cesse d'être laminaire pour devenir turbulent, comportement erratique renforcé par les obstacles tels que les bâtiments (RICCIARDELLI F., 2006). Le schéma ci-dessous permet de mieux comprendre ces phénomènes.

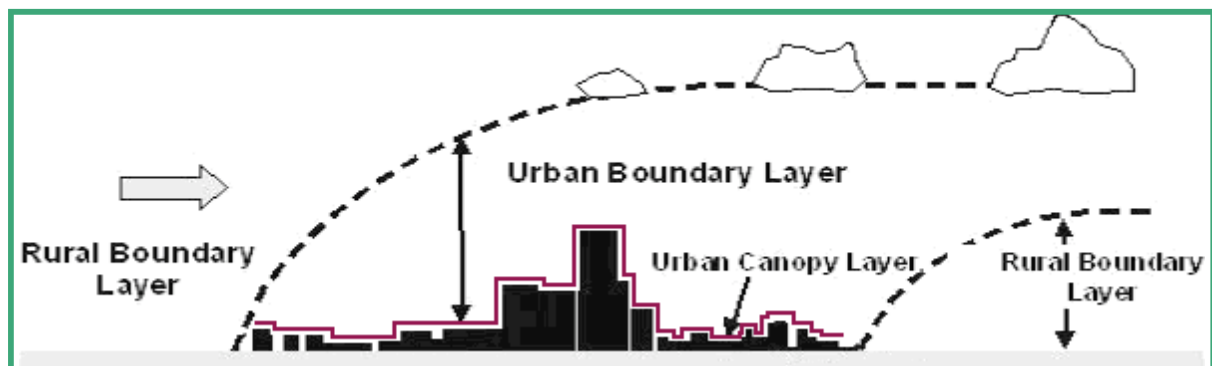


Figure N° 8: Urban Boundary Layer et Urban Canopy Layer.

La ventilation naturelle permet d'amener de la fraîcheur en ville. Dans une certaine mesure, elle éloigne aussi les polluants atmosphériques (effet particulièrement visible dans le cas de panaches de couleur sombre). En outre, on constate que des vents d'une vitesse supérieure à 11 mètres par seconde (11 m.s^{-1}) préviennent la formation des ICU. Par temps anticyclonique, les écarts de température peuvent atteindre plusieurs degrés Celsius entre le centre ville et la campagne.

➤ Topographie

L'altitude de la ville joue un rôle dans la hausse très localisée des températures. A titre d'exemple, la ville de Los Angeles est bâtie dans une cuvette, d'où une dissipation partielle du dôme de pollution qui la coiffe.

10.2. Les facteurs anthropiques

➤ Urbanisation

D'un point de vue physique, l'urbanisation est la substitution du couvert végétal par des surfaces minérales (bitume, pierre, etc.).

Or, elle diminue la capacité d'évapotranspiration, contribuant ainsi à assécher l'air ambiant. Par ailleurs, les surfaces minérales sont dotées d'une inertie thermique calculée selon leur capacité d'absorption des calories (diffusivité) et de restitution de ces mêmes calories (effusivité). Par conséquent, plus on bâtit, plus on accroît l'effusivité globale.

L'ICU est plus marqué de nuit que de jour en raison de la re-émission dans l'atmosphère de la chaleur diurne absorbée par les bâtiments.

Des villes de moins de mille habitants peuvent provoquer un ICU avec des différences comprises entre 2 et 2,5 °C par rapport aux zones environnantes (OKE T.R., 1973). Par ailleurs, une équipe de climatologues australiens a comparé les températures entre l'agglomération de Melbourne et celles de quatre villes de moins de 10 000 habitants. Résultats : l'ICU est déjà sensible dans les villages et les variations du thermomètre avec la zone environnante se graduent dans une proportion logarithmique avec la population considérée (TOROK S. J., 2001).

➤ Albédo

Conformément aux lois de Stephan-Boltzmann et de Wien, la couleur des matériaux de construction détermine le rapport de l'énergie solaire réfléchie sur l'énergie solaire incidente. Appelé albédo, cet indicateur est mesuré grâce à une échelle graduée de 0 à 1. 0 correspond au noir pour un corps sans aucune réflexion, et 1 au miroir parfait pour un corps n'absorbant pas le rayonnement électromagnétique visible et diffusant dans toutes les directions. Un matériau sombre emmagasine de la chaleur et revoie peu d'énergie solaire dans l'espace.

L'albédo sera donc différent entre un immeuble de type haussmannien à couverture mansardée grise à Paris, un édifice à couverture rose à Toulouse ou une maison peinte au blanc de chaux en Grèce ou au Maghreb. Chacune ville possède ainsi sa propre identité thermique (CANTAT O., 2004).

➤ Pollution atmosphérique et rues canyons

Sur une hauteur qui peut atteindre 500 mètres lorsque le ciel est couvert, la pollution atmosphérique urbaine crée de véritables micro-climats en altérant verticalement la composition de l'atmosphère.

Hauteur, écartement, disposition et rapport entre les bâtiments créent des zones propices à l'effet Venturi, c'est-à-dire à l'accélération des champs de vents, mais aussi aux tourbillons (MIGNANT G., 2007). Les équations de Navier-Stokes utilisées en mécanique des fluides permettent de rendre compte du déplacement des courants aériens dans un milieu.

La figure 6 permet de visualiser ces phénomènes de façon (très) schématique.

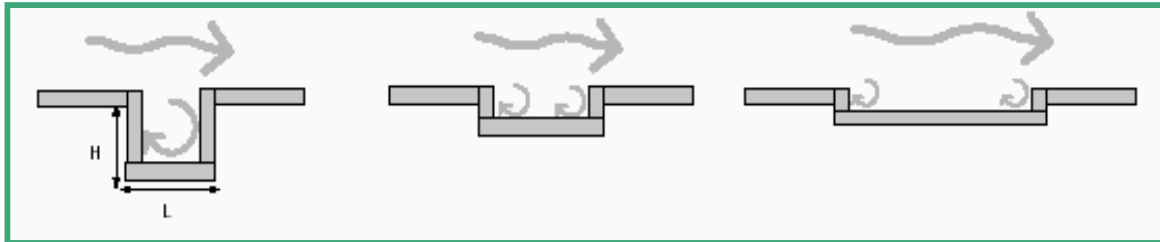


Figure N°9: De gauche à droite : écoulement écrémant, d'interférence et de rugosité. Source: université libre de Bruxelles

Au niveau du sol, les architectes et les climatologues urbains on recours à l'indice de construction de Landsberg, c'est-à-dire le rapport de la hauteur moyenne H du bâti d'une rue à la largeur L de l'artère, pour déterminer quelles sont les rues canyons (indice supérieur à 1).

Celles-ci piègent les xénobiotiques à l'état gazeux ou solide, par exemple le monoxyde de carbone (CO), les résidus d'hydrocarbures imbrûlés, les oxydes d'azote (NO, NO₂) et les particules en suspension de diamètre aéraulique inférieur à 2,5 ou 10 micromètres appelées PM_{2,5} et PM₁₀ (de l'anglais Particule Matter).

Enfin, quand les nuits sont claires, le sol se refroidit plus vite que les masses d'air supérieures, d'où une inversion de température comprise entre 100 et 200 mètres d'altitude, couvercle qui va maintenir la pollution sur la ville, ce phénomène ne s'interrompt qu'en fin de matinée ou en début d'après-midi.

➤ Chauffage et climatisation

En hiver, le recours aux appareils de chauffage se traduit par un ICU plus marqué qu'en été, bien que durant cette saison, les appareils de climatisation contribuent à l'émission dans l'atmosphère du CO. C'est là un paradoxe : les personnes veulent abaisser la température de leur appartement et ce faisant réchauffent l'atmosphère.

11. La détection des îlots de chaleur urbains

Bien qu'invisible pour l'homme de la rue, l'ICU peut parfois être perçu par des indicateurs indirects. Ainsi à Paris, le long du périphérique, voie circulaire faisant le tour de la ville, le trafic automobile et la pollution sont à l'origine de véritables poches de chaleurs propices au développement de plantes exotiques. En attestent ces deux photographies que nous avons prises Porte de Gentilly.



Figure N°10: Plantes exotiques à Paris



Figure N°11: Plantes exotiques à Paris (détail)

Cependant, passer de l'observation de microclimats en bordure des axes routiers à la cartographie des ICU nécessite des moyens techniques sophistiqués. Il faut non seulement pouvoir observer ces phénomènes, mais aussi être en mesure de les quantifier et de les suivre.

La plupart des études publiées en France s'appuient sur des bulletins météorologiques. Par contre, en Amérique du Nord, climatologues et géomaticiens font appel à la télédétection, méthode qui présente deux avantages : vision synoptique et répétitivité temporelle. La thermographie aérienne ou par satellite à basse résolution (par exemple ceux du Programme Landsat), permet de localiser avec précision les écarts de température.

Deux indicateurs sont utilisés par les professionnels : le Normalized Difference Built-Up Index (NDBI) et le Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Le premier correspond à la différence normalisée pour le bâti et le deuxième à celle pour la végétation.

Tous deux sont calculés à partir de bandes du satellite : rouge (R pour l'anglais red), proche infrarouge (Near IR pour l'anglais near) et infrarouge moyen (Mid IR pour l'anglais middle). Le NDBI correspond aux infrarouges moyens moins les proches infrarouges, le tout divisé par les infrarouges moyens plus les proches infrarouges : $[NDBI = (Mid\ IR - Near\ IR) / (Mid\ IR + Near\ IR)]$. Le NDVI correspond aux proches infrarouges moins le rouge, le tout divisé par les proches infrarouges plus le rouge $[NDVI = (Near\ IR - Red) / (Near\ IR + Red)]$.

Pour le bâti, -1 correspond à l'absence de construction et +1 à la présence d'un immeuble. Pour la végétation, le raisonnement est le même, mais inversé.

La télédétection fait apparaître des « tâches » de couleurs. En reliant les points correspondant à une même température, on obtient des isothermes circulaires dont les températures décroissent en s'éloignant du centre-ville. La cartographie effectuée à l'aide de systèmes d'information géographique (SIG) montre une division thermique de l'espace : la chaleur est plus élevée au-dessus des zones industrielles et des quartiers avec un bâti très dense, et moins élevée au-dessus des espaces verts et des plans d'eau. L'interprétation des résultats est assez aisée, chaque couleur

correspondant à une température exprimée soit en degrés Celsius (°C), soit en degrés Fahrenheit (°F) comme sur cette image de la ville de New York où les ICU sont indiqués en rouge-brun.

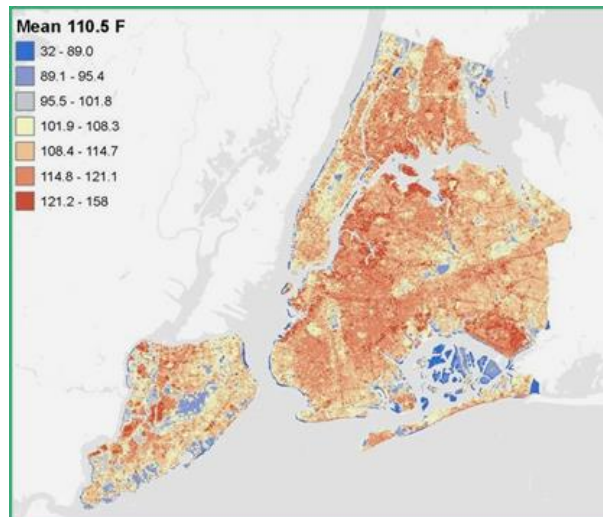


Figure N°12: Thermographie par satellite de la ville de New York. Source : NASA

➤ **L'état de la recherche sur les îlots de chaleur urbains**

La littérature scientifique sur les ICU est très abondante, voire pléthorique. Il ne nous est donc pas possible d'en faire état de façon exhaustive. Cet exercice comprend également une limite de taille : n'étant pas polyglottes, certaines sources ont pu nous échapper. Cependant, un tour d'horizon international nous semble de nature à servir notre problématique (la différence quant aux modes de gestion des ICU en Amérique du Nord et en France). Même rapide, il nous fournira des éléments de comparaison quant au niveau d'avancement de la recherche française dans ce domaine par rapport aux autres pays.

➤ **L'état de la recherche en Afrique du Nord**

L'îlot de chaleur de la ville de Sfax (sud-est tunisien) a fait l'objet d'une étude assez détaillée (DAHECH S., 2005). Bâtie selon un plan semi-radioconcentrique de 10 à 15 kilomètres de rayon, Autour de la ville, on note la présence d'un vaste tissu urbain discontinu avec des espaces végétalisés (jardins, pistes non asphaltées) et des habitations dispersées dans des champs d'amandiers et d'oliviers. L'ICU de Sfax forme un demi-cercle délimité à l'est par la mer et le tissu urbain et à l'ouest par la campagne. Il comprend deux couronnes. La première, d'un rayon de deux kilomètres, couvre le centre ville (Médina) ainsi que les zones industrielles de La Poudrière au sud et de El Maou au sud-sud-ouest. Au mois de juin, on y enregistre les températures les plus élevées : entre 26 et 30 °C.

➤ **L'état de la recherche en Afrique du Sud**

La recherche sur la distribution spatiale des températures dans les villes sud-africaines est assez ancienne, puisque l'ICU de Durban a été observé durant les étés 1968 et 1969 (PRESTON-WHYTE R. A., 1970). Le centre du phénomène, qui s'étend jusqu'au pied de la crête de Berea, est

localisé au-dessus du quartier d'affaires, bien que celui-ci soit (était) assez peu dense, anomalie due à l'influence de la brise de mer.



Figure N°13: Front de mer à Durban (Afrique du Sud). Source : Wikipedia

En 1994, une étude sur les évolutions de la température en Afrique du Sud a inclus des données sur les villes de Cap Town, Durban, Kimberly, Johannesburg, Port Elizabeth et Pretoria (HUGUES, W. S, 1996). Deux chercheurs, le premier Australien, Warwick S. Hugues, le deuxième Étasunien, Robert C. Balling Junior, ont voulu déterminer quelle était la contribution des villes à la hausse de 1,13 °C constatée en Afrique du Sud au cours du siècle passé. Ils se sont notamment appuyés sur les relevés de températures effectués de 1960 à 1990 par le Weather Bureau. Au prix d'une analyse statistique, ils ont établi que la croissance urbaine était en partie responsable de cette hausse.

➤ **L'état de la recherche en Asie**

Au Japon, des scientifiques ont utilisé les relevés de température de 60 stations météorologiques effectués de 1891 à 1992 (FUJIBE F., 1995). Il a été constaté une hausse des températures minimales de l'ordre de 2 à 5 °C par siècle dans les grandes villes et de 1 °C dans les petites.

En Inde, dans une vaste ceinture urbaine à haute densité de population incluant Bombay et Calcutta, des météorologues se sont penchés sur l'évolution des températures, des précipitations et de la composition de la troposphère par rapport aux régions rurales voisines (HINGANE L. S., 1996). La température de l'air a augmenté au cours du siècle passé de 0,84 °C à Bombay et de 1,39 °C à Calcutta, tendance non observée dans les campagnes. Par ailleurs, les précipitations y sont statistiquement plus importantes qu'au-dessus des zones témoins, de même que les concentrations en méthane (CH₄), CO₂ et ozone (O₃) y sont supérieures à celles observées au-dessus des régions rurales.

En Chine, une étude relative à l'évolution des températures dans treize provinces s'est appuyée sur les données hivernales recueillies par 194 stations météorologiques (ZHOU L., 2004).

La période considérée, de 1978 à 2000, correspond à une augmentation de la population urbaine 18 à 39% et à une croissance économique annuelle moyenne de 9,5%. Les auteurs ont conclu à une hausse des températures de 0,05 °C par décennie.

➤ **L'état de la recherche en Amérique du Nord**

En analysant les températures enregistrées par 1 121 stations météorologiques entre 1950 et 1990, le United States Historical Climatology Network (USHCN) a mis en évidence une différence moyenne de 0,45 °C entre les stations situées en zones rurales et celles situées en zones urbaines (HANSEN J., 2001).

Une étude d'ampleur comparable a été menée sur la base des données brutes recueillies dans 48 Etats de 1950 à 1999 par 1 982 stations terrestres situées à moins de 500 mètres d'altitude (KALNAY E., 2003). Les résultats montrent que l'urbanisation et la modification du sol ont entraîné une hausse des température de 0,27 °C, dont 0,18 °C pour les deux dernières décennies.

Avec 1,95 millions d'habitants répartis sur une superficie 1 400 km², la ville texane de Houston est peu dense, bien que sa population ait augmenté de 20% du milieu des années 1980 au début des années 2000. L'ICU a été suivi parallèlement à cette évolution démographique, d'abord de 1985 à 1987, puis de 1999 à 2001 (STREUTKER D., 2003). 82 enregistrements ont été utilisés pour la première période et 125 pour la deuxième. Les résultats font apparaître une élévation moyenne des températures de 0,82 °C entre 1987 et 1999, hausse mise en relation avec l'accroissement de la population sur une aire comprise entre 170 et 650 km².

➤ **L'état de la recherche en Amérique du Sud**

La ville portoricaine de San Juan (deux millions d'habitants) a fait l'objet d'une étude qui mérite d'autant plus d'être signalée qu'elle a été menée en zone côtière tropicale (GONZALEZ J. E., 2005). On pourrait en effet penser qu'en raison des brises marines influant sur le microclimat local, aucun ICU ne peut se former. Pourtant, les auteurs ont constaté une augmentation de température de 0,06 °C par an depuis trente ans, phénomène non observé dans les zones adjacentes bénéficiant d'une forte couverture végétale.

➤ **L'état de la recherche en Europe du Nord**

Nous pensions trouver une abondante documentation sur les ICU en Allemagne (Wärme Inseln), aux Pays-Bas (warmte eilanden) et dans les pays scandinaves (au sens large), mais nos recherches sont demeurées vaines. Si certains sites, principalement en Allemagne, font mention des ICU, ils renvoient à des études nord-américaines. Quant aux autre pays (Danemark, Finlande, Norvège et Suède), l'absence de recherches tient peut-être à leur climat.

➤ **L'état de la recherche en Europe centrale**

Nos recherches sur les ICU en Europe centrale n'ont guère été couronnées de succès. La moisson s'est avérée bien maigre : nous n'avons pu prendre connaissance que d'une étude portant sur la ville de Bucarest (SORIN C., 2007). Nous supposons que cette situation est due aux

changements intervenus à la fin des années 1980 (disparition de l'U.R.S.S., etc.), la politique urbaine de ces pays étant d'avantage tournée vers l'aménagement du territoire et la réhabilitation du patrimoine bâti que la recherche.

➤ **L'état de la recherche en Europe du Sud**

L'Etat des connaissances scientifiques sur les ICU est beaucoup plus nuancé en Europe du Sud qu'en Europe du Nord ou en Europe centrale. Si la recherche en Italie sur ce sujet est au point mort (nonobstant les problèmes de pollution atmosphérique à Naples et à Rome), il en va tout autrement en Espagne où des travaux dans ce domaine ont démarré il y a près de trente ans. Cependant, la recherche espagnole sur le climat urbain a réellement pris son essor autour de 1993. L'identité thermique des grandes villes (Barcelone, Madrid...) a fait l'objet d'importantes publications, qu'il s'agisse d'articles ou de livres (LOPEZ GOMEZ M. C., 1993 ; MORENO GARCIA M.C., 1994 ; MORENO GARCIA M. C., 1999). Par contre, la situation au Portugal est comparable à celle de l'Italie.

➤ **L'état de la recherche en France**

En France, les climatologues ont étudié les ICU d'Annecy (GUIMARD D., 1997), Lille (CHARABI Y., 2002), Paris (CANTAT O., 2004), Marseille (MESTAYER P, 2005 ; SALMOND J. A., 2005), Rennes (QUENOL H., 2007) et Toulouse (PIGEON G., 2008).

La ville d'Annecy en Haute-Savoie est située au nord du lac éponyme. Le site est entrecoupé du nord-est au sud-ouest par le val de Fier. L'ICU concerne en premier lieu le centre-ville (excepté le cœur de la vieille ville le long du canal du Thiou). D'autres endroits sont également favorables à la formation d'un ICU, notamment les zones économiques du Pont-de-Tasset et d'Epagny. L'ICU est un phénomène fuyant : il connaît des variations saisonnières, journalières et nycthémérales. Au début du mois de septembre, vers midi, il est inexistant sur le centre-ville qui bénéficie de la fraîcheur du lac (23 °C). Vers 18 heures, il commence à se former, mais avec un gradient thermique assez modéré (0,5 °C/km), plus marqué la nuit (0,75 °C/km). Les observations sur un site ne sont pas transposables aux autres, certains voyant le phénomène apparaître à tout instant de la journée, d'autres en cours d'après-midi, d'autres enfin la nuit. David Guimard n'a pu évaluer avec précision le rôle de climatiseur du lac, mais considère qu'il ne saurait être nié.

Tout comme celui d'Annecy, le centre-ville de Lille est concerné par l'ICU. En outre, le phénomène est observable dans la zone de Roubaix-Tourcoing, les écarts de température entre centre et périphérie s'élevant de 1 à 2 °C.

L'ICU de Paris a fait l'objet de publications depuis plus de soixante ans (CANTAT O., 2004). La région parisienne connaît un climat océanique avec une prédominance de turbulences cycloniques peu favorables à l'existence de climats liés aux conditions topographiques (topoclimats). Cependant, la capitale étant abritée en vallée de la Seine, son climat fait exception. Son ICU n'est pas stable, mais évolue selon l'heure de la journée et la saison.

En journée, l'écart entre la température minimale à Paris et celle enregistrée à la campagne peut dépasser 10 °C. Le contraste est surtout marqué la nuit en été (écart de température supérieur à 3 °C). Sur la période 1990-1999, l'écart moyen de température a été de l'ordre de 3,3 °C. Il arrive cependant qu'il soit beaucoup plus important comme le 5 octobre 1997 où on a relevé 12,9 °C en centre-ville et - 4 °C à la campagne.

L'étude menée sur la ville de Rennes avait pour but de valider l'utilisation de la géomatique et des images du Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) de la NOAA pour étudier les ICU. Malheureusement, les documents que nous avons consulté étaient exempts de toute indication quant aux écarts de température dans le chef-lieu du département d'Ille-et-Vilaine.

Par contre, l'étude CAPITOUL menée par Météo France sur la ville de Toulouse, est riche d'enseignements. Il s'agissait d'évaluer l'influence des villes sur le climat et l'atmosphère, en apportant des réponses quant au bilan énergétique des surfaces urbaines en hiver. Ces recherches se sont déroulées de mars 2004 à mars 2005 avec le concours de nombreuses institutions françaises. Par ailleurs, un partenariat a été établi avec les universités anglaise et canadienne de Birmingham, Colombie britannique et Western Ontario.

En 2006, la ville de Marseille a fait l'objet d'importants travaux en climatologie urbaine et en mécanique des fluides dans le cadre du programme Couche limite urbaine/Expérience sur site pour contraindre les modèles de pollution atmosphérique et de transports d'émissions (CLU/ESCOMPTE). Piloté par le Centre national de recherches météorologiques (CNRM), il occupe une place à part dans notre travail de recherche, dans la mesure où son objectif premier était le développement de modèles méso-échelle en chimie des transports (notamment des aérosols), et non l'étude des ICU en tant que tels. Cependant, il faut noter : 1) la mobilisation de moyens techniques inédits ; 2) l'approche panoramique des phénomènes interférant sur le climat urbain ; 3) la collaboration de chercheurs nord-américains.

à l'influence du Rhône et de vallée de la Durance dans le transport des polluants atmosphériques et de la formation de l'UBL (BASTIN S., 2005).

Enfin, le canadien Tim R. Oke, spécialiste des ICU, a notamment travaillé sur la pollution dans les rues canyons (SALMOND J. A., 2005). Cette collaboration atteste de l'existence d'un « pont » entre la recherche nord-américaine et française en climatologie urbaine.

Les manques: aspects techniques et sociaux

L'actualité des ICU revêt différentes temporalités en fonction des latitudes. L'état des savoirs en France, pays de climat tempéré, apparaît de ce point de vue comme un juste milieu. Il semble qu'il existe certains blocages dans le monde de la recherche par rapport à ce sujet : à Nantes, un projet lancé en 1995 n'avait pu aboutir en 2000 faute du versement des fonds requis (ROBIN M., 2000).

- Aspects techniques

Le simple citoyen qui souhaiterait s'informer sur les ICU serait bien en peine de trouver quelque information que ce soit sur les sites Internet du Ministère de l'écologie, du développement durable et de la mer, de Météo France ou de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (AFSSET).

Par ailleurs, les résultats des études françaises sur les ICU sont souvent présentés avec deux indicateurs distincts : gradient thermique exprimé en température ramenée à la distance (degrés °C/km), ou écarts de température. Si tant est qu'elle ait un sens – eu égard aux différences climatiques, météorologiques et topographiques d'une ville à l'autre –, toute comparaison est donc impossible.

Au niveau du bâti, le lien entre nature des matériaux de construction et température est ignoré. Par ailleurs, la relation coefficient d'occupation des sols (COS)/ICU constitue un angle mort de la recherche.

Au niveau des espaces verts et des plans d'eau, rien ne vient en outre confirmer ou infirmer leurs rôles modérateurs par rapport à la chaleur.

- Aspects sociaux

La recension des travaux français sur les ICU fait apparaître une tendance à l'ultra spécialisation, pour ne pas dire un « repli », d'où une approche purement physique et quantitative du phénomène (nébulosité, etc.). Il nous a été impossible de mettre la main sur un article relatif aux ICU signé par un épidémiologiste, un urbaniste ou un sociologue.

La base de données de l'Ecole des hautes études en santé publique est exempte de toute référence et celle de l'Institut de l'information scientifique et technique ne comprend qu'une seule occurrence pour l'expression « îlot de chaleur urbain » entre 1990 et 2009.

La perspective ouverte par Pigeon et al. (Vers une modélisation intégrée de la ville) est stimulante, mais on peut légitimement douter de sa matérialisation si un dialogue tarde à s'établir entre les politiques, les professionnels de la ville et les habitants. A ce titre, l'article L. 110-1 du Code de l'environnement modifié par la loi n°2002-276 relative à la démocratie de proximité, mettait en exergue le principe d'action préventive en précisant : « le public est associé au processus d'élaboration des projets ayant une incidence importante sur l'environnement ou l'aménagement du territoire. ».

Par ailleurs, les personnes âgées ont payé le plus lourd tribut à la canicule de 2003 et la population française est vieillissante. Or, le concept de justice environnementale, né au début des années 1980 aux Etats-Unis – et sur lequel nous reviendrons plus longuement – tarde à se faire une place dans l'hexagone, la question des inégalités venant buter sur le principe d'égalité républicaine (CHARLES L., 2007). Pourtant, ses deux piliers que sont la différence d'exposition à un risque sanitaire et la question de l'habitat seraient propices à un examen critique de la question des ICU.

La mortalité n'est pas la seule porte d'entrée pour s'attaquer aux effets sanitaires du climat urbain. L'OMS a en effet défini la santé comme un état de bien-être complet, physique, psychologique et social. Pour autant, la morbidité liée aux températures excessives est passée sous silence, fait d'autant plus paradoxal que depuis la fin des années 1960 une science nouvelle a émergé : la biométéorologie (BESANCENOT J-P., 1997 ; BLAZEJCZYK K., 2001).

En Amérique du Nord, elle a droit de cité depuis de nombreuses d'années. Au Canada, les autorités sanitaires disposent depuis 1965 d'un indice de correspondance entre la température exprimée en degrés Fahrenheit et l'humidité relative (ou degré hygrométrique) : l'Humidex (MASTERSON, 1979). Il conjugue dimensions physiques (humidité de l'air, température) et psychologique (ressenti) et permet d'évaluer le confort thermique en extérieur afin de prévenir les insulations (annexe n°2).

Si peu de gens sont incommodés avec un Humidex inférieur à 29, on note une sensation de malaise plus ou moins prononcée si il est compris entre 30 et 34. La gêne devient importante entre 35 et 39, une sensation de malaise généralisée apparaît entre 40 et 45, suivie d'un danger entre 46 et 53 et d'un risque de coup de chaleur imminent et de décès au-dessus de 54.

Aux Etats-Unis, il existe un autre indice depuis 1979 : le Heat Index (STEADMAN R. G., 1979 ; SCHLATTER T. W., 2005).

Humidex et Heat Index ont trait à la chaleur en extérieur. En France, nous ne disposons – et depuis 2003 seulement –, que d'un outil mathématique développé pour l'intérieur, à savoir le confort hygrothermique.

Par conséquent, nous sommes en droit de supposer que la question du confort thermique relève exclusivement de la sphère privée. A ce titre, la Direction générale de l'urbanisme, de l'habitat et de la construction (DGUHC) ne diffuse que des documents ayant trait à la température dans l'habitat (DGUHC, 2006 ; DGUHC, 2007). Places et rues sont inexistantes.

Si la recherche française est en retard sur les ICU, on sent néanmoins un frémissement du côté de Grenoble. Au premier semestre 2007, l'Ecole nationale supérieure d'architecture (ENSAG) a ainsi organisé un séminaire sur les dispositifs architecturaux et les sensations urbaines puis collaboré avec la ville à la réalisation d'un document synthétique (Ilots de chaleur - puits de fraîcheur). De son côté, l'Institut de géographie alpine de l'université Joseph Fourier a mis en place un module de formation sur les enjeux climatiques et la maîtrise d'ouvrage et animé un atelier avec l'Institut d'urbanisme de Grenoble intitulé Changement climatique, changement de ville. Trois scénarii pour la Ville d'Echirolles.

Enfin, l'ENSAG a présenté plusieurs communications sur les ICU dans le cadre de la deuxième Biennale de l'habitat durable qui s'est tenue du 22 mai au 19 juin 2008.

Conclusion:

L'ICU est un objet de recherche récent, malgré l'observation de celui-ci dès la fondation des villes. En 1818, la première publication sur l'ICU et les facteurs impliqués est recensée. Depuis les travaux suivants portent essentiellement sur son observation. A partir des années 70, les mécanismes de l'ICU sont identifiés et la mesure de l'ICU a progressé conjointement avec l'évolution des appareils de mesures. Les travaux de Oke T.R. marquent le début de la période actuelle des études sur l'ICU. L'observation de l'ICU est réalisée dans un grand nombre de ville à travers le monde. Les études étaient d'abord essentiellement en Europe et en Amérique du Nord, puis en milieu tropical. En France, les travaux sur l'ICU portent essentiellement sur les plus grandes agglomérations. L'ICU des villes de taille intermédiaire reste peu étudié, malgré la présence potentielle de celui-ci. Le milieu urbain influence localement le climat par la modification du bilan énergétique. Les formes urbaines (notamment les « canyons urbains ») et la faible présence de la végétation en ville agissent sur le bilan radiatif et énergétique. Ainsi, ils sont identifiés comme les principaux facteurs de la variabilité spatiale de l'ICU. Puis, la variabilité temporelle de l'ICU est établie selon deux facteurs principaux : l'alternance du jour et de la nuit, et des types de temps. Ces éléments permettent d'établir les échelles associées à la variabilité de l'ICU : l'échelle microlocale, l'échelle locale, la méso-échelle. La variabilité spatio-temporelle de l'ICU requiert une approche méthodologique par échelles emboîtées. Cependant, l'analyse du contexte doit être réalisée préalablement, afin d'établir son influence sur l'ICU.

Chapitre 02 :
**Présentation de la zone
d'étude**

1. Présentation de la zone d'étude

La Wilaya de Djelfa est située dans la partie centrale de l'Algérie du Nord au-delà des piémonts Sud de l'Atlas Tellien en venant du Nord dont le chef-lieu de Wilaya et à 300 kilomètres au Sud de la capitale, elle est comprise entre 2° et 5° de longitude et entre 33° et 35° de latitude nord et 1185m d'altitude.

La Wilaya est limitée au Nord par Médéa, à l'Est par M'Silla et Biskra Au Sud-Ouest Laghouat et de Tiaret Au Sud par Ouargla et Ghardaïa.

1.1.Situation Géographique et administrative de la commune de Messaad

Le 26 novembre 2019, le gouvernement a annoncé que les wilayas déléguées du Sahara créées en 2015 vont être transformées en wilayas à part entière et 44 nouvelles wilayas déléguées vont être créées principalement dans les Hauts Plateaux, Le ministère de l'Intérieur, des Collectivités locales et de l'Aménagement du territoire, a affirmé que la Commune de Messaâd , située au sud de la wilaya, était concernée par "une promotion dans le cadre du découpage administratif relatif aux wilayas déléguées.

La commune de Mesaad dont le chef-lieu est situé en son centre, est entourée par les communes de ; Moudjbara au nord Selmana à l'est et au sud-ouest Deldoul à l'ouest et sud-ouest. Elle fait partie des hautes steppiques, est la plus petite commune de la wilaya de Djelfa.

La ville de Mesaad se situe à 76 km au sud Est de la ville de Djelfa et a 92 km au Nord Est de Laghouat, la commune de Mesaad occupe une superficie de l'ordre de 9721,06 km² représentant 28,70% de la superficie totale de la wilaya de Djelfa. Elle s'insère entre les coordonnées suivantes:

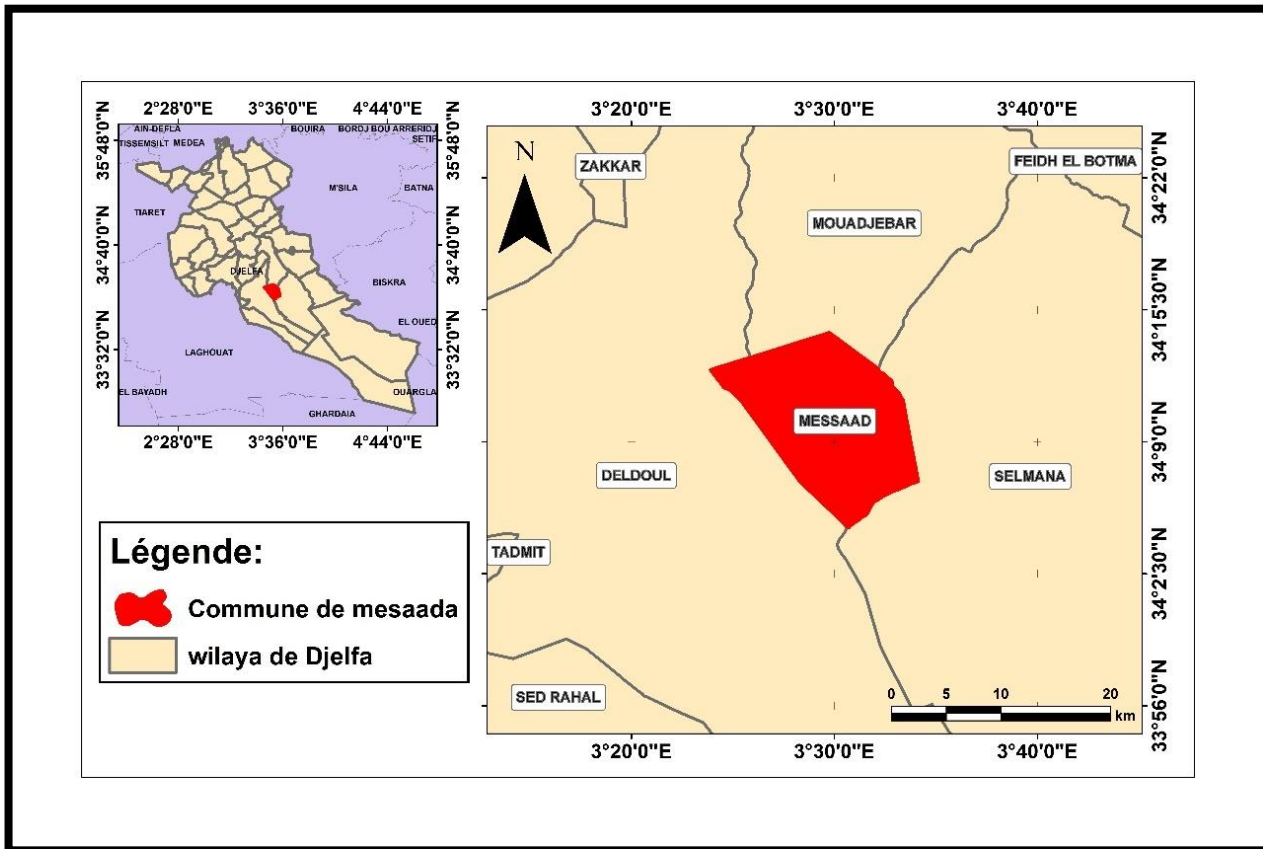
X=572,30 X=576,60

Y=394,60 Y=396,80

La ville de Messaâd se trouve à la bordure Sud et SUD-EST de la grande pénéplaine de MREKBAT EL OUASSIL. Cette pénéplaine est limitée au Nord par la surélévation de Moudjbara (Altitude:1491 mètres), à l'Est par le massif montagneux du Djebel Boukahil, à l'Ouest par l'anticlinal de Djebel Mergueb, Zerga et au sud par une suite de crêtes rocheuses: Kef El-Guettouf, Kef Trog, Kef Tasseda, Kef El Bordj et les collines du Seba Hassedj, barrière rocheuse orientée W.S.W-N.E, séparant cette pénéplaine des DIAS.

Au Nord, les monts des OULED NAIL dont la sur élévation de MOUDJBARA fait partie, appartiennent, grâce à leur versant méridional, au bassin versant de l'Oued Messâad .L'Oued Messâad sépare la ville de l'ouest à l'est jusqu' au KHENNEG DEMMED ou il traverse en cluse les derniers chaînons Atlasiques pour déboucher dans la plain saharienne et confluer avec l'Oued Djedi.

Carte N°2: situation géographique et administrative de la commune de Messaad



2. Analyse du milieu physique

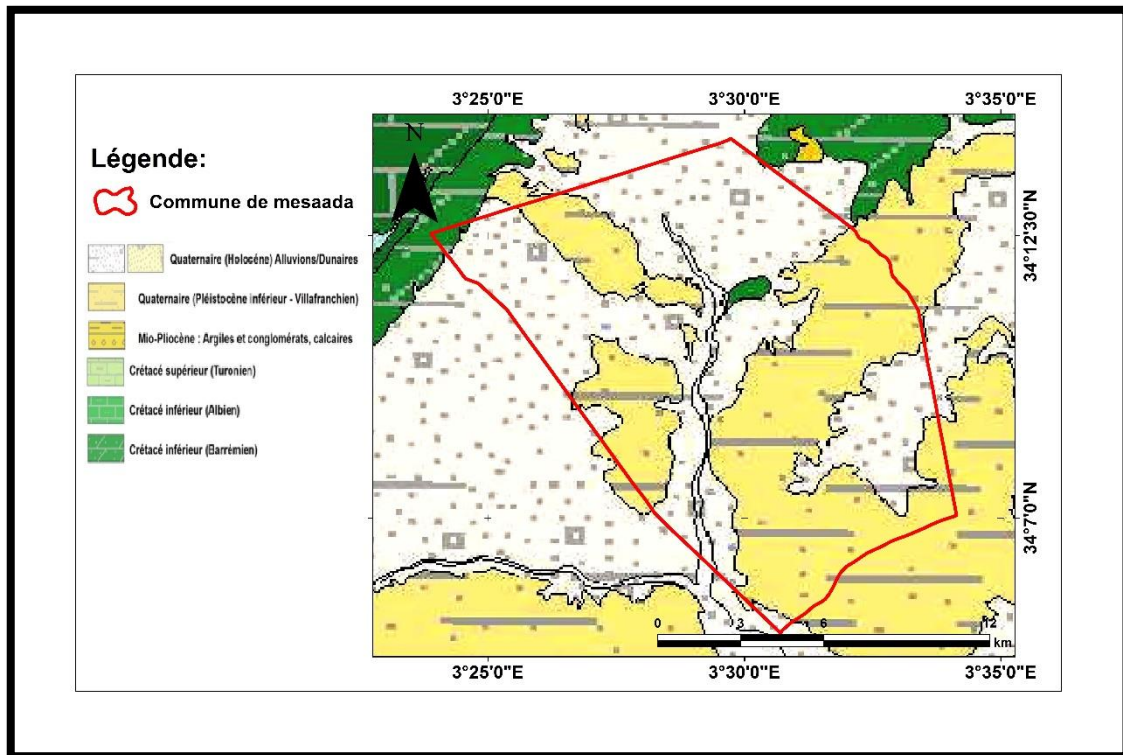
Les études sur le fonctionnement des écosystèmes terrestres, leurs possibles modifications et leurs adaptations aux changements climatiques et aux pressions humaines, ainsi que les effets et les impacts de ces modifications sur les ressources édaphiques, hydriques et biotiques, occupent une place importante dans la recherche actuellement. (kerzani rachida .2017).

➤ Géologie

La géologie joue un rôle important à travers la description des différentes formations géologiques, il y a une grande diversification de la nature et de la qualité des différents matériaux issus de ces formations qui vont favoriser une diversification du sol. L'intérêt de la géologie est dicté par le rôle des roches dans les genèses des sols et le façonnement des paysages pédologiques.

D'après **Belgat (2001)** : «les processus de morphogenèses s'exercent en effet sur le même milieu et sont influencés par les mêmes facteurs (climat, végétation, roche mère, temps et l'homme), de sorte qu'ils interfèrent constamment sur l'évolution d'un sol. Les formes de relief sont

indissociables l'un de l'autre car elles résultent toutes deux d'une infinité d'interactions s'exerçant simultanément ou de façon concurrentielle dans le temps et dans l'espace ».



Carte N°2: géologie de la zone d'étude .kezrane.ahmed .google engeien

❖ Stratigraphie :

➤ Quaternaire

Les alluvions récentes tapissent l'oued Messaad tandis que les alluvions anciennes forment les moyennes terrasses occupées par les jardins.

Les parties avales de Demmed et saifi sont implantées sur les hauts terrasses alluviales de l'oued Messaad, les alluvions sont constitués des limons, sables, graviers, galets et poudingues.

➤ Moi-pliocène continental

Il affleure largement dans la plaine et recouvre en discordance le crétacé supérieur, la partie Ouest de la ville au-delà de la route de Boussaada et de la route de Touggourt. Est construite sur le Moi-pliocène.

Le Moi-pliocène est un terrain d'atterrissement constitué par des poudingues sables, argiles et marne à gypse, cette série montre deux termes différents, se terminant chacune par une croûte calcaire. Le deuxième terme au niveau supérieur d'une épaisseur de dix mètres d'argile. Le tout est surmonté d'une deuxième croûte calcaire. Les plus gros sédiments du Moi-pliocène tels que les conglomérats et les poudingues sont localisés au sud et à l'est de la plaine tout le long de la chaîne crétacique méridionale.

➤ Crétacé

La transgression miocène a été très rapide au niveau de partie Sud de la ville de Messaad limitées par :

- A l'ouest ; la route de Boussaâda.
- Au sud-ouest ; la route de Touggourt
- A l'est et au Nord Est ; Saïfi
- Au Nord : anciennes serrasses alluviales occupées les jardins
- Au sud : versant Nord de Seba Hasedj.

Dans cette enceinte. Le relief du substratum crétacé n'a pas eu le temps d'être pénéplaine, il présente actuellement une topographie accidentée.

La série crétacée se termine par le turonien au niveau du versant méridional saharien de la chaîne formée par Kef-trog et Kef-tessada, le crétacé est constitué par (turonien C6, céno-manien C5-C4, albien C2.1, aptien C1.1).

➤ Tectonique

Le dépôt Mio-pliocène discordant sur le substratum crétacé est très peu affecté par les mouvements orogéniques sauf aux abords de la chaîne méridionale de Kef Tessaada et Kef el Bourdj où il accuse un léger relèvement, Le reste de la couverture Mio-pliocène s'étendant au nord de Messaad, et quasi horizontale et ne présente qu'une faible inclinaison du nord vers le sud. Parmi les mouvements ante-miocène qui ont affecté le substratum crétacé, on note à la bordure méridionale de la plaine et le long de Kef Trog et Kef Bordj, l'existence d'une grande faille faisant buter l'aptien et les termes inférieurs de l'albien de la ville de Messaad contre le céno-manien et même le Turonien de ces deux chaînons.

➤ la sismicité :

Les classifications établies ci-dessous sont indépendantes du choix du système constructif et concernant les zones sismiques les groupes d'usages et les sols.

En fonction de l'intensité sismique, l'Algérie est découpée en zones sismiques ;

Zone 0 : sismicité négligeable, Zone I : sismicité faible, Zone II : sismicité moyenne,

Zone III : sismicité forte. La région de Djelfa a été classée dans la (Zone I) suivant la recommandation parasismique Algérie 1981, donc elle est caractérisée par une faible sismicité.

➤ géomorphologie:

Des variables importantes, servant à la description phytoécologique régionale et sectorielle, les formes du relief sont, à juste titre, considérées comme l'expression synthétique de l'action du climat sur le relief structural par l'intermédiaire de la végétation (**Tricart et Cailleux, 1969**).

La partie sud de la ville de Messaad s'étale, en largeur des versants méridionaux des reliefs escarpés de SEBA HASSEDJ et KEF MESSAAD jusqu'aux terrasses alluviales anciennes de

L'OUED MESSAAD cette partie de la ville est délimité, sensiblement par les courbes de niveau 700 mètres et 745 mètres.

La pente orientée dans la direction Sud Nord, n'est pas constante forte au début elle diminue pour devenir presque nulle à la limite sud des jardins situés sur les anciennes terrasses alluviales de L'OUED MESSAAD.

La ville MESSAAD dans sa partie sud, présente un relief très accidenté caractérisé par :

Une zone haute.

Une zone intermédiaire.

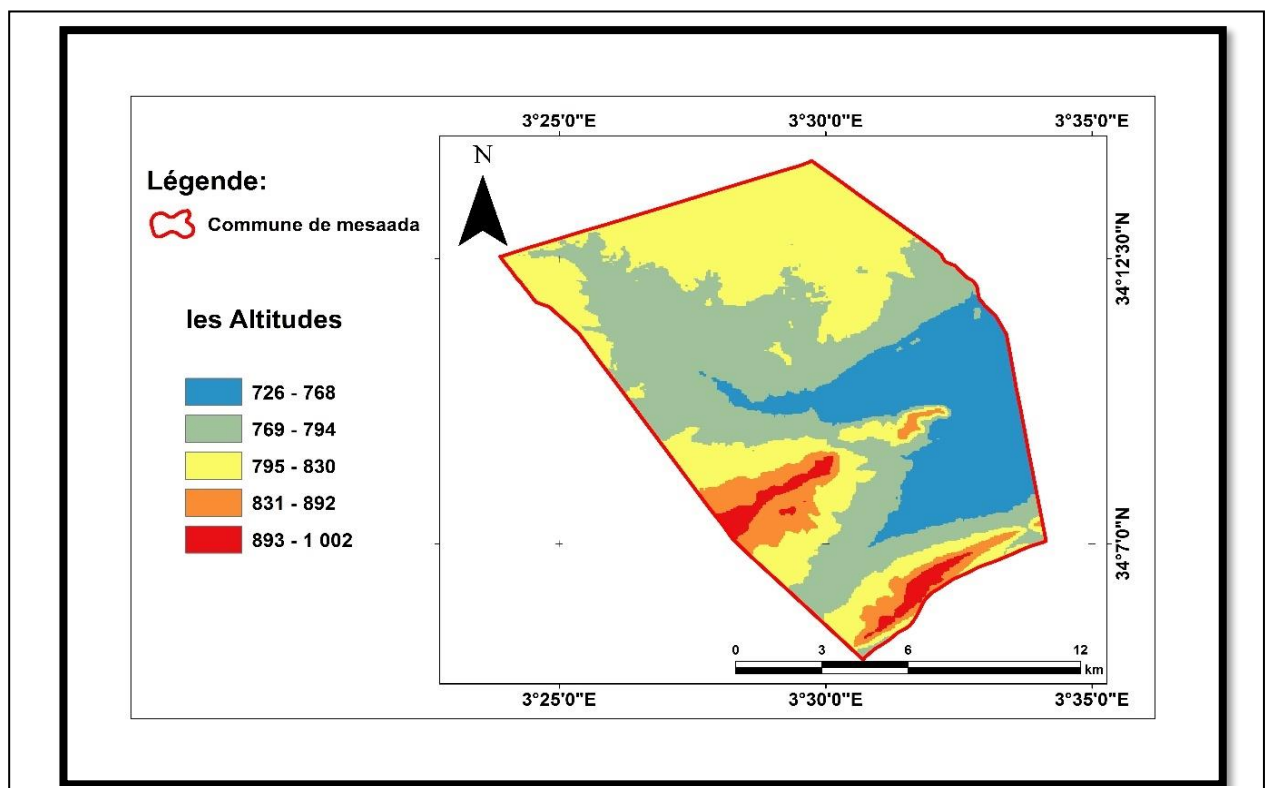
Une zone basse.

Les réseaux hydrographiques sont caractérisés par leur densité et par l'existence des Oueds qui sont d'origine pluviale ou souterraine qui proviennent soit directement, soit par ruissellement

Lézarde par plusieurs talwegs délimités par crêtes formant des entités topographiques juxtaposées et disposés, quasiment en parallèles.

La partie Nord de la ville de MESSAAD ZHUN est située sur un plateau mise à part la partie aval de la cite el Quads qui est construite sur un terrain incliné jouxtant le haut du talus gauche de L'OUED MESSAAD, la pente est généralement faible.

Carte N°3: les altitudes de la commune de Messaad



Source : d'étude .kezrane.ahmed .google engenien

➤ **topographie :**

✓ **les reliefs :**

Les reliefs de la zone d'étude sont représentés par

a) La plaine :

Elle occupe une partie du territoire communale, ils se trouvent entre les ensembles montagneux comme les plaines de «oued défilia » et oued Messaad ce dernier représente le support foncier la ville de messaad.

b) La dépression :

Le Daïa est correspond à une vaste dépression endoréique :

Les dayas définies comme des petites dépressions fermées se localisé au sud du territoire.

c) La région des plateaux :

Cette région est plus ou plaine, légèrement ondulée à pente douce par fois nulle et d'une altitude plus faible qui ne dépasse pas les 600m.

Cette région situé au sud de la commune et une partie du Nord entre les chinons montagneux et le Djebel Bouk'hil, elle est parcourue de nombreux cours d'eaux plus larges que profonde et parsemée de Daites.

✓ **les pentes :**

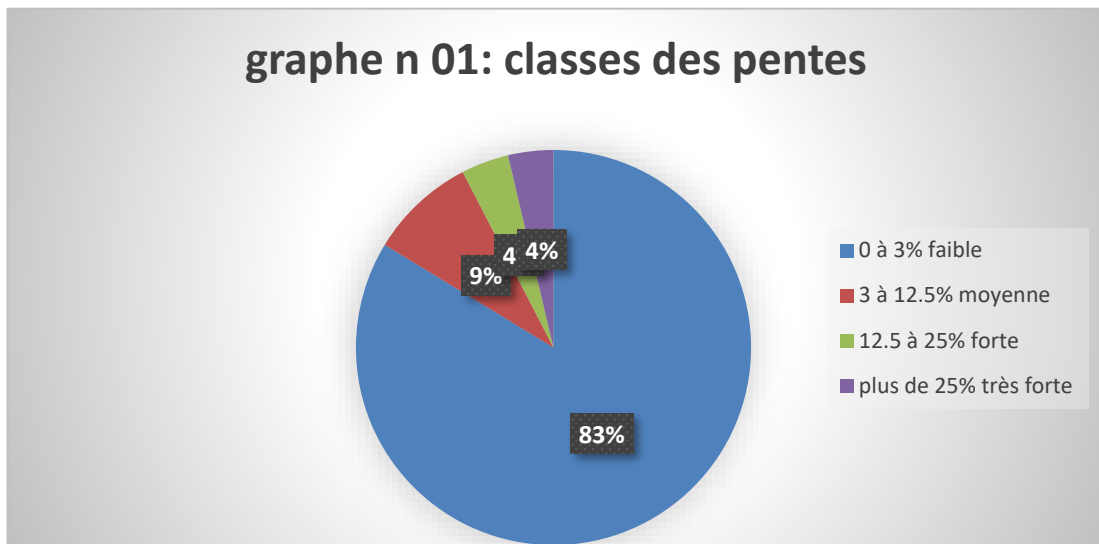
Les pentes ont un impact sur les différentes activités de l'homme en particulier l'urbanisme les zones accidentés présentent une contrainte majeur pour la construction, le tableau suivant montre les classes de pente existante dans la commune de Messaad.

Tableau N°01: répartition des pentes dans la commune de MESSAAD

Classement	Type	Surface (ha)	Pourcentage
0-03	Faible	11684.52	83.7
03-12.5	Moyen	1214.52	8.7
12,5-25	Forte	544.44	3.9
>25	Très forte	516.52	3.7

Source : PDAU MESSAAD 2009

graphe n 01: classes des pentes



Graphe N° 01 : classes des pentes Source : réalisé par l'étudiante

Classes I : (0 à 3%)

Elle représente la plus vaste classe avec une superficie de 11684.52ha représente un taux de 83.7% de la superficie totale de la commune, couvre la plupart de la partie Nord et centrale de la commune comprennent les plaines (les accotements de « oued Défilia » et de oued Messaad.

Cette classe de pente est très favorable à l'urbanisme.

Classe II : (3 à 12.5%)

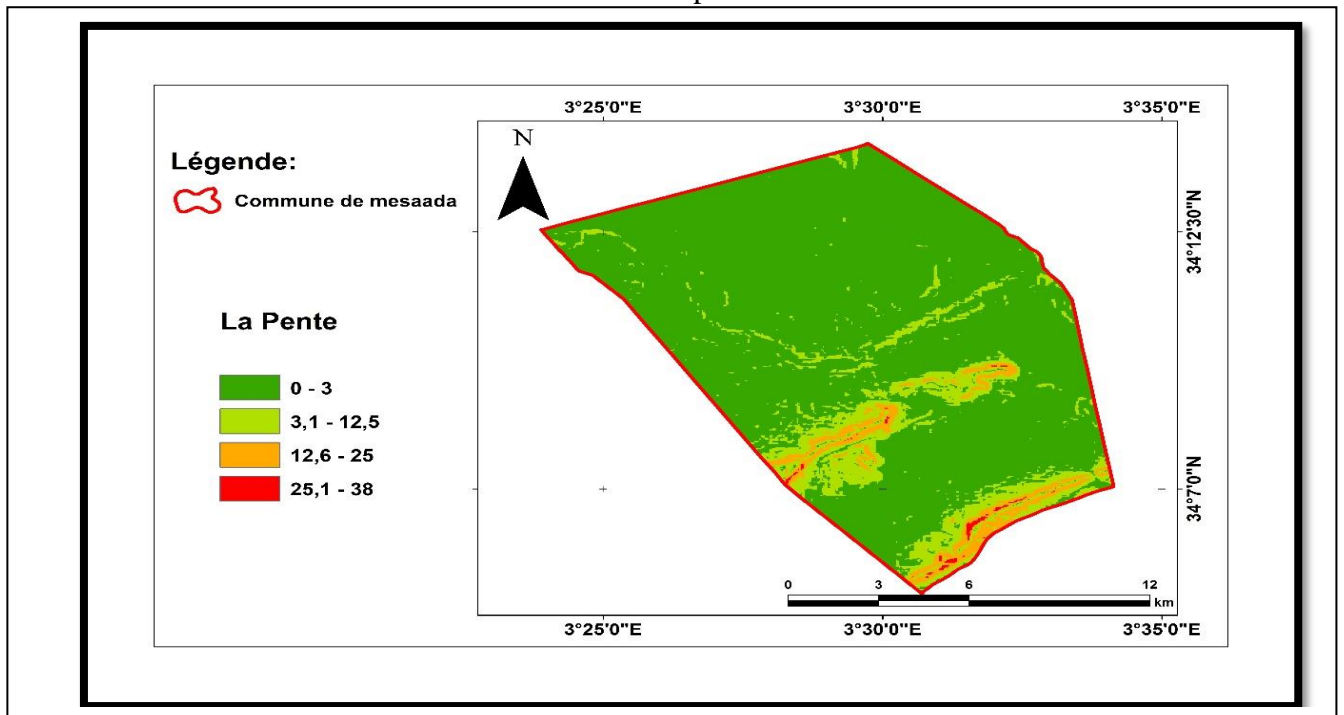
Elle représente la deuxième classe selon la superficie avec estimé 1214.52 ha à un taux de 8,7% de la superficie totale de la commune.

Cette classe située au Nord-Est et sud est favorable à l'urbanisme

Classe III : (12.5 à 25%)

Elle occupe la troisième classe selon la superficie avec 544.44 ha, soit un taux de 3.90% de la superficie totale de la commune concentrée surtout dans la partie sud et sud-ouest de la commune, et une petite partie près de les limites communales avec la commune de deldoul.

Carte N°4: la pente de la zone d'étude



Source : d'étude .kezrane.ahmed .google engenieur

Cette classe est peu favorable à l'urbanisme.

Classe IV : (plus de 25%)

Elle représente la quatrième classe selon la superficie avec 516.52ha, soit un taux de 3.7% de la superficie totale de la commune elle est située principalement dans la partie sud et sud-ouest (la zone montagneuse)

Cette classe n'est pas favorable à l'urbanisme.

➤ **réseaux hydrographiques:**

Les réseaux hydrographiques sont caractérisés par leur densité et par l'existence des Oueds qui sont d'origine pluviale ou souterraine qui proviennent soit directement, soit par ruissellement (kerzabi 2017).

Messaad avec sa situation géographique et son climat sec d'une part et la composition géologique d'autre part la région est caractérisée par une différence dans le réseau hydrographique entre la surface et les eaux souterraines.

✓ **L'eau de surface :**

L'oued Messaad est le cours d'eau principal il est généralement à sec mais il est traversé de la ville aussi est alimenté par la nappe alluviale qui est pourvue en eau à partir des sources de la nappe albienne qui affleure en amont de la ville.

L'oued traverse la plaine de l'ouest à l'est jusqu'au kheng Demed où il franchit en cluse les derniers chaînons atlasiques puis débouche dans la plaine saharienne et conflue avec l'oued Djedi

sur sa rive gauche, l'oued Messaad reçoit de nombreux affluents formant au réseau de drainage naturel de la plaine de Mrekhat el-Ouissat est inclinée vers le sud.

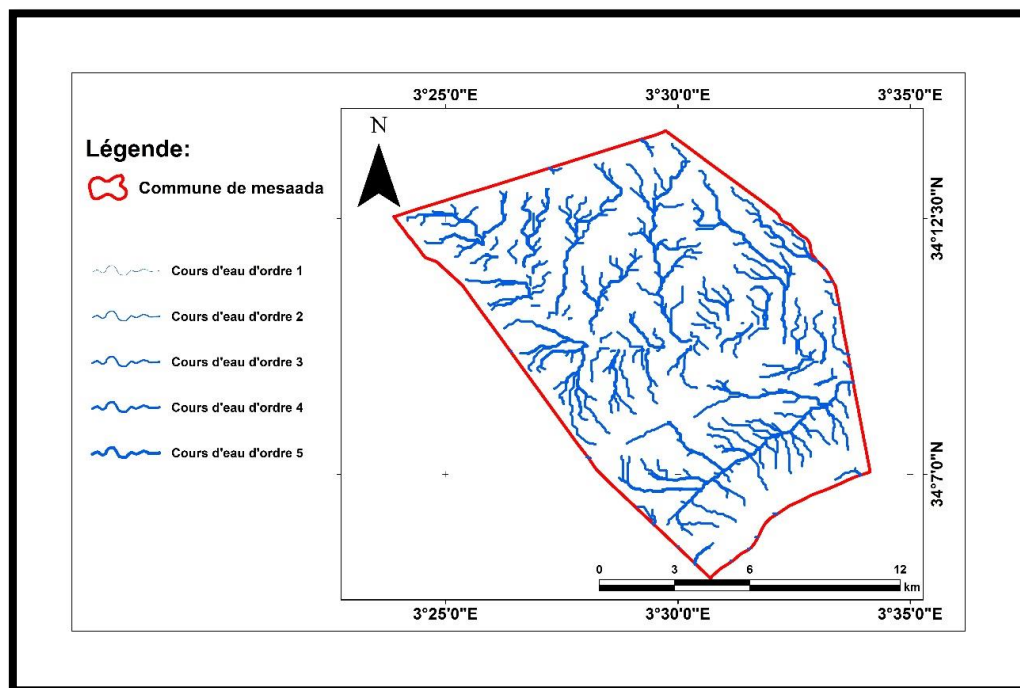
Le réseau hydrographique de la partie sud de la ville est constitué par l'oued Messaad et plusieurs telweg (chaabet Zaid, chaabat Sidi-Nail, chaabet Essouk..etc).

Ces dernières délimitées par des lignes de crêtes sont de direction Sud Nord.

Elles forment des sous bassins versants juxtaposés, quasiment, en parallèle ces dernières ont pour exutoire soit l'oued ou les jardins situés dans la partie basse de la ville.

La configuration du réseau hydrographique est celle d'un demi-arrêté ce réseau s'inscrit dans un bassin versant de forme allongée, la collecte des eaux de pluies au niveau du sud de la ville se fait latéralement tandis que leur évacuation s'effectue transversalement.

Carte N°5: hydraulique de la zone d'étude .kezrane.ahmed .google engeien



✓ Les eaux souterraines :

Selon **Gaucher et Burdin (1974)** dans le sous-sol des dépressions, il peut exister plusieurs nappes phréatiques ; elles fournissent généralement des sels, par la concentration et l'évaporation de leur frange capillaire, en formant une croûte salée qui recouvre le sol pendant la saison sèche.

Malgré l'absence de précipitations dans la région et l'absence d'eau superficielle, la zone possède une quantité considérable d'eau souterraine, trouvée dans les couches géologiques **BARREMIEN** et **ALBIEN**.

L'absence des études la quantité d'eau souterraine dans la région n'est pas bien déterminée et dépend essentiellement. De l'irrigation et de fournir la ville en eau potable, on trouve 09 puits profonds pour usage domestique ont une taille d'un moteur estimée à 259l/s et se distribuent sur 08

réservoirs de stockage. D'une capacité de 11650m³ y a deux réservoirs d'entre eux sont en mauvais état à la périphérie de la ville il y a plusieurs puits profonds réservés pour l'arrosage surtout à HANIET OULED SALEM dans l'entrée Nord-Ouest de la ville, Et la zone TAADMIT au Nord-Est de la ville.

➤ **hydrogéologie :**

Les terrains affluents dans la région de Messaad, présentent les caractéristiques hydrogéologiques suivantes :

Aptien :

Entièrement imperméable, il est composé en majeure partie des marnes et des schistes alternant avec quelques niveaux calcaires.

Les intercalations calcaires contiennent de petites réserves d'eau dans l'anticlinal de Djebel Zerga alimentent des sources insignifiantes.

Albien :

Il est représenté par une puissante série de grès, sable et argile, il contient plusieurs niveaux aquifères et constitue un réservoir très important alimentant la quasi-totalité des sources

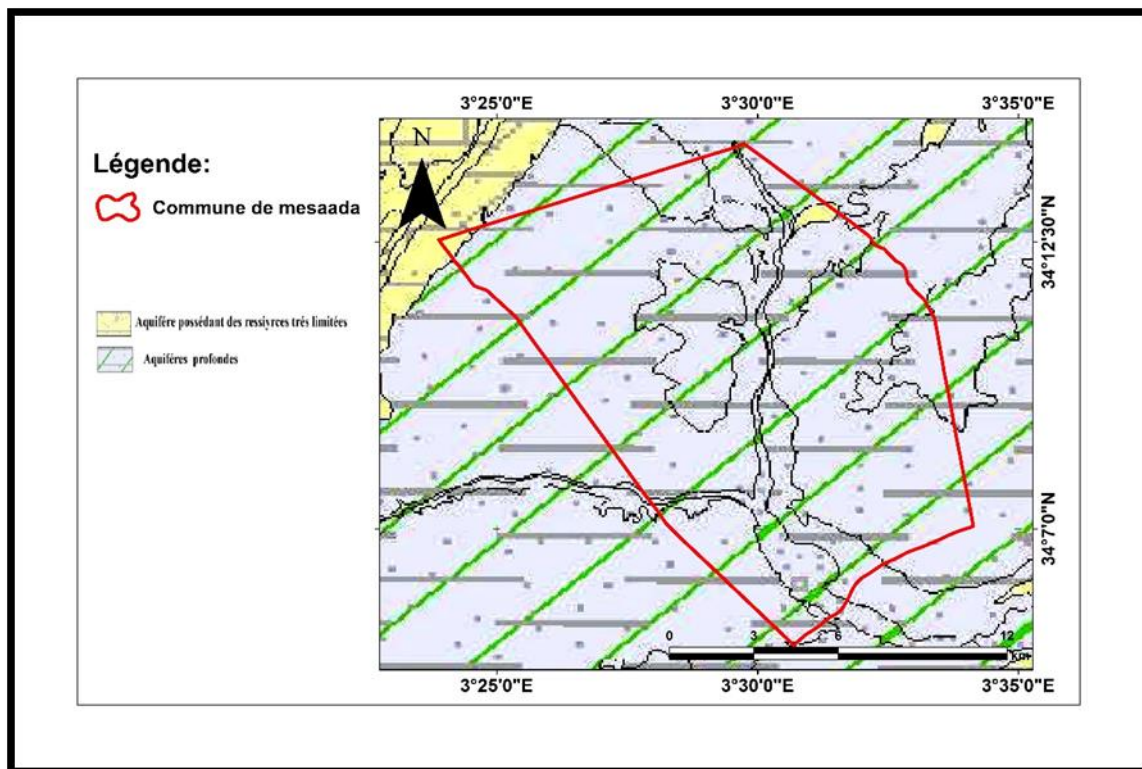
Cénomaniens : Il est presque totalement imperméable, le cénomaniens et le turonien dont les affleurements sont très étendus ne constituent que des réservoirs insignifiants et ne présente aucun intérêt hydrogéologique

Mio-pliocène :

Il est découpé profondément par la vallée des oueds et des eaux de pluies sont immédiatement drainées vers l'oued Messaad.

Tableau N °02 : hydrogéologie de la ville de Messaad

désignation	Nappe	Profondeur(m)
Oued Messaâd et basses terrasses	•	04 à 05
moyennes terrasses	•	≈12
Partie Ouest de la ville		
ZHUN		≈ 38
Dachra el Gueblia		
Cite Atlas		
Dachra dahraouia		
Dachrat Nouaoura		
Saifi (partie basse)	•	22,50
Demmed	•	
Quartier si Abdelkader ben Brahim		



Carte N°6: Plans d'occupation des sols de la ville de Messaad Source : DHW Djelfa 2020

✓ **Les nappes phréatiques :**

L'Oued Messaad est à sec, presque le long de son parcours sauf au moment des crues a sept kilomètres en amont de l'agglomération de MESSAAD, les grés albien affleurent dans la vallée de l'oued et donnent naissance à plusieurs sources, leurs eaux s'infiltrent à travers les alluvions et

alimentent une nappe alluviale abondante les eaux de cette nappe se manifestent sur une distance de vingt kilomètre jusqu'à KEF EL BORDJ.

Tableau N°3: Plans d'occupation des sols de la ville de Messaâd

POS	Superficie Ha	Situation
POS 01	67 HA	Entrée de Djelfa /Côté Sud route Touggourt
POS 02	69 HA	Lotissements Nord
POS 03	98 HA	Route Touggourt
POS 04	46 HA	Route Boussaâda
POS 05	45 HA	Sud -est du centre la ville
POS 06	51.22 HA	Sud –est de la ville
POS 07	80.80 HA	Sud -est de la ville
POS 08	62.80 HA	Sud- est de la ville
POS 09	87.80 HA	Sud est la ville
POS 10	122 HA	Sud est la ville
POS 11	37.70 HA	Sud est la ville
POS 12	72.70 HA	Sud est la ville
POS ZHUN	110.50 HA	ZHUN
POS entrée de la ville	78.20 HA	Centre ville

Source: PDAU révisé

3. Etude climatique :

La climatologie est une science de l'atmosphère, elle se situe aussi quant à son objet au niveau du sol, c.-à-d. au niveau des processus morphologiques, hydrologiques et pédologiques qui font du climat l'un des facteurs premiers de toute réalité géographique. Elle se situe aussi au niveau de la végétation ou des organismes supérieurs. C'est bien souvent dans des perspectives biologiques que la climatologie devra placer ses spéculations (**Péguy in Kadik, 1983**).

On peut Considères le climat comme l'action conjuguée d'un ensemble des phénomènes atmosphériques (facteurs de climat ; T, P, H..) dans un durée.

Généralement les régions steppiques algériennes sont caractérisées par un climat semi-aride à aride avec une saison estivale sèche et chaude alternant avec un hiver pluvieux et froid.

Dans la commune de Messaad en trouve les données suivants la période entre (1982-2018)

1) Précipitation :

La pluviométrie est marquée par une variabilité inter-mensuelle et saisonnière, et le Tableau suivant détermine les variations mensuelles de la pluviométrie.

Tableau N°4: les variations mensuelles des pluviométries dans la commune de Messaad entre (1981-2018)

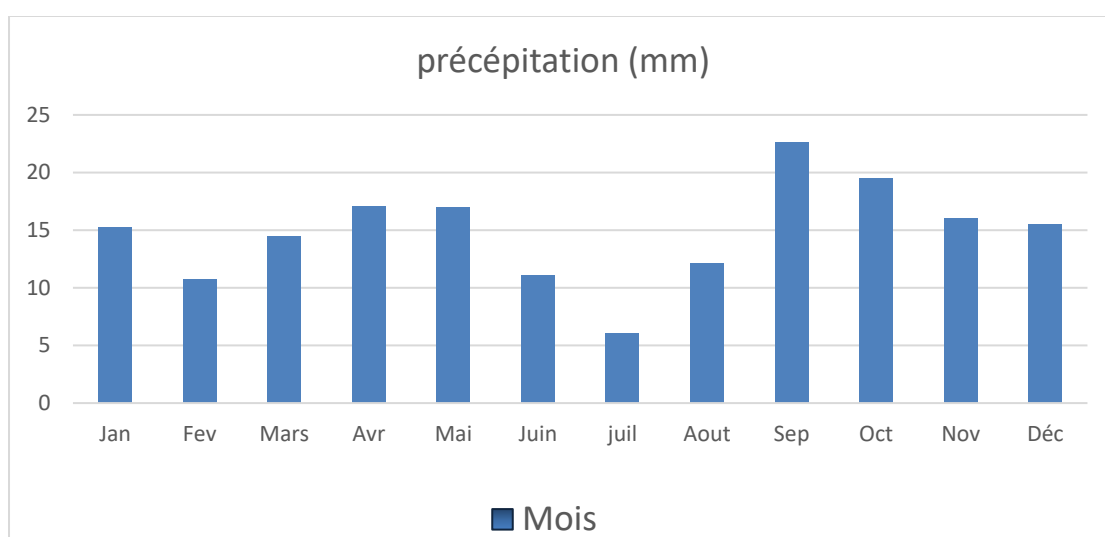
Mois	janv	févr	mars	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	Nov	déc	moy
Précipitation (mm)	5.2	10.7	14.4	17.05	17.00	11.08	6.03	12.11	22.58	19.47	16.05	15.50	14.78

Source traitement d'étudiante

La ville de MESSAAD présente une irrégularité durant la période d'étude les valeurs obtenues font apparaitre une période pluvieuse s'étend de (septembre-mai)

Tandis que durant la période sèche (juin-juillet-Aout) la pluviosité diminue pour atteindre une valeur minimal de 6.03 mm, observé au mois de juin.

Graphe n°02 : pluviométrie annuelle de Messaad entre (1981-2018)



➤ **Température :**

La température est l'élément du climat le plus important (Dajoz 2000) qui caractérise la chaleur que contient un volume d'air. Elle est mesurée par le degré Celsius, dans le tableau n... sont présentées les valeurs de la température enregistrées durant la période (2000-2017)

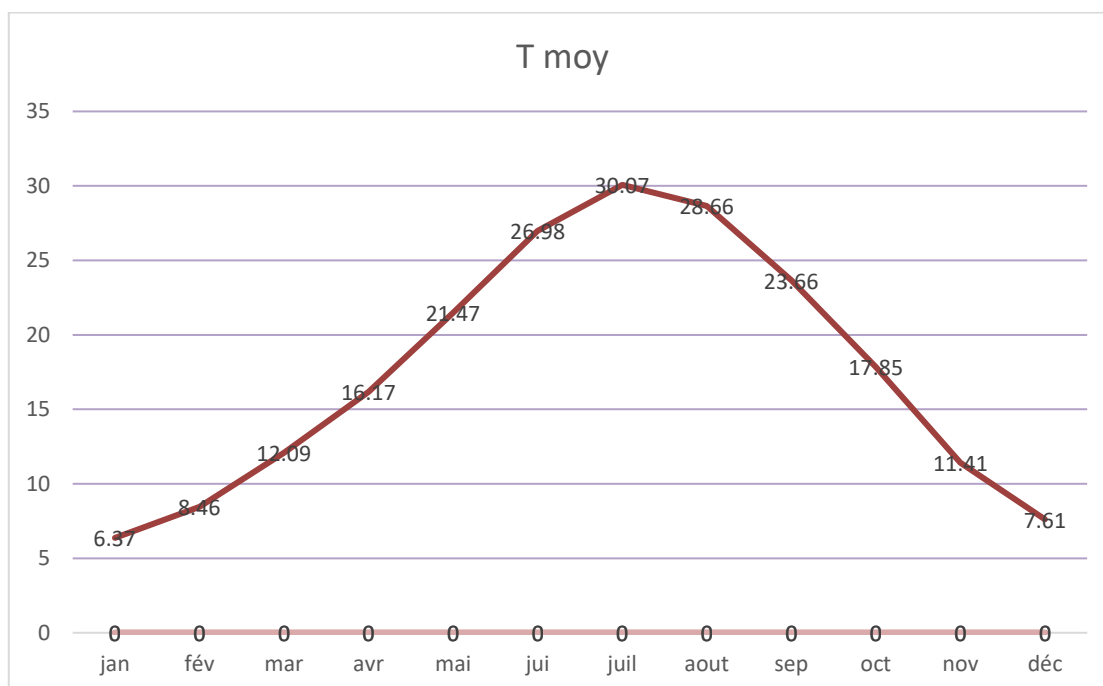
Tableau N°05: les températures moyennes mensuelles en (°C) de la commune de messaad entre (1981-2018)

Annee	Moyenne de T°C	Max de T°C	Min de T°C
Jan	6.73	12.40	1.90
Fév	8.46	14.83	2.72
Mar	12.09	18.70	6.30
Avr	16.17	23.58	9.18
Mai	21.47	28.30	13.56
Jui	26.98	34.21	18.59
Juil	30.07	38.71	21.40
Aout	28.66	37.56	21.07
Sep	23.66	31.31	17.52
Oct	17.85	25.04	12.49
Nov	11.41	18.13	6.36
Déc	7.61	13.37	2.46

Source : d'étude .kezrane.ahmed .

D'après le tableau au-dessus. On remarque que le mois froid est celui de janvier avec une température de 6.73°C et le mois le plus chaud est celui de juillet avec une température moyenne de 30.07°C.

Graphe N°03: Température moyenne mensuelle dans la commune de Messaad entre (1981-2018)

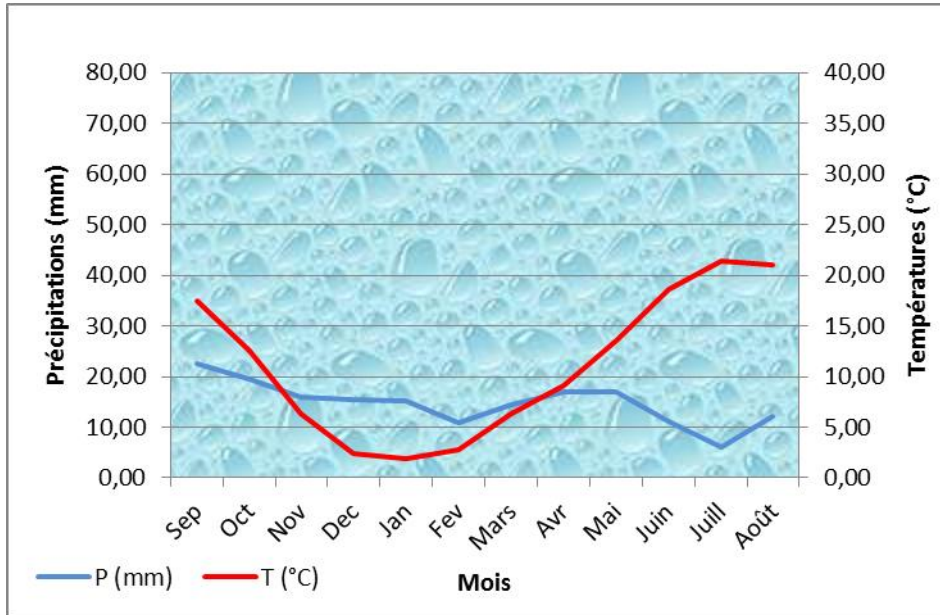


-**T. moy** : moyenne annuelle des températures en °C.

. Le diagramme ombro-thérmiq de guassen et bangoul :

Le diagramme ombrothérmiq de Gaussen et Bangoul est une méthode graphique qui permet de définir séché et humide de l'année ou sont portés en abscisses les mois, et en ordonnées les précipitations (P) et les températures (T) avec $P=2T$.

Figure 14. Diagramme ombrothérmiq de Bangoul et Gaussen entre (1981-2018)



Source :traitement d'étudiante

Le diagramme ombrothérmiq de la région de Messaad montre une période de sécheresses compte 04 mois (juin, juillet, Aout, septembre.) Et la période humide qui dure 08 mois de janvier à mai et d'Octobre à Décembre.

➤ **Les vents :**

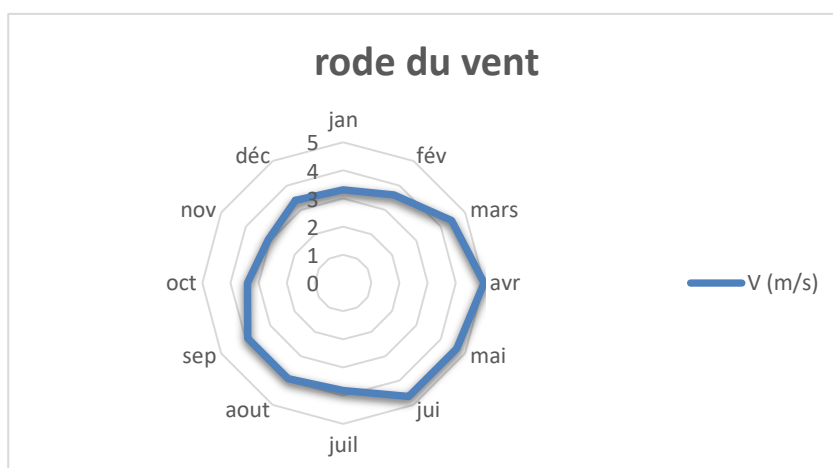
Les vents sont généralement orientés vers l'ouest et le nord-ouest ainsi que le vent siroco qui souffle en été (du mois de mai jusqu'à aout) qui sont à un grand effet sur l'augmentation de phénomène d'érosion éolienne.

Tableau N°06: Variation mensuelles des vents dans la commune de Messaad Entre (1981-2021)

Mois	janv	févr	mars	avr	mai	juin	juil	août	sept	oct	Nov	déc	moy
V (m/s)	3.31	3.61	4.45	5.00	4.66	4.65	3.82	3.92	3.92	3.40	3.07	3.39	3.93

Source : traitement d'étudiant

Graphe N°04: Rose de Vent



D'après le tableau n.. et le graphe n.. Les mois les plus venteaux sont respectivement mars (4.45 m/s) avril (5.00 m/s) mai (4.66 m/s) juin (4.65 m/s). Par contre le mois de janvier ou la vitesse de vent faible (3.31m/s)

. Etude socio-économique de la ville de Messaad :

Avant d'approcher une quelconque étude de planifications, d'aménagement ou de développement, une analyse démographique est indispensable car la population est considéré comme étant un volet important. L'avantage d'une étude démographique est de fournir des éléments de classification et de faire apparaître des données qui sont de plus intérêt pour analyser des besoins d'équipements et de services (pierre George 1974)

4. Evolution de la population :

Le recensement du nombre de population aux différents horizons prend en considération la croissance naturelle de la population résidente. La croissance naturelle de la population tient compte du taux de fécondité et du taux de la mortalité exprime en termes d'espérance de vie.

La ville Messaad a connu selon les 04 recensements (1977, 1987,1997, 2008) et estimation de 2019 une croissance démographique très importante. Car la population est passée de 20580 habitants en 2008. Le tableau suivant montre cette évolution.

Tableau N° 07: Evolution de la population de la ville de Messaad

Années	Nombre de pop	Croissance	Taux d'accroissance
1977	20580	/	/
1987	47460	26880	8,71
1998	75552	28092	4,27
2008	97091	21539	2,6
Estimation 2019	136824	39733	2,8

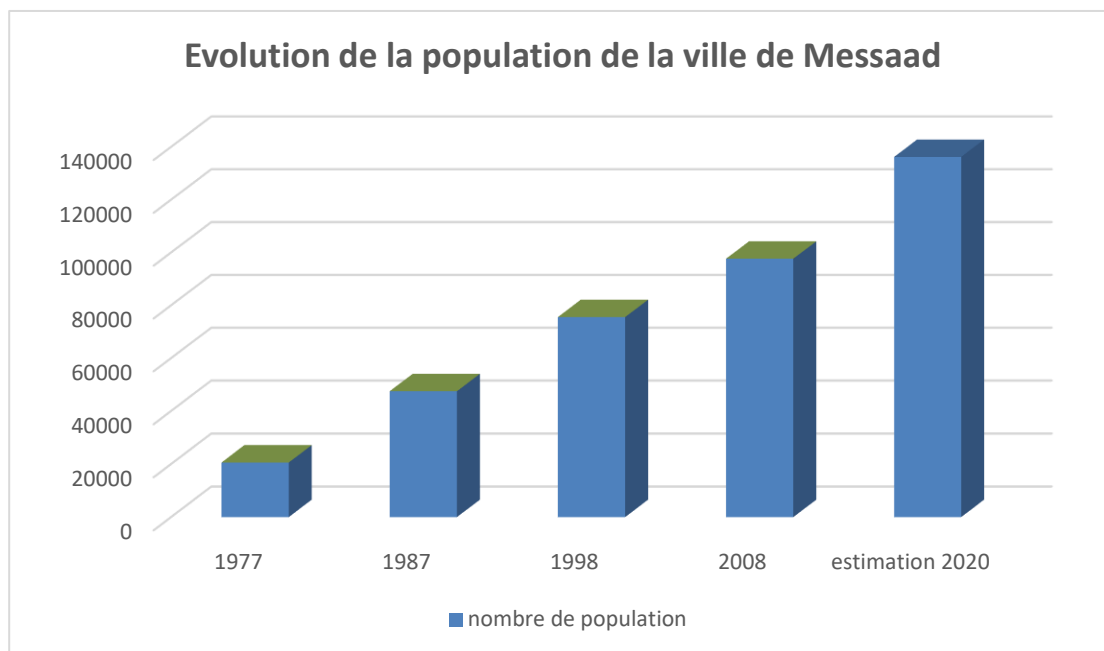
Source: RGPH (77, 87, 97,2008) +calcul d'étude .kezrane ahmed

$$T = (P_n / P_0)^{1/n} - 1 * 100$$

T : taux d'accroissement de la population de la période (n, n₀).

P_n: nombre de la population durant la période n.

p₀ : nombre de la population durant la période initiale.



Graph N°05: Evolution de la population de la ville de Messaad (1987-2019)

1.1. La période entre (1977-1987) :

Cette période a été caractérisée par une croissance de la population élevée. Le nombre d'habitants est passé de 20580 personnes en 1977 à 47460 personnes en 1987 avec un taux d'accroissement de 8,71%. L'élévation du taux de croissance est due dans cette période à l'essor de la zone industrielle et aux divers équipements et s'ajoute l'exode rural postindépendance qui ont accompagné l'évolution de la ville de Messaad est devenue chef de lieu de Commune en année 1974.

1.2 La période entre (1987-1998) :

Cette période est caractérisée par une évolution lente du taux d'accroissement de la ville. De 1987 à 1998, le nombre de la population est passé de 47460 habitants à 75552 habitants et un taux d'accroissement de 4.27%.

En dehors des deux facteurs cités plus haut qui sont à la base de l'accroissement rapide de population de la ville, on peut montrer d'autres ; Il s'agit d'abord de la situation sécuritaire, Ensuite, il y a la sécheresse. Cette dernière a entraîné l'exode rural.

1.3 La période entre (1998-2008) et estimation(2019):

Cette période a montré que la population a augmenté de 75552 habitants en 1998 à 97091 habitants en 2008 avec un taux d'accroissement de 2.6% et 136824 en 2020 avec un taux

d'accroissement de 2,8% , cette augmentation est due à l'amélioration des conditions sociales reflétée par la croissance du taux de natalité et baisse de taux de mortalité.

Tableau N° 08: La population aux différents horizons

La	HORIZON	2019	2025	2030	2035	2038	2040
	Taux d'accrt	2.3	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
	N-Habitants	136824	144998	159306	175026	185193	192298

population aux différents horizons sera :

Population /Horizon de l'étude: 2040

Population Court terme 131 975hab

Population moyen terme 144 998hab

Population Long terme 192 298hab

➤ **la structure de la population selon le groupe d'âge et sexe :**

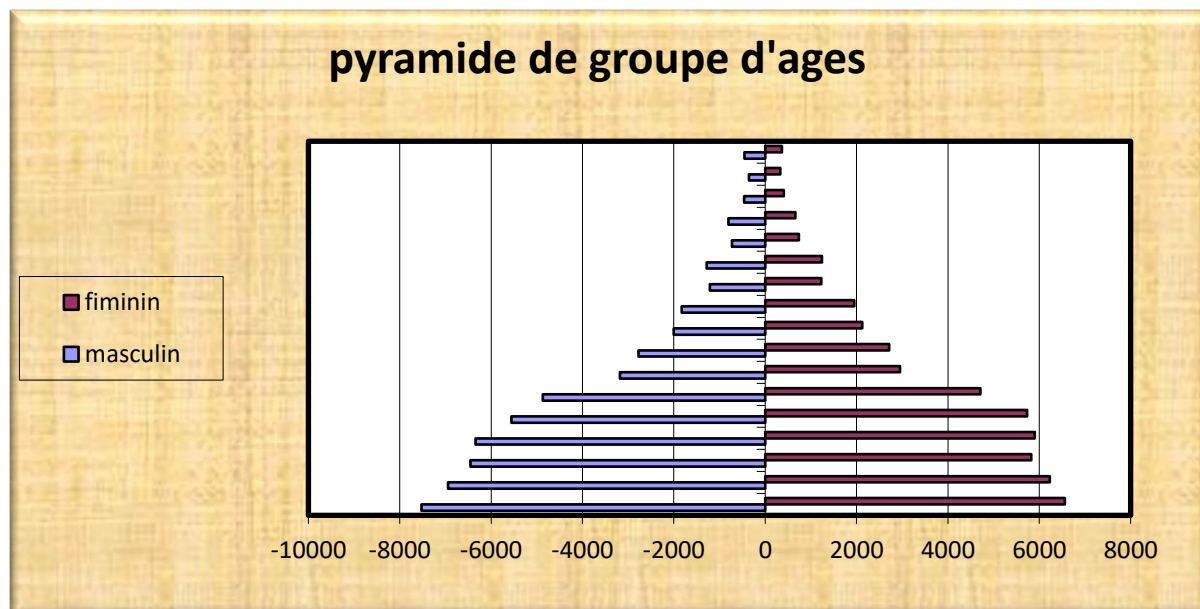
Les besoins d'une population changent selon les critères liés à l'âge et au sexe, la structure par âge révèle la situation d'un pays s'il est jeune ou vieux, sa capacité de production, aussi le dynamisme de la population et ses besoins futurs. Quant à la structure par sexe permet de connaître s'il y a un équilibre entre les deux sexes. De ce fait ressort l'importance de cet élément dans toutes les analyses socio-économiques

Tableau N°09: Répartition de la population par tranche d'âge et par sexe

Tranches	Masculin		Féminin		Total	
	Nbr	%	Nbr	%	Total	%
00 An - 04 Ans	7528	14.26	6563	13.21	14091	13.75
05 Ans - 09 Ans	6945	13.15	6231	12.54	13176	12.86
10 Ans - 14 Ans	6455	12.23	5826	11.72	12281	11.98
15 Ans - 19 Ans	6344	12.01	5898	11.87	12242	11.94
20 Ans - 24 Ans	5553	10.52	5735	11.54	11288	11.01
25 Ans - 29 Ans	4871	9.22	4712	9.48	9583	9.35
30 Ans - 34 Ans	3180	6.02	2951	5.94	6131	5.98
35 Ans - 39 Ans	2774	5.25	2714	5.46	5488	5.35
40 Ans - 44 Ans	2000	3.78	2125	4.27	4125	4.02
45 Ans - 49 Ans	1828	3.46	1951	3.92	3779	3.68
50 Ans - 54 Ans	1214	2.30	1229	2.47	2443	2.38
55 Ans - 59 Ans	1281	2.42	1239	2.49	2520	2.45
60 Ans - 64 Ans	731	1.38	736	1.48	1467	1.43
65 Ans - 69 Ans	804	1.52	660	1.32	1464	1.42

70 Ans - 74 Ans	465	0.88	409	0.82	874	0.85
75 Ans - 79 Ans	354	0.67	333	0.67	687	0.67
80-84	452	0.85	362	0.72	814	0.79
Total	52779	100	49674	100	102453	100

Graphe N°06: pyramide d'âge de la population dans la ville de Messaad



Source : traitement d'étudiante L'analyse de la pyramide des âges de la population de la ville de Messaad (la ville représente 95,31% de la commune) a été établie selon l'estimation 2019 la structure d'âge de la population dénote une forte jeunesse de la population.

A partir du tableau suivant montrant la répartition de la population par âge et sexe, nous pouvons répartir la population selon les différentes tranches d'âge.

Tableau N°10: Répartition de la population par grandes tranches d'âges

Tranche d'âge	Population	%
0-4	14091	13,75
5-14	25457	24.84
15-59	57599	56.16
>=de60	5306	5.16
Total	102453	100

Source : Calcul d'étudiant

D'après le tableau N°... on distingue 4 grandes tranches d'âge :

*(0-4) : représente la population qui n'a pas atteint l'âge de la scolarisation, elle englobe 13,75% du totale de la population avec un nombre de 14091 personnes.

*(5-14) : représente la population en n'âge de la scolarisation avec 24.84% avec un nombre de 25457 personnes, elle est la classe d'âge dont les besoins sont très importants dans des déférents domaines telle que l'éducation, loisir, etc.

*(15-59) : cette tranche est la part active de la population qui prend en charge les autres tranches, elle représente presque la moitié de la population totale de la ville de Messaad avec 56.16% soit 57599 personnes considérées comme le moteur de l'économie locale, elle englobe la population qui travaille et celle qui est en chômage.

*(>=de60) : représente la classe vieille de la population avec 5.16% soit 5306 personnes, cette tranche exige des soins attentifs.

5. L'emploi :

D'après les définitions démographiques dont relatives à l'emploi, la population active est l'ensemble des personnes en âge de travailler déclarant occuper un emploi (population occupée) ou en chercher une (population au chômage). Cette notion regroupe donc la population active occupée, qui comprend les personnes qui exercent effectivement une activité professionnelle et les chômeurs. Elle exclut les inactifs qui, par convention, regroupent à la fois les enfants, les étudiants, les personnes âgées, les femmes au foyer et les jeunes du Service National

L'emploi est, sans doute, le secteur le plus difficile à évaluer et à estimer en raison principalement de deux facteurs. Le premier facteur concerne la situation économique du pays caractérisée par une instabilité du marché de l'emploi dû essentiellement à la dissolution des entreprises publiques locales et aux compressions des effectifs Pratiquées par les Entreprises Publiques Economiques (EPE). Le second facteur est dû aux difficultés rencontrées pour la relance effective des activités économiques.

En effet, le ralentissement de l'investissement productif, seul créateur d'emplois réels, plonge l'économie tant au niveau national que local dans une léthargie qui ne fera qu'augmenter le taux de chômage de la Wilaya quand on sait que la population est formée majoritairement de jeunes donc de demandeurs de postes d'emploi.

Tableau N°11: Répartition de la population active et non active de la ville Messaad (2008)

Population active	Taux d'activités (%)	Population occupée	Taux d'occupation (%)	Population aux chômeages	Taux de chômeages(%)
62805	61.3	5863	5.72	56942	90,66

Source : DPAT (2008) + Calcul d'étudiant.

-Population Active : La population active se définit comme étant l'ensemble des personnes en âge de travailler qui sont disponible sur le marché du travail en générale de la population entre l'âge de 15-64ans.

-Population occupée : La population occupée se définit comme étant l'ensemble des personnes en âge de travailler et ayant effectivement un emploi.

-Population au chômage : La population au chômage se définit comme étant l'ensemble des personnes en âge de travailler, qui ne travaillent pas et qui sont à la recherche d'un emploi.

-Taux d'activité : Le taux d'activité est le rapport de la population active sur la population totale

$$\text{Taux d'activité} = (\text{population active/population total}) * 100$$

-Taux d'occupation : Le taux d'occupation est le rapport de la population occupée sur la population active

$$\text{Taux d'occupation} = (\text{population occupée/population active}) * 100$$

-Taux de chômage : Le taux de chômage est le rapport de la population au chômage sur la population active.

$$\text{Taux de chômage} = (\text{population chômeurs/population active}) * 100$$

Le tableau montre que la population active dans la ville de Messaad est estimée à 62805 personnes. Soit un taux d'activité de 61.3% de la population totale de la ville de Messaad, qui est supérieur au taux d'activité de wilaya qui est 27,30%.

La population occupée représente 5863 personnes ; ce qui donne un taux d'occupation de 9,35% de la population active totale de la ville, Ceci implique un taux de chômage 90,66%.

➤ **Répartition de la population occupée par branche d'activité économique :**

« Les activités économiques sont à l'origine de la vitalité et du dynamisme caractérisant le paysage urbain des villes, la disposition spatiale de différents éléments de l'organisme urbain des villes et dans une large mesure tributaire de la disposition des activités de production et de celles des services, c'est par les activités économiques que les systèmes de centralités s'établissent sur l'espace et que les modèles d'urbanisation engendrent »

Tableau N°12: Répartition de la population occupée par branche d'activité (2017)

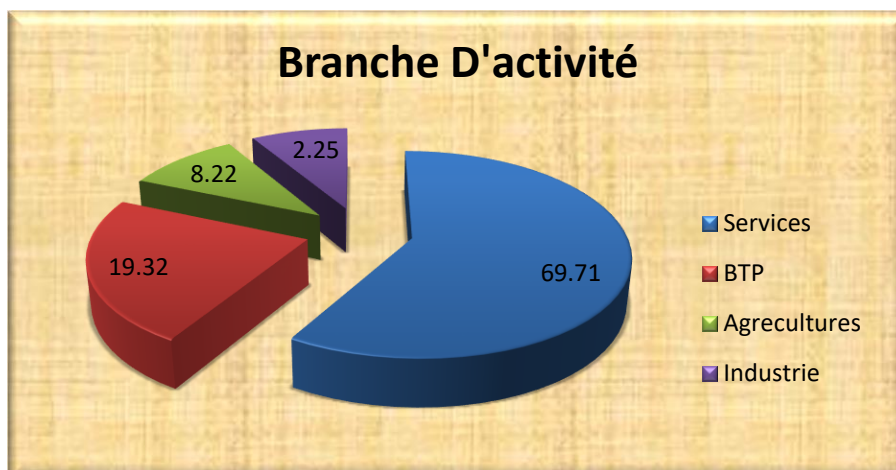
Secteur économique	Branche d'activités	Population occupée	%
Secteur primaire	Agriculture	482	8.22
Secteur secondaire	Industrie	161	2.25
	BTP	1133	19.32
Secteur tertiaire	Services	4087	69.71
Total	-	5863	100

Source : DPSB 2020

D'après le tableau N°10 et le graphe N°10 on constate que la majorité des occupés travaillent dans le secteur de services. Ils représentent 69.71% du total, à la seconde place viennent les BTP avec 19.32%.

Ensuite on trouve, l'agriculture et l'industrie viennent respectivement par 482 et 161 actifs

Graphes N°07: Répartition de la population occupée par branche D'activité économique



➤ Répartition spatiale de la population

La répartition de la population sur une superficie déterminée. La densité représente un moyen de mesure fondamental dans l'étude de la relation entre la population et l'espace la densité de la population est 693.38 hab/km².

La population ne se répartir pas de manière homogène sur l'espace, c'est alors qu'on remarque des zones peuplées et d'autre qui le sont beaucoup moins, cette répartition ce fait souvent selon une logique urbanistique d'installation, ou l'on remarque par exemple que les zones d'habitats collectifs renferment un nombre de population supérieur à celle d'habitats individuelles, mais aussi la concentration des résidents se concentre dans la parties de l'espace où se groupent certains types d'équipements, notamment ceux des services.

Par ailleurs la densité urbaine est déterminée selon le nombre d'habitants qu'elle renferme par rapport à sa superficie totale, et en fonction de cela des normes internationales ont été établi par l'Office Mondiale des statistique, pour les quelles au-delà, les conditions de vie sont estimées difficiles.

En se basant sur les données du RGPH 2008 et la superficie de la commune, nous arrivons à identifier la densité correspondante

Densité= le nombre de la population / la superficie totale

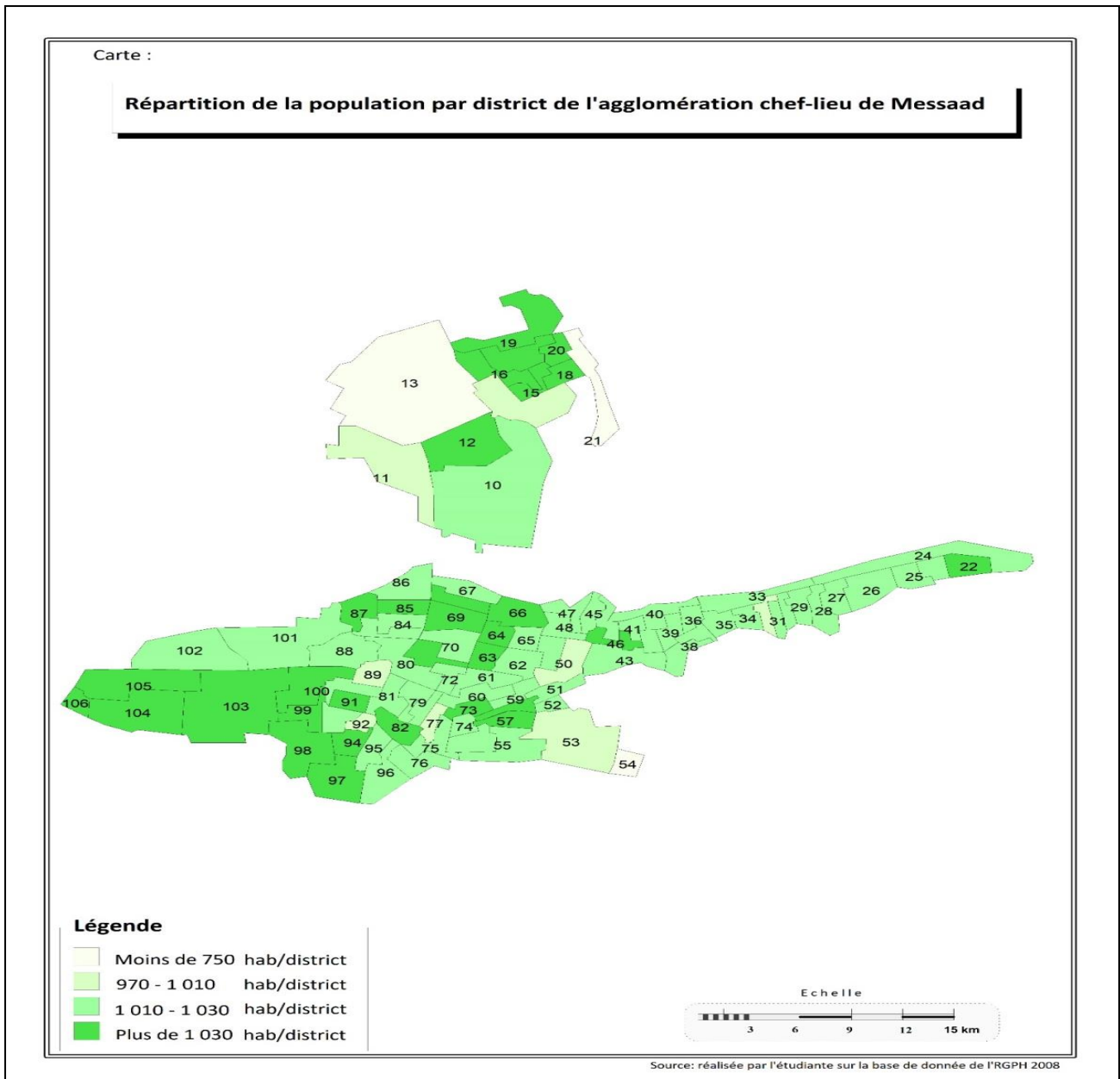
$$\text{Densité} = 102453/15080 = 6,79$$

$$\text{Densité} = 7 \text{ habitants/km}^2.$$

Cette hétérogénéité de la densité de la population dans la ville de Messaad est due à plusieurs facteurs comme la typologie de l'habitat, le niveau de vie (la pauvreté), la concentration de la situation des services et des activités...etc.

La commune de Messaad est caractérisée par une mauvaise répartition spatiale de la population, 50,14% de la population totale se trouve concentré au niveau d'ACL.

Carte N°7: repartation de la population par district de l'agglomertion chef-lieu de messaad



Les agglomérations secondaires comptent 1554 soit 20,07% de la population communale, personnes réparties surtout sur les bonnes terres agricoles Selon la **Carte N°7**

6. La structure urbaine:

Elle comprend l'organisation et fonctionnement de l'espace urbanisé car elle coïncide avec l'assemblage des différentes manières d'occupation et utilise le sol le cadre bâti et le non bâti.

Les caractéristiques de cadre bâti : Parmi les composantes du tissu urbain, l'habitat est l'un des éléments les plus intéressants à analyser, car la fonction résidentielle est souvent dominante dans l'espace urbain.

Evolution du parc logement : L'évolution du parc logement a connu des proportions ces dernières années au sein de la ville de Messaad. Pour mieux comprendre la situation générale de l'habitat il faut déterminer son évolution et sa topologie.

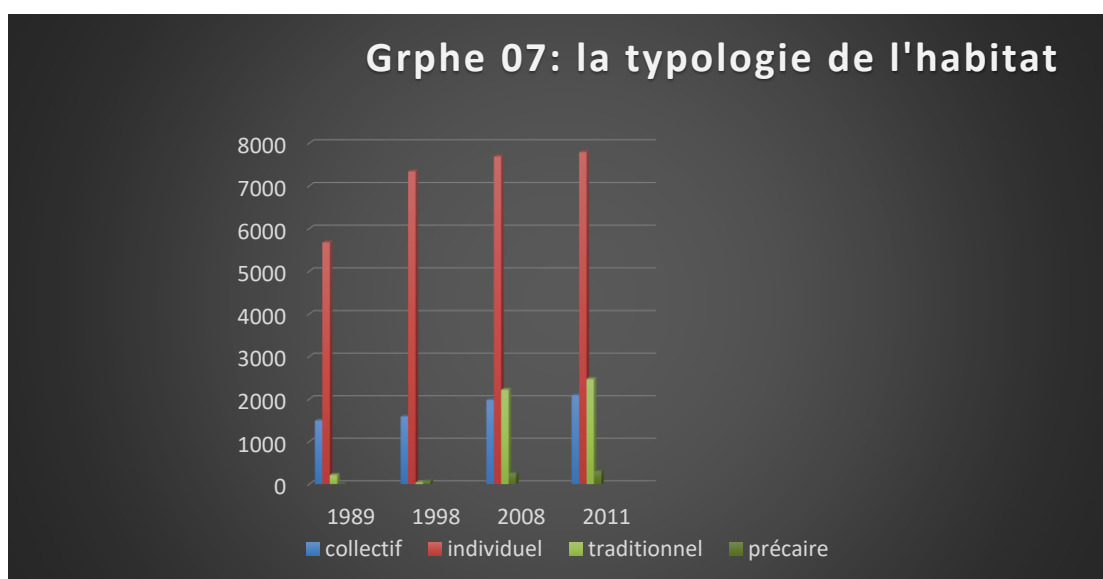
Tableau n°13: L'évolution du nombre de logements selon les modes d'habitat de la ville de Messaad (1987-2011)

ANNÉES	1987		1998		2008	
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
Collectif	1494	20.23	1590	17.58	1979	16.29
individuel	5675	76.86	7035	77.79	7687	63.30
traditionnel	214	2.89	300	3.31	2218	18.26
précaire	214	2.89	118	1.30	258	2.12
Total	7383	100	9043	100	12142	100

Source : d'étude .kezrane.ahmed

D'après le tableau et le graphe ci-dessus on constate que l'habitat individuel forme la grande tranche d'habitat dans la ville de Messaad.

Graphe N°08: L'évolution du nombre de logements selon les modes d'habitat de la ville de Messaad (1987-2011)



Typologie de l'habitat : En appartement ou logement individuel, en lotissement ou terrain libre, en centre-ville ou dans un quartier à chacun ses envies, ses besoins.

Typologie de l'habitat signifie le type de l'habitat (individuel, collectif, traditionnel, précaire...).

A. L'habitation collective :

Se caractérise principalement d'un logement pour plusieurs familles, sous le même toit ou dans un petit immeuble collectif de 4a 5 appartements.

Ce type d'habitat, généralement se manifeste, surtout au nord de la ville où il constitue la ZHUN .cette dernière est plusieurs ensembles distincts de quatre blocs d'immeubles cubiques. En 2011 la ville de Messaad bénéficiait de 2069 logements soit 16.62% de l'habitat collectifs.

B. L'habitat individuel :

Le terme s'applique à toute construction qui repose directement au sol et qu'est habitée par un seul ménage propriété ou localité, elle est variable en fonction de la structure sociale, le niveau de vie et les habitudes.

Ce type d'habitat représente presque la totalité de parc logement de la ville de Messaad soit 62.40% du total tout type confondu .il se subdivise en trois catégories:

-Habitat : Haouch (1900-1982):ce type d'habitat est dominant dans la ville de Messaad, il est construit durant la période 1900-1982.

Ce dernier est parfois, réservé aux travaux domestiques, d'artisanat et d'élevage. La toiture du Haouch en pente est souvent équipée de petites conduites au niveau de son cote attenant à la rue afin de transférer les eaux pluviales vers l'extérieur. Habitat promotionnel (1982-1994): ce type d'habitat n'est pas répandu .il est localisé au niveau du quartier du 1^{er} novembre. Constitue d'un seul niveau et intégrant la cour dans sa conception architecturale, il se conforme à la typologie dominante caractérisée par l'habitat à Haouch.

Habitat spontané (1962-1982) : ce type d'habitat n'est pas soigné. Il est situé à la périphérie sud de la ville, aux piémonts de SebaHassedj et de Kef Messaad ; il est constitué d'un espace intérieur jouant le rôle de Haouch et d'une toiture en pente recouverte de bois et de terre.

-Habitat de lotissements (1982-2011): ce type d'habitat est situé au niveau des quartiers suivants: Mohamed Boudiaf. Selman kouider Ben Mohamed...Etc.

La zone nord de la ville. Cet habitat est caractérisé par une petite cour; Cette dernière sert uniquement à l'éclairage et à l'aération. Par ailleurs, on note la présence d'habitation à un et deux niveaux.

C. Habitat traditionnel :

Il se caractérise par son architecture simple, il représente 2305 constructions soit 18.50% en 2011 le tableau N°13 montre clairement que cette habitation a beaucoup régressé par rapport en 1998 il représente 3.31% du tissu urbain.

D. L'habitat précaire :

Appelé principalement : bidonville, construction illicite, cet habitat est précaire en raison d'une part à l'utilisation d'un matériau léger et de récupération et surtout on raison de l'absence du droit d'utilisation. La ville de Messaad compte en 2011, 308 habitations soit un taux 2.47%. Ces constructions se sont développées d'une manière anarchique et illicite, ou elles échappent à toute forme d'organisation et ne répondent même pas aux conditions élémentaires de la vie urbaine.

➤ Intensité d'occupation des logements :

C'est la relation entre le nombre d'habitants et le nombre de logements. Cette relation est exprimée par le TOL qui est le taux d'occupation par logement, et le TOP qui est le taux d'occupation par pièce. Ces indicateurs nous permettent de mesurer l'intensité d'occupation des logements et par conséquent d'apprécier les conditions de vie des populations.

A. Evolution de taux d'occupation par logement (TOL) : Le TOL est le rapport entre le nombre de la population et le nombre de logements selon le recensement général de la population et de l'habitat.

Tableau N°14 : L'évolution de taux d'occupation par logement (TOL) de la Ville de Messaad

ANNÉES	NOMBRE D'HABITANTS	NOMBRE DE LOGEMENT	TAUX D'OCCUPATION DE LOGEMENT
1987	47464	7383	6.81
1998	50282	8232	7.77
2008	102453	12142	8.4
2009	105827	13117	8.06
2010	109311	12876	8.48

Source: DPSB+RGPH (2008)

A partir de ce tableau N°15, On remarque que le taux d'occupation par logement dans la ville de Messaad pour l'année 1987, a connu une légère baisse 6.81hab/log, passe en 1998, à 7.77hab/log et en 2008 il atteint 8.4hab/log et 8.48 en 2010 hab/log

Le taux d'occupation par logement (TOL) dans la ville de Messaad est trop élevé comparé au taux (TOL) exemplaire évalué à 6hab/log appliqué par le centre national pour l'étude et la recherche en urbanisme (CNERU).

B. Le taux d'occupation par pièce (TOP) : Le TOP est le rapport entre le nombre de la population et le nombre de pièce ; il indique avec précision effective les espaces de logement et permet de distinguer la situation et les conditions de vie des habitants.

Tableau N°15 : Taux d'occupation des pièces du logement de la ville de Messaad

NOMBRE DES HABITANTS	NOMBRE DES LOGEMENTS OCCUPENT	NOMB RE DES PIÈCES	TAUX D'OCCUPATION DES PIECES DANS LE LOGEMENT	TAUX D'OCCUPATION PAR PIÈCE
102453	12142	36426	3	2.8

Source: RGPH (2008)

Le tableau montre que les habitants de la ville de Messaad en nombre de 102453 en 2008 repartis sur 12142 logements et 36246 pièces soit une moyenne de (3) pièces par logement et un TOP de 2.8 personnes par pièce.

Ce dernier est un taux décourageant puisqu'il est supérieur à la norme adoptée par le centre national de l'étude et de la recherche en urbanisme évaluée à 2 personnes par pièce.

➤ Répartition spatiale des logements :

C'est la relation existante entre le logement et la superficie. On s'est basé sur le tableau globale de la ville de Messaad établi sur la concentration du recensement général du logement et de la population de 1998 pour dégager le nombre de logement au sein de chaque secteur puis on s'est basé sur les systèmes d'information géographique pour calculer la superficie de chaque secteur. On a insisté aussi sur le nombre de

Logements à usage d'habitation et la densité a été divisée en 3 secteurs (faible –moyenne - haute).

A. Secteur à forte densité : La densité de ce secteur varie entre 50 et 100 logements/hectare. Ce sont les secteurs (agglomération de Saïfi, agglomération n° 04 route de Boussaâda). Ces logements cohabitent avec des habitations traditionnelles.

B .Secteur à densité moyenne : Cela varie entre 30et 50 logements par hectare. Les secteurs sont (agglomération de Demed) situés dans la zone Est la ville, (agglomération de centre-ville) où propage le logement individuel construire avant 1900.

C.. Secteur à faible densité : La densité est de moins 30 habitations/hectare et qui a la plus grande superficie (le reste des secteurs). Cette faiblesse est due à l'immensité des superficies où il y a des oueds et des terres agricoles, la ville de Messaad est connue par le style de ses habitations individuelles

7, Les équipements urbains :

L'objectif de l'étude des équipements est de constater la relation entre les besoins de la population de la ville et le degré de satisfaction de ces besoins par les équipements qu'offre la ville.

➤ **Équipements administratives :**

Les équipements administratifs sont tous des édifices représentant l'Etat, qui offrent des services directs aux habitants, et assurent la sécurité et le déroulement normal de la vie quotidienne dans le milieu urbain. Ils consomment un grand espace surtout au centre-ville.

Les équipements administratifs sont répartis dans la ville comme le montre le tableau:

Tableau N°16: les équipements administratifs dans la ville de MESSAAD 2012

Les équipements	nombre	Situation
Chef-lieu de commune	01	Centre-ville
Centre d'APC	01	Centre-ville
Branche de poste et télécommunication	02	Cité Tahiri Abderrahmane, centre ville
Gendarmerie	01	Cité atlas
Centre de commissariat	01	Cité kabre sahbi
Police urbaine	02	Route de Djelfa, ZHUN
Pompier	01	Route de Djelfa
Banques	01	Centre-ville
Assurances	02	Centre-ville
Directions	16	A travers la ville
Branche de commune	03	ZHUN, cité tahiri abderrahmane cité Demed

Source: Services technique de la mairie de Messaad

Equipements éducatifs et enseignement : Vu le caractère que revêt ce type d'équipements dans la vie des habitants, l'Etat lui a toujours accordé une grande importance dans les programmes d'investissements et de réalisations, ce qui explique le nombre important des équipements scolaires par rapport aux autres équipements.

La ville de Messaad possède de 57 établissements distribue entre l'enseignement primaire et moyen celui de secondaire de la façon prescrite dans les tableaux suivant :

Tableau N°17: les équipements éducatifs dans la ville de Messaad 2019

Etablissements Primaires	Année d'ouverture	Nbre d'élèves
Achahid Brahimi Omar Ben Yahia	2005	240
Chaiheb Ben Abdallah	2011	240
Aboubaker Asedik 1	1982	560
Achahid Belegmari Ali	2004	240
Achahid Rebih Aissa	1987	480
Zitout Ahmed	2002	240
Si Mohamed Ben Ayach	1991	560
Achahid Obah Mohamed	2005	240
Premier Novembre	1983	640
Ben Salem Abdelaziz	2002	280

Ben Attia Elmiloud	1997	400
Achahid Bouzid Abdelkarim	1996	360
Achahid Djaroub Ben Tamer	1970	240
Si Abdelkader Ben Ibrahim	1970	440
Arayess Mohamed	1954	480
Achahid Djaroub Kouider	1996	480
Lagraa Almokhetar	1989	400
Achahid Marouch Abdelkader	1996	360
Manseur Abdelkader	2001	240
Aboubaker Asedik 2	1995	240
Achahid Moustefaoui Farhat	2005	240
Achahid Djelita Mohamed	1995	360
Ben Brahim Dahman Ben Ahmed	1992	40
Si Ahmed Ben Attia	1996	480
Si Abdrahman Ben Ataher	1963	360
Achahid Sedara Tounsi Ben Dahman	1997	360
Almoudjahid Manseur Brahim	2004	240
Laiadi Almokhetar	1989	480
Ben Salem Dahman	1996	240
Almoudjahid Tahir Belkacem	1992	480
Belkhiri Mamar	1992	480
Achahid Ben Belkacem Belkhir	1971	240
Mahecha Attia	1974	40
Sidi Nail Almokhetalata	1972	560
Achahid Dahman Ahmed Ben Selami	1995	480
Achahid Salmat Ali Ben Ahmed	1972	480
Achahid Garach Alkhodir	1998	240
Almoudjamaa Djadid	Nouveau	0
Almoudjamaa Djadid	Nouveau	0
Almoudjamaa J1	Nouveau	0
Total		13160

➤ **Equipements scolaires :**

Cycle moyen

Nombre des établissements 11 Nombre d'élèves 8000

Tableau N°18 : les équipements scolaires dans la ville de Messaad 2019

Etablissements	Année d'ouverture	Effectif
Omar Ben Alkhattab	1986	840
Bouabdeli Dahman	1980	920
Ahmed Ben Dahman	1985	840
Chaib Tijani	1973	600
Achahid Lehzayel El Massoud	1986	680
Echahid Khelifa Berabeh	1992	680
Ben Brahim Elhadj	1996	520
Hani Belhadi Abd Arahman	2003	760
Djadida Route Guettara	2008	560
ELmoudjahid Tahiri Belkhir	2009	800
Almadekhal Achamali	2010	800
*	TOTAL	*8000

Cycle secondaire :

Tableau N°19 : les équipements secondaire dans la ville de Messaad 2019

Etablissements	Année d'ouverture	Effectif
Hachi Abdrahaman	1983	800
Demmed	1987	760
Achahid Zian Achour	1994	840
Mostafa Ben Boulaaid	2004	680
Achahid Hassouni Ramdan	2006	720
Total		3800

Source : centre de l'éducation de la ville de Messaad

Selon le tableau: le total des établissements scolaires pour l'année 2019, le nombre des écoles et de lycée est insuffisant :

A. Pour les écoles primaires 1^{ère} et 2^{ème} cycle :

La ville contient 52 écoles avec 317 classes, 10357 élèves et un taux d'occupation de classe de 34.64 élèves/classe, ce taux est acceptable par rapport à celui national 37 élèves/classes.

B. Pour le 3^{ème} cycle :

Le nombre d'établissements de ce cycle est de 5 établissements totalisant 135 classes fréquentée par 7542 élèves, soit un taux d'occupation de classe de 55,46 élèves/classe, la situation de ce cycle est grave, elle est supérieur à celui national 37 élèves/classes.

C. Pour le secondaire ; La ville de Messaad dispose de 05 lycées, le nombre de classe est de 97 classes occupées par 2860 étudiante, le taux d'occupation de classe est de 32,04 élèves/classes, inférieur à celui national 35 élèves/classes, ce qui démontre une suffisance en classe dans ce niveau.

E. La formation professionnelle :

La ville de Messaad dispose de 1 centre de formation professionnelle dont constituent diverse les spécifiques Comme suivant:

- + Cuir et peaux:(Chimie tannerie, Technologie de la chaussure)
- + Electricité et électronique (Electrotechnique, Maintenance des équipements froids et climatisation)
- + Métiers de l'eau et de l'environnement (Gestion et économie de l'eau, Environnement, Gestion des déchets).
- + Mécanique moteurs engins:(Machinisme agricole)
- + Technique administratives et de gestion :(Gestion des ressources humaines).

La capacité de ce centre est de 400 postes. Ce dernier offre 120 lits pour les besoins de l'internat.

➤ **Equipements culturels et religieux :**

- + Centre culturels (Centre ville)
- + Deux (02) maison de jeunes.
- + 23 mosquées.
- + Zaouïas (01)
- + Cinq (05) salles de prière.
- + cinq (05) cimetières : Demed, (vers Touggourt).....etc.
- + Deux (02) cybercafés

➤ **Equipements sportifs:**

La ville de Messaad possède :

- + Un (01) Complexe sportif de proximité d'une capacité d'accueil de 500 spectateurs a la cite hôpital.
- + Un (01) Salle de sport polyvalentes.
- + Un (01) stade de football avec tribunes la capacité de 200.
- + Nef (09) aires de jeux Cité (el kods, 140 logs OPGI,..).
- + Bassins de loisirs.

➤ **Equipements sanitaires :**

La couverture sanitaire constitue une priorité pour les autorités publiques, parce qu'elle joue un rôle important dans la fixation de la population, donc une bonne couverture sanitaire s'avère nécessaire pour assurer la notion de la santé publique, en prenant en charge les malades et l'aspect hygiénique des différents établissements. Le tableau suivant indique les équipements sanitaires:

Tableau N°20 : les équipements sanitaires dans la ville de Messad 2019

Hôpital	Polyclinique	Salle de soin	Officines de pharmacie	Cabinets de médecine spécialisée privé	Cabinets de médecine générale	Cabinets de dentiste privé	Cabinets de secteur privé
01	02	02	17	01	14	03	10

Source : monographie 2017 de la wilaya de Djelfa

L'hôpital de la ville de Messaad est le plus important à l'échelle de la commune il compte plusieurs spécialités (médecins générale, cardiologue, pédiatrie, chirurgie infantile et générale...etc).



Figure N°14: Hôpital de la ville Messaad

➤ **Zone industrielles :**

L'industrie dans la ville de Messaad est négligeable et limitée en zone d'activités et les unités industrielles, ces dernières sont :

Une unité d'agglomération de béton et l'autre de carrelages, situées sur la rive gauche de l'oued Messaad au Nord Est de la ville. Les matières premières utilisées sont : le ciment gris, le ciment blanc, la poussière de marbre et le gravier. (Unité de la Khersan et ciment est occupé la surface 3.32 ha et la surface couverte 0.37ha), la zone d'activité localisée au nord-ouest de la ville. Cette zone d'activité comprend les entreprises (ENTRAM, NAFTAL), comme le montre le tableau N°18:

Tableau N°21 : les unités industrielles dans la ville de Messaad

Unité économique	Superficie (HA)	Types d'activité
EDIMCO	0,63	-
PTT	0,58	Stockage
NAFTAL	0,82	Marchée de gaz
ENTRAM	3,09	Travaux de construction
ECOTRAM	1,35	Travaux de construction
ETV	0,96	Transport
APC	1,24	Parking
EMA	0,28	Production de jus
ENRB	0,91	Construction des barrages

Source : centre de statistiques de la zone industrielle 2019

➤ **Commerce et services :**

L'activité commerciale au niveau de la ville Messaad est garantie par le secteur public et secteur privé.

Le secteur public offre un point de vente, la fourniture et de marchés de distribution tels que les agriculteurs, le plus important distributeur de matériaux de construction, de la farine, les pâtes et la distribution de ciment, Naftal steppe coopérative Tous ces points de vente sont regroupés dans le centre-ville de le commerce en général caractérisé par le littéral, comme la menuiserie, forge le travail du bois et la réparation de toutes sortes où d'innombrables 338 unités. Il est à noter des faiblesses dans le commerce, notamment le commerce des denrées⁸ alimentaires ou du matériel nécessaire en première classe, ainsi que les équipements de réception, comme les hôtels, restaurants, et en particulier sur l'axe de transit principal du centre-ville.

Sur le périmètre de la ville de Messaad on distingue deux types de commerce:

➤ **Le commerce général:**

Ce type de commerce existe dans des points précis à Messaad, il est varié.

Tableau N°22 : les types de services dans la ville de Messaad

Type de commerce	Nombre	%
Cybercafé	04	12.90
Boulangeries	07	22.58
Hammams	06	19.35
Douche	06	19.35
Cafétérias	07	22.58
Hôtels	01	3.22
Totale	31	100

Source : monographie de la wilaya de Djelfa 2021

Le tableau précédent montre que le commerce des Epicerie représente le taux le plus important du commerce du détail dans la ville puisqu'il représente 54,59%. Les autres types de commerce du détail ont des taux variable selon les besoins de la population.

8. Les caractéristiques du cadre non bâti :

La ville et son fonctionnement résultent des activités de l'homme mais le bon fonctionnement et le développement du système urbain c'est l'organisation spatiale de la ville, liée en grande partie au niveau du cadre non bâti.

➤ Réseaux et voiries :

Les infrastructures des liaisons constituent l'épine dorsale du développement et d'aménagement urbain. Le développement économique, la répartition des fonctions et des activités urbaines, l'agencement des quartiers, l'étalement de l'espace urbain, la séparation des lieux de travail et ceux de résidence, imposent la mobilité des personnes et la relation intra urbaines ainsi que les connexions vers l'extérieurs, reposent sur les voies et les moyens de transports

Tableau N°23 : Etat de réseau de voirie dans la ville de Messaad en 2014

CLASSE	VOIRIES	VOIRIES	VOIRIES
Etat	PRINCIPALE	SECONDAIRE	TERTIAIRE
Bon	69	54	/
%	63.88	83.07	/
Moyen	/	/	9
%	/	/	100
Mauvais	39	10	/
%	36.11	15.62	/
Longueur se la route	108.0	64	9
Total	59.66%	35.35%	5%

En ce qui concerne la ville de Messaad. Il est à signaler que les routes qui y existe sont classées selon leur importance et leur état comme établi dans le tableau n.

Voies primaires :

On note l'extension de deux rues principales qui permettent l'accès a la ville ;

* l'une, en passant par le centre-ville relie Demme. De l'Est à l'Ouest, a la route nationale N1B.

* l'autre, en traversant l'oued Messaad, joint la ZHUN située au nord a la partie sud de la ville la route qui se dirige vers Touggourt constitue son prolongement, l'état de ces rues est moyen, elles sont goudronnées et leurs largeur est importante (environ 15m).

Vois secondaires : Elle assure la liaison entre les déférents quartiers, les unes sont goudronnées d'autres ne sont pas. Leur état est médiocre et leur largeur moyenne est de 12m.

Voies tertiaires : Cette voirie permet la liaison intra quartier. Elle constitue la trame de base du tissu urbain dominant de la ville. Ce sont des ruelles, généralement non revêtues de goudron leur largeur varie entre 6m et 7m.

➤ **Réseaux dévers :**

✓ **Réseau d'électricité et de gaz :**

L'alimentation en électricité de la ville de Messaad se fait grâce à une ligne venant de la ville de Djelfa et le taux général des utilisateurs est 8068 dans le centre de la ville, quant au gaz de ville, elle est approvisionnée en gaz à partir du canal principal parallèle à la route nationale qui passe à l'ouest de la ville et la station de pression située à la proximité du lotissement 302.

✓ **Réseau des eaux potables :**

La ville est approvisionnée par un réseau long de 125.62 km raccordant ainsi plus de 85.9% des cités de la ville, Elle dispose de 07 réservoirs d'une capacité globale 10650 m³ et 02 châteaux d'eau d'une capacité globale estimés à 600 m³ d'où une dotation de 150 litre/jour par personne.

Tableau N°24 : Réseaux des eaux potables de la ville

Etat et longueur de réseau AEP				Taux de dégradation %
Longueur total (km)	Dont bon état	Dont moyen	Dont mauvais	7
125,62	75,3	8,21	8,21	

Source ; Monographie de la wilaya de Djelfa 2021

✓ **Réseaux d'assainissement :**

La ville dispose de deux réseaux à système unifié long de 111 km l'un sert le coté Est de la ville (la rive Est de oued Messaad), l'autre sert la rive Ouest pour déverser dans le canal principal parallèle à oued Messaad.

Tableau N°25 : les réseaux d'assainissement de la ville

Etat de longueur de réseau d'assainissement				Taux de dégradation %
Longueur totale (km)	Dont bon état (Km)	Dont moyen état (km)	Dont mauvais état (km)	22
111.00	40.00	65.00	25	

Source : monographie de la wilaya de Djelfa 2021

Tableau N°26 : réseaux divers de la ville de Messaad

Type de réseau	Réseau électrique	Gaz naturel	Réseau égout	AEP
Raccordement de pourcentage %	93,2	86,1	89,7	85,9

Source ; STP Commune de Messaad

9. Définition de la télédétection

La télédétection représente l'ensemble des techniques qui permettent, par l'acquisition d'images, d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre sans contact direct avec celle-ci. La télédétection utilise les propriétés du rayonnement électromagnétique pour analyser à distance la surface du sol, de l'océan ou l'atmosphère, Une bonne connaissance de la physique élémentaire du rayonnement est indispensable à l'interprétation des résultats de la télédétection (Nouamane, 2020.(

✓ Image numérique

Une image est une représentation dans le plan d'un objet réel. Les images sont omniprésentes dans notre société (dessins, peintures, photographies, etc.). Depuis quelques années, on assiste à une invasion d'images numériques, aussi appelées images "digitales" par emprunt à l'Anglais ("digit" = nombre). Ces images sont constituées d'un très grand nombre de très petits points dont la couleur (ou l'intensité) est définie par des chiffres. Ces points sont appelés "pixels", dérivé de l'anglais "pictureelements" (Royer,2015.(

✓ Image satellitaire

Zone assez vaste de la Terre. La particularité de cette image est quelle est prise par un satellite placé en orbite autour de la planète. Contrairement aux images obtenues à l'aide d'un appareil photo, ou dessinées sur du papier, une image satellitaire est une image numérique,

traitée par outil informatique, élaborée à partir des signaux transmis par un satellite (Rimbert.(1984,

➤ Les classifications et analyse

Les opérations de classification et d'analyse d'image sont utilisées pour identifier et classer numériquement des pixels sur une image. Il existe une variété d'approches prises pour faire une

classification numérique. Nous allons brièvement décrire deux approches générales qui sont souvent utilisées, la classification supervisée et la classification non supervisée (Tonye et al,2010)

a. La classification supervisée

La classification supervisée cherche à regrouper dans une même classe des données de type analogue et distinct des autres classes. La reconnaissance est effectuée à partir d'éléments étalons choisies avant le classement (Tonye et al,2010.)

b. La classification non supervisée

La classification non supervisée procède de la façon contraire. Les classe spectrales sont formées en premier, basées sur l'information numérique des données seulement. Ces classes sont ensuite associées, par un analyste, à des classes d'information utile. L'analyse peut spécifier certains paramètres relatifs à la distance entre les classes et la variance à l'intérieur même d'une classe. Le résultat final de ce processus de classification itératif peut créer des classes que l'analyste voudra combiner, ou des classes qui devraient être séparées de nouveau (Tonye et al,2010)

10. Les indices

a- La nature numérique des données de télédétection

Se prête particulièrement bien à des opérations entre canaux. Le principe de ces opérations est d'effectuer, pour chaque pixel, des opérations mathématiques plus ou moins complexes faisant intervenir les valeurs numériques observées pour ce pixel dans les différentes bandes spectrales. Par exemple, on pourrait calculer la somme des valeurs spectrales d'une image à trois composantes: le calcul s'effectue pour chaque pixel, et le résultat est stocké dans une image numérique ayant le même nombre de pixels que les images de base. Dans certains cas, le résultat des opérations peut être négatif, ou dépasser 255, qui est la valeur maximale que peut gérer un système de traitement d'images. On aura alors recours à des coefficients multiplicateurs et/ou à

l'ajout d'une constante. Par exemple, si les 2 composantes A et B varient chacune entre 0 et 255, alors $C = (A-B) \times 0,5 + 127$ sera certainement compris entre 0 et 255. Un très grand nombre d'indices plus ou moins sophistiqués ont été développés spécifiquement pour l'analyse des données de télédétection (Bacour et al., 2006.)



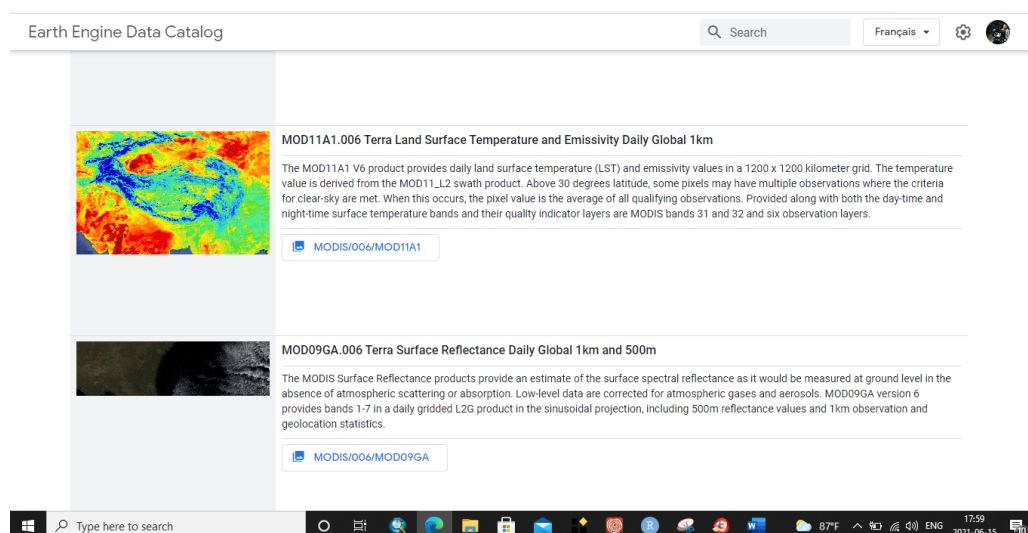
Figure N°15: Les indices

➤ Les systèmes de télédétection

La collecte de données de télédétection est réalisée soit par des avions soit par des satellites. Actuellement, la télédétection évoque surtout l'acquisition de données par les satellites. Il y a une multitude de satellites en orbite qui observent les états de la surface terrestre ont va citer quelques uns.

a. Modis

MODIS (ou Spectroradiomètre imageur à résolution modérée) est un instrument clé à bord des satellites Terra (connu à l'origine sous le nom d'EOS AM-1) et Aqua (connu à l'origine sous le nom d'EOS PM-1). L'orbite de Terra autour de la Terre est chronométrée de sorte qu'elle passe du nord au sud à travers l'équateur le matin, tandis qu'Aqua passe du sud au nord au-dessus de l'équateur l'après-midi. Terra MODIS et Aqua MODIS observent toute la surface de la Terre tous les 1 à 2 jours, acquérant des données dans 36 bandes spectrales ou groupes de longueurs d'onde (voir les spécifications techniques MODIS). Ces données amélioreront notre compréhension de la dynamique globale et des processus se produisant sur la terre, dans les océans et dans la basse atmosphère. MODIS joue un rôle essentiel dans le développement de modèles validés, globaux et interactifs du système terrestre capables de prédire le changement global avec suffisamment de précision pour aider les décideurs à prendre des décisions éclairées concernant la protection de notre environnement .



➤ Les domaines d'application de la télédétection

Le premier grand domaine d'application de la télédétection a été l'étude de l'atmosphère (météorologie et climatologie). L'intérêt de la télédétection dans ce domaine est d'assurer une couverture globale et très fréquemment répétée de la planète entière.

a. Cartographie

Les images satellitaires qui ont un très faible rapport "taille de l'image " .Distance satellite - Terre" ont de très bonnes caractéristiques géométriques, ce qui justifie leur utilisation pour l'établissement de documents cartographiques à moyenne et petite échelle. Elles sont parfois directement utilisées comme document cartographique de base (Jaziri,2020)

b. Thématique

les images spatiales sont utilisées pour reconnaître et caractériser les éléments du paysage, et établir des documents thématiques, sous forme statistique ou cartographique pour la foresterie, l'urbanisme, l'agriculture (e.g., carte d'occupation des sols : carte de la distribution spatiale des éléments du paysage), la pêche (e.g., cartes de températures des surfaces terrestres), la géologie, l'hydrologie, la surveillance des catastrophes naturelles, etc (Jaziri,2020(

c. Climatologie et changements globaux

Les satellites dits météorologiques, par opposition aux satellites dits à haute résolution, constituent la principale source d'information pour les études globales telles que le suivi de la nébulosité, la caractérisation des différents constituants de l'atmosphère, la cartographie des températures marines, les échanges biosphère - atmosphère, etc. Ils sont caractérisés par un grand champ de vue, une faible résolution spatiale de l'ordre du kilomètre et Plus, et une relativement importante fréquence temporelle (chalon, 2020)

➤ **Les indices de végétation**

✓ **Les principaux indices de végétation**

De très nombreux indices de végétation ont été construits et utilisés depuis maintenant une quarantaine d'années. Ils prennent la forme soit d'expressions très basiques (simple différence ou simple ratio), soit de formules beaucoup plus complexes. On a l'habitude de les classer en familles d'indices selon qu'ils prennent ou non en compte les facteurs externes aux couverts végétaux, tels que l'influence de l'atmosphère, la contribution spectrale des sols, la teneur en eau des végétaux (indices de sécheresse), etc.

Nous présentons dans ce qui suit les Cinq familles d'indices utilisés

➤ **Les indices simples**

Les indices de végétation les plus simples sont basés sur des opérations arithmétiques entre deux bandes spectrales, généralement le rouge et le proche infrarouge, mais également les bandes du proche et du moyen infrarouge (Bannari et al., 1995.(

a. NDVI

(en anglais NormalizedDifferenceVegetation Index) L'indice de végétation par différence normalisé il permet de mesurer l'intensité de vert des forêts d'une zone donnée, et indique la masse de végétation présente dans celle-ci, résultant de l'analyse de données satellitaires. (Rouse et Haas, 1973 ; Tucker, 1979)Sa formule est la suivante:

$$NDVI = (\rho_{PIR} - \rho_R) / (\rho_{PIR} + \rho_R)$$

b. NDWI

(Normalized Difference Water Index) Indice de stress hydrique .Il permet de déceler lorsque les végétaux sont en état de stress hydrique et sont par conséquent très utiles pour le suivi de la végétation en zone sèche. Il utilise la bande spectrale du moyen infrarouge à la place de la bande rouge. Ce indice varie en fonction de la teneur en eau des feuilles. (Gao, 1996)

$$NDWI = (\rho_{PIR} - \rho_{MIR}) / (\rho_{PIR} + \rho_{MIR})$$

Où,

ρ_{MIR} : Réflectance dans la bande infrarouge moyenne;

ρ_{PIR} : Réflectance dans la bande proche infrarouge.

➤ **Les indices prenant en compte l'influence des sols**

Ces indices ont été proposés pour et réduire l'influence des sols sous-jacents aux couverts végétaux sur le signal mesuré au niveau du capteur satellitaire. Les indices les plus développés sont :

a - SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index)

Indice de végétation ajusté pour le sol qui introduit un paramètre d'ajustement, noté L, qui caractérise le sol et son taux de recouvrement par la végétation. Le paramètre L prend la valeur de 0,25 pour une forte densité et de 1 pour une très faible densité de végétation. Pour des densités intermédiaires, il est égal à 0,5 (Huete, 1988).

$$SAVI = (\rho_{PIR} - \rho_R) / (\rho_{PIR} + \rho_R + L) (1+L)$$

Où L est une constante égale à 0,5.

II.2.4 Les indices prenant en compte les effets conjugués des sols et de l'atmosphère

a. EVI

En combinant les indices présentés ci-dessus, notamment le SAVI et l'ARVI, Ils permettent de corriger les effets conjugués des sols et de l'atmosphère, Comme le $g_{ma}EVI$ (Enhanced Vegetation Index). (Huete et al., 1999)

Où,

G: facteur de gain (égal à 2,5);

L: facteur d'ajustement des sols;

C1 et C2 : coefficients de correction de la diffusion atmosphérique.

11. Google earth engine (GEE)

➤ **Données de télédétection**

Accumulation de collections massives de données de télédétection depuis le sol, Plates-formes aériennes et satellites.

Aux États-Unis, ces collections comprennent le record de 40 ans de l'USGS Images satellitaires Landsat (comprenant des pétaoctets de données); la Terre de la NASA Système

d'observation des données et du système d'information, ayant plusieurs donnéescentres et plus de 7,5 pétaoctets (x 1000 téraoctets) d'images archivéeset les systèmes actuels de la NASA qui enregistrent environ 5 To de télédétectiondonnées associées par jour De nouvelles technologies de capture de données telles que LiDAR sont utilisées régulièrement pourproduire plusieurs pétaoctet (Begni et al.,2005.)

➤ **Défis du traitement du Big-Data**

- Traiter des problèmes tels que le stockage, le traitement, la gestion, l'archivage,diffusion et analyse de grands volumes d'informations RS.

- Puissance de calcul requise pour traiter ces données massivessources. Traditionnellement, les ordinateurs de bureau avec un ou plusieursdes noyaux ont été utilisés pour traiter les données de télédétection de petites zones. En revanche, les applications de télédétection à grande ou macroscopie peuvent nécessitent des technologies HPC; calcul sur GPU; et parallèle, cluster, et les approches informatiques distribuées sont de plus en plus acceptées .(Puget,2016)

➤ **Qu'est-ce que GEE?**

- Plateforme basée sur le cloud pour l'analyse géospatiale
- Accédez à plus de 40 ans d'images satellite
- Télécharger ses propres ensembles de données à intégrer aux données accessibles au public
- Appliquer une gamme d'algorithmes communs aux données
- Exportez des images, des tableaux, des graphiques, des sorties cartographiques (Gorelick et al.,2017)

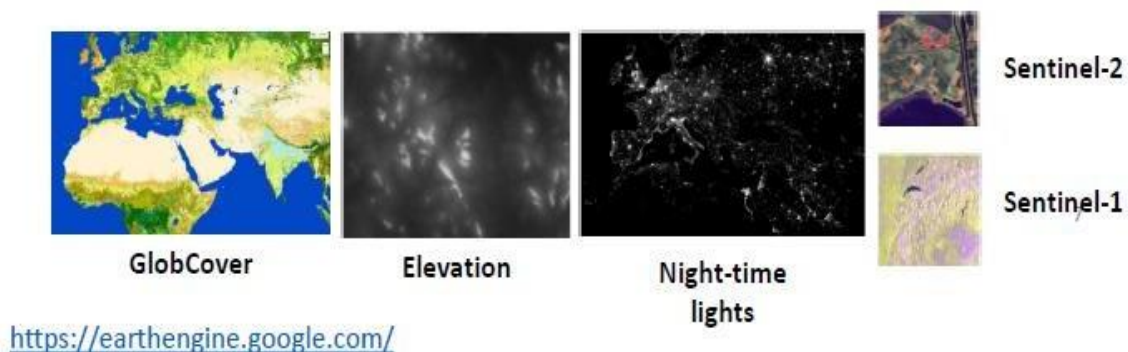
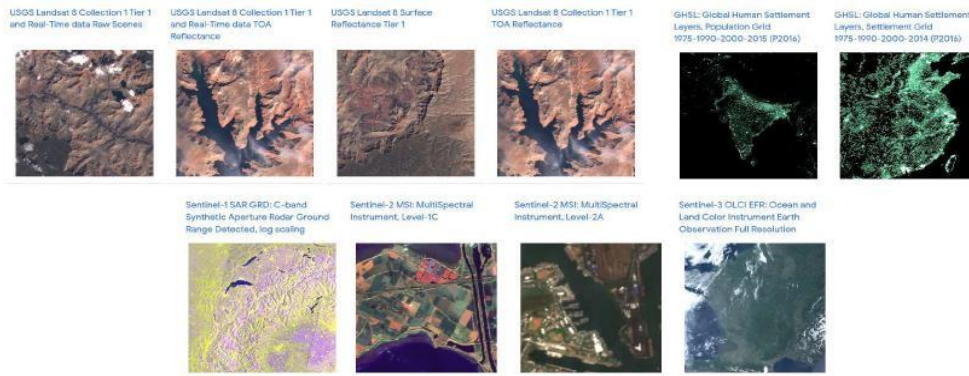


Figure N°16: GEE

➤ **Collections d'images dans GEE**

Une collection d'images fait référence à un ensemble d'images Earth Engine. Par exemple, la collection de toutes les images Landsat 8



Code Editor

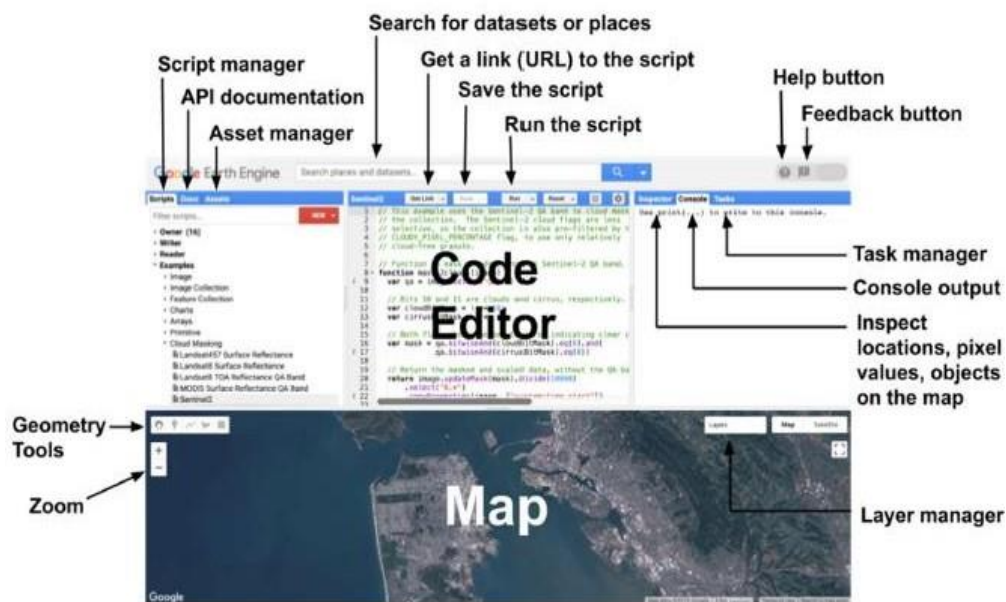


Figure N°17: Collections d'images dans le GEE

Figure N°18: L'interface du programme GEE

TerraClimate: Climat mensuel et bilan hydrique climatique pour les surfaces terrestres mondiales, Université de l'Idaho

TerraClimate est un ensemble de données sur le climat mensuel et le bilan hydrique climatique pour les surfaces terrestres mondiales. Il utilise une interpolation climatiquement assistée, combinant des normales climatologiques à haute résolution spatiale de l'ensemble de données WorldClim, avec une résolution spatiale plus grossière, mais des données variant dans le temps de CRU Ts4.0 et de la réanalyse japonaise de 55 ans (JRA55). Conceptuellement, la procédure applique des anomalies interpolées variant dans le temps de CRU Ts4.0 / JRA55 à la climatologie à haute résolution spatiale de WorldClim pour créer un ensemble de données à haute résolution spatiale qui couvre un enregistrement temporel plus large.

Les informations temporelles sont héritées de CRU Ts4.0 pour la plupart des surfaces terrestres mondiales pour la température, les précipitations et la pression de vapeur. Cependant, les données JRA55 sont utilisées pour les régions où les données CRU n'avaient aucune contribution

climatique (y compris tout l'Antarctique et certaines parties de l'Afrique, de l'Amérique du Sud et des îles dispersées). Pour les principales variables climatiques de température, pression de vapeur et précipitations, l'Université de l'Idaho fournit des données supplémentaires sur le nombre de stations (entre 0 et 8) qui ont contribué aux données CRU Ts4.0 utilisées par TerraClimate. JRA55 a été utilisé exclusivement pour le rayonnement solaire et la vitesse du vent.

TerraClimate produit en outre des ensembles de données mensuels sur le bilan des eaux de surface à l'aide d'un modèle de bilan hydrique qui intègre l'évapotranspiration de référence, les précipitations, la température et la capacité en eau du sol extractible interpolée par les plantes. Un modèle de bilan hydrique climatique Thornthwaite-Mather modifié et des données sur la capacité de stockage de l'eau du sol extractible ont été utilisés à une grille de 0,5 ° de Wang-Erlandsson et al. (2016)

Conditions d'utilisation

L'ensemble de données est dans le domaine public sous licence sous la licence Creative Commons Public Domain (CC0)

Nom	Unités	Escalader	La description
Aet	mm	0.1	Évapotranspiration réelle, dérivée à l'aide d'un modèle unidimensionnel du bilan hydrique du sol
Def	mm	0.1	Déficit climatique en eau, calculé à l'aide d'un modèle unidimensionnel du bilan hydrique du sol
pdsi		0.01	Indice de gravité de la sécheresse de Palmer
Pet	mm	0.1	Évapotranspiration de référence (ASCE Penman-Monteith)
Pr	mm	/	Accumulation de précipitations
Ro	mm	/	Ruissellement, dérivé d'un modèle unidimensionnel du bilan hydrique du sol
soil	mm	0.1	Humidité du sol, dérivée à l'aide d'un modèle unidimensionnel d'équilibre hydrique du sol
srad	W/m ²	0.1	Rayonnement à ondes courtes de surface vers le bas
swe	mm	/	Équivalent en eau de la neige, calculé à l'aide d'un modèle

			unidimensionnel du bilan hydrique du sol
tmmn	°C	0.1	Température minimale
tmmx	°C	0.1	Température maximale
vap	kPa	0.001	La pression de vapeur
vpd	kPa	0.01	Déficit de pression de vapeur
Vs	m/s	0.01	Vitesse du vent à 10m

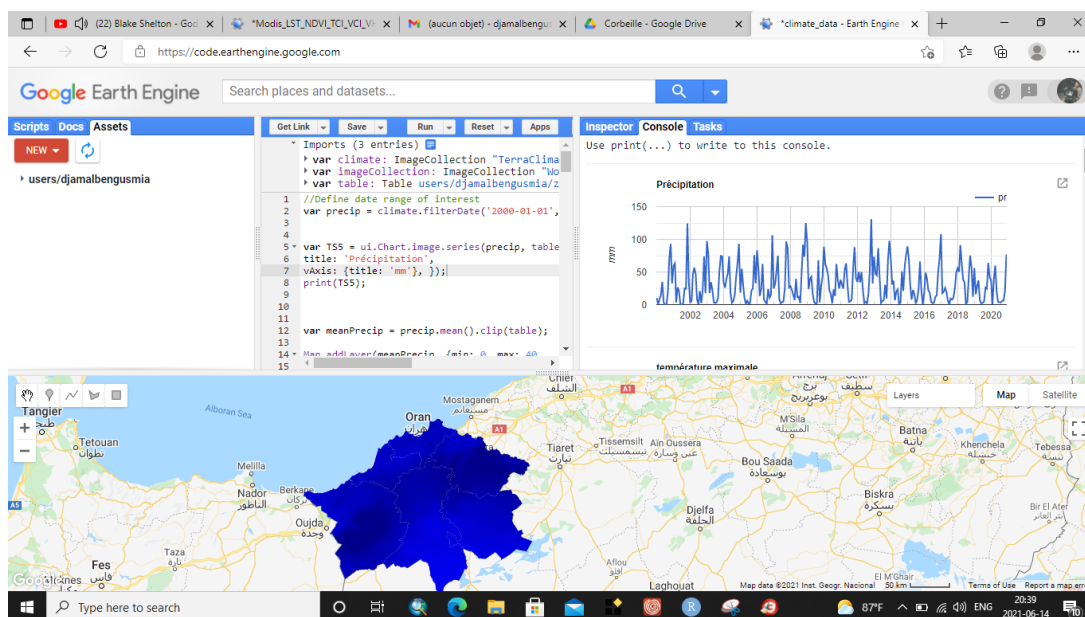


Figure N°31: La collection des données climatiques en GEE

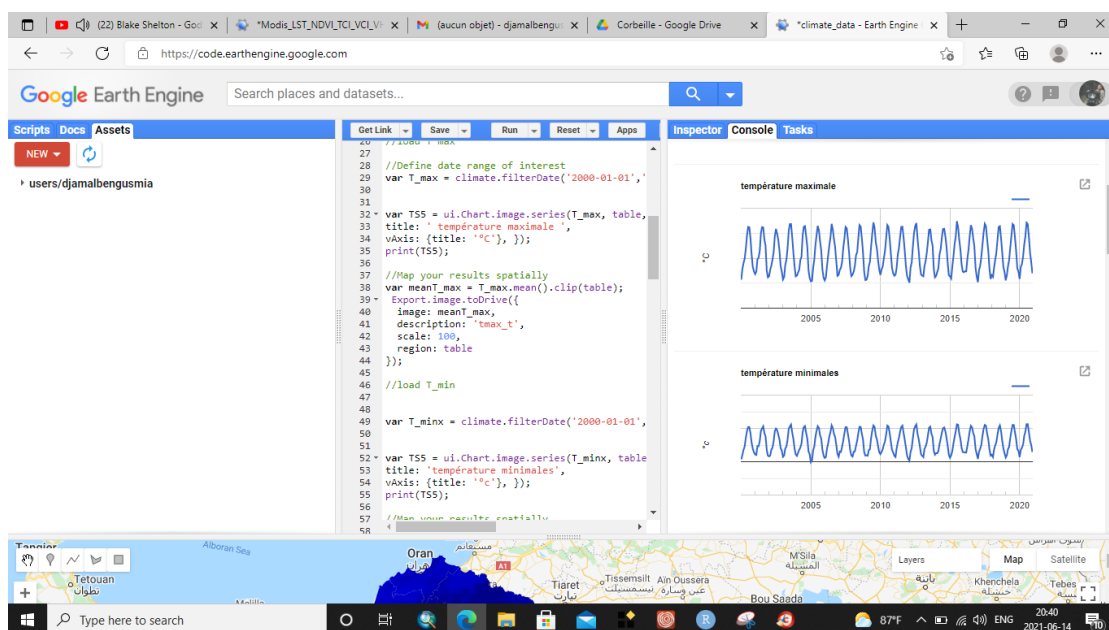
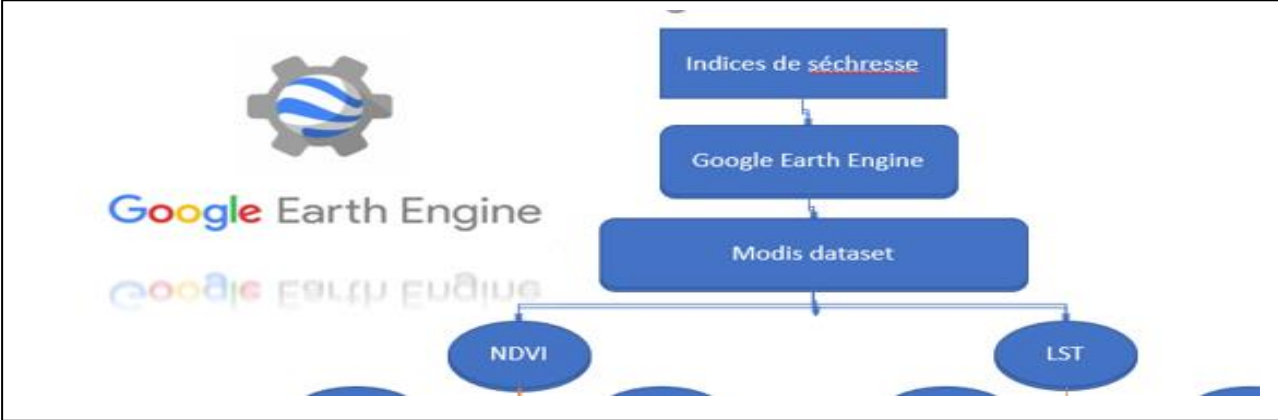


Figure N°19: La collection des données climatiques en GEE

Le choix du logiciel utilisé dans cette étude est basé sur la disponibilité, l'accessibilité et la flexibilité des paramètres qui le composent et qui permettent l'exploitation d'un large éventail de bases de données collectées.



Chapitre 03 :
Méthodes
d'évaluer l'îlot
de chaleur
urbain

Introduction

Il est important de faire une distinction entre les différents niveaux géographiques car les phénomènes qui s'y produisent ne sont pas forcément les mêmes ou n'ont pas les mêmes répercussions. Ainsi, il est possible de cataloguer, de manière simplifiée, quatre types d'échelle des climats [Oke, 1987, CSTB 1995a] :

- L'échelle globale ou échelle « macro » (quelques milliers de kilomètres) : les caractéristiques astronomiques de la Terre entraînent les principales variations climatiques, selon la latitude et la saison et des pondérations liées à la répartition des océans et des continents.

- L'échelle régionale ou échelle « méso » (quelques centaines de kilomètres) : les reliefs, la proximité d'une zone océanique et l'emplacement de la région par rapport aux déplacements d'air affectent le climat à ce niveau.

- L'échelle locale (quelques dizaines de kilomètres) correspond aux modulations du climat régional créées par la présence d'une vallée, d'un groupe de collines ou la proximité immédiate de la mer. C'est l'échelle des modifications du régime général des vents, des brises thermiques, des dorsales pluviométriques et effets thermiques diurnes.

- L'échelle microclimatique est limitée à quelques centaines de mètres. L'homme peut y intervenir pour atténuer les conséquences climatiques (haie, brise-vent, urbanisme adapté aux vents dominants, à l'ensoleillement, à la présence d'eau).

1. méthodes d'évaluer l'îlot de chaleur urbain

1.1. Calcul en fonction de la taille de la ville

1.1.1. Modèles à l'échelle de la ville

Les modèles de canopée urbaine, fonctionnant à l'échelle d'une ville et de sa périphérie, reposent sur un bilan d'énergie effectué en surface. Ils peuvent être forcés par des données météorologiques issues de campagne de mesures ou par un modèle météorologique méso-échelle. Un premier type de modélisation de la ville est d'assimiler la surface urbaine à une dalle ayant des propriétés radiatives et thermiques spécifiques (Fortuniak 2003 ; Dupont et al. 2006). Cette approche a le mérite de la simplicité mais elle ne permet pas de mettre en avant la complexité de la ville et de modéliser le principe du piégeage radiatif. Pour cela, les modèles de ville font souvent l'hypothèse. Une la zone d'étude est considérée comme infiniment longue et sans intersections. Cette hypothèse qui peut paraître forte est en fait valide jusqu'à une taille de maille horizontale de l'ordre de quelques centaines de mètres. C'est ce qui limite la résolution de la modélisation urbaine par des modèles . Les modèles s'appuyant sur l'hypothèse de la zone d'étude ont une représentation tridimensionnelle de la ville et décompose celle-ci en trois types de surfaces : les murs, les toits et les routes. Parmi ces modèles représentant la canopée urbaine, il existe deux types de choix de discrétisation verticale. Soit le choix est fait de ne considérer la canopée urbaine que comme une seule couche d'air dont les variables thermodynamiques seraient représentatives de l'ensemble de la canopée. C'est le parti pris des modèles de Grimmond et al. (2002), Chen et al. (2004), Shashua-Bar et al. (2002), Oleson et al. (2008) et Porson et al. (2010). Soit une représentation multi-couche est choisie (Martilli et al. 2002 ; Kondo et al. 2005 ; Kanda et al. 2005 ; Krayenhoff et al. 2007 ; Hamdi et al. 2008) pour traiter les équations énergétiques à différentes hauteurs. Ce mode de représentation est plus précis mais plus coûteux en temps de calcul et plus difficile à coupler avec un modèle atmosphérique. Le traitement de la végétation est souvent effectué sans interaction avec la ville dans les modèles de canopée urbaine. Souvent, une maille de modèle est composée de différentes 'tuiles' : une de végétation, une de ville et une d'eau par exemple. Chaque tuile est forcée par les mêmes données météorologiques. Le calcul des flux et variables météorologiques est fait indépendamment d'une tuile à l'autre. Les variables sont en suite agrégées au pro-rata de l'occupation de la maille de chaque tuile. Au cours des dernières années, un effort a été fait pour intégrer la végétation au sein même de la canopée urbaine, de manière à modéliser les interactions entre les bâtiments, les arbres, les parcs et les jardins (Krayenhoff et al. 2007 ; Lemonsu et al. 2012).

Enfin chaque modèle se distingue par des choix particuliers concernant la prise en compte ou non de l'orientation des rues, le nombre de réflexions maximales dans une la zone, la représentation des ombres portées ou non, la modélisation des flux anthropiques ou la manière dont est calculée la

chaleur stockée dans les bâtiments et les routes (résidu du bilan énergétique ou prise en compte de la conduction thermique à travers les matériaux urbains).

Une grande intercomparaison de modèles de ville à été lancée par (Grimmond et al. 2010 ; Grimmond et al. 2011). Chaque modèle a été comparé aux données d'une campagne de mesure des flux présents dans le bilan énergétique de la surface urbaine (chaleur sensible et latente, flux radiatif net et flux de stockage de chaleur). Les résultats de cette étude montrent qu'aucun modèle ne se place en tête pour le calcul de tous les flux. Par ailleurs, il s'avère que les modèles simples (ayant une représentation simplifiée des phénomènes physiques) présentent des performances comparables à des modèles plus complexes.

1.2 A l'aide de mesures de température de surface : satellitaire et locale

Depuis 1960, date du lancement de TIROS 1 (Television and Infra-Red Observation Satellit) par les américains, les satellites météorologiques constituent une source d'information essentielle pour suivre le temps et le climat. Les données de télédétection optique, après un traitement rigoureux, peuvent permettre de déterminer les températures de surface pour un lieu donné, à un instant donné. Les îlots de chaleur de surface sont généralement étudiés à partir de ces méthodes d'analyse. L'enregistrement de l'énergie libérée peut être transcrit par deux types de satellites, à savoir les géostationnaire et ceux à orbite quasi polaire. Les premiers se situent à altitude très élevée (environ à 36 000 kilomètres) et toujours au-dessus de la même région de la surface de la Terre puisque sa vitesse de rotation est égale à celle de la Terre. Les seconds suivent une trajectoire orbitale et héliosynchrone, située à une altitude moins élevée (environ à 850 kilomètres) et donc comportant une résolution spatiale plus grande. Il en existe un grand nombre autour de la Terre. Les plus connus et utilisés en télédétection sont cités dans le tableau ci-dessous (tableau 2), reliés à leurs caractéristiques générales et thermiques d'après plusieurs auteurs (European Space Agency, 1993 ; NASA, 2000 ; EUMETSAT, 2001 ; Aminou et al., 2009 ; NASA, 2009 ; Envisat, 2013 ; NOAA, 2014 ; Tranquilli et al., 2016 ; USGS, 2016)

1.3. Température de l'air

Il apparaît clairement que la température d'air n'est pas la même pour les trois récepteurs durant au cours de la journée. Dans la zone (5) la température d'air sec est la plus faible par rapport à la température des autres zones durant le jour, alors que cette température est maximale dans la zone (2). Cette différence de température est remarquable surtout dans la période s'étalant entre 11:00 et 16:00, et atteint une valeur maximale de 1.97 °C à 14:00. A contrario, la température du récepteur (2) est plus faible que celle des récepteurs (5) et (8) durant la nuit.

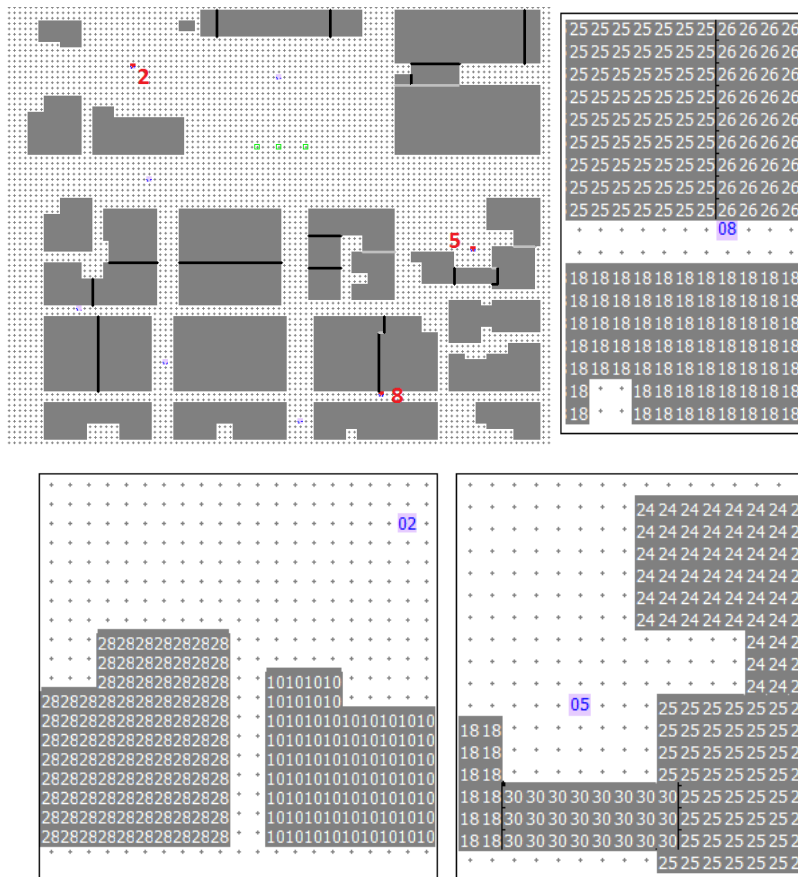


Figure N°20: Récepteurs (2), (5) et (8) dans le modèle ENVI-met

1.4. L'indice « UTCI » (Universal thermal climate index)

Un nouvel indice a été développé par les scientifiques pour exprimer le comportement thermique en conditions climatiques extérieures. Cet indice est l'indice climat thermique universel « UTCI » (Universal Thermal Climate Index) mené dans le cadre de l'activité de la Société International de la Biométéorologie. En 2009, l'UTCI a été validé pour être utilisé dans l'étude du confort thermique dans les espaces extérieurs. Il est basé sur un modèle dynamique du mécanisme thermorégulateur du corps humain. Contrairement aux autres indices, l'UTCI se base sur un modèle thermorégulateur dynamique et instationnaire dit dynamic multi-node Fiala model. Ce modèle est applicable pour tous les climats, ainsi que pour de courtes et de longues périodes d'exposition. D'après (Bröde, et al., 2010), ce modèle prend en compte les différents niveaux d'isolation du corps humain dus aux vêtements. Il permet de simuler les échanges thermiques à l'intérieur du corps humain, ainsi que les échanges qui ont lieu entre l'intérieur du corps et la surface, en tenant compte des particularités anatomiques, thermiques et physiologiques (Fiala, et al., 1999).

Les données d'entrée du modèle UTCI sont :

- La température de l'air
- La vitesse du vent.
- La pression de vapeur d'eau.
- La température moyenne radiante.

- Le niveau de métabolisme.

- L'isolation des vêtements.

Selon Jendritzky et al (Jendritzky, et al., 2002), plusieurs hypothèses sont prises en considération pour le calcul de l'UTCI: la vitesse de marche de l'individu est supposé de 4 km/h, le niveau métabolique est alors environ 135 W/m² et l'isolation par les vêtements est entre 0.4 clo et 2.6 clo. Pour la direction du vent, on suppose que le vent souffle de côté à 90 degrés du piéton et la hauteur de mesure du vent est 1.1 m du sol.

Pour déterminer l'UTCI, un environnement de référence est défini de la façon suivante : humidité relative de 50 %, pression de vapeur d'eau inférieure à 20 hPa, température de l'air égale à la température moyenne radiante et avec une vitesse de l'air faible. Par suite, la valeur de l'UTCI pour des conditions climatiques données, est définie comme étant la température de l'air de l'environnement de référence qui produit le même stress thermique que l'environnement étudié (Bröde, et al., 2010). La Figure 1.30 montre le niveau de stress thermique selon les valeurs de l'UTCI. Il est évident que le confort thermique (absence de stress thermique) correspond à des valeurs d'UTCI comprises entre + 9 et 26 °C.

Parmi ces indices qu'on a présenté dans cette partie, c'est le PET qui sera utilisé dans la suite de la thèse puisque cet indice reflète une réalité du confort extérieur contrairement aux indices PPD et PMV qui présentent des limitations sous climats chauds et extrêmes. De même le calcul de la PET a été validé dans le calcul du logiciel « ENVI-met » qu'on a utilisé pour nos simulations. Par contre, ce logiciel a montré au cours de notre travail, des limitations pour le calcul de l'UTCI aux alentours des bâtiments.

2. Les échanges radiatifs

Le rayonnement solaire est la principale source d'énergie du système terre-atmosphère. Il est possible de décomposer le bilan radiatif des surfaces en deux parties, dont l'une correspond à la bande solaire (rayonnement de courte longueur d'onde comprenant le visible et le proche infrarouge, bande comprise entre 0.15 et 3.0 μm [Oke 1987]) et l'autre aux échanges infrarouges (rayonnement de grande longueur d'onde, bande comprise entre 5 et 100 μm).

3. Rayonnement solaire

L'énergie reçue du soleil par la terre évolue au cours de l'année, à cause de la variation de leur distance (Figure 2) et de l'inclinaison (Figure 3). Cette variation saisonnière est faible et on appelle constante solaire la valeur moyenne du rayonnement incident hors atmosphère (environ 1370 W/m²). Le soleil peut être considéré comme un corps noir de température équivalente égale à 5900 K. 98 % de son rayonnement émis est réparti dans des longueurs d'onde (λ) comprises entre 0.25 μm et 4 μm ($\lambda_{\text{max}} = 0.5 \mu\text{m}$, d'où la couleur jaune du soleil). En traversant l'atmosphère,

une partie du rayonnement solaire est absorbée, une autre partie est diffusée et enfin le reste est réfléchi. Par conséquent au niveau du sol on ne considère que le rayonnement direct atténué provenant du soleil et la partie diffuse provenant de la voûte céleste. une surface perpendiculaire aux rayons solaires, située au niveau du sol, reçoit au maximum 700 W/m² en hiver et 1000 W/m² en été par ciel clair.

Le rayonnement direct est absorbé dans l'ultra violet ($\lambda < 0.3 \mu\text{m}$) par l'ozone dans les hautes couches de l'atmosphère et dans l'infrarouge ($\lambda > 0.73 \mu\text{m}$) par la vapeur d'eau et le gaz carbonique au niveau des basses couches. L'absorption dépend du trajet des rayons (inclinaison) et de la concentration de molécules absorbantes. Les molécules d'air diffusent selon la loi de Rayleigh (en $1/\lambda^4$), elles affectent par conséquent surtout les courtes longueurs d'onde, d'où la couleur bleue du ciel. Les aérosols, étant de dimensions variables, diffusent dans toutes les longueurs d'onde, d'où la couleur blanche des nuages et de la brume [CSTB 1995a].

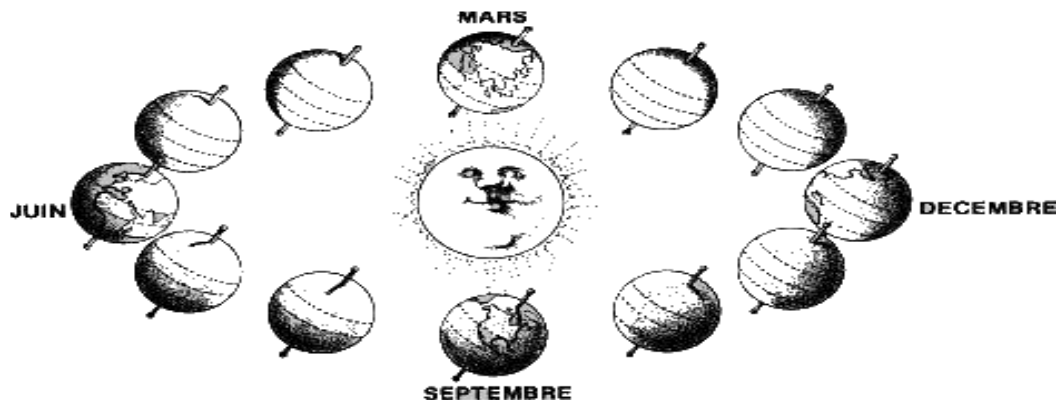


Figure N°21: Terre - Soleil [Mazria 1981]

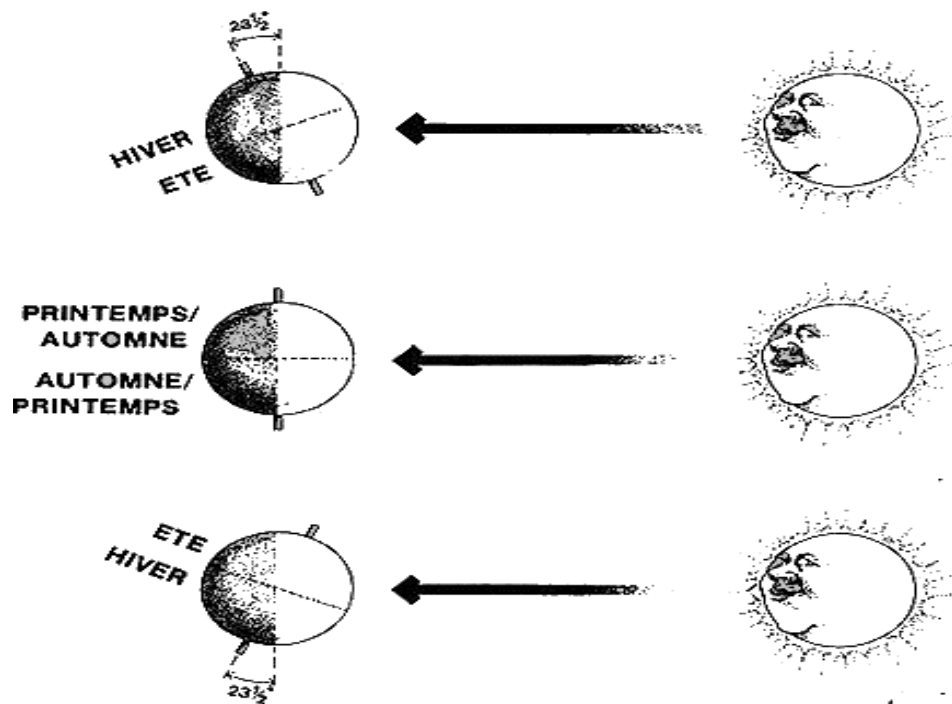


Figure N°22: Terre-Soleil-Saisons [Mazria 1981]

Les calculs nécessaires à la détermination de la position du soleil en un lieu, pour un jour et un instant donné font apparaître la latitude de ce lieu, la déclinaison et l'angle horaire [Siret 1997]. Des procédures de modélisation des trajectoires solaires sont présentes dans de nombreux logiciels commerciaux d'aide à la conception comme Autocad et dans des logiciels de simulation orienté recherche comme Townscope [Teller. et al. 1999] et SOLENE [Groleau et al. 1992a].

4. Oke

La littérature suggère trois types d'îlots de chaleur urbains en fonction de la couche où ils se trouvent :

- 1 - l'îlot de chaleur de surface diagnostiqué au moyen de la télédétection ;
- 2 - l'îlot de chaleur atmosphérique de basse couche, que Oke (1978) a appelé *urban canopy layer*, située entre le niveau du sol et le niveau moyen des toits ;
- 3 - l'îlot de chaleur de l'atmosphère urbaine supérieure, appelée, selon Oke (1978), *urban boundary layer*. Cette dernière surmonte la précédente et se prolonge parfois jusqu'à l'atmosphère libre.

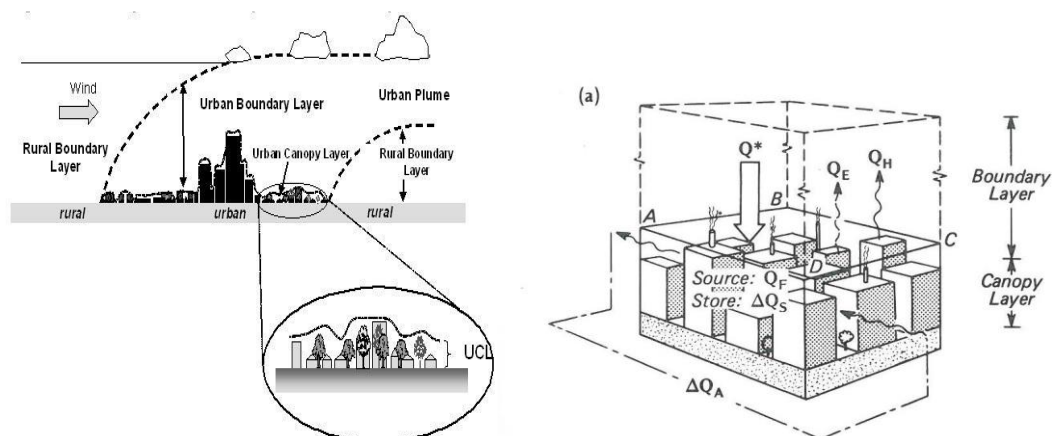


Figure N°23: Représentation schématique des principales composantes de l'atmosphère urbaine. Source : Voogt, 2004

5. Morphologie urbaine et taille des villes :

La morphologie urbaine qui décrit « la forme tridimensionnelle, l'orientation et l'espacement des bâtiments dans une ville joue un rôle important dans la formation des ICU ». (Justin, 2014)

En comparant 30 villes d'un million d'habitants situés à des latitudes moyennes, À partir de ses recherches, Oke (1988) parvient à établir une relation reliant l'intensité maximale de l'îlot de chaleur urbain et la géométrie des canyons urbains, exprimée en fonction de la hauteur des bâtiments (H) et la distance entre les bâtiments (L) par le ratio H/L: $dT_{max} = 7.54 + 3.97 \ln (H/W)$. (**Figure10**). -On obtient donc une valeur maximale de l'effet de l'îlot de chaleur égale à 7.54°C (un profil de rue dont la hauteur et la largeur sont de même longueur). - De 4.79°C (les rues sont deux

fois plus larges que la hauteur des bâtiments). - De 10.29°C (le canyon est deux fois plus haut que large). (Reiter, 2007)

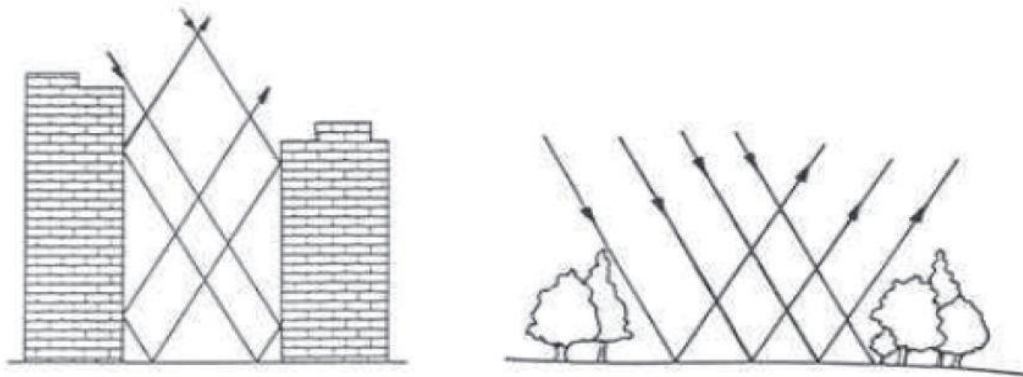


Figure N°24: Effet du piégeage radiatif en ville. (Source : Colombert, 2008) Oke en 1988 est le premier à établir qu'il existe une relation entre la température et la géométrie du canyon urbain à travers le Facteur de Vue du Ciel (FVC). (Knodel. S.H,2012)

Les études réalisées par Oke (1991) indiquent que le facteur de vue du ciel peut, produire une (ΔT_{u-r}) intensité d'îlot de chaleur de 5 à 7°C. **Tmax urbaine rurale = 15,27-13,88 Ψ_{sky} (°C)** (Rullier, 2012) Ce dernier correspond à la proportion de ciel visible sur une photographie prise, selon un axe verticale, varie entre 0 (zéro) et 1. CE facteur est égal à un dans le cas d'une surface plane sans obstacle. Permet de caractériser la morphologie urbaine et les effets radiatifs et thermiques qui en résultent. (Colombert, 2008) $\Psi_{ciel} = (1 - (\Psi_{m1} + \Psi_{m2})) = (1 - ((1 - \cos\theta_1)/2 + (1 - \cos\theta_2)/2))$

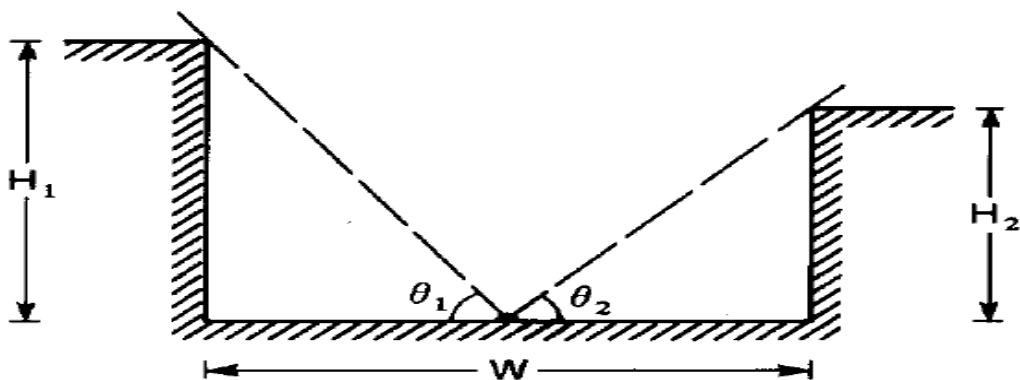


Figure N°25: Représentation du facteur de vue du ciel dans une rue canyon décrite par sa largeur (W) et les hauteurs des bâtiments l'encadrant (H1 et H2) (Source : Colombert.M, 2008)

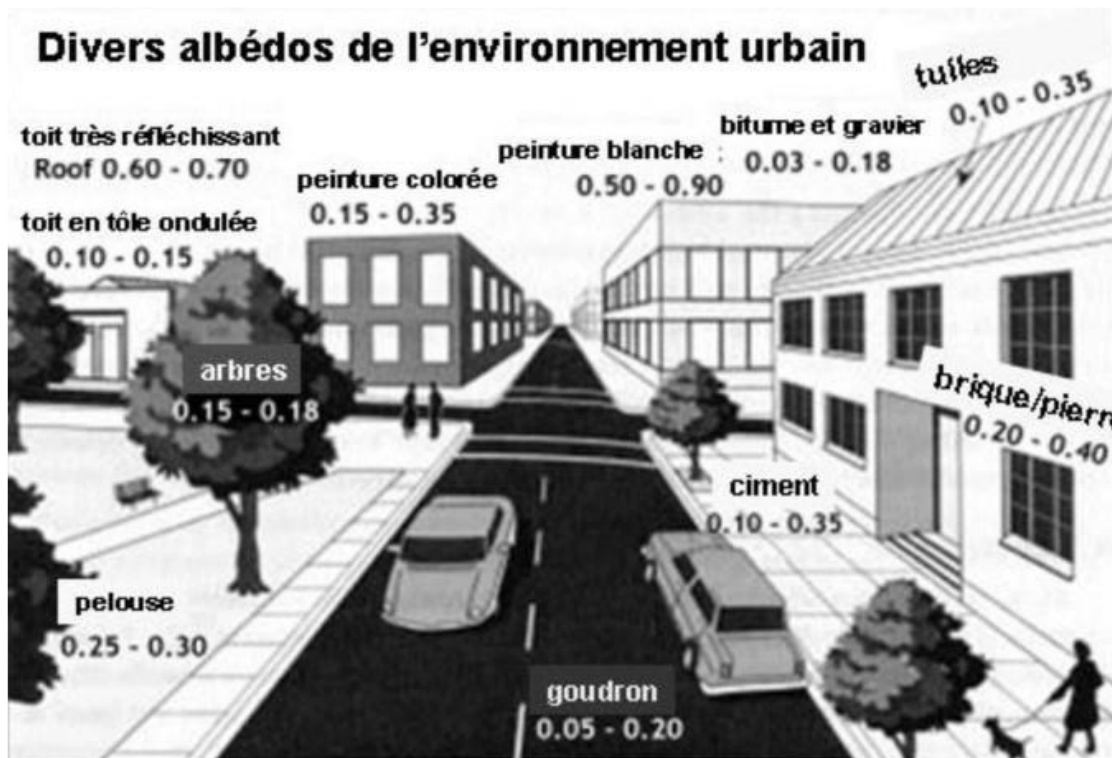


Figure N°26: Divers albédos de la ville. Compris entre 0 et 1 (Source : <http://www.notre-planete.info>, 2015)

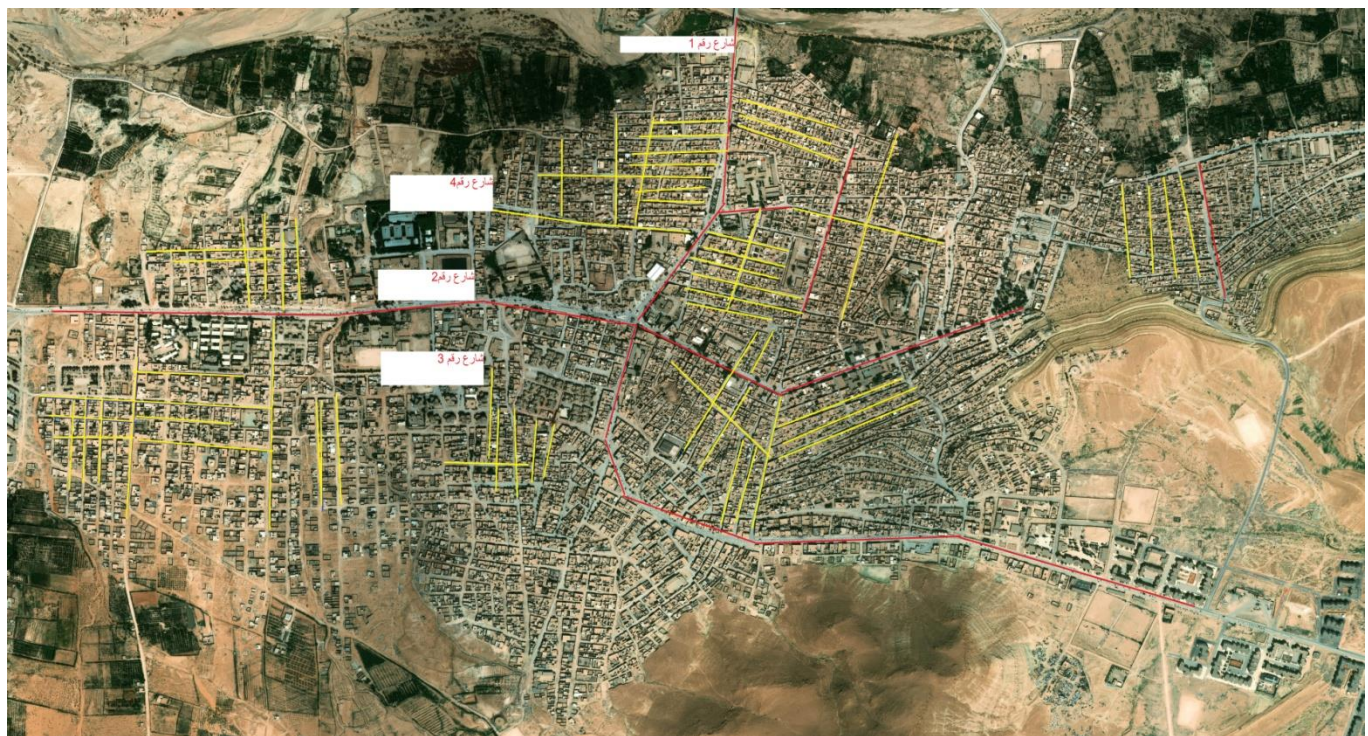


Figure N°27: Répartition des rues face au vent et sa direction

Tableau N°28: Il représente la relation entre l'élévation de température, son intensité, les dimensions et la forme de la rue

numéro de rue	dTmax	Température enregistrée (°C)
1	1.56	32
2	1.15	30
3	5.93	34
4	5.51	33

Les routes marquées en rouge sont de grandes routes, avec une largeur de route de 25 à 30 mètres et une hauteur de 6 mètres.

Quant aux routes jaunes, ce sont des routes de taille moyenne qui caractérisent les rues Massad, car leur largeur varie de 9 à 10 mètres environ sur toute la superficie, et la hauteur est de 6 mètres.

Les routes en orange sont des routes opposées et avec la direction du vent, et en vert ce sont des routes opposées avec la direction du vent.

Nous avons choisi des exemples de quatre rues (rue n° 1, n° 2, n° 3, n° 4) de la ville, des rues opposées au sens du vent, une large rue avec le sens du vent, large, une rue avec la direction du vent, étroit, opposé à la direction du vent, et étroit comme indiqué sur l'image (**Figure N°27**).

Où nous concluons que la température augmente dans la rue avec une petite largeur et à l'opposé de la direction du vent, et elle diminue avec la rue dans la direction du vent et sa largeur est petite, et elle diminue avec la rue, sa largeur est grand et avec la direction du vent et vice versa. Le vent travaille pour réduire la température car il a un écoulement dans les rues (**Figure N°27**).

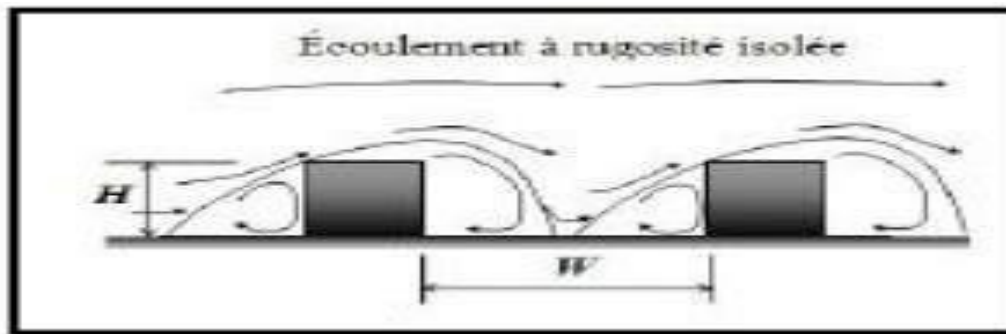
Pour $l / H > 2.5$; l'écoulement de l'air est de type rugosité isolée

$$L/H = 30/6 = 5 > 2.5$$

En appliquant la relation, nous trouvons que le résultat est supérieur à 2,5, et à partir de là, nous concluons que la rue et le flux de vent sont dans la figure suivante

Les rues sont rouges, comme le montre la photo(**Figure N°27**)

Pour $l/H > 2.5$; l'écoulement de l'air est de type rugosité isolée



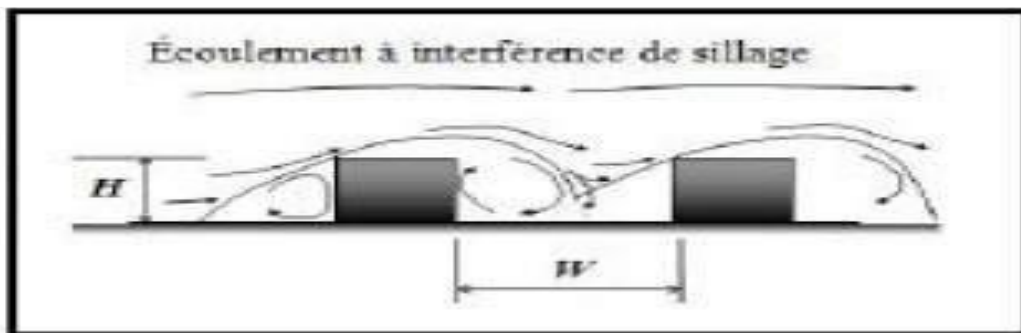
Pour $1.538 < l/H < 2.5$; L'écoulement est à interface de sillage

$$l/H = 10/6 = 1.6 \quad 1.538 < 1.6 < 2.5$$

En appliquant la relation, nous trouvons le résultat confiné entre 2,5 et 1,538, et à partir de là nous concluons que la rue et le flux de vent sont dans la figure suivante

Ce sont les rues qui sont peintes en jaune, comme le montre la photo

Pour $1.538 < l/H < 2.5$; L'écoulement est à interface de sillage



6. Le terme de stockage de la chaleur

Les surfaces urbaines sont constituées de matériaux de revêtements variés (asphalte, béton, briques, bois, verre, etc.) et de géométries hétérogènes (parois verticales ou horizontales, toits plats ou inclinés par exemple). De plus, l'ensoleillement de ces surfaces est très variable en fonction des paramètres météorologiques et morphologiques. Il est donc très difficile de mesurer avec précision le flux de chaleur absorbé par une surface urbaine. Pour cela, différentes corrélations empiriques ont été proposées, notamment par Oke (1981) et Grimmond *et al.*, (1991), pour des échelles de travail allant de l'îlot urbain au quartier.

Tout d'abord, un paramétrage du stockage de la chaleur en milieu urbain pendant la journée et la nuit a été formulé par Oke (1981). L'enquête a été réalisée sur un quartier présentant des formes pavillonnaires homogènes dans la banlieue sud de Vancouver. Ce paramétrage s'appuie sur une relation linéaire entre le bilan radiatif net et le terme de stockage de la chaleur par les surfaces

urbaines . Des coefficients d'occupation de sol pour les espaces verts et les surfaces bâties ont été considérés. Les équations I. 8 et I. 9 correspondent aux formulations définies pour la journée et pour la nuit, respectivement.

$$\Delta Q_s = [0.20a + 0.33b] Q^* + 3a - 24b$$

$$\Delta Q_s = [0.54a + 0.90b] Q^*$$

7. Impact de la densité urbaine

Le champ de température de l'air en milieu urbain est la résultante de l'ensemble des échanges thermiques produits entre les surfaces urbaines et l'atmosphère. Ceux-ci sont largement dominés par les flux solaires incidents. Les écarts recensés entre les centres-villes et la périphérie sont souvent importants notamment au niveau des stations météorologiques aéroportuaires, de l'ordre de 5 à 10°C (Oke, 1987 ; Akbari et al., 1997 ; Santamouris et Doulos, 2001). Ces différences illustrent l'effet énergétique de l'urbanisation sur la température de l'air, connu sous le nom d'îlot de chaleur urbain présenté sur la **Figure I. 17**.

Le modèle LUMPS « Local-scale Urban Meteorological pre-processing Scheme » (Grimmond et Oke, 2002)

Le schéma LUMPS est basé sur le principe d'évaluation du bilan énergétique en prenant les rayonnements Net comme la principale source d'énergie. Il diffère des approches classiques appliquées aux surfaces rurales par sa prise en compte du flux de chaleur stockée dans les ensembles bâti du fait de la présence des bâtiments et des surfaces minérales. Ce modèle nécessite uniquement des données générales sur la surface urbaine, qui sont principalement la hauteur moyenne des bâtiments et les fractions de surfaces occupées par chaque type de sol (minéral, naturel, végétal, eau, bâtie).

Le modèle LUMPS a été testé sur des données de villes américaines et il est en cours de validation sur des villes européennes notamment Basel, Birmingham, Graz et Marseille. Contrairement au modèle SM2U, le modèle LUMPS prend en compte une hauteur moyenne de la surface urbaine (hauteur moyenne des bâtiments), mais sans considérer le phénomène de piégeage radiatif ou les réflexions dans les rues.

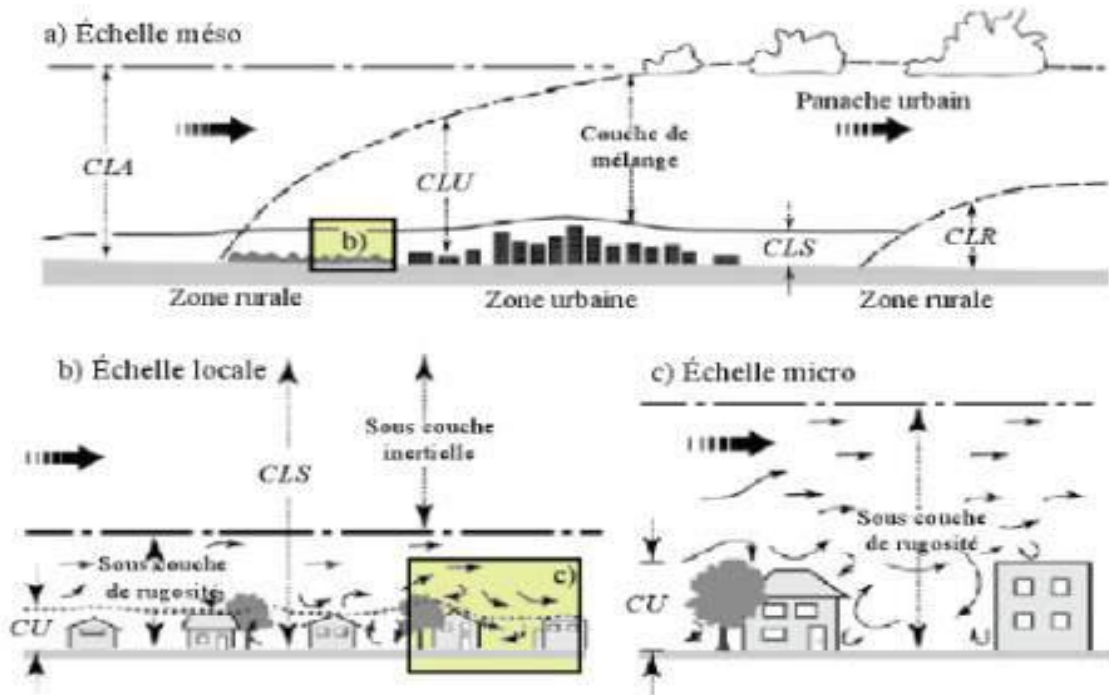
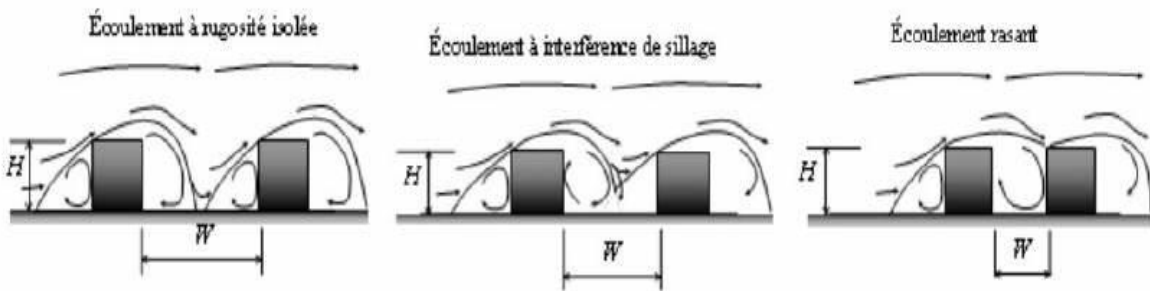


Figure N°29: Représentation des échelles climatiques et atmosphériques, de l'échelle méso (a), à l'échelle locale (b) et micro (c) (OKE, 2006) cite par STOKA,S. (2011), pp16.



Écoulement du vent dans une rue de type canyon (Avec un rapport d'aspect $W/H > 2,5$ (rugosité isolée), $1,54 < W/H < 2,5$ (interférence de sillage), $W/H < 1,54$ (rasant), d'après OKE, T.R. (1987)

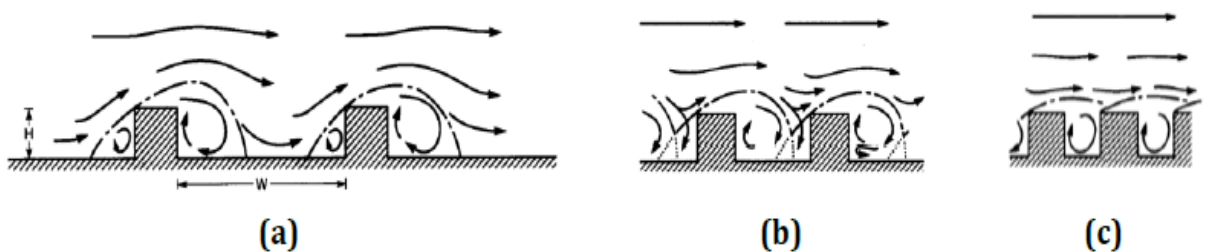


Figure N°30: Profil de la circulation de l'air dans une rue canyon en fonction du rapport d'aspect H/W de la hauteur et de sa largeur : (a) écoulement à rugosité isolée, (b) un écoulement à interface de sillage, (c) écoulement rasant (Oke et Nakamura, 1988).

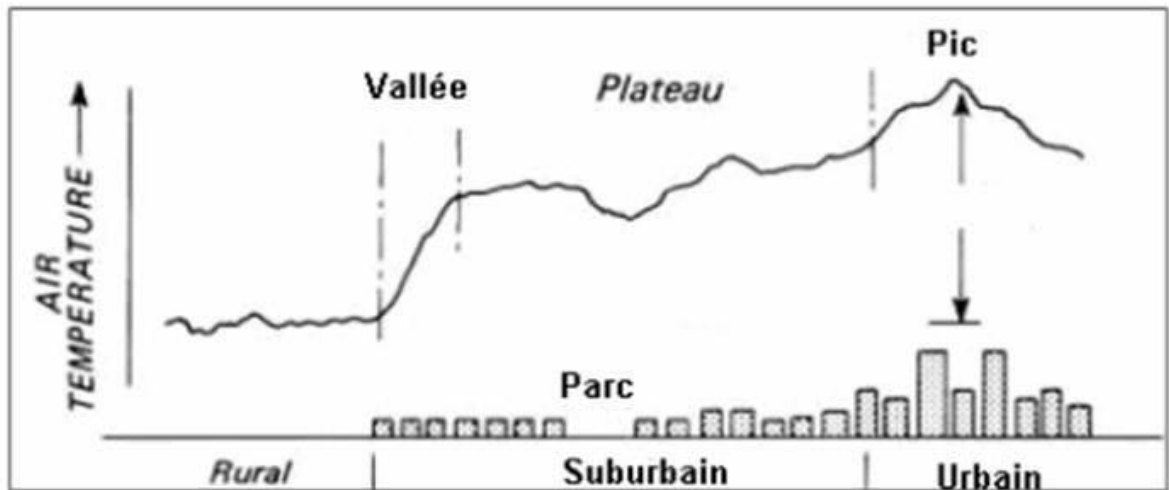


Figure N°31: Profil d'un îlot de chaleur urbain (en Pic, plateau et vallée) et ses relations avec les paramètres de surfaces (T.R.Oke, 1987).

➤ **Effets climatiques dans la rue type canyon**

OKE, T.R. (1988) a étudié en soufflerie l'écoulement de l'air dans une rue de type « canyon » et a montré l'existence de trois régimes fonction de la dimension des bâtiments et de la distance les séparant (soit L : longueur du canyon, H : hauteur du canyon et l : largeur du canyon). OKE, T.R. (1988) souligne qu'on peut classer les rues de type canyon suivant un rapport d'aspect l/H (le rapport entre la largeur et la hauteur) par rapport à un vent transversal à l'axe de la rue.

Pour $l/H > 2.5$; l'écoulement de l'air est de type rugosité isolée (voir Figure 67). D'après BOZONNET, E. WURTZ, E. BELARBI, R. ALLARD, F. GLOCKNER, S (2000) souligne que les bâtiments sont bien espacés les uns des autres. L'écoulement s'apparente à une succession de structures identiques autour des bâtiments isolés.

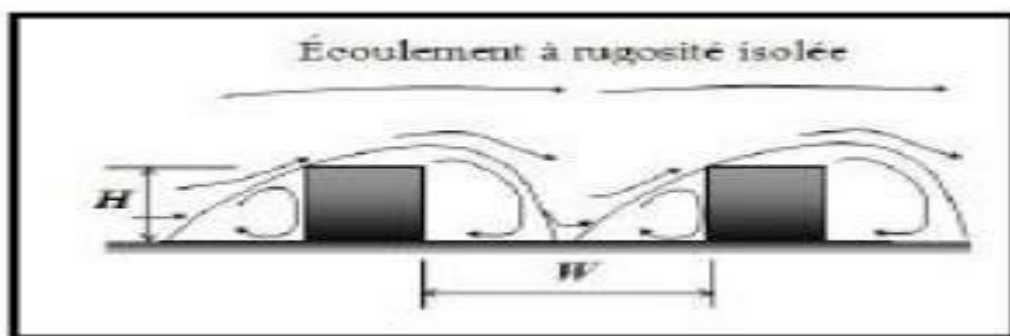


Figure N°32: Régime dit à rugosité isolée. OKE, T.R. (1978)

Pour $1.538 < l/H < 2.5$; L'écoulement est à interface de sillage (voir Figure 68). OKE, T.R. (1988). GLOCKNER, S (2000) souligne Lorsque l'écart entre les bâtiments diminue, les sillages sont perturbés. L'écoulement en aval d'un bâtiment est renforcé par une déflexion au niveau de la face amont du bâtiment suivant.

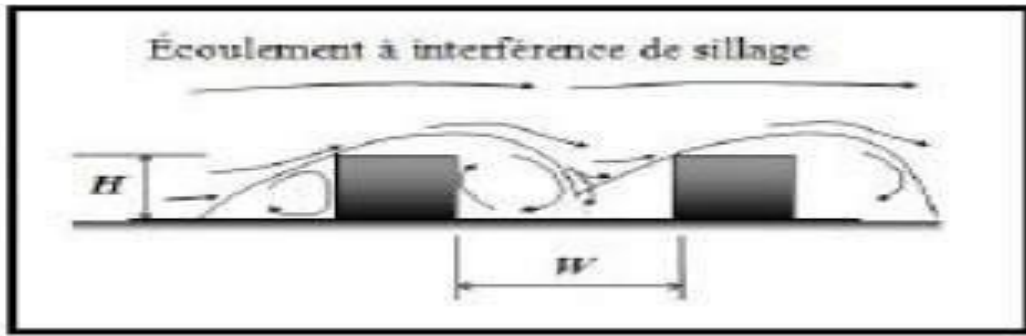


Figure N°33: Regime dit a interface de sillage. OKE, T.R. (1978)

Pour $l / H < 1.538$. L'écoulement est de type rasant (voir Figure 69). OKE, T.R. (1988). Lorsque le rapport l/H est encore plus faible, la rue se referme et une recirculation s'établit à l'identique d'une rue à l'autre. L'écoulement est alors dit « rasant ».

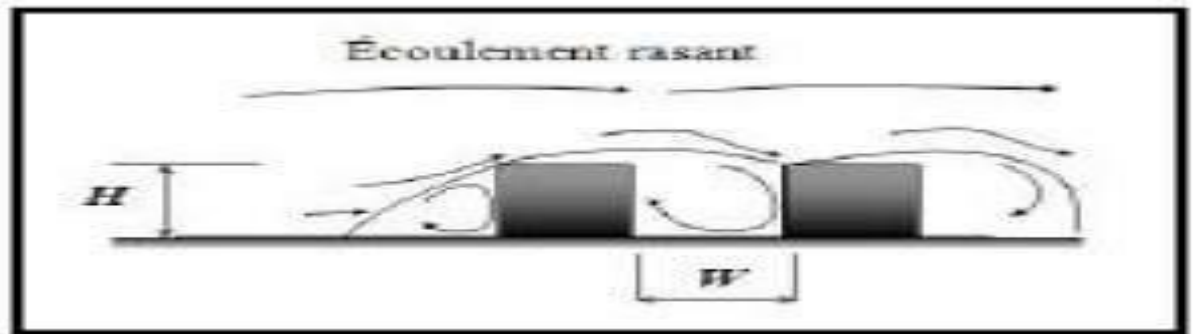


Figure N°34: Regime dit rasant. OKE, T.R. (1978)

La figure 70 récapitule les trois types d'écoulements du vent. OKE, T.R. (1988) justifie l'écoulement du vent transversal dans une rue de type canyon uniquement par le rapport d'aspect (H/l). (SANTAMOURIS, M. PAPAKONSTANTINO, K. & GEORGAKIS, C. (2001) proposent différents scénarios d'écoulement en fonction de la vitesse du vent, de son angle d'incidence ainsi que du rapport d'aspect de la rue (H/l). Concernant la vitesse du vent au-dessus des toitures à 4m/s, les effets thermiques et mécaniques rendent l'écoulement chaotique. On observe l'expérimentation menée par [BOZONNET, E. WURTZ, E. BELARBI, R. ALLARD, F. (2002)], la formation de zones non ventilées où la chaleur s'accumule.

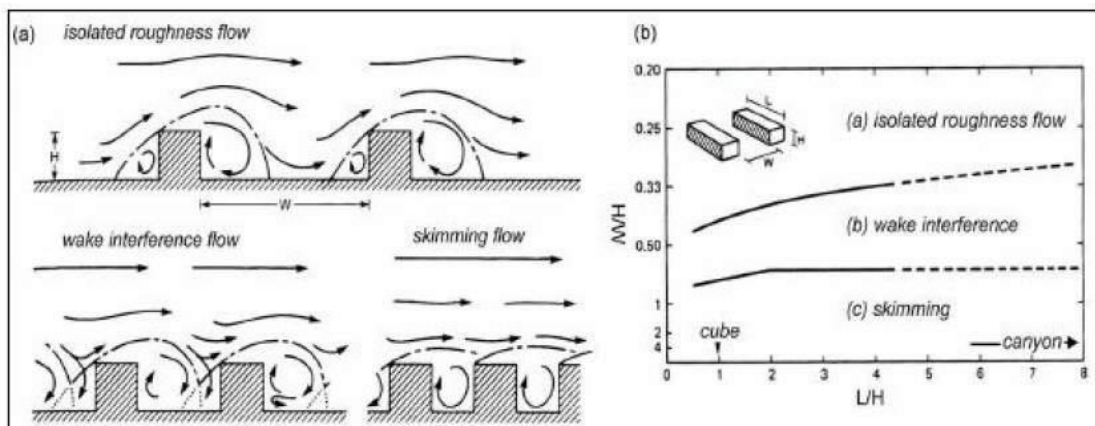


Figure N°35: Regime d'écoulement du vent, (b) influence de la géométrie du canyon (H/l) et du bâtiment (L/l) sur l'écoulement. (a) OKE, T.R. (1988). (b) HOSKER (1985)

➤ Effets radiatifs dans un espace de type « canyon »

La prise en compte du rayonnement solaire et des échanges radiatifs entre les bâtiments est de première importance puisque la modification du bilan thermique de surface, en raison de présence des bâtiments est une des causes de l'existence d'un îlot de chaleur au-dessus des villes.

Le rayonnement solaire ne parvient pas à pénétrer dans le canyon que lorsqu'il se présente dans le plan axial de celui-ci, ce qui dépend de l'orientation de ce plan. Le rayonnement est alors piégé et peut provoquer des échauffements instantanés important. La durée de ce phénomène est faible pendant la journée suivant l'orientation de la rue. Ce phénomène est connu sous le nom de piégeage solaire ou inter réflexion. Il peut se produire dans les canyons urbains au cours duquel le rayonnement solaire est reflété plusieurs fois successives laissant plus d'occasions à l'absorption (voir Figure 71).



Figure N°36: Phenomene de peage dans un canyon urbain (Phenomene d'inter reflexion dans un canyon) GLOCKNER, S. (2000) et (Phenomene de reflexion dans un canyon) PERNOT, J.& COMPAGNON, R

8. Oclusivité

Cet indicateur représente la moyenne du rapport du périmètre construit sur le périmètre non construit pour une série de coupes horizontales. L'occlusivité caractérise la distribution des périmètres construits en fonction de la hauteur par rapport au sol, calculés à partir d'une série de coupes dans le tissu urbain. Adolphe L., et al. (1996) Cet indicateur permet de donner une information à la fois sur les effets énergétiques (compacité et déperditions des bâtiments) et sur les effets climatiques du tissu urbain (ouverture du ciel, vitesse du vent...). Il est facilement calculable à partir d'une BDU(Base de Données Urbaine) et donne une information supplémentaire par rapport au prospect qui ne raisonne qu'en 2D. L'occlusivité est calculée par l'équation suivante :

$$O_c = \frac{1}{N_{coupeHoriz}} * \sum_{N_{coupeHoriz}} \frac{P_{bâti}}{P_{non\ bâti}} [/]$$

$N_{coupeHoriz}$: Nombre de coupes horizontales

$P_{bâti}$: Périmètre construit de la coupe considérée

$P_{non\ bâti}$: Périmètre non construit de la coupe considérée

Si l'on coupe le tissu urbain avec un pas vertical de hauteur d'étage, par exemple 3,5mètres, on obtient ainsi la formule

$$O_c = \frac{1}{H \text{ mod } 3.5} * \sum_{N_{étage}} \frac{P_{bâti}}{P_{non\ bâti}} [/]$$

Avec $N_{étages}$: Nombres maximum d'étages

H : hauteur maximum du bâtiment

Le choix des périmètres construit plutôt que des surfaces construites permet de s'affranchir des différences de surface de sol entre bâtiments.

illustrons en outre les paramètres morphoclimatiques d'après BOZONNET, M. et al.(2008).

Paramètre	Ensoleillement	Vent	Température	Acoustique
Densité	X	X		
Rugosité		X		
Sinuosité		X		
Ratio d'enveloppe	X			
Rapport d'aspect de la rue (H/l)	X	X	X	X
Ratio d'espacement (distance entre bâtiments / largeur bâtiments)	X			
Orientation	X		X	
Facteur de Vue de Ciel (FVC)	X			
Pourcentage de sol couvert par les bâtiments	X			
Rose des orientations (surface des bâtiments pondérés du SVC)	X			

Tableau 7. Paramètres morphoclimatique. D'après BOZONNET, E. MUSY, M. ALLARD, F.

GUARRACINO, G. CHAZELAS. M., 2008

- Phenomene de peage dans un canyon urbain (Phenomene d'inter reflexion dans un canyon) GLOCKNER, S. (2000) et (Phenomene de reflexion dans un canyon) PERNOT, J.& COMPAGNON, R
- **Les effets aérauliques en milieu urbain**

Les principes des écoulements d'air en milieu urbain sont assez bien connus pour certaines configurations géométriques. Ainsi, des effets sont identifiables en ville et sont répertoriés dans certains ouvrages [Gandemer et al. 1976]. Nous présentons ci-dessous quatre effets qui pourront se retrouver dans les simulations que nous souhaitons réaliser :

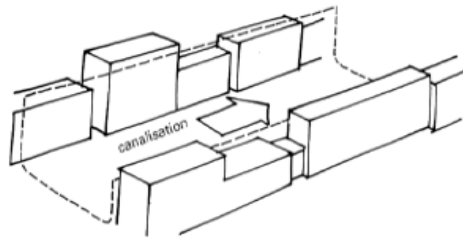


Figure 7 : Effet de canalisation

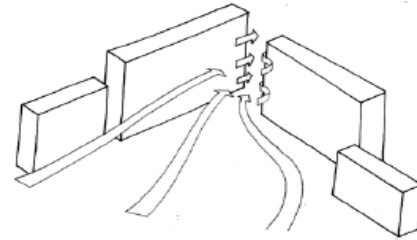


Figure 8 : Effet Venturi

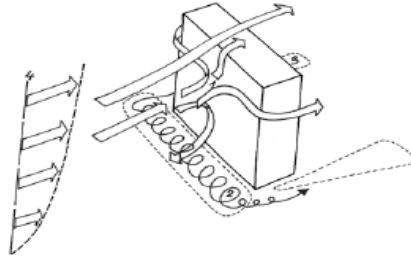


Figure 9 : Effet de contournement

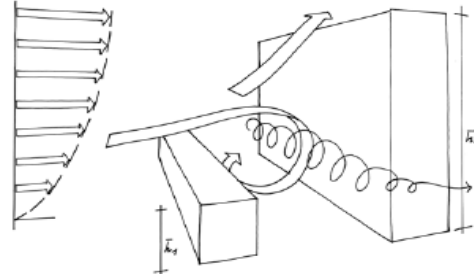


Figure 10 : Effet Wise

➤ L'écoulement autour d'un bâtiment

Lorsqu'un vent vient heurter un bâtiment, trois zones principales de perturbation apparaissent :

à l'avant un vortex turbulent dû à l'écoulement descendant sur la face au vent, à l'arrière une zone de turbulence qui s'étire dans la cavité de basse pression due à la séparation des écoulements au niveau des bords du bâtiment, et plus loin le sillage du bâtiment caractérisé par une turbulence élevée et des vitesses horizontales inférieures à celles de l'écoulement non perturbé [Oke 1988].

➤ L'écoulement dans une rue

L'écoulement au-dessus d'une rangée de bâtiments est moins bien compris. Pour analyser les différents types de rues, il est d'usage d'utiliser un indicateur, le rapport d'aspect, qui correspond au quotient des hauteurs moyennes des bâtiments sur la largeur de la rue, on le note H/W . Si les bâtiments sont bien séparés ($H/W > 0.05$) les écoulements n'interagissent pas. A des espacements plus réduits, les sillages sont perturbés. Lorsque la hauteur, l'espacement, et la densité de la combinaison de rangées se combinent, le régime de l'écoulement de rugosité isolé (« isolated roughness ») se transforme en un écoulement à interférence des sillages (« wake interference »). Ce dernier est caractérisé par des écoulements secondaires dans l'espace du canyon. A des rapports d'aspect et des densités plus élevées un vortex stable s'établit dans le canyon et un régime d'écoulement rasant « skimming » apparaît où l'enveloppe de l'écoulement ne pénètre plus dans le canyon (Figure 11) [Oke 1987, 1988].

Écoulements aérodynamiques dans les rues [Oke 1987]

La géométrie urbaine affecte la capacité à disperser les polluants dans la ville, en modifiant la production de turbulence mécanique, le profil vertical du vent et l'épaisseur de la couche de mélange. De plus, ces phénomènes peuvent être amplifiés, à une échelle microclimatique, les rues et les bâtiments générant des zones de faibles vitesses de vent et des effets de recirculation turbulente.

Pour les écoulements perpendiculaires, les mécanismes déterminant les caractéristiques de l'écoulement dans le canyon sont soit la création d'un vortex dû au transfert de quantité de mouvement à travers une couche de cisaillement au niveau du toit, soit les effets de longueur finie du canyon qui sont liés à des vortex intermittents qui s'étendent au niveau des coins et qui sont responsables des mécanismes d'advection. Dans des canyons profonds, les études ont montré que deux vortex se développent, celui du haut conduit par l'écoulement de l'air ambiant, celui du bas conduit dans la direction opposée par la circulation du dessus. Cependant, la circulation dans le canyon n'est pas seulement gouvernée par l'air ambiant, mais est la résultante de trois mécanismes spécifiques : écoulement de l'air ambiant au-dessus du canyon, stratification verticale de l'air dans le canyon qui peut atteindre la valeur de 6 °C et mécanismes d'advection au niveau des coins des bâtiments. Ainsi, les comportements aérauliques et les valeurs seuils obtenues en soufflerie et en simulation numérique ne sont pas systématiquement retrouvées. Dans le cas d'un écoulement parallèle à l'axe du canyon, les données dans le canyon donnent une direction équivalente. Dans les cas où l'écoulement fait un angle par rapport à l'axe du canyon, un vortex en spirale apparaît le long du canyon [Santamouris et al. 1999].

➤ Les échanges conductifs

Dans les solides et les fluides au repos, les transferts de chaleur s'effectuent par conduction. Ce phénomène correspond à la propagation de proche en proche des énergies moléculaires internes dans les milieux sans mouvement [Guyot 1996]. Les transferts de chaleur dans les sols sont gouvernés par quatre propriétés thermo-physiques : la conductivité thermique (λ), la masse volumique (ρ), la capacité calorifique (c_p) et la diffusivité thermique (a). On distingue la conduction en régime permanent, pour laquelle la température ne varie pas en fonction du temps et la conduction en régime transitoire dans laquelle l'inertie intervient.

Conduction de la chaleur à travers un solide Suivant la loi de Fourier, la densité de flux de chaleur est proportionnelle au gradient de température. Le coefficient de proportionnalité est appelé conductivité thermique (λ en W.m⁻¹.K⁻¹). Ainsi, on exprime le flux par la relation suivante :

$$\vec{\varphi}_{cond} = -\lambda \cdot \vec{grad}T$$

De plus, pour un solide, si nous considérons que la conductivité thermique est indépendante de la température, l'équation de l'énergie se réduit à :

$$\Delta T = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t}$$

Le laplacien de la température s'écrit en coordonnées cartésiennes :

$$\Delta T = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$$

Ces équations permettent d'évaluer le champ de température en tout point du solide ainsi que la densité de flux. La recherche de la solution pour chaque cas nécessite d'adjoindre des conditions aux limites et une condition initiale.

➤ **Les études menées dans le domaine de la microclimatologie urbaine**

✓ **Comportement thermique des rues**

La ville est souvent étudiée par l'analyse du comportement thermique des rues canyon [Nunez et al. 1977, Oke 1988, Hunter et al. 1992, Pignolet 1996, Mills et al. 1993, Sini et al. 1996, Arnfield et al. 1998]. La rue canyon est l'unité géométrique de base qui correspond à une rue de longueur infinie, ce qui permet de la traiter en 2D. La section de la ville est approchée par une simple répétition de ces unités. De nombreux modèles, avec des niveaux différents de complexité, ont été développés et partiellement validés. Ils possèdent l'avantage de pouvoir comparer de nombreuses configurations de rue et notamment de rapport d'aspect (H/W) mais demeurent caricaturaux vis à vis de la scène traitée (symétrie des bâtiments, géométrie en deux dimensions, longueur infinie des rues, façades planes). Les informations recueillies peuvent servir à mettre en relation certains paramètres mais ne peuvent qu'approcher la réalité physique de la ville, qui doit-on le rappeler n'est pas un enchaînement de rues parallèles, mais un environnement géométrique complexe, dans lequel les échanges convectifs notamment sont délicats à déterminer.

Des mesures ont été réalisées dans une rue piétonne à Athènes [Santamouris et al. 1999]. Les températures de surface maximales mesurées dans le canyon atteignent 53°C, alors que les minimales sont proches de 25°C. L'amplitude journalière varie entre 20 et 28°C en fonction du rayonnement solaire reçu. La différence maximale de température simultanée entre les deux surfaces opposées des façades des bâtiments est proche de 19°C. Dans la journée, les températures de surface maximales au niveau de la rue sont de 3 à 5°C supérieures à celles des façades. Cela est principalement dû au rayonnement solaire qui est plus élevé pour une surface horizontale en été et à l'absorptivité plus élevée des dalles utilisées pour les trottoirs que celle des façades en plâtre blanc. La stratification de la température d'air dans la rue n'est pas significative dans la journée. Les différences maximales des températures dépassent rarement 2 à 3°C et semblent faibles étant données les différences de températures de surface relevées précédemment. Les résultats obtenus indiquent clairement que la température de l'air de la rue est régie par des facteurs plus complexes que la température de surface, même si la géométrie locale du canyon est d'importance. Aucune distribution spécifique n'a été trouvée avec la Relations entre géométrie du canyon et microclimat

La relation entre l'aménagement et le climat aux latitudes moyennes et hautes est envisagée dans une étude bibliographique passant en revue les différents résultats obtenus dans les études

relatives aux rues canyons urbaines. Le point de départ de ce travail était de mettre en relation quatre objectifs distincts au niveau des rues visant à maximiser : les zones de protection (sécurité et confort des piétons), la dispersion des polluants, la chaleur urbaine la nuit et à la saison froide (en supposant que le stress thermique n'est pas un problème majeur dans ces climats) et enfin l'accès solaire. En s'appuyant sur des relations quantifiables, il apparaît qu'il est possible de trouver une variété de canyon qui soit compatible avec les objectifs conflictuels de l'aménagement des villes aux latitudes moyennes même s'il semble qu'il n'existe pas d'optimum géométrique universel. Les résultats de cette recherche exploratoire et les généralisations possibles pour des villes de latitudes moyennes sont les suivants : une limite inférieure du rapport H/W de 0.4 est fixée pour un besoin de protection au vent et pour retenir une partie raisonnable de l'îlot de chaleur. Une limite supérieure de 0.6 – 0.65 assure la dispersion des polluants et l'accès solaire dans la rue. Ainsi, pour que les quatre objectifs soient atteints, un domaine de compatibilité pour le rapport d'aspect H/W varie de 0.4 à 0.6. Il existe peu de relations disponibles qui utilisent la densité, néanmoins il semble que la rugosité puisse être maximisée pour une densité de 0.25 et l'absorption pour une densité de 0.33. Ainsi, une densité comprise entre 0.2 et 0.4 semble convenable. [Oke 1988]

Des travaux menés au laboratoire CERMA visent à analyser les composantes microclimatiques des espaces urbains. Les différents développements du logiciel SOLENE, que nous présentons dans la deuxième partie, permettent de définir des indicateurs utiles à l'élaboration de catégories typo-morphologiques liées aux apports solaires [Groleau et al. 1995]. Plus récemment, l'analyse de l'impact des formes urbaines sur les échanges radiatifs a permis de proposer une caractérisation spatiale et physique en milieu urbain [Tiraoui 2000].

✓ **Chaleur urbaine et géométrie**

Une ville compacte engendre un phénomène d'îlot de chaleur urbain, notamment la nuit. Le résultat pour plus de 30 villes de latitudes moyennes montre que l'intensité maximale de l'îlot de chaleur urbain (ΔT_{u-r}) est corrélée aux proportions des rues (rapport hauteur sur largeur) [Oke 1987] :

$$\Delta T_{u-r(\max)} = 7.54 + 3.97 \ln(H/W)$$

✓ **Validation de la partie aéraulique**

Les écoulement aérauliques issus du code N3S ont déjà été partiellement validés dans différentes configurations par comparaison avec des résultats expérimentaux issus de mesures sur site au niveau d'une place [Gadilhe et al. 1992] et aux abords d'un bâtiment [Raymond et al. 1999]. Une étude a effectué une mise en correspondance avec une étude numérique réalisée sur la rue Canyon [Sini et al. 1996]. La rue canyon est une approximation géométriquement simple d'un

schéma de rue en ville. En effet, les hypothèses retenues sont généralement l'aspect symétrique des rues et leur dimension infinie dans le sens de la longueur.

La géométrie est un élément important qui détermine les caractéristiques des flux d'air observés dans les rues canyons. Les trois régimes principaux de flux d'air sont référencés sous la terminologie suivante [Oke 1988] : « skimming » flow, « wake interference » flow et « isolated roughness » flow. Ces trois comportements aérauliques, fréquemment analysés dans la bibliographie, sont illustrés dans le chapitre sur la microclimatologie urbaine. La caractérisation du régime aéraulique apporte des éléments d'information sur la dispersion de polluants dans les rues. En effet, le rapport d'aspect et la localisation de la source de pollution influencent la stagnation ou l'évacuation de rejets automobiles. De même, le nombre de vortex et leur intensité influencent le rapport de concentration résiduelle en contrôlant le trajet et le temps de résidence des polluants. La transition entre les régimes peut être déterminée en fonction du rapport d'aspect (H/W) pour un rapport arbitraire longueur/hauteur, noté L/H , en général on suppose que la rue est infinie et qu'il est alors possible de la traiter en 2D. Le rapport seuil H/W peut être obtenu suite à des expérimentations répétées en soufflerie aéraulique ou suite à de nombreuses simulations numériques, dans lesquelles la géométrie est modifiée jusqu'à ce que le régime change. Dans le tableau suivant (Tableau 26), les différents régimes de vent sont associés aux valeurs inverses des rapports d'aspect (W/H) et au nombre de vortex présents dans la rue [Sini et al. 1996].

Régime « skimming flow »	Régime « wake interference flow »	Régime « isolated roughness flow »	Écoulement indépendant
W/H ----- 0.6 -----	1.5 ----- 5-----	8-9 -----	> 50 -----
Un vortex à contre sens	Un vortex principal	Deux vortex à contre sens	

Figure N°37: Comportements aérauliques dans une rue et rapports d'aspect [Sini et al. 1996]

✓ Comparaison des résultats numériques

Le modèle numérique utilisé dans le code de calcul CHENSI est basé sur l'hypothèse classique de basse atmosphère. Il permet entre autre d'étudier l'influence de la géométrie du canyon sur les flux et les échanges verticaux de polluants à l'intérieur de la rue et à l'interface avec la couche atmosphérique au-dessus des toits. La résolution des équations moyennées de Navier-Stokes et de transport de polluant passif fait appel à une méthode de calcul en volume fini. Le modèle retenu pour représenter les termes turbulents est du type $k-\varepsilon$ standard et l'approximation de Boussinesq est utilisée. Le code de calcul N3S à quant à lui déjà été présenté dans le chapitre précédent.

✓ Ecoulements aérauliques en condition isotherme

Les simulations présentées dans ce paragraphe sont effectuées en 2D et en condition isotherme. Une étude basée sur l'observation d'une rue canyon à Chicago par Paul et Sheih (1986) a montré qu'une vitesse de vent supérieure à 2 m/s est nécessaire pour maintenir un vortex unique pour une rapport d'aspect (H/W) de 1.5 [Baik et al. 1999]. Un vent modéré d'une valeur de 5 m/s à 100 m de hauteur respecte le critère précédent et est donc imposé en condition d'entrée. IL souffle suivant un angle de 90 ° par rapport à l'axe de la rue, de la gauche vers la droite. Les dimensions du domaine de calcul, les conditions initiales et limites pour les simulations sur le code N3S respectent celles décrites dans l'article [Sini et al. 1996]. Ainsi, la comparaison est également possible avec d'autres travaux [Baik et al. 1999] faisant eux aussi référence aux recherches de l'équipe nantaise.

Trois rapports d'aspects ($W/H = 1.27, 7.0$ et 9.86), représentant les trois régimes précédemment cités, sont ici illustrés et permettent une comparaison entre les deux codes (Figure 77 et Figure 78). Dans notre étude, le dégradé de couleur correspond à une variation de la vitesse dans le canyon, dans l'étude de référence le dégradé correspond à des valeurs de concentration de polluant. L'analyse des lignes de courant montre que les comportements aérauliques sont très proches dans les trois situations [Vinet et al. 2000b].

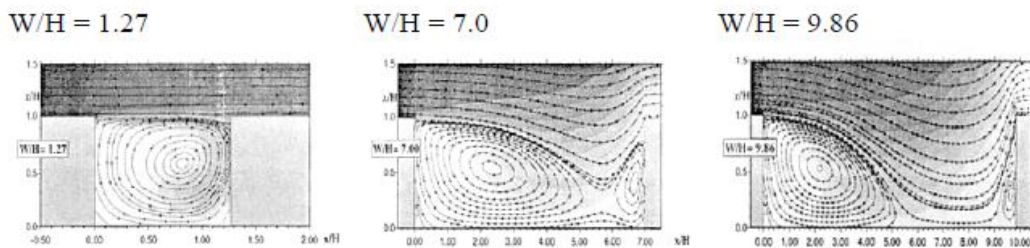


Figure N°38: Ecoulements aérauliques obtenus avec le code CHENSI [Sini *et al.* 1996]

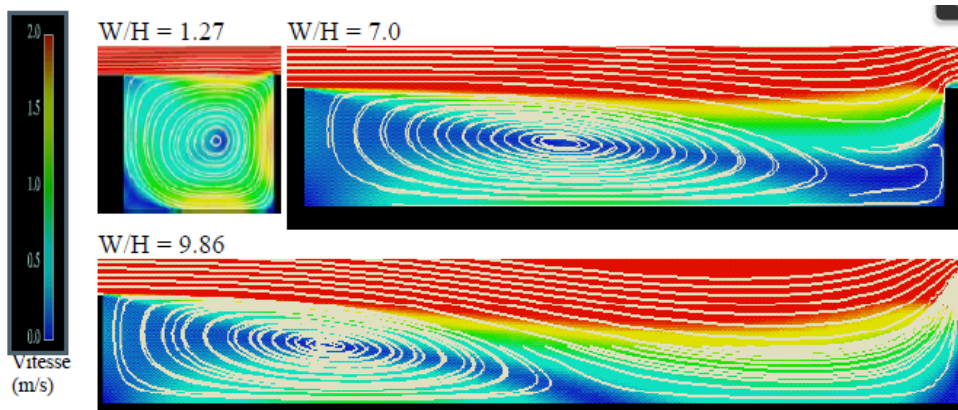


Figure N°39: Ecoulements aérauliques obtenus avec le code N3S [Vinet *et al.* 2000b]

✓ Ecoulements aérauliques en condition anisotherme

Les effets thermiques sur les écoulements aérauliques dans une rue canyon ont également été étudiés à l'aide des mêmes modèles numériques. Le transfert de chaleur entre l'air, les murs des bâtiments et le sol de la rue est représenté par une loi de paroi. Des simulations numériques ont été effectuées pour quatre situations thermiques et selon un rapport W/H de 0.89 [Sini et al. 1996].

Nous avons également repris les résultats pour $W/H = 1$ [Kim et al. 1999] qui confirme globalement les écoulements obtenues avec le code CHENSI. Les sollicitations thermiques consistent à imposer la température de surface de certaines parois à une valeur supérieure de 5 K ($\Delta\theta_w$) à celle de l'air en amont du canyon. Ainsi, nous distinguons les quatre cas suivants (Figure 79) :

- a – toutes les températures de surface sont égales à la température de l'air (cas isotherme)
- b - $\Delta\theta_w$ est appliqué au niveau du sol
- c - $\Delta\theta_w$ est appliqué sur la paroi verticale gauche
- d - $\Delta\theta_w$ est appliqué sur la paroi verticale droite

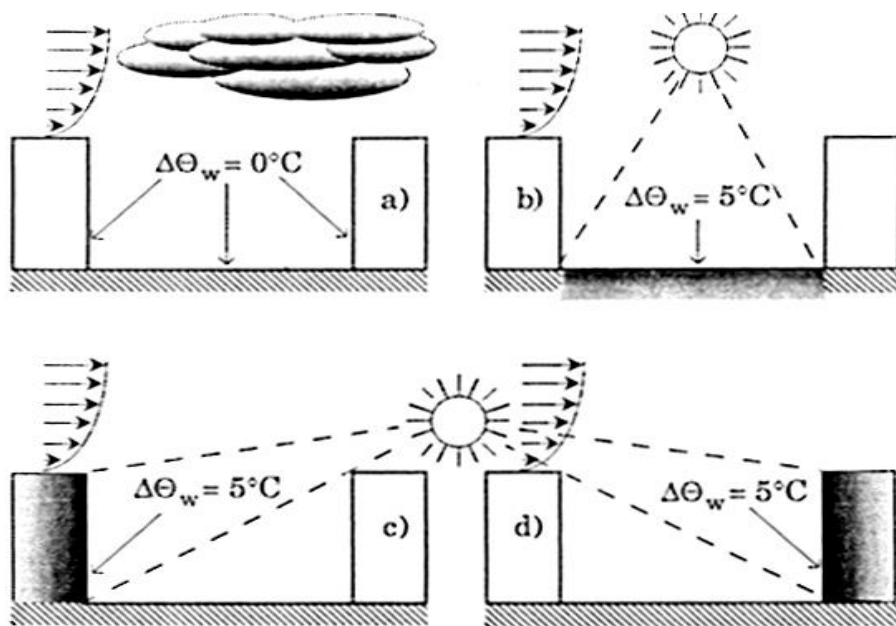


Figure N°40: Sollicitations thermiques dans le canyon [Sini *et al.* 1996]

Les quatre configurations précédentes réalisées avec le code N3S sont mises en relation avec les résultats obtenus avec le code CHENSI et avec les travaux de [Kim et al. 1996] dans les illustrations suivantes (Figure 80 à Figure 88). Dans les trois premiers cas (Figure 80 à Figure 85), un vortex classique pour ce type de rapport d'aspect apparaît. Le chauffage du sol et du mur sous le vent ne modifie quasiment par la structure de l'écoulement dans la rue (Figure 82 à Figure 85). Dans le cas du chauffage du mur au vent, deux vortex contra-rotatifs apparaissent pour ce rapport d'aspect (Figure 86, Figure 87 et Figure 88). De manière générale, le vortex dans la couche supérieure est mécaniquement induit par le vent ambiant, alors que le vortex dans la couche inférieure est induit par le chauffage du mur.

Effet de la végétation :

Les végétaux ont une aptitude à modifier le climat à travers le phénomène d'évapotranspiration définie comme étant la perte simultanée de l'eau par évaporation et

transpiration dans l'atmosphère. Un arbre peut être considéré comme un climatiseur évaporatif naturel épuisant jusqu'à 0.378 m³/ jour dans de bonnes conditions d'irrigation.

Ce taux d'évapotranspiration se traduit par un potentiel de refroidissement égal à 26.7 kWh/ jour. d'après AKBARI, H. TAHA, H. (1992) et SAXENA, M. (2002).

L'humidité relative dans les zones urbaines végétalisées peut ainsi être de 3% à 10% plus élevée que dans les zones dépourvues d'aménagement naturel. Les effets sont décuplés pour les étés chauds et secs si les zones racinaires sont bien irriguées, mais moins en hiver. BROPHY, V. & al., (2000). BOZONNET, E. & al., (2006) affirme de ce fait que l'évapotranspiration de la végétation rafraichissant l'air ambiant peut favoriser les dispositifs de ventilation naturelle en été.

SANTAMOURIS, M. (2005) rapporte que plusieurs campagnes de mesure ont démontré l'effet des vastes zones urbaines végétalisées comme les parcs sur la température d'air du fait de ce processus d'évapotranspiration. Sur la base du travail de BOUYER, J. (2009) les résultats des travaux suivants sont variés mais montrent tous une tendance de réduction de température d'air, pour laquelle NOWAK, (1995) propose des valeurs potentielles de réduction relative à la mi-journée:

-DUCKWORTH et SANDBERG ont indiqué que les températures à San Francisco, dans le parc fortement végétalisé de Golden Gate sont en moyenne 8 ° C plus froides qu'à proximité de zones moins végétalisées;

-OKE a mesuré à Montréal, des différences négatives de 2.5 ° C dans les parcs urbains par rapport aux zones construites environnantes;

-TAHA a indiqué que l'évapotranspiration pouvait créer des effets "d'oasisé", soit des zones de 2.8 ° C plus froides que leur environnement;

SAITO a étudié l'effet des espaces verts dans la ville de Kumamoto au Japon;

on observe des différences maximales de 3° C constatés entre le coeur de ce type de zones et la proximité;

-JAUREGUI a indiqué que le parc dans la ville de Mexico était 2 à 3 ° C en dessous de la température urbaine.

-A Tokyo, TATSU PUIS GAO ont observé des différences de 1.6 ° C dans les zones très végétalisées.

-SANTAMOURIS a montré que l'évapotranspiration des plantes dans le Parc National d'Athènes crée des "oasis" de 1 à 5 ° C au cours de la nuit.

Indicateurs liés à la réduction de la consommation énergétique à l'échelle urbaine

Les îlots de chaleur urbains peuvent avoir des impacts néfastes sur l'environnement et la santé. Sur l'environnement, l'îlot de chaleur contribue à la détérioration de la qualité de l'air extérieur et intérieur et à la hausse de la demande en énergie et en eau potable. Sur la santé l'îlot de

chaleur peut provoquer des inconforts, d'après BESANCENOT, J. (2002) & LUBER, G. MCGEEHIN, M. (2008.)

L'hétérogénéité des surfaces urbaines ainsi que la grande variabilité de leurs répartitions géométriques rendent la production d'évaluateurs simplifiés ou d'indicateur morpho thermique représentatifs des échanges radiatifs à l'échelle urbaine, très difficiles. La connaissance de la morphologie urbaine par sa caractérisation à travers des indicateurs simplifiés, universelle et transposables peut nous suffire à nous informer sur les paramètres microclimatiques.

Sur la base des travaux d'ADOLPHE, L. (2001), nous avons présenté les indicateurs morphologiques relatifs à la consommation de l'énergie à l'échelle urbaine. Ces indicateurs peuvent se confondre avec ceux utilisés au premier chapitre pour caractériser la morphologie urbaine.

Cette redondance d'indicateurs suggère qu'un seul indicateur peut caractériser différents phénomènes environnementaux, prenant l'exemple de la porosité, cet indicateur indique le rapport des vides et des pleins en 3D, caractérise en même temps un indicateur climatique puisqu' il conditionne sensiblement la vitesse du vent dans la canopée urbaine, la porosité est un indicateur morpho climatique.

Deux indicateurs liés à la consommation énergétique ont été définis par ADOLPHE, L. Ces indicateurs sont l'occlusivité et l'admittance solaire.

Mesures de l'îlot de chaleur urbain de surface

Les mesures par satellites ou par instruments de mesure aéroportés permettent d'analyser l'îlot de chaleur de surface. Beaucoup d'études sont faites par ces moyens, comme par exemple Hartz et al. (2006) à Phoenix ou en Asie pour les principales capitales de la région par Tran et al. (2006) comme le montre la figure 1.8. Sur cette figure, la capitale et les agglomérations périphériques se dénotent par leur température plus chaude en rouge le jour et la nuit. À Pyongyang, on remarque que la ville est traversée par un fleuve qui a la même température que la ville la nuit, ce qui peut perturber l'analyse.

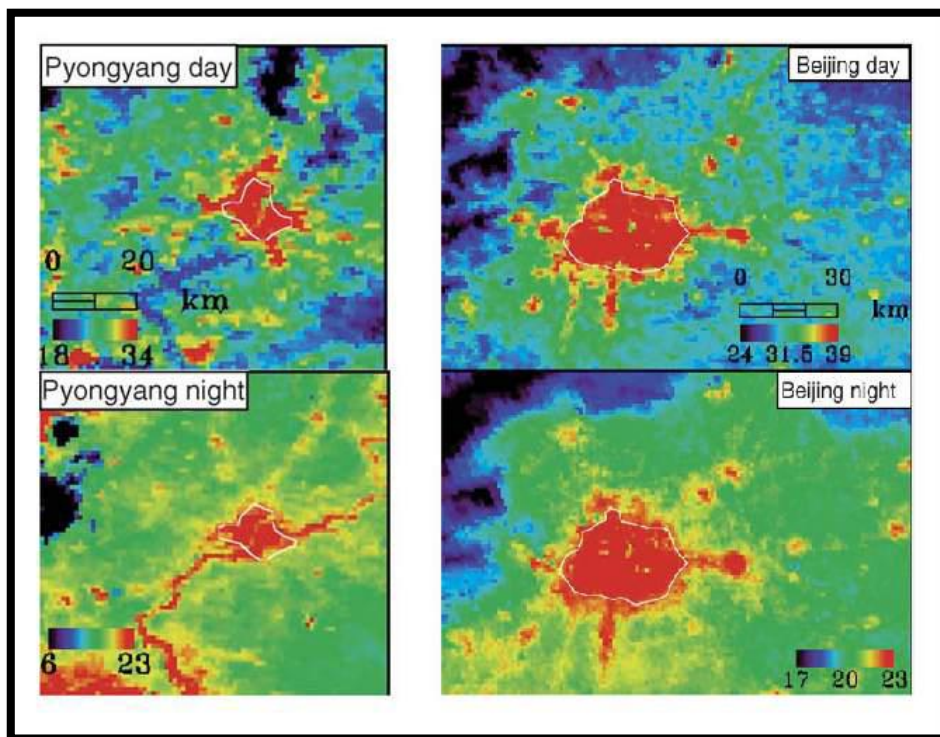


Figure N°41: Îlot de chaleur de surface à Pyongyang et Beijing. Source : Tran et al. (2006)

Les instruments embarqués mesurent le rayonnement infra-rouge et de courte longueur d'onde émis par la surface urbaine. Cette méthode de mesure a l'avantage d'avoir une représentation spatiale complète de l'ICU. Cependant, pour remonter à la température de surface de la ville, la connaissance de l'émissivité de tous les matériaux urbains et des végétaux est nécessaire, ce qui n'est pas aisé, surtout à haute résolution. De plus, il est impossible de remonter à la température des surfaces recouvertes. Il est aussi compliqué de remonter à la température de l'air à partir des mesures de température de surface, même si de nombreuses études essaient d'aller dans ce sens avec le plus de précision possible (Eliasson 1992 ; Golden et al. 2006 ; Fung et al. 2009).

Enfin, obtenir une forte résolution temporelle ou de longues périodes de mesures peut s'avérer très onéreux avec ces moyens de mesure.

10, Mesures mobiles

Les mesures mobiles se sont développées en même temps que les réseaux de mesures fixes. Chandler (1965) effectuait déjà dans Londres des circuits dans une voiture instrumentée. La voiture reste le moyen de transport le plus utilisé (Unger et al. (2001) à Szeged en Hongrie, Hart et al. (2009) à Portland, Oregon, Leconte et al. (2015) à Nancy). Dans ce cas, les mesures thermiques doivent être éloignées des sources de chaleur du véhicule. Mais récemment des mesures à vélo ont aussi été mises en place (Brandsma et al. 2012; Heusinkveld et al. 2014) ainsi que des trajets piétons effectués en déplaçant une station de mesure (Schwarz et al. 2012) ou en plaçant des capteurs de température et d'humidité sur un sac à dos (Vant-Hull et al. 2014).

L'avantage des mesures mobiles est qu'elles permettent d'obtenir une forte résolution spatiale (quelques dizaines de mètres) et d'avoir accès à la quasi-totalité des rues. Néanmoins, comme elles

nécessitent des ressources humaines importantes, il est difficile de les effectuer sur du long terme à haute fréquence. De plus, elles s'effectuent le plus souvent au-dessus d'une surface imperméable (route ou trottoir). Ainsi, les mesures peuvent ne pas être représentatives du lieu dans lequel elles ont été effectuées. Par ailleurs, sur un parcours, les variables climatiques ne sont pas mesurées de manière synchrone. Elles nécessitent donc d'être ajustées à l'aide de station de référence enregistrant la variation synoptique des paramètres pour corriger le signal entre le début et la fin du trajet

Chapitre 04 :
Cartographier
l'îlot de chaleur
urbain

1/ ETUDE DE L'ILOT DE CHALEUR URBAIN DE LA VILLE DE MESSAAD PAR LA METHODE DE MESURES DE SURFACE MOBILES:

Ce chapitre a pour objet la spatialisation de l'ICU à partir du réseau de stations météorologiques installé dans l'agglomération Massaad. Ces 13 stations sont dans un premiers temps contrôlées et complétées de lacunes éventuelles sur l'ensemble des 11 jours de l'année 2021. Puis, une classification statistique des stations est réalisée à partir des températures minimales, afin d'évaluer la relation entre la température observée par la station et l'espace géographique de celle-ci. Ces étapes préliminaires permettent de distinguer les sites particuliers du réseau de mesures. La méthodologie développée est appliquée dans ce chapitre.

La première étape consiste à analyser les variables d'occupation du sol identifiées avec l'ICU observé en 2021. Plusieurs sélections de variables d'occupation du sol sont réalisées selon plusieurs méthodes de sélections (supervisées et exhaustives) afin de comparer les modèles retenus. La méthode est appliquée et plusieurs cartes d'ICU sont produites pour plusieurs intervalles de temps. Les structures spatiales de l'ICU obtenu sont analysées, mais également les biais et les limites du modèles. La question de la variabilité saisonnière de l'ICU est abordée à l'issue de ce chapitre.

1. localisation des réseau de stations météorologiques à Massaad

Relation entre l'îlot de chaleur urbain et climatologie La spatialisation de l'ICU est réalisée selon la méthode multicritère par régression linéaire décrite précédemment. Les facteurs d'occupation du sol environnant les stations météorologiques sont analysés avec les gradients de température résultants de l'ICU. Dans un premier temps, les variables les plus pertinentes sont comparées et retenues. Puis dans un second temps, la construction des modèles est réalisée à partir des précédentes analyses. Enfin la spatialisation est effectuée ainsi que l'étude des résidus et des biais du modèle appliqué. L'analyse spatiale de l'ICU met en évidence l'organisation en cercles concentriques des écarts de température relevés. Le facteur distance au centre-ville décrit sur l'ensemble du réseau de mesure de la variabilité de la température selon une fonction logarithmique. Ce facteur décrit très schématiquement la structure de l'urbanisation à Massaad, dont la densité des bâtiments et de surfaces imperméabilisées est plus forte au centre et décroît vers la périphérie (inversement pour la végétation. Ce facteur décrit la structure spatiale de l'urbanisation et indirectement le gradient de température qui en résulte : l'ICU.

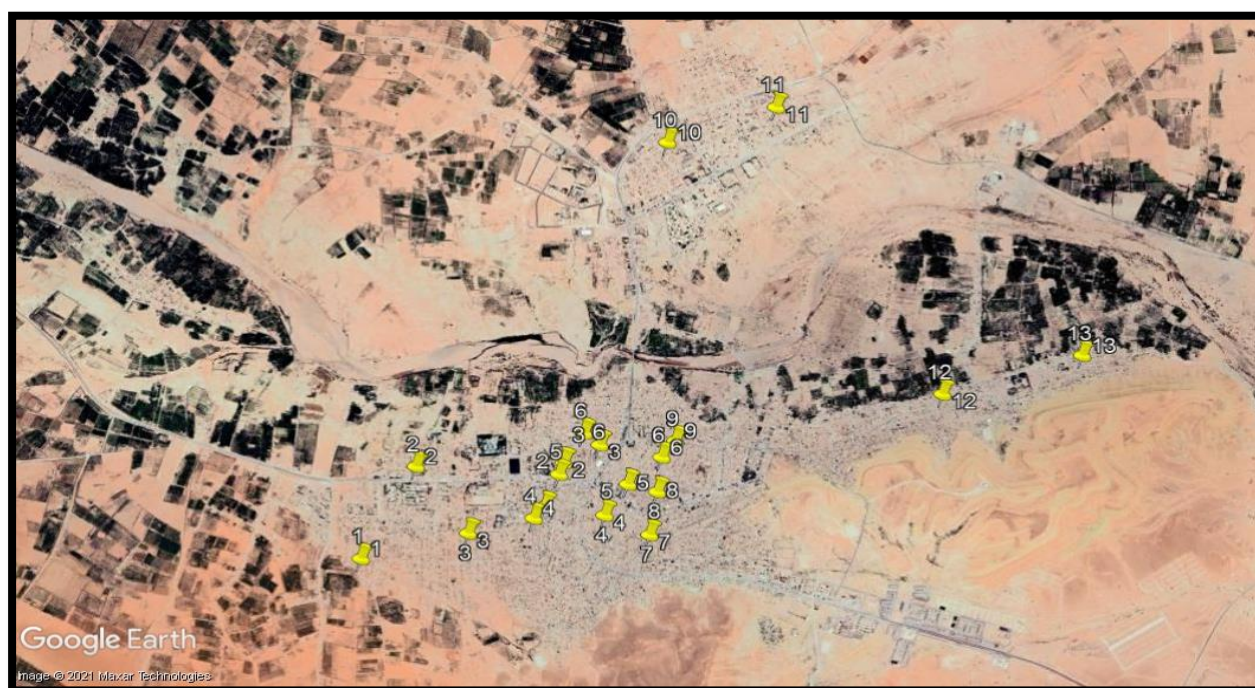


Figure N°42: réseau de stations météorologiques à Massaad

Le premier jour le 02 avril 2021

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
S1	15	17	20	22	26	25	21	17	14
S2	17	19	21	24	28	28	23	20	19
S3	17	19	21	24	28	27	24	19	20
S4	17	20	23	25	27	26	21	16	19
S5	17	20	23	25	27	26	20	17	19
S6	18	20	24	26	28	27	22	18	20
S7	19	21	25	27	29	28	23	19	20
S8	19	21	25	26	29	27	22	18	20
S9	19	21	25	26	29	28	22	19	19
S10	18	19	21	23	28	27	23	20	19
S11	16	17	20	22	26	25	20	19	17
S12	18	20	23	25	29	27	24	19	18
S13	17	18	21	23	27	26	22	18	17

Horaire horaire pour l'enregistrement de la température à chaque station(°C)

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
S1	19	23	28	36	40	35	23	20	24
S2	18	22	26	34	37	33	21	19	22
S3	18	22	27	33	37	33	22	19	21
S4	17	21	24	33	37	34	22	18	21
S5	18	21	25	34	38	33	21	17	22
S6	17	21	26	34	38	33	21	17	21
S7	17	20	24	33	36	32	20	18	20
S8	17	20	25	33	37	33	21	17	20
S9	17	20	24	33	36	34	21	18	22
S10	19	23	28	36	40	35	23	20	24
S11	18	22	26	34	37	33	21	20	22
S12	19	21	27	35	38	34	22	19	22
S13	19	23	28	36	40	35	23	20	24

Horaire horaire pour l'enregistrement de la vitesse du vent à chaque station(km/h)

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
S1	29	24	20	18	16	19	29	30	25
S2	27	21	19	16	14	15	26	27	23
S3	27	23	18	16	14	15	26	27	24
S4	25	22	18	16	13	14	25	25	22
S5	25	22	17	15	14	15	26	26	21
S6	26	22	17	15	13	15	26	26	22
S7	25	21	18	16	14	16	25	25	21
S8	25	22	17	15	14	16	26	26	22
S9	24	22	18	16	14	15	26	25	21
S10	29	24	20	18	16	19	29	30	25
S11	27	22	18	16	14	17	27	28	23
S12	27	23	19	16	14	18	26	27	22
S13	29	24	20	18	16	19	29	30	25

Programme horaire pour l'enregistrement de l'humidité à chaque station(%)

Le deuxième jour le 05 avril 2021

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
S1	10	14	16	18	20	18	16	09	11
S2	11	15	17	19	21	19	17	11	12
S3	11	15	18	19	21	20	18	10	12
S4	12	16	19	20	22	21	19	13	15
S5	13	16	19	20	21	20	19	12	15
S6	12	16	19	20	22	20	18	12	16
S7	12	15	18	19	22	20	18	13	16
S8	12	16	19	19	21	21	18	13	17
S9	13	15	19	20	22	21	19	12	17
S10	12	15	18	19	21	19	18	11	12
S11	11	14	17	18	19	18	17	10	11
S12	12	15	17	19	20	19	18	12	11
S13	11	15	17	18	19	19	17	10	11

Horaire horaire pour l'enregistrement de la température à chaque station(°C)

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
S1	17	21	17	19	21	18	17	16	21
S2	16	20	15	18	21	17	16	15	20
S3	16	19	15	18	20	16	15	15	19
S4	15	18	14	16	16	15	15	14	19
S5	16	19	14	17	17	14	15	14	18
S6	15	19	15	17	17	15	15	15	19
S7	15	19	15	16	18	15	15	15	19
S8	14	19	15	16	17	15	15	15	19
S9	14	19	15	15	17	15	15	15	18
S10	15	19	15	18	20	15	15	14	20
S11	16	21	17	20	21	17	17	16	21
S12	15	20	16	20	20	15	15	15	19
S13	17	21	17	19	21	18	17	17	20

Horaire horaire pour l'enregistrement de la vitesse du vent à chaque station(km/h)

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
S1	66	46	35	26	23	26	34	67	47
S2	64	45	34	25	22	25	32	65	45
S3	64	45	34	25	21	25	32	65	45
S4	63	45	31	24	20	22	31	63	44
S5	63	44	32	25	20	23	31	63	43
S6	63	44	32	24	20	23	30	63	44
S7	62	45	31	25	19	22	32	64	45
S8	62	44	32	25	20	22	32	64	45
S9	62	44	32	25	20	22	32	64	45
S10	64	45	33	25	21	24	31	64	45
S11	66	46	35	26	23	26	34	66	46
S12	64	45	34	24	21	24	32	64	45
S13	66	46	35	25	22	26	34	66	46

Programme horaire pour l'enregistrement de l'humidité à chaque station(%)

Le troisième jour le 09 avril 2021

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
S1	12	13	16	18	19	18	16	13	11
S2	13	14	17	19	21	19	17	14	14
S3	13	15	18	20	21	18	18	14	15
S4	15	15	17	18	21	20	19	14	14
S5	14	15	18	19	21	20	18	15	15
S6	14	15	18	20	21	20	18	14	15
S7	14	15	19	20	21	20	18	14	15
S8	14	14	19	20	21	20	17	15	15
S9	14	14	18	19	20	19	18	14	15
S10	14	15	17	20	20	19	18	14	15
S11	13	14	16	18	19	18	17	13	13
S12	14	15	18	19	20	20	18	15	14
S13	12	13	16	18	19	18	16	13	12

Horaire horaire pour l'enregistrement de la température à chaque station(°C)

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
S1	21	27	24	22	22	20	19	21	28
S2	20	26	23	20	21	19	18	20	27
S3	20	26	22	20	20	19	18	19	27
S4	19	26	21	20	20	19	17	18	26
S5	19	26	22	20	20	18	17	19	25
S6	19	26	22	20	20	19	17	19	26
S7	18	25	21	19	19	19	17	20	26
S8	18	25	21	20	19	18	18	19	26
S9	18	25	21	20	20	18	18	19	26
S10	20	26	22	20	20	19	18	19	26
S11	21	27	24	22	22	20	19	21	28
S12	19	25	22	20	20	19	18	19	27
S13	21	27	24	22	22	20	19	21	28

Horaire horaire pour l'enregistrement de la vitesse du vent à chaque station(km/h)

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
S1	55	48	39	34	29	32	35	55	48
S2	54	47	38	33	28	31	34	53	46
S3	54	46	37	33	28	30	34	53	46
S4	52	45	37	32	27	28	34	53	46
S5	52	44	37	31	28	29	33	52	45
S6	52	45	37	32	28	29	33	52	45
S7	53	46	37	33	28	29	33	52	45
S8	53	46	38	33	28	29	34	51	46
S9	53	45	38	32	28	28	34	52	46
S10	54	46	38	32	28	29	34	53	46
S11	55	48	39	34	29	32	35	55	48
S12	53	46	38	33	27	31	34	53	46
S13	55	48	39	34	29	32	35	55	48

Programme horaire pour l'enregistrement de l'humidité à chaque station(%)

Quatrième jour, 13 avril 2021

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
S1	13	17	20	22	21	21	19	13	16
S2	15	19	21	22	22	23	21	15	19
S3	14	17	20	23	23	22	20	14	18
S4	15	19	21	22	22	23	21	15	19
S5	15	19	21	22	22	23	21	15	19
S6	15	19	21	22	22	23	21	15	19
S7	15	19	21	22	22	23	21	15	19
S8	15	19	21	22	22	23	21	15	19
S9	15	19	21	22	22	23	21	15	19
S10	15	19	21	22	22	23	21	15	19
S11	13	17	20	22	21	21	19	13	16
S12	15	19	21	22	22	23	21	15	19
S13	13	17	20	22	21	21	19	13	16

Horaire horaire pour l'enregistrement de la température à chaque station(°C)

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
S1	9	13	13	13	11	14	10	9	13
S2	8	12	13	12	11	13	9	8	11
S3	9	13	12	12	10	12	9	9	12
S4	7	11	11	11	9	11	7	7	11
S5	7	11	11	11	9	11	7	7	11
S6	7	11	11	11	9	11	7	7	11
S7	7	11	11	11	9	11	7	7	11
S8	7	11	11	11	9	11	7	7	11
S9	7	11	11	11	9	11	7	7	11
S10	8	12	13	12	11	13	9	8	11
S11	9	13	13	13	11	14	10	9	13
S12	8	12	13	12	11	13	9	8	11
S13	9	13	13	13	11	14	10	9	13

Horaire pour l'enregistrement de la vitesse du vent à chaque station(km/h)

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
S1	58	41	38	34	30	30	34	58	40
S2	57	40	39	33	29	29	33	57	39
S3	57	40	39	33	29	29	33	57	39
S4	56	39	36	33	28	28	32	56	39
S5	56	39	36	33	28	28	32	56	39
S6	56	39	36	33	28	28	32	56	39
S7	56	39	36	33	28	28	32	56	39
S8	56	39	36	33	28	28	32	56	39
S9	56	39	36	33	28	28	32	56	39
S10	57	40	39	33	29	29	33	57	39
S11	58	41	38	34	30	30	34	58	40
S12	57	40	39	33	29	29	33	57	39
S13	58	41	38	34	30	30	34	58	40

horaire pour l'enregistrement de l'humidité à chaque station(%)

Cinquième jour le 17 avril 2021

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
S1	10	12	15	16	18	17	13	10	11
S2	10	13	16	17	19	18	14	10	12
S3	10	13	16	17	19	18	14	10	12
S4	10	14	17	18	19	18	15	10	14
S5	10	14	17	18	20	18	15	10	14
S6	10	14	17	18	20	18	15	10	14
S7	10	14	17	19	20	19	15	10	14
S8	10	14	18	18	20	18	14	11	14
S9	10	14	17	18	20	18	15	10	13
S10	10	13	16	17	19	18	14	10	12
S11	10	12	15	16	19	17	13	10	11
S12	10	13	16	17	19	18	14	10	12
S13	10	12	15	16	19	17	13	10	11

Horaire pour l'enregistrement de la température à chaque station(°C)

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
S1	13	17	19	18	20	17	16	13	17
S2	12	16	18	17	19	16	15	12	16
S3	12	16	18	17	19	16	15	12	16
S4	11	15	17	17	18	15	14	11	15
S5	11	15	17	17	18	15	14	11	15
S6	11	15	17	17	18	15	14	11	15
S7	11	15	17	17	18	15	14	11	15
S8	11	15	17	17	18	15	14	11	15
S9	11	15	17	17	18	15	14	11	15
S10	12	16	18	17	19	16	15	12	16
S11	13	17	19	18	20	17	16	13	17
S12	12	16	18	17	19	16	15	12	16
S13	13	17	19	18	20	17	16	13	17

Horaire pour l'enregistrement du vent à chaque station(km/h)

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
S1	63	33	22	20	19	19	24	63	33
S2	62	32	20	19	17	18	23	61	31
S3	62	32	20	19	17	18	23	61	31
S4	61	31	20	18	16	17	22	61	31
S5	61	31	20	18	16	17	22	61	31
S6	61	31	20	18	16	17	22	61	31
S7	61	31	20	18	16	17	22	61	31
S8	61	31	20	18	16	17	22	61	31
S9	61	31	20	18	16	17	22	61	31
S10	62	32	20	19	17	18	23	61	31
S11	63	33	22	20	19	19	24	63	33
S12	62	32	20	19	17	18	23	61	31
S13	63	33	22	20	19	19	24	63	33

horaire pour l'enregistrement de l'humidité à chaque station(%)

Jour 6, 21 avril 2021

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
S1	16	20	23	25	23	22	20	16	19
S2	17	21	24	26	25	25	22	17	21
S3	17	21	24	26	25	25	22	17	21
S4	18	22	25	27	26	25	22	18	22
S5	18	22	25	27	26	25	22	18	22
S6	18	22	25	27	26	25	22	18	22
S7	18	22	25	27	26	25	22	18	22
S8	18	22	25	27	26	25	22	18	22
S9	18	22	25	27	26	25	22	18	22
S10	17	21	24	26	25	25	22	17	21
S11	16	20	23	25	23	22	20	16	19
S12	17	21	24	26	25	25	22	17	21
S13	16	20	23	25	23	22	20	16	19

Horaire pour l'enregistrement de la température à chaque station(°C)

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
S1	11	13	13	16	19	15	19	11	13
S2	10	12	11	13	17	13	18	10	12
S3	10	12	11	13	17	13	18	10	12
S4	9	11	11	13	17	13	17	9	11
S5	9	11	11	13	17	13	17	9	11
S6	9	11	11	13	17	13	17	9	11
S7	9	11	11	13	17	13	17	9	11
S8	9	11	11	13	17	13	17	9	11
S9	9	11	11	13	17	13	17	9	11
S10	10	12	11	13	17	13	18	10	12
S11	11	13	13	16	18	15	19	11	13
S12	10	12	11	13	17	13	18	10	12
S13	11	13	13	16	18	15	19	11	13

Horaire pour l'enregistrement de la vitesse du vent à chaque station(km/h)

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
S1	54	31	22	19	19	18	22	54	31
S2	52	30	21	17	18	17	21	52	29
S3	52	30	21	17	18	17	21	52	29
S4	52	29	20	17	17	16	20	52	29
S5	52	29	20	17	17	16	20	52	29
S6	52	29	20	17	17	16	20	52	29
S7	52	29	20	17	17	16	20	52	29
S8	52	29	20	17	17	16	20	52	29
S9	52	29	20	17	17	16	20	52	29
S10	52	30	21	17	18	17	21	52	29
S11	54	31	22	19	19	18	22	54	31
S12	52	30	21	17	18	17	21	52	29
S13	54	31	22	19	19	18	22	54	31

horaire pour l'enregistrement de l'humidité à chaque station(%)

Septième jour, 25 avril 2021

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
S1	14	17	19	21	22	22	19	14	16
S2	15	19	21	22	24	24	20	15	18
S3	15	19	21	22	24	24	20	15	18
S4	16	19	21	23	25	24	21	16	19
S5	16	19	21	23	25	24	21	16	19
S6	16	19	21	23	25	24	21	16	19
S7	16	19	21	23	25	24	21	16	19
S8	16	19	21	23	25	24	21	16	19
S9	16	19	21	23	25	24	21	16	19
S10	15	19	21	22	24	24	20	15	18
S11	14	17	19	21	22	22	19	14	16
S12	15	19	21	22	24	24	20	15	18
S13	14	17	19	21	22	22	19	14	16

Horaire pour l'enregistrement de la température à chaque station(°C)

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
S1	19	22	22	21	20	18	18	19	23
S2	18	20	21	20	19	17	17	18	21
S3	18	20	21	20	19	17	17	18	21
S4	17	20	20	19	18	16	16	17	20
S5	17	20	20	19	18	16	16	17	20
S6	17	20	20	19	18	16	16	17	20
S7	17	20	20	19	18	16	16	17	20
S8	17	20	20	19	18	16	16	17	20
S9	17	20	20	19	18	16	16	17	20
S10	18	20	21	20	19	17	17	18	21
S11	19	22	22	21	20	18	18	19	23
S12	18	20	21	20	19	17	17	18	21
S13	19	22	22	21	20	18	18	19	23

Horaire horaire pour l'enregistrement de la vitesse du vent à chaque station(km/h)

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
S1	53	40	31	24	21	23	27	53	41
S2	51	39	30	23	20	22	26	51	39
S3	51	39	30	23	20	22	26	51	39
S4	50	38	28	22	19	21	25	50	38
S5	50	38	28	22	19	21	25	50	38
S6	50	38	28	22	19	21	25	50	38
S7	50	38	28	22	19	21	25	50	38
S8	50	38	28	22	19	21	25	50	38
S9	50	38	28	22	19	21	25	50	38
S10	51	39	30	23	20	22	26	51	39
S11	53	40	31	24	21	23	27	53	41
S12	51	39	30	23	20	22	26	51	39
S13	53	40	31	24	21	23	27	53	41

horaire pour l'enregistrement de l'humidité à chaque station(%)

Jour 8, 29 avril 2021

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
S1	19	22	24	25	23	19	16	19	21
S2	20	23	25	27	24	20	17	20	23
S3	20	23	25	27	24	20	17	20	23
S4	21	24	26	27	25	21	18	21	24
S5	21	24	26	27	25	21	18	21	24
S6	21	24	26	27	25	21	18	21	24
S7	21	24	26	27	25	21	18	21	24
S8	21	24	26	27	25	21	18	21	24
S9	21	24	26	27	25	21	18	21	24
S10	20	23	25	27	24	20	17	20	23
S11	19	22	24	25	23	19	16	19	21
S12	20	23	25	27	24	20	17	20	23
S13	19	22	24	25	23	19	16	19	21

Horaire pour l'enregistrement de la température à chaque station(°C)

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
S1	21	22	22	20	20	17	17	21	23
S2	20	21	22	19	18	16	16	20	21
S3	20	21	22	19	18	16	16	20	21
S4	19	20	20	18	17	15	15	19	20
S5	19	20	20	18	17	15	15	19	20
S6	19	20	20	18	17	15	15	19	20
S7	19	20	20	18	17	15	15	19	20
S8	19	20	20	18	17	15	15	19	20
S9	19	20	20	18	17	15	15	19	20
S10	20	21	22	19	18	16	16	20	21
S11	21	22	22	20	20	17	17	21	23
S12	20	21	22	19	18	16	16	20	21
S13	21	22	22	20	20	17	17	21	23

Horaire pour l'enregistrement de la vitesse du vent à chaque station(km/h)

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
S1	47	36	25	19	21	23	30	48	36
S2	46	35	23	18	20	22	29	46	35
S3	46	35	23	18	20	22	29	46	35
S4	45	34	23	18	19	21	28	45	34
S5	45	34	23	18	19	21	28	45	34
S6	45	34	23	18	19	21	28	45	34
S7	45	34	23	18	19	21	28	45	34
S8	45	34	23	18	19	21	28	45	34
S9	45	34	23	18	19	21	28	45	34
S10	46	35	23	18	20	22	29	46	35
S11	47	36	25	19	21	23	30	48	36
S12	46	35	23	18	20	22	29	46	35
S13	47	36	25	19	21	23	30	48	36

horaire pour l'enregistrement de l'humidité à chaque station(%)

Le neuvième jour, le 11 mai 2021

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
S1	15	18	20	22	23	21	19	15	18

S2	16	19	21	23	24	22	20	16	19
S3	16	19	21	23	24	22	20	16	19
S4	17	20	22	24	25	23	21	17	20
S5	17	20	22	24	25	23	21	17	20
S6	17	20	22	24	25	23	21	17	20
S7	17	20	22	24	25	23	21	17	20
S8	17	20	22	24	25	23	21	17	20
S9	17	20	22	24	25	23	21	17	20
S10	16	19	21	23	24	22	20	16	19
S11	15	18	20	22	23	21	19	15	18
S12	16	19	21	23	24	22	20	16	19
S13	15	18	20	22	23	21	19	15	18

Horaire pour l'enregistrement de la température à chaque station(°C)

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
S1	18	19	19	17	15	16	16	19	20
S2	17	18	18	16	14	15	15	17	18
S3	17	18	18	16	14	15	15	17	18
S4	16	17	17	15	13	14	13	16	17
S5	16	17	17	15	13	14	13	16	17
S6	16	17	17	15	13	14	13	16	17
S7	16	17	17	15	13	14	13	16	17
S8	16	17	17	15	13	14	13	16	17
S9	16	17	17	15	13	14	13	16	17
S10	17	18	18	16	14	15	15	17	18
S11	18	19	19	17	15	16	16	19	20
S12	17	18	18	16	14	15	15	17	18
S13	18	19	19	17	15	16	16	19	20

Horaire pour l'enregistrement de la vitesse du vent à chaque station(km/h)

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
S1	48	29	21	20	20	22	26	48	30
S2	47	28	19	18	18	21	25	46	28
S3	47	28	19	18	18	21	25	46	28
S4	46	27	19	18	17	20	24	46	27
S5	46	27	19	18	17	20	24	46	27
S6	46	27	19	18	17	20	24	46	27
S7	46	27	19	18	17	20	24	46	27
S8	46	27	19	18	17	20	24	46	27
S9	46	27	19	18	17	20	24	46	27
S10	47	28	19	18	18	21	25	46	28
S11	48	29	21	20	20	22	26	48	30
S12	47	28	19	18	18	21	25	46	28
S13	48	29	21	20	20	22	26	48	30

horaire pour l'enregistrement de l'humidité à chaque station(%)

Jour 10, 15 mai 2021

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
S1	17	23	26	28	29	29	26	17	21
S2	18	24	27	29	30	30	27	18	23
S3	18	24	27	29	30	30	27	18	23
S4	19	24	27	29	31	31	28	19	24
S5	19	24	27	29	31	31	28	19	24

S6	19	24	27	29	31	31	28	19	24
S7	19	24	27	29	31	31	28	19	24
S8	19	24	27	29	31	31	28	19	24
S9	19	24	27	29	31	31	28	19	24
S10	18	24	27	29	30	30	27	18	23
S11	17	23	26	28	29	29	26	17	21
S12	18	24	27	29	30	30	27	18	23
S13	17	23	26	28	29	29	26	17	21

Horaire pour l'enregistrement de la température à chaque station(°C)

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
S1	9	6	9	11	11	11	12	10	6
S2	8	5	8	10	10	10	10	8	5
S3	8	5	8	10	10	10	10	8	5
S4	7	4	7	9	9	9	9	7	4
S5	7	4	7	9	9	9	9	7	4
S6	7	4	7	9	9	9	9	7	4
S7	7	4	7	9	9	9	9	7	4
S8	7	4	7	9	9	9	9	7	4
S9	7	4	7	9	9	9	9	7	4
S10	8	5	8	10	10	10	10	8	5
S11	9	6	9	11	11	11	12	10	6
S12	8	5	8	10	10	10	10	8	5
S13	9	6	9	11	11	11	12	10	6

Horaire pour l'enregistrement de la vitesse du vent à chaque station(km/h)

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
S1	51	25	15	14	14	16	19	51	26
S2	50	24	14	13	13	14	18	50	24
S3	50	24	14	13	13	14	18	50	24
S4	49	23	13	12	12	13	17	49	23
S5	49	23	13	12	12	13	17	49	23
S6	49	23	13	12	12	13	17	49	23
S7	49	23	13	12	12	13	17	49	23
S8	49	23	13	12	12	13	17	49	23
S9	49	23	13	12	12	13	17	49	23
S10	50	24	14	13	13	14	18	50	24
S11	51	25	15	14	14	16	19	51	26
S12	50	24	14	13	13	14	18	50	24
S13	51	25	15	14	14	16	19	51	26

horaire pour l'enregistrement de l'humidité à chaque station(%)

Le onzième jour, le 19 mai 2021

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
S1	23	27	30	31	34	32	30	23	26
S2	24	28	31	32	35	33	31	24	28
S3	24	28	31	32	35	33	31	24	28
S4	25	29	32	34	36	34	32	25	29
S5	25	29	32	34	36	34	32	25	29
S6	25	29	32	34	36	34	32	25	29
S7	25	29	32	34	36	34	32	25	29
S8	25	29	32	34	36	34	32	25	29
S9	25	29	32	34	36	34	32	25	29
S10	24	28	31	32	35	33	31	24	28

S11	23	27	30	31	34	32	30	23	26
S12	24	28	31	32	35	33	31	24	28
S13	23	27	30	31	34	32	30	23	26

Horaire pour l'enregistrement de la température à chaque station(°C)

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
S1	11	11	9	9	11	13	11	11	12
S2	10	9	8	8	10	12	10	10	10
S3	10	9	8	8	10	12	10	10	10
S4	9	9	7	7	9	11	9	9	9
S5	9	9	7	7	9	11	9	9	9
S6	9	9	7	7	9	11	9	9	9
S7	9	9	7	7	9	11	9	9	9
S8	9	9	7	7	9	11	9	9	9
S9	9	9	7	7	9	11	9	9	9
S10	10	9	8	8	10	12	10	10	10
S11	11	11	9	9	11	13	11	11	12
S12	10	9	8	8	10	12	10	10	10
S13	11	11	9	9	11	13	11	11	12

Horaire pour l'enregistrement de la vitesse du vent à chaque station(km/h)

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
S1	29	21	19	16	15	14	16	29	21
S2	28	20	18	15	14	13	15	28	19
S3	28	20	18	15	14	13	15	28	19
S4	27	19	16	14	13	12	14	27	19
S5	27	19	16	14	13	12	14	27	19
S6	27	19	16	14	13	12	14	27	19
S7	27	19	16	14	13	12	14	27	19
S8	27	19	16	14	13	12	14	27	19
S9	27	19	16	14	13	12	14	27	19
S10	28	20	18	15	14	13	15	28	19
S11	29	21	19	16	15	14	16	29	21
S12	28	20	18	15	14	13	15	28	19
S13	29	21	19	16	15	14	16	29	21

horaire pour l'enregistrement de l'humidité à chaque station(%)

Le douzième jour le 23 mai 2021

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
S1	23	27	30	32	34	32	29	23	26
S2	24	29	31	31	35	33	30	24	28
S3	24	29	31	31	35	33	30	24	28
S4	25	29	32	34	36	34	31	25	29
S5	25	29	32	34	36	34	31	25	29
S6	25	29	32	34	36	34	31	25	29
S7	25	29	32	34	36	34	31	25	29
S8	25	29	32	34	36	34	31	25	29
S9	25	29	32	34	36	34	31	25	29
S10	24	29	31	31	35	33	30	24	28
S11	23	27	30	32	34	32	29	23	26
S12	24	29	31	31	35	33	30	24	28
S13	23	27	30	32	34	32	29	23	26

Horaire pour l'enregistrement de la température à chaque station(°C)

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
--	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

S1	11	13	13	12	12	11	11	11	13
S2	10	12	12	11	11	10	10	10	12
S3	10	12	12	11	11	10	10	10	12
S4	9	11	11	10	10	9	9	9	11
S5	9	11	11	10	10	9	9	9	11
S6	9	11	11	10	10	9	9	9	11
S7	9	11	11	10	10	9	9	9	11
S8	9	11	11	10	10	9	9	9	11
S9	9	11	11	10	10	9	9	9	11
S10	10	12	12	11	11	10	10	10	12
S11	11	13	13	12	12	11	11	11	13
S12	10	12	12	11	11	10	10	10	12
S13	11	13	13	12	12	11	11	11	13

Horaire pour l'enregistrement de la vitesse du vent à chaque station(km/h)

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
S1	30	19	15	14	13	14	15	31	20
S2	29	18	14	13	12	13	14	30	19
S3	29	18	14	13	12	13	14	30	19
S4	28	17	13	12	11	12	13	28	17
S5	28	17	13	12	11	12	13	28	17
S6	28	17	13	12	11	12	13	28	17
S7	28	17	13	12	11	12	13	28	17
S8	28	17	13	12	11	12	13	28	17
S9	28	17	13	12	11	12	13	28	17
S10	29	18	14	13	12	13	14	30	19
S11	30	19	15	14	13	14	15	31	20
S12	29	18	14	13	12	13	14	30	19
S13	30	19	15	14	13	14	15	31	20

horaire pour l'enregistrement de l'humidité à chaque station(%)

Le treizième jour du 27 mai 2021

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
S1	21	25	26	26	28	28	26	25	24
S2	22	26	27	28	29	29	27	24	26
S3	22	26	27	28	29	29	27	24	26
S4	23	27	28	29	30	30	28	23	27
S5	23	27	28	29	30	30	28	23	27
S6	23	27	28	29	30	30	28	23	27
S7	23	27	28	29	30	30	28	23	27
S8	23	27	28	29	30	30	28	23	27
S9	23	27	28	29	30	30	28	23	27
S10	22	26	27	28	29	29	27	24	26
S11	21	25	26	26	28	28	26	25	24
S12	22	26	27	28	29	29	27	24	26
S13	21	25	26	26	28	28	26	25	24

Horaire pour l'enregistrement de la température à chaque station(°C)

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
S1	13	17	19	19	17	17	13	13	17
S2	12	15	18	18	16	16	12	12	16
S3	12	15	18	18	16	16	12	12	16
S4	11	15	17	17	15	15	11	11	15
S5	11	15	17	17	15	15	11	11	15

S6	11	15	17	17	15	15	11	11	15
S7	11	15	17	17	15	15	11	11	15
S8	11	15	17	17	15	15	11	11	15
S9	11	15	17	17	15	15	11	11	15
S10	12	15	18	18	16	16	12	12	16
S11	13	17	19	19	17	17	13	13	17
S12	12	15	18	18	16	16	12	12	16
S13	13	17	19	19	17	17	13	13	17

Horaire pour l'enregistrement de la vitesse du vent à chaque station(km/h)

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00
S1	35	29	26	24	22	20	24	36	29
S2	34	27	25	23	21	19	22	35	28
S3	34	27	25	23	21	19	22	35	28
S4	33	27	24	22	20	18	21	33	27
S5	33	27	24	22	20	18	21	33	27
S6	33	27	24	22	20	18	21	33	27
S7	33	27	24	22	20	18	21	33	27
S8	33	27	24	22	20	18	21	33	27
S9	33	27	24	22	20	18	21	33	27
S10	34	27	25	23	21	19	22	35	28
S11	35	29	26	24	22	20	24	36	29
S12	34	27	25	23	21	19	22	35	28
S13	35	29	26	24	22	20	24	36	29

horaire pour l'enregistrement de l'humidité à chaque station(%)

Le premier jour est le 09 avril 2021 AD correspondant au 27 Sha'ban, 1442 AH

	8:00			10:00			12:00			14:00			16:00			18:00			20:00		
	Murs	Trottoirs	godron	murs	Trottoirs	godron	murs	Trottoirs	godron	murs	Trottoirs	godron	murs	Trottoirs	godron	Murs	Trottoirs	godron	Murs	Trottoirs	godron
S1	13.1	14.8	17.9	15.2	16.4	20.2	18.4	21.3	28.4	20.2	23.2	33.4	18.4	23.7	34.6	13.5	17.1	20.4	13.5	17.1	29.8
S2	12.0	13.8	17.8	15.1	17.0	20.4	17.2	21.6	28.2	20.1	23.5	33.7	18.4	23.1	35.0	13.2	17.1	29.6	13.2	17.1	29.6
S3	12.9	14.4	17.9	16.7	17.7	20.7	18.0	20.8	28.1	20.8	23.3	33.2	18.5	23.1	34.5	15.6	17.0	29.6	15.6	17.0	29.6
S4	12.5	14.7	17.6	15.4	17.8	20.6	18.9	21.7	28.7	20.4	23.2	33.5	18.1	23.6	35.0	14.3	17.6	29.5	14.3	17.6	29.5
S5	12.8	13.4	17.5	16.2	17.5	20.0	18.6	21.1	28.6	20.3	23.7	33.9	18.3	23.8	35.0	14.2	17.5	29.4	14.2	17.5	29.4

19.2
17.4
13.5
29.3
20.5
16.4
34.2
23.2
18.6
33.2
23.5
20.4
28.2
20.9
18.2
20.7
17.4
16.2
18.6
14.3
12.4
S6

Horaire pour l'enregistrement de la température des murs, des trottoirs et des routes à chaque station (toutes les deux heures)

C'est l'étape de gain de chaleur, où l'on constate que la température enregistrée dans toute la station est d'environ deux degrés différente des murs, quant aux trottoirs, elle est d'environ deux à trois degrés, et quant à l'asphalte, elle est d'environ trois degrés La quantité de température

De 12h00 à 14h00

L'énergie solaire atteint son maximum, où le gain de chaleur est important dans toutes les stations. On constate que la température enregistrée sur les murs varie de 18° à 20°, sur les trottoirs de 21° à 23°, et sur l'asphalte de 28° à 33°, et cela est dû au soleil où il se trouve En milieu de journée, il emmagasine une grande quantité d'énergie solaire

De 16h00 à 18h00

On remarque un début de baisse de température dans toutes les stations, mais avec une baisse de deux degrés dans les murs, de trois degrés sur les trottoirs, et de cinq degrés sur l'asphalte, où l'asphalte reste une réserve de température.

à 20h00

Après le coucher du soleil, où la chaleur accumulée est libérée après le gain de chaleur de l'énergie solaire, alors que la température continue de baisser au niveau de toutes les stations, de tous les murs, trottoirs et asphalte

Le deuxième jour est le 13 avril 2021 AD correspondant au Ramadan 01, 1442 AH

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00
	Murs	godron Trottoirs	murs godron Trottoirs	murs godron Trottoirs	murs godron Trottoirs	murs godron Trottoirs	murs godron Trottoirs
S1	13.5	17.8 15.8	21.8 18.4 18.5	28.2 21.6 20.7	33.7 24.3 19.4	35.9 20.3 16.5	20.9 17.1 14.2
S2	13.1	17.7 14.8	20.6 17.5 17.5	28.7 21.8 20.1	33.4 24.4 19.5	35.0 20.4 16.3	21.4 17.1 14.2
S3	14.9	17.6 15.3	21.7 18.7 18.9	28.7 21.7 20.8	33.2 24.3 19.7	34.5 20.1 16.4	21.8 17.0 15.6

S4	14.6	14.7	14.6
	15.4	15.6	15.3
	17.7	17.4	18.5
	16.2	16.3	16.4
	18.6	17.4	17.9
	21.4	20.9	21.7
	18.3	19.0	18.7
	21.2	21.1	20.8
	28.7	28.6	28.5
	20.4	20.3	20.5
	23.9	24.7	24.4
	33.5	33.8	33.6
19.8	19.0	19.7	
23.7	24.0	23.8	
35.0	35.3	34.4	
16.2	16.7	16.4	
20.2	20.3	20.5	
29.5	29.4	29.3	
14.0	14.25	14.3	
17.6	17.5	17.4	
21.6	21.3	20.8	
S5	S6		

Horaire pour l'enregistrement de la température des murs, des trottoirs et des routes à chaque station (toutes les deux heures)

De 8h00 à 10h00

C'est l'étape de gain de chaleur, où l'on constate que la température enregistrée dans toute la station est d'environ deux degrés différente des murs, quant aux trottoirs, elle est d'environ deux à trois degrés, et quant à l'asphalte, elle est d'environ trois degrés La quantité de température

De 12h00 à 14h00

L'énergie solaire atteint son maximum, où le gain de chaleur est important dans toutes les stations. On constate que la température enregistrée sur les murs varie de 18° à 20°, sur les trottoirs de 21° à 23°, et sur l'asphalte de 28° à 33°, et cela est dû au soleil où il se trouve En milieu de journée, il emmagasine une grande quantité d'énergie solaire

De 16h00 à 18h00

On remarque un début de baisse de température dans toutes les stations, mais avec une baisse de deux degrés dans les murs, de trois degrés sur les trottoirs, et de cinq degrés sur l'asphalte, où l'asphalte reste une réserve de température.

à 20h00

Après le coucher du soleil, où la chaleur accumulée est libérée après le gain de chaleur de l'énergie solaire, alors que la température continue de baisser au niveau de toutes les stations, de tous les murs, trottoirs et asphalte

Le troisième jour, le 17 avril 2021 AD correspondant au Ramadan 4, 1442 AH

S1	8:00	Murs	10.2
		Trottoirs	11.8
		godron	12.5
	10:00	murs	13.4
		Trottoirs	15.6
		godron	17.8
	12:00	murs	16.4
		Trottoirs	19.3
		godron	24.5
	14:00	murs	17.5
		Trottoirs	20.4
		godron	26.3
16:00	murs	19.7	
	Trottoirs	22.4	
	godron	28.7	
18:00	murs	16.6	
	Trottoirs	18.2	
	godron	21.3	
20:00	murs	13.4	
	Trottoirs	15.6	
	godron	17.4	

S2	9.4	11.6	13.2	13.4	15.1	17.9	16.5	19.1	24.9	17.6	20.8	27.3	19.2	22.5	28.9	16.4	19.4	21.4	13.6	15.2	17.2
S3	9.8	11.5	13.4	13.5	15.3	17.8	16.7	19.0	25.1	17.8	20.3	26.7	19.0	22.4	29.5	16.6	19.1	22.1	13.2	15.0	17.1
S4	10.3	10.7	13.2	14.7	15.4	17.7	16.2	19.4	25.4	17.9	20.1	26.8	19.4	22.8	29.4	16.2	19.1	21.7	13.7	15.0	16.9
S5	10.7	11.4	12.8	14.3	15.7	17.4	16.3	19.3	24.8	17.2	20.2	26.7	19.6	22.1	29.0	16.6	19.0	21.3	13.2	15.6	17.5
S6	9.5	10.9	12.9	15.2	15.9	18.7	17.1	19.3	25.7	17.1	20.1	27.2	19.9	22.6	28.9	16.2	19.3	22.0	13.4	14.9	17.6

Horaire pour l'enregistrement de la température des murs, des trottoirs et des routes à chaque station (toutes les deux heures)

De 8h00 à 10h00

C'est l'étape de gain de chaleur, où l'on constate que la température enregistrée dans toute la station est de 10° à 13° par rapport aux murs, quant aux trottoirs, elle est de près de quatre degrés, et quant à l'asphalte, il est d'environ cinq degrés. Enregistrez la quantité de température

De 12h00 à 14h00

L'énergie solaire atteint ses niveaux maximum, où le gain de chaleur est important dans toutes les stations. On constate que la température enregistrée sur les murs varie de 16° à 17°, sur les trottoirs de 19° à 20°, et sur l'asphalte de 24° à 27°, et cela est dû au soleil où il se trouve. En milieu de journée, il emmagasine une grande quantité d'énergie solaire

De 16h00 à 18h00

On remarque un début de baisse de température dans toutes les stations, mais une baisse de trois degrés dans les murs, de quatre degrés sur les trottoirs, et de six degrés sur l'asphalte, où l'asphalte reste une réserve de température

à 20h00

Après le coucher du soleil, où la chaleur accumulée est libérée après le gain de chaleur de l'énergie solaire, alors que la température continue de baisser au niveau de toutes les stations, de tous les murs, trottoirs et asphalte

Le quatrième jour, le 21 avril 2021 AD correspondant au 9 Ramadan 1442 AH

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00
--	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

godron	20.7	20.6	20.8	20.4	20.3	20.1
Trottoirs	17.1	17.1	17.0	17.6	17.5	17.2
murs	14.5	15.2	15.6	15.3	14.2	14.7
godron	29.8	29.6	29.6	29.5	29.4	29.7
Trottoirs	20.3	20.4	20.1	20.2	20.35	20.9
murs	16.5	16.3	16.4	16.2	16.7	16.1
godron	34.6	34.0	34.5	34.0	34.9	34.3
Trottoirs	23.7	23.1	23.1	23.6	23.8	23.1
murs	18.4	18.4	18.9	18.1	18.3	18.2
godron	33.2	33.8	33.5	33.4	33.9	33.2
Trottoirs	23.2	23.5	23.1	23.0	23.7	23.5
murs	20.2	20.1	20.7	20.6	20.3	20.4
godron	28.4	28.6	28.7	28.7	28.6	28.2
Trottoirs	21.3	21.6	21.5	21.7	21.1	21.0
murs	18.4	17.2	18.9	18.9	18.6	18.2
godron	20.4	20.9	20.7	20.6	20.4	20.7
Trottoirs	16.4	17.2	17.6	17.8	17.4	17.6
murs	15.2	15.1	16.2	15.4	16.2	16.3
godron	17.3	17.5	17.4	17.6	17.8	18.6
Trottoirs	14.6	13.9	14.6	14.7	13.4	14.3
Murs	12.5	11.9	12.4	12.6	11.8	12.4
S1						
S2						
S3						
S4						
S5						
S6						

Horaire pour l'enregistrement de la température des murs, des trottoirs et des routes à chaque station (toutes les deux heures)

De 8h00 à 10h00

C'est l'étape de gain de chaleur, où l'on constate que la température enregistrée dans toute la station est de 12° à 15° par rapport aux murs, quant aux trottoirs, elle est d'environ deux degrés, et quant à l'asphalte d'environ trois degrés, référez-vous à cela car la température n'est pas forte en début de journée, et l'asphalte et les trottoirs n'ont pas été stockés La quantité de température

De 12h00 à 14h00

L'énergie solaire atteint son maximum, où le gain de chaleur est important dans toutes les stations. On constate que la température enregistrée sur les murs varie de 18° à 20°, sur les trottoirs de 21° à 23°, et sur l'asphalte de 28° à 33°, et cela est dû au soleil où il se trouve En milieu de journée, il emmagasine une grande quantité d'énergie solaire

De 16h00 à 18h00

Et c'est le début d'une baisse de température, et on enregistre une baisse de deux degrés sur les murs de 18° à 16° et de trois degrés sur les trottoirs, où elle a été enregistrée de 23° à 20° et cinq degrés lus sur l'asphalte

Le cinquième jour, le 25 avril 2021 AD correspondant au Ramadan 13, 1442 AH

	8:00			10:00			12:00			14:00			16:00			18:00			20:00		
	Murs	Trottoirs	godron	murs	Trottoirs	godron	murs	Trottoirs	godron	murs	Trottoirs	godron	murs	Trottoirs	godron	murs	Trottoirs	godron	murs	Trottoirs	godron
S1	12.5	14.6	17.3	15.2	16.4	20.4	18.4	21.3	28.4	20.2	23.2	33.2	18.4	23.7	34.6	16.5	20.3	29.8	14.5	17.1	20.7
S2	11.9	13.9	17.5	15.1	17.2	20.9	17.2	21.6	28.6	20.1	23.5	33.8	18.4	23.1	34.0	16.3	20.4	29.6	15.2	17.1	20.6
S3	12.4	14.6	17.4	16.2	17.6	20.7	18.9	21.5	28.7	20.7	23.1	33.5	18.9	23.1	34.5	16.4	20.1	29.6	15.6	17.0	20.8
S4	12.6	14.7	17.6	15.4	17.8	20.6	18.9	21.7	28.7	20.6	23.0	33.4	18.1	23.6	34.0	16.2	20.2	29.5	15.3	17.6	20.4
S5	11.8	13.4	17.8	16.2	17.4	20.4	18.6	21.1	28.6	20.3	23.7	33.9	18.3	23.8	34.9	16.7	20.35	29.4	14.2	17.5	20.3
S6	12.4	14.3	18.6	16.3	17.6	20.7	18.2	21.0	28.2	20.4	23.5	33.2	18.2	23.1	34.3	16.1	20.9	29.7	14.7	17.2	20.1

Horaire pour l'enregistrement de la température des murs, des trottoirs et des routes à chaque station (toutes les deux heures)

De 8h00 à 10h00

C'est l'étape de gain de chaleur, où l'on constate que la température enregistrée dans toute la station est de 12° à 15° par rapport aux murs, quant aux trottoirs, elle est d'environ deux degrés, et quant à l'asphalte d'environ trois degrés, référez-vous à cela car la température n'est pas forte en début de journée, et l'asphalte et les trottoirs n'ont pas été stockés La quantité de température

De 12h00 à 14h00

L'énergie solaire atteint son maximum, où le gain de chaleur est important dans toutes les stations. On constate que la température enregistrée sur les murs varie de 18° à 20°, sur les trottoirs de 21° à 23°, et sur l'asphalte de 28° à 33°, et cela est dû au soleil où il se trouve En milieu de journée, il emmagasine une grande quantité d'énergie solaire

De 16h00 à 18h00

Et c'est le début d'une baisse de température, et on enregistre une baisse de deux degrés sur les murs de 18° à 16° et de trois degrés sur les trottoirs, où elle a été enregistrée de 23° à 20° et cinq degrés sur l'asphalte

à 20h00

Après le coucher du soleil, où la chaleur accumulée est libérée après le gain de chaleur de l'énergie solaire, alors que la température continue de baisser au niveau de toutes les stations, de tous les murs, trottoirs et asphalte

Le sixième jour, le 29 avril 2021 après JC correspondant au 17 du Ramadan 1442 AH

	8:00			10:00			12:00			14:00			16:00			18:00			20:00		
	murs	Trottoirs	godron	murs	Trottoirs	godron	murs	Trottoirs	godron	murs	Trottoirs	godron	murs	Trottoirs	godron	murs	Trottoirs	godron	murs	Trottoirs	godron
S1	18.8	20.8	22.4	21.3	23.1	25.3	24.2	28.6	32.5	26.4	28.1	36.1	22.3	24.5	35.2	12.3	17.2	16.3	10.2	14.2	17.6
S2	18.6	20.7	22.6	21.4	23.5	25.6	24.6	28.6	32.7	26.3	28.5	36.2	22.3	24.9	35.4	12.5	17.5	16.5	10.6	14.6	17.5
S3	18.9	20.9	22.5	21.6	23.6	25.4	24.3	28.7	32.7	26.5	28.6	36.5	22.4	24.1	35.6	12.0	17.6	16.4	10.4	14.2	17.5
S4	18.7	20.4	22.3	21.8	23.2	25.7	24.5	28.9	32.7	26.8	28.4	36.5	22.5	24.8	35.4	13.5	17.2	16.3	10.7	14.8	17.4
S5	18.8	20.4	22.9	21.9	23.1	25.6	24.7	29.2	32.8	26.9	28.4	36.8	22.5	24.5	35.8	13.2	17.4	16.9	10.9	14.5	17.3
S6	18.5	20.6	23.4	22.4	22.8	25.3	24.8	28.9	32.9	26.4	28.1	36.7	22.4	24.8	35.9	13.4	17.6	16.4	10.5	14.2	17.9

Horaire pour l'enregistrement de la température des murs, des trottoirs et des routes à chaque station (toutes les deux heures)

De 8h00 à 10h00

C'est l'étape de gain de chaleur, où l'on constate que la température enregistrée dans toute la station est grande ce jour-là, comme elle a été enregistrée sur les stations de 18° à 21° par rapport aux murs, et comme pour les trottoirs, environ trois vélos, où il a été enregistré de 20° à 23°, et

quant à l'asphalte environ trois degrés Référez-vous à ce que la température n'est pas forte au début de la journée et que l'asphalte et les trottoirs n'ont pas stocké la quantité de température

De 12h00 à 14h00

L'énergie solaire monte à ses niveaux maximum, où le gain de chaleur est important dans toutes les stations. On constate que la température enregistrée sur les murs est de 24° à 26°, sur les trottoirs est de 28°, et sur l'asphalte de 32° à 36° et cela est dû au soleil, où il est en milieu de journée et est stocké en km Une grande quantité d'énergie solaire est également due à une élévation de température

De 16h00 à 18h00

On note un début de baisse de température dans toutes les stations, mais avec une baisse de 8° degrés dans les murs, 7° degrés sur les trottoirs, et 9° degrés sur l'asphalte, où l'asphalte reste une réserve de température due à la qualité et la couleur du matériau composite.

à 20h00

Après le coucher du soleil, où la chaleur accumulée est libérée après le gain de chaleur de l'énergie solaire, alors que la température continue de baisser au niveau de toutes les stations, les murs, les trottoirs et l'asphalte, et enregistre respectivement 10°, 14° et 17°.

Le septième jour le 11 mai 2021 AD correspondant au Ramadan 29 1442 AH

	8:00			10:00			12:00			14:00			16:00			18:00			20:00		
	Murs	Trottoirs	godron	murs	Trottoirs	godron	murs	Trottoirs	godron	murs	Trottoirs	godron	murs	Trottoirs	godron	murs	Trottoirs	godron	murs	Trottoirs	godron
S1	14.2	16.2	18.5	17.5	19.5	22.3	20.5	24.5	28.5	23.5	25.6	33.5	22.5	24.5	35.2	24.1	19.5	18.2	13.2	17.3	20.3
S2	14.3	16.5	18.6	17.2	19.2	22.5	20.6	24.6	28.6	23.6	25.3	33.6	22.6	24.6	35.6	24.5	19.6	18.5	13.5	17.5	20.1
S3	14.2	16.3	18.2	17.4	19.4	22.4	20.1	24.3	28.5	23.8	25.8	33.4	22.4	24.5	35.8	24.6	19	18.4	13.6	17.4	20.5
S4	14.5	16.4	18.4	17.6	19.6	22.6	20.5	24.5	28.9	23.9	25.9	33.5	22.8	24.3	35.4	24.1	19.1	18.6	13.4	17.9	20.6
S5	14.5	16.4	18.2	17.5	19.5	22.4	20.8	24.8	28.7	23.7	25.4	33.8	22.5	24.8	35.9	24.8	19.2	18.9	13	17.5	20.4

20.0
17.4
13.2
18.5
19.1
247.5
35.2
24.7
22.4
33.7
25.8
23.8
28.7
24.5
20.6
22.8
19.8
17.5
18.3
16.5
14.9
S6

Horaire pour l'enregistrement de la température des murs, des trottoirs et des routes à chaque station (toutes les deux heures)

De 8h00 à 10h00

C'est l'étape de gain de chaleur, où l'on constate que la température enregistrée dans toute la station est moyenne ce jour-là, comme elle a été enregistrée sur les stations avec un écart de 3° par rapport aux murs, comme pour les trottoirs, d'environ trois vélos, où il a été enregistré à partir de 4°, et quant à l'asphalte environ trois degrés, voyez ce que la température La chaleur n'est pas forte en début de journée et je suis asphalte et les trottoirs n'ont pas emmagasiné la quantité de température

De 12h00 à 14h00

L'énergie solaire monte à ses niveaux maximum, où le gain de chaleur est important dans toutes les stations. On constate que la température a été enregistrée avec un écart de 3° sur les murs, 3° les trottoirs, et sur l'asphalte 5° à 5°. C'est en raison du soleil, où il est au milieu de la journée et stocke une grande quantité d'énergie solaire, et se réfère également à une température élevée

De 16h00 à 18h00

On note un début de baisse de température dans toutes les stations, mais une baisse de 4° degrés dans les murs, 5° degrés sur les trottoirs, et 12° degrés sur l'asphalte, où l'asphalte reste une réserve de température du fait de la qualité et couleur du matériau composite.

à 20h00

Après le coucher du soleil, où la chaleur accumulée est libérée après le gain de chaleur de l'énergie solaire, alors que la température continue de baisser au niveau de toutes les stations, tous les murs, trottoirs et asphalte et enregistré

Le huitième jour, le 15 mai 2021 AD correspondant au Shawwal 03, 1442 AH

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00
	Murs	godron Trottoirs	murs godron Trottoirs	murs godron Trottoirs	murs godron Trottoirs	murs godron Trottoirs	murs godron Trottoirs
S1	16.5	20.3 18.5	25.3 25.6 29.5	28.5 33.2 30.5	28.5 41.2 30.2	22.3 26.3 27.5	20.3 27.5 24.6
S2	16.3	20.3 18.9	25.6 25.8 29.5	28.6 33.5 30.6	28.6 41.5 30.1	22.6 26.4 27.5	20.1 27.6 24.5

S3	16.4	18.8	20.4	21.6	23.4	25.4	29.4	33.6	28.9	30.8	35.9	28.6	30.6	41.6	22.5	27.4	26.8	20.5	24.3	27.4
S4	16.8	18.5	20.8	21.4	23.6	25.9	29.8	33.4	28.5	30.9	35.4	28.4	30.4	41.8	22.8	27.6	26.5	20.6	24.1	27.2
S5	16.9	18.5	20.9	21.9	23.7	25.1	29.6	33.9	28.9	30.7	35.7	28.9	30.5	41.9	22.9	27.9	26.9	20.4	24.8	27.1
S6	16.7	18.1	20.8	21.8	23.8	25.3	29.4	33.9	28.1	30.7	35.7	28.5	30.8	41.8	22.4	27.8	26.1	20.4	24.0	27.9

Horaire pour l'enregistrement de la température des murs, des trottoirs et des routes à chaque station (toutes les deux heures)

De 8h00 à 10h00

C'est l'étape de gain de chaleur, où l'on constate que la température enregistrée dans toutes les stations où elle a été enregistrée sur les stations avec un écart de 5° par rapport aux murs, comme pour les trottoirs d'environ 5°, où elle a été enregistrée à partir de 5°, et comme pour l'asphalte presque trois degrés, référez-vous à cela car la température n'est pas forte Le début de la journée et j'étais asphalte et les trottoirs n'ont pas stocké la quantité de température

De 12h00 à 14h00

L'énergie solaire monte à ses niveaux maximum, où le gain de chaleur est important dans toutes les stations. On constate que la température a été enregistrée avec un écart de 3° sur les murs et 2° sur les trottoirs et sur l'asphalte 4° à 4° Cela est dû au soleil, où il est au milieu de la journée et stocke une grande quantité d'énergie solaire, et fait également référence à une température élevée

De 16h00 à 18h00

On remarque un début de baisse de température dans toutes les stations, mais une baisse de 6° degrés dans les murs, 3° degrés sur les trottoirs, et 14° degrés sur l'asphalte, où l'asphalte reste une réserve de température du fait de la qualité et couleur du matériau composite.

à 20h00

Après le coucher du soleil, où la chaleur accumulée est libérée après le gain de chaleur de l'énergie solaire, alors que la température continue de baisser au niveau de toutes les stations, c'est-à-dire de tous les murs, trottoirs et asphalte, mais en grande partie enregistré jour, il a été enregistré sur les murs environ 20° et sur les trottoirs environ 24° et Sur asphalte 27°.

Le neuvième jour, le 19 mai 2021 AD correspondant au Shawwal 07, 1442 AH

	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00
--	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

godron	31.2	31.2	31.6	31.5	31.9	31.8
Trottoirs	28.6	28.4	28.5	28.9	28.4	28.4
murs	24.5	24.6	24.5	24.3	24	24.8
godron	29.5	29.6	29.3	29.5	29.4	29.5
Trottoirs	30.2	30.5	30.6	30.4	30.4	30.6
murs	25.6	25.4	25.8	25.9	25.7	25.3
godron	46.3	46.5	46.9	46.8	46.7	46.2
Trottoirs	35.5	35.6	35.4	35.8	35.9	35.7
murs	33.5	33.8	33.9	33.7	33.4	33.8
godron	43.6	43.5	43.9	43.8	43.7	43.8
Trottoirs	35.6	35.2	35.8	35.9	35.8	35.2
murs	33.6	33.4	33.5	33.9	33.8	33.7
godron	38.5	38.6	38.5	38.4	38.7	38.7
Trottoirs	34.2	34.2	34.5	34.6	34.8	34.9
murs	30.2	30.9	30.5	30.4	30.7	30.8
godron	30.5	30.4	30.6	30.8	30.9	30.7
Trottoirs	28.5	28.6	28.4	28.9	28.5	28.7
murs	26.5	26.5	26.4	26.5	26.8	26.8
godron	26.5	26.8	26.7	26.9	26.4	26.4
Trottoirs	24.5	24.3	24.5	24.5	24.3	24.3
Murs	22.5	22.4	22.4	22.4	22.4	22.9
S1						
S2						
S3						
S4						
S5						
S6						

Horaire pour l'enregistrement de la température des murs, des trottoirs et des routes à chaque station (toutes les deux heures)

Le dixième jour le 23 mai 2021 AD correspondant au 11 Shawwal 1442 AH

20:00		godron	30.2	30.5	30.6
		Trottoirs	27.5	27.9	27.8
		murs	23.5	23.6	23.4
18:00		godron	29.5	29.6	29.3
		Trottoirs	30.6	30.7	30.2
		murs	25.3	25.4	25.6
16:00		godron	46.3	46.5	46.8
		Trottoirs	35.6	35.4	35.5
		murs	33.2	33.5	33.6
14:00		godron	43.5	43.5	43.5
		Trottoirs	35.6	35.4	35.8
		murs	33.5	33.6	33.8
12:00		godron	38.5	38.4	38.9
		Trottoirs	34.6	34.5	34.9
		murs	30.2	30.5	30.6
10:00		godron	31.2	31.5	31.6
		Trottoirs	28.6	28.5	28.9
		murs	26.3	26.4	26.8
8:00		godron	26.3	26.5	26.4
		Trottoirs	24.5	24.6	24.5
		Murs	22.3	22.5	22.6
S1					
S2					
S3					

30.4	30.9	30.7
27.4	27.5	27.5
23.5	23.8	23.9
29.5	29.8	29.6
30.8	30.5	30.0
25.8	25.9	25.7
46.9	47.2	46.3
35.5	35.6	35.1
33.7	33.8	33.9
43.5	43.0	43.6
35.7	35.8	35.7
33.9	33.6	33.4
38.4	38.6	38.7
34.8	34.7	34.6
30.5	30.4	30.7
31.4	31.8	31.7
28.4	28.4	28.7
26.1	26.1	26.9
26.9	26.8	26.7
24.3	24.5	24.7
22.4	22.5	22.3
S4	S5	S6

Horaire pour l'enregistrement de la température des murs, des trottoirs et des routes à chaque station (toutes les deux heures)

Le onzième jour le 27 mai 2021 AD correspondant au 15 Shawwal, 1442 AH

	8:00		10:00		12:00		14:00		16:00		18:00		20:00	
	godron	Trottoirs	godron	Trottoirs	godron	Trottoirs	godron	Trottoirs	godron	Trottoirs	godron	Trottoirs	godron	Trottoirs
S1	24.1	22.5	26.5	26.5	30.2	30.2	28.5	30.5	40.1	29.6	25.1	26.6	27.4	24.5
S2	24.1	22.4	26.4	26.4	30.9	30.9	28.6	30.4	40.2	29.5	25.5	26.3	27.7	24.6
S3	24.5	22.6	26.9	26.9	30.8	30.8	28.9	30.6	40.5	29.8	25.4	26.1	27.0	24.3
S4	24.9	22.5	26.8	26.8	30.9	30.9	28.4	30.4	40.6	29.4	25.4	26.4	28.2	24.9
S5	24.8	22.3	26.7	26.7	30.5	30.5	28.7	30.2	40.9	29.7	25.3	26.9	27.9	24.8
S6	24.7	22.4	26.4	26.4	30.6	30.6	28.7	30.7	40.5	29.8	25.6	26.7	27.4	24.7
	Murs	Murs	murs	murs	godron	Trottoirs	murs	Trottoirs	godron	Trottoirs	murs	Trottoirs	godron	Trottoirs
S1	20.3	20.3	24.1	24.1	34.5	30.2	28.5	30.5	38.6	29.6	21.3	26.6	27.4	24.5
S2	20.1	20.1	24.8	24.8	34.6	30.9	28.6	30.4	38.5	29.5	21.5	26.3	27.7	24.6
S3	20.5	20.5	24.1	24.1	34.5	30.8	28.9	30.6	38.9	29.8	21.0	26.1	27.0	24.3
S4	20.4	20.4	24.5	24.5	34.9	30.9	28.4	30.4	38.7	29.4	21.9	26.4	28.2	24.9
S5	20.6	20.6	24.7	24.7	34.8	30.5	28.7	30.2	38.4	29.7	21.7	26.9	27.9	24.8
S6	20.5	20.5	24.9	24.9	34.7	30.6	28.7	30.7	38.9	29.8	21.8	26.7	27.4	24.7

Horaire pour l'enregistrement de la température des murs, des trottoirs et des routes à chaque station (toutes les deux heures)

De 8h00 à 10h00

C'est le stade de gain de chaleur, où l'on constate que la température enregistrée dans toutes les stations est importante fin mai, comme elle a été enregistrée sur les stations avec un écart de 4°

par rapport aux murs, comme pour les trottoirs, il fait environ 4°, où il a été enregistré à partir de 5°, et quant à l'asphalte environ trois degrés. La température n'est pas forte en début de journée et je suis asphalte et les trottoirs n'ont pas emmagasiné la quantité de température

De 12h00 à 14h00

L'énergie solaire monte à ses niveaux maximum, où le gain de chaleur est important dans toutes les stations. On constate que la température a été enregistrée avec un écart de 3° sur les murs et 2° sur les trottoirs et sur l'asphalte 4° à 4°. Cela est dû au soleil, où il est en milieu de journée et stocke une grande quantité d'énergie solaire, et fait également référence à une hausse de température fin mai

De 16h00 à 18h00

On remarque un début de baisse de température dans toutes les stations, mais avec une baisse de 8° degrés dans les murs, 5° degrés sur les trottoirs, et 13° degrés sur l'asphalte, où l'asphalte reste une réserve de température pour les qualité et couleur du matériau composite

à 20h00

Après le coucher du soleil, où la chaleur accumulée est libérée après le gain de chaleur de l'énergie solaire, alors que la température continue de baisser au niveau de toutes les stations, tous les murs, les trottoirs et l'asphalte, mais dans les derniers jours de mai a enregistré un grand degré sur les murs environ 23° et sur les trottoirs Environ 27° et sur asphalte 30°.

2/ ETUDE DE L'ILOT DE CHALEUR URBAIN DE LA VILLE DE MESSAAD PAR LA METHODE DE TELEDETECTION PAR LE BIAIS DE GOOGLE EARTH ENGINE GEE :

La température de surface (plus exactement la température à l'interface sol-atmosphère communément appelée température de surface), étudié pourtant depuis plusieurs années, reste un paramètre difficile à extraire et à mesurer directement sur le terrain ; l'une des raisons principales est la difficulté de définir justement la surface. Cette complexité a poussé les équipes à créer leurs propres algorithmes qui ne sont pas toujours implémentés dans les logiciels de traitement numériques d'images satellitaires. De ce fait, un utilisateur ne possédant pas forcément les bases physiques et devant utiliser la température de surface pour des thématiques concernant le territoire se trouve démuné. Notre objectif principal dans ce travail est d'élaborer un outil pratique d'extraction de la température de surface, à partir d'images satellitaires, et son exploitation dans le suivi de l'évolution du paysage. L'outil software à développer utilise un certain nombre d'algorithmes de calcul de la température de surface à partir des données satellitaires. Les différents algorithmes nécessitent de disposer d'un certain nombre de paramètres d'entrée (paramètres indépendants) pas toujours facile à déterminer et souvent non disponibles pour toute zone d'étude. Ils permettent par ailleurs d'obtenir en sortie d'autres paramètres (paramètres dépendants) pour calculer la température de surface. Tous ces algorithmes se présentent globalement sous la forme suivante:

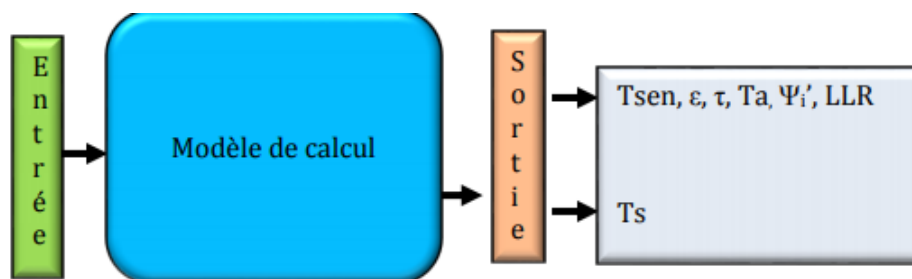


Figure 2 : Schéma général des algorithmes d'estimation de la température de surface.

Pour aboutir à ce résultat deux stratégies de développement de cet outil sont envisageables. — Créer un outil autonome complet qui dispose d'outils de traitement et d'analyse d'images pour traiter les images quel que soit leur format. Un tel projet nécessiterait le développement d'un logiciel complet, pointu et performant de traitement d'images satellitaires ; chose qui demanderait une compétence de plusieurs spécialistes de traitement d'images et une période relativement longue de développement.

➤ La méthode Split-Window

Elle se base sur l'utilisation de deux canaux pour estimer la température de surface en utilisant un certain nombre de paramètres. Plusieurs auteurs ont établi leurs propres algorithmes

connus par leurs noms. La température de surface de l'algorithme de (Jimenez Munoz et Sobrino, 2008), comme exemple se calcule par l'équation (76):

$$T_s = T_i + c_1(T_i - T_j) + c_2(T_i - T_j)^2 + c_0 + (c_3 + c_4 W)(1 - \epsilon) + (c_5 + c_6 W)\Delta\epsilon \text{ (Eq. 76)}$$

Où T_i et T_j sont les températures de brillance au niveau du capteur pour les deux canaux i et j , en degré Kelvin, ϵ est l'émissivité moyenne, W est la vapeur d'eau atmosphérique totale (en g/cm^2), et c_0 - c_6 sont des coefficients numériques de l'algorithme split-window à déterminer à partir des données de simulation.

Les différents modules de cette interface sont donc :

1. Calcul des données au niveau du capteur (L_{sen} , T_{sen}),
2. Les paramètres d'entrée des algorithmes (NDVI, l'émissivité, la vapeur d'eau atmosphérique, la transmittance),
3. Algorithmes de calcul de T_s ,
4. Help

➤ **La programmation**

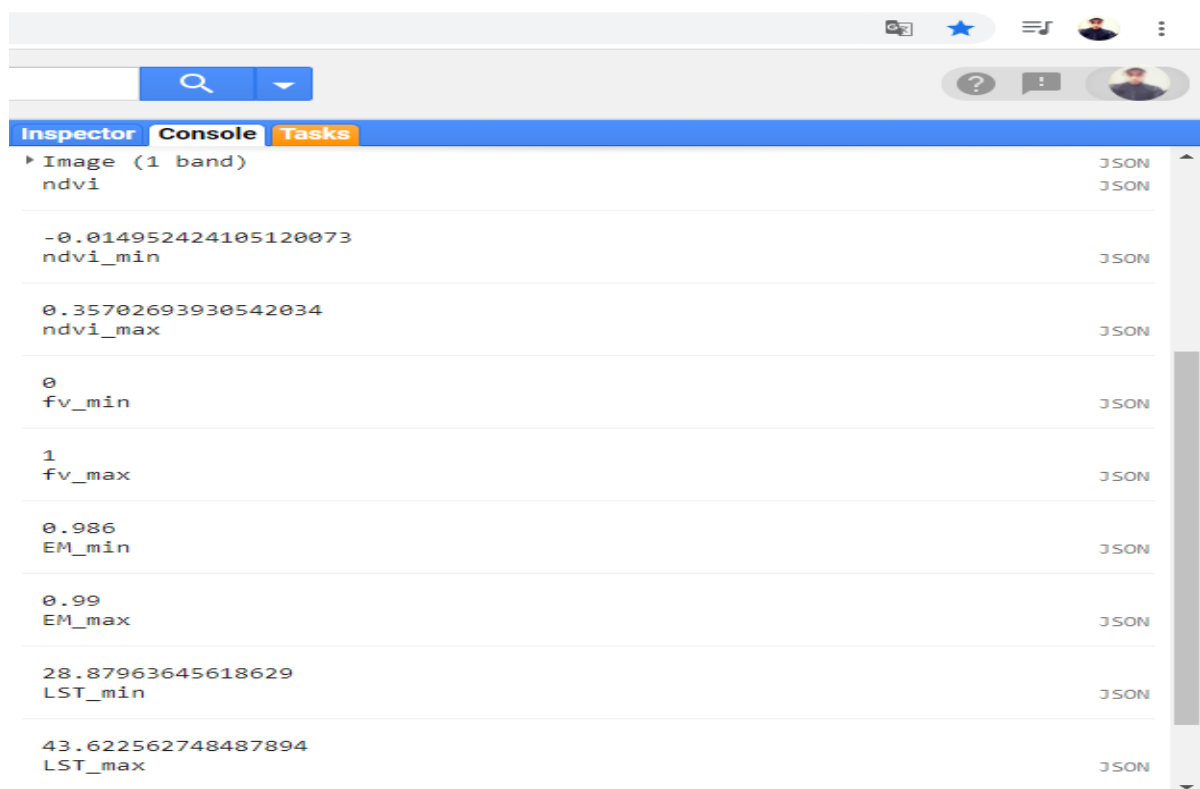
Cette étape peut être réalisée en utilisant divers langages de programmation, disponibles sur le marché ; ces solutions peuvent être propriétaires (payantes) ou libres (gratuites). Pour la réalisation des différentes interfaces et routines de calcul et implémentation des modèles d'estimation de la température de surface T_s , il nous a fallu choisir un langage de programmation et le type de licence pour cet environnement, solution propriétaire ou l'existence de \diamond .

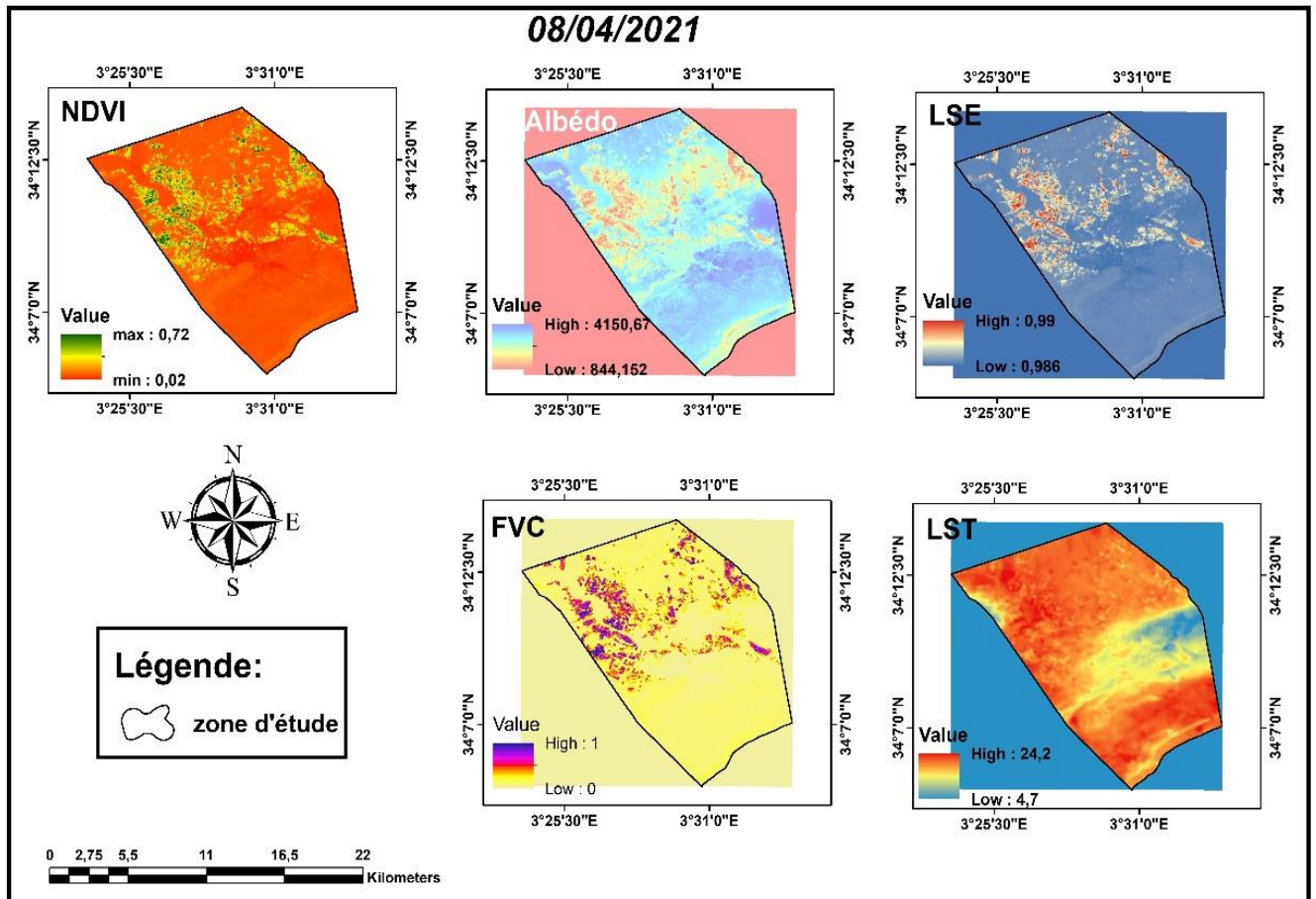
➤ **Choix d'un langage de programmation**

Le choix du langage est fortement lié à l'aptitude à manier des images, c'est à dire de disposer d'une bibliothèque de formats d'image, ceux utilisés dans de domaine de la télédétection qui intègrent une information de localisation. Cette information est : i) soit incluse dans le fichier image c'est à dire qu'elle est dans la structure de l'image ; c'est le cas des images de type: GEOTIFF, NAT, JP2, etc... ; ii) soit mise dans un fichier séparé mais dans le même workspace ; c'est le cas des images HDF ou le format natif d'ENVI (logiciel de traitement d'image de RSI). Au début nous avons concentrés nos efforts vers une solution libre, comme Java ou QT(C++), mais nous avons rencontrés quelques problèmes techniques, à titre d'exemple : la gestion des formats des images géoréférencées (geotiff, jpeg2000). Ces langages peuvent facilement gérer des formats d'image de type standard, c'est à dire des images non géoréférencées et non géocodées, mais exige une bibliothèque spéciale pour leur gestion. Notre choix s'est porté sur le langage IDL (Interactive Data Language) qui est un langage de programmation propriétaire développé à la fin des années 1970 au Laboratoire de Physique Atmosphérique et de l'espace (LASP) à l'Université du Colorado à Boulder ; il est rapidement monté en puissance dans le domaine de la télédétection, de l'astronomie et du médical. Il offre des capacités intégrées de traitement d'images et de visualisation avec une interface graphique conviviale (IDL, 1999). C'est un langage vectoriel de traitement de données et de visualisation très répandu dans l'industrie et dans la recherche actuellement détenu par EXELIS (Visual Information Solutions). Il offre un cheminement simple et rapide des données aux résultats.

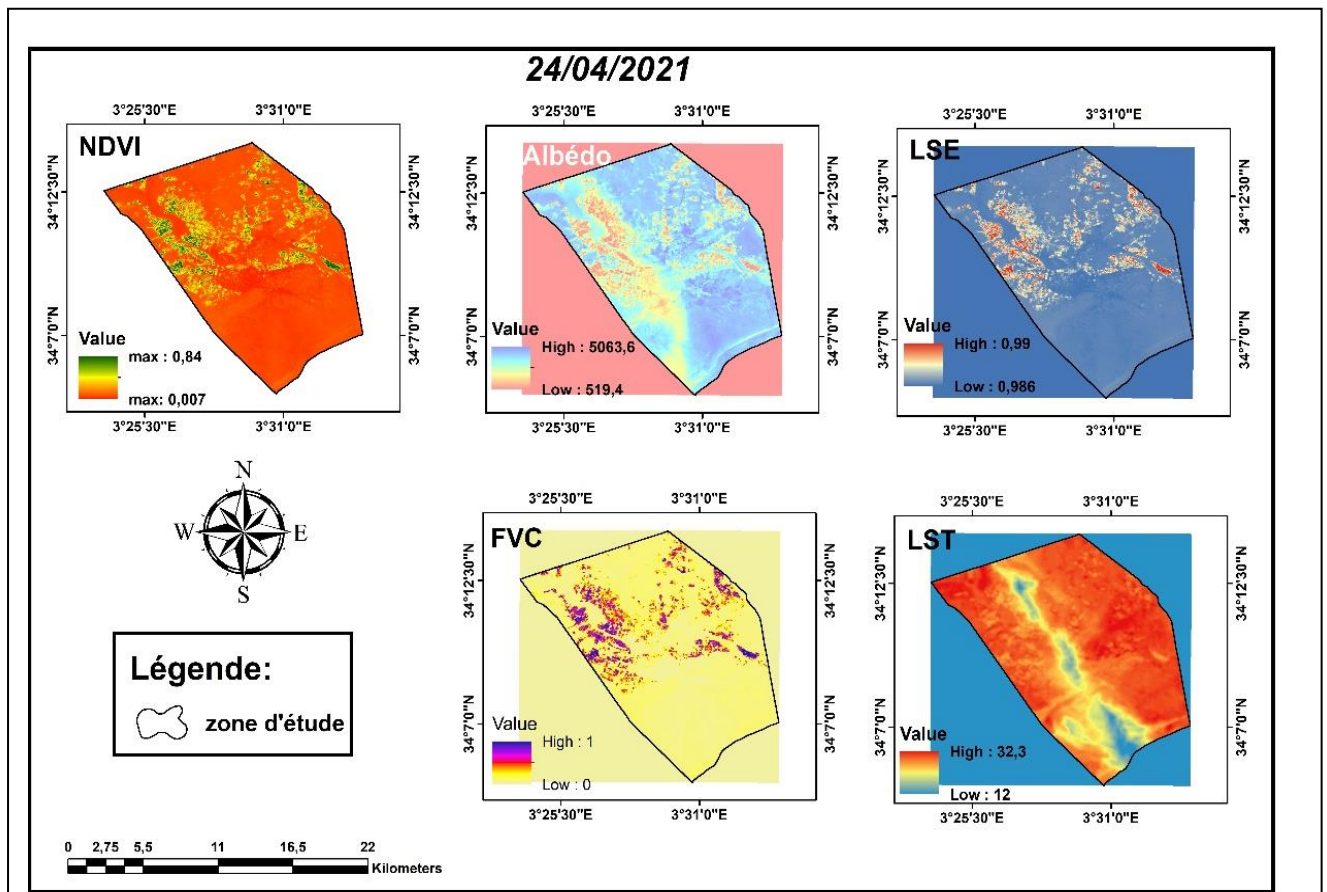
C'est un langage très concis qui manipule les images 2D ou 3D aussi simplement que des scalaires. Il dispose d'une bibliothèque très riche concernant la manipulation et le traitement des images que ce soit satellitaires ou médicales. Cette bibliothèque lit la majorité des formats de données (images) qui existent sur le marché (TIF, HDF, Dat, JPG, BPM, JPG2000.etc...). Il dispose aussi d'une bibliothèque spéciale de fonctions prédéfinies couvrant la majorité des fonctions de gestion et de calcul matriciel. IDL n'est pas puissant dans le design des interfaces homme-machine(IHM), mais il est suffisant pour créer des interfaces de communication avec les utilisateurs avec ce qu'il contient comme composantes visuelles (forme, bouton, radio bouton, menu, combo box, onglet). Il est aussi rapide dans l'exécution des programmes et ne nécessite pas un grand temps de compilation. Les arguments majeurs en faveur d'IDL sont :

- Une bibliothèque assez riche de manipulation des données images et des fonctions préfinies dans le traitement des données et des matrices, par exemple pour faire le produit de deux matrices a et b: Il suffit d'écrire : $c=a*b$, sans avoir recours à faire des itérations sur chaque élément de la matrice.
- Une syntaxe claire et un apprentissage très rapide s'inspirant des langages Pascal, Fortran, CamL ou C
- Une rapidité de programmation
- La main sur les données (la commande HELP donnant accès à toutes les variables connues)
- Manipulation de la majorité de types de données existant sur le marché
 - La portabilité: les programmes compilés sur IDL sont multiplateforme ; ils fonctionnent sous windows, linux, OS etc...

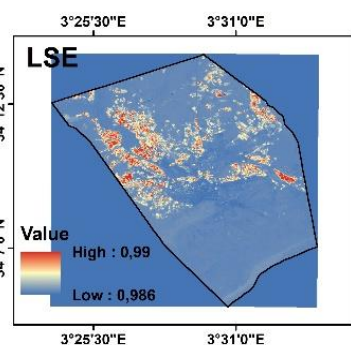
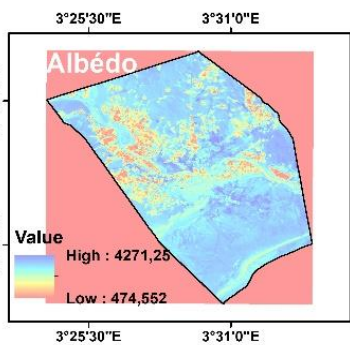
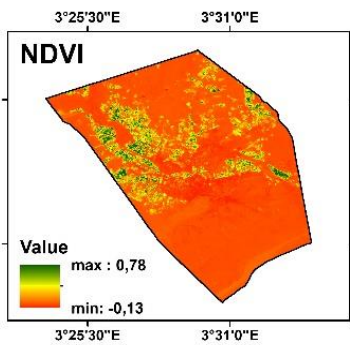




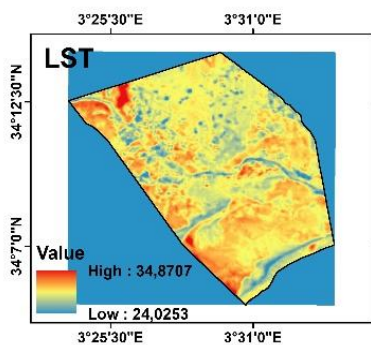
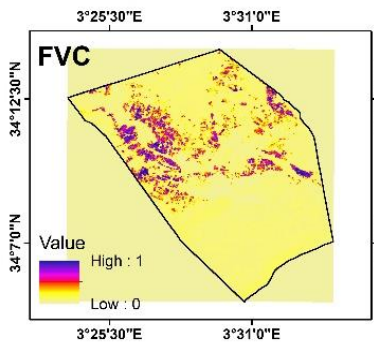
Carte N°8: la commune de Messaad



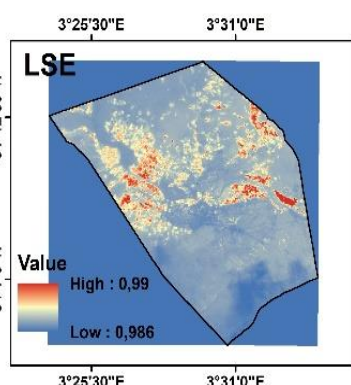
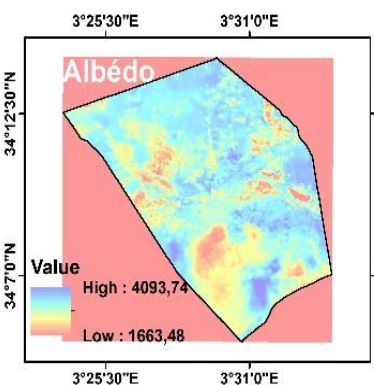
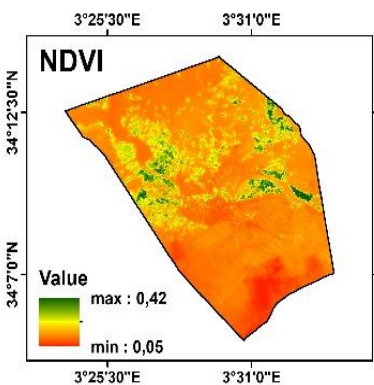
10/05/2021



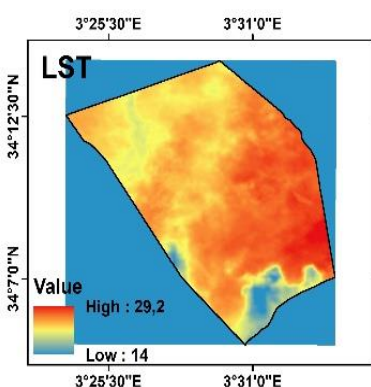
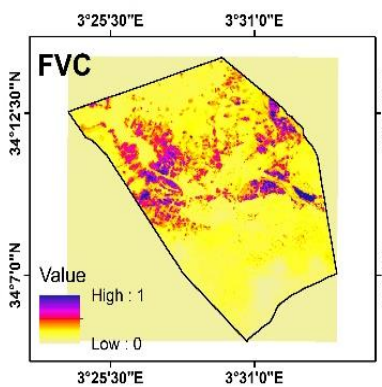
Légende:
zone d'étude



26/05/2021



Légende:
zone d'étude



Conclusion

L'analyse et la spatialisation de l'ICU sont réalisées sur l'ensemble des journées de l'année 2021. Ces travaux sont menés à l'échelle de l'agglomération pour une maille de 100 m de résolution. A cette échelle, une forte variabilité de l'ICU existe au sein d'une maille. La méthode de spatialisation a été automatisée, ce qui permet de produire des cartes pour l'ensemble des situations souhaitées. L'analyse spatiale de l'ICU en fonction de l'occupation du sol a permis de mettre en évidence la fluctuation des variables retenues selon les situations d'ICU. Les variables les plus significatives pour spatialiser l'ICU quotidien en 2021 sont : la fraction bâtie dans un rayon et la fraction de végétation basse dans un rayon . La variabilité de l'ICU expliquée par le modèle change selon le jour étudié, . Il apparaît que les jours en présence de vent sont moins bien décrits par le modèle. La variabilité de l'ICU moyen en 2021 est mieux expliquée par le modèle , de même pour les situations où l'ICU est intense . La méthode mise en place est satisfaisante pour spatialiser l'ICU moyen et intense. En revanche, il semble moins adapté aux situations météorologiques plus complexes. La méthode permet d'observer la variabilité spatiale de l'ICU en fonction des saisons. Cependant les résidus sont plus importants pour le parc urbain. Ce biais est également constaté pour les autres modèles réalisés pendant ces période. La méthode de spatialisation a mis en évidence des variables d'occupation du sol influentes sur l'ICU. Ces éléments permettent d'envisager la construction d'indices par seuils afin de limiter l'effet de l'ICU. De même, la production de carte d'ICU est un outil permettant d'évaluer l'exposition des quartiers à ce phénomène.

Chapitre 05 : propositions

1. Intérêts de la végétalisation et bénéfices environnementaux:

Outre son pouvoir de régulation thermique, la végétation apporte de nombreux autres bienfaits environnementaux mais aussi socio-culturels et économiques. C'est pourquoi la végétalisation est qualifiée de stratégie d'aménagement «sans regret» (Mills, Wilson et Johansson, [1991](#)). À titre d'exemple, Y. Wang et al. ([2014](#)) montre la variété des services écosystémiques fournis par les infrastructures vertes sur l'environnement intérieur, qui cumulent des fonctions agissant sur le climat, la consommation d'énergie, la qualité de l'air, l'environnement sonore, ou encore l'esthétique.

La végétation en milieu urbain apporte également de nombreux bénéfices environnementaux pour la population que l'on regroupe sous le terme de services écologiques ou services écosystémiques (Figure [1.9](#)).

La végétation produit le dioxygène (O_2) nécessaire à la respiration des organismes hétérotrophes. En échange, elle stocke du carbone provenant du dioxyde de carbone (CO_2) par photosynthèse. Sachant que le CO_2 est un des gaz à effet de serre qui contribue le plus au changement climatique, les organismes autotrophes qui le consomment interviennent dans la régulation du climat (Nowak et Crane, [2002](#)). Les plantes filtrent certains polluants et particules et améliorent ainsi la qualité de l'air, à la fois par absorption et adsorption

(Morakinyo, Lam et Hao, [2016](#) ; Nowak, Crane et Stevens, [2006](#) ; Xue et X. Li, [2017](#)). Il revient néanmoins aux aménageurs de tenir compte de l'émission de composés organiques volatiles biogéniques (COVBs) et de la production de pollens, toutes deux à la fois relatives à l'espèce et aux conditions météorologiques, lors du choix des essences à planter. En effet, l'altération de la composition de l'air en zone urbanisée par la végétation peut causer des problèmes sanitaires, notamment en provoquant des réactions allergiques ou en exacerbant la gravité de crises d'asthme. Calfapietra et al. ([2013](#)) ont démontré l'effet tantôt protecteur tantôt promoteur des COVBs dans la formation d'ozone (O_3), un gaz irritant pour les muqueuses nasales et digestives, selon la concentration en oxydes nitreux (famille de gaz hautement réactifs, précurseurs de l'ozone) dans l'air.



Figure N°43: Diagramme des services écosystémiques. Source : metrovancouver.org

Les économies d'énergie réalisées par les différents systèmes de végétalisation (toits et façades végétalisés, arbres), de par leur capacité d'ombrage et d'isolation, évitent potentiellement un relâchement de gaz à effet de serre et des actions polluantes pour la production énergétique. De ce fait, ces stratégies deviennent des stratégies, bien que mineures, d'atténuation du changement climatique.

Les sols naturels ou végétalisés ont de nombreuses fonctions hydrologiques. Leur perméabilité rend possible une infiltration profonde des eaux de pluie. Ils diminuent ainsi le ruissellement et les risques d'inondation (Armson, Stringer et Ennos, [2013](#); Berland et al., [2017](#)). Le sol constitue un réservoir de stockage pérenne pour l'eau infiltrée. La réduction de la vitesse de ruissellement et la fixation du sol par une matrice racinaire limite l'érosion et les glissements de terrain. La qualité de l'eau peut être améliorée *via* deux processus : la filtration par la texture du sol et la phytoremédiation par certaines plantes capables de prélever les contaminants présents dans l'eau (Sekabira et al., [2011](#)).

Les espaces verts constituent un refuge pour la biodiversité de la faune et la flore en ville en servant d'habitat, de protection ou en fournissant un approvisionnement en nourriture (Savard, Clergeau et Mennechez, [2000](#)). Ils participent au maintien de la continuité des corridors écologiques verts et bleus, menacée par la fragmentation des territoires naturels (A. M. Davis et Glick, [1978](#)). Les fermes urbaines sont d'ailleurs en plein essor aujourd'hui. Elles répondent au désir de nature, d'esthétisme et de ressource alimentaire du citoyen au sein même de son environnement.

Enfin, la régulation du micro-climat par la végétation est l'un des services écosystémiques les plus visibles et perçus positivement par la population car l'amélioration du confort thermique qu'elle procure est sensible.

2. la végétation comme régulateur thermique en milieu urbain:

La littérature scientifique fournit des indices objectifs permettant d'appréhender le pouvoir de rafraîchissement de la végétation en conditions de stress thermique chaud. La plupart des études expérimentales traitant de cette problématique ont mesuré la différence de température de l'air exprimée en °C entre une zone dégagée au soleil et à l'ombre d'arbres. En général, l'amplitude de la différence observée en moyenne journalière est de l'ordre de 1 °C (CA Souch et Souch, [1993](#)) ou 2 °C (Taha, Akbari et Rosenfeld, [1991](#)). Toutefois, des variations journalières marquées sont enregistrées. Le maximum de potentiel de refroidissement des arbres se situe autour du midi solaire : les écarts de température sont alors de plusieurs degrés (6 °C dans l'expérimentation de Taha, Akbari et Rosenfeld ([1991](#))) ou atteignent un fort pourcentage de diminution de la valeur de référence d'un point exposé (jusqu'à 20 % dans celle de Bueno-Bartholomei et Labaki ([2003](#))). À titre d'exemple, la Figure [1.10](#) présente une comparaison de la température de l'air mesurée dans une cour semi-fermée aménagée selon trois configurations différentes (de l'herbe au sol, de l'herbe au sol et une toile tendue au sommet des bâtiments, et enfin de l'herbe et des

arbres), et l'effet rafraîchissant de ces aménagement par rapport à du sol nu. En journée, les arbres permettent un rafraîchissement de 2°C. Shashua-Bar et Hoffman (2000) ont montré que l'effet d'ombrage des arbres explique 80 % de la variation de la température de l'air observée. De plus, l'efficacité de la végétation à refroidir dépend du contexte dans lequel elle est présente. En effet, les arbres peuplant des rues à fort trafic routier rafraîchissent en moyenne l'air de 1 °C. En revanche, un parc de petite taille (0.15 ha) situé en ville procure un rafraîchissement de 4 °C par rapport à un environnement urbain entièrement minéral. La méta-analyse de Bowler et al. (2010) montre un rafraîchissement de la température de l'air par les parcs urbains légèrement plus intense la nuit que le jour. Si l'on compare deux stations, l'une dans un parc et l'autre ailleurs dans la même ville, l'écart de température se situe entre 1 et plus de 3 °C. Plus les parcs sont grands, plus ils sont susceptibles d'être froids. À aires égales, la distance soumise au rafraîchissement du parc est deux fois plus grande en présence d'arbres qu'en présence de pelouse (Monteiro et al., 2016).

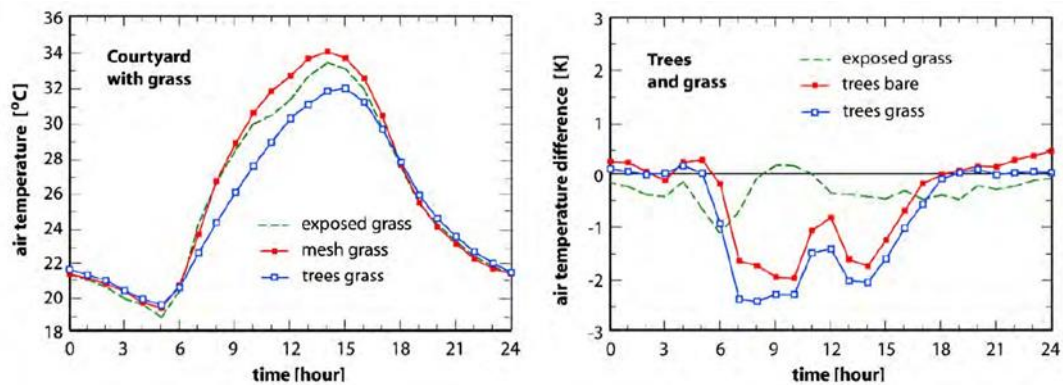


Figure N°44: Gauche : comparaison de la température de l'air mesurée dans une cour semi fermée aménagée selon trois configurations différentes : herbe, herbe et toile tendue au sommet des bâtiments, herbe et arbres. Droite : différence de température entre ces configuration et le cas de référence (sol nu). Source : Shashua-Bar, David Pearlmutter et Evyatar Erell (2009)

Takács et al. (2016) a testé l'influence de quatre essences d'arbres matures sur le microclimat sous canopée, comparée à celui d'un point non ombragé. En moyenne, un arbre isolé réduit de seulement 0.6 °C la température de l'air et augmente de 2 % l'humidité de l'air. La transmissivité moyenne mesurée entre 10:00 et 16:15 est de 8 %, soit un effet d'ombrage très significatif. La somme de toutes les modifications relatives aux flux de rayonnement solaire et IR sous la canopée montre une diminution de près de 50 % du bilan d'énergie de l'arbre comparé à un point situé dans un espace ouvert engazonné non ombragé appartenant au même espace vert. Ces modifications sont dues à l'atténuation moyenne de plus de 93 % de rayonnement solaire incident et réfléchi par le sol par le feuillage, une diminution moyenne de près de 10 % de rayonnement IR émis par le sol vers l'arbre et une augmentation modérée d'environ 12 % du rayonnement IR global reçu et piégé dans la canopée. Ces résultats démontrent que la part d'énergie captée par la canopée arborée qui

pourrait éventuellement accroître l'inconfort des piétons est largement compensée en journée par l'interception du rayonnement solaire.

En dépit de l'incidence limitée à quelques degrés de la couverture arborée sur la température de l'air, les arbres peuvent se révéler cruciaux pour l'amélioration significative du confort thermique. La sensation thermique est le résultat d'une synergie entre la température de l'air et d'autres paramètres climatiques : humidité de l'air, vitesse du vent et flux de rayonnement solaire et IR. Le processus d'évapotranspiration des arbres, de la pelouse et du sol nu accroît localement le flux de chaleur latente, qui à la fois consomme 99 % de l'énergie contre 1% utilisé pour la photosynthèse (Tim R Oke et [al.,1989](#)), rafraîchit et humidifie l'air. De plus, l'interception massive de rayonnement solaire et IR modère le rayonnement incident atteignant les piétons placés au-dessous ou les autres surfaces urbaines et modifie leur bilan radiatif. Même si la vitesse du vent peut s'affaiblir en présence d'arbres, elle dépend tout d'abord de l'orientation de la rue par rapport à la direction du vent dominant. Les travaux de Zölch et al. ([2016](#)) et Monteiro et al. ([2016](#)) illustrent la non-linéarité existant entre l'augmentation de la couverture végétale et l'amélioration du confort thermique en été. Les stratégies d'aménagement appliquées à un quartier de Munich (Allemagne) ont montré une meilleure efficacité des arbres à réduire le stress thermique, suivi des façades végétalisées. Ils préconisent un placement stratégique de la végétation aux endroits les plus exposés au soleil et au plus proche des voies empruntées par les piétons ou des bâtiments à rafraîchir. Les façades végétalisées seront privilégiées dans les quartiers urbains denses. Dans cette typologie de rue, l'impact des arbres de rue sera plus faible à cause du fort ombrage des bâtiments à certains moments de la journée qui limitera le pouvoir d'évapotranspiration des arbres. De plus, il est recommandé de ne pas obstruer les rues étroites pour favoriser leur refroidissement durant la nuit. Ainsi une ventilation suffisante peut être maintenue, facilitant la dispersion des polluants produits par le trafic. Si la rue permet l'installation d'arbres, il est préférable d'opter pour des spécimens grands à faible densité foliaire (Morakinyo, Kong et al.,[2017](#)). Les arbres doivent toujours être placés de façon optimale du côté le plus exposé des rues (en général le côté exposé à l'est), en ciblant les rues larges à faible rapport d'aspect (Coutts, White et al.,[2016](#)). Morakinyo et Lam ([2016](#)) ont estimé que pour des indices foliaires équivalents, les houppiers dont le rapport hauteur/largeur était le plus grand offraient une amélioration du confort thermique supérieure. Les doubles rangées d'arbres sont plus efficaces que les simples lignées. Il faut néanmoins ne pas négliger la conservation d'une ventilation acceptable.

Pour maintenir une capacité optimale de transpiration de la végétation urbaine, la mise en place d'un réseau d'irrigation est souvent nécessaire. Lors d'un stress par manque d'humidité dans le sol ou d'une température de l'air excessive, le flux de chaleur sensible produit par l'arbre est accru au détriment du flux de chaleur latente ; c'est pourquoi il ne faut pas négliger l'effet du stress thermique et hydrique qui contrôle et module la transpiration de la plante (Yoshida et [al.,2009](#)). La

problématique de l'amélioration du confort thermique prodiguée par la végétation en milieu chaud et aride peut être envisagée comme le compromis entre l'économie en énergie réalisée et la consommation d'eau qu'elle exige. Ceci est pertinent dans la mesure où les régions qui subissent de sévères sécheresses ont des politiques de restriction qui limitent l'usage de l'eau pour l'irrigation (Coutts, Tapper et al.,[2013](#)). Cette contrainte hydrique sur la transpiration des plantes doit également être examinée sous d'autres climats pour anticiper le changement de régime des précipitations qui aura lieu avec le dérèglement climatique.

3. Amélioration du confort thermique par la végétation:

L'étude de Lobaccaro et Acero ([2015](#)) montre que l'indice de confort thermique appelé PET, soit *Physiological Equivalent Temperature*, est plus sensible aux variations de rapport d'aspect de la rue que de propriétés thermiques des matériaux. Ces résultats sont corroborés par Chatzidimitriou et Yannas ([2016](#)) et complété par l'analyse de l'effet d'autres stratégies sur le confort thermique. Une couverture arborée totale de l'espace disponible dans un square idéalisé est la mesure la plus efficace, donnant lieu à 15:00 à une baisse de 24°C du PET. L'implantation de points d'eau ou de pelouse abaisse le PET de 10°C. Des résultats similaires ont été trouvés par Ketterer et Andreas Matzarakis ([2014](#)). D'après Morakinyo, Kong et al. ([2017](#)) la différence de PET maximum sous une canopée arborée est de 12 °C dans une aire dégagée. Le potentiel d'amélioration du confort thermique diminue presque de moitié lorsque l'arbre est confiné à une rue. Une étude de Milošević, Bajšanski et Savić ([2017](#)) a montré d'importants bénéfices en terme d'amélioration du confort thermique en simulant à la fois (1) l'optimisation de la position des arbres déjà présents et (2) la plantation de nouveaux arbres dans un quartier de Novi Sad (Serbie). La différence d'UTCI (*Universal Thermal Comfort Index*) observée à positions variées de piétons imaginaires est comprise dans l'intervalle 0.3-0.8°C et 0.6- 1.3°C pour les moyennes journalières avec des maxima de 3.3°C et 3.7°C pour les deux scénarios respectifs. Le premier scénario fournit une amélioration du confort thermique dans 77 % des positions testées. On parviendrait à 84 % de positions concernées dans le cas de plantation d'arbres supplémentaires.

On peut également citer les travaux expérimentaux de Shashua-Bar, David Pearl-mutter et Evyatar Erell ([2011](#)). Ils comparent des niveaux de sensation de stress pour différents aménagements paysagers au sein d'une cour demi-fermée. Ces niveaux de stress sont établis sur la base d'un indice de stress thermique exprimé en W et calculé à partir

d'un modèle d'échange d'énergie du piéton (D. Pearlmutter, Berliner et Shaviv, [2006,2007](#)). Les résultats (Figure [1.11](#)) montrent une amélioration significative du confort thermique en milieu de journée grâce à la végétation arborée.

Configuration	Hour [LST]														
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Open space	4	4	5	6	6	6	6	7	7	7	8	5	4	4	4
Exposed Bare	4	4	4	6	6	6	7	7	7	7	5	4	4	4	4
Exposed Grass	4	4	4	5	5	5	5	5	6	5	4	4	4	4	4
Trees Bare	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	4	4	4	4	4
Trees Grass	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Figure N°45: Comparaison des niveaux de sensation thermique (4=confortable, 5=chaud, 6=très chaud, 7=extrêmement chaud) évaluées dans une cour semi-fermée aménagée selon différents aménagements : sol nu, herbe, sol nu et arbres, herbe et arbres. Source : Shashua-Bar, David Pearlmutter et Evyatar Erell (2011)

Parmi les indicateurs de la sensation de confort thermique la température radiante moyenne (T_{mrt}) est de plus en plus utilisée. Elle décrit la somme des rayonnements en courtes et longues longueurs d'ondes reçus depuis le ciel et les surfaces environnantes pondérés par les facteurs de vue correspondants. Thorsson et al. (2014) rapportent que la température radiante moyenne est un bon indicateur du risque de mortalité sous stress thermique. Grâce à l'effet d'ombrage des arbres, cette variable peut fortement varier dans un paysage urbain arboré. Streiling et Matzarakis (2003) ont observé aux abords de marronniers d'Inde (*Aesculus hippocastanum*) des différences maximales de 2.2°C, une humidité relative d'air légèrement supérieure (+ 5 à 7 %), une réduction du PET autour de 17°C et près du double concernant la T_{mrt} . De même, (H. Lee, Mayer et L. Chen, 2016) ont comparé les effets d'atténuation d'arbres et de végétation au sol. Ils mentionnent une différence de PET similaire pour une différence de température de l'air de 2.7°C et une réduction au-delà de 39°C de la T_{mrt} , contre un abattement de seulement 7.5°C pour la pelouse pour cette même variable.

4. Plantation ponctuelle d'arbres et de végétation:

Pour que les arbres puissent fournir de la fraîcheur, leur bonne croissance est essentielle et peut dépendre de la qualité des sols, de la disponibilité de la ressource hydrique et de l'espace suffisant pour un déploiement racinaire optimal. Un arbre occupant un espace restreint dans le sol n'atteindra pas sa taille maximale et sa durée de vie en sera écourtée (McPherson, 1994).

Une croissance optimale des arbres plantés sur les rues est possible grâce à des aménagements dits cellulaires. Ce type d'aménagement comprend l'utilisation de structures offrant l'espace requis au développement complet des racines sous un recouvrement partiel d'asphalte. Également, le

drainage des eaux de pluie est facilité grâce à la présence d'un sol de qualité. Le coût d'un aménagement cellulaire est environ cinq fois supérieur à celui de la plantation d'un arbre directement en terre (Urban, 2008). À titre indicatif, l'aménagement cellulaire d'un arbre coûterait environ 1 000 \$ à Montréal, y compris le prix de son acquisition, de sa plantation et de son entretien pendant les quatre premières années (Ville de Montréal, 2005). L'installation des aménagements cellulaires demande un personnel qualifié (Urban, 2008).

5. Végétalisation des stationnements:

Les stationnements, construits avec du bitume, un matériau à faible *albédo*, contribuent à la formation des îlots de chaleur urbains (Rosenzweig *et al.*, 2005). Afin de diminuer la chaleur qu'emmagasinent ces surfaces asphaltées et les voitures qui s'y garent, il est conseillé d'aménager de la végétation sur le pourtour (bandes végétalisées) et à l'intérieur (îlots végétalisés) des espaces de stationnements. L'objectif est de créer de l'ombre sur les surfaces asphaltées. L'ombrage des arbres protégera également les revêtements des grandes variations thermiques et prolongera leur durée de vie (McPherson et Muchnick, 2005).

Afin de réduire la température de la surface des stationnements, il est également possible de végétaliser l'entièreté des surfaces au moyen de divers revêtements modulaires composés de béton, de PVC ou d'autres matériaux permettant la croissance de végétaux. Ces modules sont installés sur des sols filtrants, qui favorisent la percolation naturelle de l'eau de pluie dans le sol et qui supportent des charges allant jusqu'à 376 tonnes par mètre carré. Ainsi, cette résistance fait que les voitures peuvent être garées sur les revêtements végétalisés (section 4.3.2) (Communauté urbaine de Lyon, 2008).

6. Végétalisation du pourtour des bâtiments:

Pour une fraîcheur optimale, l'aménagement du pourtour d'un bâtiment doit protéger celui-ci du *rayonnement solaire*. En effet, la texture et la nature des sols entourant le bâtiment en déterminent en partie la température intérieure et extérieure. La végétation permet de garder un sol plus frais et d'éviter le *rayonnement solaire* direct, réfléchi et diffus pouvant affecter la fraîcheur du bâtiment (figure 3) (Akbari *et al.*, 2001).

Afin de maximiser l'ombrage sur le bâtiment, les arbres doivent être disposés sur les faces est, sud-est, sud-ouest et ouest de la maison et idéalement être assez grands pour ombrager le toit en partie ou en totalité. Il est aussi possible d'aménager des treillis, des pergolas, des murs et des toits végétaux qui, juxtaposés aux bâtiments, assurent une température intérieure plus fraîche (Oliva et Courgey, 2006).



Figure N°46: Végétalisation du pourtour du bâtiment

7.Murs végétaux:

Les murs végétaux sont des écosystèmes verticaux qui créent un microclimat abaissant substantiellement la température de l'enveloppe du bâtiment et améliorant le comportement énergétique de celle-ci (Kingsbury et Dunnett, 2008). Ils permettent d'amoindrir les grands écarts de température grâce à l'augmentation de la masse thermique du bâtiment (Jour de la Terre Québec, 2008).

Ces installations végétales possèdent également d'autres avantages tels que la protection de l'enveloppe du bâtiment aux rayons UV, la captation des particules en suspension et le recouvrement des murs par des graffiti. Elles peuvent être mises en place sur tous les types d'édifices et même sur les clôtures, les poteaux de téléphone et les lampadaires. Des précautions sont à prendre quant à l'état de la structure hôte, qui doit supporter le poids de la végétation, et au type de végétation choisie et à ses colonisateurs potentiels (Kingsbury et Dunnett, 2008). L'entretien de la végétation est simple, soit la taille, le désherbage et l'inspection du support (Oliva et Courgey, 2006).

Deux types de murs végétaux existent. D'abord, le mur végétal de façade est un mur recouvert de plantes grimpantes plantées au sol et pouvant grimper jusqu'à 30 m. Un espace minimal de 15 cm sur 15 cm est requis au sol afin d'y mettre en terre la plante. Certaines plantes peuvent grimper directement sur la paroi du mur ou être disposées sur un support métallique (figure 4). Ensuite, le mur vivant est constitué de plants enracinés dans un médium attaché au mur. Cette installation est plus complexe et requiert notamment des membranes imperméables qui éviteront d'humecter le mur (Kingsbury et Dunnett, 2008).

Les plantes adaptées au climat québécois incluent la vigne vierge ou lierre de Boston (*Parthenocissus quinquefolia*) et l'hydrangée grimpante (*Hydrangea petiolaris*). Contrairement aux idées reçues, la végétation grimpante n'abîme pas l'enveloppe du bâtiment, à moins que la paroi ne soit déjà endommagée (exemple : mortier altéré) (Angers, 2007).



Figure N°47: Murs végétaux de façade

8. Toits verts:

Les toits verts réduisent la quantité de chaleur transférée du toit vers l'intérieur du bâtiment grâce à l'évapotranspiration et à l'ombrage créé par les plants. En outre, ils permettent de rafraîchir l'air ambiant extérieur (McPherson, 1994) tout en contribuant à :

- une augmentation de l'isolation thermique en hiver, mais aussi en été, à l'instar d'autres facteurs qui influencent la fraîcheur de l'air intérieur du bâtiment, comme l'inertie thermique de la couverture végétale et l'eau contenue dans la terre ou le revêtement humidifiant;
- une intégration esthétique des bâtiments au paysage;
- la possibilité de faire de l'agriculture urbaine;
- une amélioration de la qualité de l'air. Les plants des toitures végétales fixent les poussières et divers polluants atmosphériques;
- une amélioration de la qualité de l'eau, car la végétation des toitures compense l'imperméabilisation et la perte du couvert végétal engendrées par l'emprise au sol des bâtiments (section 4.3);
- une meilleure durée de vie du toit, du fait que la toiture végétale protège des intempéries, de l'exposition aux rayons UV et des variations importantes de température, autant de facteurs qui entraînent la dégradation du toit (Déoux, 2004; CNRC, 2002; Oberndorfer *et al.*, 2007).

L'installation de végétation sur les toits est une pratique courante dans plusieurs pays du monde, dont l'Allemagne, le Japon et les États-Unis (Lawlor et Société canadienne d'hypothèques et de logement, 2006). Il s'agit d'une pratique de plus en plus utilisée au Québec également (Boucher, 2006). Les toits verts conviennent avant tout aux toits plats ou à pente égale ou inférieure à 20 % (Déoux, 2004), bien que l'installation végétale soit appropriée à tous les types de toits

pourvu que leurs structures permettent d'en supporter le poids. Le cas échéant, l'installation de toitures végétales peut exiger d'importantes rénovations (Fischetti, 2008). Aussi, il est économiquement plus avantageux de prévoir l'installation d'un toit vert dans les constructions neuves (Lawlor et Société canadienne d'hypothèques et de logement, 2006).

Un toit végétal standard est constitué de plusieurs composants, principalement d'une structure portante, d'une couche d'isolation (si la toiture n'est pas ventilée), d'une couche d'étanchéité, d'une membrane antiracine, d'une section de drainage et de filtration, d'une membrane géotextile pour retenir la terre, d'un substrat de croissance et d'une couche végétale ou d'une couche de substrat. La couche végétale est utilisée si l'aspect engazonné ou de type prairie est recherché, alors que la couche d'un substrat permet la plantation surtout de plantes succulentes, de type sedum (Miller, 2009; Lalonde, 2009). La figure 5 présente des exemples de toits végétaux extensifs.



Figure N°48: Toits végétaux extensifs Source : Avec l'aimable autorisation de Léonard, 2009.

Le substrat de croissance (ou terreau) peut être léger, pauvre, absorbant (mélange de billes d'argile expansée ou d'ardoise expansée) et sans engrais. Il est également possible d'utiliser des feutres de rétention d'eau pour des toitures vertes de type extensif (tableau 4) et précultivées. Ces différents substrats réduisent substantiellement le poids du toit végétal (Miller, 2009).

Tableau N°27: Comparaison des toits verts de types extensif et intensif

Caractéristique	Type de toit vert	
	Extensif	Intensif
Poids	Léger Supplément de 30 à 100 kg/m ²	Lourd Supplément de 120 à 350 kg/m ²
Coût	Entre 100 \$ et 150 \$/m ²	Jusqu'à 1 000 \$/m ² . Dépend de l'épaisseur du substrat et des végétaux choisis

Fonction	Écologique Adapté aux grandes superficies (industries)	Usage récréatif; agriculture urbaine Adapté aux petites et moyennes surfaces
Type de substrat	Léger, poreux, peu de matière organique	Léger à lourd, poreux, quantité de matière organique variable
Épaisseur	2 à 20 cm	30 cm et plus
Type de végétation	Végétation résistante au climat rigoureux (par exemple, les plantes de type sedum)	Aucune restriction Type de toit pouvant héberger des arbres
Entretien	Restreint	Modéré Similaire à un jardin classique; désherbage, tonte, ensemencement, arrosage des plants, etc.
Accessibilité	Peu fréquent Pour l'entretien uniquement	Accessible pour loisirs ou jardinage

Sources : Lawlor et Société canadienne d'hypothèques et de logement, 2006; Boucher, 2006; Laplace, 2009; Oberndorfer *et al.*, 2007.

Enfin, plusieurs études ont traité les types de végétaux adaptés aux aménagements extensifs sur les toits (Laplace, 2009). On y note que les plantes de type sedum, les graminées et les plantes vivaces très rustiques seraient très performantes pour les toits extensifs, qui nécessitent des plantes pouvant résister aux variations de température et d'humidité du climat québécois (Miller, 2009; Monterusso *et al.*, 2005).

Conclusion générale:

D'après les différents résultats obtenus, nous avons observé que la température de l'air à l'état initial était élevée. Le changement des albédos des surfaces horizontales et verticales et l'implantation des arbres ont amélioré les conditions microclimatiques, que ce soit au niveau de l'air ambiant ou de l'air dans les couches supérieures au dessus des bâtiments. Il a été noté que l'impact de la végétation (effet de l'ombrage et de l'évapotranspiration) était plus marqué que le changement des albédos des surfaces. Ainsi, on a conclu que la combinaison des deux a le plus grand effet. Donc, agir sur les albédos des surfaces et végétaliser suffisamment sont parmi les solutions à envisager pour assurer le confort thermique des espaces urbains et atténuer l'effet de l'ICU. Les populations urbaines devront s'adapter aux nouvelles conditions climatiques. L'analyse des caractéristiques de la climatologie urbaine incite à comprendre le phénomène de l'ICU, relatif au microclimat urbain, et ensuite éclaircir les mécanismes permettant d'atténuer ses effets.

Dans notre étude de cas sur la ville de Massaada, nous pouvons affirmer pour l'échantillon traité, qu'il existe une relation entre les caractéristiques urbaines du site donné et la variation des conditions microclimatiques sous forme d'ICU. Ceci peut être généralisé pour l'ensemble de l'agglomération de Massaada.

L'ouverture d'esprit de la part des architectes, des urbanistes et des aménageurs à l'intégration de critères climatiques dans leurs pratiques sera bénéfique pour traiter les problèmes plus généraux que sont l'environnement et la qualité de vie et s'intègre parfaitement avec l'esprit d'un développement urbain durable réussi.

Pour révolutionner la conception urbaine au profit du bien-être en ville, deux éléments sont déterminants: Le choix de stratégies d'aménagement durable et des solutions techniques performantes aux bénéfices multiples (environnement, santé publique, intégration paysagère et qualité de vie).

Dans l'ensemble, les recommandations agissent principalement sur les conditions climatiques environnantes des bâtiments, ainsi que sur leur enveloppe extérieure ayant un contact direct avec les radiations solaires. Il ressort de la recension des mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains de nombreuses possibilités de création de fraîcheur en milieu urbain. De manière générale, deux solutions majeures sont proposées. La première est de remplacer les surfaces foncées comme les toits noirs et les routes asphaltées par des surfaces claires et réfléchissantes, ainsi qu'à travers l'utilisation des toitures vertes. La deuxième est d'augmenter la quantité d'espaces verts en milieu urbain et qui repose sur la plantation d'arbres et l'aménagement d'espaces verts. L'implantation de ces mesures permet une diminution des températures et un accroissement du verdissement urbain. Ils permettent également d'améliorer la qualité de l'air, la santé des populations et de modifier l'urbanisation du territoire.

Les effets des ICU sont désormais inévitables. L'atténuation de ces effets sera parmi les grandes préoccupations des générations à l'ère actuelle ou dans le future. L'ICU doit faire l'objet de mesure d'adaptation.

Bibliographie et ressources

- Mills, Evan, Deborah Wilson et Thomas B Johansson (1991). « Getting started : no-regrets strategies for reducing greenhouse gas emissions ». In : *Energy Policy* 19.6, p. 526–542.
- Morakinyo, Tobi Eniolu, Ling Kong, Kevin Ka-Lun Lau, Chao Yuan et Edward Ng (2017). « A study on the impact of shadow-cast and tree species on in-canyon and neighborhood's thermal comfort ». In : *Building and Environment* 115, p. 1–17.
- Morakinyo, Tobi Eniolu, Yun Fat Lam et Song Hao (2016). « Evaluating the role of green infrastructures on near-road pollutant dispersion and removal : Modelling and measurement ». In : *Journal of environmental management* 182, p. 595–605.
- Armson, D, P Stringer et A R Ennos (2013). « The effect of street trees and amenity grass on urban surface water runoff in Manchester, UK ». In : *Urban Forestry and Urban Greening* 12.3, p. 282–286.
- Berland, Adam, Sheri A Shiflett, William D Shuster, Ahjond S Garmestani, Haynes C Goddard, Dustin L Herrmann et Matthew E Hopton (2017). « The role of trees in urban stormwater management ». In : *Landscape and Urban Planning* 162, p. 167–177.
- Nowak, David J, Daniel E Crane et Jack C Stevens (2006). « Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States ». In : *Urban forestry & urban greening* 4.3, p. 115–123.
- Sekabira, K, H Oryemndash, G Mutumba, E Kakudidi, TA Basamba et al. (2011).
« Heavy metal phytoremediation by *Commelina benghalensis* (L) and *Cynodon dactylon* (L) growing in urban stream sediments ». In : *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry* 3.8, p. 133–142.
- Savard, Jean-Pierre L, Philippe Clergeau et Gwenaëlle Mennechez (2000). « Bio-diversity concepts and urban ecosystems ». In : *Landscape and urban planning* 48.3, p. 131–142.
- Taha, Haider, Hashem Akbari et Arthur Rosenfeld (1991). « Heat island and oasis effects of vegetative canopies : micro-meteorological field-measurements ». In : *Theoretical and Applied Climatology* 44.2, p. 123–138.
- Shashua-Bar, Limor, David Pearlmutter et Evyatar Erell (2009). « The cooling efficiency of urban landscape strategies in a hot dry climate ». In : *Landscape and Urban Planning* 92.3, p. 179–186.
- (2011). « The influence of trees and grass on outdoor thermal comfort in a hot-arid environment ». In : *International Journal of Climatology* 31.10, p.1498–1506.
- Oke, Tim R, JM Crowther, KG McNaughton, JL Monteith et B Gardiner (1989).
« The micrometeorology of the urban forest [and discussion] ». In : *Philosophical Transactions of the Royal Society B : Biological Sciences* 324.1223, p. 335–349.
- Coutts, Andrew M, Emma C White, Nigel J Tapper, Jason Beringer et Stephen J Livesley (2016). « Temperature and human thermal comfort effects of street trees across three contrasting street canyon environments ». In : *Theoretical and Applied Climatology* 124.1-2, p. 55–68.

- Coutts, Andrew M, Nigel J Tapper, Jason Beringer, Margaret Loughnan et Matthias Demuzere (2013). « Watering our cities : the capacity for water sensitive urban design to support urban cooling and improve human thermal comfort in the Australian context ». In : *Progress in Physical Geography* 37.1, p. 2–28.
- McPherson, E.G. (1994) *Cooling urban heat islands with sustainable landscapes*. In: The ecological city: preserving and restoring urban biodiversity, Rowntree, R.A., Platt, R.H., Muick, P.C., The University of Massachusetts Press, Amherst, pp. 151-171.
- Urban, J. (2008) *Growing the urban forest*. In : City of Toronto, Tree Symposium: healthy trees for a beautiful city, 20 p.
- Ville de Montréal (2005) *Politique de l'arbre de Montréal*. La Ville, Montréal, 30 p.
- McPherson, E. G., Muchnick, J. (2005) Effect of street tree shade on asphalt concrete pavement performance, *Journal of arboriculture*, Vol. 31, No. 6, pp. 303-310.
- Communauté urbaine de Lyon (2008) *Aménagement et eaux pluviales sur le territoire du grand Lyon : guide à l'usage des professionnels Lyon*. Grand Lyon, communauté urbaine, 51 p.
- Akbari, H., Pomerantz, M., Taha, H. (2001) Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas, *Solar energy*, Vol. 70, pp. 95-310.
- Oliva, J.P., Courgey, S. (2006) *La conception bioclimatique : des maisons économes et confortables en neuf et en réhabilitation*. Terre vivante, 240 p.
- Angers, G. (2007). À la défense des plantes grimpantes. *Journal Le Soleil*, 24 avril 2009.
- Déoux, S., Déoux, P. (2004) *Guide de l'Habitat Sain*. Medieco Editions, 537 p.
- Oberndorfer, E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R.R., Doshi, H., Dunnett, N., Gaffin, S., Köhler, M., Liu, K.K.Y., Rowe, B. (2007) Green roofs as urban ecosystems: ecological structures, functions and services, *BioScience*, Vol. 57, No. 10, pp. 823-833.
- Boucher, I. (2006) Les toits verts, *Urbanité*, septembre, pp. 16-18.
- Fischetti, M. (2008) Green roofs, living cover, *Scientific American*, Vol. 298, pp. 104-105.
- Lawlor, G., Société canadienne d'hypothèques et de logement (2006) *Toits verts : manuel de ressources destiné aux décideurs municipaux*. Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL), Ottawa, 146 p.
- Lalonde, G. (2009) Directeur technique, Association des Maîtres Couvreur du Québec (AMCQ). Entretien téléphonique le 13 mai 2009.
- Miller, R. (2009) Spécialiste horticole. Conférence sur les toitures végétales lors du Salon toits verts et jardins de ville. Entretien téléphonique le 9 avril 2009.
- Laplace, X. (2009) Spécialiste des toitures végétales. Entretien téléphonique le 9 avril 2009.
- Oke T. R., 1978. *Boundary Layer Climates*. London: Methuen & Ltd. A. Halsted Press Book, John Wiley &

Sons, New York, 372 p.

Voogt, J.A.; Oke, T.R. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sens. Environ.* **2003**, *86*, 370–384. [CrossRef]

Oke, T.R. City size and the urban heat island. *Atmos. Environ.* 1967 **1973**, *7*, 769–779. [CrossRef]

Oke, T.R. *Boundary Layer Climates*; Routledge: London, UK, 2002.

Oke, T.R. Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: Comparison of scale model and field

observations. *J. Climatol.* **1981**, *1*, 237–254. [CrossRef]

Oke, T.R.; Mills, G.; Christen, A.; Voogt, J.A. *Urban Climates*; Cambridge University Press: Cambridge,

UK, 2017.

Stewart, I.D.; Oke, T.R. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **2012**,

93, 1879–1900. [CrossRef]

Oke, T. City size and the urban heat island. *Atmos. Environ.* **1973**, *7*, 769–779. [CrossRef]

NUNEZ, M. and OKE, T.R (1977). The energy balance of an urban canyon. *Journal of Applied Météorologie*, Vol 16, n 1, January, pp. 11-19.

OKE, T.R. (1987). *Boundary layer climates*. London and New York : Methuen, Second edition (first edition 1978), 435 p. OKE, T.R. (1987). *Boundary layer climates*. London and New York : Methuen, Second edition (first edition 1978), 435 p.

Oke, T.R.; Mills, G.; Christen, A.; Voogt, J.A. *Urban Climates*; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2017.

Stewart, I.D.; Oke, T.R. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **2012**, *93*, 1879–1900. [CrossRef]

Stewart, I.D.; Oke, T.R.; Krayenho_, E.S. Evaluation of the ‘local climate zone’ scheme using temperature observations and model simulations. *Int. J. Climatol.* **2013**, *34*, 1062–1080. [CrossRef]

Oke, T. City size and the urban heat island. *Atmos. Environ.* **1973**, *7*, 769–779. [CrossRef]

Oke T.R, Nakamura Y. (1988). "*Wind, temperature and stability conditions in an east-west oriented urban canyon*". *Atmospheric Environment* 22: 2691-2700.

Oke, T. R. (1988). "*Street design and urban canopy layer climate*". *Energy and Buildings* 11(1-3), pp. 103--113.

Davenport, A., Grimmond, C., Oke, T. et Wieringa, J. (2000). Estimating the roughness of cities and sheltered country. In *Proceedings of the 12th Conference of Applied Climatology*.

- Grimmond, C., Cleugh, H. et Oke, T. (1991). An objective urban heat storage model and its comparison with other schemes. *Atmospheric Environment*, 25B:311–326.
- Grimmond, C. et Oke, T. (1999). Aerodynamic properties of urban areas derived from analysis of surface form. *Journal of Applied Meteorology*, 38:1262–1292.
- Grimmond, C. et Oke, T. (2002). Turbulent heat fluxes in urban areas : observations and a local-scale urban meteorological parameterization scheme (LUMPS). *Journal of Applied Meteorology*, 41:792–810.
- Grimmond, C., Roth, M., Oke, T., Au, Y., Best, M., Betts, R., Carmichael, G., Cleugh, H., Dabberdt, W., Emmanuel, R., Freitas, E., Fortuniak, K., Hanna, S., Klein, P., Kalkstein, L., Liu, C., Nickson, A., Pearlmutter, D., Sailor, D. et Voogt, J. (2010b). Climate and more sustainable cities : climate information for improved planning and management of cities (producers/capabilities perspective). *Procedia Environmental Sciences*, 1:247–274.
- Masson, V., Gomes, L., Pigeon, G., Lioussé, C., Pont, V., Lagouarde, J., Voogt, J., Salmond, J., Oke, T., Hidalgo, J., Legain, D., Garrouste, O., Lac, C., Connan, O., Briottet, X., Lachéradé, S. et Tulet, P. (2008). The canopy and aerosol particles interactions in Toulouse urban layer (CAPITOUL) experiment. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 102:135–157.
- Masson, V., Grimmond, C. et Oke, T. (2002). Evaluation of the town energy balance (TEB) scheme with direct measurements from dry districts in two cities. *Journal of Applied Meteorology*, 41:1011–1026.
- Noilhan, J., Offerle, B., Oke, T., Pigeon, G., Puygrenier, V., Roberts, S., Rosant, J., Saïd, F., Salmond, J., Talbaut, M. et Voogt, J. (2005). The urban boundary-layer field campaign in Marseille (UBL/CLU- SCOMPTE) : set-up and first results. *Boundary- Layer Meteorology*, 114:315–365.
- Offerle, B., Grimmond, C. et Oke, T. (2003). Parameterization of net all-wave radiation for urban areas. *Journal of Applied Meteorology*, 42:1157–1173.
- Oke, T. (1976). The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands. *Atmosphere*, 14(4):268–277.
- Oke, T. (1987). *Boundary Layer Climate*. Routledge, seconde édition.
- Oke, T. (2004). Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. Rapport technique 81, World Meteorological Organization.
- Oke, T. (2006). Toward better scientific communication in urban climate. *Theoretical and Applied Climatology*, 84:179–190.
- Spronken-Smith, R., Oke, T. et Lowry, W. (2000). Advection and the surface energy balance across an irrigated urban park. *International Journal of Climatology*, 20:1033– 1047.
- Stewart, I. et Oke, T. (2012). Local Climate Zones for urban temperature studies. *Bulletin of American Meteorology Society*, 93:1879–1900.
- Stewart, I., Oke, T. et Krayenhoff, E. (2013). Evaluation of the 'Local Climate Zone' scheme using temperature observations and model simulations. *International Journal of Climatology*, (DOI : 10.1002/joc.3746).

- Vesala, T., Kljun, N., Rannik, U., Rinne, J., Sogachev, A., Markkanen, T., Sabelfeld, K., Foken, T. et Leclerc, M. (2008). Flux and concentration footprint modelling : state of the art. *Environmental Pollution*, 152:653–666.
- Voogt, J., Oke, T., 2003. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sens. Environ.* 86, 370–384. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8).
- Oke, T. R. (1978). *Boundary layer climates*. Routledge.
- TA (1982) The energetic basis of the urban heat island. *Quart J Royal Meteor Soc* 108:124
- GRIMMOND, C. & OKE, T.R (1999). Heat storage in urban areas, local-scale observations and evaluation of a simple model, *J. Appl. Meteorol.* 38, 922-940
- OKE, T.R. (1987). *Boundary layer climates*, Sec Edition, Methuen, London and New and New York.
- OKE, T.R. (1988). Street design and urban canopy layer climate, *Energy and Buildings*, Vol. 11, pp. 103- 113
- OKE, T.R. (1994). Keynote address. Report of the technical conference on tropical urban climates, 28 march- 2 april 1993, Dhaka, Bangladesh, WCASP- 30, WMO- N° 647.
- OKE, T.R. (2006). Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. *Instruments and observing methods WMO/TD*, no.81.
- Voogt, J. A., & Oke, T. (1998). Effects of urban surface geometry on remotely-sensed surface temperature. *International Journal of Remote Sensing*, 19(5), 895-920.
- Blazejczyk K, Tokura H, Bortkiewicz A, Szymczak W 1999: Solar radiation and thermal physiology *in man*.
- [in:] de Dear R J, Kalma J D, Oke T R, Auliciems A (eds), *Biometeorology and urban climatology at the turn of millennium*, Selected papers from the Conf ICB-ICUC'99 (Sydney, 8-12 Nov. 1999), WMO, Geneva, pp. 267-271.

RESUME

La ville est particulièrement concernée par le changement climatique. Elle induit au sein de son territoire, une augmentation des températures. Cette hausse des températures observée et prévue va accroître un phénomène spécifique au milieu urbain qu'est l'îlot de Chaleur Urbain (ICU). L'ICU se caractérise par des températures estivales plus élevées en milieux urbains que dans les zones rurales environnantes. C'est dans un contexte d'adaptation à ce phénomène, le défi majeur de l'urbanisme est de trouver un compromis entre un développement inévitable des villes et un environnement urbain de grande qualité. L'urbanisme durable s'agit de penser de faire la ville autrement, de créer un autre modèle d'aménagement, et d'intégrer de la dimension climatique dans la planification urbaine et de développement urbain. Le travail réalisé dans ce mémoire consistait à déterminer et à évaluer la taille du problème de l'îlot de chaleur dans un quartier appartenant à la ville de Massaad qui souffre de plusieurs problèmes qui nuit au confort des habitants dans leur milieu urbain. Nous avons essayé de trouver le moyen pour améliorer ses conditions microclimatiques à travers les divers scénarios qui ont été élaborés et calculés pour la saison estivale et constitués et simulé par le logiciel GEE. Nos différentes simulations ont montré que le changement des albédos des surfaces et l'implantation des arbres ont amélioré les conditions thermiques du milieu. Donc, pour permettre les meilleurs résultats, il est nécessaire de tenir en compte, à la fois, le plus grand nombre possible de facteurs d'amélioration pour assurer le confort thermique des espaces urbains tout en s'appuyant sur les pratiques de l'urbanisme durable pour atténuer l'effet de l'ICU.

Mots clés : Climatologie, microclimat, îlot de chaleur, urbain, urbanisme durable, fraîcheur, Confort thermique, végétation, Massaad.

ABSTRACT

The city is particularly concerned by climate change. It induces within its territory, an increase in temperatures. This increase in observed and projected temperatures will increase a phenomenon specific to the urban environment that is the urban heat island (UHI). The UHI is characterized by higher summer temperatures in urban areas than in surrounding rural areas. It is within a context of adaptation to this phenomenon, that the major challenge of urbanism is to find a compromise between an inevitable development of cities and a high urban environment quality. Sustainable urban planning is about thinking the city differently, creating another model of planning, and integrating the climate dimension into urban planning

and urban development. The present work aims in determining and evaluating the size of the heat island problem in a neighborhood belonging to the city of Massaad, which suffers from several problems that affect the comfort of the inhabitants in their urban environment. We have tried to find a way to improve its microclimatic conditions through the various scenarios that were developed and calculated for the summer season and built and simulated by EGG software. Our different simulations have shown that the change of surface albedo and the implantation of trees have improved the thermal conditions of the environment. So, to allow the best results, it is necessary to take into account, at the same time, the greatest possible number of factors of improvement to ensure the thermal comfort of the urban areas with reference to the practices of the urbanism to mitigate the effect of UHI.

Key words: Climatology, microclimate, heat island, urban, sustainable town planning, freshness, Thermal comfort, vegetation, Massad.

المدينة معنية بشكل خاص بالتغير المناخي. إنها تسبب داخل إقليمها، تزيادا في درجات الحرارة. هذا الارتفاع في درجات الحرارة المرصودة والمتوقعة ستنمي ظاهرة خاصة بالبيئة الحضرية التي هي جزيرة الحرارة الحضرية. تتميز جزيرة الحرارة الحضرية بدرجات حرارة صيفية أكثر ارتفاعا في المناطق الحضرية منه في المناطق الريفية المحيطة. وفي سياق التكيف مع هذه الظاهرة، يتمثل التحدي الرئيسي لتخطيط المدن في إيجاد حل وسط بين التنمية الحتمية للمدن والبيئة الحضرية ذات الجودة العالية. يتمثل تخطيط المدن المستدام في التفكير في المدينة بطريقة أخرى، خلق نموذج آخر للتخطيط، وإدماج البعد المناخي في التخطيط الحضري والتنمية الحضرية. تألف العمل في هذه الرسالة من تحديد وتقييم حجم مشكلة جزيرة الحرارة في حي تابع لمدينة مسعد ، والذي يعاني من عدة مشاكل تضر براحة السكان في بيئتهم الحضرية. لقد حاولنا إيجاد طريقة لتحسين ظروف المناخ المحلي من خلال السيناريوهات المختلفة التي تم وضعها وحسابها لموسم الصيف، وبنائها ومحاكاتها بواسطة برنامج EGG . لقد بينت عمليات المحاكاة المختلفة التي أجريناها أن تغير بياض الأسط وغرس الأشجار قد حسن نا الظروف الحرارية للبيئة . إذا ، للسماح بأفضل النتائج، من الضروري الأخذ بعين الاعتبار ، في آن واحد ، أكبر عدد ممكن من عوامل التحسين لضمان الراحة الحرارية للفضاءات الحضرية استنادا إلى تخطيط المدن المستدام للتخفيف من تأثير جزيرة الحرارة الحضرية.

الكلمات المفتاحية: علم المناخ، المناخ المحلي، جزيرة الحرارة، حضري، تخطيط المدن المستدام، حيوية، البياض، النباتات، مسعد.