

République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de
l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 8 Mai 1945 Guelma



Faculté des Sciences et de la Technologie Département
d'Architecture
Laboratoire de Génie Civil et Hydraulique (LGCH)

THÈSE
EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
DOCTORAT EN 3^{ème} CYCLE (LMD)

Domaine : Architecture, Urbanisme et Métiers de la Ville. Filière : Architecture
Spécialité : Projet urbain et architecture durable

Présentée par

KHELIFA Fatma

Intitulé

**Paramétrage de microclimat urbain par la végétation et les plans
d'eau. Cas de la ville Souk Ahras**

Soutenue le : 26-09-2024

Devant le Jury composé de :

Nom et Prénom	Grade		
LAZRI Yousef	Professeur	Univ. de Guelma	Président
MAHIMOUD Aissa	Professeur	Univ. de Constantine 3	rapporteur
HANAFI Abdelhakim	M.C.A	Univ. de Batna 1	rapporteur
ALKAMA Djamel	Professeur	Univ. de Guelma	Examineur
CHERAITIA Mohammed	M.C.A	Univ. de Guelma	Examineur
DEBBACHE Samira	Professeur	Univ. de Constantine 3	Examineur

Année Universitaire : 2023/2024

Dédicace

À ma famille bien-aimée,

Je vous dédie cette thèse en raison de votre soutien indéfectible, de votre foi en mes capacités et de votre amour inconditionnel. Durant l'ensemble de mon parcours académique.

J'ai été motivé par votre soutien indéfectible. Votre soutien m'a motivé à poursuivre mes objectifs, et votre persévérance combinée a donné naissance à cette thèse.

À mes parents, qui m'ont toujours incité à viser haut et à avoir foi en moi. Mes réussites reposent sur votre amour et votre soutien.

Auprès de mon frère, mes sœurs, ma cousine donia et le petit Yousef qui m'ont soutenu durant de cette aventure, avec ses hauts et ses bas. Votre compréhension et vos encouragements m'ont donné la volonté de surmonter les moments difficiles.

À ma famille élargie, merci pour votre fierté et votre soutien inébranlable depuis ma naissance.

Je vous adresse cette thèse en signe de gratitude pour votre amour, vos encouragements et votre soutien qui ont influencé mon cheminement et m'ont conduit à ce point de ma vie.

Avec beaucoup d'amour,

Remerciements

Dans un premier temps, je souhaite exprimer ma reconnaissance envers Dieu Tout-Puissant pour m'avoir donné la patience, la volonté requises pour réaliser cette thèse.

Par la suite, je souhaite exprimer ma sincère reconnaissance envers les nombreuses personnes qui ont sans aucun doute contribué à la réalisation de cette contribution scientifique. Je tiens à exprimer ma profonde gratitude :

À mon encadrant, le Pr. MAHIMOUD Aissa, pour ses conseils avisés, ses observations perspicaces, sa confiance, sa patience et son soutien généreux tout au long de ces années ont considérablement enrichi mon expérience de recherche.

À mon Co-encadrant, le Dr .HANAFI Abdelhakim, je tiens à exprimer ma gratitude pour ses commentaires, ses conseils, sa disponibilité ininterrompue et les multiples soutiens qu'il m'a prodigués.

Au professeur ALKAMA Djamel pour son constante orientation, son monitoring inestimable et son soutien infaillible tout au long de cette aventure. Vous avez joué un rôle crucial en encourageant ma progression en tant que chercheuse.

Je souhaite vous remercier chaleureusement, messieurs et mesdames les membres du jury, d'avoir consenti à examiner ce travail modeste.

J'exprime ma profonde gratitude envers vous monsieur KHELFA Imed Eddine, docteur en architecture écologique et durabilité au département d'architecture à l'université de Guelma pour son présence ininterrompue, son soutien inconditionnel tout au long de cette aventure.

Résumé :

Face aux changements rapides du climat mondial, le rôle des villes dans la réduction des changements climatiques et dans la prise en compte aux répercussions néfastes de ce changement suscite une grande préoccupation. Etant donné l'effet de superposition des variations du microclimat dues à l'effet d'îlot de chaleur urbain ICU, l'importance de rendre l'espace urbain, attrayant et accessible présente le double avantage d'atténuer le changement climatique par l'amélioration de confort thermique extérieur et d'apporter des divers avantages. L'objectif de cette étude est d'analyser comment la végétation urbaine et les plans d'eau influencent le microclimat urbain et améliorent le confort thermique extérieur à la ville de Souk Ahars. Afin de résoudre le problème soulevé, nous avons réalisé une investigation sur terrain le long d'un parcours urbain comprenant cinq espaces publics, d'où nous avons utilisé différentes méthodes pour atteindre l'objectif visé.

Deux techniques ont été utilisées pour recueillir un maximum d'informations sur les différents espaces étudiés ; une enquête par questionnaire et une série des campagnes de mesures suivies par une modélisation numérique par le logiciel Rayman 1.2 ; d'où l'objectif était d'en savoir plus sur la réalité à propos de l'espace urbain, en particulier en ce qui concerne la corrélation entre l'utilisation des individus et les bénéfices qu'il propose, et d'analyser le confort thermique à l'extérieur et d'étudier l'influence des arbres et des plans d'eau existants sur son amélioration pendant l'été, par le calculer des différents indices thermiques.

La recherche a démontré que la présence d'arbres a un impact clair sur la température de l'air T_a , le taux d'humidité relative RH et la vitesse du vent dans tous les espaces publics choisis, grâce à le processus d'évaporation. Cela met en évidence son aptitude à diminuer l'effet de l'ICU et à améliorer le confort thermique, ce qui explique pourquoi les indices de confort thermique tels que le SVF, la PET et l'OUT-SET ont démontré l'impact positif des arbres sur ce dernier.

En d'autres termes, selon les analyses des facteurs métrologiques les plans d'eau régulent l'environnement urbain par la transmission convective de la chaleur et l'évaporation, bien que ces processus améliorent le confort thermique extérieur, leur effet est généralement moins important que celui des arbres, comme l'ont confirmé les résultats de questionnaire.

Mots clés : îlot de chaleur urbain, microclimat, Souk Ahras, espace public, confort thermique extérieur, végétation urbaine, plans d'eau, indices thermiques.

Abstract:

In the face of a rapidly changing global climate, the role of cities in mitigating climate change and adapting to its negative consequences is receiving a great deal of attention. Given the superimposed effect of microclimate variations due to the urban heat island effect (UHI), the importance of making urban space attractive and accessible has the dual advantage of mitigating climate change by improving outdoor thermal comfort and bringing various benefits.

Two techniques were used to gather as much information as possible on the different spaces studied: a questionnaire survey and a series of measurement campaigns followed by digital modelling using Rayman 1.2 software; the aim was to find out more about the reality of urban space, particularly in terms of the relationship between the way people use it and the benefits it offers, as well as to study outdoor thermal comfort and examine the impact of existing trees and water features on improving outdoor thermal comfort during summer overheating by calculating various thermal indices.

The results of the study showed that the presence of trees has a very clear effect on air temperature T_a , relative humidity RH and wind speed V_a in all the selected public spaces, thanks to the evaporation process. This illustrates its ability to reduce the impact of UHI and improve thermal comfort; hence thermal comfort indices such as SVF, PET and OUT-SET showed the positive effect of trees on the latter.

In other words, according to analyses of metrological factors, water bodies regulate the urban environment through convective heat transmission and evaporation. Although these processes improve outdoor thermal comfort, their effect is generally less significant than that of trees, as confirmed by questionnaire results.

Key words: urban heat island, microclimate, Souk Ahras, public space, outdoor thermal comfort, urban vegetation, water bodies, thermal indices.

ملخص:

في مواجهة التغيرات السريعة في المناخ العالمي، يحظى دور المدن في التخفيف من تغير المناخ والتكيف مع العواقب السلبية لهذه التغييرات باهتمام كبير. نظرًا لتأثير تراكم التغيرات المناخية بسبب تأثير الجزيرة الحرارية الحضرية، فإن أهمية جعل المساحة الحضرية جذابة ويمكن الوصول إليها لها فائدة مزدوجة تتمثل في التخفيف من تغير المناخ من خلال تحسين الراحة الحرارية الخارجية وتوفير مزايا مختلفة.

تم استخدام تقنيتين لجمع أكبر قدر ممكن من المعلومات عن المساحات المختلفة التي تمت دراستها؛ الاستبيان وسلسلة من القياسات المصاحبة متبوعة بالنمذجة الرقمية باستخدام برنامج Rayman 1.2؛ ومن هنا كان الهدف التعرف أكثر على واقع الفضاء الحضري، خاصة فيما يتعلق بالعلاقة بين طريقة استخدام الناس له والفوائد التي يقدمها، وكذلك دراسة الراحة الحرارية الخارجية ودراسة تأثير الأشجار و المسطحات المائية الموجودة على تحسين الراحة الحرارية في الهواء الطلق أثناء ارتفاع درجة الحرارة في الصيف عن طريق حساب المؤشرات الحرارية المختلفة.

أظهرت نتائج الدراسة أن وجود الأشجار له تأثير واضح جداً على درجة حرارة الهواء، ومعدل الرطوبة النسبية وسرعة الرياح في جميع الأماكن العامة المختارة، وذلك بفضل عملية التبخر. وهذا ما يوضح قدرتها على تحسين الراحة الحرارية وهو ما أثبتته قياسات مؤشرات الراحة الحرارية.

بمعنى آخر، وفقاً لتحليلات العوامل المناخية، تنظم المسطحات المائية البيئة الحضرية من خلال نقل الحرارة والتبخر بالحمل الحراري، ورغم أن هذه العمليات تعمل على تحسين الراحة الحرارية الخارجية، إلا أن تأثيرها بشكل عام أقل أهمية من تأثير الأشجار، كما تؤكد نتائج الاستبيان.

الكلمات المفتاحية: الجزيرة الحرارية الحضرية، المناخ المحلي، سوق أهراس، الفضاء العام، الراحة الحرارية الخارجية، الغطاء النباتي الحضري، المسطحات المائية، المؤشرات الحرارية

SOMMAIRE :

Dédicace.	
Remerciements.	
Résumé.....	i
Abstract.....	ii
الملخص.....	iii
Sommaire.....	vi
Liste des abréviations	xiv
Liste des figures.....	xv
Liste des tableaux	xxiii

Chapitre introductif

1. Introduction générale.....	1
2. Problématique	2
3. Hypothèses.....	4
4. Objectifs	4
5. Méthodologie de la recherche	4
6. Etat de l'art	5
6.1 Les villes sous l'influence du changement climatique	5
6.2 La végétation et les plans d'eau pour la régulation de microclimat et l'amélioration de confort thermique extérieur	9
6.3 L'analyse de l'environnement thermique extérieur.....	15
7 Structure de thèse	17

Chapitre 1 : climat, microclimat, changement climatique et îlot de chaleur urbain

Introduction.....	20
I.1 Climat et climatologie	21

I.1.1 La climatologie.....	21
I.1.2 Le climat	21
I.1.3 Système climatique et ces composants.....	21
I.1.4 Classification du climat	23
I.1.5 Les caractéristiques des principaux climats terrestres	24
I.2 Le microclimat urbain	26
I.2.1 Notion de microclimat urbain	26
I.2.2 Les paramètre influençant le microclimat urbain	27
I.3 Ville et changement climatique : contexte et enjeux.....	29
I.3.1 Le Changement climatique	29
I.3.2 Les causes de changement climatique	30
I.3.3 Les effets de changement climatique	32
I.4 Ilot de chaleur urbain ICU : concepts et adaptation.....	33
I.4.1 Le climat urbain	33
I.4.2 La couche limite atmosphérique urbaine (Planetary Boundary Layer PBL).....	34
I.4.3 La couche limite urbaine (Urban Boundary Layer UBL).....	35
I.4.4 La canopée urbaine (Urban Canopy Layer UCL)	35
I.4.5 Définition d’îlot de chaleur urbain ICU	35
I.4.6 Les causes et les facteurs contribuant à la formation des îlots de chaleur urbain ICU.....	38
I.4.7 Les conséquences d’îlot de chaleur urbain ICU	43
I.4.8 Stratégies d’adaptation des villes face aux effets d’îlot de chaleur urbain ICU.....	45
Conclusion	49
 <i>Chapitre 2 : confort thermique extérieur ; entre évaluation traitement et gestion</i>	
Introduction	50

II. 1 Le confort thermique	50
II.1.1 Définition de confort	50
II.1.2 Définition de confort thermique	51
II.1.3 La sensation thermique.....	52
II.1.4 Les échanges thermiques de corps humain avec le milieu urbain environnant	52
II.1.5 Les facteurs influençant le confort thermique	54
II.1.5.1 Facteurs environnementaux	54
II.1.5.2 Facteurs personnelles.....	57
II.1.6 Les normes de confort thermique : ASHRAE Standard 55 et ISO 7730	58
II.2 L'évaluation de l'environnement thermique extérieur	59
II.2.1 Méthodes et outils.....	59
II.2.2 Les cartes bioclimatiques comme un outil d'analyse des caractéristiques climatiques locales en termes de confort thermique	60
II.2.3 Les indicateurs d'évaluation de confort thermique extérieur.....	61
II.2.4 Outils numériques d'évaluation thermique extérieure.....	66
II.3 Techniques d'optimisation de l'ambiance thermique extérieure.....	73
II.3.1 La géométrie urbaine et son rôle thermique régulateur	73
II.3.2 La végétation urbaine et son rôle thermique régulateur.....	74
II.3.3 Les surfaces réfléchissantes et l'amélioration de confort thermique extérieur.....	74
II.3.4 Les plans d'eau et l'optimisation des conditions thermiques extérieurs	74
Conclusion.....	75

Chapitre 3 : la végétation et les plans d'eau comme régulateur thermique extérieur

Introduction.....	79
III.1 L'espace public urbain : concepts et usages	79
III .1.1 L'espace et le lieu	79

III .1.2 L'espace public entre concept et définition.....	80
III.1.3 L'espace public et ses aspects.....	81
III.1.4 L'importance des espaces publics	82
III.1.5 Les différents aspects de l'espace public	83
III.1.6 Classification des espaces publics	84
III.1.7 Classification des activités déroulant dans les espaces publics.....	86
III.1.8 L'espace publics et le développement durable	87
III.1.9 L'espace public et le confort.....	88
III.2 La végétation urbaine comme régulateur thermique en milieu urbain	89
III.2.1 Définitions de l'espace vert.....	90
III.2.2 La typologie de l'espace vert	90
III.2.3 Chevauchement entre l'espace vert et l'espace public.....	91
III.2.4 Le rôles des espaces verts urbains	92
III.2.4.1 Effets directs de la végétation	94
III.2.4.2 Effets indirects de la végétation.....	95
III.2.5 L'effet de la végétation urbaine sur les paramètres de microclimat urbain.....	96
III.2.6 Relation entre végétation et confort thermique extérieur.....	99
III.3 Les plans d'eau comme une stratégie de régulation thermique dans la ville	103
III.3.1 Plans d'eau et espaces bleu.....	103
III.3.2 L'effet de refroidissement de l'évaporation des plans d'eau.....	104
III.3.3 L'effet de la capacité thermique des plans d'eau	105
III.3.4 Les plans d'eau et le confort thermique extérieur	106
Conclusion	107
<i>Chapitre 4: Étude approfondie du cadre environnemental de la ville de Souk Ahars</i>	
Introduction.....	108

IV.1 Le climat en Algérie	108
IV.1.1 Caractéristiques climatiques général.....	108
IV.1.2 Introduction aux différentes zones bioclimatiques de l'Est algérien.....	109
IV.2 Présentation de la ville de Souk Ahras	110
IV.2.1 La situation géographique	110
IV.2.2 Relief et Géologie.....	111
IV.2.3 Caractéristiques altimétriques	111
IV.2.4 Réseau hydrographique.....	112
IV.2.5 La densité arborée.....	113
IV.2.6 Aperçu sur le climat.....	114
IV.2.6.1 La température	115
IV.2.6.2 Les précipitations	115
IV.2.6.3 L'humidité	116
IV.2.6.4 Les vents	117
IV.2.6.5 Synthèse climatique.....	117
IV.3 L'évolution historique et l'expansion urbaine de la ville de Souk Ahras.....	120
IV.3.1 La ville de Souk Ahras avant la colonisation.....	120
IV.3.2 Le camp militaire ; du village a la ville : de 1843 à 1870.....	120
IV.3.3 L'extension urbaine du 1870-1962	123
IV.3.4 Après 1962:La dispersion urbaine	124
IV.3.5 Les Z.H.U.N et les Lotissements	125
IV.3.6 L'expansion urbaine entre 1990 et 2005 au sein des instruments d'urbanisme PDAU et POS	126
IV.4. Les espaces publics à la ville de souk ahars.....	128

IV.4.1 La végétation et les plans d'eau dans la ville de souk ahars	131
Conclusion	136

Chapitre 5:matériel et méthodes

Introduction.....	137
V.1 Présentation de corpus d'étude.....	137
V.1.1 Les critères de choix	137
V.1.2 La placette de l'indépendance	138
V.1.3 L'esplanade de chaabani.....	139
V.1.4 Jardin publics Baoulo.....	140
V.1.5 Place E-Serdouk.....	141
V.1.6 Le jardin communal	142
V.2 Processus méthodologiques	145
V.2.1 L'investigation sur terrain	146
V.2.2 L'enquête par questionnaire	146
V.2.3 La campagne de mesure	148
V.2.3.1 Les instruments de mesures	149
V.2.3.2 Le protocole de mesures	151
V.2.4 Processus de modalisation (modèle Rayman)	154
V.2.4.1 Les étapes de modélisation	156
Conclusion	157

Chapitre 6 : Résultats et discussion

Introduction.....	159
VI.1Les résultats obtenus de l'enquête par questionnaire.....	159
VI.1.1 Selon le genre et la moyenne d'âge	159

VI.1.2 Selon la fonction et le niveau d'éducation, usage, fréquentation de l'espace public et durées de visite	160
VI.1.3 Selon le confort et la satisfaction de l'environnement thermique	162
VI.1.4 Selon les composants naturels de l'environnement physique.....	168
VI.2 L'évaluation de l'effet des arbres sur la configuration de microclimat urbain et l'amélioration de confort thermique extérieur a la ville de souk ahars	169
VI.2.1 L'analyse des différentes mesures microclimatiques effectuées sur les quatres sites d'intervention.....	170
VI.2.2 Évaluation des niveaux de facteur de visibilité du ciel SVF et de stress thermique	173
VI.2.3 L'évaluation de l'effet des plans d'eau dans la régulation de microclimat urbain et l'amélioration le confort thermique extérieur à la ville de souk ahars	183
VI.2.4 L'analyse de l'impact des plans d'eau sur la température de l'air T_a	184
VI.2.5 L'analyse de l'impact des plans d'eau sur l'humidité relative	187
VI.2.6 L'analyse de l'effet des plans d'eau sur la vitesse de vent	189
VI.3 Comparaisons et discussions des résultats	191
VI.3.1 Les facteurs influencent le confort humain thermique extérieur	191
VI.3.2 La contribution des arbres à l'optimisation des conditions environnementales et du confort thermique extérieur.....	192
VI.3.3 La contribution des plans d'eau dans l'optimisation des facteurs environnementales et du confort thermique extérieur.....	194
Conclusion.....	195
<i>Conclusion générale</i>	
1. Conclusion générale.....	197
2. Limites de recherche	201

3. Perspectives futures202

Liste bibliographique

Les annexes

LISTE D'ABREVIATIONS

<i>ASHRAE</i>	<i>American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers</i>
<i>Ta</i>	<i>Temperature d'air</i>
<i>RH</i>	<i>Humidité relative</i>
<i>Va</i>	<i>Vitesse d'air</i>
<i>Tmrt</i>	<i>Temperature moyenne radiante</i>
<i>ICU</i>	<i>Ilot de chaleurs urbain</i>
<i>PMV</i>	<i>Predicted Mean Vote</i>
<i>PDD</i>	<i>Predicted Percentage of Dissatisfied</i>
<i>PET</i>	<i>Physiological Equivalent Temperature</i>
<i>SET</i>	<i>Standard Effective Temperature</i>
<i>UTCI</i>	<i>Universal Thermal Climate Index</i>
<i>OUT-SET</i>	<i>Outdoor Standard Effective Temperature</i>
<i>MTSV</i>	<i>The Mean Thermal Sensation Vote</i>
<i>SVF</i>	<i>Sky view factor</i>
<i>PBL</i>	<i>Planetary Boundary Layer</i>
<i>UBL</i>	<i>urban boundary Layer UBL</i>
<i>UCL</i>	<i>Urban Canopy Layer UCL</i>
<i>SUHI</i>	<i>Surface urban heat island</i>
<i>CUHI</i>	<i>Canopy layer urban heat island</i>
<i>PTJ</i>	<i>Température perçue</i>
<i>TSV</i>	<i>Thermal sensation vote</i>
<i>BUHI</i>	<i>Boundary layer urban heat island</i>
<i>SPSS</i>	<i>Statistical package for the social sciences</i>
<i>OM</i>	<i>Organization météorologique</i>

LISTE DES FIGURES

<i>Figure I.1: les composantes du système climatique, leurs processus et de leurs interactions</i>	22
<i>Figure I.2: Carte mondiale de la catégorisation climatique selon le climatologue allemand Köppen-Geiger</i>	24
<i>Figure I.3: Facteurs généraux responsables du microclimat d'une région</i>	28
<i>Figure I.4: Le fonctionnement de l'effet de serre sur la Terre</i>	30
<i>Figure I.5: Les éruptions volcaniques dans l'atmosphère</i>	31
<i>Figure I.6: Conséquences anticipées du changement climatique mondial sur la santé humaine</i>	32
<i>Figure I.7: Illustration graphique de la limite atmosphérique urbaine à différentes échelles spatiales</i>	34
<i>Figure I.8: La variation du profil de vitesse lorsque l'air s'écoule d'une surface lisse vers une surface plus rugueuse</i>	35
<i>Figure I.9: La fluctuation de la température de l'air à travers une zone urbaine</i>	36
<i>Figure I.10: Types d'ICU</i>	37
<i>Figure I.11: Principales causes de l'effet d'îlot de chaleur urbain</i>	41
<i>Figure I.12: Description du transfert de chaleur et de masse dans le canyon urbain</i>	42
<i>Figure I.13: Les sources de chaleur anthropiques dans la ville</i>	42
<i>Figure I.14: Comment se produit d'ICU</i>	43
<i>Figure I.15: Les effets d'ICU</i>	43
<i>Figure I.16: Le processus d'augmentation de la consommation d'énergie</i>	44
<i>Figure I.17: Différents Types de bâtiments et des caractéristiques du sol qui peuvent leur être ajoutées selon la classification de la zone climatique locale (LCZ) de Stewart et Oke</i>	46
<i>Figure I.18: L'effet de surface frais sur l'ICU par le biais de la température ambiante</i>	47
<i>Figure I.19: Mécanismes de refroidissement liés à la végétation urbaine dans l'environnement urbain</i>	48
<i>Figure I.2021: Les divers processus impliqués dans les toits traditionnels et les toits verts</i>	49

Figure II 1: Les échanges thermiques de corps humain avec l'environnant.....	53
Figure II.22: Les facteurs influençant le confort thermique.....	54
Figure II.23: Les lignes de température sèche.....	55
Figure II.24: La température du thermomètre mouillé.....	55
Figure II.25: Le niveau de température du point de rosée.....	56
Figure II.26: Isolation des vêtements.....	57
Figure II.27: Taux métabolique pour des tâches typiques.....	58
Figure II.28: La carte bioclimatique d'Olgay.....	60
Figure II.29: La carte bioclimatique de Givoni.....	61
Figure II.10: La gradation de la perception thermique selon l'indice PMV.....	62
Figure II.30: Les plages de valeurs PET.....	63
Figure II.31 : L'échelle d'Humidex et le degré de confort.....	64
Figure II.32: La SVF a été calculée en trois dimensions, β représentant l'angle entre le point central et la barrière la plus haute. (f) SVF dans un canyon routier bidimensionnel La hauteur du bâtiment est H , tandis que la largeur de la rue est W	65
Figure II.33: La fenêtre principale du logiciel Rayman.....	66
Figure II.34: Fenêtre d'entrée pour les bâtiments a gauche et pour les arbres a droite.....	67
Figure II.35: Fenêtre de saisie pour le dessin libre et l'importation de photographies de Fish eye.....	67
Figure II.36: Les modules couplés de SOLENE à SOLENE-microclimat	68
Figure II.37: Géométrie hémisphérique représentant le ciel.....	69
Figure II.38: Répartition de la vitesse du vent.....	70
Figure II.20: La Structure de base des données ENVI-met.....	71

Figure II.39 : La variété d'utilisations de la plate-forme de surface SOURCEX.....	71
Figure II.40: Représentation schématique du canyon urbain par TEB.....	72
Figure III .1: Les dimensions des espaces publics.....	82
Figure III.2: Les aspects de l'espace publics.....	83
Figure III.3: Classification des espaces publics	86
Figure III.41: Les espaces publiques et le développement durable.....	88
Figure III.5: Les facteurs influencent la sensation de confort.....	88
Figure III.6: Les indices de confort des espaces publics.....	89
Figure III.7: Chevauchement entre l'espace vert et l'espace public.....	91
Figure III.8: Exemples des espaces verts urbain et de leur contribution potentielle à la santé et au bien-être des citoyens.....	93
Figure III.9: l'importance de verdure urbaine pour la durabilité des milieux urbains.....	94
Figure III.10: Absorption, transmission et réflexion des feuilles.....	95
Figure III.11: Échanges énergétiques diurnes entre un arbre et l'environnement urbain.....	96
Figure III.12: Effet des arbres sur le rayonnement solaire.....	97
Figure III.13 : Rôle des arbres et arbustes dans la modération des vents.....	97
Figure III.14: Processus d'évapotranspiration par lequel les plantes prélèvent l'eau du sol par leurs racines et la rejettent par leurs feuilles.....	99
Figure III.15: L'effet rafraîchissant des arbres.....	100
Figure III.16: Le mécanisme de refroidissement du toit vert.....	101
Figure III.17: Schéma de différents systèmes de verdure verticale.....	102
Figure III.18: Aperçu schématique des mécanismes de refroidissement d'un mur verts et de leurs paramètres déterminants.....	102
Figure III.19: Cycle diurne d'évaporation des plans d'eau	105
Figure III.20: Description schématique de l'hétérogénéité de l'effet de refroidissement de l'eau.....	106
Figure IV.1: Les étages climatiques de l'Algérie.....	108
Figure IV.2: Les zones bioclimatiques de l'est algérien.....	109
Figure IV.3: Géolocalisation de la wilaya de souk Ahras.....	110

Figure IV.4: Cartographie du réseau hydrique dans la région de Souk Ahras.....	112
Figure IV.5: Les eaux de surface présentée par le barrage d'Ain Dalia et Foum el Khenga.....	113
Figure IV.6: Le potentiel forestier de Souk Ahras.....	114
Figure IV.7: Températures moyennes mensuelles de la région de Souk-Ahras durant la période 1996-2018	115
Figure IV.8: Les données des précipitations mensuelles (mm) pour la région de Souk-Ahras durant la période 1996-2018.....	116
Figure IV.9: Humidité mensuelles (%) de la région de Souk-Ahras durant la période 1996-2018.....	116
Figure IV.10: Vitesse de vent (km/h) de la région de Souk-Ahras durant la période 1996-2018.....	117
Figure IV. 11: Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN de la station de Souk-Ahras (Période 1986-2004).....	118
Figure IV.12: La position de la wilaya de souk ahars dans le climagramme d'Emberger.....	119
Figure IV.13: Le grand bordj.....	121
Figure IV.14: Ville de Souk Ahras en 1870.....	122
Figure IV.15: La place de Taghaste.....	122
Figure IV.16: Le développement de la ville de Souk Ahars durant 1870 - 1962.....	123
Figure IV.17: Faubourg Saint.....	124
Figure IV.18: Le développement de la ville de Souk Ahars durant 1962-1970.....	125
Figure IV.19 : Le développement de la ville de Souk Ahars durant 1970-1990.....	126
Figure IV.20: Le développement de la ville de Souk Ahars durant 1990 – 2003.....	127
Figure IV.21: Les espaces publics datent de l'époque coloniale.....	129
Figure IV.22: La placette de l'indépendance (placette de Taghaste).....	130
Figure IV.23: L'esplanade de 1 er novembre- ville de Souk Ahras.....	130
Figure IV.24: Jardin Zerkaoui Abed salam Ben tayeb- ville de souk ahars.....	131

Figure IV. 25: Parc urbain Souk Ahras	131
Figure IV.26: L'arbre de frêne a la ville de Souk Ahars.....	132
Figure IV.27: Les types de feuilles de frênes.....	132
Figure IV.28: Les plans d'eau au sein des espaces extérieur des villes	135
Figure IV.29: L'insertion des fontaines classiques dans le réaménagement de la placette de l'indépendance.....	135
Figure V.1: Les places publiques choisis	138
Figure V.3: Les arbres et les plans d'eau existés dans la placette de l'indépendance.....	139
Figure V.4: L'esplanade de chaabani	139
Figure V.5: Les arbres et les plans d'eau existés dans l'esplanade de chaabani.....	140
Figure V.6: Le jardin public Baoulo.....	140
Figure V.7: Les arbres existés dans le jardin publics Baoulo.....	141
Figure V.8: La place E-Serdouk.....	141
Figure V.9: Les arbres existés dans la place E-Serdouk	142
Figure V.42: Le jardin communal.....	142
Figure V.43: Les arbres et les plans d'eau existés dans le jardin communal.....	143
Figure V.12: Distribution de la végétation et du revêtement de sol dans les espaces publics choisis.....	143
Figure V.13: Le revêtement de sols de la placette de l'indépendance	144
Figure V.44: Le revêtement de sols de l'esplanade de chaabani, jardin public Baoulo et le jardin communal.....	144
Figure V.15: Le revêtement de sols de la place E-Serdouk	145
Figure V.16: Le cadre conceptuelle de la recherche.....	146
Figure V.18: Gestion des données l'aide du logiciel IBM SPSS Statistics 29.0	148
Figure V.19: Thermomètre hygromètre Chauvin Arnoux, centre : Le thermo hygromètre portatif HANNA, droite : l'anémomètre TROTEC à hélice ba16.....	149
Figure V.20: La distance entre la place E-Serdouk, de la placette de l'indépendance et du jardin communautaire.....	152
Figure V.21: La distance entre l'esplanade de chaabani et le jardin public Baoulo.....	152

Figure V.22: Les divers point de mesures.....	153
Figure V.23: Interface du logiciel Rayman 1.2.....	154
Figure V. 24: Les données nécessaires sur le bilan énergétique environnemental ou humain sur Rayman 1.2	155
Figure V.25: Le principe de fonctionnement de modèle Rayman 1.2.....	156
Figure V.26: Les fenêtres des obstacles du modèle Rayman 1.2	157
Figure VI.1: Répartition des personnes interrogées selon le genre et le moyen d'âge.....	160
Figure VI.2: Distribution des personnes interrogées dans les cinq sites d'intervention par nombre selon la fonction et le niveau d'éducation.....	161
Figure VI.3: Distribution des personnes interrogées dans les cinq sites d'intervention par nombre selon l'usage de l'espace extérieur.....	161
Figure VI.4: Le vote de la sensation thermique TSV dans les cinq sites d'intervention.....	163
Figure VI.5: le sondage de la sensation thermique dans les cinq sites d'intervention.....	165
Figure VI.6: La sensation de la température d'air dans les cinq sites d'intervention	165
Figure VI.7: La sensation de vitesse de vent dans les cinq sites d'intervention.....	166
Figure VI.8: La sensation de l'humidité relative dans les cinq sites d'intervention.....	166
Figure VI.9: Description de niveau de confort général dans les cinq sites d'intervention.....	167
Figure VI.45 : Vote sur l'acceptabilité de l'environnement thermique dans les cinq sites d'intervention.....	167
Figure VI.11 : L'effet des arbres sur la qualité générale des sites d'interventions et la sensation de la chaleur.....	169
Figure VI.46: L'effet des plans d'eau sur la qualité générale des sites d'interventions et la sensation de la chaleur.....	169
Figure VI.47: La comparaison des données météorologiques actuelles mesurées dans les sites d'intervention.....	171
Figure VI.48: Illustration de l'environnement physique des sites d'intervention par Rayman1.2.....	173

Figure VI.49: La modélisation des 12 points de mesure par Rayman 1.2	174
Figure VI.50: Diagramme polaire (image en Fish eye) des 12 points de mesure sur les sites d'intervention réalisés par Rayman 1.2.....	175
Figure VI.51: Valeurs de SVF et de limitation d'horizon calculées par Rayman 1.2.....	176
Figure VI.18: Les moyennes de Tmrt aux différents points de mesure	177
Figure VI.19: Les moyennes de PET aux différents points de mesure.....	179
Figure VI.20: Les moyennes de OUT-SET aux différents points de mesure.....	182
Figure VI.21 : Les mesures de T_a enregistrés dans les trois espaces publics choisis.....	185
Figure VI.22 : Les moyennes de température d'air enregistré dans les différents points de mesure pendant le 16 juillet 2022	185
Figure VI.23 : Les moyennes de température d'air enregistré dans les différents points de mesure pendant le 17 juillet 2022.....	186
Figure VI.24: Les valeurs d'humidité relative mesurée dans les trois espaces publics choisis.....	187
Figure VI.25 : Moyennes d'humidité relative dans les différents points de mesure pendant le 16 juillet 2022.....	188
Figure VI.26 : Moyennes d'humidité relative dans les différents points de mesure pendant le 17 juillet 2022.....	188
Figure VI.27 : Les valeurs de vitesse de vent mesuré dans les trois espaces publics choisis.....	189
Figure VI.28 : Moyennes vitesse de vents dans les différents points de mesure pendant 16 juillet 2022.....	190
Figure VI.29 : Moyennes vitesse de vents dans les différents points de mesure pendant le 17 juillet 2022.....	191

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau I.1: Effets des facteurs météorologiques et des paramètres urbains sur les îlots de chaleur urbains</i>	38
<i>Tableau IV.1: Les espaces publics existants à la ville de souk Ahras</i>	128
<i>Tableau IV.2: Les espèces d'arbres plantées en extérieur</i>	133
<i>Tableau V.1: Distribution des personnes interrogées par nombre sur les cinq espaces publics choisis</i>	147
<i>Figure V.17: Les différentes sessions</i>	147
<i>Tableau V.2: Compagnes des mesures effectuées sur terrain</i>	148
<i>Tableau V.3: Caractéristique des appareils de mesures</i>	150
<i>Tableau V.4: Les divers points de mesures dans chaque espace public choisis</i>	153
<i>Tableau V.5: Information renseignées sur Rayman 1.2</i>	156
<i>Tableau VI.1: distribution des personnes interrogées dans les cinq sites d'intervention par nombres et moyen selon le sexe ; les sessions et l'âge</i>	160
<i>Tableau VI.2: Distribution des personnes interrogées par nombre et le moyen selon la fonction et le niveau d'éducation ; le choix et la fréquentation de l'espace public et la durée de visite dans les cinq sites d'intervention</i>	162
<i>Tableau VI. 3: Une liste des réponses aux questions de troisième section sous forme de résumé dans les cinq sites d'intervention</i>	163
<i>Tableau VI.4 : les résultats de l'effet des arbres et les plans d'eau existée sur la qualité générale des sites d'interventions et la sensation de la chaleur</i>	168

Tableau VI.5: Les données météorologiques actuelles mesurées dans les sites d'intervention.....	170
Tableau VI.6: Valeurs de T_{mrt} aux différents points de mesure calculées par Rayman 1.2.....	176
Tableau VI.7: Valeurs de PET aux différents points de mesure du premier et du deuxième site calculées par Rayman 1.2.....	178
Tableau VI.8: Valeurs de PET aux différents points de mesure du troisième et du quatrième site calculées par Rayman 1.2.....	179
Tableau VI.9: les Valeurs d'OUT-SET aux différents points de mesure du premier et du second site calculées par Rayman 1.2.....	180
Tableau VI.10: Les Valeurs d'OUT-SET aux différents points de mesure du deuxième et du troisième site calculées par Rayman 1.2.....	181
Tableau VI.11: les conditions climatiques et thermiques des points végétaux dans différents sites.....	182
Tableau VI.12 : Les valeurs de PET, T_{mrt} et SET en fonction des valeurs SVF.....	183
Tableau VI.13 : Les données météorologiques actuelles mesurées dans les trois espaces publics choisis.....	184
Tableau VI.14 : différences de températures d'air enregistrées entre les points libres et humides des deux espaces publics choisis.....	186
Tableau VI.15 : différences des taux d'humidité relative enregistrés entre les points libres et humides des deux espaces publics choisis.....	189
Tableau VI.16: différences des valeurs de vitesse de vent enregistré entre les points libres et humides des deux espaces publics choisis.....	191

Chapitre introductif

1. Introduction générale :

Face à l'accélération rapide du changement climatique de la planète ; la ville est exposée à de nombreux problèmes et enjeux environnementaux (Karakounos et al., 2018a). Il est essentiel d'œuvrer à une meilleure compréhension des processus complexes à l'intersection de l'urbanisation, du changement climatique et de la santé humaine, car la croissance de la population urbaine devrait se poursuivre, 67 % de la population mondiale vivant dans les villes d'ici 2050 (Debbage & Shepherd, 2015). Avec l'augmentation continue des températures à l'échelle de globe que l'on appelle le réchauffement climatique ; la probabilité d'événements météorologiques extrêmes augmente également, ce qui rend les citoyens plus vulnérables (Djalante, 2019) .

L'îlot de chaleur urbain ICU est l'un des phénomènes les plus intenses que connaissent les villes en raison des effets croissants du réchauffement climatique (Gatto et al., 2021) ; en outre, la croissance excessive des surfaces imperméables, la perte d'espaces verts urbains et le rejet de la chaleur anthropique dans les zones urbaines sont autant de facteurs qui contribuent à l'augmentation du stress thermique dans les villes (Chapman et al., 2017). Il est bien établi que l'ICU a un impact préjudiciable sur la santé et la qualité de vie des résidents des villes, en particulier pendant les vagues de chaleur (Marando et al., 2022a) tels que la diminution du confort thermique, la hausse des maladies et des décès causés par la chaleur, et la dégradation de l'environnement atmosphérique (Liu et al., 2021a).

Afin de prévenir l'ICU et de fournir des espaces extérieurs confortables, le confort thermique extérieur a suscité un regain d'intérêt récemment (Bandurski et al., 2020; Faragallah & Ragheb, 2022)

La qualité de vie globale est grandement influencée par les espaces extérieurs urbains. Leur importance peut se résumer par une amélioration du dynamisme urbain et de la santé des citoyens (Hanafi & Alkama, 2017) parce qu'ils favorisent les activités de plein air et la circulation piétonne et qu'ils améliorent considérablement l'habitabilité des villes, les espaces extérieurs sont essentiels aux villes durables (Gatto et al., 2020a) .

Cependant, en raison des températures plus élevées en extérieur que dans les espaces intérieurs lors des journées chaudes et en l'absence d'abris ou d'installations de refroidissement, et à cause de leur situation d'inconfort thermique; peu de personnes sont en mesure de rester activement à l'extérieur pendant une période prolongée (J. Zhang et al., 2022a) .Le confort thermique extérieur est non seulement lié à mesure que la température de

l'air augmente mais aussi aux divers paramètres microclimatiques comme : la vitesse du vent, l'humidité relative et le rayonnement solaire (Kumar & Sharma, 2020) .

La planification urbaine doit tenir compte du confort thermique extérieur car il a un impact important sur la viabilité, l'habitabilité des espaces publics urbains qui sont ouverts au public et offrent aux citoyens des zones où ils peuvent s'adonner à des activités récréatives et autres comprennent les rues, les parcs, les places et les squares (Clarence & Gamini, 2022a).

Dans ce contexte du changement climatique actuel, les experts cherchent plus que jamais à savoir comment améliorer le confort thermique extérieur et créer un microclimat urbain agréable pour les citoyens. Parmi ces moyens clés ; les infrastructures urbaines vertes et bleues tels que les arbres, les toits verts, les verdure verticales , les plans d'eaux ; qui sont considérées comme une stratégie utile pour réduire le stress thermique urbain et garantir le confort thermique extérieur (Balany et al., 2020a; Hami et al., 2019; Lobaccaro & Acero, 2015; Simon et al., 2019; Tochaiwat et al., 2023) .

2. Problématique :

Actuellement, la plupart des villes du monde connaissent des températures extrêmement élevées, en particulier pendant les mois d'été. Cette situation est due à plusieurs facteurs, notamment l'accélération de l'urbanisation sur les terres naturelles et le remplacement de la végétation et des paysages naturels par des matériaux rigides tels que le béton et l'asphalte. Différentes mesures ont été mises en place pour améliorer l'environnement thermique en milieu urbain et optimiser le confort thermique dans les espaces extérieurs. Des recherches scientifiques ont montré que la végétation urbaine et les plans d'eaux peuvent améliorer les facteurs de microclimat comme la température, l'humidité et le rayonnement solaire ainsi que les conditions de loisirs d'une zone urbaine (Yan et al., 2020) .

La végétation urbaine et les plans d'eaux sont considérés comme des stratégies de refroidissement naturel des villes ; ils peuvent atténuer l'effet de l'îlot de chaleur en milieu urbain en modifiant le microclimat, en apportant un confort thermique (Clarence & Gamini, 2022b). Pour la végétation, le niveau de refroidissement dépend du type et de la quantité de végétation, de la forme urbaine et de la durée de l'atténuation de la chaleur (Nuruzzaman, 2015a) ; elle a des effets microclimatiques avantageux, notamment l'abaissement de la température de l'air, la fourniture de l'ombre, l'amélioration de la qualité de l'air et l'abaissement des niveaux de bruit, en plus elle offre des avantages esthétiques aux promeneurs (Lai et al., 2019a; Nasrollahi et al., 2020a; Yilmaz et al., 2021a). Les plans d'eau

ont un impact sur le microclimat urbain en raison de l'évaporation qui influence la température et l'humidité de l'air.

De plus , l'eau se caractérise par une capacité thermique élevée et une faible réflectance solaire (Karakounos et al., 2018b)

En Algérie, les villes sont également confrontées au phénomène d'îlot de chaleur urbain (ICU) et à ses conséquences néfastes sur le confort thermique des citoyens dans les espaces publics (BADACHE Halima, s. d.). Plusieurs recherches scientifiques ont été effectuées notamment sur plusieurs villes de pays (Gherraz et al., 2018; Talhi et al., 2020; Toufik Boutellis & Ammar Bouchair, 2022). Contrairement à ces villes, ce phénomène n'a pas été étudié auparavant à la ville de souk Ahras. Une région située au Nord-est de l'Algérie avec un climat méditerranéen chaud et une saison estivale sèche selon la classification de Koppen-Geiger (Csa); les espaces publics urbain organisent la structure principale de la ville et déterminent sa morphologie urbaine. En été, on observe une baisse graduelle de l'usage et de la fréquence des espaces publics pendant toute la journée, en état de désertion pendant les périodes de chaleur intense. Les citoyens préfèrent de rester chez eux sous la climatisation artificiels pour garantir leur confort thermique au lieu d'aller en dehors, ce qui participe à l'augmentation de phénomène d'îlot de chaleur urbain dans la ville.

Afin d'obtenir des résultats optimaux en matière de qualité environnementale, sociale et physique pour les citoyens, il est impératif d'accorder une grande priorité aux espaces publics urbains et de maintenir les conditions climatiques les plus favorables. Ces espaces publics auront une atmosphère plus agréable et plus vivable grâce à la présence et à l'utilisation de végétations et les plans d'eaux.

Ainsi, l'objectif de cette étude est de faire une évaluation sur l'effet et le rôle des stratégies naturels tels que de la végétation et les plans d'eau sur la régulation de microclimat urbain et améliorer le confort thermique extérieur des usagers des espaces publics urbain à la ville de Souk Ahars. Voici donc quelques questions cruciales à poser :

- Comment la végétation et les plans d'eau contribuent-ils à maintenir un microclimat protecteur contre le phénomène d'îlot de chaleur urbain dans la ville de Souk Ahras?
- Comment la végétation et les plans d'eau influencent-ils le confort thermique extérieurs et l'utilisation des espaces publics dans la ville de Souk Ahras?

3. Hypothèses :

Pour assurer la réussite de cette étude de manière appropriée, Il est primordial de présenter les hypothèses qui servent de base à cette investigation. D'où ces hypothèses sont les réponses préliminaires aux deux questions posées par notre recherche :

- Les paramètres microclimatiques, tels que la température de l'air, l'humidité relative et la vitesse du vent, peuvent être influencés par la végétation et les plans d'eau. La végétation aide à réduire la température et à augmenter l'humidité grâce à son effet d'ombrage et d'évapotranspiration. De même, les plans d'eau modèrent les variations de température et apportent de l'humidité. Ensemble, ces éléments créent un microclimat favorable à la ville de Souk Ahras.
- En présence de végétation et de plans d'eau appropriés et étudiés, il est possible d'assurer un confort thermique aux habitants de la ville de Souk Ahras.

4. Objectifs :

- Déterminer le rôle crucial de la végétation et les plans d'eau dans l'amélioration de confort thermique extérieur des usagers a la ville de souk ahars.
- Évaluer l'environnement thermique urbain a la ville de souk ahars et la valeur environnementale de la végétation et les plans d'eau pour l'utiliser au mieux.
- Participer dans la réduction de la chaleur à l'échelle urbaine.
- Minimiser les perturbations climatiques à la région de souk ahars et la mise en place d'un microclimat favorable.

5. Méthodologie de la recherche :

Le sujet de recherche repéré est lié à l'impact de la végétation et des plans d'eau sur le paramétrage du microclimat et l'optimisation du confort thermique extérieur dans la ville de Souk Ahras. Afin d'atteindre les objectifs principaux, nous avons développé une approche méthodologique qui s'appuiera sur deux grandes sections : la section théorique et la section pratique.

- **La section théorique :**

En utilisant des mots-clés associés à la problématique de recherche, tels que microclimat urbain, confort thermique ; vegetation, plans d'eaux et espaces extérieurs ; nous avons effectué notre analyse bibliographique afin de développer le cadre théorique de cette étude. Les références bibliographiques sont assez diverses, Étant donné que nous avons essayé

d'analyser le plus grand nombre d'ouvrages, article et thèses, sur le sujet d'étude. Quelques sites web et documents en ligne, nous ont aussi aidés dans notre recherche.

- **La section pratique :**

Afin de valider ou réfuter les hypothèses proposées, les étapes méthodologiques suivantes seront suivies :

- ✓ L'investigation sur terrain qui est devisé en deux phases complémentaires : la première est l'enquête sur terrain permis d'enregistrer les comportements des usagers qui fréquentent les espaces publics sélectionnés ainsi que leur évaluation et leur perception thermique en utilisant un formulaire de questions spécialement créés et distribués auprès d'un échantillon aléatoire. La deuxième est présentée par une campagne de mesures des trois données microclimatiques pendant cinq journées dans le mois de juillet sur des diverses positions ; en utilisant des appareils de mesures calibrés et certifiés. Chaque jour de mesures, les mesures sont prises à intervalles de deux heures.
- ✓ Une fois les mesures microclimatique obtenues dans chaque position des différents espaces publics comparées, une modélisation numérique est réalisée à l'aide du logiciel Rayman 1.2. Ce modèle est spécialement conçu pour la météorologie environnementale à une échelle micro. On l'utilise afin de mesurer et de calculer les indicateurs de confort thermique tels que la température équivalente physiologique PET, la température radiante moyenne T_{mrt} et le facteur de vue de Skye SVF. Les conditions microclimatiques mesurés, les coordonnées de l'environnement physique (arbre et bâtiments) des espaces publics choisis et autres informations général liée a la ville de souk aharas sont utilisé comme des données d'entrée. Les résultats obtenus sont analysés en utilisant une méthode comparative, qui permet de comparer les valeurs de PET, T_{mrt} et SVF sur les différentes positions dans les espaces publics déjà sélectionnés.

6. Etat de l'art :

6.1. Les villes sous l'influence du changement climatique :

De nos jours, Le changement climatique est l'un des principaux défis auxquels notre société est confrontée. L'ampleur et le rythme de cette transformation ont été démontrés par plusieurs recherches. Les villes produisent L'émission de gaz à effet de serre est une source majeure de changement climatique à l'échelle mondiale. Cependant, comme elles représentent des

modifications des méthodes d'utilisation des sols qui modifient les interactions thermodynamiques entre la surface et l'environnement, elles peuvent également influencer le climat à la fois à l'échelle régionale et locale.

- Le travail de thèse de (Daniel, s. d.) qui vise à mesurer l'effet de la modélisation urbaine complexe concernant les modèles climatiques régionaux et à examiner les liens entre les villes et le climat au niveau régional. Les modèles ALADIN-Climat et AROME, qui sont tous les deux liés à la plateforme de modélisation de la surface continentale SURFEX, qui contient également le modèle de canopée urbaine TEB, ont été à la base de cet effort. Les zones urbaines affectent considérablement la température de l'air près de la surface, selon l'analyse de sensibilité. L'écosystème de la zone est affecté par la chaleur de l'après-midi et de la nuit causée par les grandes agglomérations françaises. En revanche, la dynamique quotidienne de l'îlot de chaleur urbain est mieux rendue par la modélisation explicite des processus urbains à l'aide du TEB que par les techniques traditionnelles de modélisation du climat. Une représentation plus précise de l'impact des villes sur le climat régional est rendue possible par l'ajout du TEB au modèle ALADIN. Cependant, une réduction d'échelle plus importante est nécessaire pour étudier l'impact du changement climatique sur les villes. Les avantages de la paramétrisation urbaine sont confirmés par une simulation réalisée sur l'agglomération toulousaine à une résolution plus élevée. Toutefois, On met également en évidence la sensibilité du modèle à la qualité des simulations atmosphériques et à la précision des données de surface.
- La recherche de (L. Yang et al., 2016) qui traite l'effet d'ICU, un phénomène de condensation thermique dans les zones urbaines dû à la construction urbaine et aux activités humaines. On le connaît comme étant la caractéristique la plus flagrante du climat urbain. L'auteur a montré que l'élévation de la température à la surface du sol causée par l'effet ICU influencera certainement le flux de substances et d'énergie dans les écosystèmes urbains, et modifiera leur structure et leurs fonctions, exerçant une série d'effets écologiques et environnementaux sur les climats urbains. Les résultats basés sur la technologie de la télédétection et les méthodes de simulation numérique indiquent que à cause de l'optimisation de l'efficacité énergétique, l'optimisation du paysage urbain, la construction de toits verts et l'utilisation de matériaux à haute réflectivité pourraient réduire les effets de l'ICU de manière significative.

- L'étude de (Marando et al., 2022b) , qui déclare que l'impact d'ICU constitue l'un des risques environnementaux plus préjudiciables pour les résidents des villes. La mise en œuvre d'une infrastructure verte urbaine peut partiellement réduire l'intensité de l'ICU, promouvoir un environnement urbain résilient et assister dans l'adaptation au changement climatique et la réduction de ses conséquences. L'auteur a mis au point un modèle qui rend compte du service éco systémique de la régulation microclimatique des infrastructures verts urbaines dans 601 villes européennes pour avoir une vue d'ensemble de l'intensité de la chaleur urbaine et des possibilités d'atténuer les températures élevées. Le modèle simule la variation de température entre un scénario de référence et un scénario sans végétation. Les résultats de cette recherche ont été clôturés par l'élaboration d'un indicateur quantitatif pratique pouvant être appliqué par les décideurs politiques et les administrations municipales afin d'estimer la quantité de végétation urbaine nécessaire pour refroidir les températures estivales d'un certain degré.
- La recherche de (Nuruzzaman, 2015b) , a met l'accent sur les impacts d'ICU qui suscite une grande attention à travers le monde., car celui-ci s'urbanise à mesure que la technologie progresse. L'auteur mentionne que l'ICU provoque une gêne pour les citoyens en été et les rendrais dans des situations d'inconfort et du déclin du climat, a cause de l'altération des surfaces, la mauvaise planification urbaine, la pollution de l'air, etc. il a tenté de passer en revue les différentes mesures prises pour lutter contre l'effet UHI et les processus par lesquels ces stratégies fonctionnent sont décrits à l'aide de diagrammes. L'utilisation de matériaux et de revêtements à albédo élevé, de végétation verte et de toits verts, l'aménagement urbain, la préservation de l'environnement sont de nombreux exemples de mesures à prendre qui font l'objet d'une discussion dans sa recherche.
- La recherche de (Faragallah, 2022) , qui vise a assuré le confort thermique extérieur et à encourager le développement urbain durable dans la ville d'Alexandrie (Égypte), une ville confrontée à la question de l'élévation d'ICU, ce dernier a eu des influences néfastes sur le comportement des piétons . L'objectifs principale de l'auteur est d'explique le concept d'ICU et son atténuation. Dans lequel l'étude de cas de la rue El Mosheir a permis de mesurer différents scénarios simulés en utilisant ENVI-met 4.0 pour atteindre un confort thermique maximal. Les résultats de cette recherche ont

remis en évidence des solutions par le biais de matériaux de pavage qui représentent un pourcentage élevé des lieux urbains de la ville.

- La recherche de (Moulai et al., 2020) , qui a met la lumière sur les divers effet ultérieurs d'ICU tels que la transformation du confort thermique des occupants des villes . L'auteur indique que différentes stratégies visant à réduire l'apport solaire par l'environnement bâti sont réalisé par les organes directeurs des villes au moyen de différentes techniques comme les villes de Londres et New York. L'une de ces stratégies consiste à réduire le gain de rayonnement solaire par ces zones et se concentre sur l'augmentation des espaces verts dans les villes par le biais de parcs, de toits, de rues, etc. Les résultats montrent que les microclimats offerts par les parcs (espaces verts), les plantes et la végétation jouent un rôle important dans la réalisation de cet objectif et, d'autre part, la transformation de l'albédo des surfaces en les rendant plus lumineuses peut être considérée comme une stratégie efficace pour réduire les effets d'îlots de chaleur urbains.
- Le travail de thèse de (Jundus, s. d.) ; l'auteur a estimé que la façon de planification et de construction des villes doit être réexaminée, d'où le changement climatique continue de s'intensifier, en particulier dans les régions qui ont été touchées par ce phénomène. L'une de ces régions est le sud-ouest des États-Unis, cette région a été témoin de vagues de chaleur prolongées, de sécheresse et d'incendies de forêt. Il vise également à étudier l'un des principaux sites urbains de Tucson, en Arizona, Congress Street, en termes de comment la géométrie urbaine affecte le climat urbain et l'environnement thermique extérieur. Cela concerne également de comparer la précision des outils de simulation météorologique aux données de terrain réelles.
- La recherche de (K. Gunawardena & Kershaw, s. d.-a) ; à montré que les villes ont leur propre microclimat et qu'elles sont généralement plus chaudes que les zones rurales environnantes, une résultat de la modification involontaire des propriétés de la surface qui entraîne une plus grande absorption du rayonnement solaire, une réduction du refroidissement due à des vents plus lents et des taux d'évaporation de l'eau plus faibles. Les chercheurs s'efforcent de repérer les principes essentiels de l'impact des infrastructures bleues et vertes sur les températures de la canopée et de la couche limite dans la réduction des risques liés à la chaleur en milieu urbain. Pour ce faire, il présente l'urbanisme, de la climatologie urbaine et des études sur les îlots de chaleur et le changement climatique. Les résultats mettent en évidence des recherches

récentes qui suggèrent que l'influence de refroidissement des deux caractéristiques est principalement pertinente pour les conditions de la couche canopée, les espaces verts offrant un plus grand soulagement du stress thermique au moment où il est le plus nécessaire.

- La recherche de (Chapman et al., 2017) , dont l'objectifs est d'examiner l'effet du changement climatique et de la croissance urbaine sur les futures températures urbaines et le potentiel d'augmentation du stress thermique chez les résidents urbains. Les auteurs ont procédé à un examen systématique d'articles scientifiques de janvier 2000 à mai 2016. Ils ont été constatés que la croissance urbaine avait un impact important sur les températures locales dans le nord-est des États-Unis. Dans certains endroits, le changement climatique a augmenté l'îlot de chaleur, comme à Chicago et à Pékin, et dans d'autres, il l'a réduit, comme à Paris et à Bruxelles. Les résultats montrent qu'il existe des éléments importants contribuant à l'augmentation des températures urbaines, tels que la variation de la densité urbaine et le dégagement de chaleur anthropique.

6.2. La végétation et les plans d'eau pour la régulation de microclimat et l'amélioration de confort thermique extérieur :

Au milieu de réchauffement climatique et de croissance de la population urbaine, l'usage de l'espace urbain d'une ville est influencés par son climat ; lorsque les gens bénéficient d'un environnement confortable et sain, ils utilisent et apprécient plus fréquemment les espaces publics, tels que les parcs, les places, les rues résidentielles et commerciales. Les solutions naturelles telles que la végétation urbaine et les plans d'eau se présentent comme des stratégies pour rafraîchir les villes et atteindre des niveaux du confort thermique extérieur optimal. Plusieurs recherches ont démontré et étudié le rôle crucial de ces solutions naturelles dans plusieurs villes du monde.

- Travail de Thèse de (Munck, s. d.-a) , Cette étude, réalisée dans le cadre des trois projets de recherche CLIM2, MUSCADE et VegDUD, vise à évaluer les conséquences de la présence de végétation urbaine sur le confort climatique et la demande énergétique en simulant le climat urbain dans l'agglomération parisienne. Le modèle de canopée urbaine TEB est principalement utilisé pour la modélisation. Un modèle de toits verts à grande échelle a été créé et évalué, avec des paramètres pour diverses méthodes d'arrosage de la végétation urbaine poussant sur les toits ou au sol. Les résultats obtenus montrent que tous les types de climatisation qui émettent de la

chaleur dans l'environnement provoquent un réchauffement des rues au niveau des piétons. C'est ce qu'a révélé l'évaluation des scénarios d'adaptation à la chaleur pour Paris lors de la canicule de 2003. L'augmentation moyenne de la température dans les simulations allait de 0,5 à 2°C, en fonction de la quantité d'air conditionné utilisée. Ensuite, plusieurs stratégies de végétation - y compris la végétation au sol, la végétation sur les toits (avec ou sans irrigation), ou les deux - ont été mises en pratique et évaluées à Paris. D'après les modèles, l'impact sur le refroidissement est plus important lorsque la couverture végétale au sol est plus importante.

- Travail de thèse de (Redon, s. d.) , qui a effectué une paramétrisation pour modéliser les effets radiatifs, énergétiques et dynamiques des arbres de rue et de jardin dans les espaces urbains, d'où le schéma de végétation ISBA a été utilisé, et inclus dans TEB, pour représenter ces entités végétalisées. Les évaluations radiatives du modèle TEB ont été optimisées afin de représenter l'ombrage et l'atténuation du rayonnement dus aux arbres, ainsi que toutes les interactions infrarouges entre les éléments urbains ; suivi par une évaluation du bilan radiatif grâce à une comparaison avec le modèle architectural à haute résolution SOLENE, en utilisant de nombreux canyons urbains différents avec plusieurs dispositions de canopées d'arbres. Les résultats montrent une amélioration impressionnante des températures de surface des murs et du sol, de la température de l'air et de la vitesse du vent. Ce qui confirme que L'implantation d'arbres de rue est une technique alternative pour réduire l'îlot de chaleur urbain et améliorer le confort thermique. Ils modifient les bilans radiatifs et énergétiques en interceptant et en absorbant une partie du rayonnement solaire, fournissent de l'ombre, augmentent l'humidité grâce à l'évapotranspiration et modifient le flux d'air dans le canyon urbain.
- Travail de thèse de (BADACHE Halima, s. d.) , qui s'appuie sur l'analyse des changements et des variations des paramètres météorologiques dont le but est d'évaluer l'impact de la végétation dans les espaces publics urbains de la ville de Biskra sur l'amélioration de microclimat. La recherche se penche sur l'effet de la végétation sur le confort thermique extérieur des usagers et la création de bien être. C'est pourquoi son objectif principal est de mettre en évidence l'impact de la végétation sur le confort thermique extérieur, les comportements des usagers et la qualité de l'environnement dans les cinq lieux choisis, en effectuant des investigations sur terrain et de simulation numérique par le biais du logiciel Envi-met 4. Les

résultats montrent le rôle important de la végétation sur la l'abaissement du stress thermique notamment l'abaissement de température d'air et l'augmentation de l'humidité relative, ce qui donne un microclimat favorable dans ces espaces publics.

- Travail de thèse de (Gherraz, s. d.-a) , qui vise à évaluer comment la couche de végétation affecte les deux échelles de climat urbain celui de climat et le microclimat urbain et la manière d'emploi et d'usage des espaces publics dans de la ville de Constantine a l'aide de divers méthodes scientifique .Notamment une investigation sur terrain dont le but est la détermination de la perception thermiques des usagers et une série de modélisation et simulation numérique. D'après les résultats requises les vastes espaces verts ont l'impact le plus fort sur le refroidissement, les valeurs NDVI et affirme que les divers propriétés et caractéristiques de la végétation urbaine ont un impact crucial sur le refroidissement et la formation d'un microclimat propice aux utilisateurs de ces espaces publics.
- Travail de thèse de (HANAFI Abdelhakim, 2018) ; d'où l'objectif est d'analyser la contribution du végétal urbain sur l'environnement thermique extérieur de la ville de Biskra. Une investigation sur terrain a touché plusieurs paramètres microclimatiques; température ambiante, humidité relative, ensoleillement, rayonnement solaire ...etc. avec l'utilisation de logiciel Rayman comme un outil de simulation numérique pour l'intégration du végétal urbain en tant que protection contre les rayons solaires. Les conclusions de cette recherche affirment l'importance cruciale du végétal urbain dans la création de l'ombre, ce qui contribue à améliorer l'environnement thermique et la qualité de la vie en milieu urbain.
- La recherche de (Lobaccaro & Acero, 2015) qui fait partie d'un projet plus large visant à renforcer le bien-être thermique au sein des canyons des rues urbaines . Il est mené dans le contexte des efforts de la ville de Bilbao, en Espagne pour augmenter ses espaces verts et faire face aux conséquences du changement climatique. Les auteurs utilisent le modèle ENVI-met pour évaluer les effets de différentes infrastructures vertes, telles que l'herbe, les toits verts et les arbres, sur l'environnement thermique. Les conclusions tirées confirment quantitativement que la végétation avec cette diverse forme peuvent augmenter le bien-être thermique des piétons. L'étude démontre également comment le rapport d'aspect et les matériaux de la surface du sol peuvent affecter l'intensité et la durée des périodes d'inconfort.

- La recherche de (Bandurski et al., 2020) ; conduit a démontré que les structures vertes peuvent être utilisée comme mobilier urbain, comme petite forme architecturale ou comme structure d'utilité publique destinée à protéger les personnes et les objets d'un environnement urbain défavorable, tout en offrant des microclimats agréables et sains. Les méthodes utiliser était un couplage d'une simulation numérique par le logiciel TRNSYS afin d'examiner le microclimat extérieur et des mesures des divers facteurs microclimatiques. Les résultats obtenus montrent une diminution de la température perçue dans les structures vertes en fonction du type de climat, la réduction potentielle moyenne de l'indice universel de confort thermique UTCI et de la température radiante moyenne T_{mrt} .
- L'étude de (L. Zhang et al., 2018), qui examine l'effet de végétation sur l'environnement éolien résidentiel pendant les saisons chaudes et froides en utilisant le modèle ENVI-met V4. Des mesures sur terrain ont permis de valider les performances du modèle ENVI-met. La simulation était basée sur des bâtiments à plusieurs étages représentant la forme primaire actuelle des zones résidentielles de Wuhan d'où les auteurs ont utilisé le rapport hauteur/distance des arbres pour décrire la distribution des arbres. Les résultats ont montré que la végétation urbaine à un effet positive direct sur l'environnement thermique et la ventilation dépendait de la disposition des arbres, de la largeur de la couronne et de la hauteur de l'arbre.
- La recherche de (Speak & Salbitano, 2022) , d'où l'objectif était d'évaluer comment la végétation urbaine contribue à améliorer le confort thermique extérieur des habitants des villes, en particulier dans les villes où le climat et les effets du changement climatique peuvent gravement influencer la santé et le bien-être des personnes dans un contexte de chaleur croissante. L'étude est basée sur une campagne de mesures météorologiques sur un grand nombre de sites dans la ville de Florence en utilisant un système mobile de recueil des informations. Le but était de quantifier les différents microclimats et les conditions de confort thermique dans six classes de morphologie urbaine, en distinguant les types de terrains avec ou sans arbres. Des différences significatives dans les niveaux de l'UTCI et de SVF ont été observées entre les piazzas et les rues dépourvues d'arbres et les types de terrains avec des arbres ou un rapport hauteur/largeur élevé (allées étroites).
- La recherche de (Liu et al., 2021b), qui considère les infrastructures vertes et bleues urbaines notamment les arbres, les toits verts, les végétations verticales et les plans

d'eau comme un outil efficace pour atténuer le stress thermique en améliorant le confort des personnes. Les résultats de 79 études évaluées par des pairs ont été analysés et synthétisés pour leur processus de modélisation, de validation et de simulation de scénarios de logiciel ENVI-met. Une attention particulière a été accordée à l'examen de leurs sources de données, à l'évaluation de la sélection des indicateurs, à l'examen des principales approches analytiques et à la formulation de recommandations visant à améliorer le processus de recherche. Les résultats fournissent aux chercheurs une vue d'ensemble de la méthodologie ENVI-met et des recommandations pour affiner la recherche sur les effets thermiques des infrastructures vertes et bleues.

- La recherche de (Wong et al., 2021), qui a évalué le potentiel de l'infrastructure verte en tant que stratégie d'atténuation de stress thermique en se concentrant sur la verdure au sol (parcs) et la verdure sur les bâtiments (toits verts et murs verts). Les résultats montrent que les infrastructures vertes contribuent à refroidir l'environnement urbain par l'ombrage et l'évapotranspiration. D'où les espaces verts au sol réduisent la température de surface de 2 à 9°C, tandis que les toits verts réduisent la température de surface de 2 à 9°C. Cependant, le potentiel de refroidissement fluctue grandement en tenant compte de l'échelle d'intérêt (niveau de la ville ou du bâtiment), de l'étendue de la verdure (forme et taille du parc), de la sélection des plantes et de leur emplacement.
- La recherche de (Teshnehdel et al., 2020), qui a étudié comment la végétation en milieu urbain influence le microclimat et le bien-être des piétons à l'aide d'ENVI met v4 pour un quartier résidentiel de Tabriz, en Iran. Des évaluations sur place des deux facteurs climatiques essentiels (T_a et RH) ont été effectuées sur dix points. Quatre scénarios avec différentes espèces et modèles d'arbres ont été simulés pendant des journées typiques d'été et d'hiver, afin d'évaluer les avantages et les inconvénients au cours des différentes saisons. Les résultats montrent que l'insertion optimale des arbres présente le meilleur scénario qui permet un refroidissement important en été sans compromettre le confort en hiver d'où la sensation thermique était améliorée.
- La recherche de (Estacio et al., 2022), qui développe un cadre de modélisation et de simulation pour optimiser la distribution des arbres urbains afin de maximiser l'activité piétonne. Il est basé sur des agents qui simulent la température radiante moyenne en fonction de la position des arbres en utilisant un exemple mathématique

bi varié. Les auteurs ont utilisé un algorithme Génétique afin d'optimiser la distribution des arbres qui génère une fréquence de marche maximale. Les conclusions de la simulation révèlent que l'espacement entre les arbres, la direction des bâtiments voisins et l'exposition à l'ombre des bâtiments affectent la fréquence de marche.

- La recherche de (Cheng et al., 2022) ; qui vise à analyser les caractéristiques morphologiques de village de polder en Chine d'où le logiciel ENVI-met est l'outil numérique utilisé pour simuler l'impact des plans d'eau et les eaux provenant de pluie sur le climat urbain et le bien être thermique humain. La recherche démontre l'impact positif des plans d'eau sur l'amélioration de conditions climatiques de village et sur la régulation du confort thermique. Les résultats indiquent qu'en été, l'effet de refroidissement des masses d'eau est meilleur l'après-midi que le matin, notamment à compter de la fin de l'année. Aussi le taux de végétation et le taux de masse d'eau sont positivement corrélés avec le microclimat. Dans l'ensemble, les plans d'eau peuvent améliorer le confort extérieur en été et devraient donc être protégés et développés dans la planification et la conception des zones rurales.
- La recherche de (Manteghi et al., 2015) , qui traite l'effet des surfaces minérales sur le bien être thermique extérieur et les conditions climatiques des zones urbaines, C'est ainsi que les auteurs ont prouvé que les surfaces minérales ont un effet positif sur le microclimat de l'environnement grâce à l'impact de refroidissement relatif qu'ils ont sur la procédure d'évaporation. Le processus de refroidissement par évaporation pourrait donc être une méthode performante de refroidissement passif pour les constructions et les aménagements extérieurs dans les villes. Les résultats montrent que les plans d'eau sont des méthodes influentes pour diminuer les températures urbaines d'environ 2 à 6 °C, ils peuvent atténuer efficacement l'influence de l'ICU.
- L'étude de (Louafi et al., s. d.) , qui présente une analyse des résultats des zones ombragées en fonction de cinq catégories distinctes de couverture arborée, incluant une partie ouverte sans aucun végétal , située à un environnement chaud et sec afin de déterminer le rôle crucial des zones végétales dans la ville de Constantine . Des évaluations sur terrain des divers données climatiques étaient faites combinées avec des investigations sur le confort thermiques. Selon les résultats, le taux de couverture arborée d'un espace représente un élément crucial à l'évaluation de bien être en plain air dans un environnement chaud et sec et qu'il a directement une grande

influence sur l'usage des zones de divertissements en extérieur par la régulation de microclimat et la création de bien être thermique .

- La recherche de (Matallah et al., 2020) , Il vise à évaluer le confort thermique dans le complexe oasien de Tolga a Biskra et de évaluer la véracité du concept : "l'effet oasis". Les auteurs ont choisis une méthodologie qui se base sur des approches comparatives de mesures microclimatiques sur terrain et de modélisation numérique avec l'utilisation de Rayman. Les résultats indiquent que les niveaux de stress thermique les plus bas sont enregistrés près des oasis, ce qui confirme l'effet de végétation (la palmeraie) dans la création des microclimats favorables et des situations de confort thermique souhaitable.

6.3.L'analyse de l'environnement thermique extérieur :

L'un des plus grands défis environnementaux pour la durabilité des villes futures est l'atténuation du phénomène d'ICU et, par conséquent, l'optimisation des conditions de bien être extérieur pour les usagers. Plusieurs recherches ont analysé l'environnement thermique extérieur tout en utilisant des indices qui intègre les facteurs de l'environnement thermique et la régulation thermique corporel tel que : le PMV, SET, PET et UTCI.

- La recherche de (Gatto et al., 2021), qui analyse les interactions et les impacts entre de multiples facteurs, à savoir la végétation urbaine, l'agencement des bâtiments et les conditions météorologiques qui caractérisent le microclimat urbain et le bien être thermique dans la ville de Lecce en Italie .L'accent a été mis sur deux quartiers caractérisés par des campagnes in situ et des simulations de modélisation de plusieurs scénarios de végétation à l'aide ENVI-met au cours d'une journée d'été chaude typique afin de collecter des données sur la végétation, la géométrie des bâtiments et le microclimat , Les résultats montrent les arbres peuvent entraîner une baisse quotidienne moyenne de la température de l'air allant jusqu'à 1,00 ° 1,5 °C et une amélioration du confort thermique en ce qui concerne la T_{mrt} jusqu'à 5,53 °C et de la valeur moyenne prédite PMV jusqu'à 0,53. Cette diminution est plus évidente quand la question concerne un accroissement de la superficie de végétation urbaine dans les deux sites.
- Le travail de (J. Zhang et al., 2022b) a montré qu'il existe plusieurs paramètres qui ont été utilisés pour caractériser la végétation et se sont avérés de nombreux indices thermiques (par exemple la PET ; UTCI...etc.) . Les chercheurs exposent une revue

littérature qui analyse les régulations climatiques de la végétation en fonction des méthodes et des indices thermiques.

- La recherche de (Zölch et al., 2019) ; a évalué les conceptions typiques de verdissement des places publiques rectangulaires et leurs influences microclimatiques pendant une journée d'été chaude. En utilisant un modèle ENVI-met V4 validé, les valeurs de confort thermique exprimées par la PET ont été mesurées puis comparées. Les résultats ont montré que pour obtenir une situation thermique confortable, une conception adaptée au climat doit inclure des arbres pour maximiser les surfaces ombragées, tandis que le canal principal du vent doit être exempt d'arbres, mais planté d'herbe pour minimiser le stockage de la chaleur. Le nombre d'arbres et leur emplacement, ainsi que l'étendue et l'emplacement des pelouses peuvent donc servir d'indicateurs pour concevoir des places publiques adaptées au climat.
- La recherche de (Zare, 2018) ; a indiqué que le stress thermique a une influence négative sur la santé et les performances humaines, et conduit à une moindre efficacité dans les activités quotidiennes. Il vise à examiner la corrélation entre les divers indices thermiques (UTCI, SET, PET, PMV, PPD et WBGT) ainsi que les facteurs environnementaux. D'où les informations journalières pendant l'année 2016 couvrant douze mois, ont été récupérées auprès de l'OM de Kerman. Ensuite ils ont mise en place dans le logiciel SPSS 20, puis la relation de moment produit de Pearson et la régression linéaire ont été effectuées afin de déterminer la corrélation entre l'UTCI et les autres indices thermique. Les auteurs ont utilisé l'Excel 2016 pour les diagrammes pertinents. Les résultats montrent que l'UTCI et la PET ont démontré la plus forte corrélation, d'autre part les valeurs de l'UTCI affichent aussi des corrélations élevées avec WBGT, SET, la température sèche et les autres indices calculés en se basant sur l'équation thermique corporelle.
- La recherche de (Staiger et al., 2019) , qui déclare que l'application des indices thermiques est devenue très populaire pendant les trente dernières années. Elle est principalement destinée aux zones urbaines et est également utilisée dans les prévisions météorologiques, en particulier pour les systèmes d'alerte à la chaleur et à la santé. Les résultats montrent également la pertinence des indices thermiques et leur justification pour la perception thermique, d'où les quatre indices suivants ont été retenus comme appropriés : UTCI, PTJ, PET et SET*.

- La recherche de (Lai et al., 2014) , a favorisé d'étudier le bien être thermique extérieur dans différentes conditions climatiques dans un parc de Tianjin, en Chine. Les résultats montrent que les préférences en matière de rayonnement solaire, de vitesse du vent et d'humidité relative étaient liées à la température de l'air. Plus la température de l'air est élevée, plus la vitesse du vent est élevée et plus le rayonnement solaire et l'humidité relative souhaités par les occupants sont faibles. Les auteurs ont utilisées les données microclimatiques pour évaluer trois indices thermiques. D'où l'UTCI a permis de prédire de manière satisfaisante le confort thermique extérieur, tandis que le PMV l'a sur estimé. La plage neutre de température physiologique PET trouvée dans cette étude était de 11 et 24 °C, ce qui était plus bas que les gammes en Europe et à Taiwan.
- La recherche de (Khalili et al., 2022) , a étudié le contexte de confort thermique et la perception de la chaleur réelle des utilisateurs des espaces extérieurs, et tente de calibrer ses échelles a un environnement chaud et aride. Les informations expérimentales ont été recueillies à travers une enquête à l'aide d'un questionnaire sur le terrain auprès de 1361 usagers et d'un contrôle sur place dans un campus universitaire. Les conclusions indiquent que la corrélation entre les indices thermiques PMV et PET et la perception de la chaleur réelle des utilisateurs a été établie.
- L'étude de (Fang et al., 2019) , qui s'appuie sur une comparaison complète de certains indices thermique fréquemment utilisés, d'où les différences entre ces indices sont significatives en terme de modèle d'équilibre énergétique fondamental, les équations descriptives et les limites d'application. Afin de valider ces indices, les auteurs ont effectué un questionnaire subjectif avec des mesures sur le terrain sur un campus universitaire à Guangzhou, dans la région du sud de la Chine. Les résultats ont révélé de fortes relations linéaires entre la température opérationnelle et Tmrt, WBGT, PET, SET*, UTCI, ainsi que PMV. Cependant, les relations entre ces indices et le MTSV ne sont pas claires pour un environnement extérieur chaud, surtout lorsque la température opérationnelle était supérieure à 34 °C.

7. Structure de thèse :

Cette thèse commence par un chapitre introductif qui rassemble les composantes fondamentales de la problématique en passant par une introduction général, les questions de recherche, les hypothèses de recherche, les objectifs de recherche et la structure de la recherche. Ainsi q' un état de l'art sur l'impact de la végétation et les plans d'eau dans la

régulation de microclimat urbain et l'optimisation de confort thermique extérieur. Ensuite, elle sera subdivisée en deux 2 sections, La première étant théorique et la seconde pratique, chacune comprenant plusieurs chapitres. Enfin, elle se termine par une conclusion générale :

- **La section théorique :** est sauvegardée pour le cadre conceptuel et théorique de la thèse, elle comprend trois chapitres :
 - ✓ Le premier chapitre présente un aperçu général sur le contexte et les enjeux de changement climatique dans les villes d'où il met l'accent sur les divers concepts liés au climat urbain, ses classifications et ses échelles. En passant à la notion de microclimat et les paramètres qui l'affectent ; et le phénomène d'ICU, ses types, causes et effets ainsi que les stratégies d'adaptation.
 - ✓ Le deuxième chapitre introduit une analyse analytique sur le traitement de l'environnement thermique extérieur. Il présente une définition générale de la sensation thermique et les facteurs influençant le bien-être thermique dans les zones urbaines. C'est ainsi que nous établissons les normes et les différentes méthodologies d'analyse thermique de l'environnement urbain. De plus nous mettons l'accent sur les techniques couramment utilisées pour optimiser le confort thermique extérieur.
 - ✓ Le troisième chapitre s'occupe de réaliser un aperçu global sur l'espace public urbain (sa définition, ces dimensions, différents aspects et son importance ainsi que sa relation avec le développement durable) et l'impact des éléments naturels (la végétation urbaine et les plans d'eau) dans la configuration des conditions microclimatiques, ainsi que l'optimisation de confort thermique extérieur.
- **La section pratique :** a pour but de présenter le contexte d'étude (la ville et les espaces publics choisis) et le déroulement ainsi que les résultats obtenus lors de l'investigation sur terrain et de la modélisation. D'où elle comprend trois chapitres :
 - ✓ Le quatrième chapitre a pour objectif principal de fournir une vue détaillée sur la ville de Souk Ahars en mettant en lumière ses caractéristiques géographiques (géologiques, hydrographiques et forestières) ainsi qu'une analyse climatique. Il examine également son évolution historique et son développement urbain à travers les différentes périodes, dans le but de

comprendre les raisons et les processus qui ont façonné le développement urbain de la ville de Souk Ahars.

- ✓ Le cinquième chapitre décrit les différents espaces publics choisis, les types de végétation et plans d'eau existés et les méthodes et les outils employés pour mener cette étude.
- ✓ Le sixième chapitre se concentre sur les résultats et les discussions. Il présente les résultats obtenus de questionnaire effectué et les campagnes de mesures microclimatique ainsi la modélisation numérique dans les divers espaces publics choisis, dans le but d'accomplir l'objectif principal de l'étude.

*Chapitre 1 : climat,
microclimat, changement
climatique et ilot de chaleur
urbain.*

Introduction:

L'urbanisation est un phénomène mondial ; la part de la population mondiale résidant en milieu urbain, qui n'était que de 30 % en 1950, devrait être de 68 % d'ici à 2050. Ces changements spectaculaires ont des répercussions considérables sur les populations, l'environnement et le développement, à travers les trois niveaux local, régional et international. Les changements concernent la contamination de l'air et de l'eau, l'exploitation des terres, le déclin de la biodiversité et la dégradation des écosystèmes, tandis que les émissions de carbone provenant des villes et les modifications dans l'utilisation des sols qui y sont associés deviennent un moteur important du changement climatique (X. Li et al., 2022).

Le changement climatique est une préoccupation croissante pour les nations dans le monde entier. En raison des changements climatiques, les événements extrêmes devraient être plus fréquents et plus graves. Le nombre de vagues de chaleur dans le monde a augmenté, et leur durée s'est également allongée (Sharma et al., 2019). Le changement climatique devrait accroître l'apparition d'îlots de chaleur urbains (ICU), où les températures atmosphériques dans les villes augmentent de manière disproportionnée par rapport aux zones environnantes, entraînant des conséquences préjudiciables sur la santé humaine, ainsi que des impacts économiques et environnementaux (Corburn, 2009).

Afin de mieux comprendre l'ICU, son impact sur l'environnement et la santé humaine, ainsi que la manière d'atténuer les îlots de chaleur et de mettre en place des politiques et des initiatives pour les refroidir, plusieurs études scientifiques ont été menées au cours des trois dernières décennies (Akbari et al., 2015).

Ce chapitre propose une vue d'ensemble sur le contexte et enjeux de changement climatique dans les villes d'où la première partie est consacrée pour les définitions de base relatifs à la climatologie, climat, système climatique, classification et les échelles de climat. Ensuite, nous aborderons tout ce qui est lié au microclimat urbain et aux paramètres qui l'influencent, tels que la température, l'humidité, l'environnement bâti, etc. La troisième partie de ce chapitre expose une définition détaillée de changement climatique dans le milieu urbain : ces causes et ces effets. Cependant une dernière partie est pour présenter le phénomène d'ICU, en passant par les composant de climat urbain ; la définition, les types, les causes et l'effet d'ICU ainsi que les stratégies d'adaptation des villes.

I.1 Climat et climatologie :

I.1.1 La climatologie :

La discipline qui consacre l'étude du climat est la climatologie (Gherraz, s. d.-b). Elle est la discipline qui vise à trouver les régularités des phénomènes observables dans l'atmosphère et à définir les règles qui les régissent, telles que la distribution géographique et saisonnière des températures, des vents, des précipitations, ainsi qu'à déterminer les causes de ces phénomènes (*climatologie* - LAROUSSE, s. d.). L'étude du climat vise à discuter les climats qui émergent de la synthèse des éléments climatiques, ainsi que la distribution globale des divers climats sur le globe terrestre, à examiner les facteurs climatiques, leur nature, leur variété, leurs zones ou lieux de prévalence et leur influence sur les autres conditions naturelles présentes. Elle traite des caractéristiques climatiques qui résultent de la dispersion des composantes climatiques et de leur interaction avec d'autres processus physiques. (Khan & Mudassar Hassan Arsalan, 2008).

I.1.2 Le climat :

Le mot officiel employé par l'Organisation mondiale des météorologies OMM pour désigner le climat est " une analyse statistique qui examine la moyenne et la variabilité des données météorologiques pertinentes sur une période allant de quelques mois à des milliers ou des millions d'années différentes" (Hulme, 2015) .

Le climat donc est défini par un ensemble de valeurs moyennes dans le temps qui caractérisent la structure et le comportement des nombreuses composantes du système climatique qui sont: l'atmosphère, l'hydrosphère, la cryosphère, la lithosphère et la biosphère, ainsi que les relations entre elles (Lucarini, s. d.).

I.1.3 Système climatique et ces composants :

Le climat est une structure complexe qui se compose de cinq éléments essentiels (voir figure I.1). Il est régi ou influencé par un certain nombre de facteurs externes, le soleil étant le plus important (Pelumi Awoyemi, 2020).

- ✓ **L'atmosphère** :selon (Gettelman & Rood, 2016), la première composante du système climatique qui vient à l'esprit est l'atmosphère. L'azote inerte (N₂) constitue la plupart de l'air que nous inhalons (78 %), suivi de l'oxygène (O₂) (16 %) et d'autres gaz à l'état de traces tels que le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), le protoxyde

d'azote (N₂O) et l'ozone (O₃) et la vapeur d'eau (H₂O). Outre ces gaz, l'atmosphère contient aussi des particules solides, liquides et les nuages, qui interagissent avec le rayonnement entrant et sortant d'une manière complexe et très spatiale. Le composant le plus variable de l'atmosphère est l'eau dans ses différentes phases telles que la vapeur, les gouttelettes de nuages et les cristaux de glace (Dobinski, 2006).

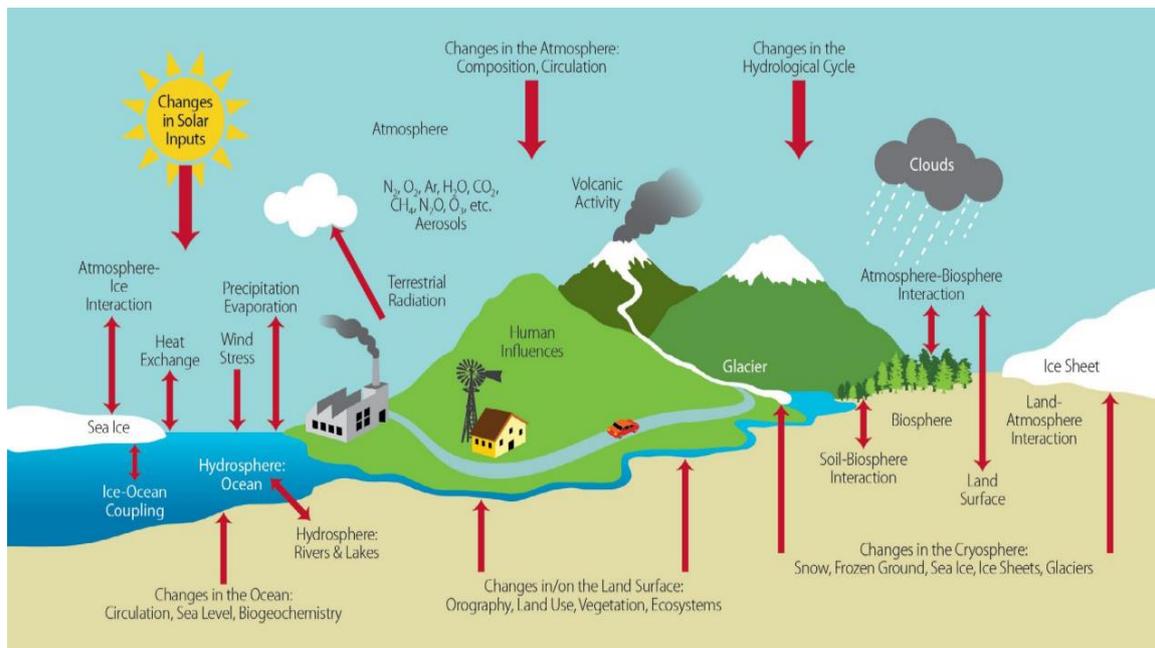


Figure I.52: les composantes du système climatique, leurs processus et de leurs interactions.

Source : (Chapter 2: An Overview of Canada's Changing Climate, s. d.)

- ✓ **L'hydrosphère :** est l'ensemble de la surface des eaux liquides et des eaux souterraine, y compris l'eau douce des rivières, des lacs et des aquifères, ainsi que l'eau salée des océans et des mers. La circulation et la composition de l'océan sont influencées par le ruissellement de l'eau douce des rivières qui retourne à la terre. Les océans couvrent environ 70 % de la surface de la Terre (Malinin, s. d.).
- ✓ **La cryosphère :** est situé à la surface de la terre et à des dizaines, voire des centaines de mètres en dessous. Elle comprend les glaciers, y compris les nappes glaciaires, les sols gelés (pergélisol et sols gelés saisonniers), la couverture neigeuse, la glace des rivières et des lacs, etc. Les changements de volume des nappes glaciaires peuvent potentiellement entraîner des modifications du niveau de la mer, car elles stockent beaucoup d'eau (Dahe et al., 2020).

- ✓ **La lithosphère:** constitue la couche solide externe de la Terre, englobant à la fois la croûte terrestre et la partie supérieure, rigide du manteau. Cette couche est délimitée par l'atmosphère au-dessus et par l'asthénosphère, une région moins rigide du manteau supérieur, en dessous (Lithosphere, s. d.).
- ✓ **La biosphère :** est constituée de la flore et la faune terrestres et marines. L'équilibre du dioxyde de carbone dans l'atmosphère, le ruissellement, l'humidité du sol, l'évaporation et l'albédo de la surface peuvent tous être impactés par des modifications dans la structure ou la fonction de la végétation d'où le biote marin est d'une importance capitale dans la pompe biologique de l'océan et le rythme du cycle du dioxyde de carbone (Pelumi Awoyemi, 2020).

I.1.4 Classification du climat :

La classification des climats basée sur les travaux de Wladimir Koppen est datant de 1900 reste la classification du climat la plus couramment employée. L'inspiration de la climatologue allemand Koppen pour développer une carte mondiale de la classification des climats était due en grande partie à la carte mondiale de la végétation de Grisebach rendue publique en 1866 et à la propre formation de Koppen dans le domaine des sciences des plantes (Peel et al., 2007).

Bien que de nombreuses classifications aient été produites depuis lors, celles basées sur la méthodologie originale de Köppen, en particulier ses modifications, la classification de Köppen-Geiger reste parmi les systèmes les plus largement utilisés. Elle est basée sur le cycle annuel des relevés mensuels de température atmosphérique et de précipitations, et vise à dresser une carte empirique (voir figure I.2) de la distribution des biomes à travers le globe (Cui et al., s. d.).

La carte regroupe les climats terrestres en cinq grands types : tropicaux A, secs B, tempérés C et climat de neige D et polaire E.(Hobbi et al., 2022).

Les zones climatiques de Köppen sont nommées d'après trois lettres :

- ✓ **La première de ces lettres**, en majuscule, désigne le groupe de végétation à l'intérieur de la zone climatique, qui est déterminé par la température et les précipitations
- ✓ **La deuxième lettre, en minuscule**, représente la répartition annuelle des précipitations.

- ✓ La dernière lettre, également en minuscule, représente les changements de température saisonniers.(Zeroual et al., 2019)

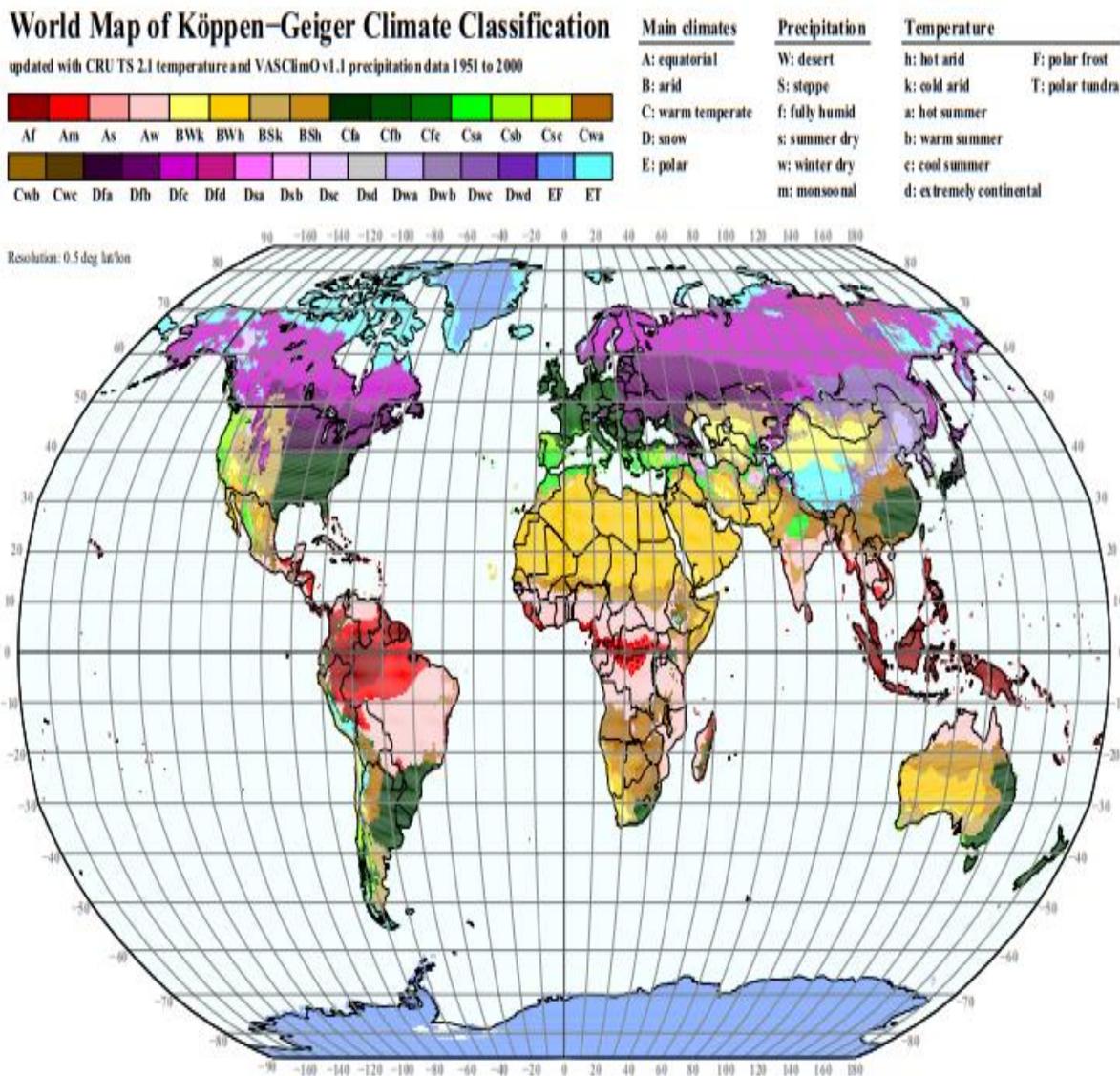


Figure 1.53: Carte mondiale de la catégorisation climatique selon le climatologue allemand Köppen-Geiger. Source : (Kottek et al., 2006).

I.1.5 Les caractéristiques des principaux climats terrestres :

Un bref aperçu des caractéristiques des principaux climats est donné ci-dessous pour l'appréciation de la classification de Köppen des climats du monde. (Kalvová et al., 2003) :

- **Climats tropicaux A** : Ces climats se trouvent généralement dans la ceinture tropicale des deux hémisphères. Il se caractérise par une chaleur constante, la moyenne de tous les mois étant supérieure à 18 °C en moyenne. Il n'y a pas de saison

hivernale dans ce climat. Les précipitations annuelles sont élevées. Il existe trois subdivisions du climat tropical :

- ✓ **Af**= Climat de forêt tropicale humide : Le Mois présentant le moins de précipitations (le plus sec) a en moyenne ≥ 6 cm de pluie
 - ✓ **Am**= Climat tropical de mousson : le mois le plus sec a < 6 cm de pluie
 - ✓ **Aw** = climat de savane : mois le plus sec < 6 cm, précipitations annuelles insuffisantes pour compenser le manque de précipitations.
- **Climats secs (arides et semi-arides) B** : Ce type de climat se caractérise par la rareté de l'humidité ; c'est pourquoi l'évapotranspiration susceptible de dépasser les précipitations.
 - **Climats tempérés C** : se caractérise par des conditions méso thermiques d'où Dans ces régions, la température moyenne du mois le plus froid varie de -3°C à $+18^{\circ}\text{C}$. Les précipitations doivent être supérieures au seuil d'aridité. Les subdivisions du climat sont les suivantes :
 - ✓ **Cs**= Le mois le plus humide de l'année est l'hiver a ≥ 3 fois la pluviométrie moyenne du mois le plus sec (été).
 - ✓ **Cf** = est lié au climat humide sans période de sécheresse marquée.
 - ✓ **Cw**= le mois (été) le plus humide de l'année a ≥ 10 fois les quantités de pluie moyennes du mois d'hiver le plus sec.
 - ✓ **Climat de neige D** : Il s'agit de climats tempérés froids. Ils sont également appelés micro thermiques Cela signifie que la température moyenne du mois le plus chaud dépasse 10°C , tandis que la température du mois le plus froid tombe en dessous de -3°C ; les précipitations dépassent le seuil d'aridité. Ce groupe de climats est divisé en sous-classes de :
 - ✓ **Dfa et Dwa** = température moyenne du mois le plus chaud $> +22^{\circ}\text{C}$.
 - ✓ **Dfb et Dwb** = au moins 4 mois $> +10^{\circ}\text{C}$, le mois le plus chaud enregistre une température qui ne dépasse pas 22°C .
 - ✓ **Dfc et Dwc** =seulement 1 à 4 mois $> +10^{\circ}\text{C}$, le mois le plus froid atteint une température de -38°C .
 - ✓ **Climat polaire E** : est définie en se basant sur la température moyenne du mois le plus chaud, qui doit être inférieure à 10°C . Ce genre est subdivisé en deux sous-types :
 - ✓ **ET** = Dans un climat de toundra, la température moyenne du mois le plus chaud varie dans la plage de 0 à 10°C .

- ✓ **EF** = désert polaire - climat de gel ; la température moyenne du mois le plus chaud est en dessous de 0°C.
- ✓ **I.1.6 Les échelles de climat :**

Selon (Spahić, 2018) Le climat est classé en quatre types en fonction de sa localisation spatiale :

- ✓ **Le macroclimat** spécifie à peu près les mêmes valeurs quantitatives et qualitatives des variables climatiques sur de vastes régions de la Terre, telles que les climats tropicaux humides, désertiques, doux, froids et neigeux, etc.
- ✓ **Le mésoclimat** englobe spatialement des entités géographiques régionales au sein d'un certain
- ✓ Macroclimat.
- ✓ **le topoclimat** décrit le climat d'un lieu ou d'un relief en termes de vallées, de ravins, de champs, de pentes, de dolines karstiques, etc. Les mesures et observations météorologiques standard et supplémentaires, périodiques et occasionnelles, sont utilisées dans l'étude des caractéristiques topoclimatiques d'un lieu.
- ✓ **Le microclimat** désigne le climat d'entités spatiales extrêmement petites, telles que la cime des arbres, les cavernes, les chambres et même l'air autour du corps humain.

I.2 Le microclimat urbain :

I.2.1 Notion de microclimat urbain :

L'urbanisation et l'industrialisation rapide ont rendu l'environnement urbain plus vulnérable à la dégradation pendant les dix dernières années. La démographie mondiale augmentera rapidement jusqu'à la fin du vingtième siècle, tandis que les villes seront de manière croissante nombreuses à se développer (Ramyar et al., 2021) .Dans le microclimat urbain, les phénomènes climatiques sont pris en considération à différentes échelles, depuis l'échelle du quartier et de la petite communauté de plusieurs kilomètres jusqu'aux canyons de rue de quelques mètres, le microclimat urbain se réfère uniquement aux scénarios prenant en compte l'impact des températures, tandis que les scénarios isothermes, dans lesquels le flux d'air est considéré comme dominé par le vent, de sorte que les effets de flottabilité thermique sont généralement négligés, ont été exclus, ce qui représente une définition étroite du microclimat urbain(S. Yang et al., 2023).

I.2.2 Les paramètres influençant le microclimat urbain :

Dans ces dernières années différentes paramètres régissant le microclimat urbain (voir figure I.3), tel que les facteurs naturels, l'environnement bâti et les facteurs indirects qui y sont étroitement liés (Bherwani et al., 2020) :

Facteurs naturels :

- ✓ La direction et la vitesse du vent.
- ✓ La température d'air.
- ✓ les précipitations.
- ✓ l'humidité.
- ✓ le rayonnement solaire.
- ✓ Albédo.
- ✓ verdure.
- ✓ masses d'eau naturelles.
- ✓ Evapotranspiration.
- ✓ type de sol.
- ✓ état du terrain.

Facteurs de l'environnement bâti :

- ✓ Construction : matériaux ; hauteur ; forme ; texture et couleur.
- ✓ canyon urbain.
- ✓ La couverture végétale et aménagement paysager.
- ✓ les masses d'eau artificielles.
- ✓ la densité de population.
- ✓ densité des zones bâties.
- ✓ Les sites industriels.

Facteurs indirects :

- ✓ La pollution d'air.
- ✓ développement et construction en cours.
- ✓ autres pollutions de l'environnement.

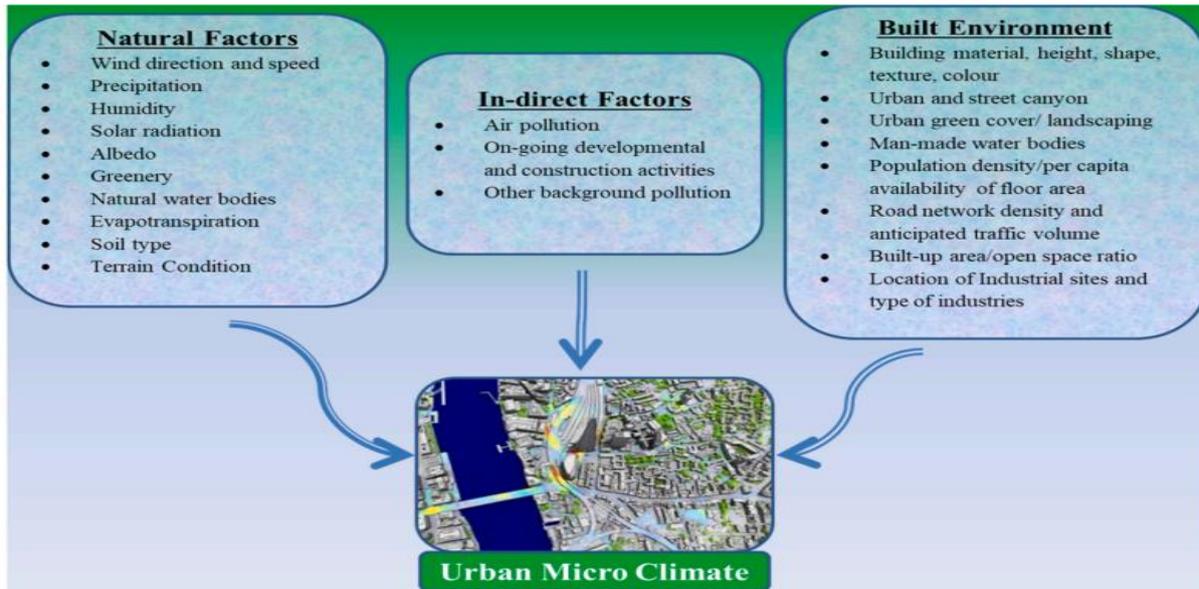


Figure I.54: Facteurs généraux responsables du microclimat d'une région. Source:(Bherwani et al., 2020).

Selon (Kleerekoper et al., 2012) ; L'un des paramètres les plus importants du microclimat urbain est la température, qui est fortement concentrée dans un environnement urbain empathique. Les changements dans l'équilibre thermique sont facilement perceptibles à cause des propriétés thermiques des matériaux utilisés en construction, des perturbations urbaines, de l'air qui entre et qui sort et de la production de chaleur due aux activités anthropologiques dans la ville.

Les effets de ces contraintes thermiques peuvent potentiellement être exacerbés par la dynamique spatio-temporelle de la population en relation avec les déplacements interurbains (J. Yang et al., 2019).

Les précipitations sont une composante essentielle de microclimat urbain ; et sont également influencées par l'urbanisation. Elles sont principalement affectées par l'augmentation de la convergence , de la rugosité de la surface et des sources de noyaux de condensation des nuages due aux aérosols et aux particules de la pollution atmosphérique (Diem & Brown, 2003).

L'humidité est un autre facteur important pour le microclimat ; les précipitations locales inhabituelles sont causées par la convergence de la vapeur d'eau. Il est également bien connu

que la quantité de l'humidité relative et la température de l'air sont liées, les températures élevées augmentent la capacité de rétention de la condensation d'eau, ce qui provoque une diminution de l'humidité relative (Byrne & O’Gorman, 2018).

Le lien entre la lumière solaire réfléchi et la lumière solaire survenu dépend de l'agencement des surfaces comme les matériaux, les revêtements, les enduits, etc. L'albédo a une influence directe sur la réponse du microclimat aux dispositions de surface telles que les matériaux utilisés pour les toits, les pavages, les revêtements, et la position du soleil (Lopez-Cabeza et al., 2022a).

Selon (Arruda et al., 2023) ; une forte concentration de bâtiments, de vastes zones couvertes par des bâtiments horizontaux en métal, peu ou pas de végétation, une infrastructure urbaine largement pavée, une circulation dense et la chaleur résiduelle anthropogénique provenant des activités industrielles ; peuvent également influencé le microclimat urbain .

I.3 Ville et changement climatique : contexte et enjeux.

I.3.1 Le Changement climatique :

Le changement climatique constitue le risque majeur de la vie sur notre planète. Il est causé par les émissions humaines et naturelles de polluants atmosphériques, en particulier les gaz à effet de serre GES, qui exercent une influence significatif sur le climat (Chan, 2018).

Cela implique une modification des conditions météorologiques habituelles, comprenant des facteurs comme la température d'air , l'humidité, les chutes de pluie , le taux de couverture nuageuse et la configuration des vents, ainsi que des variations dans l'occurrence ou l'intensité de ces circonstances (Kumar, 2021).

Le changement climatique entraîne un accroissement progressif de la température moyenne annuelle de la planète, une situation qui a commencé au début de la révolution industrielle. La vague actuelle d'événements météorologiques extrêmes a intensifié les discussions sur l'élévation de la température de la planète (Mikhaylov et al., 2020).

Selon (Saklani & Khurana, 2019), bien que les termes "changement climatique" et "réchauffement climatique " soient interchangeables, le terme "changement climatique" désigne l'ensemble du phénomène de réchauffement climatique et ses conséquences, qui

varient d'une région à l'autre et comprennent des changements dans les précipitations, la température et la pression atmosphérique.

I.3.2 Les causes de changement climatique :

Les principales causes du changement climatique sont les gaz à effet de serre présentés par le dioxyde de carbone, le méthane, l'oxyde nitreux et les chlorofluorocarbones CFC. L'homme les crée en brûlant des combustibles fossiles et en participant à divers processus industriels et agricoles (Mikhaylov et al., 2020).

En outre, il existe d'autres causes de changement climatique, notamment la contribution de la nature et les contributions humaines.

✓ Les gaz à effet de serre :

L'équilibre énergétique de la Terre est préservé au sommet de l'atmosphère à travers la combinaison du rayonnement solaire à courte longueur d'onde et du rayonnement solaire à longue longueur d'onde provenant d'autres sources (Stephens et al., 2012).

L'effet de serre est le résultat de la grande efficacité à retenir la chaleur dans l'atmosphère par les gaz à effet de serre. La surface de la terre absorbe l'énergie solaire, qui est ensuite renvoyée dans l'atmosphère sous forme de chaleur ; une partie de cette chaleur est ensuite absorbée par les gaz à effet de serre et s'échappe dans l'espace. Ils libèrent ensuite la chaleur dans l'espace, dans une autre molécule de gaz à effet de serre ou à la surface de la terre (Hertzberg et al., 2017).



Figure I.55: Le fonctionnement de l'effet de serre sur la Terre. Source : (Services, s. d.)

✓ **Les contributions de la nature :**

Les changements dans l'activité solaire, le trajet orbital de la Terre autour du Soleil et les variations de l'activité volcanique sont des exemples de variables naturelles qui ne sont pas intégrés dans le système climatique mais qui peuvent affecter le climat de la Terre (Cole-Dai, 2010).

L'impact des composants traceurs d'origine volcanique sur la composition chimique et les propriétés optiques de l'atmosphère fait de l'activité volcanique un moteur naturel important des fluctuations du climat (Stenchikov, 2021). Les éruptions volcaniques libèrent toute une série de gaz et de particules dans l'atmosphère (Robock, s. d.).

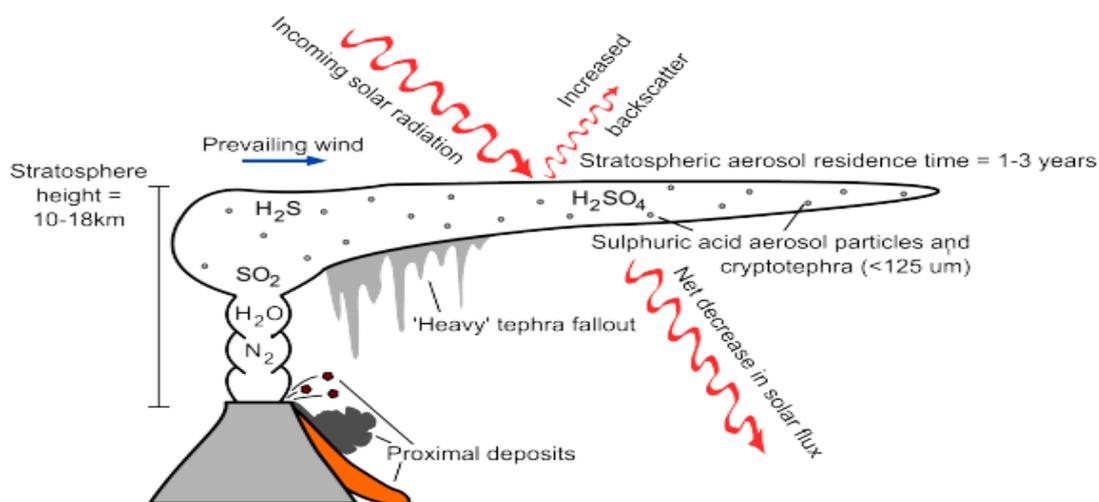


Figure I.56: Les éruptions volcaniques dans l'atmosphère. Source: (Cooper et al., 2018)

Selon (Cooper et al., 2018) ; les gaz volcaniques qui sont déjà présents dans notre atmosphère en concentrations relativement importantes, notamment H₂O, N₂ et CO₂, sont les plus couramment libérés lors d'une éruption et ont le moins d'impact sur la structure de l'atmosphère et le climat. Néanmoins, d'autres émissions volcaniques qui contiennent des composés sulfurés (tels que le SO₂ et le H₂S) ont un effet nettement plus important.

✓ **Les contributions humaines :**

L'origine principale du changement climatique réside dans l'activité humaine, qui libère quatre principaux gaz à effet de serre dans l'atmosphère :

- le dioxyde de carbone CO₂

- le méthane CH₄
- l'oxyde nitreux N₂O
- les halos carburent (Watson et al., s. d.).

Les émissions de gaz sont accrues lorsque les combustibles fossiles sont utilisés, au fil du temps, les concentrations de ces gaz augmentent dans l'air en raison de leur accumulation ce qui induit une hausse de la température et une forte tendance au réchauffement de la planète (Saklani & Khurana, 2019).

I.3.3 Les effets de changement climatique :

Les villes sont fréquemment extrêmement exposées aux conséquences du changement climatique, certaines caractéristiques propres aux villes, telles qu'une couche imperméable élevée et une faible couverture perméable, amplifient certains effets du changement climatique (Barata et al., 2011).

Il est prévu que les habitants des villes subissent divers effets néfastes du changement climatique, impactant leur santé et leur bien-être. Ces effets incluent notamment l'augmentation du niveau de la mer, l'accroissement de la température moyenne, les températures nocturnes plus basses, la diminution des précipitations de neige ou de pluie, engendrant des pénuries d'eau, ainsi que l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements météorologiques extrêmes tels que les vagues de chaleur, les tempêtes côtières, les fortes précipitations, les chutes de neige et la couverture neigeuse (Shahzad, 2015).

Potential Impacts of Global Climate Change on Human Health



Figure I.57: Conséquences anticipées du changement climatique mondial sur la santé humaine.

Source : (Shahzad, 2015)

Selon (Hobbie & Grimm, 2020; Trenberth, 2018) ; Les phénomènes extrêmes constituent l'aspect du changement climatique qui affectera le plus directement les personnes au cours de leur vie :

- ✓ **Élévation du niveau de la mer et tempêtes côtières:** L'élévation du niveau de la mer devrait s'accélérer et atteindre 0,3 à 1,3 m d'ici 2100, la majorité des grandes villes et de la population mondiale résident dans des régions côtières à basse altitude, ce qui expose les personnes et les infrastructures à un risque accru d'inondations, d'ondes de tempête, d'érosion et d'intrusion d'eau salée.
- ✓ **Précipitations :** les conséquences du changement climatique sur le cycle de l'eau est très dangereuse, dans lequel les océans jouent un rôle essentiel. Pour chaque degré Celsius d'augmentation de la température, l'atmosphère retient environ 4 % d'humidité en plus, ce qui augmente la quantité de vapeur d'eau dans l'atmosphère ; cette vapeur d'eau supplémentaire dans l'atmosphère entraîne une augmentation des précipitations. La vapeur d'eau est incontestablement un puissant gaz à effet de serre, ce qui explique qu'elle intensifie considérablement le changement climatique.
- ✓ **Chutes de neige et couverture neigeuse:** la couverture neigeuse dans l'hémisphère nord a diminué de manière significative. Le changement climatique provoque un dégel plus précoce des neiges, un ruissellement plus tôt au printemps et des risques accrus de sécheresse, de pénurie d'eau, d'incendies de forêt et d'infestations d'insectes nuisibles pendant l'été.
- ✓ **Chaleur extrême :** Avec l'accélération des températures mondiales, Il est prévu d'observer un accroissement des vagues de chaleur de courte durée et de leurs effets néfastes sur la santé, l'économie et la vie sociale. L'augmentation des températures aggrave également le stress lié à la sécheresse, ainsi que la détérioration et les périodes de stagnation de l'air provoquées par les vagues de chaleur.

I.4 Îlot de chaleur urbain ICU : concepts et adaptation.

I.4.1 Le climat urbain :

Selon les projections, la population mondiale sera majoritairement urbaine d'ici 2050, représentant environ 67 % de la population totale (Debbage & Shepherd, 2015). L'urbanisation recouvre deux concepts distincts mais apparentés. D'un côté, cela concerne une population dense qui réside dans des lieux permanents et qui travaille dans des domaines

non agricoles. Deuxièmement, le mot "urbanisation" dénote des altérations significatives de l'environnement naturel (Vlahov, 2002). En raison des modifications des particularités innées de la surface terrestre provoquées par l'urbanisation, le bilan énergétique de l'environnement est affecté par des changements dans les propriétés radiatives, thermiques, hygrométriques et aérodynamiques d'une région (Tsagkalidou, 2014).

Selon (Oke, 1976) ; l'atmosphère urbaine est divisé en deux couches différentes, l'une est régie par des processus agissant à l'échelle micro, l'autre par des processus agissant à l'échelle locale ou méso-échelle.

I.4.2 La couche limite atmosphérique urbaine (Planetary Boundary Layer PBL) :

La couche limite atmosphérique constitue la partie inférieure de l'atmosphère, la plus proche de la surface, où l'interaction entre l'atmosphère et la surface est la plus forte, entraînant le plus grand échange d'attributs physiques tels que la température, l'humidité et la circulation d'air (Menut, s. d.).

Elle subit également l'influence des caractéristiques de la surface avec laquelle elle interagit et au niveau où s'opèrent des mécanismes définis par des fluctuations temporelles de l'ordre de l'heure et un cycle journalier, avec une épaisseur qui se varie de quelques kilomètres le jour à quelques centaines de mètres la nuit (B. L. Roy, s. d.).

Elle se décompose en deux couches principales (voir la figure I.7) ; une couche inférieure, également appelée couche de surface ou couche limite superficielle, représente environ 10 % de l'épaisseur totale de la couche limite atmosphérique et une couche de mélange supérieure, qui est principalement contrôlée par l'équilibre radiatif de la surface et les effets de fracturation (Chauzy et al., s. d.).

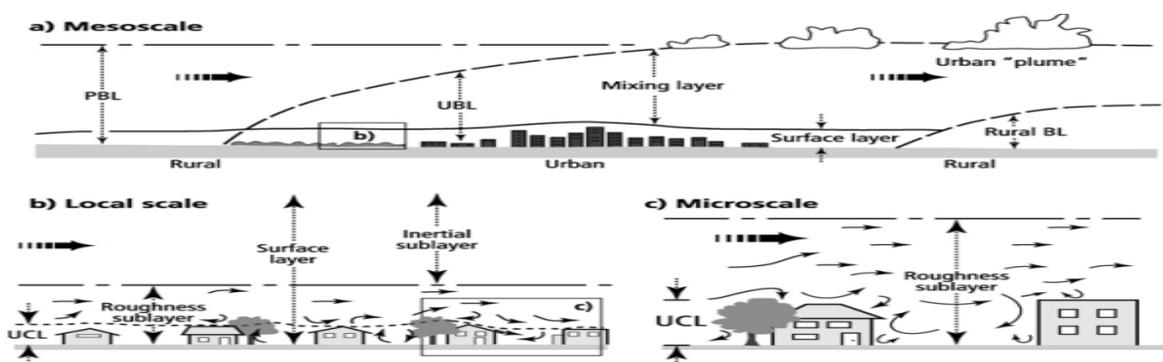


Figure I.58: Illustration graphique de la limite atmosphérique urbaine à différentes échelles spatiales. Source : (Piringer et al., 2002)

I.4.3 La couche limite urbaine (Urban Boundary Layer UBL) :

La couche limite urbaine désigne l'air au-dessus des zones urbaines, impacté par les propriétés et les actions de la surface environnante (voir figure I.7). Elle s'étend vers le haut jusqu'à une hauteur d'environ dix fois celle des structures de la ville (Faragallah & Ragheb, 2022).

I.4.4 La canopée urbaine (Urban Canopy Layer UCL) :

La canopée urbaine est un concept à micro-échelle, dont le climat est dominé par le milieu environnant, en particulier les matériaux et la géométrie du site (voir figure I.7). La limite supérieure de la canopée urbaine est susceptible d'être mal définie en raison des caractéristiques de la "surface" urbaine (Oke, 1976).

Dans les zones densément bâties, la limite est perçue comme se situant au niveau du toit ou juste en dessous ; dans les grands espaces ouverts, elle peut être totalement absente. La profondeur de cette couche peut également être fonction de la vitesse du vent, se réduisant au fur et à mesure qu'un flux d'air plus important permet aux influences du haut de pénétrer (Ampatzidis & Kershaw, s. d.).

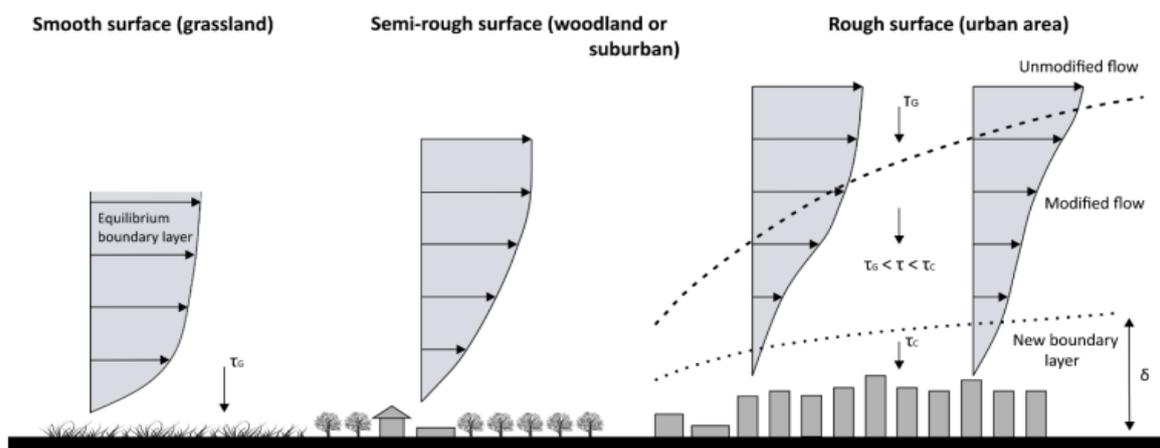


Figure I.59: La variation du profil de vitesse lorsque l'air s'écoule d'une surface lisse vers une surface plus rugueuse. Source : (Ampatzidis & Kershaw, s. d.)

I.4.5 Définition d'îlot de chaleur urbain ICU :

Selon (Sachindra et al., 2016) , la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère augmente, ce qui modifie le climat mondial. La hausse de la température de l'air près de la

surface est considérée comme l'altération la plus notable du climat mondial. Dans la plupart des villes, on observe que la température au centre urbain est supérieure que dans les zones environnantes ou suburbaines (voir figure I.9) , ce qui les soumet à un microclimat particulier caractérisé par un phénomène communément appelé l'îlot de chaleur urbain ICU (Nuruzzaman, 2015a).

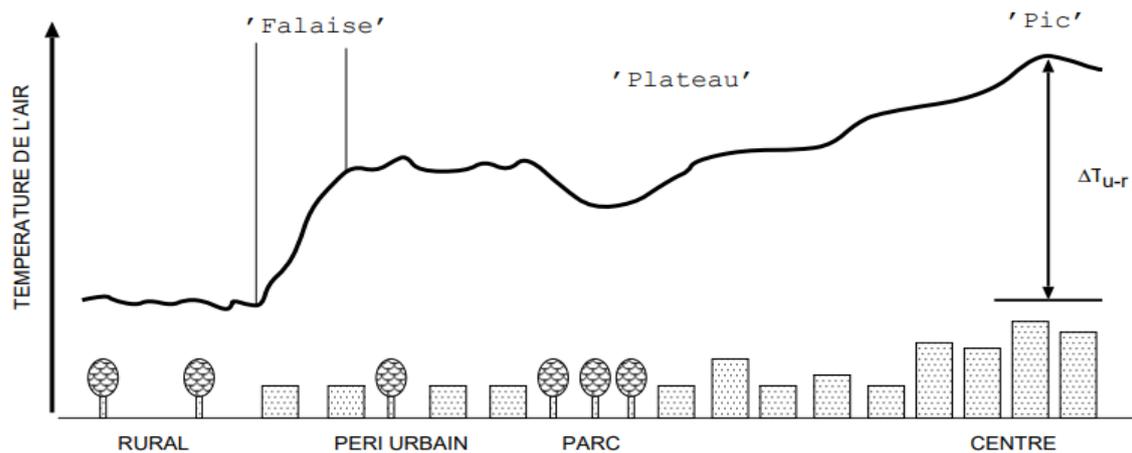


Figure I.60: La fluctuation de la température de l'air à travers une zone urbaine. Source : (Pigeon, s. d.).

La forme et l'étendue d'ICU évoluent à travers le temps et l'espace, ils sont influencés par les caractéristiques de la structure régionale et urbaine ainsi que par les divers facteurs climatiques (Shahmohamadi et al., 2011a).

En raison de la complexité du système urbain, la formation d'ICU peut résulter de plusieurs couches d'interaction :

- ✓ La première interaction se produit dans la couche de surface urbaine, où les matériaux urbains interagissent directement avec le rayonnement entrant.
- ✓ Le deuxième niveau d'interaction se situe dans le flux d'air complexe au-dessus de l'environnement bâti. À ce stade, l'aérodynamique locale produite par les caractéristiques de la canopée et de la surface dirige les processus physiques.
- ✓ Le dernier niveau est la relation entre la ville dans son ensemble et les flux physiques primaires. (Vujovic et al., 2021).

Selon (Bahi et al., 2020) ; Il existe trois types distincts d'ICU : l'ICU de surface , l'ICU de la couche de canopée et l'ICU de la couche limite (voir figure I.10).

Les distinctions entre ces types sont liées à leur formation, à leurs effets et aux méthodes d'identification et de mesure.

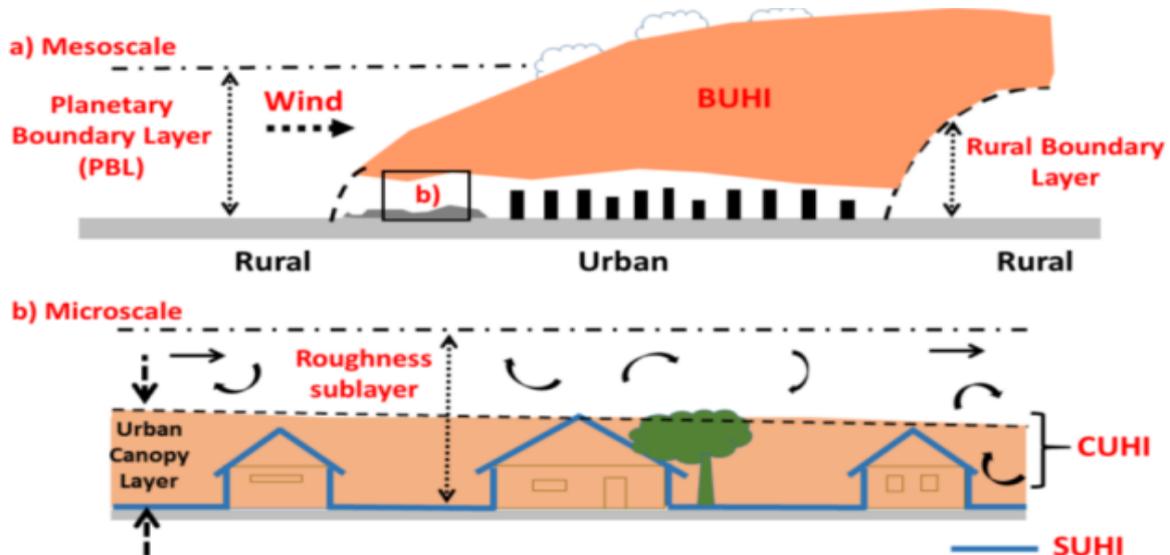


Figure 1.61: Types d'ICU. Source : (Jabbar et al., 2023).

- ✓ **L'ICU de surface (Surface urban heat island SUHI)** : représente la différence de température radiative entre les surfaces urbaines et non urbaines, en général, ses propriétés fondamentales diffèrent de celles de l'ICU atmosphérique. Il présente également une plus grande variabilité temporelle et spatiale que l'ICU atmosphérique (L. Chen et al., 2021)
- ✓ **L'ICU de la couche de canopée (Canopy layer urban heat island CUHI)**: se trouve à l'intérieur de l'atmosphère, il est présent principalement dans les zones avec une densité de construction élevée par contre dans les zones suburbaines moins développées, elle peut être discontinue ou absente. Il se produit lorsque l'énergie thermique se transfère pour élever la température de la surface (Oke, 1988).
- ✓ **l'îlot de chaleur urbain de la couche limite (Boundary layer urban heat island BUHI)** : Grâce à la confluence des panaches de chaleur sensible provenant des régions d'échelle voisines et à l'entraînement d'air plus chaud au-dessus de la couche limite, la chaleur urbaine se propage dans la couche limite, ce qui donne lieu à l'ICU de la couche limite (Fernando, 2013).

Les différents types d'ICU ont été examinés et clarifiés à trois échelles différentes : méso-échelle (10 km), échelle locale (1-10 km) et micro-échelle (1-100 m) (Peng et al., 2022).

Selon (Soltani & Sharifi, 2017), a travers la comparaison de l'effet d'ICU sous ces divers types dans les centres urbains et leur zones rurales environnantes ; on peut identifier cinq caractéristiques communes entre eux :

- ✓ Contrairement à leur environnement rural, les îlots de chaleur sont plus chauds.
- ✓ Par temps clair et calme, la nuit, surtout en hiver, la différence de température entre les zones urbaines et rurales est une importance accrue.
- ✓ Les modifications de la couverture urbaine provoquées par l'activité humaine sont la cause de l'effet d'ICU sous ces divers types.
- ✓ Le niveau d'intensité d'ICU est corrélé à la diminution de la végétation et à l'augmentation du développement urbain.
- ✓ Au-dessus des villes, les ICU produisent un dôme d'air plus chaud.

I.4.6 Les causes et les facteurs contribuant à la formation des îlots de chaleur urbain ICU:

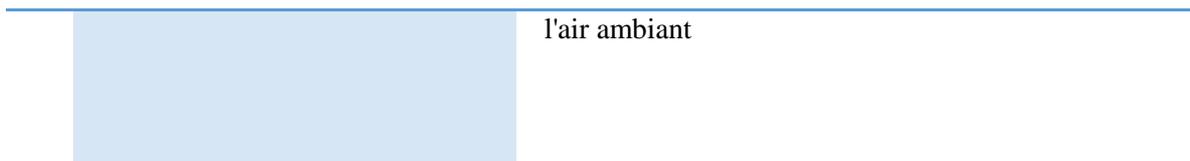
Selon (C. Lopes et al., s. d.) , Le phénomène d'ICU se démarque par d'importantes variations temporelles et spatiales liées à la géographie, au climat, à la configuration physique et aux conditions météorologiques à court terme. Par conséquent, les effets sont déterminés par les qualités distinctives de chaque ville. Il existe deux types d'éléments principaux qui contribuent aux îlots de chaleur urbains : les facteurs climatiques et les paramètres urbains (Che-Ani et al., s. d.).

Tableau 1.2: Effets des facteurs météorologiques et des paramètres urbains sur les îlots de chaleur urbains. Source : (Che-Ani et al., s. d.).

	<i>facteurs urbains</i>	<i>Effets possible</i>
<i>Facteurs climatiques</i>	<i>Temperature</i>	Étant donné que les conditions météorologiques actuelles associées à l'intensification de l'îlot de chaleur sont également associées à des épisodes de pollution intense dans les villes, des températures plus élevées et des changements dans la couverture nuageuse à l'avenir pourraient entraîner des taux plus élevés de formation de smog, et des vitesses de vent
	<i>Couverture nuageuse</i>	
	<i>Vent</i>	

		plus faibles pourraient avoir tendance à maintenir les polluants concentrés au-dessus des zones urbaines
Localisation de la ville	Chaînes de montagnes et altitude	Les températures, les vents, l'humidité, les précipitations, le brouillard, la prévalence des inversions, etc. peuvent varier considérablement d'un endroit à l'autre d'une même région. Ces variations peuvent être dues aux différences de distance par rapport à la mer, à l'altitude, à la direction des pentes et à la topographie générale de la région
	Topographie	
	Rivières et autres	
	Plans d'eau	
Taille de la ville		L'augmentation de la taille des villes est due à l'accroissement de la population et de la densité. Deux des facteurs à l'origine du phénomène d'ICU dépendent de la taille et de la densité de la population et de son niveau de vie (circulation automobile, intensité du chauffage en hiver et de la climatisation en été, et installations industrielles)
Densité de la zone bâtie	Couverture du sol	La fraction de terrain couverte par les bâtiments dans une zone donnée est un facteur important pour évaluer l'effet climatique de l'urbanisation. Certains détails architecturaux des bâtiments, la couleur de leurs toits, peuvent changer complètement la direction de l'effet des bâtiments sur l'équilibre radiatif urbain et la température.
	Distance entre les Bâtiments	Le passage d'une rue à l'autre ou à l'intérieur d'un îlot urbain influe grandement sur les conditions de ventilation, tant à l'extérieur qu'à l'intérieur.
	Hauteur moyenne des bâtiments	Les bâtiments plus élevés réduisent davantage la vitesse du vent au niveau du sol que les bâtiments plus bas.
Géométrie urbaine		1. L'augmentation de la friction créée par une surface urbaine rugueuse réduit le flux d'air horizontal dans la ville ; 2. la géométrie complexe de la surface urbaine modifie le bilan radiatif de la ville. Pendant la journée, les parois verticales des canyons piègent

<p><i>Vitesse de vent</i></p>	<p>les ondes courtes. Les pertes nocturnes d'énergie infrarouge sont également retardées en raison de la réduction de la vue du ciel sous le niveau du toit.</p> <p>L'intensité de l'ICU est inversement proportionnelle à la vitesse du vent au niveau macro. Cependant, les flux de vent urbains sont généralement faibles au niveau macro.</p>
<p><i>Chaleur anthropique</i></p>	<p>Le chauffage des locaux, la fabrication, le transport, l'éclairage et le métabolisme humain et animal réchauffent l'atmosphère urbaine par conduction, convection et rayonnement</p>
<p><i>Imperméabilisation des surfaces</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Les bâtiments et les rues pavées déversent rapidement les précipitations dans les bassins versants, créant un déficit d'évaporation dans la ville ; 2. la couverture de la surface urbaine augmente le transfert de chaleur sensible et supprime le flux de chaleur latente
<p><i>Propriétés thermiques des tissus</i></p>	<p>L'absorption diurne plus importante du rayonnement de courte longueur d'onde dans les zones urbaines par les matériaux de construction urbains tels que le béton et l'asphalte.</p>
<p><i>Utilisation des sols</i></p>	<p>Les différents types d'utilisation des sols (commerciale, résidentielle, industrielle, parcs, aéroports, etc.) ont une influence différente sur le climat urbain. L'augmentation de la centralisation de la population dans une zone de la ville et de la chaleur anthropogénique peut être l'un des facteurs les plus importants pour la production de chaleur (zone commerciale).</p>
<p><i>Pollution de l'air</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Réduire le flux incident de rayonnement à ondes courtes (c'est-à-dire solaire) ; 2. Réémettre le rayonnement à ondes longues (c'est-à-dire infrarouge) de la surface urbaine vers le bas, où il est retenu par le sol ; et 3. Absorber le rayonnement à ondes longues de la surface urbaine, ce qui a pour effet de réchauffer



Actuellement on comprend que les causes et les éléments ayant un impact sur la formation des ICU sont multiples et liées. Une première classification pourrait être celle des facteurs contrôlables et incontrôlables (voir figure I.11), qui peuvent être divisés en trois catégories :

- ✓ **variables d'effet temporaire** : comme le vent et la couverture nuageuse...etc.
- ✓ **variables d'effet permanent** : come les espaces verts et les matériaux de construction...etc.
- ✓ **variables d'effet cyclique** : comme les radiations solaires et les sources de chaleur anthropogènes...etc. (Busato et al., 2014).

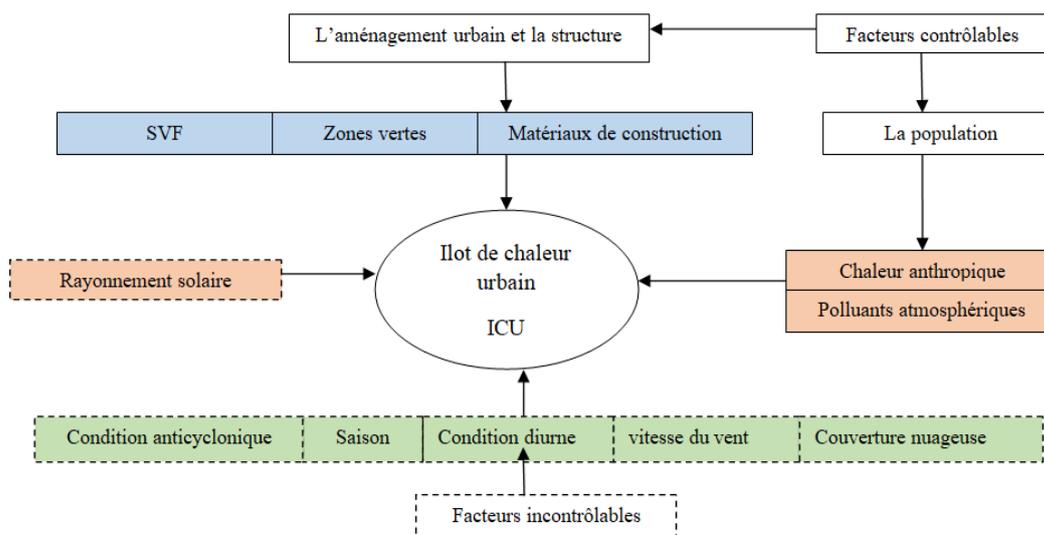


Figure I.62: Principales causes de l'effet d'îlot de chaleur urbain. Source :(Busato et al., 2014)

De nombreuses recherches antérieures (C. Lopes et al., s. d.; Mohajerani et al., 2017; Oke, 1982), ont examiné les causes et les facteurs contribuant aux îlots de chaleur urbains qui peut être résumé :

- ✓ **La géométrie radiative des canyons** : qui réduit la diminution du rayonnement à longues ondes des rues canyons en raison de l'écran de la ligne d'horizon et de l'interaction complexe entre les bâtiments. À l'intérieur des canyons, les différentes surfaces des bâtiments et des routes émettent un rayonnement infrarouge.

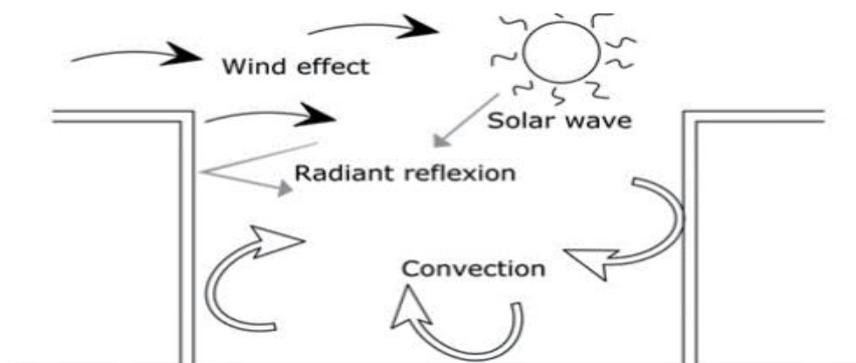


Figure I.63: Description du transfert de chaleur et de masse dans le canyon urbain. Source : (Tumini, 2015)

- ✓ **Chaleur anthropique** : qui est produite par la combustion de carburants à partir de sources fixes ou mobiles, ainsi que par le métabolisme des êtres vivants.

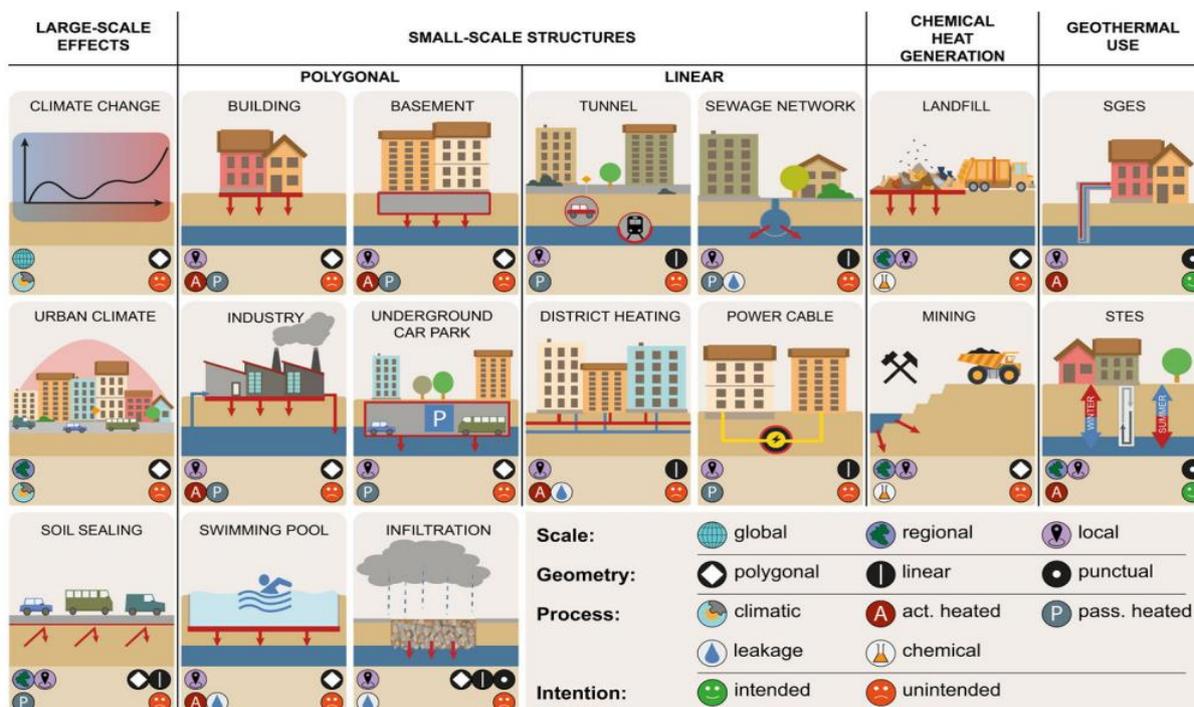


Figure I.64: Les sources de chaleur anthropiques dans la ville. Source : (Noethen et al., 2023)

- ✓ **Les caractéristiques thermiques des matériaux de construction** : qui renforcent l'aptitude de la ville à retenir la chaleur sensible pendant la journée et à la restituer dans l'atmosphère urbaine au crépuscule.

- ✓ **L'effet de serre urbain** : qui augmente le nombre d'ondes longues de rayonnement qui pénètrent dans l'atmosphère urbaine polluée.
- ✓ **la réduction des surfaces d'évaporation dans la ville** : ce qui entraîne la production de chaleur sensible avec une plus grande énergie que la chaleur latente.

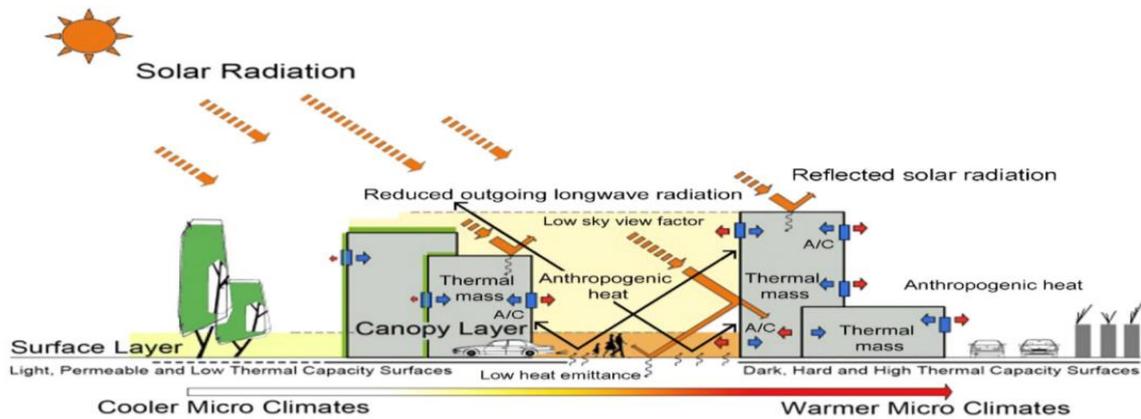


Figure I.65: Comment se produit d'ICU. Source:(Soltani & Sharifi, 2017).

I.4.7 Les conséquences d'îlot de chaleur urbain ICU :

Le microclimat urbain est l'un des éléments clés qui influencent le niveau de vie dans les villes. Les températures élevées ont un effet à la fois sur la santé humaine, la qualité de l'environnement urbain ainsi que sur le confort humain et l'atmosphère locale (Mohajerani et al., 2017).

Le niveau d'intensité d'ICU a de nombreux effets localisés qui peuvent être classés selon les aspects du développement durable en tant que problèmes environnementaux, sociaux et économiques (Leal Filho et al., 2021).



Figure I.66: Les effets d'ICU. Source :(Leal Filho et al., 2021).

✓ **Les conséquences d'ICU sur le milieu urbain :**

Le remplacement des couvertures terrestres naturelles comme les plantes, le sol et l'eau par des surfaces artificielles imperméables comme l'asphalte, le béton et le métal a de graves conséquences environnementales tant pour les climats locaux que pour l'environnement mondial, notamment une diminution de la transpiration, une élévation du stockage et de la transmission de la chaleur sensible, et la baisse de la circulation de l'air (Fadhil et al., 2023).

✓ **Les conséquences d'ICU sur la société urbaine :**

L'ICU est devenu l'un des plus grands problèmes liés à l'urbanisation et à l'industrialisation de la civilisation humaine (Tan et al., 2010). Les chaleurs intenses ont un impact négatif sur la santé et le bien-être des personnes dans le monde entier, provoquant un inconfort et un stress thermique (Sodoudi et al., 2014). Les températures ambiantes élevées peuvent avoir des effets négatifs sur la santé en termes d'augmentation de la mortalité ou de la morbidité, d'où la population âgée est la plus touchée (Heaviside et al., 2016).

✓ **Les conséquences d'ICU sur l'économie urbaine :**

Selon (Shahmohamadi et al., 2011b) ; Les effets d'ICU sont parmi les raisons les plus importantes de l'accroissement de la demande énergétique en milieu urbain (voir figure I.16).

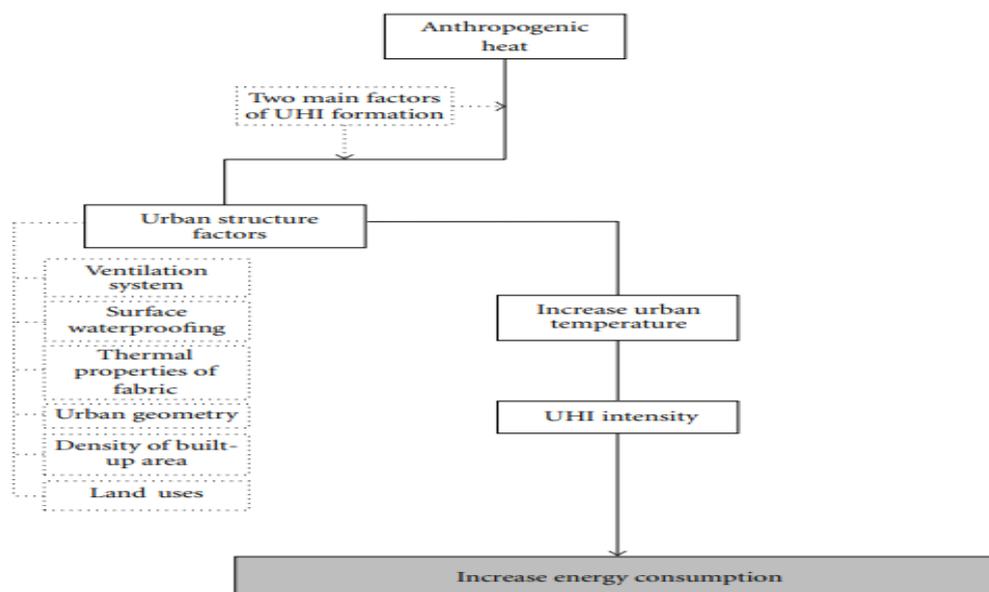


Figure I.67: Le processus d'augmentation de la consommation d'énergie. Source :(Shahmohamadi et al., 2011b).

La forte concentration de matériaux urbains et la production de chaleur anthropique entraînent une augmentation de la température de l'atmosphère. Ce phénomène entraîne à la fois un croissement de la demande en énergie et de ses coûts, ainsi que des concentrations de pollution. L'accroissement de la demande d'énergie conduit à une hausse des coûts, notamment en raison de la consommation accrue pour le refroidissement. (Nwakaire et al., 2020).

Selon (Madhumathi et al., 2018; Tumini, 2015) ; les conséquences d'îlots de chaleurs urbain ICU sur la ville peut être résumé comme suit :

- ✓ Une augmentation dans la consommation de l'énergie : à cause des systèmes de refroidissement des bâtiments, en particulier lorsque les températures sont élevées. La consommation énergétique pour la climatisation accroît, ce qui augmente également les émissions de dioxyde de carbone CO₂, de méthane CH₄ et l'oxyde nitreux N₂O.
- ✓ La contamination atmosphérique et la perte de santé et le confort.
- ✓ Détérioration de la qualité des eaux.
- ✓ Utilisation des espaces extérieurs : L'érosion de confort thermique extérieur peut affecter la perception des utilisateurs dans les espaces publics, améliorant ou gâchant leur expérience.

I.4.8 Stratégies d'adaptation des villes face aux effets d'îlot de chaleur urbain ICU:

Les ICU ont des répercussions profondes et étendues sur diverses politiques urbaines, comme le traitement des eaux de pluie, la santé publique, la qualité de l'air, la consommation d'énergie et l'ajustement au changement climatique (Hewitt et al., s. d.).L'atténuation de l'effet UHI peut présenter de nombreux avantages pour les bâtiments, les quartiers, les villes, les zones suburbaines et le monde entier, Il est essentiel de rechercher des techniques de résolution pour combattre l'ICU.

Selon (Chauzy et al., s. d.; Munck, s. d.-b) ;diverses stratégies peuvent être envisagées pour répondre aux défis de changement climatique dans les villes :

- ✓ La modification du bâti, par la modification des structures urbaines et de l'enveloppe extérieure et intérieure des bâtiments en utilisant de matériaux réfléchissants et/ou isolants.

- ✓ Modifications de comportements personnels, telles que la diminution de la consommation de chauffage et de climatisation ou la réduction de l'activité durant les moments de chaleur les plus intenses de la journée.
- ✓ L'aménagement urbain ; Il s'agit de requalifier les surfaces urbaines en augmentant les espaces verts, par exemple. La conception des structures urbaines d'une ville affecte le développement d'ICU, car elle influence la façon dont le rayonnement solaire est absorbé et la façon dont les courants de vent sont créés. Elle peut atténuer les conséquences néfastes des îlots de chaleur en diminuant l'usage de l'énergie et les émissions de CO₂ (Gago et al., 2013).

Built types	Definition	Land cover types	Definition
	Dense mix of tall buildings to tens of stories. Few or no trees. Land cover mostly paved. Concrete, steel, stone, and glass construction materials.		Heavily wooded landscape of deciduous and/or evergreen trees. Land cover mostly pervious (low plants). Zone function is natural forest, tree cultivation, or urban park.
	Dense mix of midrise buildings (3–9 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Stone, brick, tile, and concrete construction materials.		Lightly wooded landscape of deciduous and/or evergreen trees. Land cover mostly pervious (low plants). Zone function is natural forest, tree cultivation, or urban park.
	Dense mix of low-rise buildings (1–3 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Stone, brick, tile, and concrete construction materials.		Open arrangement of bushes, shrubs, and short, woody trees. Land cover mostly pervious (bare soil or sand). Zone function is natural scrubland or agriculture.
	Open arrangement of tall buildings to tens of stories. Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Concrete, steel, stone, and glass construction materials.		Featureless landscape of grass or herbaceous plants/crops. Few or no trees. Zone function is natural grassland, agriculture, or urban park.
	Open arrangement of midrise buildings (3–9 stories). Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Concrete, steel, stone, and glass construction materials.		Featureless landscape of rock or paved cover. Few or no trees or plants. Zone function is natural desert (rock) or urban transportation.
	Open arrangement of low-rise buildings (1–3 stories). Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Wood, brick, stone, tile, and concrete construction materials.		Featureless landscape of soil or sand cover. Few or no trees or plants. Zone function is natural desert or agriculture.
	Dense mix of single-story buildings. Few or no trees. Land cover mostly hard-packed. Lightweight construction materials (e.g., wood, thatch, corrugated metal).		Large, open water bodies such as seas and lakes, or small bodies such as rivers, reservoirs, and lagoons.
	Open arrangement of large low-rise buildings (1–3 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Steel, concrete, metal, and stone construction materials.	VARIABLE LAND COVER PROPERTIES	
	Sparse arrangement of small or medium-sized buildings in a natural setting. Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees).	<i>b. bare trees</i>	Leafless deciduous trees (e.g., winter). Increased sky view factor. Reduced albedo.
	Low-rise and midrise industrial structures (towers, tanks, stacks). Few or no trees. Land cover mostly paved or hard-packed. Metal, steel, and concrete construction materials.	<i>s. snow cover</i>	Snow cover >10 cm in depth. Low admittance. High albedo.
		<i>d. dry ground</i>	Parched soil. Low admittance. Large Bowen ratio. Increased albedo.
		<i>w. wet ground</i>	Waterlogged soil. High admittance. Small Bowen ratio. Reduced albedo.

Figure I.68: Différents Types de bâtiments et des caractéristiques du sol qui peuvent leur être ajoutées selon la classification de la zone climatique locale (LCZ) de Stewart et Oke .Source : (Lehnert et al., 2021).

En concevant la planification et le développement urbains sous la forme suivante, la réduction des effets d'ICU est envisageable :

✓ **Mise au point de matériaux réfléchissants :**

Le tissu urbain est composé de matériaux qui absorbent le rayonnement solaire et infrarouge et en dispersent une partie, ils sont donc essentiels à l'équilibre thermique de la ville. Afin de réduire les ICU, il est donc efficace d'utiliser des "matériaux frais" sur les enveloppes des bâtiments et les espaces ouverts qui peuvent réfléchir une part significative du rayonnement solaire et de libérer la chaleur qu'ils ont emmagasinée par le biais du rayonnement. Cela permet d'augmenter l'albédo urbain et de maintenir les températures de surface à un niveau plus bas (Akbari et al., 2015; Kousis & Pisello, 2023).

Selon (Mourou et al., 2022) ;La performance thermique d'un matériau est principalement évaluée par l'albédo (rayonnement solaire) et l'émissivité (rayonnement à ondes longues). Le potentiel de réflexion solaire des matériaux frais reposait initialement sur leur blancheur, ce qui a encouragé l'utilisation de peintures blanches et d'agrégats de couleur claire.

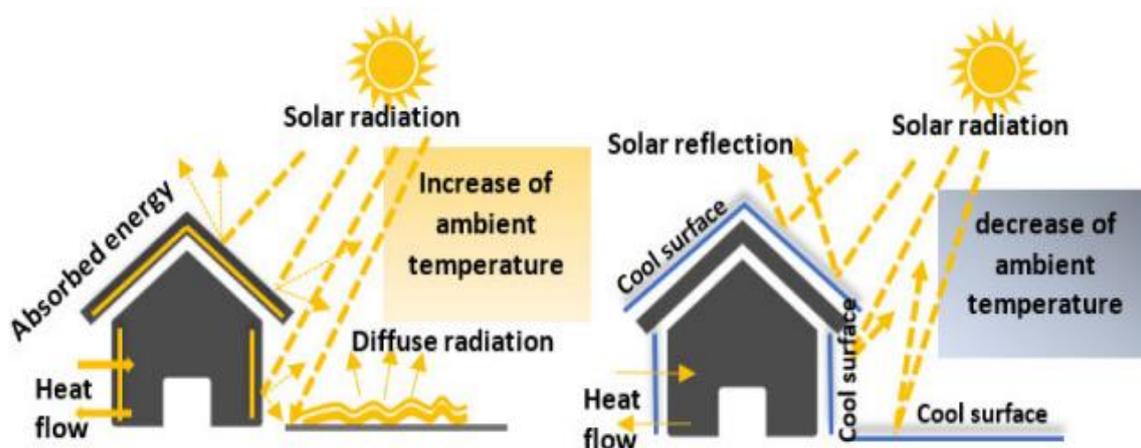


Figure 1.69: L'effet de surface frais sur l'ICU par le biais de la température ambiante.

Source : (Mourou et al., 2022).

Les chaussées réfléchissantes peuvent donc être développées avec des revêtements blancs hautement réfléchissants, des pigments colorés qui réfléchissent les infrarouges, et des matériaux de chaussée qui comprennent des peintures qui changent de couleur et réfléchissent la lumière (Vujovic et al., 2021).

✓ Augmenter l'évapotranspiration dans la ville :

Selon (Akbari & Kolokotsa, 2016) ;l'augmentation de l'évapotranspiration dans les villes pourrait se faire en utilisant massivement la végétation urbaine. La végétation réduit l'effet d'ICU en refroidir l'air au lieu de le réchauffer, en ombrageant et en réduisant l'apport de chaleur solaire grâce à l'évapotranspiration et à la transformation de l'énergie provenant du soleil en chaleur latente, la végétation abaisse les températures de l'air. En outre, la baisse de la température entraîne une baisse du rayonnement de longueur d'onde élevée donné par la végétation contrairement aux surfaces artificielles dures environnantes, ce qui réduit la charge radiante sur les individus (Fadhil et al., 2023).

Cependant l'utilisation du processus de photosynthèse, par lequel les arbres captent le CO₂ et retiennent une partie, contribue à atténuer l'effet de serre, même si ce n'est que dans une certaine mesure. En ce qui concerne les substances nocives dans l'air comme le monoxyde d'azote, le dioxyde d'azote, l'ammoniac et le dioxyde de soufre ;les feuilles peuvent constituer un filtre efficace (C. Lopes et al., s. d.).

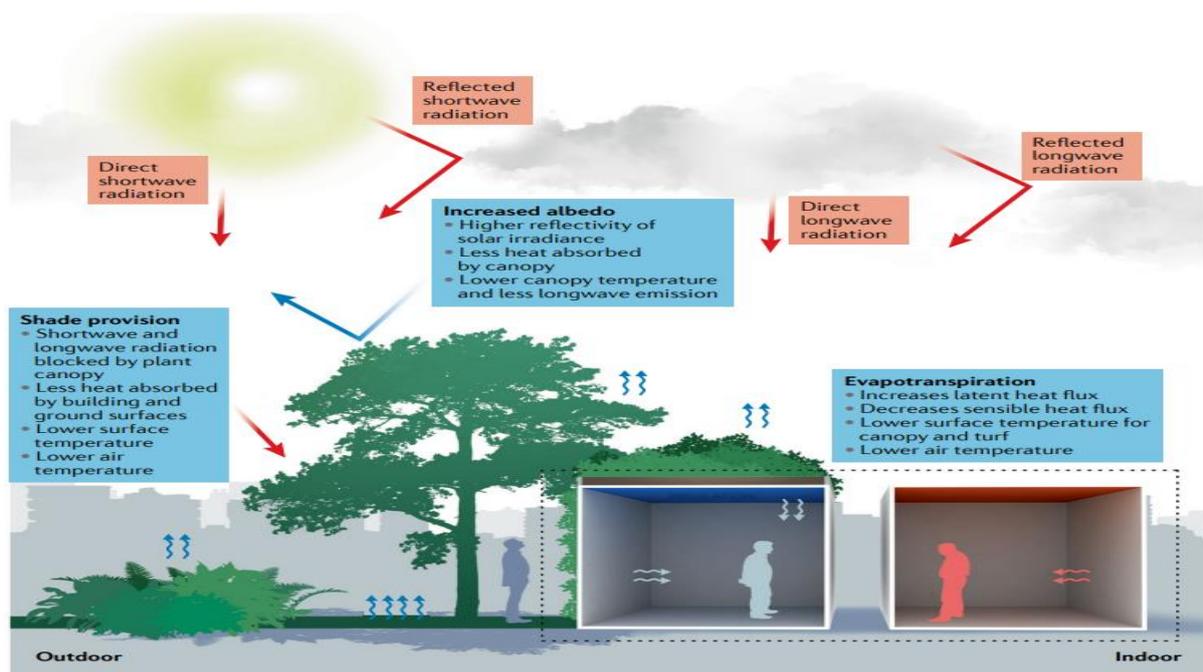


Figure I.70: Mécanismes de refroidissement liés à la végétation urbaine dans l'environnement urbain. Source : (Wong et al., 2021).

Dans les constructions traditionnelles les toits présentent des revêtements d'une couleur gris et étanches qui aggravent les problèmes liés aux conséquences d'ICU. Les toitures

végétalisées sont des options pratiques pour les immeubles à plusieurs étages, les maisons individuelles, les bâtiments commerciaux et d'autres structures. Ils perfectionnent les conditions environnementales de la zone environnante et la performance énergétique des bâtiments (Gago et al., 2013).

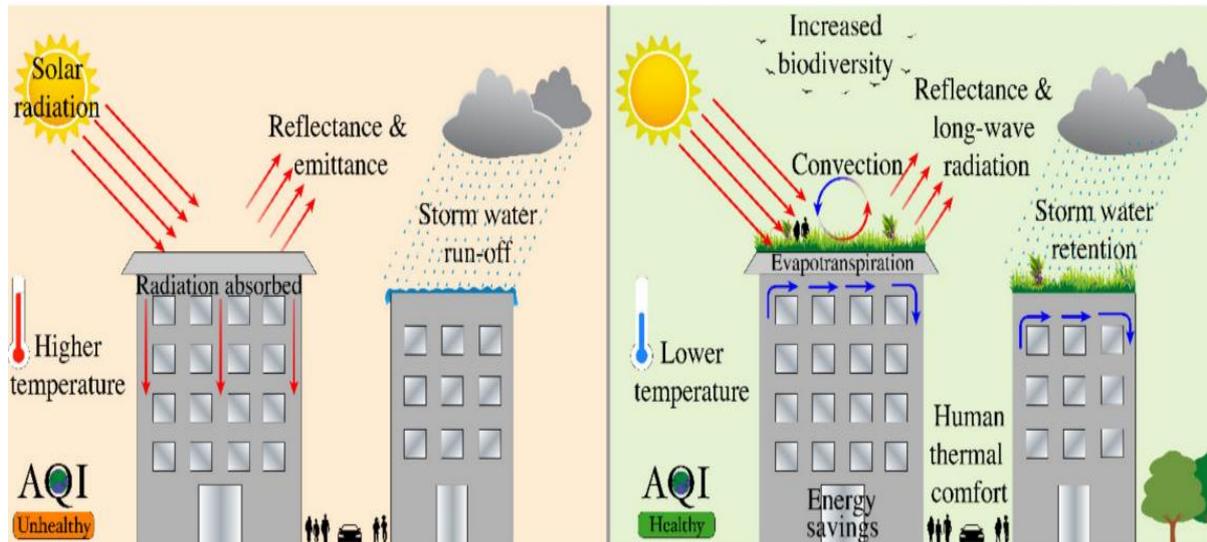


Figure I.7172: Les divers processus impliqués dans les toits traditionnels et les toits verts.

Source : (Joshi & Teller, 2021)

✓ Accroître les surfaces bleues en ville :

Les plans d'eau peuvent ajuster le microclimat environnant, leur capacité d'atténuation de la température dans les environnements urbains peut potentiellement réduire la consommation d'énergie, améliorer la sensation de chaleur à l'extérieur et réduire l'impact d'ICU (Syafii et al., 2016). Les surfaces bleues sont des dispositifs de climatisation performants dans l'extérieur à cause de leur faible réflectivité et leur capacité à maintenir la température de l'eau inférieure que celle de l'air (C. Lopes et al., s. d.) .

Conclusion :

Les zones urbaines sont les plus exposées et les plus vulnérables aux impacts du changement climatique et aux risques qui y sont associés, notamment les vagues de chaleur, les inondations, les ondes de tempête et d'autres risques naturels.

Le phénomène d'ICU est un souci courant dans les villes du monde entier, on sait que les températures des centres urbains sont supérieures à celles des régions suburbaines. La

modification de milieu naturel en un écosystème artificiel conduit à un climat déséquilibré. Ces changements accompagnés de modification dans l'usage des sols ont une incidence majeure sur l'accroissement des températures urbaine ; Ils constituent des éléments essentiels pour évaluer le niveau de confort thermique en extérieur.

Les stratégies d'atténuation et d'ajustement aux ICU à travers une planification urbaine durable à long terme peuvent également être considérées comme un outil majeur pour réduire l'impact négatif plus précisément concernant les conséquences du changement climatique.

***Chapitre 2 : Confort
thermique extérieur ; entre
évaluation, gestion et
traitement***

Introduction :

Actuellement, environ la moitié de la population mondiale vivent dans des villes. L'urbanisation est à l'origine du stress thermique, qui n'a jamais été aussi élevé et qui devient dangereux pour les personnes. La population urbaine s'est adaptée à ce stress thermique accru en restant à l'intérieur la plupart du temps et en utilisant l'air conditionné pour répondre à ses besoins de confort thermique plutôt que de sortir à l'extérieur (Kumar, 2020). C'est pourquoi, pendant les dix dernières années, l'attention s'est portée sur l'amélioration de la qualité de l'environnements thermique des espaces extérieurs .

L'optimisation du confort thermique en extérieur est considéré comme une composante essentielle des espaces urbains pour un développement urbain durable, vu que ces derniers favorisent les activités de plein air, la circulation des piétons et améliorent considérablement l'habitabilité des villes.

Ce chapitre est consacré à faire un aperçu sur le traitement de l'environnement thermique extérieur. D'où le premier volet est consacré a définir le confort et Les échanges thermiques de corps humain avec le milieu urbain environnant pour bien comprendre la sensation thermique et les facteurs influençant le bien être thermique.

Cependant, le second volet de ce chapitre cherche à définir les standards de confort thermique et à explorer les diverses méthodes et outils pour évaluer l'environnement thermique extérieur en accordant une importance particulière à l'emploi des techniques d'évaluation combiné , les cartes bioclimatiques , les indices thermique et les outils numériques de simulation et de modélisation , ainsi les techniques d'amélioration de l'environnement thermique extérieur les plus connus .

II. 1 Le confort thermique :**II.1.1 Définition de confort :**

Le mot "confort" provient du mot latin "confortare", qui a pour signification de renforcer, certifier, confirmer, offrir du réconfort, soulager, aider et assister. En outre, l'acte de réconforter et d'apporter du réconfort aux autres peut être inclus dans le concept de confort. Selon le Cambridge English Dictionary, le terme confort désigne une personne qui n'est pas dans l'inconfort et qui a suffisamment d'argent, ainsi qu'un sentiment d'aisance. L'action

d'aider quelqu'un à se sentir mieux lorsqu'il est malheureux ou effrayé est décrite comme un verbe de réconfort (Hou et al., 2021).

Selon (Siefert, 2002) ; le confort est un état de bien-être physique et matériel avec absence de douleur et d'ennui et satisfaction des besoins corporels, soulagement ou soutien dans la détresse ou l'affliction mentale, consolation ; réconfort, apaisement ; l'état d'être consolé ou le fait d'obtenir une consolation ou un soulagement mental .

Selon (Pinto et al., 2017) ; le confort est l'état immédiat d'être renforcé par la satisfaction des besoins de soulagement, d'aisance et de transcendance dans les quatre contextes de l'expérience humaine holistique : physique, psycho spirituel, socioculturel et environnemental.

En tant qu'attitude humaine et désir de réduire ces limites et, par la suite, d'améliorer d'autres variables susceptibles d'assurer un niveau de qualité de vie différent, le concept de confort est né d'un ensemble de contraintes produites par des causes environnementales, sociales, psychologiques, techniques et autres. Au fil des vingt dernières années, les initiatives ont connu une augmentation accrue pour souligner les facteurs, ainsi que leurs limites, qui contribuent à l'obtention d'un état de confort dans divers types de bâtiments considérés isolément ou en relation avec d'autres, dans un cadre rural ou urbain, et pour les présenter sous une forme normalisée à prendre en compte (Dună et al., 2019).

II.1.2 Définition de confort thermique :

Les conditions thermiques sont les aspects les plus difficiles à étudier en biométéorologie humaine, en aménagement intérieur et extérieur et en adaptation au changement climatique. L'environnement thermique est toujours présent et influence la vie quotidienne, le comportement et les environnements naturels et artificiels (Charalampopoulos & Matzarakis, 2022).

La sensation de confort thermique est un sentiment évalué de manière subjective qui témoigne de la satisfaction envers l'environnement thermique. Il est également décrit comme la conscience qu'a une personne de l'environnement thermique, ainsi que l'attitude neutre d'une personne par rapport à un certain environnement thermique, sans transpirer (*Thermal Comfort - an overview | ScienceDirect Topics*, s. d.).

Un concept rapidement reconnu, mais difficile à incarner dans des dimensions physiques. Le confort thermique fait l'objet d'une modélisation et d'une normalisation considérables, qui

dépendent à la fois d'éléments physiques et physiologiques, ainsi que de la psychologie (Hoof, 2010).

II.1.3 La sensation thermique :

Selon (Gatto et al., 2020b) ; la sensation thermique peut être enregistrée sur l'une des échelles de confort thermique, telles que, par exemple, l'échelle américaine du chauffage et de la réfrigération, et les ingénieurs en climatisation (ASHRAE) . Les votes de sensation de confort thermique d'un sujet sont obtenus par des entrevues en personne, tandis que les données démographiques, les vêtements et les activités du sujet sont observés et enregistrés pendant qu'il mène l'enquête. Les conclusions de l'enquête par questionnaire sont corrélées avec les données micro météorologiques obtenues à partir de mesures ou de modélisations afin d'analyser les circonstances générales de confort thermique dans les espaces extérieurs de ce lieu et les besoins de confort de la population locale.

II.1.4 Les échanges thermiques de corps humain avec le milieu urbain environnant :

La chaleur émise par le corps humain à l'environnement urbain est échangée par convection, radiation, évaporation et conduction (voir figure 7). Elle prend en compte les facteurs physiques et humains qui décrivent l'environnement thermique en plus de l'isolation des vêtements et du niveau d'activité pour déterminer la quantité de transfert de chaleur entre un corps humain et son environnement (Lai et al., 2019b).

- **Convection :**

Selon (Gao, 2019) ; la convection, qui peut être naturelle ou forcée selon la manière dont le mouvement du fluide est amorcé, est la méthode d'échange de chaleur par le biais d'un fluide lorsqu'il y a un mouvement de masse. La convection naturelle pure se produit pour le corps humain chaud lorsque le flux d'air est calme. Mais comme il y a toujours une disparité de température entre l'organisme humain et son milieu, la convection forcée pure ne peut jamais se produire.

- **Radiation :**

Généralement, L'émission de chaleur dans un espace ouvert est définie par la température moyenne de rayonnement radiante, qui correspond à la température de surface uniforme d'un espace imaginaire où le transfert net de chaleur radiante entre un corps humain et l'espace est

équivalent au transfert de chaleur dans une enceinte réelle avec des températures changeantes. (Lai et al., 2019b).

Elle est une valeur unique qui représente l'équilibre des flux au niveau des ondes courtes et longues dans le corps humain. En raison des schémas complexes des endroits baignés de lumière solaire et zones à l'ombre, de l'absorption et de la réflexion des ondes courtes et de l'émission des ondes longues par les murs et le sol, la température radiante moyenne est très variable dans les zones métropolitaines (Fischereit, 2021).

- **Evaporation :**

Lorsqu'un liquide change de phase et se transforme en vapeur, un processus connu sous le nom d'évaporation se produit et la chaleur est transférée. De la même manière que le transfert de chaleur par convection, on peut également calculer la perte de chaleur par évaporation. Il est composé de trois éléments :

- ✓ L'évaporation du système respiratoire.
- ✓ L'évaporation non régulée de la peau.
- ✓ Évaporation régulée de la sueur.

- **Conduction :**

Selon (Arens & Zhang, s. d.) ; La conduction s'effectue principalement vers les surfaces solides de l'environnement, car la conduction de la surface de la peau vers des environnements fluides ou gazeux est rapidement remplacée par des processus de convection. Une personne debout a environ 3 % de la surface de son corps en contact avec le sol.

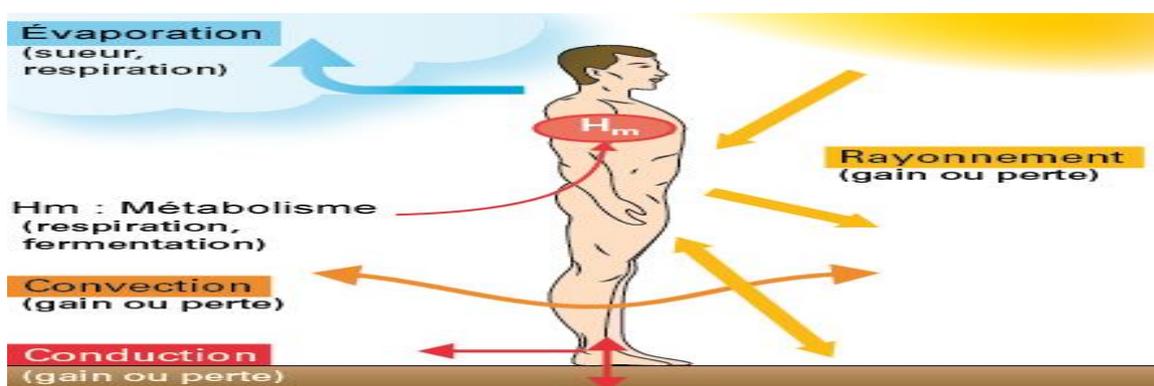


Figure II 1: Les échanges thermiques de corps humain avec l'environnant. Source : (Le corps humain a sans cesse des échanges thermiques... - [1ère SVT - Enseignement Scientifique] - QCM n° 1106, s. d.)

II.1.5 Les facteurs influençant le confort thermique :

Plusieurs éléments environnementaux et culturels affectent le sentiment de confort thermique des occupants, il est déterminé par le biais de la transmission de chaleur entre le corps humain et son milieu.

Selon (Özdamar & Umaroğullari, 2018) ; le concept de confort thermique repose sur six facteurs environnementaux et deux variables personnelles .

La différenciation de la température de l'air en différentes couches, l'asymétrie de la température radiante et l'intensité des turbulences sont des éléments supplémentaires qui influencent l'interaction thermique entre le corps humain et son milieu (Ugursal, s. d.).

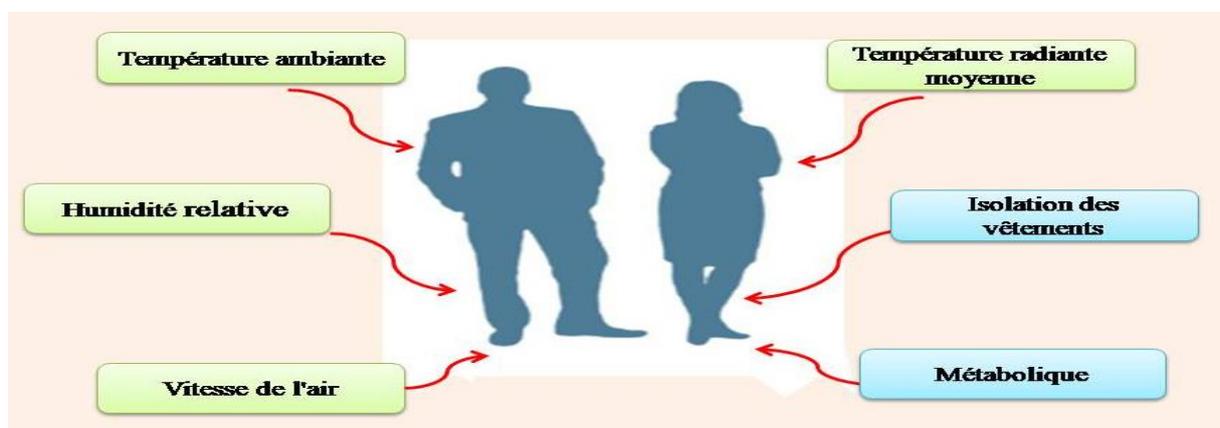


Figure II.73: Les facteurs influençant le confort thermique .source : auteur 2024.

II.1.5.1 Facteurs environnementaux :

- **Température ambiante :**

L'échange de chaleur par convection entre le corps humain et l'environnement extérieur est directement influencé par la température de l'air, tandis que l'échange de chaleur par rayonnement, évaporation et respiration est également influencé indirectement.

Selon (Shelton, s. d.) ; Trois mesures de température différentes sont utilisées dans la carte psychrométrique :

- ✓ **La température sèche :** est la température de l'air déterminée par un thermomètre ordinaire. La température sèche est indiquée dans les bulletins météorologiques.

L'échelle de température sèche se trouve à la base du tableau. Les lignes verticales indiquent une température sèche constante (voir figure II.3).

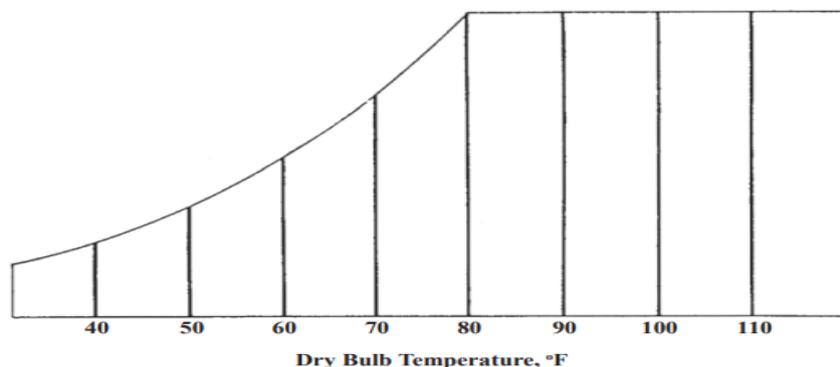


Figure II.74: Les lignes de température sèche. Source (Shelton, s. d.)

- ✓ **La température du thermomètre mouillé :** reflète l'effet de refroidissement de l'eau qui s'évapore. Cet effet est souvent utilisé pour refroidir les bâtiments d'élevage et certaines maisons, et correspond au processus de refroidissement lorsque nous transpirons. L'échelle de température du thermomètre mouillé est située dans la partie supérieure gauche incurvée du graphique. Les lignes inclinées indiquent des températures de bulbe humide égales (voir figure II.4).

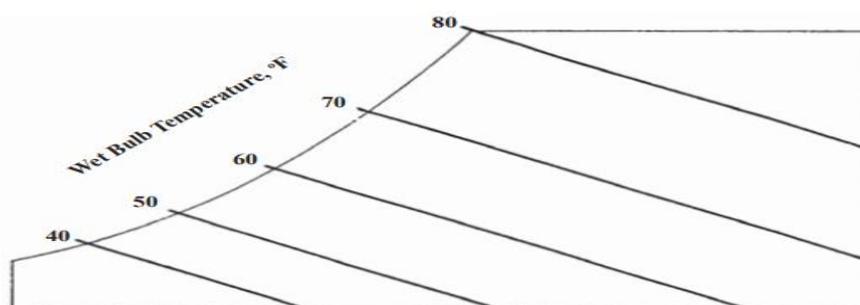


Figure II.75: La température du thermomètre mouillé. Source : (Shelton, s. d.)

- ✓ **La température du point de rosée :** est la température en dessous de laquelle l'humidité se condense dans l'air. L'échelle de température du point de rosée est située le long de la même partie incurvée du graphique que l'échelle de température du thermomètre mouillé (voir figure II.5).

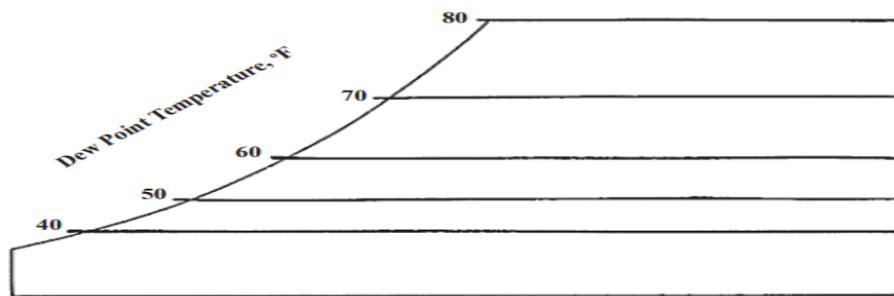


Figure II.76: Le niveau de température du point de rosée. Source:(Shelton, s. d.)

- **Humidité relative :**

L'humidité relative est le rapport entre l'humidité de l'air et l'humidité saturée, elle est celle qui affecte les personnes et les autres êtres vivants. Pour la santé et le bien être humain, il doit y avoir un certain niveau d'humidité dans l'air. D'où il existe trois types d'humidité : spécifique, relative et absolue (Özdamar & Umaroğullari, 2018).

Selon (*Water Vapor Saturation Pressure - an overview | ScienceDirect Topics*, s. d.) ; L'humidité relative RH est le rapport entre la pression de vapeur ambiante de l'eau et la pression de vapeur d'eau à saturation.

- **Vitesse de l'air :**

Le mouvement de l'air ambiant V_a mesurée en unité de temps, résulte du mouvement de flottaison libre causé par un corps chaud dans un milieu d'air froid, de la ventilation forcée de l'environnement et du mouvement corporel causé par l'activité de l'objet lui-même. Il est un paramètre difficile à mesurer de manière cohérente, mais il est possible d'obtenir un certain degré de précision à l'aide d'anémomètres pour l'évaluation de la ventilation forcée (Gagge, s. d.).

- **Température radiante moyenne T_{mrt} :**

La T_{mrt} a été défini par Barker en 1931 pour rendre compte de l'échange de chaleur radiante entre un corps noir théorique et ses surfaces environnantes à différentes températures en utilisant différents facteurs de vue, ce qui a donné aux scientifiques d'abstraire l'échange thermique radiante autour de l'organisme humain avec une température unique (Guo et al., 2020).

La température radiante moyenne T_{mrt} est une mesure physique cruciale qui décrit la manière dont le rayonnement affecte les personnes dans leur environnement immédiat. Lorsque la T_{mrt} est utilisée à l'extérieur, elle est influencée par la température du ciel, de la terre, de la végétation environnante et des bâtiments, ce qui la rend difficile à prévoir avec précision (Rakha et al., s. d.).

II.1.5.2 Facteurs personnelles:

- **Isolation des vêtements :**

Le transfert de chaleur entre l'organisme humain et son milieu est influencé par la couche d'isolation créée par les vêtements. Elle est le terme courant pour désigner cette résistance à l'échange de chaleur. Dans l'étude du confort thermique, l'isolation des vêtements est cruciale. Elle fait partie des six facteurs cruciaux qui influencent le calcul du confort thermique (Zhao et al., 2019).

L'isolation des vêtements se mesure en unités appelées "clo" où 1 clo est égal à $0,155\text{m}^2\text{°C/W}$. Les plages de confort thermique des normes sont généralement déterminées pour des niveaux d'isolation des vêtements compris entre 0,5 et 1 clo. En l'absence d'informations supplémentaires, les évaluations du confort thermique sont effectuées en utilisant une isolation des vêtements de 0,5 clo pour la saison de refroidissement et de 1 clo pour la saison de chauffage (Schiavon & Lee, s. d.).

Garment Insulation*			
Garment Description [†]	I_{clo} , clo	Garment Description [‡]	I_{clo} , clo
Underwear		Dress and Skirts**	
Bra	0.01	Skirt (thin)	0.14
Panties	0.03	Skirt (thick)	0.23
Men's briefs	0.04	Sleeveless, scoop neck (thin)	0.23
T-shirt	0.08	Sleeveless, scoop neck (thick), i.e., jumper	0.27
Half-slip	0.14	Short-sleeve shirtdress (thin)	0.29
Long underwear bottoms	0.15	Long-sleeve shirtdress (thin)	0.33
Full slip	0.16	Long-sleeve shirtdress (thick)	0.47
Long underwear top	0.20	Sweaters	
Footwear		Sleeveless vest (thin)	0.13
Ankle-length athletic socks	0.02	Sleeveless vest (thick)	0.22
Pantyhose/stockings	0.02	Long-sleeve (thin)	0.25
Sandals/thongs	0.02	Long-sleeve (thick)	0.36
Shoes	0.02	Suit Jackets and Vests††	
Slippers (quilted, pile lined)	0.03	Sleeveless vest (thin)	0.10
Calf-length socks	0.03	Sleeveless vest (thick)	0.17
Knee socks (thick)	0.06	Single-breasted (thin)	0.36
Boots	0.10	Single-breasted (thick)	0.44
Shirts and Blouses		Double-breasted (thin)	0.42
Sleeveless/scoop-neck blouse	0.12	Double-breasted (thick)	0.48
Short-sleeve knit sport shirt	0.17	Sleepwear and Robes	
Short-sleeve dress shirt	0.19	Sleeveless short gown (thin)	0.18
Long-sleeve dress shirt	0.25	Sleeveless long gown (thin)	0.20
Long-sleeve flannel shirt	0.34	Short-sleeve hospital gown	0.31
Long-sleeve sweatshirt	0.34	Short-sleeve short robe (thin)	0.34
Trousers and Coveralls		Short-sleeve pajamas (thin)	0.42
Short shorts	0.06	Long-sleeve long gown (thick)	0.46
Walking shorts	0.08	Long-sleeve short wrap robe (thick)	0.48
Straight trousers (thin)	0.15	Long-sleeve pajamas (thick)	0.57
Straight trousers (thick)	0.24	Long-sleeve long wrap robe (thick)	0.69
Sweatpants	0.28		
Overalls	0.30		
Coveralls	0.49		

Figure II.77: Isolation des vêtements. Source (Timplalexis et al., s. d.)

- **Taux métabolique :**

Selon (Luo, 2016) ; le métabolisme humain est une composante essentielle et cruciale de la prévision du confort thermique. Néanmoins, la majorité des recherches antérieures sur le confort thermique ont, jusqu'à présent, eu tendance à ignorer la température ambiante et à traiter le taux métabolique comme une constante qui dépend uniquement du niveau d'activité. Le taux métabolique est un indicateur physiologique du métabolisme pendant l'exercice. Le taux métabolique, qui représente la quantité d'oxygène qu'un adulte consomme lorsqu'il est assis et se détend, peut être déterminé en utilisant la formule : $(O_2 \text{ ml/kg/min}) \times 3,5$.

Un facteur qui détermine la production de chaleur par une personne et l'intensité de son activité (mesuré en W), qui varie largement de 72 W à 900 W (Hong et al., 2018).

La figure II.7 présente différentes conditions comportementales en fonction du taux métabolique :

Activity	Activity Level (W/Person)	Metabolic Rate Per Person (Met)
Sleeping	72	0.7
Reclining	81	0.8
Seated, quiet	108	1
Standing, relaxed	126	1.2
Reading, seated	99	1
Writing	108	1
Typing	117	1.1
Filling, seated	126	1.2
Filling, standing	144	1.4
Cooking	171 to 207	1.6 to 2.0
House cleaning	207 to 360	2.0 to 3.4

Figure II.78: Taux métabolique pour des tâches typiques. Source : (Hong et al., 2018)

II.1.6 Les normes de confort thermique : ASHRAE Standard 55 et ISO 7730

C'est l'association américaine du chauffage et de la réfrigération, et les ingénieurs en climatisation ASHRAE qui a créé et mis à jour la norme 55. En revanche, l'Organisation internationale de normalisation ISO a publié la norme ISO 7730.

Ils utilisent la méthode du vote moyen prédit PMV de Franger qui prédit une sensation thermique moyenne sur l'échelle ASHRAE en sept points : 3=chaud, 2=chaud, 1=légèrement chaud, 0=neutre et -1=légèrement frais (Humphreys & Fergus Nicol, 2002).

Selon (Ugursal, s. d.) ; Pour toute pièce occupée, la norme ASHRAE 55 spécifie un seuil total de tolérance thermique de 80 %, dix pour cent 10 % des personnes interrogées se sont déclarées insatisfaites du confort thermique global, et les 10 % restants ont exprimé leur

mécontentement à l'égard du confort en raison des circonstances particulières de l'espace. Concernant les mêmes idées, si les normes sont respectées, la norme ISO 7730 (2005) prévoit un niveau de satisfaction supérieur à 80 %, même critère stipule que la température globale ne doit causer le mécontentement que de 10 % des occupants. En raison de considérations locales, notamment la différence de la température radiante et la température de l'air verticale, seuls 5 à 10 % des passagers devraient ressentir de l'inconfort.

II.2 L'évaluation de l'environnement thermique extérieur :

II.2.1 Méthodes et outils :

Pour réaliser une évaluation précise du confort thermique humain, il convient de procéder à un examen approfondi de ces facteurs physiques, physiologiques et psychologiques.

Selon les études de (L. Chen et al., 2015; Dayi Lai, s. d.; Elnabawi & Hamza, 2019), l'analyse du confort thermique extérieur est généralement réalisée à l'assistance de deux méthodes combinées : des mesures micro météorologiques ou la simulation et une enquête guidée par questionnaire auprès des utilisateurs.

✓ Les mesures micro météorologiques ou la simulation :

Cette méthode consiste à prendre des mesures précises ou à simuler le microclimat dans l'environnement immédiat de l'individu. L'environnement et la sensation thermique sont principalement déterminés par les quatre paramètres environnementaux.

✓ Enquête guidée par questionnaire :

En ce qui concerne cette méthode, un questionnaire est utilisé pour s'enquérir de la façon dont les individus perçoivent le confort thermique et pour recueillir des informations démographiques, telles que la taille, le poids, le sexe et l'âge. Toute échelle de confort thermique, telle que celle de l'American Society of Heating, Refrigeration and Air conditioning Engineers (ASHRAE), peut être utilisée pour enregistrer l'impression de confort thermique.

L'enquêteur enregistre et observe les activités, la façon de s'habiller et les données démographiques de l'individu pendant qu'il répond à l'enquête. Afin d'examiner à la fois les exigences générales de confort thermique dans les espaces extérieurs et ceux de confort des habitants, les résultats de l'enquête par questionnaire sont mis en relation avec les données

climatiques collectées à l'aide des mesures ou des modélisations. Les TSV (votes de sensation thermique) sont recueillis par le biais d'entretiens en personnes et évalués sur l'échelle ASHRAE à 7 points et ISO 7730 (Hartabela et al., 2021).

II.2.2 Les cartes bioclimatiques comme un outil d'analyse des caractéristiques climatiques locales en termes de confort thermique :

Selon (Givoni, 1992) ; les cartes bioclimatiques facilitent l'analyse des caractéristiques climatiques d'un lieu donné à partir du point de vue du confort humain, comme ils sont représentés sur un tableau psychrométrique, la combinaison simultanée de température et d'humidité à un instant précis. Ils peuvent également spécifier des directives de conception de bâtiment pour maximiser les conditions de confort .Tous ces graphiques sont structurés autour et font référence à la "zone de confort".

- **La carte bioclimatique d'Olgay :**

Selon (Roshan et al., 2017) ; le premier chercheur à avoir tenté de créer une carte bioclimatique est Victor Olgay en 1950. Dans sa charte bioclimatique (voir figure II.8), la plage de confort s'exprime en fonction de deux facteurs principaux la température sèche et de l'humidité relative, mais ensuite des lignes supplémentaires montrent comment cette zone de confort est augmentée par la présence du mouvement de l'air et comment elle est abaissée par le rayonnement.

En fait, les variables les plus efficaces dans la carte bioclimatique d'Olgay est la température et l'humidité et il n'a pas réussi à établir un lien direct entre les six facteurs de confort (quatre facteurs climatiques et deux facteurs humains).

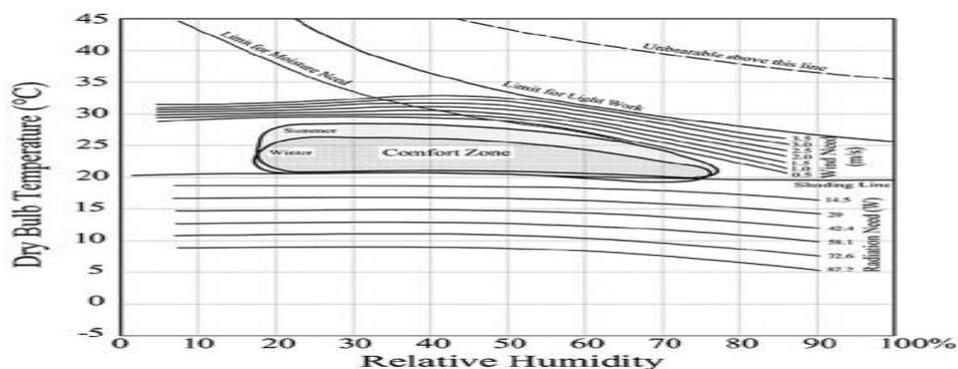


Figure II.79: La carte bioclimatique d'Olgay. Source:(Al-Azri et al., 2013)

- La carte bioclimatique de Givoni :

La carte bioclimatique de Givoni (voir figure II.9) est une autre carte plus connue. Elle est basée sur la relation linéaire entre la pression de vapeur de l'air extérieur et l'amplitude de la température. La carte de Givoni détermine la meilleure méthode de refroidissement en fonction du temps qu'il fait à l'extérieur. Le graphique de Givoni présente les cinq zones suivantes : refroidissement par évaporation, ventilation naturelle, confort thermique, masse élevée et masse élevée avec ventilation nocturne. (Al-Azri et al., 2013) .

La température sèche est représentée par l'axe des x, tandis que l'humidité de l'air frais est indiquée par l'axe des y. Les courbes psychrométriques du graphique illustrent l'humidité relative (Manzano-Agugliaro et al., 2015).

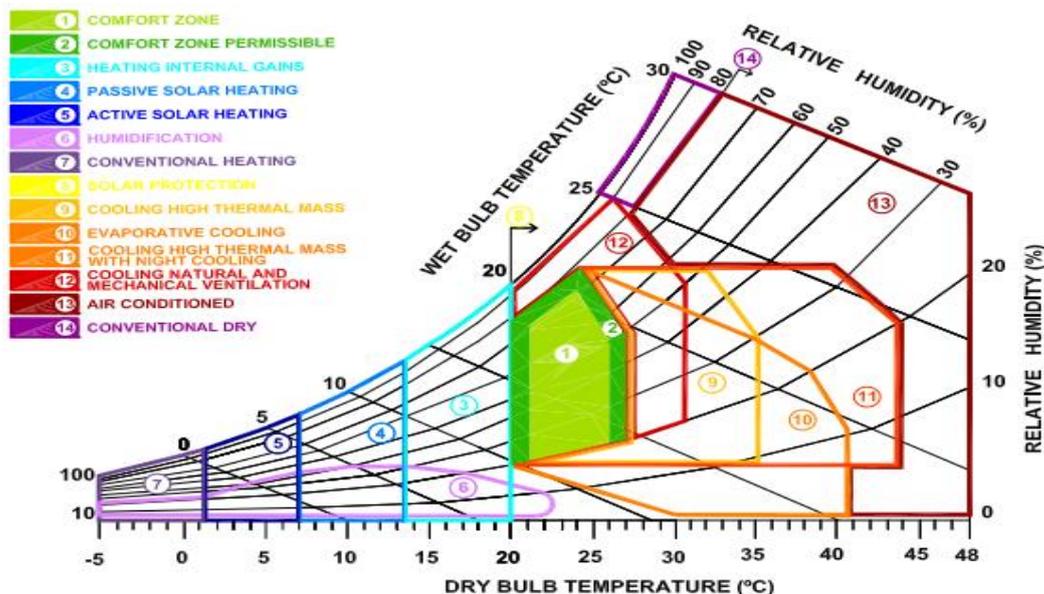


Figure II.80: La carte bioclimatique de Givoni. Source : (Hosseini et al., 2016)

II.2.3 Les indicateurs d'évaluation de confort thermique extérieur :

À l'origine, les indices thermiques ont été créés à l'aide de méthodes empiriques pour offrir une évaluation exhaustive des conséquences de l'environnement thermique sur l'homme (Y.-C. Chen et al., 2020).

Plusieurs indices intégrant les facteurs de l'environnement thermique et la régulation corporelle sont appliqués pour analyser le confort thermique (Lin et al., 2010).

- **L'indice de vote moyen prévisible PMV :**

Ce modèle développé par Fanger en 1960 (Yau & Chew, 2014) , il représente la méthode la plus répandue pour évaluer la perception thermique d'un groupe de individus (Broday et al., 2019) .

Le PMV est un indice empirique créé à partir d'un modèle d'échange de chaleur physiologique entre l'environnement et le corps humain, il prévoit la réponse moyenne de plusieurs personnes selon l'échelle de perception thermique (voir figure II.10) de l'ASHRAE (Ye et al., 2003).

<i>Sensation</i>	<i>PMV</i>
cold	-3
cool	-2
slightly cool	-1
neutral	0
slightly warm	+1
warm	+2
hot	+3

Figure II.10: La gradation de la perception thermique selon l'indice PMV. Source :(Awadallah et al., 2015)

Selon (Dyvia & Arif, 2021) ;L'indice PMV est influencé par six variables : la température radiante moyenne T_{mrt} , la température de l'air T_a , l'humidité relative HR, l'isolation du vêtement et la vitesse de l'air V_a .

- **Le pourcentage prédit d'insatisfaction PDD :**

L'indice du pourcentage prédit d'insatisfaction PPD est l'estimation du nombre de personnes qui se sentent insatisfaites des condition thermique (Pourshaghaghy & Omidvari, 2012) . Il représente essentiellement le pourcentage de personnes potentiellement sujettes à ressentir un inconfort local, avec les principaux facteurs de ce manque de confort étant le refroidissement ou le réchauffement indésirables des occupants (dos Reis et al., 2022).

- **La température physiologique équivalente PET:**

Selon (Deb, 2010) ; la température physiologique équivalente PET est un indice thermique qui fournit une estimation de la composante thermique d'un environnement spécifique. Elle a été introduite par Höppe et Mayer en 1987(Höppe, 1999).

Elle est caractérisée par la température de l'air à laquelle, dans un environnement intérieur standard, le corps humain dispose d'un bilan thermique équilibré correspondant à une température centrale et cutanée similaire à celle observée en conditions extérieures complexes (voir figure II.11). Par conséquent, la PET offre la possibilité à une personne d'évaluer les conséquences intégraux de conditions thermiques complexes à l'extérieur avec sa propre expérience à l'intérieur (Lin et al., 2010).

PET (°C)	Thermal sensitivity	Grade of physiological stress
> 4.0	Very cold	Extreme cold stress
4.1–8.0	Cold	Strong cold stress
8.1–13.0	Cool	Moderate cold stress
13.1–18.0	Slightly cool	Slightly cold stress
18.1–23.0	Neutral (comfortable)	No thermal stress
23.1–29.0	Slightly warm	Slightly heat stress
29.1–35.0	Warm	Moderate heat stress
35.1–41.0	Hot	Strong heat stress
> 41.0	Very hot	Extreme heat stress

Figure II.81: Les plages de valeurs PET. Source: (Yilmaz et al., 2021a)

- **Température effective standard SET :**

La SET avait été suggéré pour la première fois par Gagge lors d'un symposium sur la recherche en bâtiment en 1972, elle a été développé sur la base de la température effective ET. Selon (Ji et al., 2022) ; elle est une température équivalente calculée en se basant sur le transfert de chaleur de la peau en prenant compte les facteurs naturelles et personnelles .

- **L'indice thermique universel UTCI :**

C'est la température de l'air de l'environnement de référence qui donne le même résultat que l'indice de contrainte lorsqu'elle est comparée à la réaction de l'individu standard à l'environnement concret. Il est largement reconnu comme l'un des meilleurs indicateurs pour

évaluer les situations d'inconfort thermique marqué dans les espaces urbains ouverts. Cet indice a été créé comme une mesure commune pour évaluer le stress thermique dans le contexte de la météorologie humaine (Zare, 2018).

- **Humidex :**

Selon (Zamanian et al., 2017), Humidex (abréviation d'indice d'humidité) est un indicateur employé par les experts en météorologie au Canada pour décrire l'impression de chaleur ressentie par une personne moyenne, en combinant l'effet de la chaleur et de l'humidité.

Le corps humain a la capacité de répondre aux conditions environnementales et de s'y acclimater, mais l'exposition à la chaleur extrême peut vaincre la résistance du corps humain et être nocive pour la santé humaine, les météorologues canadiens ont mis au point la gamme Humidex (voir figure II.12).

Range of Humidex	Degree of comfort	
<29	Comfortable	A little discomfort, fatigue with prolonged physical activity is possible
30-39	Some discomfort	Exhaustion due to heat is possible with prolonged physical activity
40-44	Great discomfort	Avoid strenuous physical activity, possible heat cramps or heat exhaustion
45-54	Dangerous	Prolonged physical activity can lead to heat stroke
>55	Very dangerous	A heat stroke is unavoidable if physical activity continues

Figure II.82 : L'échelle d'Humidex et le degré de confort. Source : (Lukić, 2019)

Et ont proposé une formule de calcul de cet indice qui a été adoptée par la suite :

$$\text{HUMIDEX} = T + 0.5555 \cdot (V_p - 10)$$

Où :

V_p est la pression de vapeur de l'air (hPa) et $V_p = 6,112 \cdot 10^{(7,5 - t / (237,7 + t))} \cdot RH / 100$. (Lukić, 2019).

- **L'indice de température au thermomètre-globe mouillé WBGT :**

Le WBGT est une mesure de la pression thermique imposée au corps humain par l'environnement thermique. Il s'agit d'une combinaison de la température du bulbe sec, de la vitesse d'air, de l'humidité relative de l'air et du rayonnement. Le WBGT peut être calculée à l'aide d'une corrélation proposée par la norme ISO-7234 pour les conditions extérieures :

$$\text{WBGT} = 0.7 (T_{\text{nw}}) + 0.2 (T_{\text{g}}) + 0.1 (T_{\text{d}})$$

D'où T_{nw} (°C) est la température naturelle du bulbe humide ; T_{g} (°C) est la température du globe et T_{d} température du bulbe sec (Abdel-Ghany et al., s. d.).

- **Le facteur de vue du ciel SVF :**

Il montre le lien entre la zone de ciel visible et les zones couvertes, comme celles des arbres de rue ou des bâtiments (Miao et al., 2020), sa valeur est comprise entre 0 et 1, la valeur 1 correspondant à des espaces totalement vides (J. Zhang, 2019).

Les études sur le climat urbain et les techniques de planification urbaine ont fait un usage intensif du SVF en tant que mesure cruciale car sa valeur affecte directement rayonnement de grande longueur d'onde (voir figure II.13) : plus le SVF est élevé, plus leurs flux que les surfaces construites émettent dans le ciel nocturne est faible (Dirksen et al., 2019).

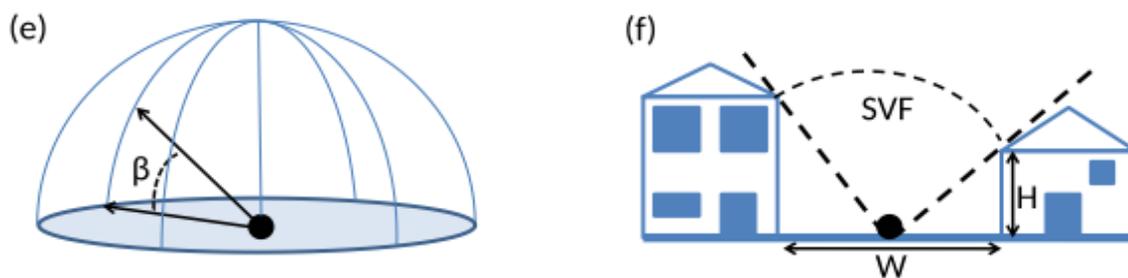


Figure II.83: La SVF a été calculée en trois dimensions, β représentant l'angle entre le point central et la barrière la plus haute. (f) SVF dans un canyon routier bidimensionnel La hauteur du bâtiment est H , tandis que la largeur de la rue est W . Source : (Dirksen et al., 2019).

- **La température effective standard extérieur OUT_SET*:**

Elle est calculée sur la base de la chaleur transmise par la peau et de certains facteurs physiologiques acquis à partir modèle à deux nœuds. Le modèle à deux nœuds est un modèle classique de régulation thermo physiologique qui simplifie le corps humain en deux parties : la couche centrale et la couche cutanée. Il considère que la génération de chaleur corporelle provient de la couche centrale, puis de la couche cutanée par le biais de la circulation sanguine. Les interactions thermiques avec l'environnement extérieur se fait par l'intermédiaire des vêtements sur la surface de la peau (Ji et al., 2022).

II.2.4 Outils numériques d'évaluation thermique extérieure :

Afin d'évaluer le confort thermique humain plusieurs modèles de simulation sont utilisés, par exemple : le modèle Rayman Urban climat, le model ENVI-MET, le programme Solène-microclimat, le Modèle TEB-SURFEX.

- **Le modèle Rayman Urban climat :**

Selon (Matzarakis et al., 2007) ; le modèle Rayman calcule les flux de rayonnement et évalue l'effet des nuages et des obstacles solides sur les flux de rayonnement à ondes courtes. il prend en compte les structures complexes, est adapté à l'utilisation et à la planification au niveau local et régional (voir figure II.14).

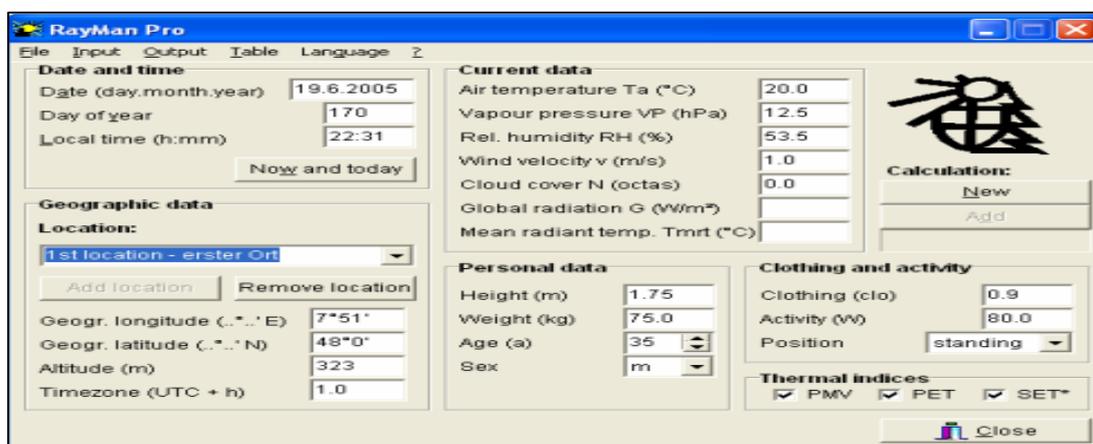


Figure II.84: la fenêtre principale du logiciel Rayman. Source : (Matzarakis et al., 2006).

Le modèle produit en fin de compte la température radiante moyenne calculée T_{mrt} , qui est essentielle dans le modèle d'équilibre énergétique pour les êtres humains. Cette valeur est également cruciale dans l'évaluation du bioclimat urbain ainsi que dans l'utilisation des indices thermiques tels que le PMV, PET et SET.

Pour le calcul des indicateurs thermiques qui se reposent sur le bilan énergétique humain, les données météorologiques (température de l'air, vitesse du vent, humidité de l'air et les flux de rayonnement) et les données thermo physiologiques (activité et vêtements) sont nécessaires pour faire fonctionner le model Rayman (Matzarakis et al., 2007).

D'autres caractéristiques, qui peuvent être utilisées pour l'analyse climatique d'une zone urbaine sont :

- ✓ le calcul de la durée d'ensoleillement avec ou sans facteur de visibilité du ciel
- ✓ l'estimation du rayonnement global quotidien moyen, maximum ou total
- ✓ la détermination des zones ombragées.

Lors de l'utilisation du logiciel Rayman une fenêtre d'entrée pour les structures urbaines (bâtiments, et types d'arbres) a été créée (voir figure II.15).

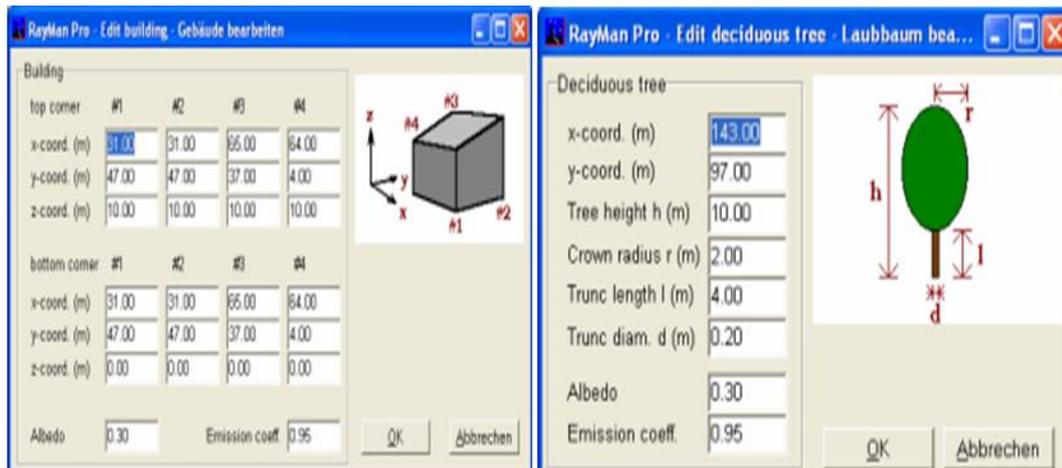


Figure II.85: Fenêtre d'entrée pour les bâtiments a gauche et pour les arbres a droite. Source : (Matzarakis et al., 2006).

Pour évaluer les facteurs de vue du ciel, il est possible de dessiner librement et de sortir l'horizon qu'il soit naturel ou artificiel (voir figure II.16). Il est aussi envisageable d'employer des photographies de type œil de poisson lors du calcul de SVF (Matzarakis & Rutz, 2006) .

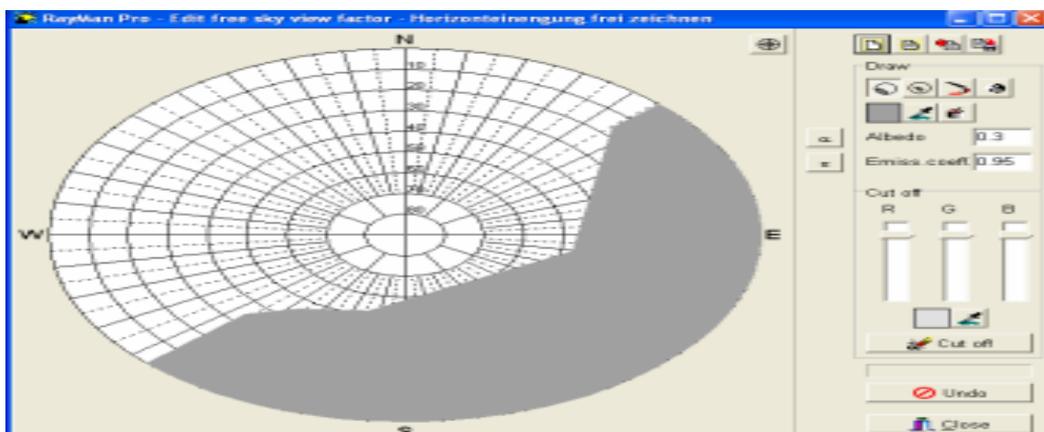


Figure II.86: Fenêtre de saisie pour le dessin libre et l'importation de photographies de Fish eye. Source : (Matzarakis et al., 2006).

- **Le modèle SOLENE -microclimat :**

Selon (Malys et al., 2015) ;SOLENE-microclimat a été d'abord développé pour une évaluation de l'agrément urbain, de nouveaux sous-modèles ayant été ajoutés par la suite. Ces ajouts permettent maintenant de considérer :

1. le transfert radiatif, y compris le rayonnement de grande longueur d'onde ;
2. la transmission et le stockage à travers les murs et les sols;
3. les circulations d'air et les échanges de chaleur ;
4. l'évaporation des surfaces naturelles comme la végétation et les bassins d'eau ou les systèmes d'humidification ;
5. le bilan énergétique pour un bâtiment dans la zone simulée;

La figure 17 présente les modules couplés de SOLENE à SOLENE-microclimat, c'est pourquoi le point 1 correspond au modèle radiatif historique SOLENE, alors que les points 1+2 correspondent au modèle thermo-radiatif basé sur SOLENE et les points 1+2+3+4+5 au modèle SOLENE-microclimat (Musy et al., s. d.).

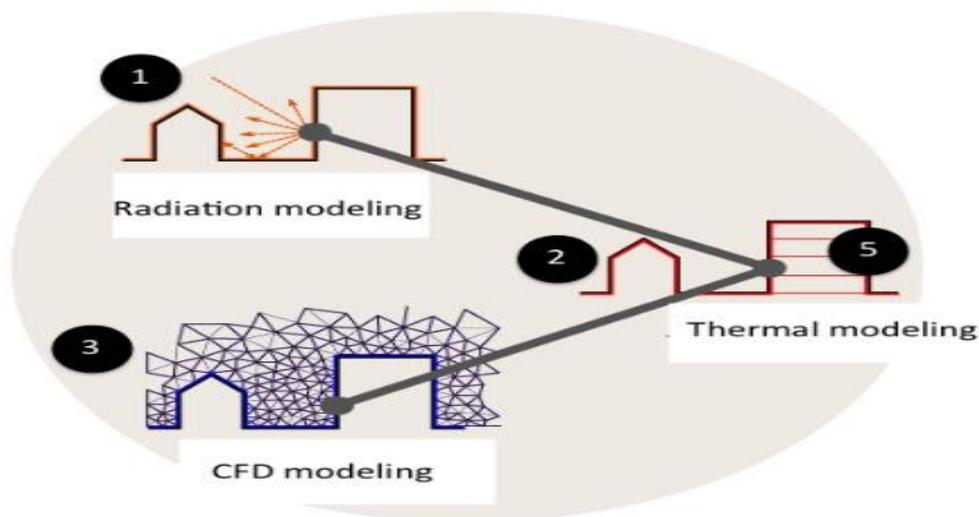


Figure II.87: Les modules couplés de SOLENE à SOLENE-microclimat .Source :(Musy et al., s. d.)

- ✓ **Modèle radiatif :**

Le laboratoire du CERMA a initialement créé SOLENE, un outil de simulation pour évaluer le processus de rayonnement solaire dans des environnements urbains en utilisant un maillage de surface en 3D. La voûte céleste est représentée par une forme hémisphérique (Voir figure

II.18), dont l'anisotropie du rayonnement solaire diffus a également été prise en compte (Imbert et al., s. d.).

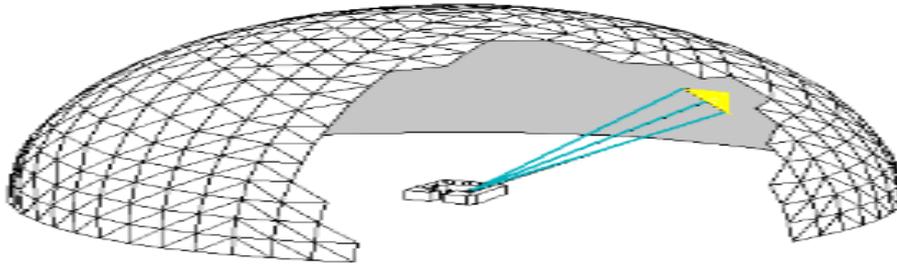


Figure II.88: Géométrie hémisphérique représentant le ciel. Source: (Imbert et al., s. d.).

✓ **Modèle thermo-radiatif :**

Les bilans thermiques sur chaque cellule élémentaire représentant les murs et le sol permettent de réaliser des simulations dynamiques et d'évaluer l'évolution temporelle des températures de surface.

Le taux d'absorption du rayonnement solaire est calculé en fonction du rayonnement solaire direct et diffus obtenu directement du soleil et du ciel, après réflexion sur toutes les autres surfaces urbaines visibles, l'écart entre le flux réfléchi et la surface diminue.

Le flux de chaleur convective entre la surface et l'atmosphère est calculé en prenant en compte la disparité de température entre la surface et l'air ainsi qu'un coefficient de transfert de chaleur convective qui peut ensuite être ajusté en fonction de la valeur constante ou de la vitesse du vent à un point de référence

Enfin, les flux de rayonnement de grande longueur d'onde sont évalués à partir de chaque rayonnement thermique émis par chaque surface et des facteurs de vue entre toutes les surfaces. Comme la température de surface externe de chaque cellule élémentaire est liée à celle de la cellule élémentaire suivante via le calcul du rayonnement à ondes longues, le système d'équations est résolu par un algorithme itératif à chaque pas de temps (Benjamin Morille et al., 2015).

✓ **Couplage avec la CFD :**

Le couplage CFD a d'abord été réalisé à l'aide de Code Saturne (<http://code-saturne.org/cms/>). Il donne tout d'abord la distribution des vitesses (voir figure II.19) sur

l'ensemble de la scène urbaine et permet d'évaluer le coefficient de diffusion de chaleur par convection de manière très réaliste.

En tenant compte des flux de convection entre chaque surface et l'air, et en résolvant les équations de conservation, l'écart entre la température et l'humidité de l'air peut être calculée (Benjamin Morille et al., 2015).

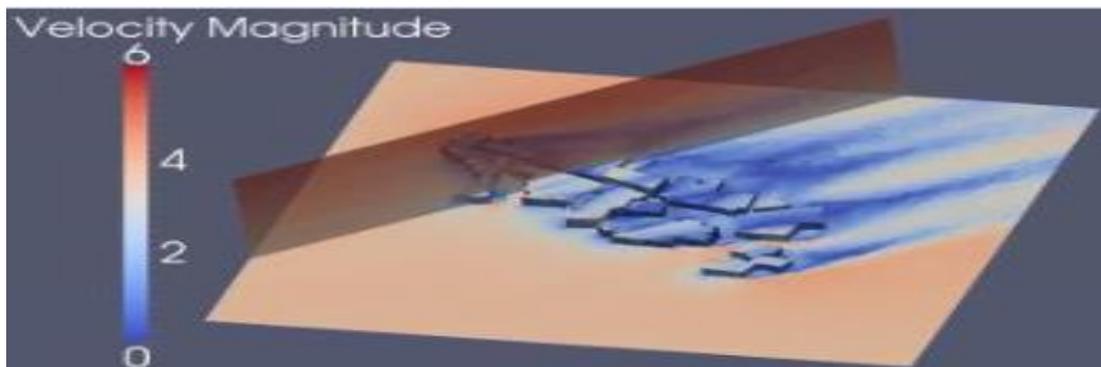


Figure II.89: Répartition de la vitesse du vent. Source : (Benjamin Morille et al., 2015).

- **Le model ENVI-MET :**

Il est outil tridimensionnel de microclimat utilisé comme modèle qui prévoit les changements microclimatiques dans les environnements urbains. Il a été adapté par B. Michaël en 1993, pour une atmosphère à petite échelle qui peut recréer l'air de surface dans un milieu urbain présentant une résolution habituelle de 0,5 à 10 mètres dans l'espace, d'une seule agglomération à un quartier, à condition de disposer de 250 grilles au maximum (Faragallah & Ragheb, 2022).

La base de calcul de ce logiciel, CFD, simule les microclimats urbains en combinant des modèles aériens, de température et d'humidité relative avec la turbulence atmosphérique et la couverture végétale environnante (Y. Zhang, 2022).

Ce modèle microclimatique a été largement utilisé pour le calcul des changements microclimatiques induits par les zones urbaines (Gatto et al., 2020b, 2021; Liu et al., 2021b; Yilmaz et al., 2021b; Zölch et al., 2019).

Il est souvent employé pour déterminer les facteurs affectant les rues canyons, les îlots de chaleur urbains et le confort thermique extérieur, et pour analyser les scénarios proposés par différents modèles informatiques et indices. Il simule la température de l'air T_a -°C,

l'humidité relative RH-%, la vitesse du vent m/set sa direction, ainsi que les ondes radiatives longues (Ozkeresteci et al., s. d.).

La structure de données de base d'ENVI-met est illustrée dans la figure suivante :

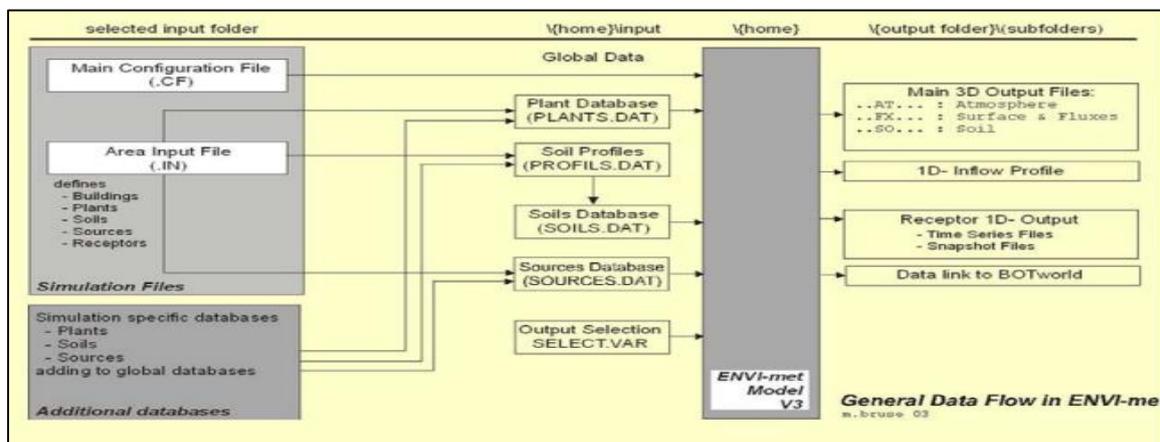


Figure II.20: La Structure de base des données ENVI-met. Source:(Ozkeresteci et al., s. d.).

✓ Le model Town Energy Balance TEB:

SURFEX est une nouvelle plateforme de surface terrestre et océanique externalisée qui décrit les flux de surface et l'évolution de quatre types de surface : la nature, la ville, les eaux intérieures et l'océan (voir figure II. 21).

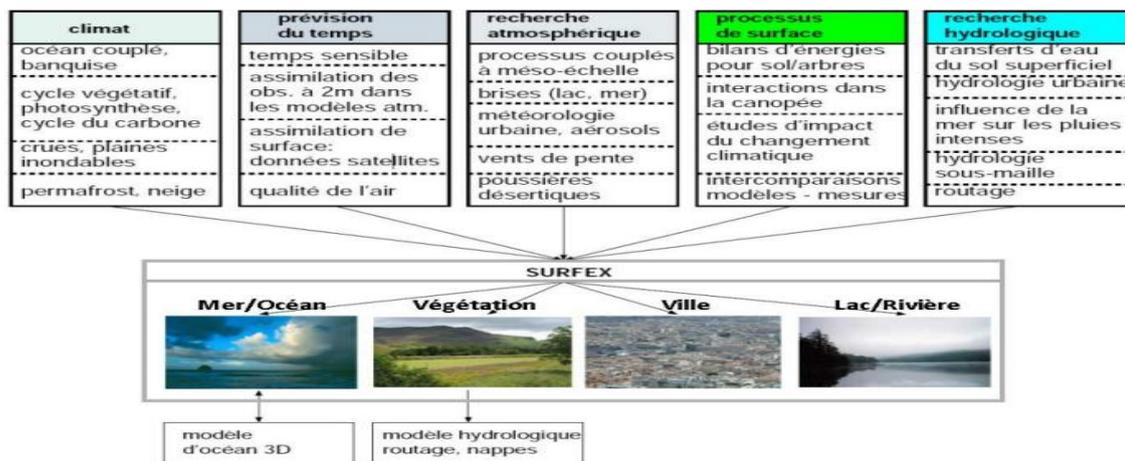


Figure II.90 : La variété d'utilisations de la plate-forme de surface SOURCEX. Source:(Chauzy et al., s. d.).

Elle a la possibilité de fonctionner hors ligne ou en mode couplé à un modèle atmosphérique (de l'échelle ponctuelle à l'échelle globale). Elle s'appuie principalement sur cinq modèles scientifiques établis et très fiables. Le dioxyde de carbone, les espèces chimiques, le sel marin, les particules de neige et les aérosols continentaux peuvent tous être simulés avec SURFEX. Un module d'assimilation de données est également inclus (Masson et al., 2012). SURFEX est divisé en plusieurs modèles pour modéliser la surface d'un domaine, parmi ces modèles le TEB "Town Energy Balance" qui a été développé en 2000 par Masson.

Le TEB est l'un des premiers modèles de cette génération à intégrer la végétation urbaine dans les interactions à l'échelle locale avec les éléments bâtis. Sa complexité s'est progressivement accrue grâce à l'intégration de nouveaux types d'éléments naturels et d'activités connexes (Redon, s. d.).

La première étape a consisté à inclure la végétation au sol dans le canyon en implémentant le modèle d'interaction sol-biosphère-atmosphère ISBA dans TEB. Ce couplage permet de simuler le comportement physiologique des plantes soumises aux effets radiatifs de la géométrie urbaine et aux conditions microclimatiques de l'environnement urbain. Inversement, le microclimat à l'intérieur du canyon peut être impacté par la modification des échanges énergétiques de surface due à la présence de végétation au sol, notamment par son évapotranspiration.

Un module de toits verts extensifs a également été développé en utilisant toujours le modèle ISBA pour simuler le fonctionnement hydrologique et énergétique des toits verts, ainsi que les interactions énergétiques avec l'atmosphère et le couplage thermique avec les bâtiments sur lesquelles elles sont installées (Redon et al., 2020).

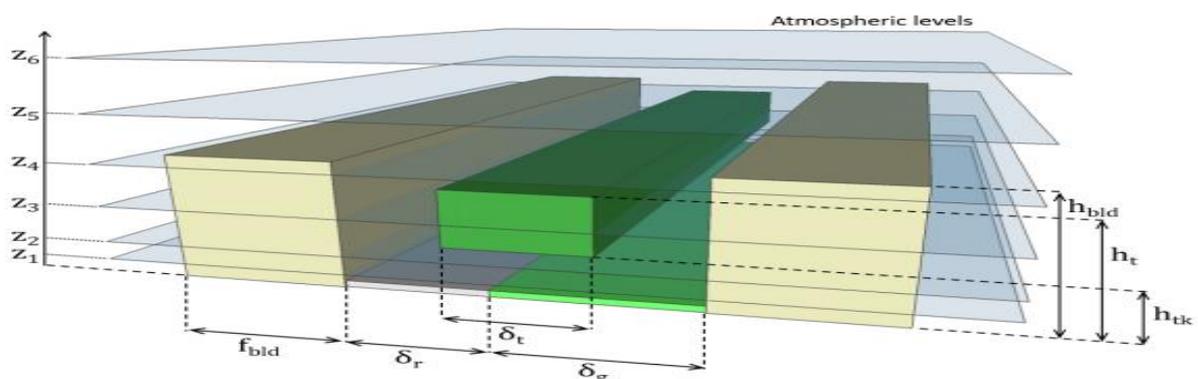


Figure II.91: Représentation schématique du canyon urbain par TEB. Source : (Redon et al., 2020)

II.3 Techniques d'optimisation de l'ambiance thermique extérieure :

Les espaces publics extérieurs dans les villes contemporaines sont devenus le centre de la vie civique, servant à la fois de pôles d'activité et de loisirs. Il n'est communément admis que la création d'espaces publics urbains sensibles au climat, susceptibles d'améliorer et d'enrichir la vie urbaine. De plus en plus de recherches ont été menées sur les techniques permettant d'optimiser les ambiances thermiques en milieu urbain et d'attirer davantage de personnes à l'extérieur. Parmi ces techniques faire modifier la géométrie urbaine, faire pousser de la végétation, utiliser des surfaces réfléchive et ajouter des plans d'eau.

II.3.1 La géométrie urbaine et son rôle thermique régulateur :

Les divers facteurs microclimatiques et le confort thermique extérieur, pouvant fortement influencés par la géométrie urbaine (Galal et al., 2020) ;elle entraîne des modifications dans les échanges de chaleur par rayonnement et par convection dans les zones urbaines ouvertes. Une géométrie urbaine dense et élevée freine souvent le rayonnement solaire et limite la vitesse du vent (Abd Elraouf et al., 2022).

Selon (Jamei et al., 2016) ; les paramètres suivants sont généralement utilisés pour quantifier la géométrie urbaine :

✓ **Ratio d'aspect:**

Désigné comme le ratio entre la hauteur moyenne (H) des parois du canyon et sa largeur (L). La relation entre l'ampleur du rapport d'aspect et la température de l'air nocturne est directe, Cela implique qu'un rapport d'aspect plus élevé entraîne une température nocturne de l'air plus élevée ; le schéma de température est inversé pendant la journée.

✓ **L'orientation des rues :**

Dans les canyons urbains l'un des principaux facteurs influençant l'accès au soleil et la circulation d'air est l'orientation des rues, qui affecte l'équilibre thermique et les niveaux de confort thermique des piétons.

✓ **Facteur de visibilité du ciel SVF:**

Est Le rapport entre la quantité de ciel qui peut être vue d'un point donné d'une surface et celle qui est potentiellement disponible, cette mesure est un nombre sans dimension compris

entre 0 et 1. Dans les canyons urbains, les faibles valeurs de SVF piègent le rayonnement sortant de grande longueur d'onde et ralentissent la vitesse de refroidissement de la surface urbaine.

II.3.2 La végétation urbaine et son rôle thermique régulateur:

L'ajout de végétation sous ces différentes formes, comme les parcs, les plantations d'arbres, les murs et les toits verts, est l'une des techniques prometteuse permettant d'ajuster le confort thermique extérieur en milieu urbain en utilisant plusieurs mécanismes différents (Teshnehdel et al., 2020). Grâce au processus de transpiration, ainsi qu'à la régulation et à l'absorption de l'énergie radiante, la végétation abaisse la T_{mrt} et améliore la qualité du milieu environnant.

Elle a un impact sur la régulation des conditions climatiques grâce à sa capacité à diriger et à diminuer la vitesse et l'intensité du vent, et à diminuer le mouvement de l'air. En outre, elle abaisse les températures de surface en ombrageant les surfaces et en modifiant le flux convectif, ce qui abaisse les températures et améliore la ventilation de l'environnement près de la surface de sol (Hami et al., 2019).

II.3.3 Les surfaces réfléchissantes et l'amélioration de confort thermique extérieur :

Le terme "albédo" désigne la capacité d'une surface à renvoyer le rayonnement solaire incident. Ses valeurs sont comprises entre 0 et 1, qui correspondent respectivement à l'absorption et à la réflexion totale. Les teintes foncées du spectre visible ont un albédo faible ou une forte absorptivité, tandis que les teintes claires ont un albédo élevé ou une forte réflexion du rayonnement solaire (Nasrollahi et al., 2020b).

Grâce à la transmission de la chaleur, ces matériaux contribuent à abaisser les températures dans les villes, ce qui réduit indirectement la demande en systèmes de refroidissement, améliore le confort thermique et diminue la production de pollution (Lopez-Cabeza et al., 2022b).

II.3.4 Les plans d'eau et l'optimisation des conditions thermiques extérieurs :

Les plans d'eau peuvent créer des zones de refroidissement et avoir un impact sur la circulation locale de la température. (Sheng & Wang, 2024). Les plans d'eau absorbent la chaleur de leur environnement par évaporation, ce qui refroidit l'air ambiant (Taleghani,

2014), ont permettant de diminuer la demande énergétique et optimiser le confort et le bien être thermique extérieur .

Bien qu'ils soient reconnus comme les absorbeurs de rayonnement les plus efficaces, les plans d'eau présentent une réaction minimale à la température .Le rayonnement solaire incident peut parcourir de grandes distances et se disperser sur une vaste zone en raison de sa transparence, de sa capacité thermique élevée et de son volume (Syafii et al., 2016).

Conclusion:

Pendant les dix dernières années, l'intérêt pour l'évaluation du confort thermique à augmenter en raison des changements climatiques et l'accroissement du stress thermique urbain. Compte tenu de l'influence significative du confort thermique sur la fréquentation des espaces extérieurs, les études sur ce dernier suscitent un grand intérêt. D'où les divers conditions microclimatiques, les composantes physiologiques et les éléments comportementaux sont mis en évidence. Ce qui rend l'influence du confort thermique sur les activités de plein air une question complexe.

Le confort thermique extérieur est plus difficile à mesurer et analyser qu'en intérieur car l'environnement extérieur est beaucoup plus complexe ; L'absence de contrôle climatique dans les espaces extérieurs rend les mesures difficiles. Cependant pour faciliter l'analyse et le traitement de l'environnement thermique extérieur plusieurs méthode et outils ont été utilisé ; en basant sur des indicateurs thermiques comme la température physiologique équivalente PET et L'indice thermique universel UTCI.

Parmi les différentes stratégies disponibles pour améliorer et optimiser le bien être thermique extérieur ; la modification de la géométrie urbaine, l'intégration de la végétation sous ses différentes formes, utilisation des surfaces réfléchissantes et l'ajouter des plans d'eau dans les espaces extérieurs.

Chapitre 3 : la végétation et les plans d'eau comme régulateur thermique extérieur.

Introduction :

Dans les villes contemporaines les endroits publics sont très importants pour la qualité de vie. Leur importance peut s'exprimer par une augmentation de la vitalité de la ville et une amélioration de la santé des habitants. Cependant, peu de personnes peuvent rester activement à l'extérieur pendant de longues périodes, en particulier pendant les journées chaudes, à cause des températures nettement supérieures dans les espaces extérieurs plutôt qu'à l'intérieurs, en l'absence d'abris ou d'installations de refroidissement (J. Zhang et al., 2022a). Le changement climatique et l'adaptation à celui-ci constituent l'un des principaux enjeux de notre temps. Afin de maintenir la santé et le confort des résidents ainsi que la fonction sociale des espaces publics dans les futures villes durables, Les extrêmes de chaleur peuvent être préjudiciables à la santé humaine, notamment par la déshydratation, l'inconfort ou l'épuisement, les espaces publics dans les villes deviendront de plus en plus inutilisables à l'avenir si des mesures d'adaptation à l'évolution des conditions climatiques ne sont pas prises (Foshag et al., 2020).

C'est pourquoi différentes méthodes de réduction et d'ajustement ont été créées, telle que l'utilisation des solutions naturelles. Ils sont considérés comme un outil efficace pour améliorer le confort thermique des utilisateurs des espaces publics et réduire le stress thermique en milieu urbain. La végétation urbaine, en particulier, s'est avérée être l'un des moyens de rafraîchissement les plus efficaces, car elle fournit de l'ombre, dirige les flux d'air, capte les précipitations et augmente l'évapotranspiration. Grâce à l'évaporation et à la convection, les plans d'eau aussi peuvent refroidir l'air au-dessus et à proximité (Liu et al., 2021b). Ce chapitre est consacré à faire un aperçu sur l'espaces publics urbain. D'où la première partie est consacrée à définir l'espace public, ces dimensions, différents aspects et son importance ainsi que sa relation avec le développement durable. Cependant la deuxième et la troisième partie a pour objectif de mettre en évidence l'impact de la végétation urbaine et les plans d'eau dans la régulation des paramètres microclimatique et l'optimisation de confort thermique extérieur.

III.1 L'espace public urbain : concepts et usages**III .1.1 L'espace et le lieu :**

Selon (El-Sieedy et al., 2021) ; Le terme "espace" vient du mot latin "Spatuim", qui désigne l'extension infinie qui inclut les extensions partielles spécifiées. D'autre part, l'espace étant

occupé par ses dimensions en longueur, largeur et profondeur, il est défini comme une zone "terrestre" ou "vide". Cependant le terme "lieu" est dérivé du mot latin "Loc", qui signifie le lieu ou le site ; Aristote a considéré le lieu comme composé de choses, telles que les éléments, les images, les mouvements, et le temps. Cela faisait du lieu un contenu et non une substance. L'espace et le lieu sont des mots familiers qui désignent des expériences communes ; dans l'expérience, la signification de l'espace est fréquemment confondu avec celle-ci du lieu dans la quelle l'espace est une notion plus abstraite que la simple notion de lieu.

Ce qui est d'abord un espace indifférencié devient un lieu à mesure que nous apprenons à mieux le connaître et à lui donner de la valeur. Les deux notions se définissent l'une l'autre. Si nous considérons l'espace comme la dimension permettant le déplacement, alors chaque halte dans ce mouvement permet à l'espace de se métamorphoser en un lieu. (Tuan, 2011).

III .1.2 L'espace public entre concept et définition :

Les espaces publics jouant un rôle majeur dans la composition des villes, il a été au centre des études urbaines et d'autres domaines scientifiques , notamment la sociologie, la géographie, les sciences politiques, l'anthropologie, la planification, l'architecture, le design et la philosophie (Bodnar, 2015).

Selon (M. N. N. Lopes, s. d.), la définition du concept "espace public" doit commencer par la définition essentielle du mot "public", dérivé du latin "populeux", qui a de nombreuses connotations. Le terme, pris comme substantif, a les définitions suivantes : "en public, dans un lieu ou un état ouvert à la vue ou à l'accès du public ; la société organisée, le corps politique ; une nation, un état ; l'intérêt ou le bien-être de la communauté ; ayant un intérêt particulier ou un lien spécial avec la personne ou la chose spécifiée. En raison de ses diverses connotations, le terme est utilisé dans de nombreux contextes et expressions, notamment "acte public", "société publique", "rendre public", "dans le domaine public", et bien d'autres encore.

Les urbanistes accordent une grande importance aux espaces publics depuis des siècles. Ils sont défini comme toute zone d'une ville ouverte au public, servant de lieu d'activités, régie par un organisme public, et approvisionnée et entretenue dans l'intérêt public (Jalaladdini & Oktay, 2012).

Dans la planification urbaine l'espace public est traditionnellement appelé "espace ouvert". Cette idée, héritée d'un point de vue juridique, est remise en question par les changements les plus récents dans les modèles d'établissement urbain ainsi que par la quantité et la variété croissantes de lieux semi-publics gérés par des partenariats privés-publics ou entièrement privés (Tonnelat, s. d.).

Parce qu'ils favorisent les rencontres spontanées entre voisins, les espaces publics sont des composantes supplémentaires de l'environnement bâti qui ont le potentiel de renforcer les liens communautaires (Francis et al., 2012)

Selon (Ramlee et al., 2015) ; les espaces publics sont destinés à être utilisés par les citoyens dans une société démocratique, ils représentent les caractéristiques d'un paysage urbain et des scènes de la vie courante, tout en offrant un lieu de rassemblement social. Une grande importance est accordée à l'état de l'environnement urbain, qui comprend la promotion de l'interaction sociale, l'héritage de l'histoire et de la culture de la ville, et le sentiment d'identification et d'appartenance de tous les citoyens.

En général, il est défini comme tout espace le public l'utilise ou qui est libre d'utilisation et accessible à tous, sous réserve de certaines limites d'utilisation. Les gens établissent leur intimité dans les espaces publics en formant de petits groupes qui restreignent subtilement l'accès aux spectateurs aléatoires. Cela suggère que le sentiment d'intimité dans les espaces publics peut changer selon le niveau de familiarité avec les divers espaces publics (Kriegel et al., 2023).

III.1.3 L'espace public et ses aspects:

Selon (Chitrakar, s. d.) ; L'étude de l'espace public est une discipline pluridisciplinaire car elle englobe non seulement les aspects physiques, mais également les aspects sociaux et psychologiques. , avec un chevauchement important entre elles :

- ✓ **La dimension physique** : fait référence à l'environnement physique ou à la "mise à disposition" de l'espace public qui fournit un cadre pour l'interaction sociale.
- ✓ **la dimension sociale** : fait référence à l'"utilisation" ou aux activités qui se déroulent dans l'espace public.
- ✓ **La dimension psychologique** : est liée à la perception de l'espace public ; la façon dont les gens interprètent l'espace et lui donnent un "sens", et la façon dont ce sens contribue à développer un sentiment de communauté ou de lieu.

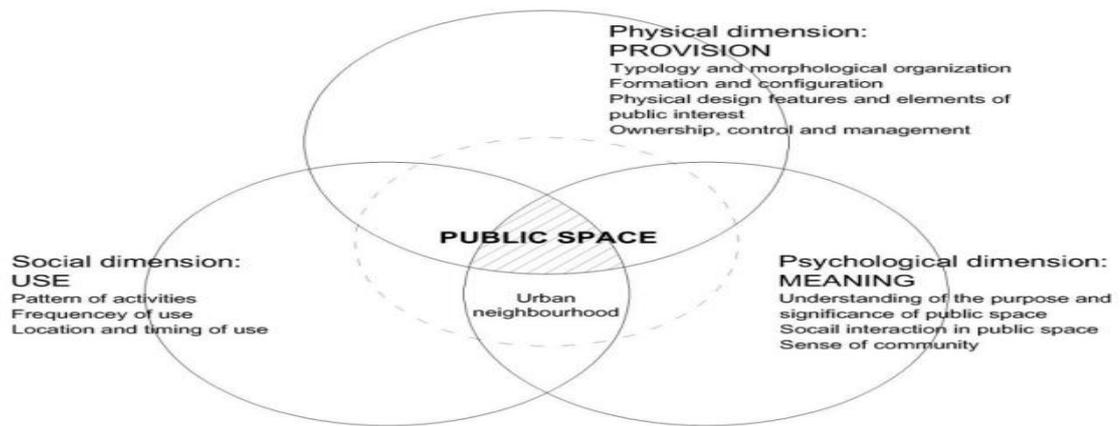


Figure III .1: Les dimensions des espaces publics. Source:(Chitrakar, s. d.).

Tout espace public doit remplir son rôle fondamental dans le tissu urbain et posséder certaines qualités spatiales et sociales de base afin d'être désigné comme tel et d'être en mesure d'accueillir une variété d'événements et d'activités publiques et sociales. Dans les espaces publics, les individus ont besoin de se sentir confortables, en sécurité. Les espaces publics deviennent plus fascinants et appréciés en raison du temps que les gens y passent, ce qui incite d'autres personnes à adopter le même comportement (Kamel et al., 2020).

III.1.4 L'importance des espaces publics :

Les avantages des espaces publics sont indéniables ; notamment des avantages sociaux qui comprennent la santé, les possibilités de loisirs, la cohésion sociale et les avantages esthétiques et psychologiques. Les avantages environnementaux liés aux services écosystémiques est des avantages économiques qui comprennent l'amélioration de l'attractivité et de la prospérité des villes, ainsi que le coût croissant de l'immobilier et des terrains (Högyeová et al., 2023) .

Les espaces publics sont des lieux où la culture peut s'épanouir. Ils peuvent être considérés comme une porte d'entrée pour le progrès culturel d'une société. Des personnes de différentes origines , milieux et cultures peuvent se réunir pour célébrer leurs traditions et découvrir en même temps de nouvelles cultures étrangères (Charita Kishore Rupa, 2015).

Selon (Rembeza, s. d.) ; Les espaces publics sont essentiels pour le développement de l'environnement urbain, ils sont un ingrédient essentiel des villes prospères :

- ✓ Il soutient l'économie.
- ✓ Il contribue au sentiment de cohésion civique et de citoyenneté.
- ✓ Il favorise l'interaction sociale et culturelle.
- ✓ Il renforce la sécurité.
- ✓ Il améliore la santé et le bien-être.
- ✓ Il accroît la mobilité.
- ✓ Il améliore l'environnement.

III.1.5 Les différents aspects de l'espace public :

Selon (Rad & Ngah, 2013) ;les espaces publics englobent une variété d'espaces de rencontre ou de socialisation en raison de leur diversité physique et d'activité les espaces publics présentent de nombreux aspects (voir figure III.2) :

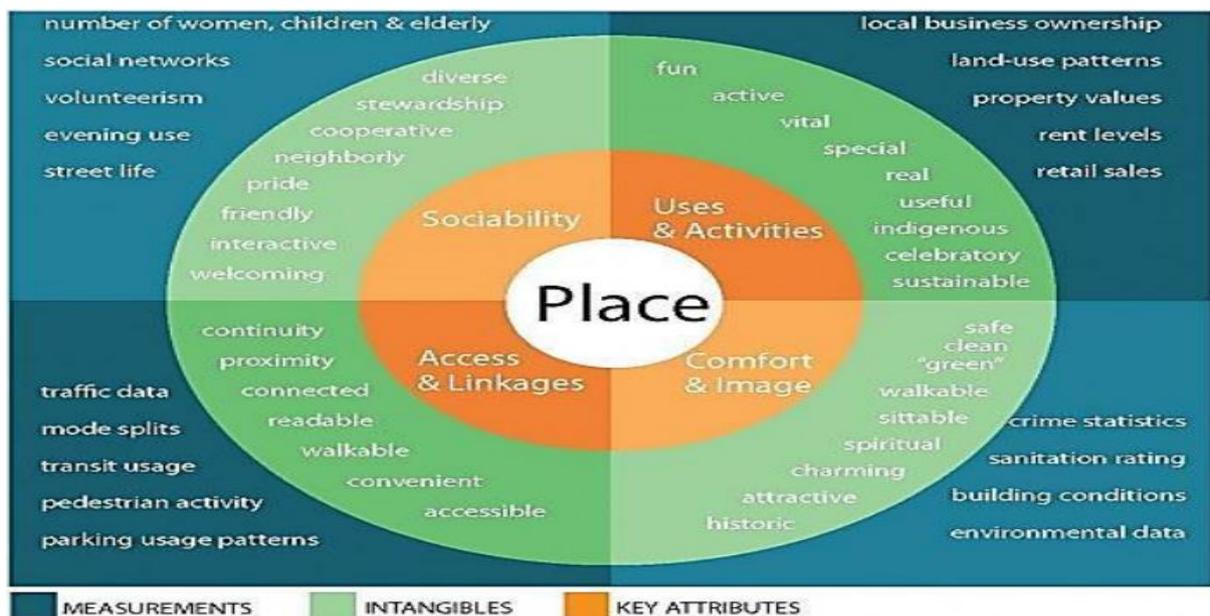


Figure III.2: Les aspects de l'espace publics. Source : (Rad & Ngah, 2013)

Les espaces publics dans les villes et les zones résidentielles deviennent significatifs et attractifs lorsque toutes les activités de tous types se combinent et se renforcent mutuellement (Zivali Turhan, 2019) :

- ✓ **La sociabilité :** La création de possibilités vitales d'interactions sociales est l'un des éléments essentiels des espaces publics. Les gens forment des liens plus étroits les uns avec les autres lorsqu'ils interagissent avec eux, tant dans l'espace que dans leur société.

- ✓ **Utilisation et activité** : Les événements sociaux, le type d'activités et d'utilisations de l'espace et sa capacité à attirer différents groupes de personnes sont les facteurs les plus importants pour animer les espaces publics à différents moments et saisons.
- ✓ **Accès et liens** : L'accessibilité décrit la capacité à la fois visuelle et physique d'atteindre les activités et les autres utilisateurs, mais aussi les ressources, les services et les informations nécessaires pour effectuer des activités dans un lieu donné. Les espaces performants dépendent de variables telles que la circulation, la connectivité, la proximité, etc.
- ✓ **Le confort et l'image** : L'image est liée à l'agencement physique de l'espace et au confort que l'on retire de l'espace. La durabilité et l'attrait visuel influencent le confort mental. Ces caractéristiques incitent les gens à choisir un espace pour se promener et vivre des expériences

III.1.6 Classification des espaces publics :

La classification des espaces urbains aide à créer des règlements pour les espaces publics et une stratégie bien organisée pour fournir des activités liées aux zones urbaines. Les espaces publics sont classés selon :

- ✓ Leur forme fonctionnelle (parcs publics, places et squares, marchés, rues, terrains de jeux, espaces ouverts communautaires.)
- ✓ les types d'utilisation du sol.
- ✓ les caractéristiques culturelles et visuelles.
- ✓ la forme et l'objectif.
- ✓ leur gestion,
- ✓ leur propriété.

Les classifications des espaces publics ne devraient pas être neutres ; au contraire, elles devraient être créées et évaluées en fonction de la façon dont elles servent de cadre à la vie publique (Alzahrani, 2022).

Selon (Nochian et al., 2015) ; la méthode de classification des espaces publics couvre généralement trois approches :

- ✓ **La hiérarchie** est fondamentalement déterminée par le :
 - La zone géographique desservie.
 - Taille

- Niveau d'utilisation.
- Importance.
- ✓ **La fonction** : l'utilisation principale et les activités prévues identifient trois types principaux d'espaces publics :
 - Espaces de loisirs.
 - Espaces sportifs.
 - Espace naturel.
- ✓ **Le caractère paysager et environnemental** : Le caractère du paysage est utilisé pour définir le type de paysage et de végétation souhaitable d'un espace public.

Une nouvelle typologie utilise les aspects de la fonction, de la perception et de la propriété pour distinguer les différents types d'espaces (voir figure III.3). Vingt types d'espaces urbains sont identifiés dans quatre catégories principales, représentant un continuum allant de l'espace clairement public à l'espace clairement privé (Carmona, 2010) :

- ✓ **Espaces positifs** : ils sont liés aux associations et aux significations attachées aux espaces positives et négatives, qui varient d'une personne à l'autre.
- ✓ **Espaces négatifs** : sont des zones où certains individus sont confrontés à des comportements antisociaux, tels que le racisme et les comportements perturbateurs qui sont souvent considérés comme dangereux.
- ✓ **Espaces ambigus** : sont considérés comme incertains parce que leur propriété et la mesure dans laquelle ces espaces urbains sont "publics" ou non sont vagues.
- ✓ **Espaces privés** : sont strictement contrôlés lorsque le droit de propriété privée permet d'en exclure et/ou d'en empêcher l'accès.

Space type	Distinguishing characteristics	Examples
Positive spaces		
1. Natural/semi-natural urban space	Natural and semi-natural features within urban areas, typically under state ownership	Rivers, natural features, seafronts, and canals
2. Civic space	The traditional forms of urban space, open and available to all and catering to a wide variety of functions	Streets, squares, and promenades
3. Public open space	Managed open space, typically green and available and open to all, even if temporally controlled	Parks, gardens, commons, urban forests, and cemeteries
Negative spaces		
4. Movement space	Space dominated by movement needs, mainly for motorized transportation	Main roads, motorways, railways, and underpasses
5. Service space	Space dominated by modern servicing requirement needs	Car parks and service yards
6. Leftover space	Space left over after development, often designed without function	"SLOAP" (space left over after planning), modernist open space
7. Undefined space	Undeveloped space, either abandoned or awaiting redevelopment	Redevelopment space, abandoned space, and transient space
Ambiguous spaces		
8. Interchange space	Transport stops and interchanges, whether internal or external	Subway, bus interchanges, railway stations, and bus/tram stops
9. Public "private" space	Seemingly public external space, in fact, privately owned and controlled	Privately owned "civic" space, business parks, and church grounds
10. Conspicuous space	Public spaces designed to make strangers feel conspicuous and potentially unwelcome	Cul-de-sacs and dummy-gated enclaves
11. Internalized "public" space	Formally public and external, but internalized and often privatized	Shopping/leisure malls and introspective megastructures
12. Retail space	Privately owned but publicly accessible exchange spaces	Shops, covered markets, and gas stations
13. Third place space	Semi-public meeting and social places, public, and private	Cafes, restaurants, libraries, town halls, and religious buildings
14. Private "public" space	Publicly owned, but functionally and user determined spaces	Institutional grounds, housing estates, and university campuses
15. Visible private space	Physically private, but visually public space	Front gardens, allotments, and gated square
16. Interface space	Physically demarked but publicly accessible interfaces between public and private space	Street cafes and private pavement space
17. User selecting space	Spaces for selected groups, determined, and sometimes controlled by age or activity	Skateparks, playgrounds, and sports fields/grounds/courses
Private spaces		
18. Private open space	Physically private open space	Urban agricultural remnants and private woodlands
19. External-private space	Physically private spaces, grounds, and gardens	Gated streets/enclaves, private gardens, private sports clubs, and parking courts
20. Internal-private space	Private or business space	Offices, houses, etc.

Figure III.3: Classification des espaces publics .Source:(Carmona, 2010).

III.1.7 Classification des activités déroulant dans les espaces publics:

Selon (Hanzl, s. d.) ; Les manifestations qui ont lieu dans les espaces publics peuvent être classées en deux catégories principales :

- ✓ **Le mouvement et le transport :** Il se traduit à la base par le tracé des rues, principalement les éléments du profil de la rue (voies de circulation de différents paramètres, lignes de tramway...etc.). La présence de ces éléments d'espaces publics signifie que des modes de transport définis sont disponibles. L'absence ou le sous-

développement de ces éléments, peuvent effectivement influencer les préférences des usagers.

- ✓ **La communication interpersonnelle et les activités sociales :** La description du comportement humain dans les espaces publics est abordée par le concept de situation, qui est défini par les anthropologues comme un théâtre d'activités humaines. Cinq événements dont il faut tenir compte lorsqu'on discute des règles qui sous-tendent la perception ou l'omission individuelle : le sujet ou l'activité, la situation, le statut dans un système social, l'expérience antérieure et la culture.

III.1.8 L'espace publics et le développement durable :

Selon(Varna, s. d.) , Les espaces publics sont essentiels pour atteindre la durabilité urbaine dans ses trois aspects (voir figure III.4), en raison de leurs rôles variés et de leurs fonctions diverses :

- ✓ **La perspective sociale :** les espaces publics sont les scènes où se déroule la vie sociale publique de la ville, où les gens se détendent et s'amuse ensemble. Ils relient l'espace de la maison et celui du travail/études, offrant ainsi le cadre et l'opportunité d'enrichir la vie publique d'une société. les espaces publics plus démocratiques contribuent à la cohésion sociale d'une ville, ce qui à son tour contribue à sa pérennité.
- ✓ **La perspective environnementale :** Un espace public de qualité favorise les itinéraires piétonniers et les connexions avec les transports publics au détriment des aménagements axés sur la voiture. La relation étroite avec la voiture, l'un des facteurs les plus polluants dans nos villes, associées à l'augmentation du réchauffement climatique sont autant d'éléments qui nous incitent à modifier radicalement notre approche de la conception des villes. En favorisant les parcs et l'écologisation des villes, les espaces publics contribuent à un paysage urbain plus respectueux de l'environnement.
- ✓ **La perspective économique :** les espaces publics de haute qualité sont caractérisés par une fréquentation piétonne élevée, soutenant donc les activités commerciales .En même temps, ils agissent comme promoteurs de l'image d'une ville, développent capital social et contribuent à attirer les investissements dans une région, tout en soutenant tourisme.

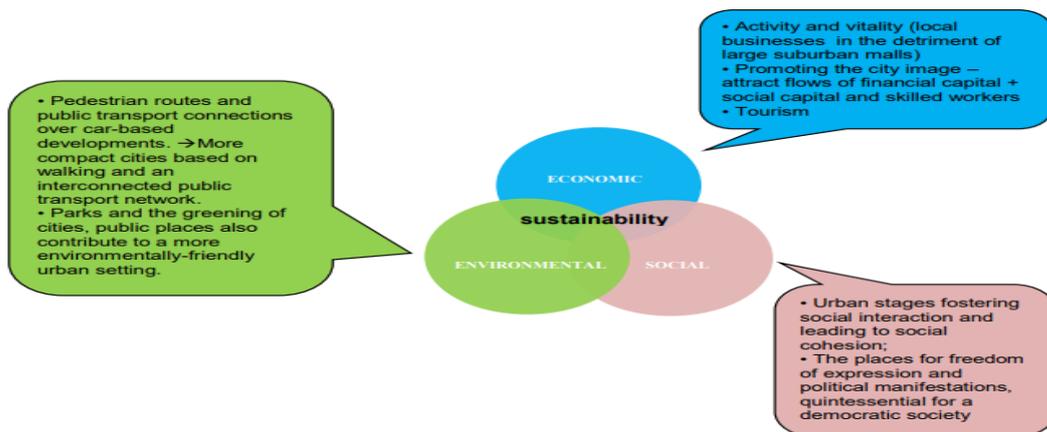


Figure III.92: Les espaces publics et le développement durable. Source:(Varna, s. d.).

III.1.9 L'espace public et le confort :

Le confort est reconnu parmi les critères les plus importants pour créer de bons espaces publics. Compte tenu des différents impacts de l'environnement extérieur, ce critère complexe revêt différents aspects, tels que le confort acoustique, visuel et thermique (Ovstedal & Ryeng, s. d.).

Selon (Djekic et al., 2018) ; les facteurs qui influencent la sensation de confort dans des espaces publics incluent le sentiment de sécurité, conditions d'éclairage, environnement attrayant, conditions météorologiques et de circulation.

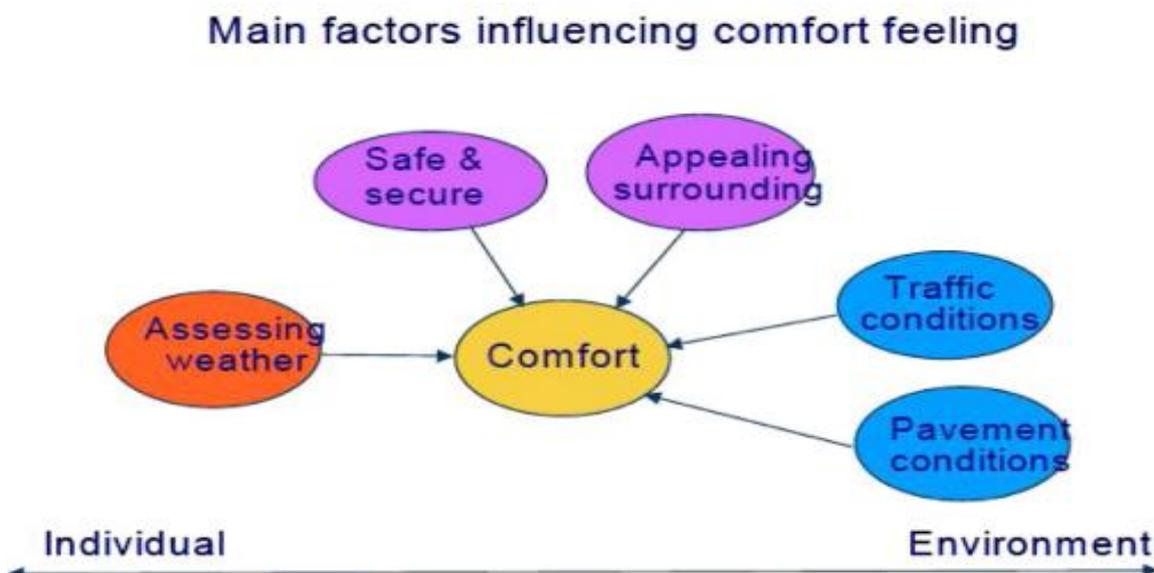


Figure III.5: Les facteurs influencent la sensation de confort. Source:(Djekic et al., 2018)

Conformément à cela, la météo, ou plus largement, le climat est l'élément le plus impactant qui influence le niveau de confort, notamment le confort thermique de l'espace publics. Les espaces publics devraient permettre de se protéger de mauvaises conditions. Il est recommandé de les concevoir de manière à ce que la majorité de leur surface soit dans les "zones de confort" des gens. La totalité des conditions météorologiques physiquement confortables permettant à une personne de s'habiller de manière décontractée à l'ombre, comme un espace public souhaitable (Gomes & Paris-Est, s. d.).

Les espaces publics qui sont confortables ont de la végétation, des effets sonores et visuels de l'eau, une protection contre le vent et la pluie, du soleil en hiver et de l'ombre en été. Cette perspective est étayée par un système d'analyse de qualité qui englobe les caractéristiques regroupées en quatre catégories (voir figure III.6) : La forme urbaine, les caractéristiques de l'eau, la flore et la verdure, et l'équipement urbain (Vukmirovic et al., 2019).

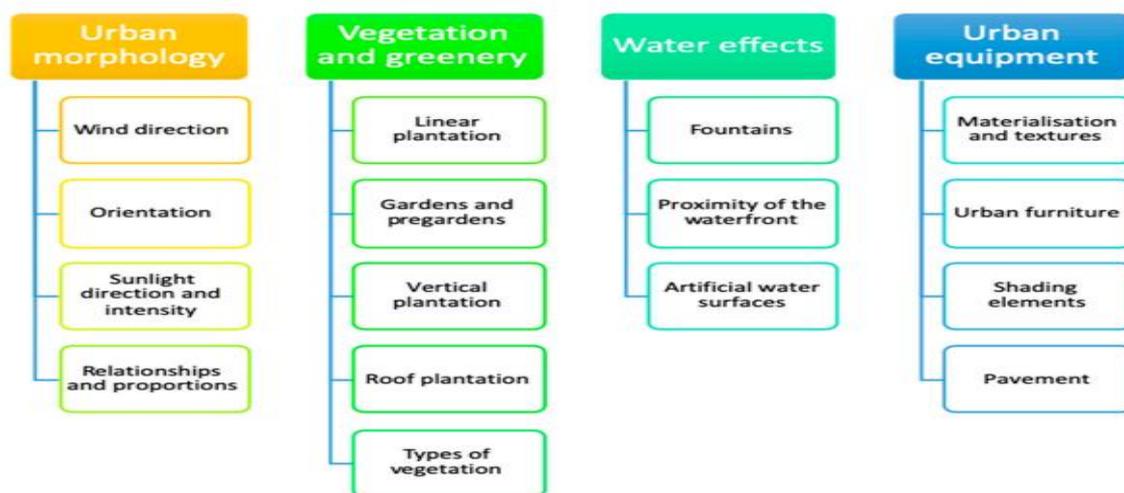


Figure III.6: Les indices de confort des espaces publics. Source:(Vukmirovic et al., 2019).

III.2 La végétation urbaine comme régulateur thermique en milieu urbain :

Les espaces publics favorisent le bien être dans les zones urbaines. L'environnement physique a un effet important sur l'utilisation de ces espaces. Il a été établi que l'élément essentiel d'un environnement extérieur vital et fonctionnel est le confort thermique. Un microclimat sain peut encourager la marche, accroître le confort des piétons et favoriser la durabilité (Nikolopoulou et al., 2001). La végétation, qui est un élément naturel du paysage, est l'une des stratégies de conceptualisation écologique souvent utilisées.

III.2.1 Définitions de l'espace vert :

Le concept d'"espace vert" trouve son origine dans le mouvement de préservation de la nature en milieu urbain et dans la réflexion européenne sur la planification des espaces verts, qui a commencé au Royaume-Uni de Grande-Bretagne. Les espaces verts désignent les zones accessibles au public au sein des espaces ouverts qui comportent des éléments verts. Il s'agit d'un mot fréquemment employé pour décrire toutes terres ou structure végétalisés (Mehhdi et al., s. d.).

selon (M'Ikiugu et al., 2012) ; on peut définir les espaces verts urbains comme des espaces extérieurs comportant une quantité importante de végétation. Ils existent dans les villes principalement sous forme de zones semi-naturelles, de parcs et de jardins gérés, complétés par des poches de végétation éparses associées aux routes et à des lieux accessoires.

L'espace vert urbain est un espace ouvert public dans une zone urbaine qui se caractérise principalement par un pourcentage élevé de végétation et de surfaces non pavées. Il est directement utilisé pour des loisirs actifs ou passifs ; ou indirectement utilisé en vertu de son influence positive sur l'environnement urbain, en répondant aux divers besoins des citoyens et en offrant ainsi des possibilités de développement économique et social (Smaniotto Costa et al., 2008).

III.2.2 La typologie de l'espace vert :

La typologie la plus couramment utilisée a été définie comme étant :

- ✓ **Naturelle** : sont des espaces résiduelles considérées pour leur valeur de conservation.
- ✓ **semi-naturelle** : sont les espaces résiduelles modifiées et utilisées par l'homme à des fins récréatives et éducatives.
- ✓ **Artificielle** : sont subdivisés en sous-catégories en fonction de l'approche de la conception et du degré d'intervention humaine.

Les critères les plus répandus pour classer les espaces verts sont l'utilisation et la couverture des sols, en utilisant la forme et l'origine des plantes comme caractéristiques dominantes (prairies, forêts, arbustes, plantes indigènes/exotiques). D'autres typologies sont basées sur un ensemble de critères, tels que le groupe d'âge des utilisateurs, l'accessibilité, la hiérarchie des tailles et l'échelle spatiale, la fonction et l'activité (Ignatieva & Mofrad, 2023).

Selon (Panduro & Veie, s. d.) , la classification des différents types d'espaces verts repose sur le nombre et la qualité des prestations rendues. Il est généralement reconnu que l'accessibilité a un impact significatif sur la définition des services potentiels, par la division de l'accessibilité en trois catégories distinctes, qui limitent et définissent le niveau de service fourni par les différents types :

- ✓ **L'accessibilité externe** : concerne l'accès physique à l'espace vert urbain (les entrées, les sentiers et les routes dans l'espace vert urbain).
- ✓ **L'accessibilité interne** : concerne l'accès physique à l'intérieur de l'espace vert (les chemins et les routes ouvrent la zone et permettent d'accéder à l'ensemble de la zone).
- ✓ **L'accessibilité sociale** : concerne la perception juridique et sociale de la zone.

Les espaces verts peuvent prendre la forme de forêts urbaines, de parcs, d'arbres de rue et d'accotements, d'arbustes , de jardins privés, de toits et de murs végétalisées, etc., qui fournissent divers services éco systémiques à l'environnement urbain (K. Gunawardena & Kershaw, s. d.-b).

III.2.3 Chevauchement entre l'espace vert et l'espace public:

Les espaces publics sont des terrains urbains qui ne font l'objet d'aucune construction et qui sont accessibles au public, il est donc un terme vaste par rapport à l'espace vert. En d'autres termes, les espaces verts sont l'une des sous-catégories des espaces publics qui sont définis comme une utilisation du sol urbain avec couvert végétal naturel ou non naturel éligible à efficacités sociales et écologiques (Sadasivam Karuppannan, Alpana Sivam, Ning Gu & Teimouri, 2019).

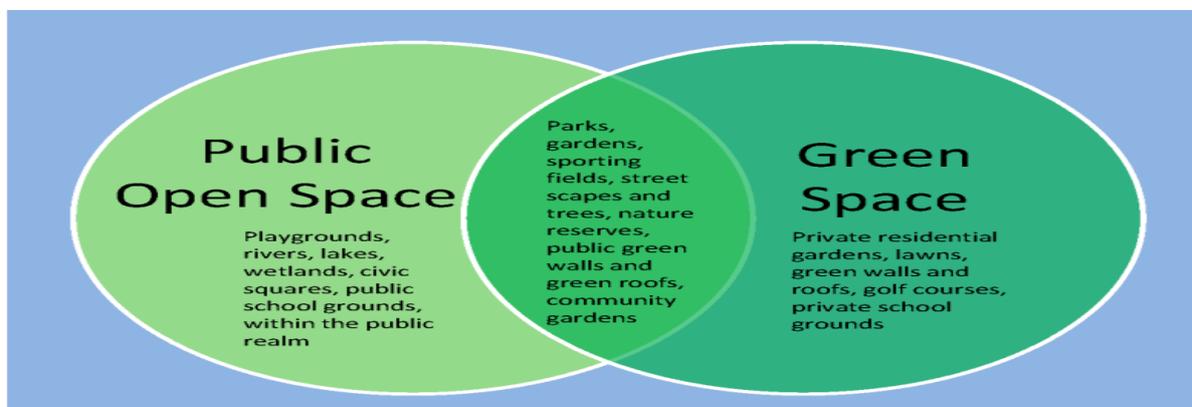


Figure III.7: Chevauchement entre l'espace vert et l'espace public. Source:(Sadasivam Karuppannan, Alpana Sivam, Ning Gu & Teimouri, 2019).

Selon (Dunnett et al., 2002) ; L'espace vert est un concept plus large, mais qui se recoupe avec celui de l'espace publics , car il ne dépend pas uniquement de l'accès au public ou de la gestion publique. Il est défini comme des espaces publics et privés comportant principalement des surfaces qui favorisent la perméabilité comme la végétation urbaine et ses diverses formes.

III.2.4 Le rôles des espaces verts urbains :

Fournissant une multitude de services éco systémiques, les espaces verts urbains contribuent à réguler le climat, à accroître la biodiversité, et offrent des avantages culturels, esthétiques et sanitaires. Ils occupent une place cruciale dans l'amélioration de bien être et de la durabilité dans les villes (Meili et al., 2021).

Selon (Karade et al., 2017) ; Il est largement admis que les espaces verts urbains jouent un rôle crucial et sont d'une grande importance dans les villes concernant la conception et la construction des éco-villes du XXIe siècle , cependant leurs valeurs peuvent être résumer comme suit :

- ✓ **Avantages environnementaux :** L'introduction de verdure en milieu urbain a le potentiel de réduire les niveaux de polluants atmosphériques en piégeant directement les particules de poussière et de fumée au sein de la végétation. Son existence au sein des régions surpeuplées a la capacité de diminuer les niveaux de bruit en fonction de différents facteurs tels que la quantité et la qualité de verdure et la distance par rapport à la source de pollution sonore. Ils sont essentiels pour fournir aux villes une série de services éco systémiques, qui vont de la préservation de la biodiversité à l'optimisation des conditions climatiques.
- ✓ **Avantages économiques et esthétiques :** La multiplication et l'implantation de verdure urbaine sous ses divers formes dans les milieux urbain caractérisé par un climat tempéré ; se justifie économiquement en raison de leur capacité à démineur les dépense énergétiques associées au refroidissement des bâtiments.
Notamment ils évapotranspirent, favorisent un meilleur mouvement d'air et fournissent des zones ombragées et abaissent les degrés des températures.
- ✓ **Avantages sociaux et psychologiques :** Selon (Zhou & Parves Rana, 2012) ; Le progrès de l'urbanisation et l'expansion des zones bâtis génèrent une demande persistante d'espaces verts urbains et de loisirs hors des sentiers battus, divers types d'espaces verts

peuvent procurer diverses formes de plaisir, les parcs urbains constituent un lieu idéal pour les pique-niques et la détente, les terrains de golf offrent des loisirs et les jardins de quartier permettent aux habitants d'avoir un accès quotidien à l'extérieur. Par rapport à un mur de briques, une fenêtre donnant sur un espace vert accélérera le processus de guérison des patients. Le danger de développer des maladies comme les problèmes cardiovasculaires, le diabète et certains types de cancer peut être considérablement réduit.

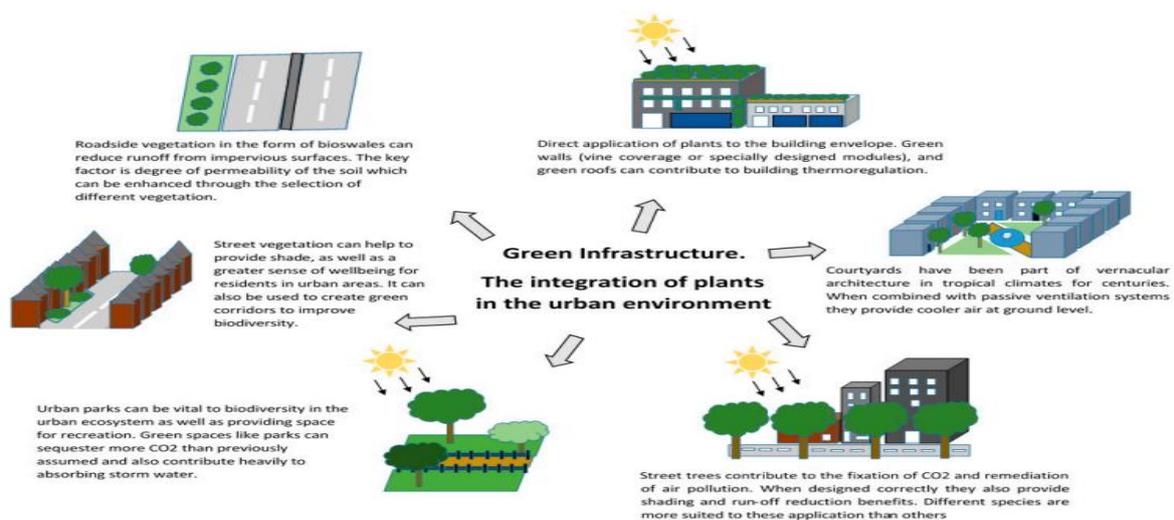


Figure III.8: Exemples des espaces verts urbain et de leur contribution potentielle à la santé et au bien-être des citoyens. Source : (Wootton-Beard et al., 2016)

Selon (S. Roy et al., 2017) ; La végétation urbaine est considéré comme un élément crucial pour un développement urbain durable qui peut offrir un niveau élevé de bien être et un cadre de vie sain aux citoyens. Le système écologique urbain est le produit de l'association de trois systèmes (social, économique et environnemental) où les espaces verts peuvent servir de point focal (voir figure III.9).

En outre, les espaces verts urbains soutiennent également la construction d'établissements humains de haute qualité, puisque ils sont éprouvés comme le poumon de toute ville.

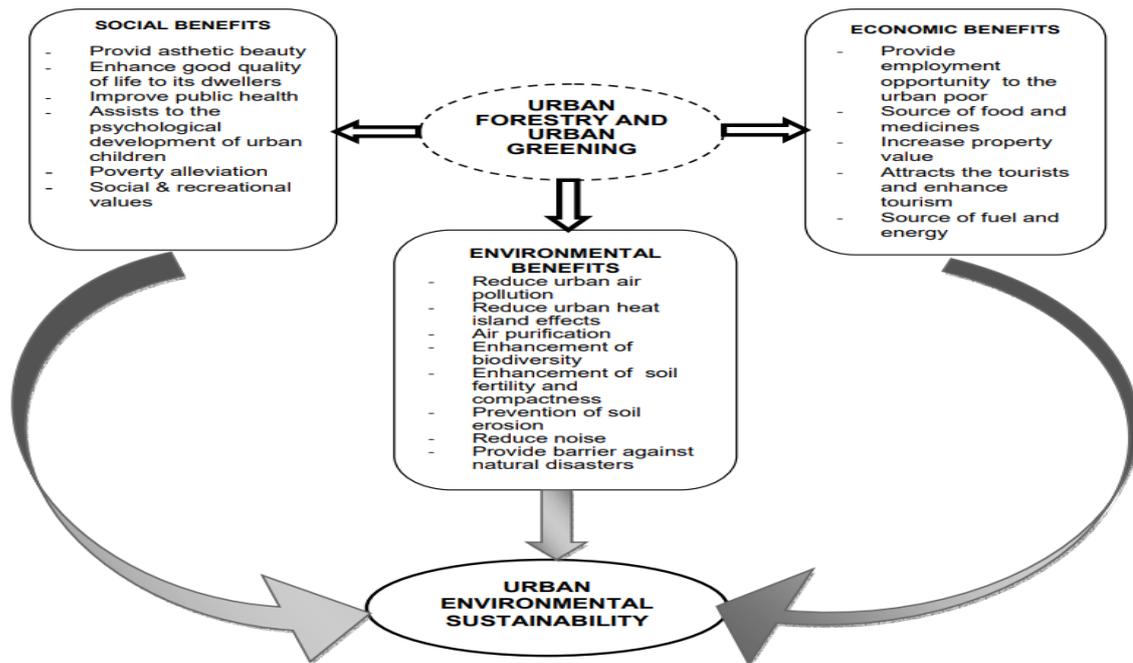


Figure III.9: l'importance de verdure urbaine pour la durabilité des milieux urbains. Source:(S. Roy et al., 2017).

L'utilisation de la végétation est une technique d'aménagement écologique très répandue dans divers contextes. Son intégration dans les milieux urbains présente plusieurs avantages, en particulier l'optimisation des conditions climatique qui ont un impact sur le confort thermique extérieur des citoyens (Ayman El.Deeb et al., 2021).

Il existe quatre façons principales de modifier le microclimat urbain par la végétation, en particulier par les arbres :

- ✓ Modifier la puissance de l'irradiation solaire.
- ✓ Modifier la réflexion du rayonnement par le sol et d'autres surfaces.
- ✓ Modifier l'humidité relative.
- ✓ Modifier le vent.

III.2.4.1 Effets directs de la végétation :

Selon (Misni, s. d.) ; La végétation influe directement sur le climat urbain en fournissant de l'ombre pour réduire les températures et en abaissant et canalisant la vitesse du vent :

- ✓ L'ombrage des arbres est la couverture ou l'abri fourni par les arbres qui interceptent le rayonnement solaire ; les arbres réduisent le rayonnement thermique par réflexion et absorption, bloquent la majeure partie du rayonnement solaire de courte longueur

d'onde et réduisent le rayonnement solaire à longue longueur d'onde en abaissant les températures de surface. L'efficacité de ce phénomène dépend de l'espèce et de la densité de l'arbre, de sa taille et de sa forme, et de l'emplacement de l'ombre mobile qu'il projette.

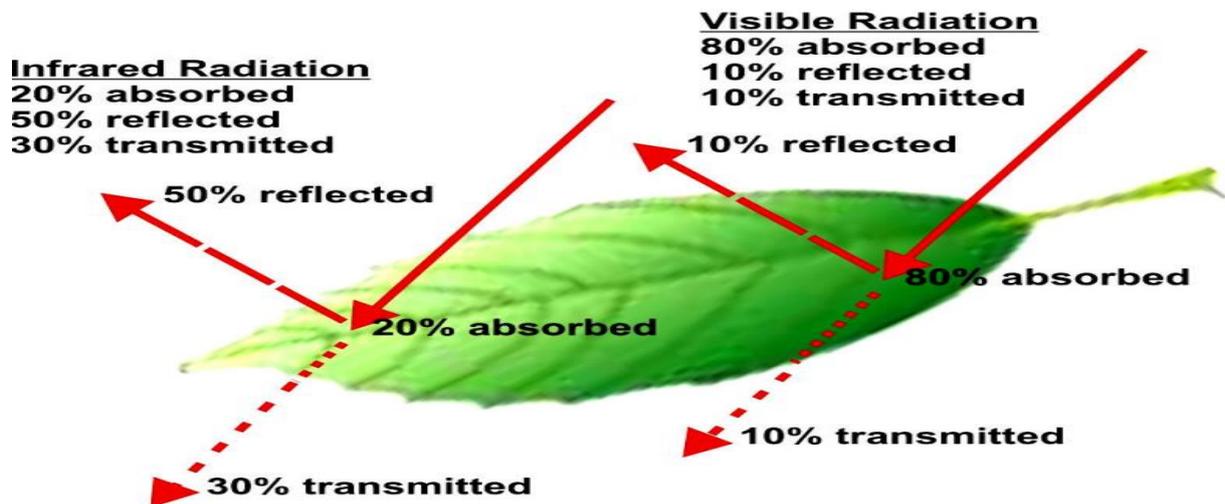


Figure III.10: Absorption, transmission et réflexion des feuilles. Source: (M. F. Shahidan & Salleh, 2007).

III.2.4.2 Effets indirects de la végétation :

La végétation refroidit indirectement l'environnement par évapotranspiration. C'est ainsi que les plantes émettent de la vapeur d'eau qui contribue à refroidir la température ambiante (Misni, s. d.).

La végétation diffère des autres matériaux existés dans les zones urbaines en termes de teneur en humidité, d'aérodynamisme et de propriétés thermiques. Ces propriétés uniques permettent à la végétation de modifier les températures par un processus de refroidissement le plus discuté qui est la transpiration. L'eau transportée à travers la plante s'évapore au niveau de sa partie aérienne en absorbant l'énergie du rayonnement solaire qui augmente la chaleur latente plutôt que sensible pour garder le feuillage et la température de l'atmosphère environnante relativement plus fraîches (K. Gunawardena & Kershaw, s. d.-b).

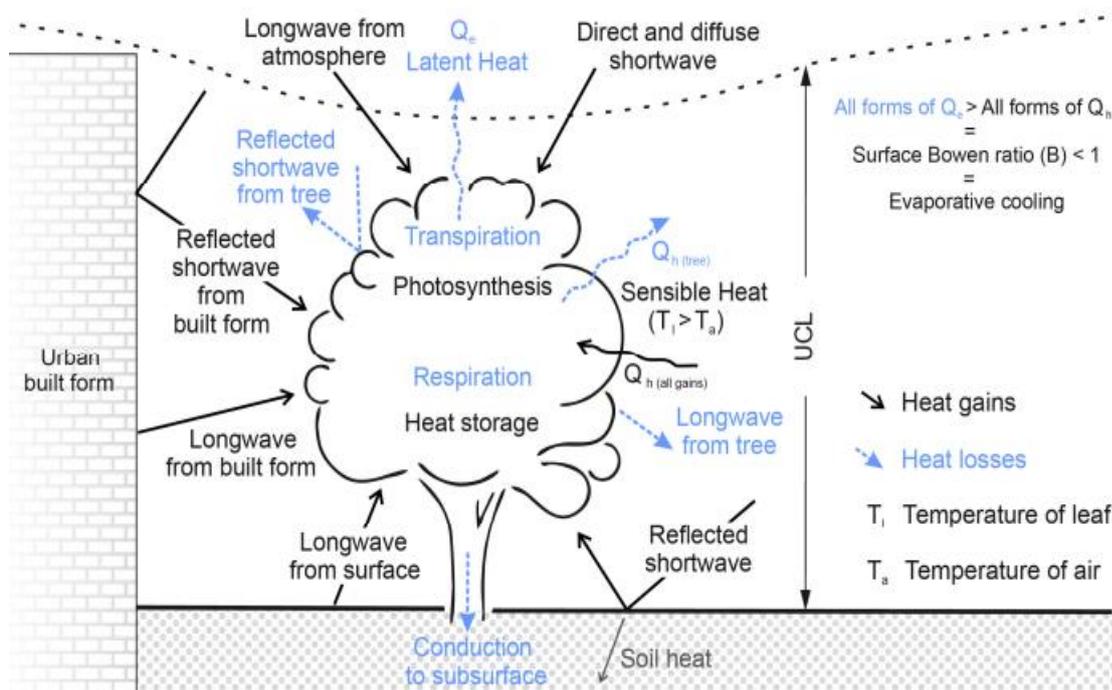


Figure III.11: Échanges énergétiques diurnes entre un arbre et l'environnement urbain. Source : (K. Gunawardena & Kershaw, s. d.-b).

III.2.5 L'effet de la végétation urbaine sur les paramètres de microclimat urbain :

Les espaces verts peuvent influencer de manière significative le microclimat urbain, en abaissant la température et en ralentir la vitesse de vent, ce qui a un effet favorable sur le corps humain dans un climat chaud. Les plantes, surtout, influencent les conditions de rayonnement, réduisant l'intensité du rayonnement solaire direct et contribuent également à la création de conditions d'humidité optimales (Finaeva, 2017) :

✓ Sur le rayonnement :

Les arbres jouent un rôle efficace dans la diminution du rayonnement thermique dans les zones urbaines. Grâce à la réflexion et à l'absorption, ils sont capables de réduire de manière significative la quantité de rayonnement solaire à ondes courtes. En plus de bloquer le rayonnement à ondes courtes, ils réduisent le rayonnement à ondes longues en raison de la diminution de la température de surface due à la transpiration toute en diminuant les valeurs de facteur de vue de ciel SVF (Lai, 2019) .

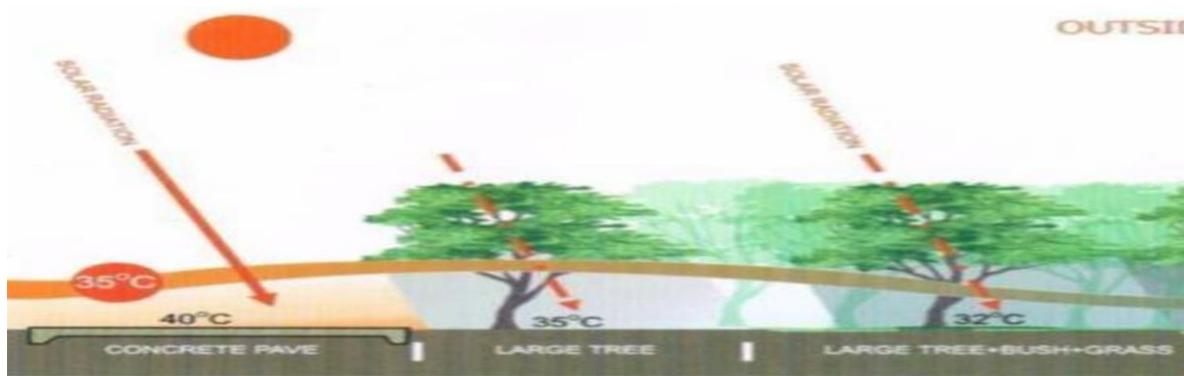


Figure III.12: Effet des arbres sur le rayonnement solaire. Source : (Tengkaoprasert, 2018).

✓ Sur la vitesse de vent :

Le vent pourrait évacuer la chaleur et être l'élément le plus efficace affectant la consommation d'énergie. De plus, le vent affecte l'homme en termes de confort thermique, de température autour des zones urbaines et également en termes d'énergie utilisé dans les bâtiments. La vitesse du vent est généralement réduite par les arbres ; la réduction des valeurs entraîne une diminution du taux d'échanges thermodynamiques dans les couches d'air, favorisent ainsi des températures plus élevées de prévaloir dans la zone protégée (Le & Tran, 2019).

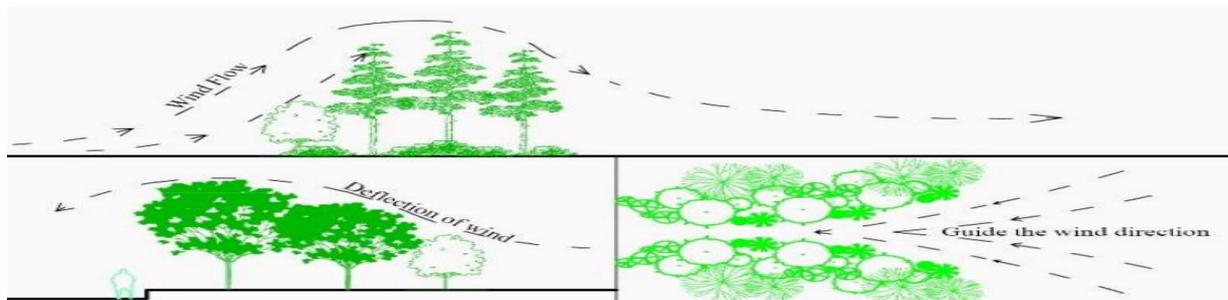


Figure III.13 : Rôle des arbres et arbustes dans la modération des vents. Source: (Le & Tran, 2019)

Selon (Mayaud & Webb, 2017) , la végétation peut protéger directement le sol du vent en couvrant une fraction de la surface et en créant une zone de sillage sous son vent. Elle affecte directement les profils de vitesse du vent en agissant comme une forme de rugosité qui entraîne la croissance d'une couche limite sous le vent. Enfin, la végétation piège les particules transportées par le vent, réduisant ainsi le flux et fournissant des lieux pour les sédiments.

Les flux d'air en milieu urbain sont radicalement influencés par la topographie sophistiquée des bâtiments. Bien qu'en général la vitesse du vent soit inférieure à celle des zones rurales, il existe de nombreux points critiques où le mouvement de l'air s'accélère. Ce phénomène peut être observé dans les rues étroites, dans les coins et sous les arcades (Szkordilisz & Zöld, 2016).

✓ **Sur la température de l'air :**

la végétation assure un refroidissement par transpiration car l'énergie solaire absorbée provoque une augmentation de l'énergie thermique emmagasinée (l'eau de la végétation s'évapore dans l'atmosphère), ce qui refroidit la surface des feuilles et l'air qui les entoure (Gatto et al., 2020a). Les caractéristiques morphologiques, telles que la taille de l'arbre, la largeur du houppier, la concentration de matière sèche dans les feuilles, la superficie foliaire spécifique et la valeur de Huber influencent la quantité d'ombre projetée par le couvert, la réflectance de la lumière et le taux de transpiration.

Les surfaces ombragées absorbent moins de rayonnement solaire et réémettent donc moins de chaleur, cela offre la possibilité de maintenir des températures de l'air plus fraîches sous les couronnes des arbres (Sharmin et al., 2023). Grâce à l'effet de refroidissement de la transpiration, un abaissement de température de l'air de 0,5 °C à 4,0 °C est constaté (Huang et al., 2022).

✓ **Sur l'humidité relative :**

Selon (Georgi & Dimitriou, 2010) ; le mécanisme le plus important par lequel les arbres contribuent à la réduction des températures urbaines élevées est l'évapotranspiration, qui est la combinaison de deux processus celle de l'évaporation et de la transpiration des plantes. Le premier processus représente le mouvement de l'eau dans l'air à partir de sources telles que le sol. Tandis que le deuxième représente le mouvement de l'eau à l'intérieur d'une plante et la perte ultérieure d'eau sous forme de vapeur à travers les stomates des feuilles. Presque toute l'eau assimilée par une plante est perdue par la transpiration (voir figure III.14).

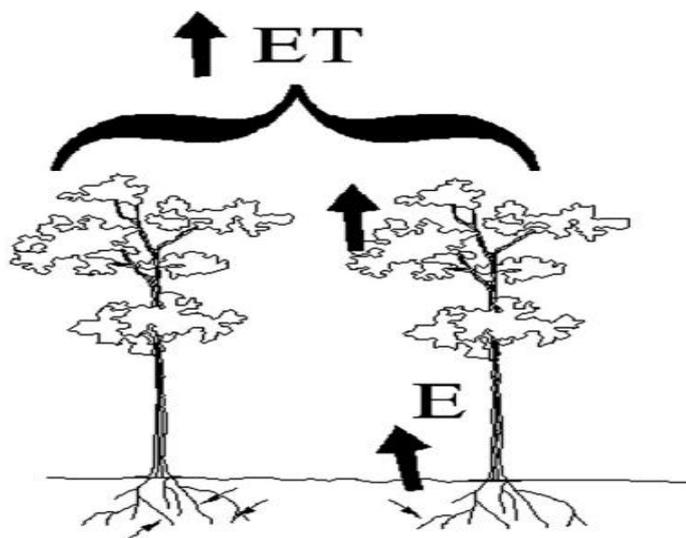


Figure III.14: Processus d'évapotranspiration par lequel les plantes prélèvent l'eau du sol par leurs racines et la rejettent par leurs feuilles. Source : (Georgi & Dimitriou, 2010).

Cette condition entraîne une diminution dans la température des feuilles, de l'air ambiant et une humidité relative élevée ce qui a pour effet d'augmenter le confort thermique (M. Shahidan, 2015).

III.2.6 Relation entre végétation et confort thermique extérieur :

L'augmentation de la végétation urbaine sous ces différentes formes dans les espaces publics est l'une des stratégies les plus efficaces dans le but de réduire les conséquences d'îlot de chaleur urbain ICU. La végétation urbaine régule le microclimat à cause de processus d'évapotranspiration du feuillage des plantes et à l'ombrage des surfaces, elle influence positivement le confort thermique extérieur des citoyens (Nuruzzaman, 2015a).

✓ Les arbres :

Selon (Ayman El.Deeb et al., 2021) ; Grâce à l'effet d'ombrage les arbres réduisent le rayonnement thermique par réflexion et absorption, on bloquant une grande quantité d'ondes courtes entrantes et réduire le rayonnement d'ondes longues du fait de l'abaissement des quantités de température de surface. Un autre effet qui affecte le microclimat est l'humidification par le processus d'évapotranspiration qui est la somme des deux processus d'évaporation et de transpiration. Des études antérieures ont montré que, dans un climat sec,

la végétation a la capacité d'augmenter l'humidité relative locale de 3 à 6 % par rapport aux espaces sans végétation.

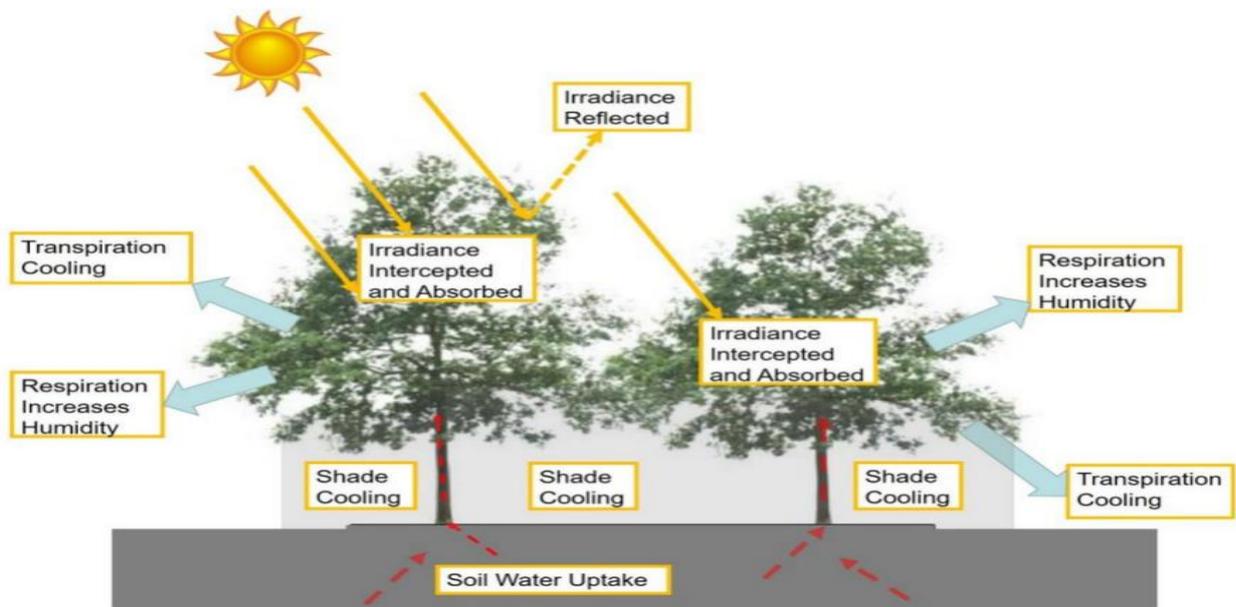


Figure III.15: L'effet rafraîchissant des arbres. Source:(J. Zhang et al., 2019).

✓ **Les Arbustes :**

Les arbustes sont généralement définis comme des plantes ligneuses de moins de 6 m de haut, tandis que les arbres dépassent 6 m de haut. De nombreuses études évaluées ont porté sur la qualité de rafraîchissement des arbustes. Bien que les performances des arbustes en matière de réduction de la température aient été observées, les arbres semblent plus efficaces à cet égard. Cela s'explique par le fait que l'effet d'ombrage des arbres est plus important que celui des arbustes.

✓ **Les toits verts:**

Les toits verts sont des écosystèmes artificiels qui offrent une solution naturelle aux enjeux écologiques comme le changement climatique et l'îlot de chaleur urbain. Ils contribuent à la conservation d'énergie utilisée pour le refroidissement et le chauffage ; le dépôt de particules et la réduction de la pollution atmosphérique ; le contrôle du ruissellement et de la pollution de l'eau ; la préservation de la biodiversité ; et l'apport d'avantages esthétiques et sanitaires (Mihalakakou et al., 2023) .

Les toits verts maintiennent la température basse en absorbant la chaleur et en filtrant l'air. En utilisant l'énergie thermique, les plantes continuent à s'évapotranspirer, ce qui refroidit l'air ambiant. En outre, les toits verts contribuent à retarder la durée du ruissellement, ce qui rend possible aux villes de maintenir plus fraîches pendant une durée étendue. Une fois de plus, en réduisant la demande d'énergie, les toitures vertes assurent l'équilibre énergétique du bâtiment concerné (Nuruzzaman, 2015b).

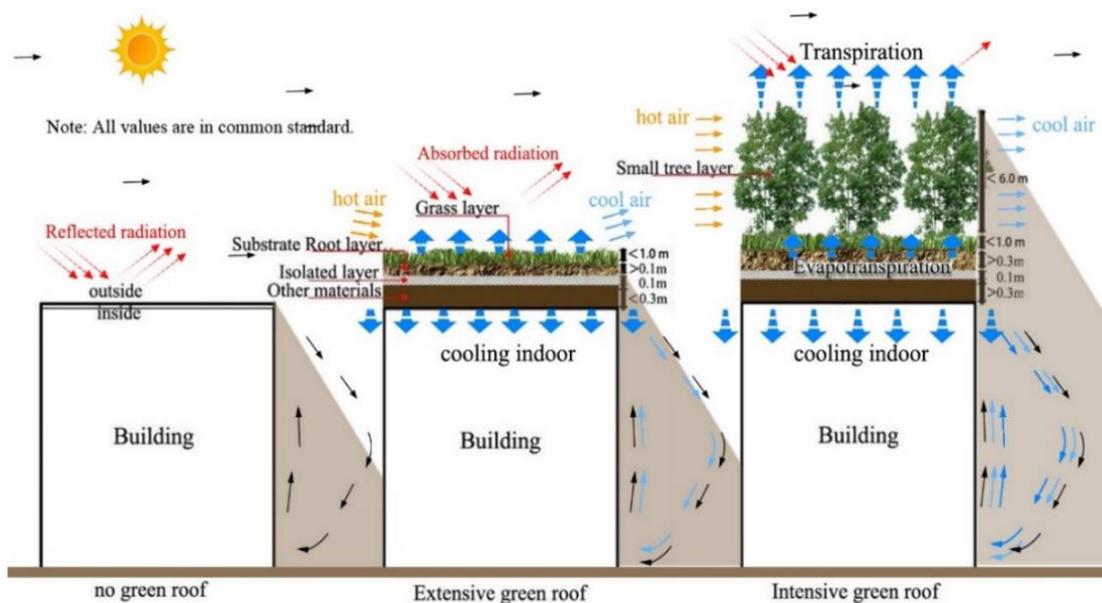


Figure III.16: Le mécanisme de refroidissement du toit vert. Source: (G. Zhang et al., 2019).

La figure 16 montre le fonctionnement d'un toit vert. présente, où le gain de chaleur solaire peut être réduit par les feuilles, suivi d'une conversion de la chaleur solaire absorbée en chaleur latente par évapotranspiration et d'une réduction du rayonnement absorbé, ce qui provoque des températures de surface plus basses et moins de rayonnement à ondes longues émis, et en tant que tel, des températures de l'air réduites (G. Zhang et al., 2019).

✓ **Les murs végétalisés :**

Selon (J. Li et al., 2019) ; les murs végétaux sont des structures verticales recouvertes de végétation. Ils sont divisés en deux types principaux : les murs vivants et les façades vertes. Les catégories sont basées sur le type de végétation et le système de construction. Il existe une différence majeure entre les façades vertes, sur lesquelles des plantes grimpantes poussent généralement sur le revêtement mural, et les dernières idées de murs végétaux qui

nécessitent des technologies et des matériaux pour soutenir un type plus large de plantes, produisant une croissance de surface uniforme (Hefnawy, 2022).

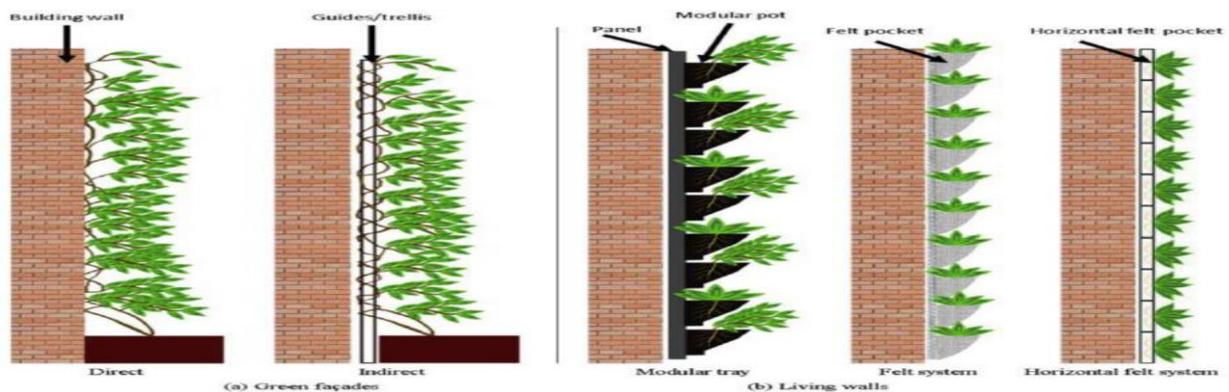


Figure III.17: Schéma de différents systèmes de verdure verticale. Source: (Hefnawy, 2022).

L'ombrage de la végétation empêche les surfaces sous-jacentes de se réchauffer et de surchauffer en absorbant et réfléchissant une partie du rayonnement solaire par les plantes, de sorte que le rayonnement entrant ne atteigne le mur du bâtiment ; d'où le coefficient d'absorption global d'un mur végétalisé est d'environ un tiers de celui d'un mur typique. Les murs végétalisés peuvent abaisser la température du mur du bâtiment, améliorer la qualité de l'air intérieur et extérieur, ce qui optimise le bien être thermique des résidents et réduira la demande énergétique pour le refroidissement (Koch et al., 2020).

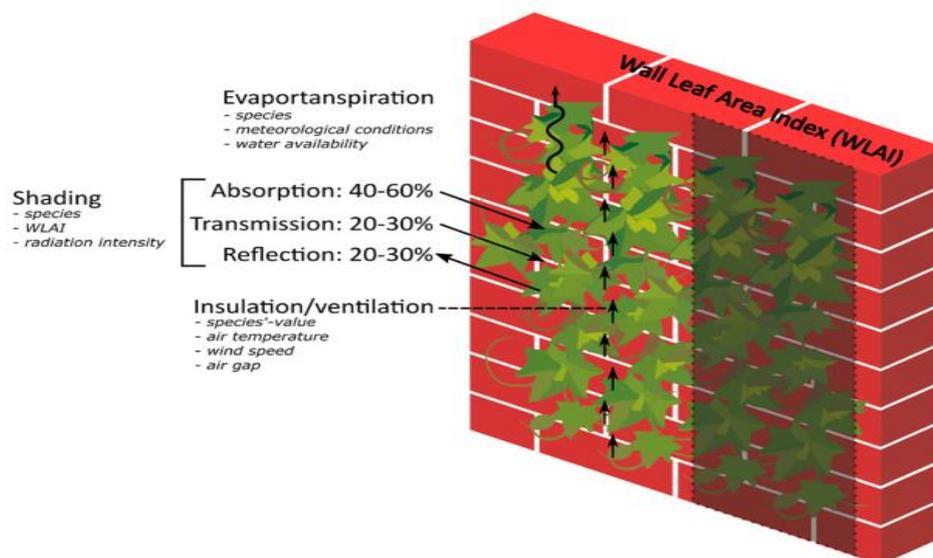


Figure III.18: Aperçu schématique des mécanismes de refroidissement d'un mur vert et de leurs paramètres déterminants. Source: (Koch et al., 2020).

✓ Les parcs :

Les parcs urbains sont une composante importante des écosystèmes urbains, ils sont essentiels à la régulation du microclimat urbain. Les éléments naturels du paysage comme la végétation, les rivières et les lacs à l'intérieur des parcs peuvent réduire la température des parcs grâce à l'ombrage et à l'évapotranspiration. Par la suite, par convection et diffusion de l'air, l'air froid des parcs est soufflé vers les zones environnantes des parcs pour obtenir un refroidissement régional, ce qui est considérée comme une mesure importante pour atténuer l'ICU et l'optimisation de confort thermique extérieur (Zheng et al., 2022).

Selon la recherche de (Yu & Hien, 2006) ; les températures de surface mesurées sur le gazon dans le parc est bien inférieur à ceux mesurés sur l'asphalte et sur les surfaces en béton. Simultanément, la température de l'air mesurée à 1,2 m au-dessus de la prairie était plus de 2.8 C inférieurs à ceux mesurés au-dessus des dures surfaces dans les zones commerciales et de stationnement.

III.3 Les plans d'eau comme une stratégie de régulation thermique dans la ville :

Selon (Sheng & Wang, 2024) ; Des chercheurs du monde entier se concentrent sur la manière de diminuer les conséquences négatifs des îlots de chaleur urbain ICU en augmentant les plans d'eaux grâce à des approches d'urbanisme appropriées afin de créer un environnement urbain plus confortable. Les plans d'eau ont une grande capacité thermique et ne se réchauffent pas facilement en présence de l'exposition solaire. Ils peuvent influencer sur la circulation climatique locale à petite échelle et former des zones de rafraîchissement. Les avantages autour des différents types de plans d'eau se varient selon le type de plan d'eau.

III.3.1 Plans d'eau et espaces bleu :

Les termes "plans d'eau urbaines" et "espace bleu urbain" désignent toutes les masses importantes d'eau de surface statique ou dynamique que nous trouvons dans les villes. D'importants espaces bleus font naturellement partie intégrante de la géographie de nombreuses villes en raison de leur importance géopolitique historique (K. R. Gunawardena et al., 2017).

Selon (Ampatzidis & Kershaw, s. d.) ; Les plans d'eau peuvent être classés en deux groupes différents en fonction de leurs caractéristiques d'écoulement des fluides :

- ✓ statiques (fermées).

- ✓ dynamiques (ouvertes).

Les plans d'eau statiques peuvent à leur tour être classés en étangs et en lacs. En revanche, les espaces bleus dynamiques que l'on peut trouver dans les villes sont principalement des rivières, des cours d'eau et des ruisseaux.

III.3.2 L'effet de refroidissement de l'évaporation des plans d'eau :

Dans les régions urbaines, les plans d'eau peuvent ont la capacité d' influencer positivement le microclimat des régions environnantes lorsque le refroidissement naturel provenant de l'évaporation est nécessaire pendant les journées chaudes et ensoleillées (Manteghi et al., 2015).

Grâce aux processus d'évaporation et de convection, les plans d'eau contribuent à refroidir la zone qui les entoure .Le refroidissement par évaporation résulte de l'élimination de l'énergie des masses d'eau par évaporation, ce qui entraîne également une baisse de la température des masses d'eau. La température de l'eau diminue en conséquence, ce qui a un effet sur les échanges de chaleur sensible. Cette méthode peut refroidir l'air car le flux de chaleur sensible sera dirigé vers l'eau si la température de la superficie d'eau est inférieure à celle de l'air (Balany et al., 2020b).

En ce qui concerne la composition des couches atmosphériques au-dessus d'une masse d'eau, une observation typique est que l'impact de refroidissement des espaces bleus change avec les saisons et les horaires des jours. En tenant compte du cycle diurne (voir figure III.19):

- ✓ Le transport vertical convectif est induit et le contenu atmosphérique en vapeur d'eau augmente au début de la matinée lorsque le soleil réchauffe la masse d'eau.
- ✓ En début d'après-midi, le transfert d'air plus chaud et moins dense dans l'UBL, sous l'effet de la flottabilité, est provoqué par l'accroissement du gradient de température entre l'eau et l'air. À ce moment de la journée, l'instabilité convective, le flux d'évaporation et la température de la superficie d'eau atteignent leur maximum.
- ✓ Au fil de la journée, la baisse de la température de l'air entraîne une stabilisation de l'atmosphère et donc une réduction du transport vertical, ce qui signifie que l'évaporation de l'eau réduira le déficit de pression eau-vapeur et limitera donc le flux d'évaporation (Ampatzidis & Kershaw, s. d.).

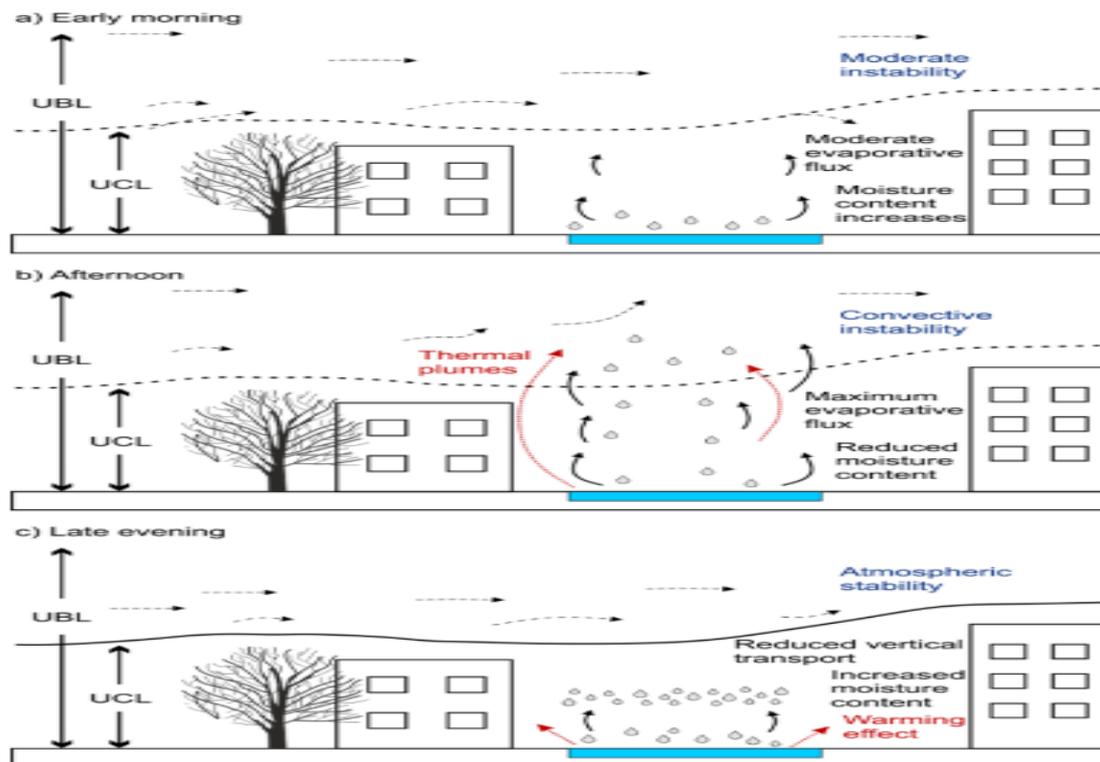


Figure III.19: Cycle diurne d'évaporation des plans d'eau .Source : (Ampatzidis & Kershaw, s. d.).

III.3.3 L'effet de la capacité thermique des plans d'eau :

L'influence des surfaces d'eau sur le microclimat urbain est due au fait que la température et l'humidité de l'air sont affectées par l'évaporation. En outre, l'eau se caractérise par une capacité thermique élevée et une faible réflectance solaire. La faible réflectance solaire entraîne une absorption du rayonnement solaire (Karakounos et al., 2018a) ,

Selon (K. R. Gunawardena et al., 2017) , L'échange radiatif est déterminé par la réflectance de la surface de l'eau, qui est considérée comme faible (~0,09) à des angles faibles à moyens d'incidence du rayonnement solaire et change chaque jour en fonction du débit et de la dynamique, de la composition biochimique et de la quantité de particules en suspension présentes. Cela indique que la grande partie du rayonnement solaire incident à ondes courtes est absorbée, ce qui entraîne un réchauffement de la masse d'eau.

Les plans d'eau est le meilleur absorbeur de rayonnement (par rapport à d'autres surfaces naturelles, par exemple le sol) et présente des réactions thermiques lentes en :

- ✓ permettant la transmission du rayonnement à ondes courtes à une profondeur considérable.
- ✓ permettant des gains et des pertes de chaleur par convection et transport de masse par le fluide de l'eau
- ✓ ayant une grande capacité thermique pour absorber beaucoup de chaleur mais montrant peu d'augmentation de température (Wang & Ouyang, 2021).

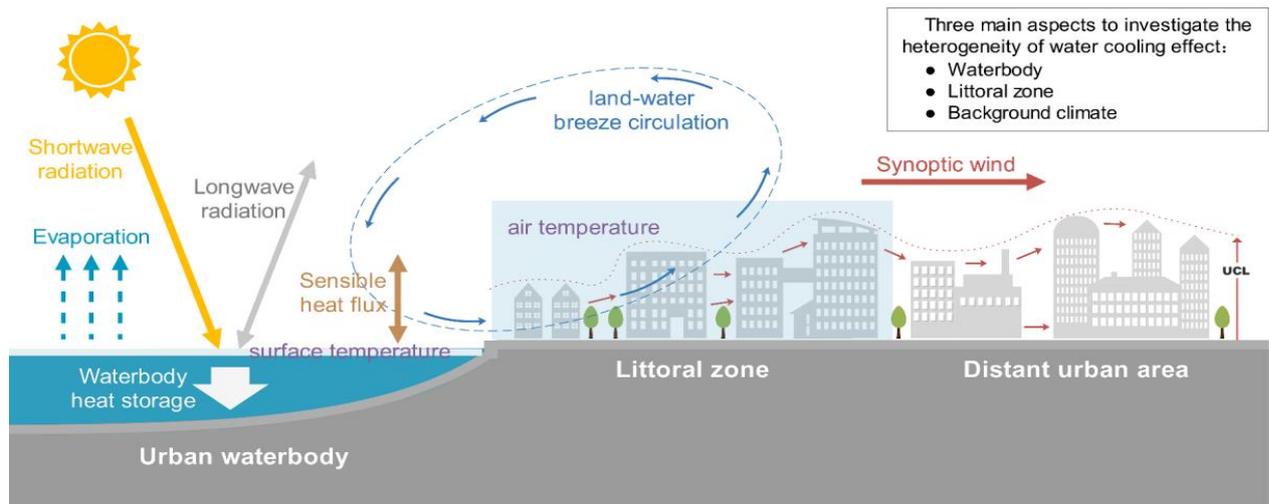


Figure III.20: Description schématique de l'hétérogénéité de l'effet de refroidissement de l'eau.

Source : (Wang & Ouyang, 2021).

III.3.4 Les plans d'eau et le confort thermique extérieur :

Les plans d'eau jouent un rôle crucial en absorbant et en libérant de la chaleur, abaissant la température de l'air grâce à leur transparence, leur capacité thermique élevée et leur processus d'évaporation. En raison de ces qualités particulières, les architectes et les urbanistes du monde entier intègrent des plans d'eau dans leurs projets visant à contrôler la température des zones métropolitaines (Wu et al., 2021).

Selon (Teshnehdel et al., 2020) ; les plans d'eau sont fréquemment utilisés pour leurs avantages fonctionnels, esthétiques et microclimatiques . Les étangs, les rivières, les lacs et les fontaines sont des exemples de formes d'aménagement aquatiques courantes. L'impact des plans d'eau sur la configuration des conditions climatiques et l'optimisation de bien être thermique a fait l'objet de très peu de recherches, une plus grande surface de plan d'eau

diminue l'indice de chaleur, ce qui améliore considérablement le confort humain pendant les chaudes journées d'été.

Conclusion :

Les habitants des villes sont confrontés à des situations de stress thermique pendant l'été, qui ont de graves conséquences sur leur santé, spécifiquement dans le cadre du changement climatique. Les températures extrêmement élevées dans régions urbaines ont un effet négatif sur l'habitabilité des espaces publics et le confort thermique extérieur des usagers. Ce dernier devrait être pris en compte dans la planification urbaine à cause de son impact significatif sur la marchabilité, l'habitabilité et le succès des espaces publics. Pour créer un environnement urbain plus confortable, il faut être attachés à réduire les conséquences négatives des îlots de chaleur ICU sur la sensation et le bien être thermique extérieur en augmentant les espaces verts et les plans d'eau dans les espaces publics grâce à des approches d'aménagement urbain appropriées.

*Chapitre 4: étude approfondie
du cadre environnemental de
la ville de Souk Ahars*

Introduction:

Ce chapitre est consacré à une analyse détaillée de la ville de Souk Ahars. Dans la première section, nous examinons le contexte climatique global de l'Algérie, ainsi qu'une vue d'ensemble des zones bioclimatiques de l'Est algérien. Ensuite, nous explorons le contexte d'étude en mettant en évidence ses caractéristiques géographiques telles que la géologie, l'hydrographie et la couverture forestière, accompagnées d'une analyse climatique. Dans la troisième partie, nous procédons à une analyse de l'évolution historique et de l'aménagement urbain de Souk Ahars à travers différentes périodes, afin de comprendre les raisons et les mécanismes qui ont façonné son environnement physique.

IV.1 Le climat en Algérie :**IV.1.1 Caractéristiques climatiques général :**

L'Algérie a un climat méditerranéen tempéré extratropical car il est influencé par la mer, le relief et l'altitude. Il se caractérise par une longue sécheresse estivale qui dure trois à quatre mois sur la côte, cinq à six mois dans les Hautes Plaines et plus de six mois dans l'Atlas saharien. Les variations mensuelles des précipitations sont importantes, surtout si l'on compare les années entre elles. La présence de gradients est à l'origine de cette fluctuation :

- ✓ Les températures minimales moyennes du mois le plus froid, varient de -2 à $+4^{\circ}\text{C}$ dans les régions semi-arides et désertiques, et de 0 à 9°C dans les régions côtières.
- ✓ La température maximale moyenne continentale du mois le plus chaud, varie de 28 à 31 degrés $^{\circ}\text{C}$ le long de la côte, de 33 à 38 degrés $^{\circ}\text{C}$ dans les hautes plaines et de plus de 40 degrés $^{\circ}\text{C}$ dans les régions sahariennes (Mohammed, s. d.).

L'Algérie englobe tous les bioclimats méditerranéens, allant du per-humide au nord jusqu'à l'aride au sud ; et de froid au chaud pour les variations thermique (voir figure IV.1).

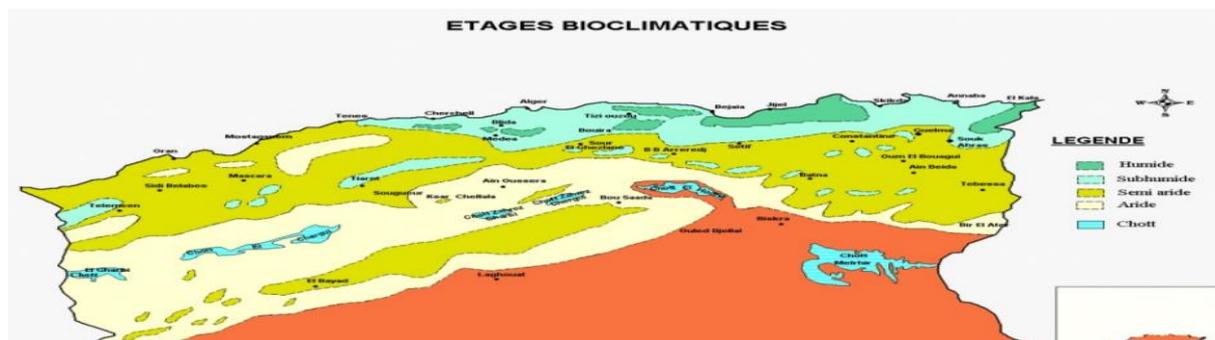


Figure IV.1: Les étages climatiques de l'Algérie. Source:(Dalila & Slimane, 2008)

IV.1.2 Introduction aux différentes zones bioclimatiques de l'Est algérien :

Selon (Zouyed et al., 2018) ; afin d'identifier le rythme météorologique qui régit le climat de l'Est algérien, le ratio pluviométrie d'Emberger, qui combine les températures et les précipitations, est calculé. Notamment cinq grandes variétés de bioclimat méditerranéen définies par ce quotient (voir figure IV. 2):

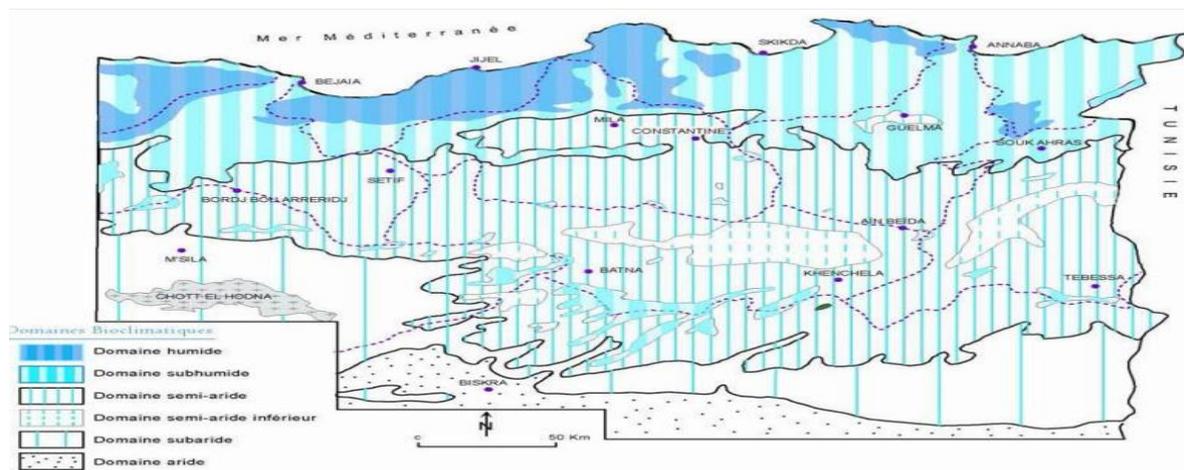


Figure IV.2: Les zones bioclimatiques de l'est algérien. Source:(Zouyed et al., 2018).

- ✓ **La zone humide** est caractérisée par une forte humidité atmosphérique et une quantité de pluie supérieure à 900 mm. Elle est typique de la zone côtière et peut être observée en particulier dans l'est de Bejaïa, le nord-est d'Annaba, le sud-est de Skikda et la région de Jijel. Une enclave qui épouse les montagnes de Medjerda est localisée à l'intérieur de la région de Souk Ahras.
- ✓ **La zone subhumide** est caractérisée par plus de 600 mm de précipitations. Elle est également typique de la zone côtière, où elle coexiste avec le domaine humide mais est plus avancée que lui.
- ✓ **La zone semi-aride** : est caractérisée par un niveau de précipitation qui se varie de 300 à 600 mm. Elle est représentée par une petite zone dans la province de Guelma et se situe dans les bassins intérieurs du Tell (Mila et Ferdjioua).
- ✓ **La zone subaride** est caractérisée par un niveau de précipitation moins de 350 mm. Elle est présentée par une région qui s'étend au sud des sommets d'Urès et de Nememcha, sur la région de Msila ; d'où le Hodna ne contient pas dans cette bande.
- ✓ **La zone aride** elle se distingue par des précipitations inférieures à 150 mm et laisse place aux contreforts de l'Atlas.

IV.2 Présentation de la ville de Souk Ahars :

IV.2.1 La situation géographique :

La wilaya de souk ahars est située au nord-est de l'Algérie (36°17'11"N, 7°57'4"E). Elle se trouve à la frontière de l'Algérie, représentant un lien naturel entre la Tunisie et le reste du territoire. La wilaya de Souk-Ahras s'étendant sur une superficie de 4.359,65 km², elle est composée de 26 communes regroupées en 10 daïras. La wilaya de souk ahars est limitée par (voir figure IV. 3):

- ✓ Au Nord-est par la wilaya d'el Taref
- ✓ Au Nord-Ouest par la wilaya de Guelma.
- ✓ Au Sud par la wilaya de Tébessa
- ✓ Au Sud-ouest par la wilaya d'Oum-El-Bouaghi.
- ✓ A l'Est par la Tunisie.

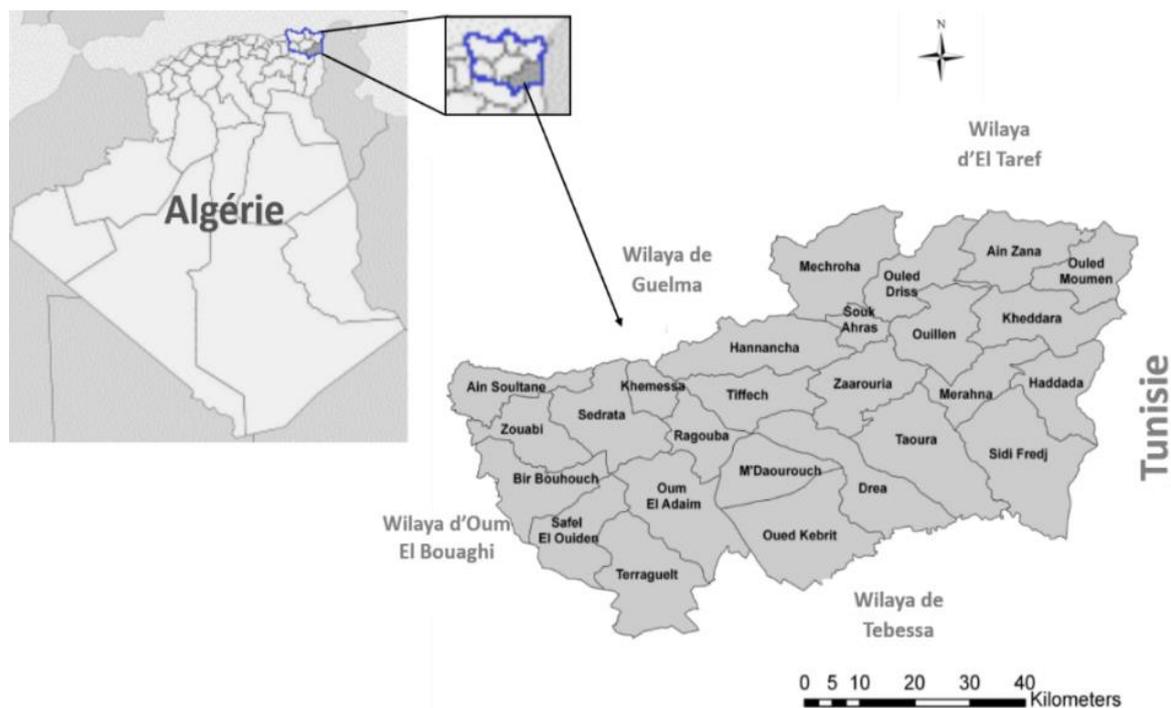


Figure IV.3: Géolocalisation de la wilaya de souk Ahras. Source: (Boukehili et al., 2018).

La ville de Souk Ahras est le chef-lieu de la wilaya de Souk Ahras, située à 75 km au sud-est de Guelma et à 100 km au sud-est d'Annaba, à 134 Km de Tébessa et à 50 Km de la frontière Tunisienne. Elle couvre une surface de 812 Km², entourée par la commune de

Mechroha au Nord, d'Ouled driss à l'Est, d'Ouillen au Sud-est, de Zaarouria au Sud et par la Hannancha à l'Ouest (voir figure IV.3).

IV.2.2 Relief et Géologie:

Géographiquement, Souk Ahras est assise dans une cuvette, encerclé par un relief montagneux complexe (500 à 1400 m) qui fait partie de l'Atlas tellien au Nord et des Hautes Plaines au Sud (Khoualdia & Yahia, s. d.). Cette région montagneuse est assez élevée au nord et légèrement plus basse au sud de la Willaya. Alors qu'au nord, il est séparé en deux alignements par la vallée de la Medjerda, avec une direction générale nord-est et sud-ouest.

Elle est classée en trois régions en fonction de la catégorisation des pontes et du climat local:

- ✓ **La région Nord-est :** est une zone montagneuse qui fait partie de la chaîne de Tellien et qui présente des pentes extrêmement raides allant de 15 % à plus de 20 %. Elle est connue pour son riche patrimoine forestier.
- ✓ **Région Sud-ouest :** Composée de piémonts et s'étendant à partir des hauts plateaux, la zone médiane est caractérisée par des terres entièrement arables et des pâturages.
- ✓ **Région sud :** La zone est vaste et plane, avec des sols peu profonds et détériorés qui ont été aggravés par l'exposition à différents risques climatiques tels que les faibles précipitations, c'est l'espace des hauts plateaux (Hamaidia et al., 2016).

IV.2.3 Caractéristiques altimétriques :

D'une manière générale, l'altitude augmente vers l'est et diminue du nord au sud, elle n'est pourtant qu'assez élevée en raison de l'existence de sommets dépassant les 1 000 mètres dans presque toutes les communes. Souk Ahras compte cinq classes altimétriques :

- ✓ La classe des altitudes supérieures à 1000 mètres : 7% qui contient les communes de Ain-Soltane, Ouled-Driss, Sedrata, Mechroha, Tiffech, Khemissa, Ragouba, Zouabi et Hennencha .
- ✓ La classe des altitudes comprises entre 800 et 1000 mètres : 46% qui contient les commune de Sef-El-Ouiden, Terreguelt, M'Daourouch, Oum-Ladheim, Tiffech, Sedrata, Zaarouria, Bir-Bouhouch, Merahna, et Dréa.

- ✓ La classe des altitudes comprises entre 600 et 800 mètres : 33% qui contient les commune de Oued-Kebrit, Souk Ahras, Khedara, Ouillen, Heddada, Ouled Moumen, Ain-Zana, Taoura et Sidi-Fredj.
- ✓ La classe des altitudes comprises entre 400 et 600 mètres : 13% qui contiennent les communes de Souk Ahras, Heddada, Kheddara.
- ✓ La classe des altitudes inférieures à 400 mètres : 1% qui contient les commune de Ouled Moumen, Ain-Zana (Benzaid, s. d.)

IV.2.4 Réseau hydrographique :

Il encercle presque entièrement la willaya; la pénurie de l'eau est principalement attribuable aux conditions climatiques dont le niveau extrêmement bas des précipitations d'une part et le de ressources et d'infrastructures, pour les équipements de stockage et de filtration de l'eau Souk Ahras est traversée par trois oueds principaux, chacun ayant un débit irrégulier dû au climat local :

- ✓ **Oued Medjerda** : C'est le principal collecteur (voir figure IV.4), avec un débit annuel moyen de 400 millions de m³ et un bassin versant de 1 377 km² (Zenati et al., 2018).

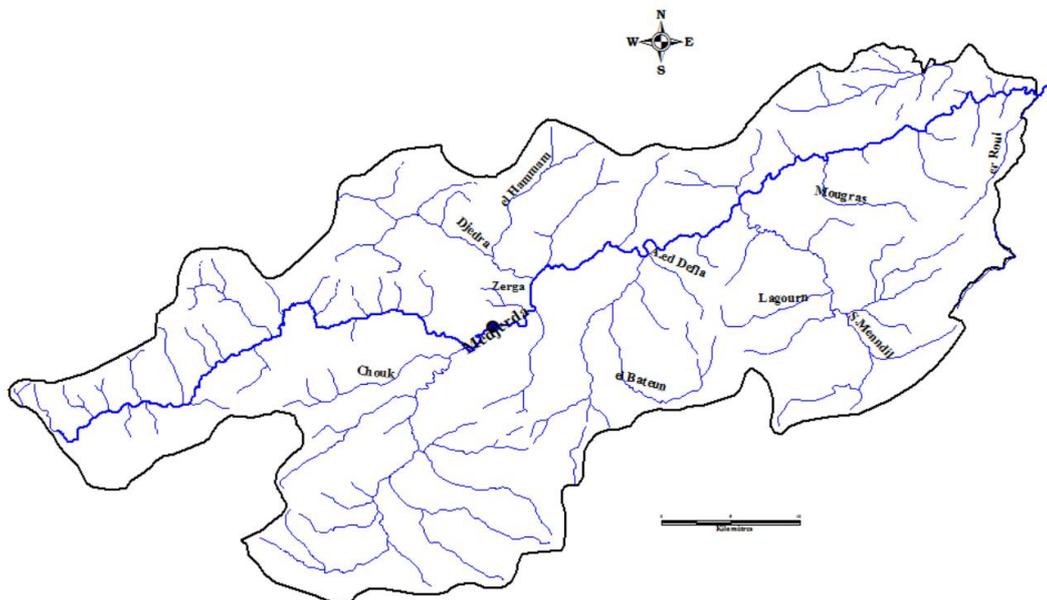


Figure IV.4: Cartographie du réseau hydrique dans la région de Souk Ahras. Source:(Zenati et al., 2018).

- ✓ **Oued Mellegue** : Son bassin versant est de 1 442 km² et se trouve au sud de la wilaya ; représentant un affluent de l'Oued Medjerda en Tunisie, doté d'un débit moyen annuel de 210 millions de m³.
- ✓ **Oued Cherf** : présente une surface de 1.040 Km² doté d'un débit moyen de 99 millions de m³ /an. Il se confond avec l'Oued Seybouse en prenant la direction vers le nord-ouest.

En raison de sa pluviométrie qui varie de 300 mm au sud à 800 mm au nord, Souk-Ahras disposerait d'un potentiel hydrique de 265 millions de m³ par an.

Avec une capacité combinée de 239 millions de m³, les grands barrages d'Ain-Dalia et de Foum El Khenga constituent la majorité des eaux de surface (Benzaid, s. d.).



Figure IV.5: Les eaux de surface présentée par le barrage d'Ain Dalia et Foum el Khenga.

Source : (Benzaid, s. d.).

IV.2.5 La densité arborée:

Souk-Ahras, tout comme le reste du pays, possède un patrimoine forestier estimé à 97 280 ha, représentant 23 % de la superficie totale de la wilaya. Les espèces dominantes comprennent: le pin d'Alep par 43.625 hectares, le chêne-liège et le chêne zéen par 23.431 hectares, la couverture restante des forêts est constituée de cyprès, d'eucalyptus et de broussailles (*Patrimoine forestier à Souk Ahras, 2020*).



Figure IV.6: Le potentiel forestier de Souk Ahars. Source: auteur 2023.

La wilaya de Souk Ahars dispose d'un grand potentiel agricole notamment la superficie agricole totale est estimée de 311 492 Ha, soit 71,44 % de la superficie totale ; la surface agricole utile est à proximité de 253 606 ha, soit 58,17 % de la surface globale de la wilaya et 81,41 % de la superficie agricole totale et une superficie Irriguée de 6 300 hectares (Benzaid, s. d.).

IV.2.6 Aperçu sur le climat :

Souk Ahars est située au sommet de l'Atlas tellien, connaît un climat méditerranéen au nord et un climat désertique au sud. Les étés sont chauds et secs, avec des températures comprises entre 25 et 35°C en juillet et août, tandis que Les hivers sont rigoureux et humides, avec des températures allant de 1 à 15°C en janvier. Dans le nord, en moyenne, il pleut 650 mm de pluie chaque année, avec de fortes averses en août et septembre et des précipitations également réparties en mars et avril. Cela signifie que des quantités importantes d'eau peuvent tomber en un seul jour et des quantités (indéfinies) au cours d'un mois.

Les hautes plaines du sud connaissent un climat continental avec des précipitations annuelles comprises entre 350 et 600 mm. La gelée blanche se produit également de nombreux jours, la fréquence augmentant à l'intérieur des terres à partir du littoral. Dans le nord, il y a en moyenne 23 jours de gel par an, alors que dans le sud, il y en a 47.

Tout au long de l'hiver, les vents prédominants proviennent du nord-ouest et de l'ouest, ce qui apporte de la pluie. En automne, les températures élevées de la région sont modérées par des

brises intérieures. Au printemps, les vents proviennent du nord-ouest. Le sirocco est considéré comme un vent secondaire constant qui souffle pendant quelques jours (20 jours/an) au cours de certains mois depuis le sud-ouest. Deux facteurs principaux déterminent le régime climatique de Souk ahars ; notamment la température et les précipitations météoriques.

IV.2.6.1 La température :

Le graphe ci-dessous (voir figure IV. 7) présente les variations des températures moyennes mensuelles dans la région de souk ahars durant la période 1996-2018, d'où les températures moyennes maximales enregistré est : 32.72°C dans le mois de juillet comme une valeur maximale et une valeur minimale de 14.65°C est obtenu dans le mois de janvier . Cependant, les températures moyennes minimales se diffèrent entre 5.3°C obtenu dans le mois de février et 17.91°C dans le mois de juillet.

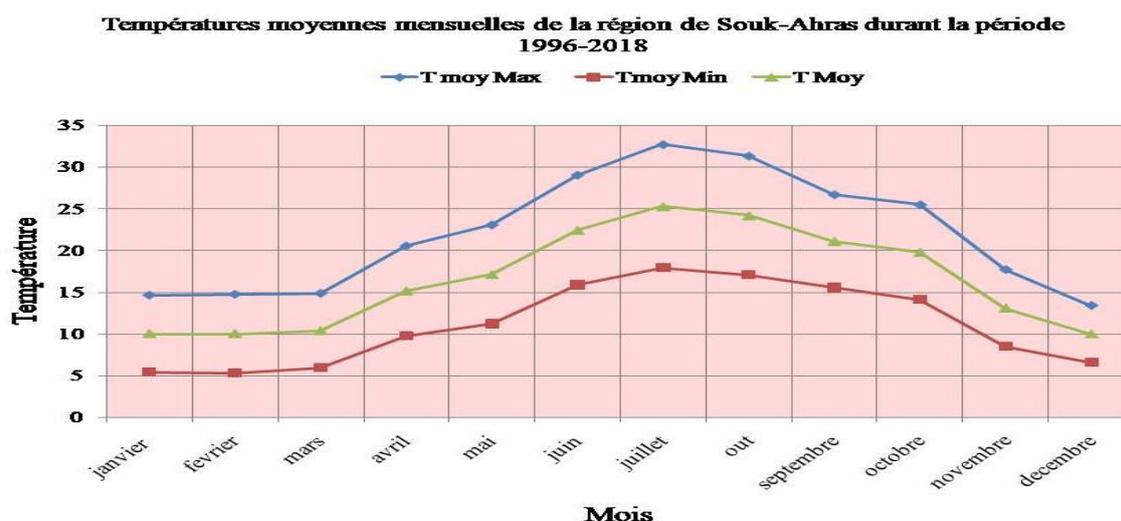


Figure IV.7:Températures moyennes mensuelles de la région de Souk-Ahars durant la période 1996-2018 .Source : station métrologique de souk ahars.

IV.2.6.2 Les précipitations :

La précipitation constitue un facteur climatique d'importance fondamentale, la figure IV. 8 représente les précipitations mensuelles moyennes de la région de Souk Ahars durant la période 1996-2018. Les valeurs de précipitations minimales sont enregistrés au cours des mois chauds celui de juin, juillet et out avec une pluviométrie moyenne entre 4.55 et 10.54 mm. Cependant les mois de janvier ; mars, avril et mai ont enregistrés les valeurs moyenne de

précipitations les plus élevées allant de 72.99 jusqu'au 165.78 mm (valeur enregistrée dans le mois de mars).

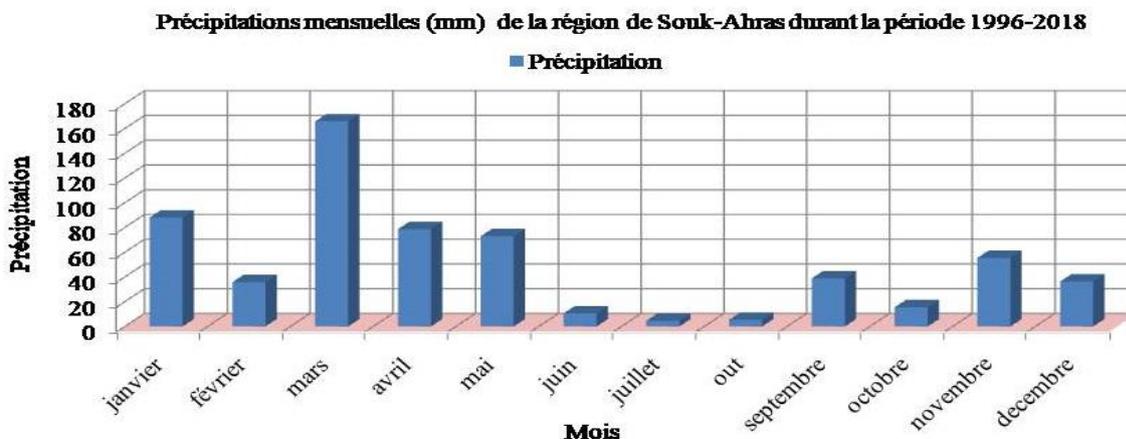


Figure IV.8: Les données des précipitations mensuelles (mm) pour la région de Souk-Ahras durant la période 1996-2018. Source : station métrologique de souk ahars.

IV.2.6.3 L'humidité :

L'histogramme ci-dessous (voir figure IV.9) présente l'évolution d'humidité mensuelles de la région de souk ahars durant la période 1996-2018, d'où les valeurs d'humidité mensuelle maximales ont été enregistrées dans les mois froids ; notamment les mois de décembre, novembre et janvier avec des valeurs qui se varient entre 73.34 % et 84.45 % . Pendant les mois chauds, notamment en juin, juillet et août, les valeurs d'humidité enregistrées sont les plus basses, avec respectivement 58,34 % en juin, 57,32 % en juillet et 51,34 % en août.

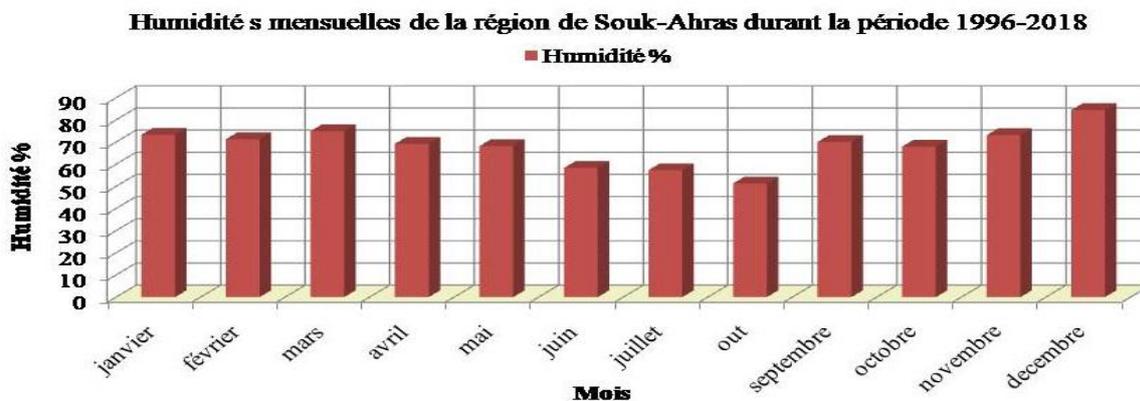


Figure IV.9: Humidité mensuelles (%) de la région de Souk-Ahras durant la période 1996-2018. Source : station métrologique de souk ahars.

IV.2.6.4 Les vents :

La région de Souk Ahars est confrontée à de nombreux vents tout au long de l'année. La figure IV.10 montre l'évolution de vitesse de vents mensuelle de la région de Souk Ahars durant la période 1996-2018 ; d'où en remarque une évolution irrégulière tout a long de cette période. Les mois de février et mars ont enregistré les valeurs maximales avec 4.27 km/h et 4.22 km/h.

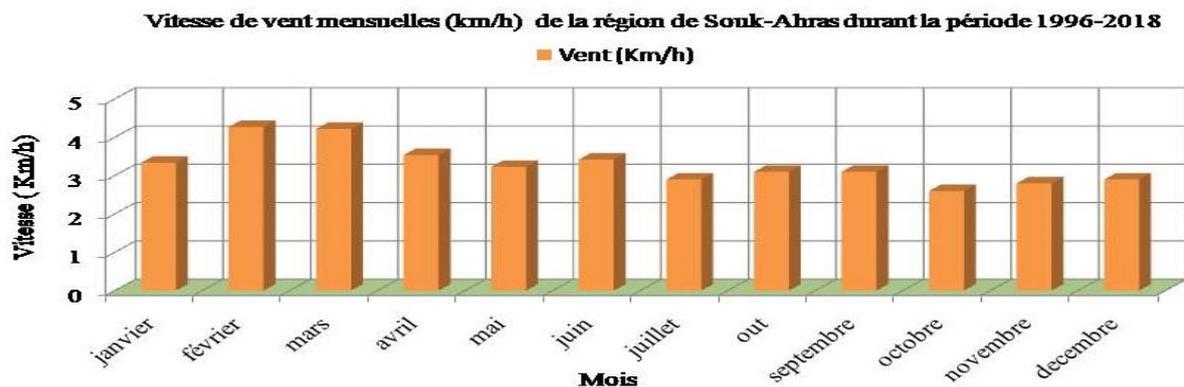


Figure IV.10: Vitesse de vent (km/h) de la région de Souk-Ahars durant la période 1996-2018.

Source : station métrologique de souk ahars.

IV.2.6.5 Synthèse climatique :

Dont le but est d'illustrer les avantages des caractéristiques bioclimatiques, qui nous permettent de catégoriser la région d'étude dans le cadre climatique général. La détermination des indices climatiques est cruciale dans ce processus, car il utilise des données climatiques indicatrices.

- **Le Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen :**

Le diagramme ombrothermique (voir figure IV.11), réalisé selon des informations météorologiques collectées par la station météorologique de Souk-Ahars, met en évidence deux périodes distinctes de l'année celui de la saison sèche et la saison humide. Une abscisse illustrant les mois de l'année et deux ordonnées, l'une pour les températures T (°C) et l'autre pour les précipitations en (mm), d'où cette équation $P = 2T$ est le fondement de cette loi. Les résultats montrent deux périodes d'alternance :

- ✓ la première est humide qui dure neuf mois de l'année.

- ✓ La deuxième période est sèche, qui englobe les mois de juin, juillet, out.

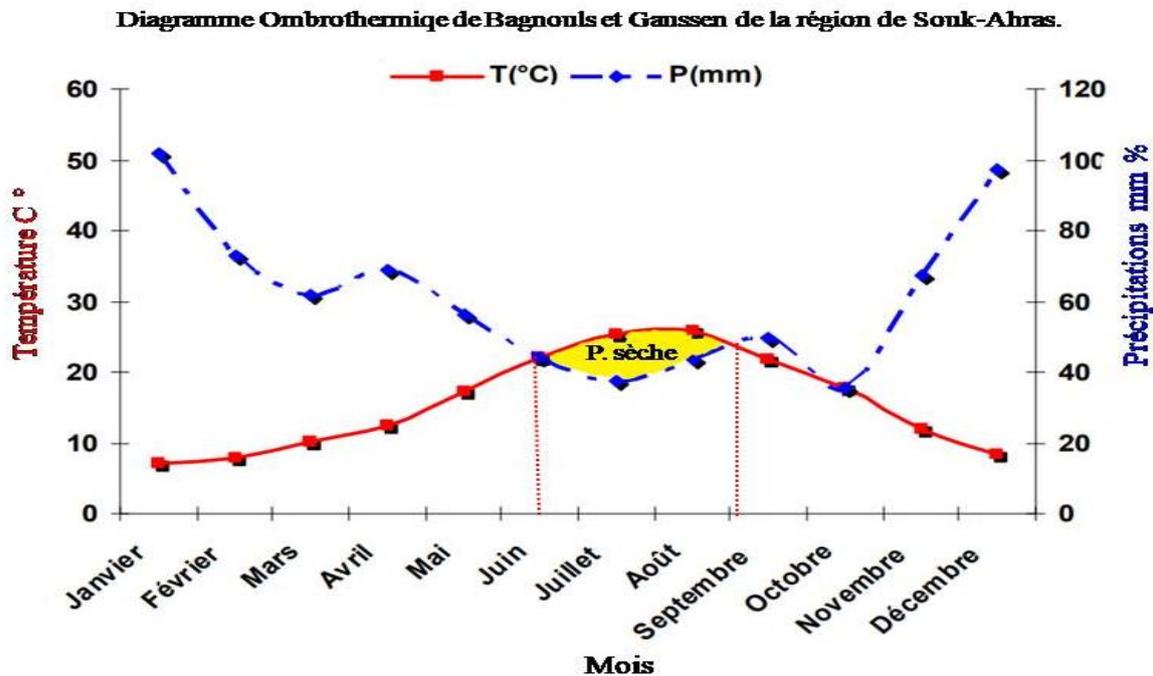


Figure IV. 11: Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN de la station de Souk-Ahars (Période 1986-2004). Source : (ZOUAIDIA Hanene, 2006).

- **Identification d'étage bioclimatique de Souk-Ahars selon le Climagramme d'EMBERGE :**

Emberger a classé toutes les conditions météorologiques du bassin méditerranéen selon deux coordonnées : les valeurs du coefficient pluviométrique-thermique (indice d'aridité amélioré en prenant en considération l'amplitude thermique annuelle), et la température mensuelle moyenne.

D'après (BELDJAZIA Amina, 2009) ; Emberger montre qu'on peut distinguer cinq étages bioclimatiques dans le bassin méditerranéen :

- ✓ L'étage aride d'où la précipitation P est comprise entre 100 et 400 mm.
- ✓ L'étage semi-aride d'où la précipitation P est comprise entre 400 et 600 mm.
- ✓ L'étage subhumide d'où la précipitation P est comprise 600 et 800 mm.
- ✓ L'étage humide d'où la précipitation P est comprise 800 et 1200 mm.
- ✓ L'étage per-humide d'où la précipitation P est comprise > 1200 mm.

Emberger a créé un climagramme qui illustre chacune de ces étages avec le coefficient de précipitations correspondant et la température moyenne la plus basse du mois le plus froid. Le climat d'une région peut être décrit à l'aide de ce climagramme, qui peut ensuite être utilisé pour la classer en différents étages bioclimatiques.

L'expression "étage bioclimatique" désigne l'étage de végétation et les différentes formes de végétation qui correspondent à certaines exigences écologiques, notamment en ce qui concerne les étages de végétation altitudinaux et les types bioclimatiques (Daget, 1977).

Le quotient pluviométrique "Q₂" d'Emberger est calculé en combinant les trois principaux paramètres climatiques :

- ✓ P : Précipitation annuelles en mm.
- ✓ M : Moyenne maximal du mois le plus chaud en degré de Kelvin (°K) ;
- ✓ m : moyenne minimal du mois le plus froid en degré de Kelvin (°K).

D'où Le calcul est effectué en utilisant la formule suivante:

$$Q_2 = \frac{2000 \times P}{(M^2 - m^2)}$$

Les résultats obtenus pour la période d'étude sont illustrés dans la figure IV.12 ; d'où le quotient pluviométrique est de 62 et une température moyenne minimale du mois le plus froid de 1,4 °C, ce qui classe la ville de souk ahars dans l'étage subhumide.

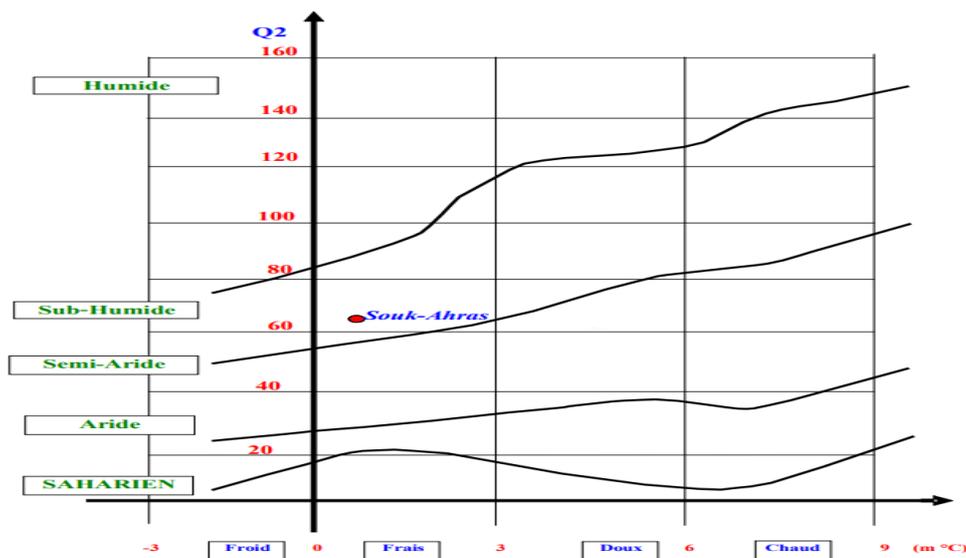


Figure IV.12: La position de la wilaya de souk ahars dans le climagramme d'Emberger. Source : (ZOUAIDIA Hanene, 2006).

IV.3 L'évolution historique et l'expansion urbaine de la ville de Souk Ahras :

Une variété d'éléments historiques, sociologiques, politiques et économiques interagissent pour créer l'espace urbain. La forme urbaine d'une ville ne peut être comprise que lorsque l'ensemble des événements qui ont abouti à son état actuel a été recréée avec précision.

IV.3.1 La ville de Souk Ahras avant la colonisation :

Souk-Ahras était le lieu d'un marché très animé avant 1843, construit sur des vestiges romains. Contrairement à de nombreuses autres villes algériennes, Souk-Ahras n'avait pas de quartier arabe avant la colonisation. La population autochtone était divisée en tribus et vivait principalement dans les zones rurales. Il s'agissait de tribus nomades qui vivaient sous des tentes. La famille du cheikh Hannancha possédait la seule maison existante à l'époque. Il dirigeait la tribu autochtone en tant que chef. Mais l'occupation humaine de la région de Souk Ahras remonte à la préhistoire et n'est donc pas un phénomène récent. La région a été habitée par les civilisations numide, romaine et berbère en raison de sa situation avantageuse (Fatma Zohra HAFSI, 2021).

Historiquement, la ville - connu sous le nom de Taghaste par les Romains - était un important centre d'érudition et de religion. La ville natale de saint Augustin, devait se trouver au centre d'une région agricole bien peuplée. Les ruines de Taghaste couvrent dix hectares de plateau. Cette région témoigne de l'importance et de la prospérité de la vieille ville (jpguilhembet, 2012) .

IV.3.2 Le camp militaire ; du village a la ville : de 1843 à 1870 :

Lors de l'arrivée des troupes françaises dans le territoire de Souk Ahras en 1843, les "Hannancha", spécifiquement agités et influencés par les puissantes familles autochtones des Rezgui et des El Hessenaoui, cherchent à maintenir leur domination sur la région. Leur domination s'étendait sur une vaste zone qui nécessitait une surveillance étroite. Installation de la tente près d'un marché majeur aux créatures animales, qui se tient le dimanche et est fréquenté par des tribus venues de loin, à une centaine de kilomètres au sud de Bône. Ces troupes sont envoyées pour garder les routes qui mènent en Tunisie et à Tébessa, dont le général Négrier a récemment pris le contrôle. Il n'y a qu'une grande maison presque détruite. C'était la propriété du cheikh de Hannancha (Aicha & Karima, s. d.).

Le Grand Bordj, bordj-fondouk construit par les services du Génie à la fin de 1851 et au début de 1852(voir figure IV.13), était destiné à être un abri en cas de révolte.

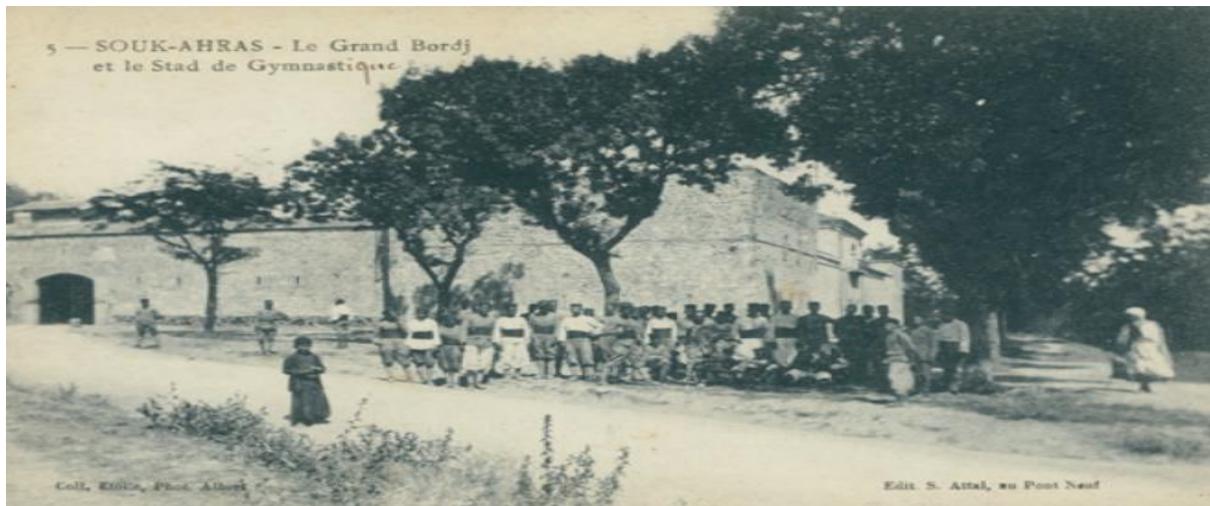


Figure IV.13: Le grand bordj. Source : (ALGERIE SOUK AHRAS / le Grand Bord et le Stade de Gymnastique // Zu Kauf auf Delcampe, s. d.).

En 1853, la Subdivision de Bône est enfin doté d'une annexe permanente. Le Cercle de Souk Ahras a été établi en 1855 à partir de ce centre de population. De plus en plus de personnes s'installent dans la communauté en raison de sa situation avantageuse, de son richesse des ressources hydriques (des fontaines ont été découvertes sur le site ainsi que la présence d'oueds notamment oued Madjerda et l'oued Meleg) et des ressources agricoles. En 1858, plus de 700 Européens vivaient dans cet établissement colonial. L'empereur Napoléon III a établi la fondation officielle de ce centre de population européen en le nommant Souk-Ahras en 1855 (Fatma Zohra HAFSI, 2021).

L'établissement d'une administration civile a favorisé l'afflux de colons, entraînant la transformation du village en une petite ville. Les frontières de la ville se sont étendues jusqu'aux Oued Trabe et d'Oued Zerga. Cette période a également été marquée par l'arrivée d'une communauté arabe, en provenance des montagnes voisines, qui s'est installée au-delà des deux cours d'eau. La croissance urbaine s'est caractérisée par des extensions linéaires des zones déjà urbanisées, délimitées par les cours d'eau. Cette structuration a contribué à une densification significative, donnant naissance à un noyau urbain bien défini. Le développement du tissu urbain a adopté progressivement une disposition en damier. (Aicha & Karima, s. d.).

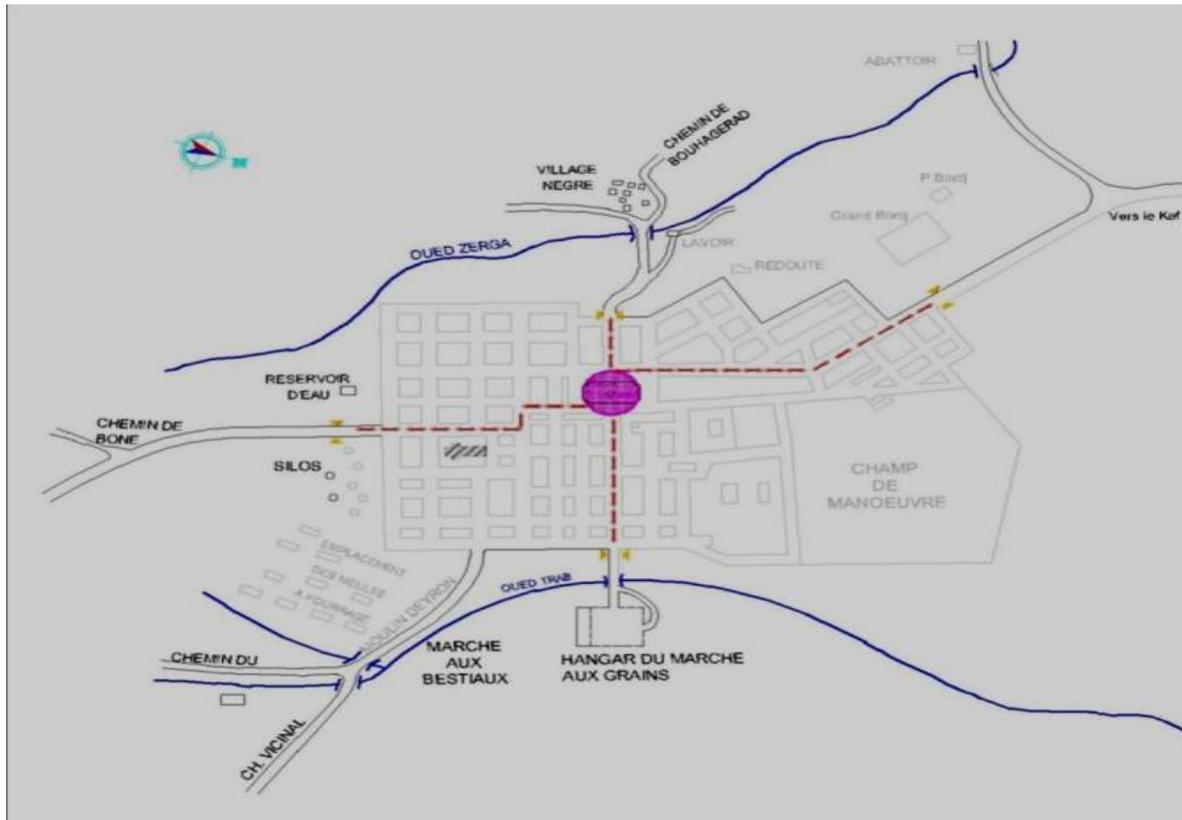


Figure IV.14: Ville de Souk Ahars en 1870. Source: (Aicha & Karima, s. d.).

La rue de Tunis et la rue Victor Hugo sont les deux artères principales qui contribuent à cette croissance. La rencontre de ces deux artères entraîne la création d'un point unique qui est la place Taghaste (voir figure IV.15).



Figure IV.15: La place de Taghaste. Source: (SOUK-AHRAS (ALGERIE) PLACE THAGASTE, FONTAINE Très Animée Avant 1904 • EUR 20,00, s. d.).

IV.3.3 L'extension urbaine du 1870-1962 :

La ville s'étend sur les collines de Sidi Messaoud, le plateau nord et la commune mixte, qui abrite la communauté arabe, après avoir traversé les deux oueds. Cette modification des limites physiques de la zone urbaine a fait disparaître le tissu en damier. De nombreux équipements sont construits, dont le théâtre en 1931, le groupe scolaire en 1934, L'hôtel de ville 1887, la salle des fêtes en 1927 et la Mahkama en 1938 (Fatma Zohra HAFSI, 2021).

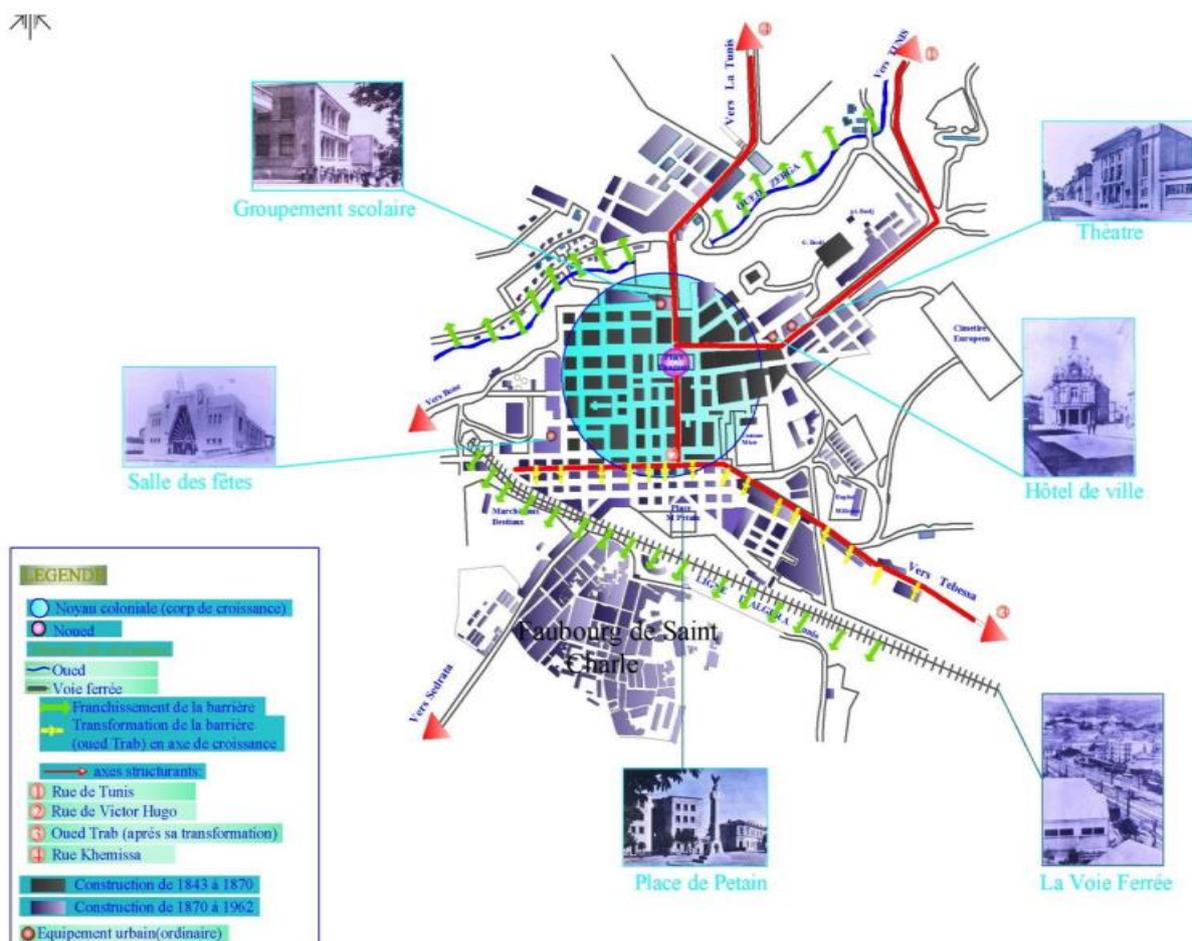


Figure IV.16: Le développement de la ville de Souk Ahars durant 1870 -1962. Source : (Aicha & Karima, s. d.).

Jusqu'en 1870, La ville était circonscrite dans un quadrilatère. De grandes faubourg se sont ensuite développées autour du damier colonial pour permettre l'expansion de la ville vers l'est, la rue Victor Hugo a été prolongée jusqu'à la place de Taghaste. Elle sert de support à la croissance du faubourg de Constanville. Le développement du Faubourg de la Gare permet à la ville de s'étendre encore plus au sud. Par ailleurs, Souk Ahars s'est développé vers l'ouest,

en adhérant à la rue Jean Mermoz. Il s'est étendu et a donné naissance à faubourg Saint Charles (voir figure IV.17). Ces zones pavillonnaires sont constituées de résidences unifamiliales compactes et mitoyennes.

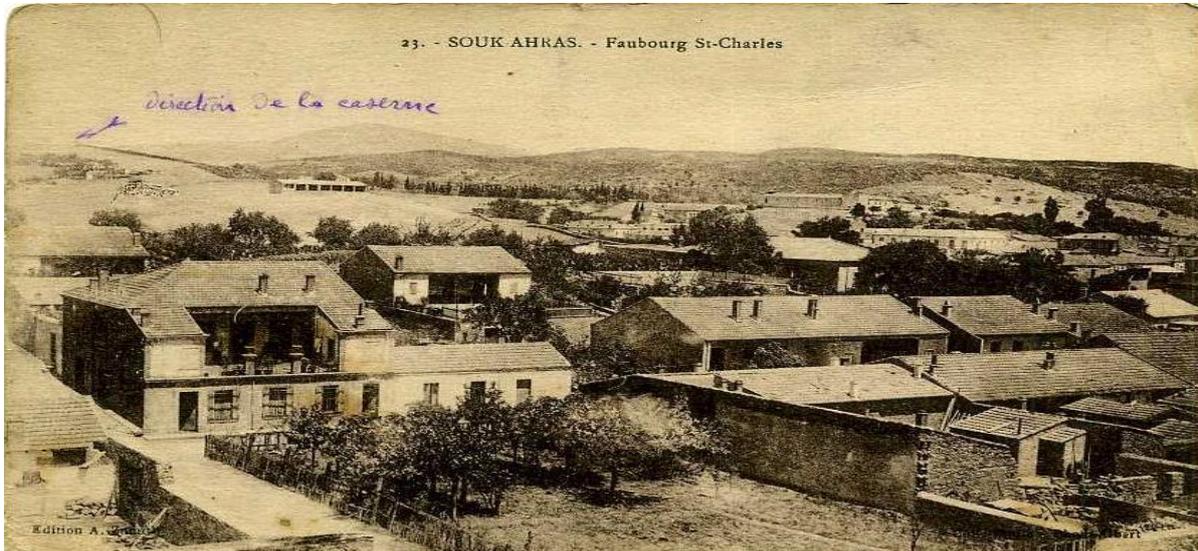


Figure IV.17: Faubourg Saint .Source:(SOUK AHRAS FAUBOURG ST CHARLES, s. d.).

IV.3.4 Après 1962: La dispersion urbaine :

Après l'indépendance, l'Algérie a connu une série de stratégies urbaines qui se sont traduites par un développement quantitatif et sans fioritures. L'unique but était de faire accueillir un nombre maximum de populations. La conception et la structure de tissu urbain ont été déstructurées et rompues par cette approche qui a ignoré l'héritage colonial de nos villes.

La croissance urbaine s'est concentrée en périphérie de la ville, marquée par deux périodes distinctes:

- ✓ la première période a été l'émergence du phénomène des habitations non autorisées qui a commencé à apparaître autour du noyau colonial.
- ✓ la seconde a été l'ère de l'urbanisation planifiée.

Le point principal de la structure urbaine de Souk-Ahras est la place de l'Indépendance (place de Taghaste). Cette dernière agit comme le nœud central de la structure et constitue un pôle de rencontre, de réunion et de convergence. La place était le résultat de la rencontre des deux axes principaux de la structure urbaine. Un troisième axe se dessine dans le franchissement, c'est l'ancien cours de l'Oued Trabe qui s'achève dans le damier et impose de nouvelles orientations au tram urbain.

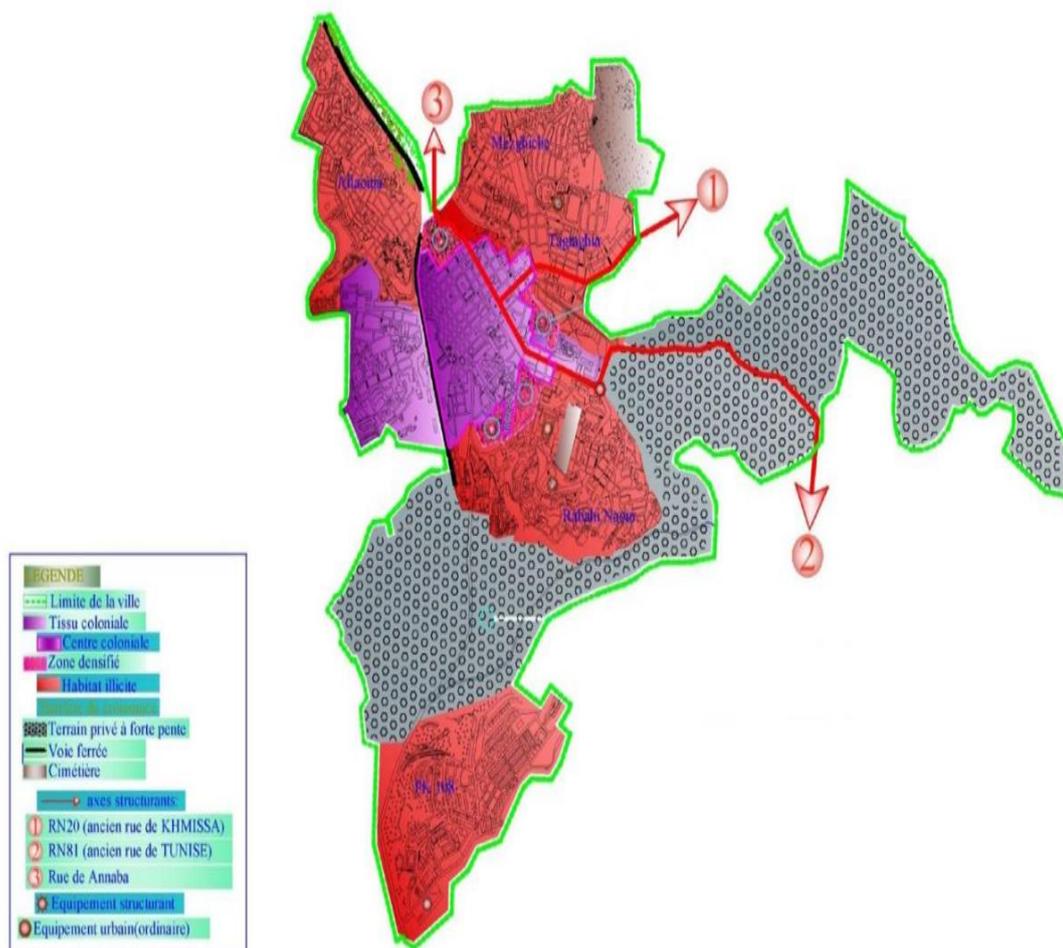


Figure IV.18: Le développement de la ville de Souk Ahars durant 1962- 1970. Source : (Aicha & Karima, s. d.).

IV.3.5 Les Z.H.U.N et les Lotissements :

En 1970, la ville de Souk Ahars a connaît un grave problème de logement, d'où le nombre total d'unités d'habitation était 7 150. Grâce à la croissance rapide de la ville, les autorités publiques ont été contraintes d'agir rapidement défiant la logique d'un plan d'urbanisme bien pensé, l'État s'est engagé dans d'importants programmes de logement et d'équipement sous la forme de nouvelles zones urbaines (ZHUN), qui ont coïncidé avec l'introduction de plans de développement quadriennaux. L'avant-programme, qui contenait un programme d'habitat de 4 626 unités de logement sur une superficie de 180 hectares, est à l'origine du démarrage de la construction de la ZHUN à Souk Ahars. De nombreuses cités ont été réalisées tels que la cité Hama Loulou, 26 Avril, 1700 logements et la Gefec.

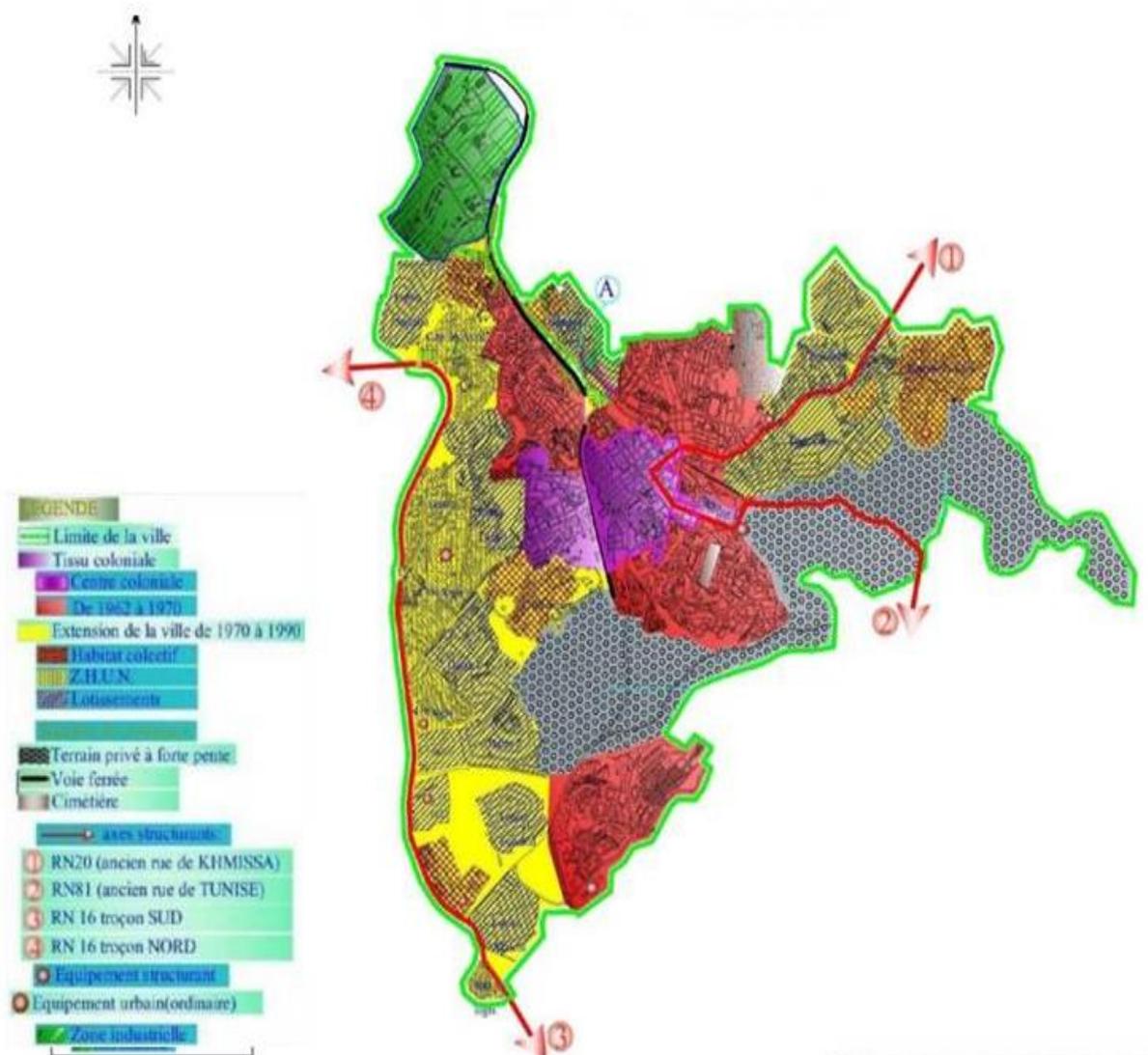


Figure IV.19 : Le développement de la ville de Souk Ahars durant 1970- 1990. Source : (Aicha & Karima, s. d.)

Parallèlement, un grand nombre de lotissements, dont Diar Zerga, Cité Bendada et Cité Chahid, ont participé au programme d'habitat individuel, qui visait à promouvoir l'auto-construction en réponse à la croissance de l'habitat illégal, qui avait pris une place importante dans l'environnement urbain de la ville.

IV.3.6 L'expansion urbaine entre 1990 et 2005 au sein des instruments d'urbanisme PDAU et POS :

Les autorités ont entrepris une révision au commencement des années quatre-vingt-dix, en raison de l'engorgement du périmètre urbain défini par l'ancien PUD. Cette révision

comprenait la création d'un PDAU (Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme), ce qui a également engendré de nouvelles expansions sous formes de POS (Plan d'Occupation des Sols) pour les zones suivantes :

- ✓ Le POS₁ , celui de SNIC.
- ✓ Le POS₂ ; celui de Jnen el Toufeh.
- ✓ Le POS₃ celui de Barral Salah.
- ✓ Le POS₄ celui de Galoussi.
- ✓ Le POS₅ ; celui de IBN Roched.
- ✓ Le POS₆ ; celui de Skanaska.
- ✓ Le POS₇ est un terrain privé.
- ✓ le POS₈ ou se situe l'université Mohammed Cherif Messadia.

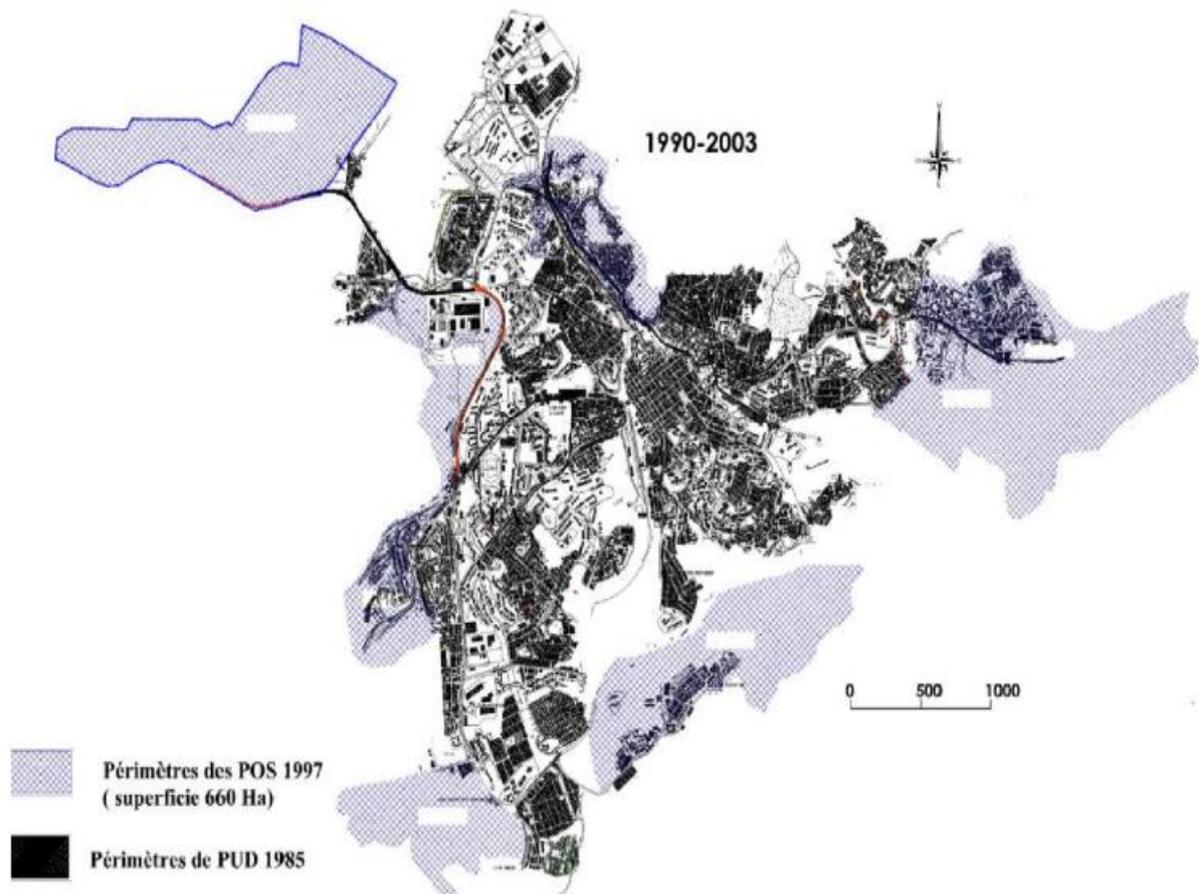


Figure IV.20: Le développement de la ville de Souk Ahars durant 1990 – 2003. Source : (Fatma Zohra HAFSI, 2021).

IV.4. Les espaces publics à la ville de souk ahars :

Pour les villes contemporaines l’espace public a été toujours un élément essentiel pour leurs développements. Cependant, chaque époque et chaque mode lui ont donné un caractère unique. Il soutient la continuité urbaine en servant une liaison entre les différents lieux de la ville et se dévoile comme un réseau ininterrompu d'espaces ; ainsi il aide les citoyens à se déplacer et à se sentir partie intégrante de la ville. Puisque l’espace public a été conçu en fonction des citoyens, il doit faciliter les contacts sociaux. C'est un endroit de mixité sociale, de détente, de plaisir et de travail (Halima GHERRAZ, 2013).

La ville de souk ahars présente un nombre important des espaces publics sous divers forme ; notamment des places publiques, esplanades, jardins publics, parcs urbain, foret urbain et alignements boisés (voir tableaux IV.1).

Tableau IV.1: Les espaces publics existants à la ville de souk Ahars .Source : APC souk Ahars 2023.

Ville	Places publiques	Jardins publics	Parc urbain	Les alignements boisés situés dans les zones urbanisées	
				Forets urbain	
Souk Ahars	La place de l'indépendance (Taghaste)	Jardin de 08 mars	Le parc urbain Souk Ahars	Route de Taoura	Cité derayaiya Ahmed
	Esplanade 1 ^{er} novembre	Jardin Djenane Baylik		Route de bouhadjar	Cité 26 avril
	Place 5 juin	Jardin Slimane kanoune		Rue okba ben nafaa	Diar Zerga 02
	Place Baoulo	Jardin de cité Slimane amirate		Rue Laakid amirouch	Route de Tunisie
	Place E serdouk	Jardin de cité deouaysia mouhamed taher		Prés de l'ENAP	Cité djenane toufeh
	Place 11 décembre	Jardin prés de			Cité okba ben nafaa

		<i>l'école de</i>			
		<i>laarbi</i>			
		<i>tebessi</i>			
		<i>Jardin</i>			
		<i>grand</i>			
		<i>bordj</i>			
		<i>Jardin</i>			
		<i>Zerkaoui</i>			
		<i>Abed</i>			
		<i>salam Ben</i>			
		<i>tayeb</i>			
TOTAL	06	08	01	05	06

Certains espaces publics datent de l'époque coloniale comme le jardin Grand Bordj et la place de Taghaste qui a été renommé après la place de l'indépendance. Cette dernière Organise et garantit les connexions entre les diverses parties de la ville (voir figure IV.21).

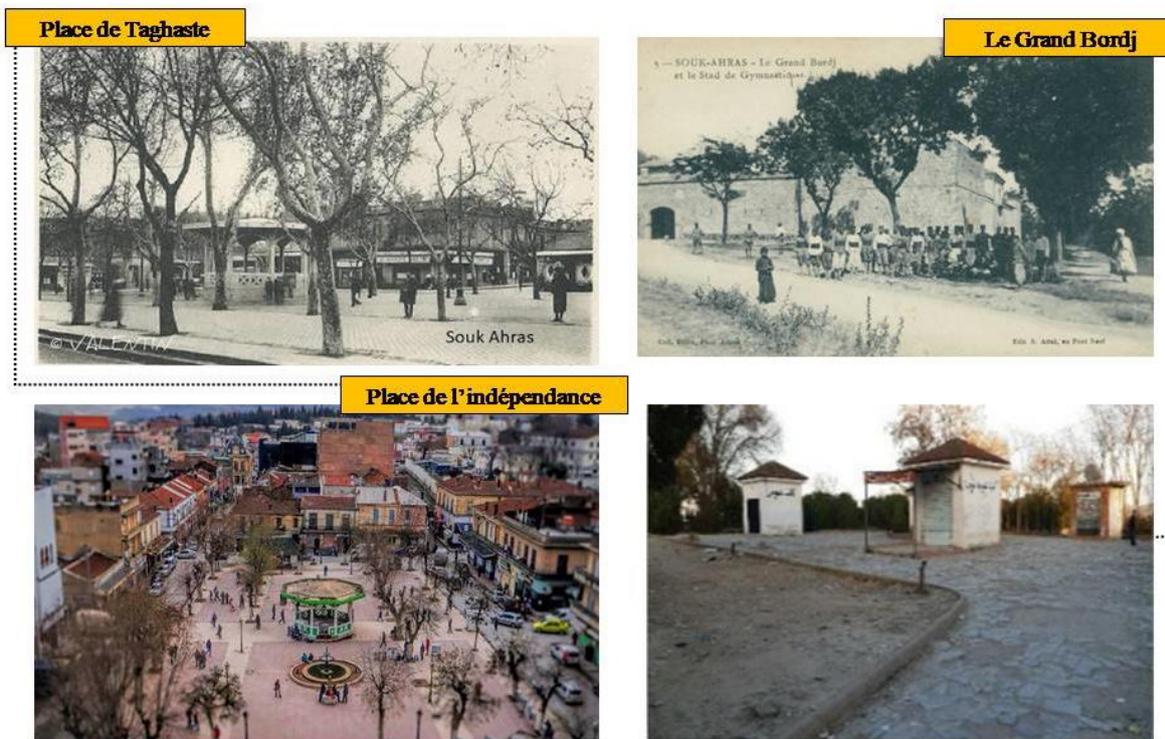


Figure IV.21: Les espaces publics datent de l'époque coloniale .Source : auteur 2023.

Tous ces espaces publics ont été construits et aménagés pour répondre aux différents besoins et attentes des citoyens et usagers qui les fréquentent.

- ✓ **Les places publiques** : est un espace public non bâti, généralement entouré de bâtiments et accessible par des voies réservées aux piétons ou aux véhicules. Quelle que soit l'origine ou la position sociale d'une personne, la place public est un lieu ouvert et accessible pour tous (figure IV.22).



Figure IV.22: la placette de l'indépendance (placette de Taghaste). Source: auteur 2023.

- ✓ **L'esplanade** : représente une zone étendue équipé qui fait parfois face à une structure importante (voir figure IV.23). Elle est souvent ornée de quinconces, qui empêchent parfois de voir le passage qu'elle domine (BADACHE Halima, 2014).



Figure IV.23: L'esplanade de 1 er novembre- ville de Souk Ahras. Source : auteur 2023.

- ✓ **Jardins publics** : Il s'agit d'un espace de verdure en extérieur qui est généralement clôturé (voir figure IV.24) et qui peut être agrémenté de différentes fontaines et d'éléments tels que des aires de jeux, des snack-bars et des roseraies (Halima GHERRAZ, 2013).

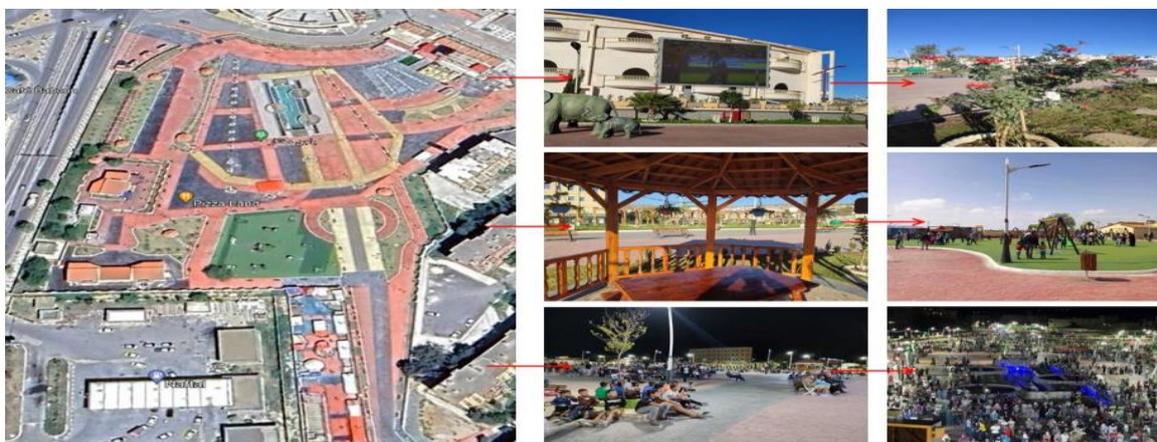


Figure IV.24: Jardin Zerkaoui Abed salam Ben tayeb- ville de souk ahars. Source : auteur 2023.

- ✓ **Parc urbain** : Il s'agit d'un vaste jardin public qui est principalement couvert d'arbres (voir figure IV.25)



Figure IV. 25: Parc urbain Souk Ahars. Source : auteur 2023.

IV.4.1 La végétation et les plans d'eau dans la ville de souk ahars :

Pour la ville de Souk Ahars, comme pour de nombreuses villes algériennes, les différents bienfaits d'arbre de frêne l'en font un véritable trésor naturel. C'est l'arbre le plus connu à la

ville dont il existe par tous dans les jardins, les espaces publics, par alignement dans les voies de circulation (voir figure IV.26).



Figure IV.26: L'arbre de frêne a la ville de Souk Ahars. Source: auteur 2024.

Membre de la famille des oléacées, le frêne commun (*Fraxines excelsior*) est un arbre à la cime large et étalée. Il pousse vigoureusement et rapidement, atteignant une hauteur de 30 à 40 mètres. Ses feuilles sont caduques et émergent de bourgeons noirs et veloutés qui ressemblent à des pyramides. Elles sont constituées d'un nombre impair de petites feuilles appelées folioles car elles sont composées et imparipennées. Ces folioles sont au nombre de 9 à 15, ont une teinte vert foncé et sont dentées. (Voir figure IV.27).

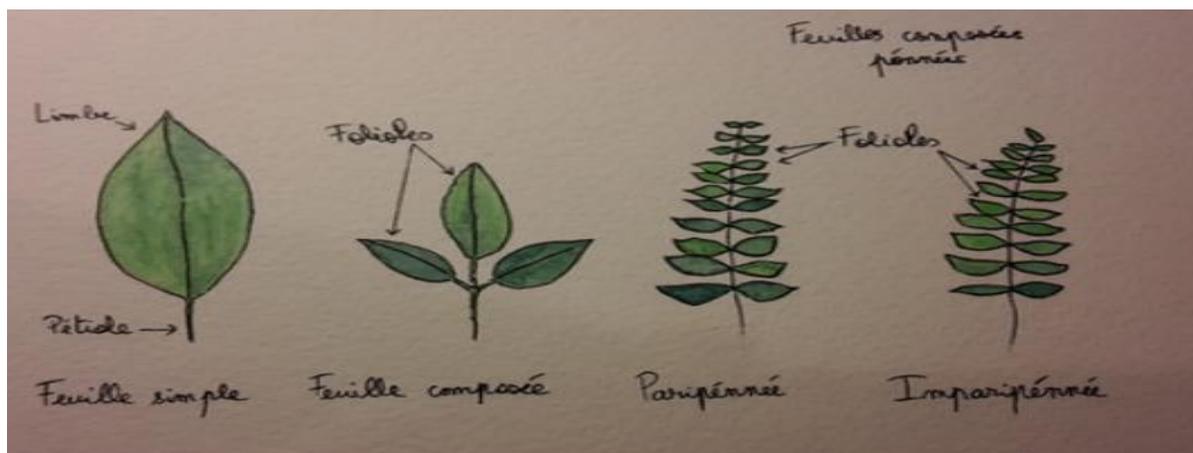
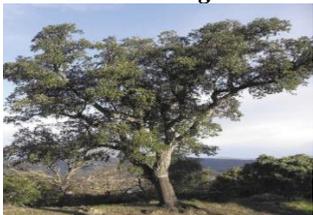


Figure IV.27: Les types de feuilles de frênes. Source : (Fouillat, s. d.).

Cependant la ville Souk Ahars possède également d'autres espèces d'arbres importantes plantées dans ses espaces extérieurs, comme illustré dans le tableau ci-dessous:

Tableau IV.2: Les espèces d'arbres plantées en extérieur. Source : auteur 2024.

Arbre	Type	Feuillage	Hauteur	Espacement
<p>Pin d'Alep (Halepensis)</p> 	<p>Conifère, arbre monoïque ornemental. Rustique, il résiste à des températures allant jusqu'à -10°C</p>	<p>Aiguilles aromatiques, persistantes, fines et vertes</p>	<p>10 à 20 mètres avec une croissance lente.</p>	<p>son envergure est d'environ 10 mètres.</p>
<p>Ailanthus altissima</p> 	<p>Une espèce d'arbres à feuilles caduques de la famille des Simaroubaceae.</p>	<p>Grandes, opposées, pennées, imparifoliées, d'odeur désagréable au froissement. mesurent de 30 à 90 cm/ longueur de 11 à 41 folioles disposés par paires</p>	<p>17 à 27 mètres avec un diamètre à hauteur de poitrine d'environ 1 mètre</p>	<p>Son envergure est d'environ 10 à 12 mètres.</p>
<p>Schinus molle</p> 	<p>Appartiennent à la famille des Anacardiacees, petit arbre persistant sud américain parfumé, ornemental, couramment planté dans les jardins en climat chaud.</p>	<p>De 20 à 25 cm et formées de nombreuses folioles étroites</p>	<p>6 à 8 mètres de hauteur (10 à 15 m dans son milieu naturel)</p>	<p>Son envergure est d'environ 3 à 4 mètres</p>
<p>Le chêne liège</p> 	<p>la famille des Fagacées ; Arbre persistant</p>	<p>Coriaces et persistantes, alternes, plus ou moins dentées, d'un vert glauque légèrement</p>	<p>Un arbre de 10 à 15 m de haut qui peut parfois dépasser les 20 m</p>	<p>Son envergure est d'environ 20 mètres</p>
<p>le cyprès</p> 	<p>Famille des Cupressacées Arbre Conifère ornemental.</p>	<p>Les feuilles, persistantes, possèdent des écailles vert foncé grisâtres,</p>	<p>Hauteur de 10 à 25 m.</p>	<p>Son envergure est 2 m seulement.</p>
<p>l'eucalyptus</p> 	<p>Famille : Myrtacées arbre aromatique.</p>		<p>Hauteur de 30 à 35 mètre.</p>	<p>Un étalement de 10 m seulement.</p>

Platane (platanus)



Famille : platanaceae
arbre ornemental.

caduc, coriace,
vert assez claire,
vernissé sur le
dessus.

Hauteur
de 25-
30m.

Son
envergure
est 19 m

Acacia



La famille des Fabacées
(sous-famille
des Mimosoidées)
Arbre ornemental.

Caduc.

Hauteur
de 10 a 20
m.

Son
envergure
est 3 m

Palmier



La famille des Arecaceae ou
Palmae, généralement
arborescentes

Hauteur
de 3 a 5
mètres

Son
envergure
est 3 m

Micocoulier



La famille des Cannabaceae

Caduc possède un
tronc élancé dont
le diamètre peut
atteindre 1m.

Hauteur
peut
monter
jusqu'à 20
mètres

Son
envergure
est de 8 à
10 mètres
dans les
meilleures
conditions

Laurier rose



La famille des Apocynacées

persistantes, vert
foncé et allongé

Hauteur
de 0,60 à 5
mètres

Son
envergure
est de 2
mètres

Murier



La famille des moracées

Le feuillage
dense, acuminées,
dentées, voire
incisées, glabres
et brillantes sur
la face supérieure

Hauteur
de 6 a 8
mètres

Son
envergure
est de 5 à 6
mètres

Grace a leurs effets positifs ; les plans d'eau sont très demandés et qui s'intègrent bien dans les espaces publics. Ils sont employés pour des activités de loisirs et permettent de conserver une certaine fraîcheur pendant la saison chaude pour les citoyens.



Figure IV.28: Les plans d'eau au sein des espaces extérieur des villes . Source :(Un festival BD à Bordeaux, totalement distinct de ce qu'incarne Angoulême, s. d.)

A la ville de souk ahars l'insertion et l'intégration des plans d'eau sous ses divers formes au sein des espaces publics a devenu un réel défis majeurs pour les aménageurs vu l'augmentation des problèmes lié au phénomène d'îlot de chaleur urbain ICU. De nos jours, les fontaines classiques et les jets d'eau prédominent dans la plupart des espaces publics nouvellement construits ou réaménager contrairement au passé où l'implantation des arbres seulement influençait grandement l'aménagement des espaces publics. (Voir figure IV.29). Tragiquement, l'état général de ces plans d'eau s'est gravement détérioré, de sorte qu'ils sont désormais dépourvus d'eau et souvent bouchées raison d'un manque total de maintenance et d'entretien.

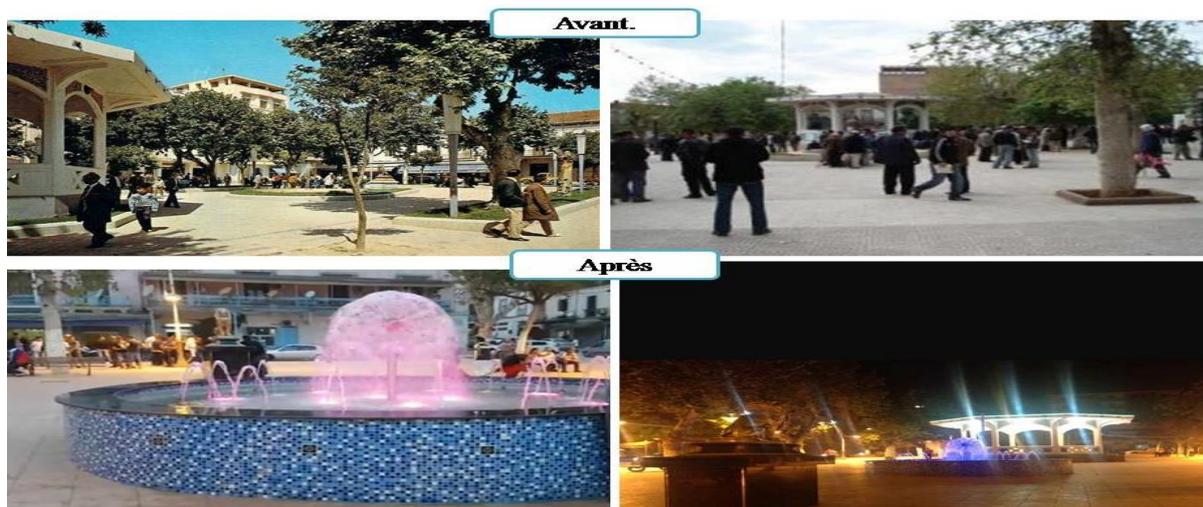


Figure IV.29: L'insertion des fontaines classiques dans le réaménagement de la placette de l'indépendance. Source : auteur 2024.

Conclusion :

Ce chapitre vise principalement à la découverte et la présentation de la ville de Souk Ahars. Nous avons d'abord abordé le sujet en présentant ses données géographiques géologiques, hydrologiques, forestières et climatiques, ainsi que de sa formation et de l'évolution urbaine au fil des différentes périodes historiques. Selon l'analyse climatique, la ville de Souk Ahars s'appartient à l'étage bioclimatique sub humide caractérisée par des étés chauds et secs avec des températures comprises entre 25 et 35°C en juillet et août et des hivers humides et froids avec des températures comprises entre 1 et 15°C en janvier.

L'analyse de la croissance et de l'évolution urbaine de Souk Ahars permet d'énumérer les nombreuses altérations et modifications de l'environnement urbain de la ville au cours des différentes périodes historiques. A Souk Ahars, les espaces publics ont toujours été essentiels au développement urbain de la ville et à la création de nouvelles infrastructures. Mais chaque époque et chaque style leur a conféré une personnalité distincte. En jouant le rôle de liaison entre les divers quartiers de la ville, ils assurent la fluidité urbaine. La ville de Souk Ahars contient une grande variété d'espaces publics sous diverses formes, y compris des places publiques, des esplanades, des jardins publics, des parcs urbains, des forêts urbaines et des alignements boisés.

Chapitre 5 : matériel et méthodes

Introduction:

Ce chapitre offre une vue d'ensemble sur le corpus d'étude ainsi l'approche méthodologique utilisée dans cette recherche, dans lequel la première section est consacré à décrire les sites d'intervention qui sont cinq espaces publics situés à la ville de Souk Ahars, les critères de choix et leurs caractéristiques. Par la suite on abordera l'approche scientifique choisie tout en utilisant une variété de techniques de recherche sur terrain, d'où les phases d'étude sont les suivantes : l'enquête par questionnaire et des campagnes de mesures. Nous décrivons donc la procédure et les lignes directrices utilisées dans chaque étape, dont la principale intention est d'analyser et d'enregistrer les activités des usagers de ces espaces publics ahars ainsi que les mesures des diverses variables climatiques, afin de démontrer l'effet de végétation urbaine (les arbres) et les plans d'eau existants sur la régulation de microclimat urbain dans ces derniers. La dernière section de ce chapitre se focalise sur la deuxième technique utilisée qui est la modélisation numérique qui est faite pour calculer les différents indices thermiques qui visent principalement de déterminer l'impact de végétation urbaine sur l'optimisation de confort thermique extérieur.

V.1 Présentation de corpus d'étude:**V.1.1 Les critères de choix :**

Sur la base d'une classification qui répondait à l'objectif premier de notre recherche qui est l'évaluation de rôle de végétation et les plans d'eau dans la régulation des conditions microclimatiques et l'optimisation de confort thermique extérieur à la ville de Souk Ahars ; nous avons sélectionné des espaces publics pour les étudier. Tout d'abord, nous avons effectué un recensement de tous les espaces publics qui existaient déjà à la ville de Souk Ahars. Ensuite, nous avons choisi cinq espaces publics en fonction des critères suivants (voir figure V.1) :

- Selon leurs superficies et leurs formes.
- selon leurs environnements immédiats.
- Selon leurs positionnements et leurs orientations dans la ville.
- selon l'existence des éléments naturels celui de végétation et plans d'eau.
- Selon la fréquentation des usagers.

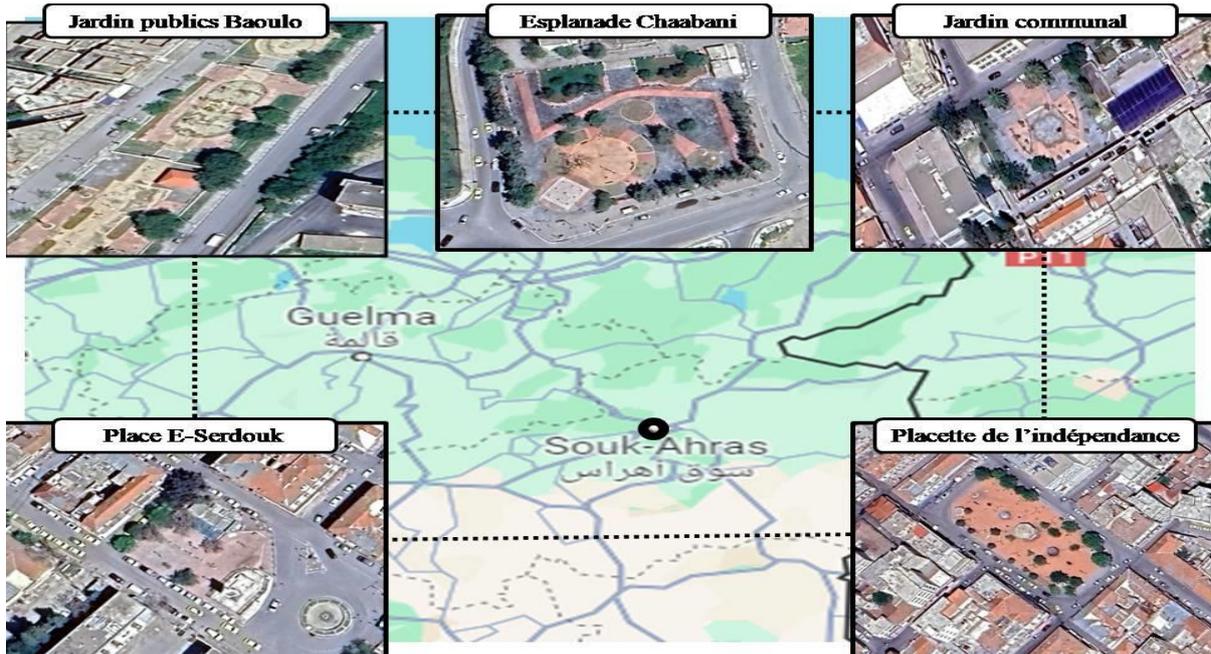


Figure V.1: Les places publiques choisis. Source : auteur 2024.

V.1.2 La placette de l'indépendance :

Il s'agit d'un espace public datant du période colonial principalement constituée de structures d'une hauteur varié entre 6-15 mètre. La placette de l'indépendance l'ancien place de Taghaste ($36^{\circ}17'4.74''N$; $7^{\circ}57'22.47''E$) présente un point de repère et un élément structurant de centre ville de Souk Ahras (voir figure V.2).



Figure V.2: Placette de l'indépendance. Source : Google earth 2024.

Avec sa forme géométrique rectangulaire elle présente une superficie totale estimée de 2572.75 m². Cependant la placette elle est limitée dans ces quatre coté par des vois

mécaniques, englobant deux kiosques et deux fontaine .La végétation est présenter sous forme des arbres caduc qui sont : le platane et le freine avec un pourcentage de 13.99 % de la surface totale.



Figure V.3: Les arbres et les plans d'eau existés dans la placette de l'indépendance. Source : auteur 2024.

V.1.3 L'esplanade de chaabani :

Situer au Nord-ouest de la ville de souk Ahras ($36^{\circ}17'29.24''N$; $7^{\circ}56'26.65''E$), avec sa forme géométrique rectangulaire, il occupe une superficie estimé de 4335.97 m^2 . L'esplanade de chaabani est limité par des habitats collectifs dans la coté nord et par des vois mécaniques dans le reste et englobe un jet d'eau (voir figure V.4).



Figure V.4: L'esplanade de chaabani .Source: Google earth 2024

La surface végétale présente un pourcentage de 31.43 %.présenter par des arbres à feuilles caduques (frênes) et conifères (cyprés) et d'herbe. L'esplanade de 16 avril attire les visiteurs par son aménagement et son mobilier qui constituent des lieux de vie pour les habitants de la ville.

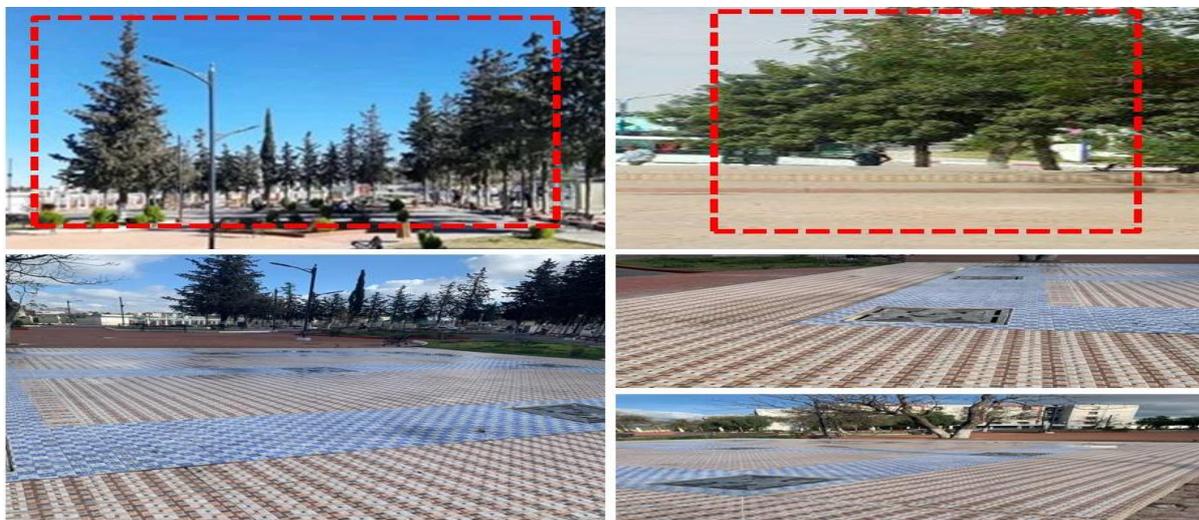


Figure V.5: Les arbres et les plans d'eau existés dans l'esplanade de chaabani. Source : auteur 2024.

V.1.4 Jardin publics Baoulo:

Situé dans le nord-ouest de la ville de souk ahars ($36^{\circ}17'41.89''N$; $7^{\circ}56'28.70''E$) présentant une forme géométrique rectangulaire qui occupe une surface totale de 1394.68 m^2 . Il est limité par des vois mécanique dans ces deux partie Est et Ouest et par des autres jardins publics dans la partie Nord et Sud, ce qui le rend l'un des espaces publics les plus fréquenté dans la saison estivale



Figure V.6: Le jardin public Baoulo. Source : Google earth 2024.

La Vegetation existé dans le jardin publics Baoulo est sous forme des arbres à feuilles caduques (murier et freines) est d'herbes avec un pourcentage de 24.16.% (voir figure V.7).



Figure V.7: Les arbres existés dans le jardin publics Baoulo .Source : Auteur 2024.

V.1.5 Place E-Serdouk:

Avec sa forme trapézoïdale elle occupe une de surface totale de 735.43 m² ; la place E- localisé au plein centre de la ville (36°16'59.35"N 7°57'12.29"E). Elle limité dans sa partie nord par une cafétéria générant l'un des endroits publics les plus animés de la ville, cependant sur le reste de ces cotés elle limité par des voie mécanique (voir figure V.8).



Figure V.8: La place E-Serdouk. Source: Google earth 2024.

La végétation est présentée sous forme des arbres caduc qui sont : *Ailanthus altissima*, *Schinus molle* et les frênes (voir figure V.9) occupant un pourcentage estimé de 22.13 % de la superficie totale de place.



Figure V.9: Les arbres existés dans la place E-Serdouk .Source : Auteur 2024.

V.1.6 Le jardin communal :

Avec sa forme géométrique rectangulaire ; le jardin communal présente une superficie totale de 1648.71 m² ; Elle se trouve en plein cœur de la ville de Souk Ahars (36°17'7.61"N 7°57'28.86"E) ; limité dans sa partie nord par le CEM d'ibn khaldoun, l'agence foncière dans l'Est ; la poste dans l'Ouest et une voie mécanique dans sa partie sud et englobe un jet d'eau (voir figure V.10).



Figure V.93: Le jardin communal. Source: Google earth 2024.

La végétation est présentée sous forme des palmeraies, des arbres caduc (les frênes) et conifères (cyprés) occupant un pourcentage estimé de 13.32 % de la superficie totale du jardin.



Figure V.94: Les arbres et les plans d'eau existés dans le jardin communal. Source : auteur 2024.

Cependant des différents matériaux sont utilisés pour le revêtement de sols des cinq espaces publics choisis avec des superficies variantes (voir figure V.12):

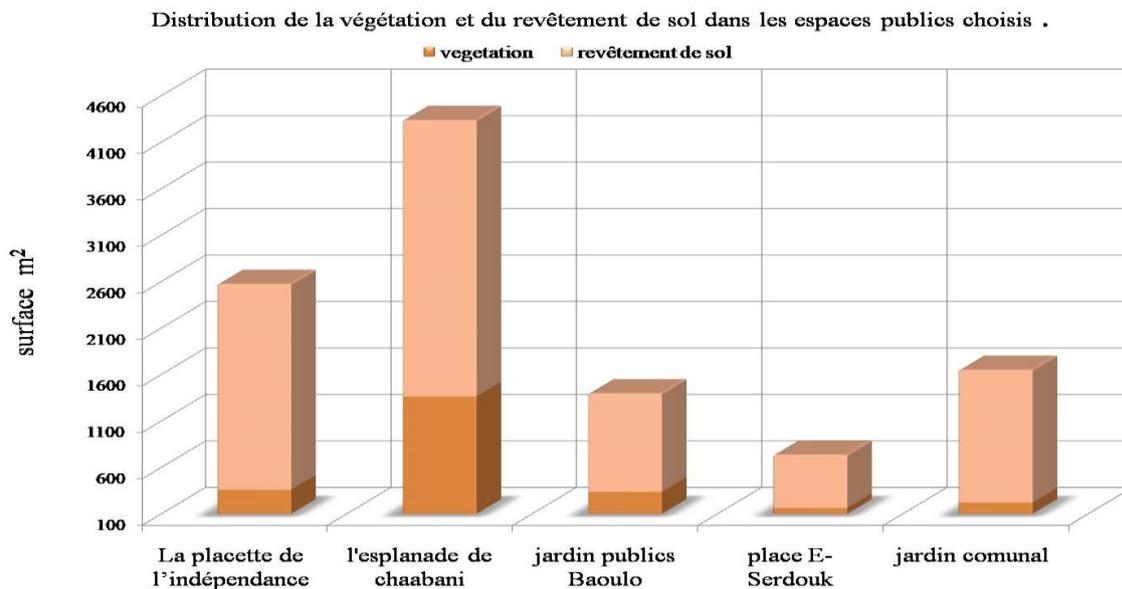


Figure V.12: Distribution de la végétation et du revêtement de sol dans les espaces publics choisis.

Source : auteur 2024.

- Le pavé en béton pour la placette de l'indépendance.

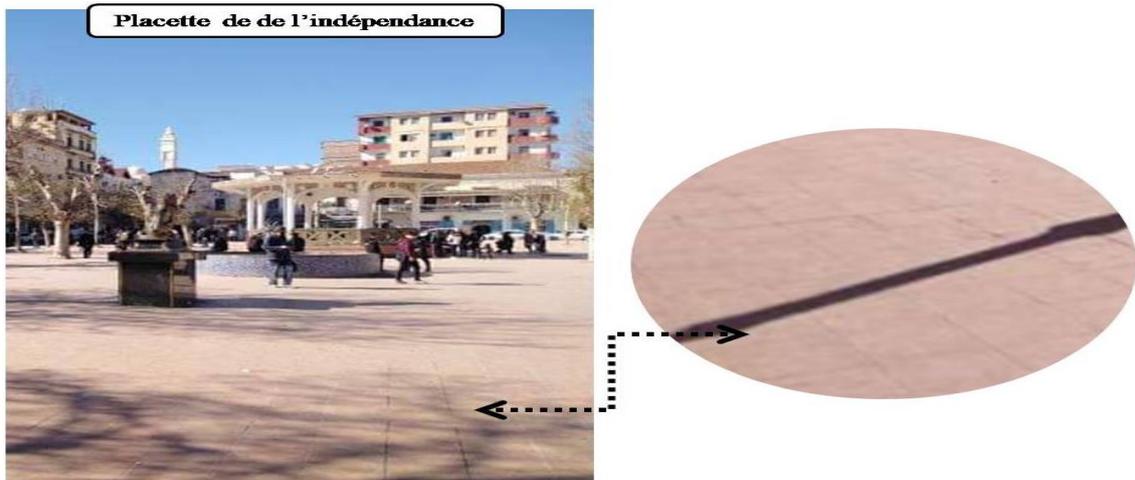


Figure V.13: Le revêtement de sols de la placette de l'indépendance .Source : auteur 2024.

- Le béton imprimé pour l'esplanade de chaabani, le jardin public Baoulo et le jardin communal.

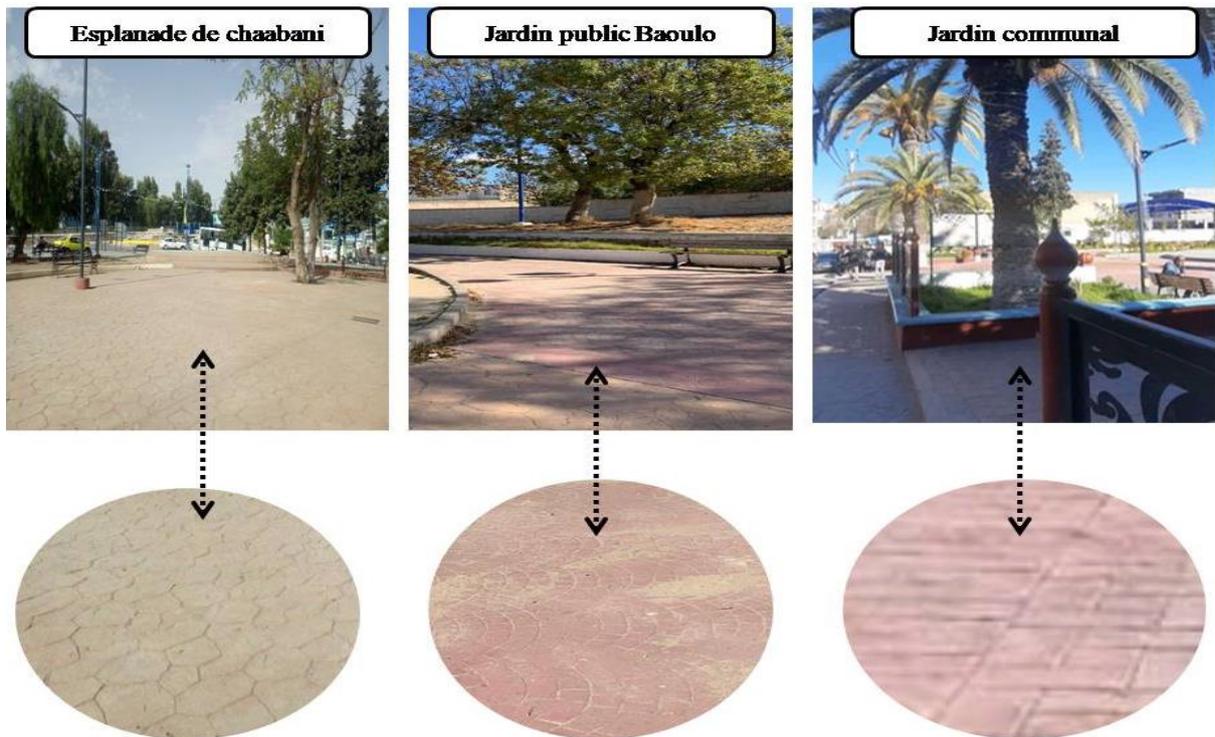


Figure V.95: Le revêtement de sols de l'esplanade de chaabani, jardin public Baoulo et le jardin communal .Source : auteur 2024.

- Le carrelage pour la place E-Serdouk.

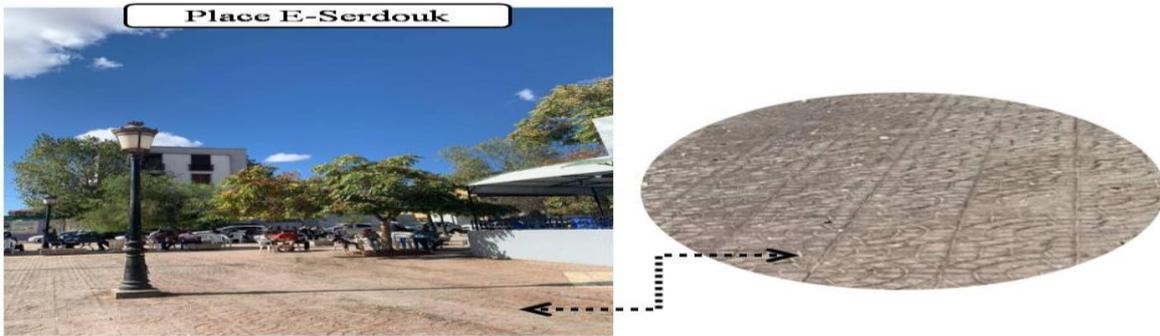


Figure V.15: Le revêtement de sols de la place E-Serdouk .Source : auteur 2024.

V.2 Processus méthodologiques :

Dans cette étude ; le but majeur est d’analyser l’impact de la végétation urbaine et les plans d'eau sur la régulation des conditions microclimatiques et l'optimisation du confort thermique extérieur dans la ville de Souk Ahars. Il est essentiel d'établir une procédure méthodologique claire qui intègre les diverses méthodologies de recherche suivantes pour parvenir aux objectifs de l'étude et apporter des réponses aux interrogations posées (voir figure V.16).

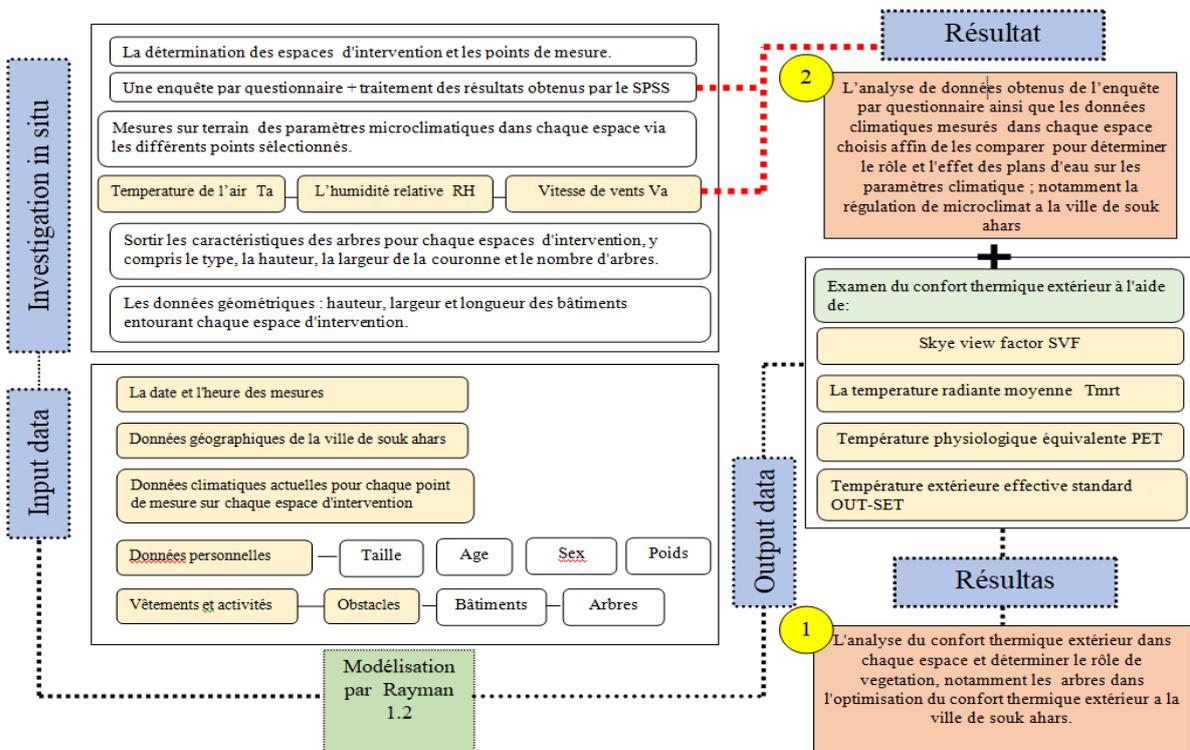


Figure V.16: Le cadre conceptuelle de la recherche .Source : Auteur 2024.

V.2.1 L'investigation sur terrain :

Deux techniques ont été utilisées pour recueillir un maximum d'informations sur les différents sites étudiés : une enquête par questionnaire et une campagne de mesures ; d'où l'objectif était d'en savoir plus sur la réalité de l'espace urbain à la ville de Souk Ahars et la relation entre la façon dont les gens l'utilisent et les avantages qu'il offre , ainsi d'étudier le confort thermique extérieur et examiner le rôle des solutions naturelles, en particulier les arbres et les plans d'eau existé , sur l'amélioration du confort thermique extérieur en cas de stress thermique .

V.2.2 L'enquête par questionnaire :

Afin de faciliter la collecte systématique de données, une évaluation subjective a été effectuée en tant qu'une enquête par questionnaire, formé d'un ensemble d'interrogations reliées entre elles d'une façon organisée cherchant la validation des hypothèses proposées. Il fournit des informations spécifiques et utiles qui sont généralement illustrées à travers des tableaux ou des graphiques.

L'enquête par questionnaire fonctionne bien pour suivre les usagers et évaluer l'état de l'environnement thermique extérieur. Cela signifie que le groupe chargé de vérifier l'environnement thermique de l'espace doit fournir un formulaire de question d'enquête. L'étape suivante du questionnaire consiste à demander aux usagers des espaces publics choisis de classer leurs préférences en matière d'utilisation et de perception thermique dans les conditions climatiques vécues. C'est pourquoi trois variables météorologiques sont enregistrées parallèlement au questionnaire.

Le questionnaire se subdivise en trois parties, avec la première étant consacrée aux informations générales de la personne interrogée telles que le sexe ; l'âge ; la fonction et le niveau d'éducation. La deuxième partie contient des questions sur l'usage des espaces publics choisis telles que : le choix ; la fréquentation et la durée du temps .La troisième partie se concentre ensuite sur l'analyse et la prise en compte de l'environnement thermique et des conditions microclimatiques et de la perception thermique de la personne interrogée lors de sa présence dans l'espace. Afin d'accomplir cela, des questions à choix multiples ont été choisies en fonction de l'échelle ASHRAE en 7 points. Nous terminons par des questions liées à les composants naturels de l'environnement physique qui visent à montrer l'avis des usagers de ces espaces publics sur l'existence ou l'absence des éléments naturelles (la végétation et les plans d'eau).

L'ensemble de l'échantillon est subdivisé en cinq échantillons appropriés, D'où le choix de l'échantillon de chaque espace public repose sur le nombre d'usagers totaux estimés par l'observation. Un échantillon aléatoire de base a été sélectionné pour cette étude, dont la taille de l'échantillon semble représentative, distribué aux espaces publics choisis comme suit:

Tableau V.1: Distribution des personnes interrogées par nombre sur les cinq espaces publics choisis.

Source : auteur 2024

Place publics	Placette de l'indépendance	L'esplanade de chaabani	Jardin public Baoulo	Place E-Serdouk	Jardin communal
Nombre d'interrogés	75	65	55	60	70

Afin d'évaluer précisément le degré de sensation thermique, de contentement, d'évaluation et d'appréciation de l'environnement thermique extérieur des usagers de ces espaces publics, le formulaire de question a été remis les mêmes jours que la mesure des données climatique dans lesquels ils sont répartis sur 6 sessions :

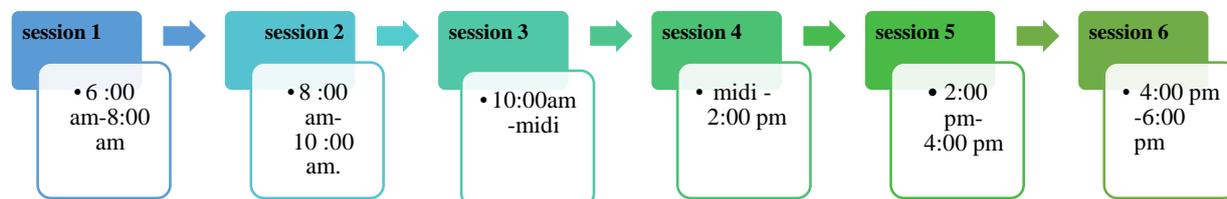


Figure V.17: Les différentes sessions. Source : auteur 2024

L'organisation et la disponibilité des données recueillies lors de l'enquête sur le terrain ont été considérablement simplifiées grâce à l'utilisation du logiciel IBM SPSS Statistics 29.0, également connu sous le nom de "Statistical Package for the Social Sciences".

Le logiciel SPSS est un outil très utile pour mettre en œuvre des procédures d'analyse statistique des données. Il favorise la gestion des données dans un environnement graphique convivial avec des menus descriptifs et des boîtes de conversation. De plus, cet environnement fournit un langage de commande qui permet d'écrire des programmes pour optimiser les objectifs de production, permettant de manipuler efficacement les données et de réaliser des études sur de grands ensembles d'informations. SPSS propose diverses options pour structurer et résumer les données statistiques (voir figure V.18).

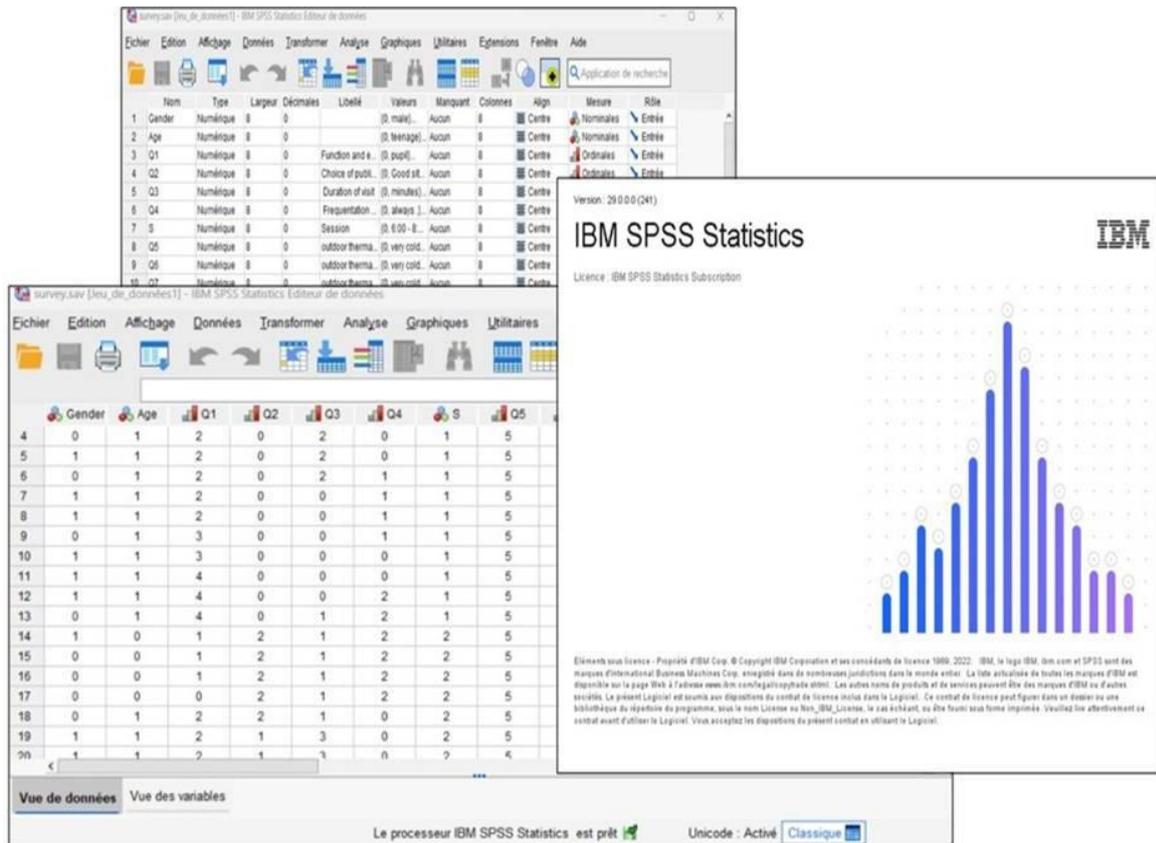


Figure V.18: Gestion des données l'aide du logiciel IBM SPSS Statistics 29.0 .Source : auteur 2024.

L'arrangement et la réorganisation préliminaires des informations sont toujours nécessaires avant que les données d'une enquête sur le terrain puissent être utilisées et traitées statistiquement. Toutes les fonctionnalités nécessaires à ce travail sont disponibles dans SPSS.

V.2.3 La campagne de mesure :

Une série de mesures sur terrain a été effectuée dans le mois de juillet 2022 ; ce dernier présente le pic de chaleur estival dans la ville de Souk Ahras :

Tableau V.2: Campagnes des mesures effectuées sur terrain .Source : auteur 2024

<i>Compagnes de mesure</i>	<i>Espaces publics</i>	
<i>Le 6 juillet 2022</i>	<i>Esplanade de chaabani</i>	<i>Placette de l'indépendance</i>
<i>Du 15 au 16 juillet 2022</i>	<i>Esplanade chaabani</i>	<i>Jardin public Baoulo</i>
<i>Du 17 au 18 juillet 2022</i>	<i>Placette de l'indépendance</i>	<i>Place E-serdouk Jardin communal</i>

Ces périodes ont été choisies pour étudier le confort thermique extérieur et l'influence des solutions naturelles, en particulier les arbres et les plans d'eau, dans l'amélioration du confort thermique extérieur à la ville de Souk Ahras pendant le stress thermique, qui est l'objectif principal de la recherche.

Des mesures des données microclimatiques des cinq espaces publics choisis ont été obtenues simultanément ; notamment la température de l'air (°C), l'humidité relative (%) et la vitesse du vent (m/s). Les mesures ont été réalisées à 1,5 mètre au-dessus du sol ; sept fois par jour (bi-horaires) de 06:00 a.m à 6:00 p.m. pour couvrir toutes les situations thermiques (lever de soleil ; matin ; la mi-journée ; l'après-midi et le coucher de soleil).

V.2.3.1 Les instruments de mesures :

Trois outils de mesure sont utilisés lors de la campagne de mesure : Le thermo hygromètre portatif HANNA (HI9565 -A02350072111), le thermomètre hygromètre Chauvin Arnoux (C.A 846 ; 692670A00 - Ed.5) et un anémomètre TROTEC à hélice ba16 (voir figure V.19).



Figure V.19: Thermomètre hygromètre Chauvin Arnoux, centre : Le thermo hygromètre portatif HANNA, droite : l'anémomètre TROTEC à hélice ba16. Source : auteur 2024.

✓ Le thermomètre hygromètre Chauvin Arnoux (C.A 846 ; 692670A00 - Ed.5) :

Le thermo-hygromètre Chauvin Arnoux C.A. 846 est un outil de contrôle de la température ambiante et l'humidité. Il s'agit d'un appareil à affichage numérique léger, précis et simple d'utilisation. Il est équipé d'un capteur d'humidité capacitif à réponse rapide et d'un capteur de

température PT 1000. Mesurant 173 x 60,5 x 38 mm, ce thermo-hygromètre possède un petit corps protégé par un gainage antichoc et un affichage à 3 chiffres avec 2000 points.

✓ **Le thermo hygromètre portatif HANNA (HI9565 -A02350072111) :**

L'hygromètre portable HI 9565 permet d'effectuer des mesures rapides et précises dans toutes les situations, même dans les endroits sombres et humides. Le HI 9565 est conçu pour s'éteindre automatiquement après 20 minutes d'inactivité, lire la température en degrés Celsius et Fahrenheit, et alerter les utilisateurs en cas d'erreur de procédure. En plus de l'humidité relative et de la température, HI 9565 détermine automatiquement le point qui peut être visualisé directement à l'écran en appuyant sur un bouton rouge.

Le HI 9565 permet une surveillance rapide et utile de l'environnement dans des lieux comme les laboratoires, les musées, les salles blanches et les jardins où un microclimat contrôlé est nécessaire.

✓ **Anémomètre TROTEC à hélice ba16 :**

Ce modèle d'anémomètre à hélice flexible, faisant partie de la série Multi-Mesure Basic, offre la capacité de mesurer la vitesse, la température et le débit de l'air. Il conçu pour être utilisé en déplacement, est immédiatement fonctionnel et affiche les valeurs mesurées sur un écran LCD rétro éclairé facile à lire. Il dispose en outre d'une fonction de conservation de la valeur actuelle et d'une fonction d'affichage des valeurs minimales et maximales. D'une longueur de 40 centimètres, le col de cygne flexible BA16 permet de mesurer le débit d'air à des endroits difficiles d'accès ou au niveau de prises d'air situées en hauteur. Cette caractéristique est particulièrement utile pour les installateurs climatiques, par exemple, qui doivent effectuer des mesures au niveau de la sortie, du cygne et du diffuseur.

Le tableau suivant résume les caractéristiques techniques de chaque appareil utilisé ; ce qui donne une fiabilité aux résultats des mesures météorologiques obtenus.

Tableau V.3:Caractéristique des appareils de mesures. Source : auteur 2024.

<i>Appareil</i>	<i>Description</i>
<i>le thermomètre hygromètre Chauvin Arnoux (C.A 846 ; 692670A00 - Ed.5)</i>	<i>Mesure de température absolue maximum +60°C Mesure d'humidité maximum 100%HR Précision optimale de mesure de température ±0,5 °C Résolution de la mesure de température</i>

	0.1°C	
	Précision optimale de mesure d'humidité	±2,5
	% HR	
	Résolution de la mesure d'humidité	
	0.1%HR	
	Température de fonctionnement minimum	-
	20°C	
	Température d'utilisation maximum	
	+60°C	
Le thermo hygromètre portatif HANNA (HI9565 - A02350072111)	Gamme de température	-10,0 à 60,0 °C / 14,0 à 140,0 °F
	Résolution de température	0.1°C / 0.1°F
	Précision de la température	±0,4 °C / ±0,8 °F
	Gamme HR	0,0 à 100,0 % HR
	Résolution HR	0,1 % HR
	Précision HR	±2,5 % HR (0 à 90 % HR) ; ±3,5 % HR (90 à 100 % HR)
	Environnement	1 à 60°C (32 à 140°F); HR max 98% sans condensation
l'anémomètre TROTEC à hélice ba16	Vitesse des flux d'air :	
	Plage de mesure :	1.00-30, 00. /s ; 196-5.900ft/min, 3.6-108.0 km/h
	Résolution :	0.01m/s ; 1 ft/min ; 0.1 km/h
	Précision :	± 33 % ± 0,2 m/s, ± 3 % ± 40 ft/min, ± 3 % ± 0,8 km/h
	Plage de mesure :	0-999.9m ³ /min (CFM)
	Résolution :	0,1 CFM

V.2.3.2 Le protocole de mesures :

Après un examen minutieux de critères de sélection spécifiques, les cinq espaces de recherche ont été différenciés les uns des autres selon divers dimensions tels que la catégorie, la taille, l'orientation, l'emplacement, les matériaux, le type de végétation et l'existence ou l'inexistence des plans d'eau. Pour ce faire, la place E-Serdouk, la place de l'Indépendance, le jardin communautaire, l'esplanade Chaabani et le jardin public Baoulo ont été sélectionnés. Tous ces lieux sont assez proches les uns des autres.

D'où :

- La distance est d'environ 650 mètres de la place E-Serdouk, de la placette de l'indépendance et du jardin communautaire ; ce qui nécessite un trajet de 4 minute par voiture (voir figure V.20).
- La distance est d'environ 500 m de l'esplanade de chaabani et le jardin public Baoulo, ce qui nécessite un trajet de 2 minutes par voiture (voir figure V. 21).

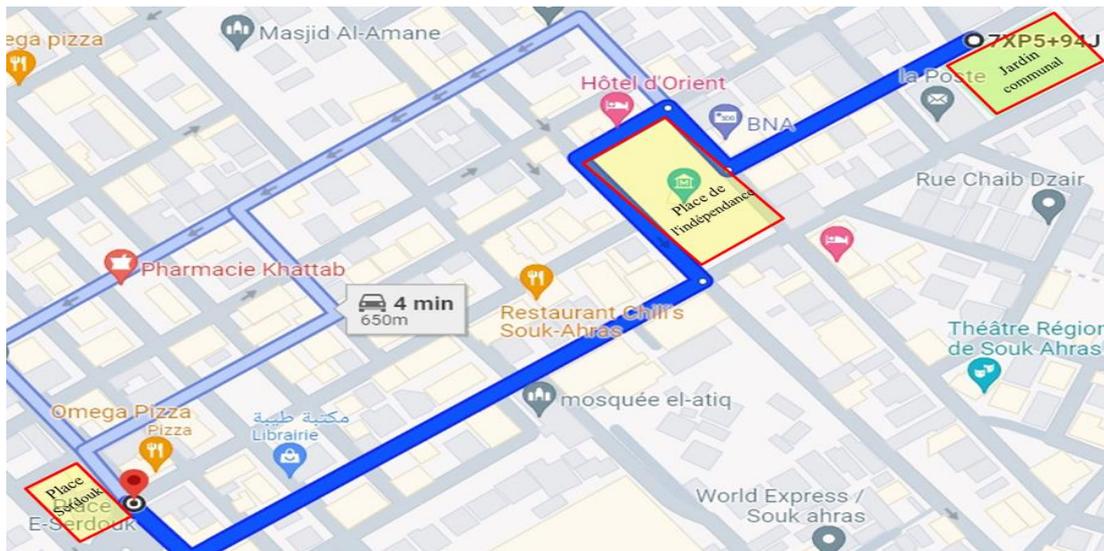


Figure V.20: La distance entre la place E-Serdouk, de la placette de l'indépendance et du jardin communautaire. Source : Google Mapp.



Figure V.21: La distance entre l'esplanade de chaabani et le jardin public Baoulo. Source : Google Mapp

L'étape suivante a consisté à définir les paramètres climatiques, à savoir la température de l'air T_a , l'humidité relative RH et la vitesse du vent V_a , afin de les mesurer pendant les campagnes de mesure. Divers points de mesure ont été inclus dans chaque espace public sélectionnés afin d'accomplir l'objectif principal de cette recherche (voir figure V.22)



Figure V.22: Les divers point de mesures .source : auteur 2024.

D’où le tableau suivant vise a montré la nature de chaque point de mesure :

Tableau V.4: Les divers points de mesures dans chaque espace public choisis. Source : auteur 2024

<i>Espace publics</i>	<i>Point de mesure</i>
<i>Esplanade de chaabani</i>	P1 Point centrale libre.
	P2 Point végétal sous les arbres de frênes
	P3 Point végétal entre les deux arbres de frênes
	P13 Point humide au-dessus de fontaine sèche.
<i>Jardin publics Baoulo</i>	P4 Point centrale libre.
	P5 Point végétal entre les deux arbres de frênes.
	P6 Point végétal sous l’arbre de frêne.
<i>Place E-serdouk.</i>	P7 Point végétal sous l’arbre d’Ailanthus altissima.
	P8 Point végétal entre les deux arbres de frênes.
	P9 Point libre.
<i>Placette de l’indépendance.</i>	P10 Point libre près du centre de la placette
	P11 Point libre près des limites de la placette.
	P12 Point végétal sous les arbres de platanes.
	P14 Point humide au-dessus de fontaine.
	P15 Point libre.
<i>Jardin communal</i>	P16 Point humide au-dessus de fontaine sèche

A noter que pendant tous les jours de la campagne de mesure et pour les cinq espaces publics choisis, les mesures ont été effectuées toutes les deux heures (bi-horaire), de 6 a.m à 6 p.m via les différents points de mesures à une élévation de 1,5 mètre au-dessus du sol:

- ✓ Le 6 juillet 2022 pour l'esplanade de chaabani et la placette de l'indépendance.
- ✓ Du 15 au 16 juillet 2022 pour l'esplanade de chaabani et le jardin public Baoulo.
- ✓ Du 17 au 18 juillet 2022 pour la place E-Serdouk ; la placette de l'indépendance et le jardin communal.

V.2.4 Processus de modalisation (modèle Rayman) :

Rayman 1.2 (Voir figure V.23) ; est un modèle à micro-échelle développé pour la météorologie environnementale de l'Université Albert-Ludwigs de Fribourg, afin de mesurer les flux radiatifs dans des contextes simples et complexes. Cela permet de calculer la température moyenne radiante T_{mrt} , un facteur d'entrée très important pour la computation des divers indicateurs thermiques tels que PET, OUT-SET et PMV. Dans le but de quantifier les situations thermiques (confort thermique, contrainte de froid et énergie thermique) pour divers climats et régions, Rayman calcule la température radiante moyenne et un certain nombre d'indices thermiques.

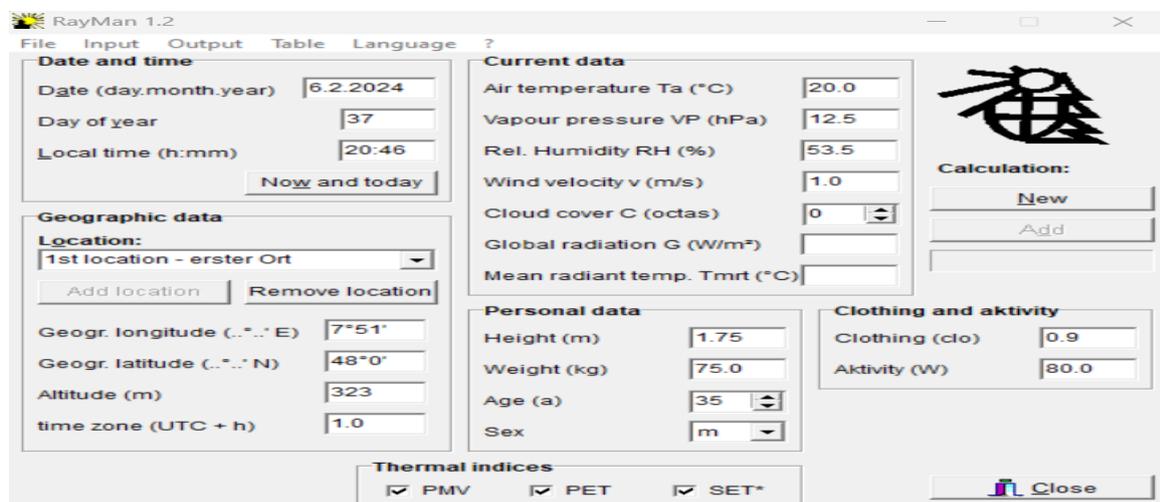


Figure V.23: Interface du logiciel Rayman 1.2. Source : Auteur 2024.

En outre, le modèle Rayman 1.2 peut calculer :

- ✓ Température radiante moyenne T_{mrt} .
- ✓ Le facteur de vue de ciel SVF.
- ✓ Irradiation globale.
- ✓ L'ombre.

- ✓ Orbite solaire.
- ✓ Température effective standard SET.
- ✓ Température physiologique équivalente PET.
- ✓ Vote moyen prévu PMV.

Le modèle Rayman 1.2 nécessite des données sur le bilan énergétique environnemental ou humain (voir figure V.24) pour calculer ces paramètres comme les divers données climatiques qui sont des données obligatoire , ainsi des données supplémentaire tel que la pressure de vapeur VP, le rayonnement global et la température moyenne radiante T_{mrt} mesuré .

The screenshot shows the RayMan 1.2 software interface with the following sections:

- Date and time:** Date (day.month.year) 6.2.2024, Day of year 37, Local time (h:mm) 21:19. Button: Now and today.
- Geographic data:** Location: 1st location - erster Ort. Buttons: Add location, Remove location. Geogr. longitude (..°.. E) 7°51', Geogr. latitude (..°.. N) 48°0', Altitude (m) 323, time zone (UTC + h) 1.0.
- Current data (highlighted in red):** Air temperature T_a (°C) 20.0, Vapour pressure VP (hPa) 12.5, Rel. Humidity RH (%) 53.5, Wind velocity v (m/s) 1.0, Cloud cover C (octas) 0, Global radiation G (W/m²), Mean radiant temp. T_{mrt} (°C).
- Personal data:** Height (m) 1.75, Weight (kg) 75.0, Age (a) 35, Sex m.
- Clothing and activity:** Clothing (clo) 0.9, Activity (W) 80.0.
- Thermal indices:** PMV, PET, SET*.
- Calculation:** Buttons: New, Add.
- Buttons: Close.

Figure V. 24: Les données nécessaires sur le bilan énergétique environnemental ou humain sur Rayman 1.2 .Source : auteur 2024.

La détermination des SVF est une caractéristique essentielle de Rayman 1.2. Des photos à l'œil de poisson, un croquis improvisé de l'horizon, une carte topographique en format raster ou un ensemble de informations sur les obstacles peuvent servir de base à cette détermination (Matzarakis et al., 2010).

Les fichiers d'obstacles Rayman, issus de fichiers texte séparés par des points-virgules, représentent une forme distinctive de données spatiales vectorielles, qui peut être produits automatiquement à partir de fichiers de forme en utilisant le plugin "Shp to Obs." ou manuellement en utilisant l'éditeur d'obstacles Rayman. Une image binaire en œil de poisson (Fish eye) est créée pour chaque option d'entrée, avec les valeurs 1 pour les pixels non obstrués et 0 pour le ciel libre.

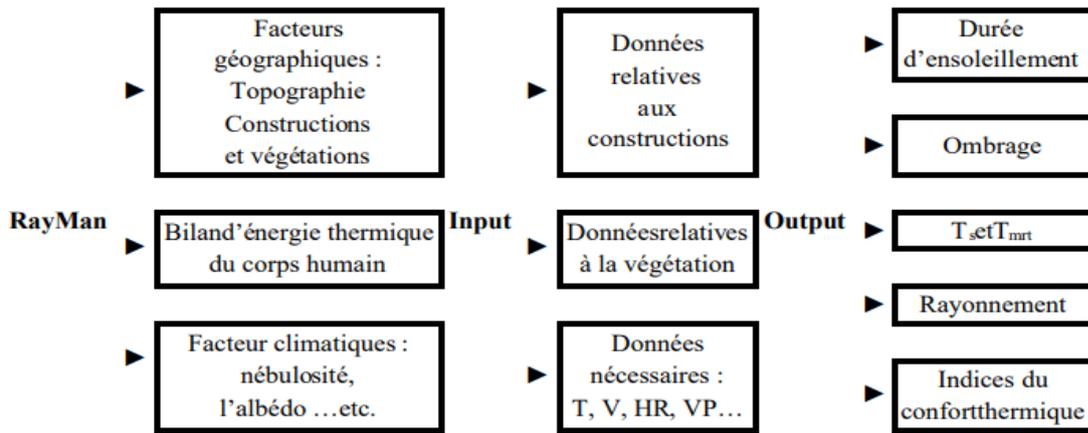


Figure V.25: Le principe de fonctionnement de modèle Rayman 1.2. Source : (HANAFI Abdelhakim, 2018).

V.2.4.1 Les étapes de modélisation :

Avant de commencer la modélisation par Rayman 1.2, les informations géographiques de la ville de Souk Ahras telles que la longitude, latitude, altitude et fuseau horaire; ainsi que les dates de modélisation, les données personnelles et les données thermo-physiologique sont toutes renseignées (voir tableau V. 5).

Tableau V.5: Information renseignées sur Rayman 1.2. Source : auteur 2024.

Données renseignées sur Rayman 1.2	
Les données géographiques de la ville	Longitude : 7° 57' 15 E
	Latitude : 36° 17' 15 N
	Altitude : 697 m
Dates de modélisation	Fuseau horaire : (UTC + h) 1
	le 16 juillet 2022 pour l'esplanade de Chaabani et le jardin public Baoulo. le 17 juillet 2022 pour la place E-Serdouk et la placette de l'indépendance.
Les données personnelles	Taille : 1.65 m
	Poids : 75 kg
	Age : 28 ans
Les données thermo-physiologiques	Sexe : Femelle
	Vêtements : 0.9 clo
	Activité : 80 w

Dans l'ordre de calculer les différents indicateurs thermiques comme la PET ; Tmrt et OUT-SET, les données relatives à l'environnement physique tel que les dimensions des bâtiments et arbres de chaque espaces publics sélectionnées via un total de 12 points de mesures sont toutes entrées et rendues à l'aide de fenêtre des obstacles (voir figure V.26) .

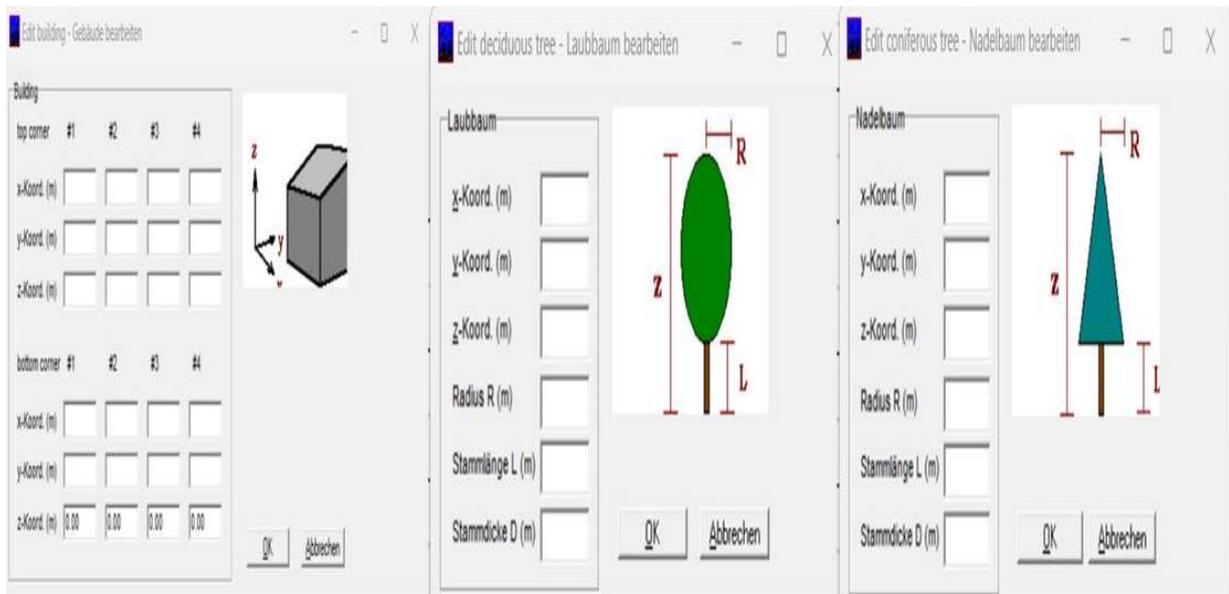


Figure V.26: Les fenêtres des obstacles du modèle Rayman 1.2 .Source : auteur 2024.

Par la suite toutes les données climatiques mesurées dans les espaces publics choisis via les divers points de mesures sont entrées pour déterminer les valeurs des divers indicateurs (PET, OUT-SET), ainsi que la Tmrt et le Sky view factor SVF; afin d'analyser le rôle de l'effet rafraichissant des arbres urbains sur le confort thermique extérieur par comparaison.

Conclusion :

Ce chapitre vise à donner un aperçu sur le matériel et la méthode d'étude, les 5 espaces publics sélectionnées dans cette recherche ; d'où il décrit les critères de choix et leur caractéristique. Il présente aussi la méthodologie utilisée dans notre recherche ; toute en commençant par une investigation sur terrain menée par une enquête par questionnaire destinés aux usagers des espaces publics choisis, ce qui rend possible de recueillir les informations requises sur leur perception et sensation thermique extérieur ainsi l'acceptation de l'environnement physique. Ensuite des campagnes de mesures des divers paramètres climatique a été effectué pendant le mois de juillet 2022 dans les espaces publics choisis via une totalité de 16 points de mesures à l'aide de ces appareils de mesures : Le thermo hygromètre portatif HANNA (HI9565 -A02350072111), le thermomètre hygromètre Chauvin

Arnoux (C.A 846 ; 692670A00 - Ed.5) et un anémomètre TROTEC à hélice ba16. D'où les mesures ont été effectuées toutes les deux heures (bi-horaire), de 6 a.m à 6 p.m à une élévation de 1,5 mètre au-dessus du sol; afin d'évaluer l'impact et l'effet des plans d'eau existé et les arbres sur la régulation de microclimat urbain par comparaison.

Suivie par la modélisation numérique par le modèle Rayman 1.2 ; pour faire calculer les indices thermiques tels que la PET, la OUT-SET, la Tmrt et le Skye view factor SVF sur une variété des points de mesures ; en vue de comparer et d'évaluer l'impact de rafraichissantes des arbres sur le confort thermique extérieur à la ville de souk ahars.

Chapitre 6 : Résultats et discussion

Introduction:

Dans ce chapitre, nous commencerons à examiner et à discuter de nombreux résultats obtenus lors l'investigation sur terrain, qui se divise en trois parties : une enquête sur terrain, des campagnes de mesures et la modélisation numérique. D'abord, nous allons exposer les résultats de l'enquête en utilisant un questionnaire destiné aux usagers des espaces publics choisis. Les données collectées sont employées afin d'appréhender et étudier les actions et les comportements des usagers, ainsi que leur perception de la chaleur et leur perception de l'environnement thermique. Les données du questionnaire sont analysées en utilisant le logiciel de statistiques SPSS Statistics 29.0.

Par la suite, nous examinerons les résultats des mesures microclimatiques obtenus, ainsi que la modélisation numérique pour calculer les différents indicateurs thermiques dans le but d'analyser le rôle des arbres existé dans les espaces publics choisis sur la régulation des conditions microclimatiques et l'amélioration du confort thermique extérieur dans la ville de Souk Ahars. La troisième partie de ce chapitre est consacré pour analyser les résultats des campagnes de mesures dans les espaces publics choisis , d'où ils seront examiné, discuté et étudié selon une approche comparative afin de faire une distinction précise sur l'effet des plans d'eau dans l'optimisation des paramètres microclimatique et le confort thermique extérieur.

VI.1 Les résultats obtenus de l'enquête par questionnaire:

Le SPSS Statistics 29.0 a été employé pour analyser les informations recueillies dans les cinq sites d'intervention, d'où le nombre de questionnaires effectifs dans cette étude est de 325 personnes sur 325 distribuer entre les cinq sites d'une manière égale.

VI.1.1 Selon le genre et la moyenne d'âge :

L'enquête subjective a été réalisée au cours de six sessions successives, avec une répartition équilibrée entre les sexes 44,3 % de femmes et 55,7 % d'hommes, dans lesquelles le moyen d'âge des personnes interrogées est 63.1% pour les adultes et 36.9% pour les adolescents (voir figure VI.1).

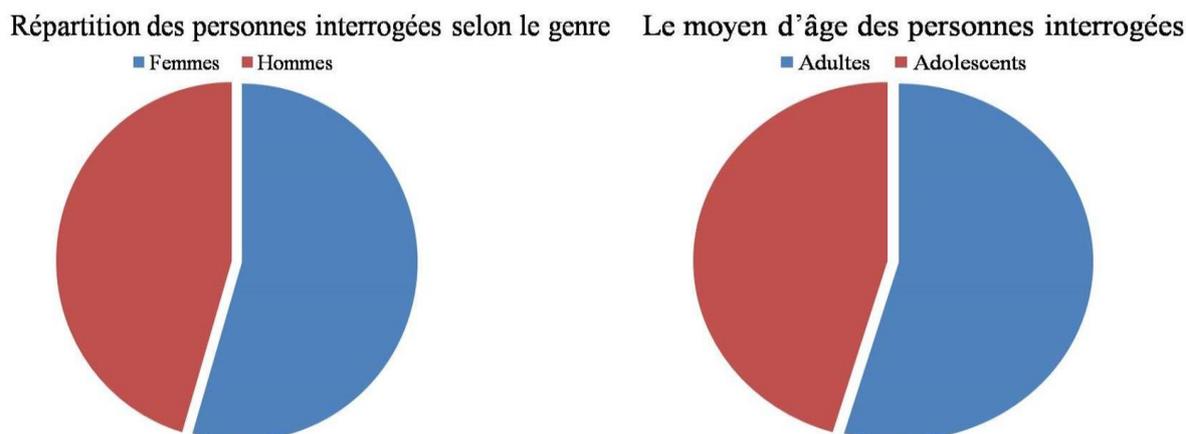


Figure VI.1: Répartition des personnes interrogées selon le genre et le moyen d'âge. Source: auteur 2024.

Le tableau suivant présente la distribution des personnes interrogées par nombre et moyen selon le genre ; les sessions et l'âge dans l'ensemble des cinq sites d'intervention.

Tableau VI.1: distribution des personnes interrogées dans les cinq sites d'intervention par nombres et moyen selon le sexe ; les sessions et l'âge. Source : auteur 2024.

Critère :	Choix	nombres	Moyen
Sexe	Homme	181	55.7%
	Femme	144	44.3%
Session	La session 1	33	10.1%
	La session 2	51	15.7%
	La session 3	58	17.8%
	La session 4	32	9.8%
	La session 5	65	20%
	La session 6	86	26.6%
Age	Adulte (entre 20-68 ans).	205	63.1%
	Adolescent (entre 15-19 ans).	120	36.9%

VI.1.2 Selon la fonction et le niveau d'éducation, usage, fréquentation de l'espace public et durées de visite :

Le moyen de la fonction et de niveau d'éducation des personnes interrogées dans les cinq sites d'intervention est 32.3% pour les fonctionnaires ; 16.9% pour les étudiants

universitaires, 19.1% pour les retraités ; 14.7% pour les élèves ; 13.8% pour les non employés et 3.2% pour le choix autres (voir figure VI.2).

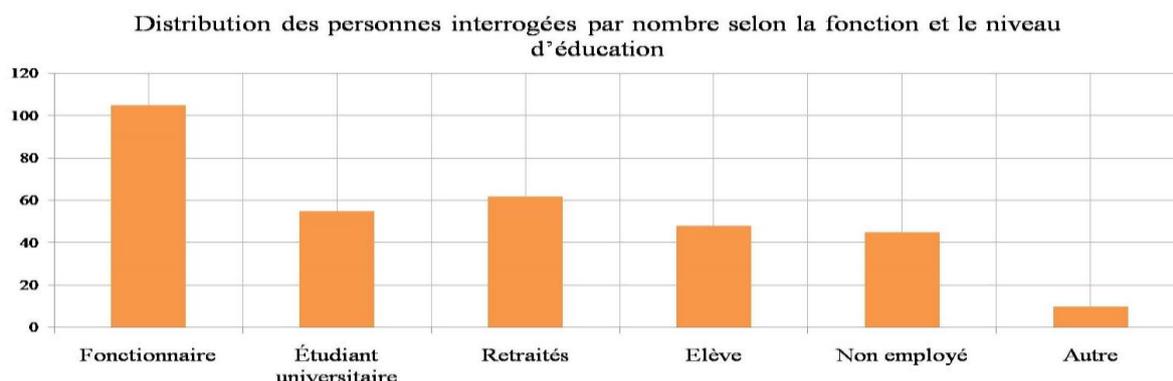


Figure VI.2: Distribution des personnes interrogées dans les cinq sites d'intervention par nombre selon la fonction et le niveau d'éducation. Source : auteur 2024.

Pour l'usage et la fréquentation de l'espace extérieur ; la plupart des personnes interrogées ont choisi l'espace public pour « sa bonne situation » 41,8% ; suivi par la deuxième proposition qui est « pour son animation » 29.2 %, et la troisième proposition qui est « niveau de confort » 17.8 % ; le reste des répondant ont choisi la proposition « autres » 11.2% (voir figure VI.3).

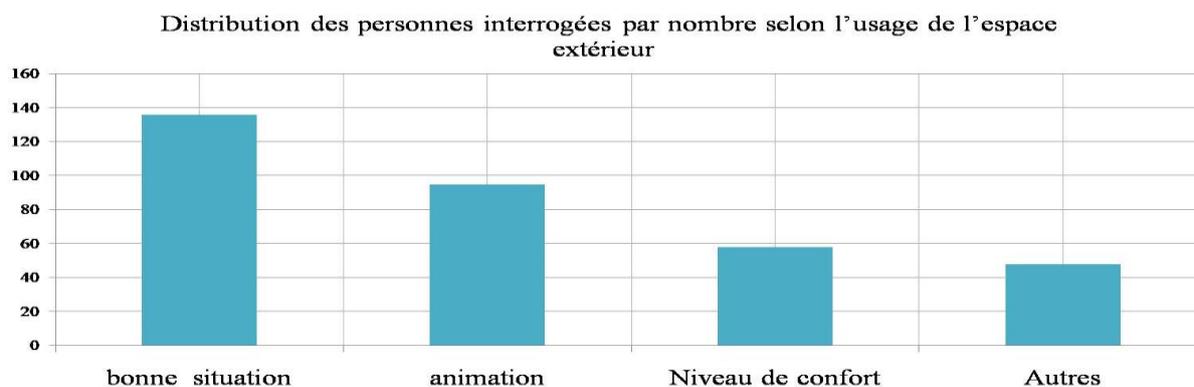


Figure VI.3: Distribution des personnes interrogées dans les cinq sites d'intervention par nombre selon l'usage de l'espace extérieur. Source: auteur 2024.

Avec un pourcentage de 50,8 % les usagers fréquentent ces espaces extérieurs toujours alors que 33.2% plusieurs fois par semaine et 16% seulement pour une fois par semaine.

La durée de visite de l'espace extérieur est partagée selon quartes propositions dans lequel la durée d'une heure de visite est la plus choisie par un pourcentage de 50.8% (voir tableau VI.2).

Tableau VI.2: Distribution des personnes interrogées par nombre et le moyen selon la fonction et le niveau d'éducation ; le choix et la fréquentation de l'espace public et la durée de visite dans les cinq sites d'intervention .Source 2024.

Critère :	Choix	nombres	Moyen
La fonction et le niveau d'éducation	<i>Fonctionnaire</i>	105	32.3%
	<i>Étudiant universitaire</i>	55	16.9%
	<i>retraités</i>	62	19.1%
	<i>Elève</i>	48	14.7%
	<i>Non employé</i>	45	13.8%
Choix d'espace publics	<i>Autres</i>	10	3.2%
	<i>bonne situation</i>	136	41.8%
	<i>animation</i>	95	29.2%
	<i>Niveau de confort</i>	58	17.8%
Fréquentation de l'espace public	<i>Autres</i>	36	11.2%
	<i>Toujours</i>	165	50.8%
	<i>plusieurs fois par semaine</i>	108	33.2%
	<i>une fois par semaine</i>	52	16 %
Durée de visite	<i>Une heure</i>	165	50.8%
	<i>Plus d'une heure</i>	68	20.9%
	<i>Minutes</i>	92	28.3%

VI.1.3 Selon le confort et la satisfaction de l'environnement thermique :

Dans le cadre du vote de la sensation thermique (TSV) ; les plus votés dans les cinq sites d'intervention est " chaud =+2 " avec un pourcentage de 38.5% ; suivi par "légèrement chaud =+1" avec un pourcentage de 36.3% et 13.5 % pour "neutre=0 " ; le reste des interrogés en voté pour " très chaud =+3 " avec un pourcentage de 11.7% (voir figure VI. 4).

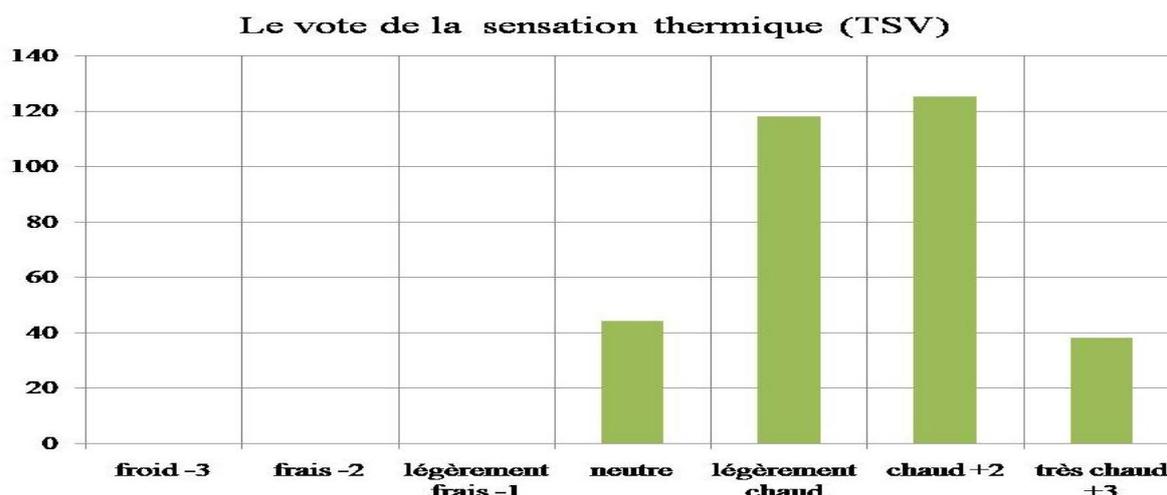


Figure VI.4: Le vote de la sensation thermique TSV dans les cinq sites d'intervention .Source: auteur 2024.

Concernant la sensation de la température d'air ; les personnes interrogés dans les cinq sites d'intervention en voté pour "plus élevé " avec un pourcentage de 41.6% ; suivi par "acceptable" avec 33.8% et "agréable" avec 24.6%. Par contre dans la sensation de vitesse de vent ; le plus voté est "acceptable " par un pourcentage de 34.8% suivi par "un peu stagnant" avec 27.4 % et 22.8 % pour " un peu doux " ; 10.8% pour "doux "et 4.2% pou "stagnant ".

A propos de la sensation de l'humidité relative des personnes interrogées ; la majorité en voter pour" acceptable " 32.3 % suivi par 29.8 % pour "un peu humide " et 20.6% pour "un peu sec ". En outre, la plupart des répondants ont voté " inconfortable " pour la description de leur niveau de confort général ; avec un pourcentage de 44.6 % suivi par "confortable" 29.9% et "neutre" 25.5%. (Voir tableau VI.3).

Tableau VI. 3: Une liste des réponses aux questions de troisième section sous forme de résumé dans les cinq sites d'intervention .Source : auteur 2024.

Question	variable	Option	Nb	pourcentage
4	Vote de sensation thermique SVF	froid -3	0	0%
		frais -2	0	0%
		légèrement frais -1	0	0%
		neutre 0	44	13.5%
		légèrement chaud +1	118	36.3%
		Chaud +2	125	38.5%

5	<i>Sensation de la température d'air</i>	<i>Très chaud +3</i>	38	11.7%
		<i>Agréable</i>	80	24.6%
		<i>Acceptable</i>	110	33.8%
		<i>Plus élevé</i>	135	41.6%
6	<i>Sensation de vitesse de vent</i>	<i>doux</i>	35	10.8%
		<i>un peu doux</i>	74	22.8%
		<i>Acceptable</i>	113	34.8%
		<i>un peu stagnant</i>	89	27.4%
		<i>stagnant</i>	14	4.2%
7	<i>Sensation de l'humidité relative</i>	<i>Humide</i>	45	13.8%
		<i>Un peu humide</i>	97	29.8%
		<i>Acceptable</i>	105	32.3%
		<i>Un peu sec</i>	67	20.6%
		<i>Sec</i>	11	3.5%
8	<i>Description de niveau de confort</i>	<i>Inconfortable</i>	145	44.6%
		<i>Neutre</i>	83	25.5%
		<i>confortable</i>	97	29.9%
9	<i>Description de niveau de tolérance l'environnement thermique</i>	<i>Inacceptable</i>	141	43.4%
		<i>acceptable</i>	99	30.5%
		<i>Absolument acceptable</i>	85	26.1%

Les données sur le vote thermique sensoriel des répondants ont été compilées et évaluées, pour déterminer la sensation thermique des usagers des cinq sites choisis : celle de la placette de l'indépendance, l'esplanade de chaabani, le jardin public Baoulo, place E-Serdouk et le jardin communal ; les résultats montrent qu'il y a une variété dans les pourcentages calculés; d'où les propositions suivantes ont occupé les premières positions : "neutre 0" dans la placette de l'indépendance avec 31.8% ; "très chaud +2" dans l'esplanade de chaabani et le jardin public Baoulo avec 23.7 % et 21.1% , "légèrement chaud +3" dans la place E-Serdouk et le jardin communal avec 20.3% et 27.2% (voir figure VI.5).

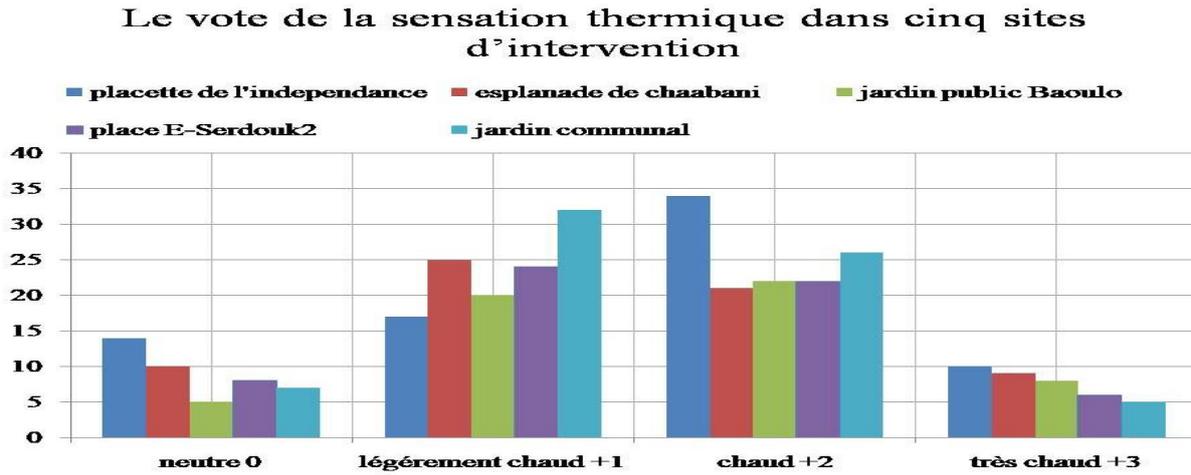


Figure VI.5: le sondage de la sensation thermique dans les cinq sites d'intervention .Source : auteur 2024.

Pour la sensation de la température d'air dans les cinq sites d'intervention ; la majorité en voter pour "plus élevé " avec un pourcentage de 22.9 % pour la placette de l'indépendance, 19.3% pour l'esplanade de chaabani ,20.4% pour le jardin public Baoulo ,20% pour la place E-Serdouk et 17.4% pour le jardin communal (voir figure VI. 6).

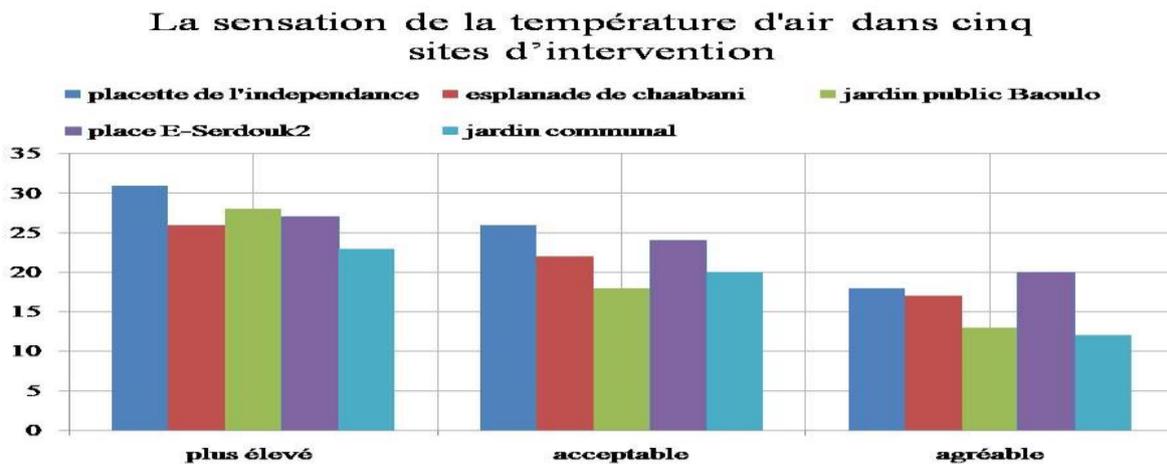


Figure VI.6:La sensation de la température d'air dans les cinq sites d'intervention .Source : auteur 2024.

Cependant " un peu stagnant "est le plus voté dans la placette de l'indépendance et l'esplanade de chaabani pour la sensation de vitesse d'air avec un pourcentage de 34.8% et 31.5% ; bien au contraire au jardin public Baoulo et la place E-Serdouk dans lequel " un peu doux" est en premier position avec 32.4 % et 24.3 % (voir figure VI.7).

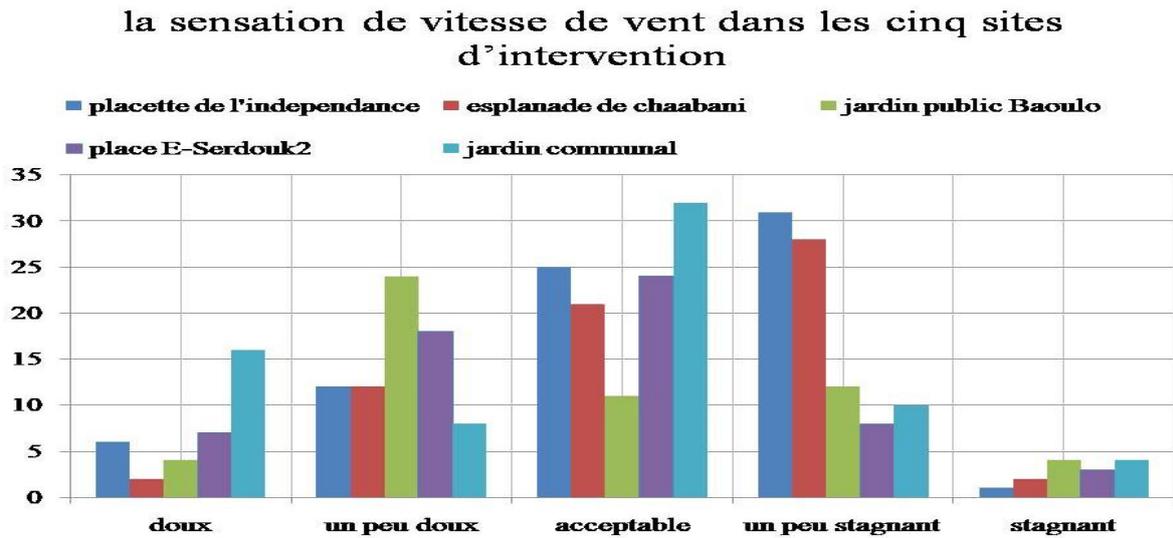


Figure VI.7: La sensation de vitesse de vent dans les cinq sites d'intervention. Source: auteur 2024.

Pour la sensation de l'humidité relative, "Acceptable" est la plus voté dans la placette de l'indépendance et l'esplanade de chaabani avec des pourcentages de 27.6% et 25.7%, par contre un peu sec est la plus voté dans le jardin public Baoulo et le jardin communal avec un pourcentage de 28.7% et 27.2%. cependant a la place E-Serdouk la proposition "humide" est la plus voté avec un pourcentage de 26.7% (voir figure VI.8).

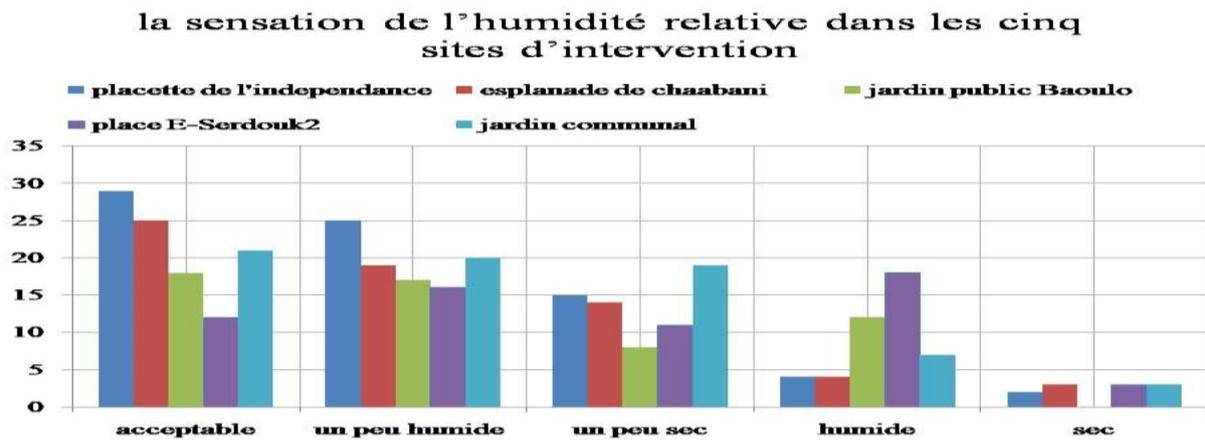


Figure VI.8: La sensation de l'humidité relative dans les cinq sites d'intervention. Source: auteur 2024.

La figure 9 représente les résultats de description de niveau de confort général des personnes interrogées dans les cinq sites d'intervention .La première proposition "inconfortable" est la plus voté dans la placette de l'indépendance et le jardin communal avec des pourcentages de 24.11% et 29%; pour l'esplanade de chaabani, le jardin public Baoulo et la place E-Serdouk "neutre " est la plus votés avec des pourcentages de 28.9% et 24.1% ce qui montre une forte

relation entre la sensation thermique et le niveau de confort général des personnes qui fréquentent ces espaces publics (voir figure VI.9).

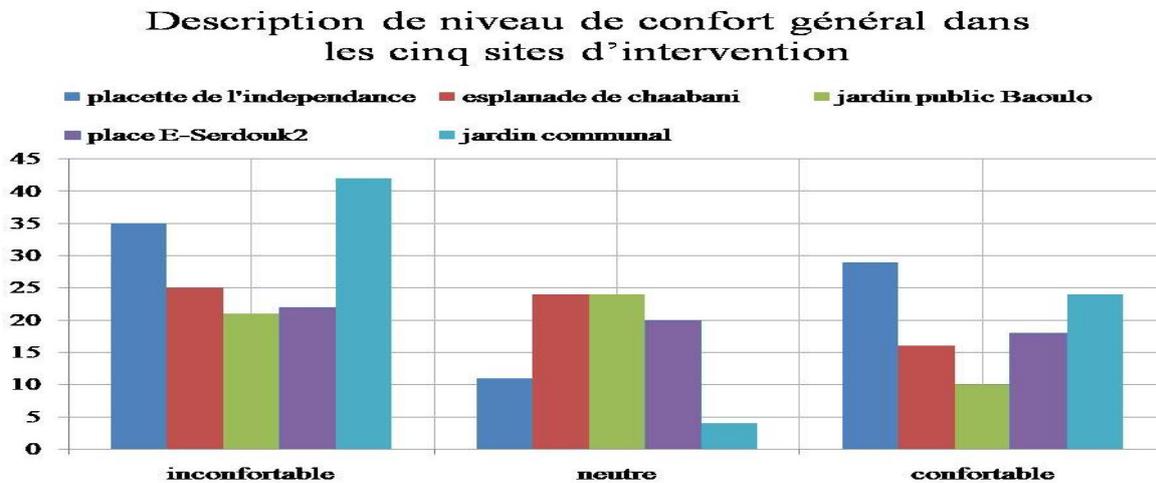


Figure VI.9: Description de niveau de confort général dans les cinq sites d'intervention. Source : auteur 2024.

Les résultats du vote sur l'acceptabilité de l'environnement thermique des personnes interrogés dans les cinq sites choisis ; sont accordé avec les résultats du vote sur la sensation thermique et le vote sur le niveau de confort général. La figure 10 montre le nombre de personnes interrogées qui ont voté pour l'acceptabilité de l'environnement thermique dans cinq sites. Dans lesquels "inacceptable" est le plus voté dans la placette de l'indépendance et le jardin communal avec des pourcentages de 25.5% et 29.8%, notamment la proposition "absolument acceptable" avec 28.2% dans l'esplanade de chaabani et 23.5 % pour la place E-Serdouk a reçu le plus grand nombre de votes (voir figure VI.10).

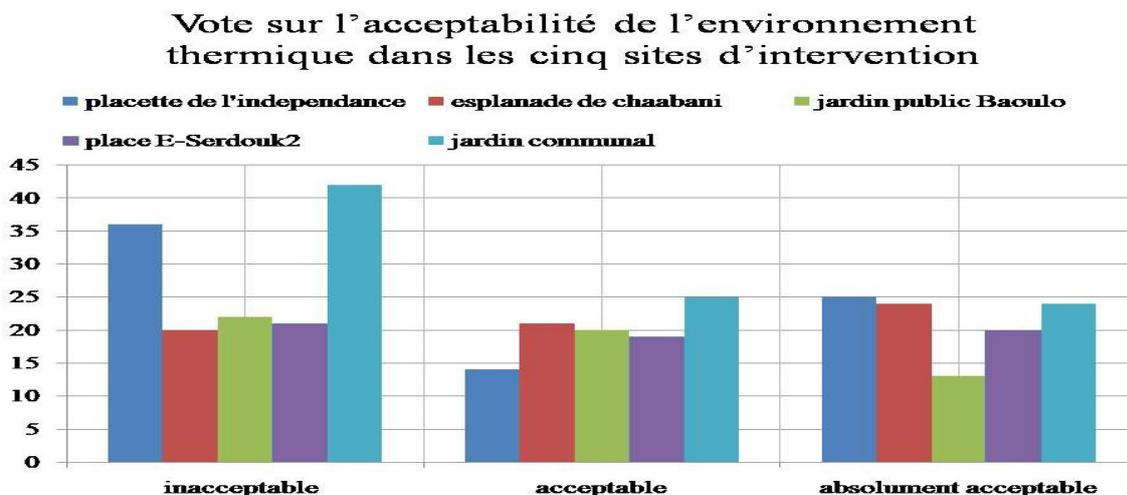


Figure VI.96 : Vote sur l'acceptabilité de l'environnement thermique dans les cinq sites d'intervention. Source : auteur 2024

D’après tous les précédents résultats obtenu ; on peut noter que les résultats de l’étude pour le vote sur la sensation thermique semblent appropriés, et l’échelle en sept points de l’ASHRAE détermine que la ville de Souk Ahars est admissible à l’application de la sensation thermique.

VI.1.4 Selon les composants naturels de l’environnement physique :

Le tableau VI.4 présente les résultats de l’effet des arbres et les plans d’eau existée sur la qualité générale des sites d’interventions ainsi la sensation de la chaleur a proximité de ces éléments naturels.

Tableau VI.4 : les résultats de l’effet des arbres et les plans d’eau existée sur la qualité générale des sites d’interventions et la sensation de la chaleur. Source : auteur 2024.

Question	variable	Option	Nb	pourcentage
10	l’effet des arbres existé sur la qualité générale de l’espace	Extrêmement positive	189	58.2%
		Plutôt positif	130	40 %
		neutre	6	1.8 %
		Plutôt négatif	0	0 %
		Extrêmes négative	0	0 %
11	l’effet des plans d’eau existé sur la qualité générale de l’espace	Extrêmement positive	109	51.9%
		Plutôt positif	98	46.7 %
		neutre	3	1.4 %
		Plutôt négatif	0	0 %
		Extrêmes négative	0	0 %
12	La sensation de la chaleur à proximité des arbres	Rafraichissant	187	57.5%
		Leger impact positif	134	41.2%
		Neutre	4	1.3%
		Léger impact négative	0	0%
		inconfortable	0	0%
13	La sensation de la chaleur à proximité des plans d’eau.	Rafraichissant	65	30.9%
		Leger impact positif	107	50.9%
		Neutre	38	18.2 %
		Léger impact négative	0	0 %
		inconfortable	0	0%

La proposition ‘‘extrêmement positive’’ est la plus votés par les usagers des cinq sites choisis pour décrire l’effet des arbres existé sur la qualité générale de l’espace avec un pourcentage de 58.2 % ; pour la sensation de chaleur à proximité des arbres, la majorité des

répondants en choisit la proposition “rafraichissant” avec 57.5% suivi par “léger impact positif ” avec 41.2 % (voir figure VI.11).

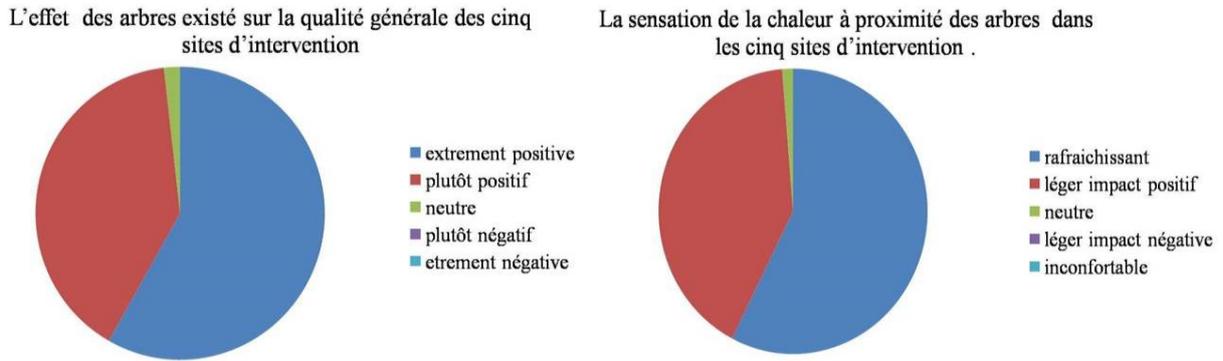


Figure VI.11 : L'effet des arbres sur la qualité générale des sites d'interventions et la sensation de la chaleur. Source : 2024.

La majorité de personnes interrogées dans les sites d'intervention qui contient des plans d'eau ceux de la placette de l'indépendance, l'esplanade de chaabani et le jardin communal ont choisis la proposition “extrêmement positive” pour déterminer l'effet de ces élément naturels sur la qualité général de ces espaces publics avec un pourcentage de 51.9% suivi par plutôt positif avec 46.7%.Cependant “léger impact positif ” a occupé la première place avec un pourcentage de 50.9 % pour décrire la sensation de la chaleur des usagers a proximité des plans d'eau dans ces sites d'intervention (voir figure VI.12) .

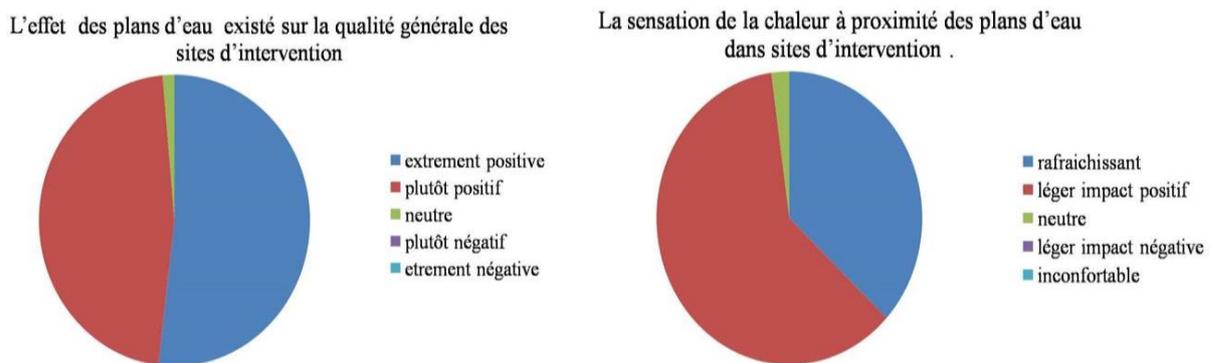


Figure VI.97: L'effet des plans d'eau sur la qualité générale des sites d'interventions et la sensation de la chaleur. Source : 2024.

VI.2 L'évaluation de l'effet des arbres sur la configuration de microclimat urbain et l'amélioration de confort thermique extérieur a la ville de souk ahars :

Dans le but de déterminer le rôle de la végétation (les arbres) dans la régulation et l'optimisation thermique à la ville de souk ahars, nous avons effectué deux campagnes de

mesures sur terrain (le 16/07/2022 et le 17/07/2022). Notamment trois paramètres climatiques sont mesuré ; la température d’air T_a , la vitesse de vent V_a et l’humidité relative RH dans quatre espaces publics (l’esplanade de chaabani, le jardin public Baoulo, la placette de l’indépendance et la place E-Serdouk) sur une totalité de 12 points de mesures.

VI.2.1 L’analyse des différentes mesures microclimatiques effectuées sur les quatres sites d’intervention :

Pendant le mois de juillet (le 16 et 17 juillet 2022) a l’aide de trois instruments de mesures calibré (Le thermo hygromètre portatif HANNA (HI9565 -A02350072111), le thermomètre hygromètre Chauvin Arnoux (C.A 846 ; 692670A00 - Ed.5) et un anémomètre TROTEC à hélice ba16) ; des mesures microclimatiques des quatres espaces publics choisis ont été obtenues simultanément notamment la température de l’air (°C), l’humidité relative (%) et la vitesse du vent (m/s) ; d’où les mesures ont été effectuées à 1,5 mètre au-dessus du sol ; sept fois par jours (bi-horaires) de 06:00 a.m à 6:00 p.m (voir tableau VI.5) .

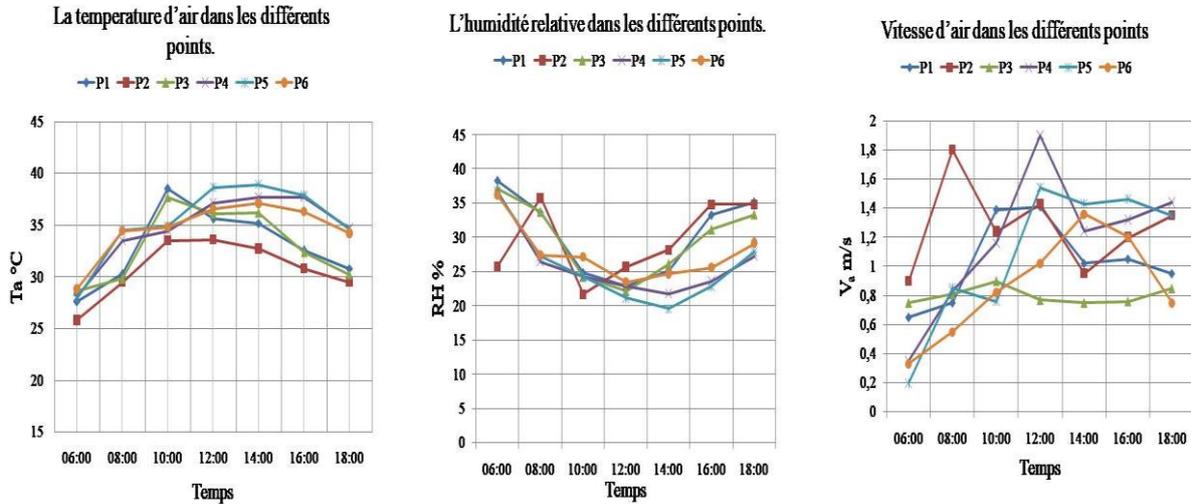
Tableau VI.5: Les données météorologiques actuelles mesurées dans les sites d’intervention. Source : auteur 2024.

Paramètre microclimatique	Date	temps	L’esplanade de chaabani			Jardin public Baoulo			Date	Place E-Serdouk			Placette de l’indépendance		
			P1	P2	P3	P4	P5	P6		P7	P8	P9	P10	P11	P12
Temperature T_a C°	16-07-2022	6 a.m	27.6	25.8	28.6	28.1	27.9	28.8	17-07-2022	28.7	27.9	28.9	27.1	28.6	26.6
		8 a.m	30.3	29.5	29.8	33.5	34.5	34.4		33.4	33.4	34.1	32.1	32.5	31.4
		10 a.m	38.5	33.5	37.7	34.4	34.9	34.8		34.9	34.1	34.1	38.8	37.8	37.0
		12 a.m	35.6	33.6	36.1	37.1	38.6	36.6		37.2	38.0	39.0	40.5	36.8	36.0
		2 p.m	35.2	32.7	36.2	37.7	38.9	37.1		37.1	37.4	38.8	36.4	35.6	35.8
		4 p.m	32.5	30.8	32.4	37.7	37.9	36.3		33.2	35.8	33.6	32.5	32.8	32.4
		6 p.m	30.8	29.5	30.2	34.7	34.6	34.2		31.2	32.3	31.4	31.2	30.4	30.2
Humidité relative RH%		6 a.m	38.3	25.8	37.2	36.7	36.4	36.2		38.7	34.8	38.6	40.5	36.1	40.9
		8 a.m	33.7	35.8	33.8	26.5	27.2	27.4		30.2	33.8	30.2	31.7	30.7	36.4
		10 a.m	24.9	21.7	24.3	24.3	24.3	27.2		27.8	27.4	29.0	25.0	26	28.0
		12 a.m	22.9	25.7	22.2	22.9	21.1	23.5		24.0	21.1	22.1	22.4	21.4	23.1
		2 p.m	25.2	28.2	26.2	21.8	19.6	24.7		28.5	26.5	28.2	25.2	24.3	25.4
		4 p.m	33.3	34.8	31.2	23.6	22.8	25.6		32.8	28.6	32.4	33.2	33.8	33.2
		6 p.m	35.2	34.8	33.4	27.3	27.9	29.2		34.02	35.8	33.2	34.5	34.2	34.2
Vitesse de vent V_a m/s	6 a.m	0.65	0.90	0.75	0.35	0.20	0.33	0.65	0.75	0.75	0.55	0.75	0.76		
	8 a.m	0.75	1.80	0.81	0.83	0.85	0.55	0.75	1.43	0.60	0.80	0.77	0.80		
	10 a.m	1.39	1.24	0.9	1.16	0.76	0.82	0.90	1.90	1.00	0.75	1.60	0.75		
	12 a.m	1.41	1.43	0.77	1.90	1.54	1.02	1.10	0.77	0.40	0.75	0.77	1.49		
	2 p.m	1.02	0.95	0.75	1.24	1.43	1.36	0.85	1.30	0.85	0.85	0.80	1.02		
	4 p.m	1.05	1.20	0.76	1.32	1.46	1.2	0.95	1.20	0.80	0.85	0.95	0.85		
	6 p.m	0.95	1.35	0.85	1.44	1.35	0.75	0.90	1.25	0.95	0.95	0.95	0.95		

La figure VI.13 présente une comparaison parallèle des 3 facteurs microclimatiques évalués (température de l’ait T_a , humidité relative RH et vitesse de vent V_a) dans les divers sites d’interventions, celle de l’esplanade de chaabani et le jardin public Baoulo pendant le 16

juillet 2022 et la place E-Serdouk, la placette de l'indépendance pendant le 17 juillet 2022, couvrant 12 point différents allant de 6 :00 .a.m jusqu'à 6 :00 p.m.

La campagne de mesure du 16 juillet 2022



La campagne de mesure du 17 juillet 2022

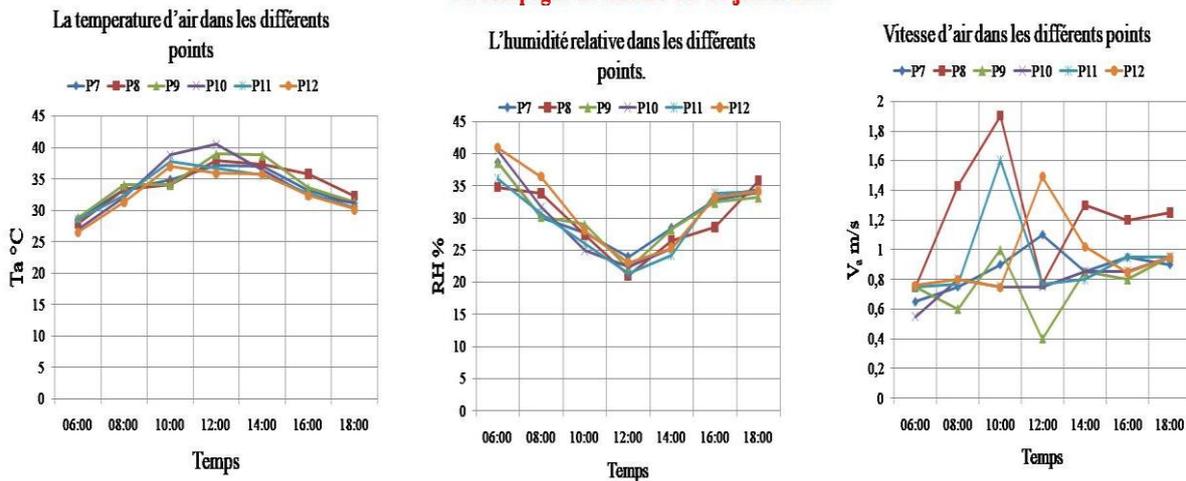


Figure VI.98: La comparaison des données météorologiques actuelles mesurées dans les sites d'intervention. Source : auteur 2024.

❖ **La campagne de mesure du 16 juillet 2022 :**

La valeur de température de l'air la plus élevée est enregistré à 12 :00 p.m. dans P5 du 2ème site avec 38.9 C° ; tandis que P2 de premier site présente la valeur de température d'air la plus basse enregistré à 6 :00 a.m avec 25.8 C°. L'évaluation des moyens de température d'air enregistrés dans les 2 sites d'interventions montre que le P2 de premier site a observé les températures d'air les plus faibles pendant la journée avec un $T_{a-moyen.P2}=30.77 C^{\circ}$ comparé de tous le reste des points. On remarque aussi, que P6 présente les moyens de température

d'air le plus bas dans le deuxième site. Ces deux points P2 et P6 sont des points végétaux, ce qui suggère que lors des journées chaudes, les arbres influencent directement la température de l'air en l'abaissant. Sur le premier site, les relevés de température diurne sont plus froids que sur le premier avec une différence de température de 2.64 C° .

Pour l'humidité relative, la valeur la plus élevée était enregistré à 6 :00 a.m en P1 dans le premier site par 38.3%, par contre P5 du deuxième site représente la valeur la plus basse par 19.6 % enregistré à 2 p.m. Les moyens les plus élevés d'humidité relative sont enregistrés dans le premier site au P1 avec $RH_{\text{Moyen.P1}}=30.5\%$ tandis que P5 du deuxième site présente le moyen d'humidité relative le plus bas P5, $RH_{\text{Moyen.P5}}=25.61\%$. Cela est fortement lié à la différence du pourcentage de couverture végétale existé dans les deux sites, 31,41% au premier site et 24.16 % au deuxième site.

En outre, à 12 :00 a.m dans le premier site ; P4 a été enregistré la valeur de vitesse de vent la plus élevée 1.9 m/s d'où la valeur la plus basse est enregistré à 6 :00 a.m pour P5 du deuxième site 0.2 m/s.

❖ La campagne de mesure du 17 juillet 2022 :

La valeur de température de l'air la plus élevée dans les deux sites était enregistré à 12 :00 a.m dans P10 du avec 40.5 C° ; alors que à 6 :00 a.m le point P12 du quatrième site présente la valeur de température d'air la plus basse 26.6 C° . Le point P12 du quatrième site d'intervention a observé le moyen de température d'air la plus basse tout au long de la journée avec $T_{a.\text{Moyen.P12}}=32.77\text{ C}^\circ$. Dans le premier site P7 et P8 présentent les moyens de températures d'air les plus basses par $T_{a.\text{Moyen.P7}}=33.67\text{ C}^\circ$ et $T_{a.\text{Moyen.P8}}=34.12\text{ C}^\circ$. Ces résultats ont une forte relation avec les arbres près de ces points mesures.

Pour l'humidité relative, la valeur la plus élevée était enregistré à 6 :00 a.m en P12 dans le quatrième site par 40.9%, par contre P8 du troisième site représente la valeur la plus basse par 21.1 % enregistré à 12 a.m. Les moyens les plus élevés d'humidité relative sont enregistrés dans le quatrième site au P12 avec $RH_{\text{Moyen.P12}}=31.6\%$ tandis que P8 du troisième site présente le moyen d'humidité relative le plus bas, $RH_{\text{Moyen.P8}}=29.97\%$.

En outre, à 10 :00 a.m dans le troisième site ; P8 a été enregistré la valeur de vitesse de vent la plus élevée 1.9 m/s d'où la valeur la plus basse est enregistré à 12 :00 a.m pour P9 du deuxième site 0.4 m/s. dans le troisième site P8 enregistre le moyen le plus élevé de vitesse d'air toute long de la journée avec $V_{a.\text{Moyen.P8}}=1.22\text{ m/s}$.

VI.2.2 Évaluation des niveaux de facteur de visibilité du ciel SVF et de stress thermique :

Avant de commencer la modélisation de Rayman 1.2, les informations géographiques de la ville de Souk Aharas ($7^{\circ} 57' 15$ E, $36^{\circ} 17' 15$ N, altitude 697m et fuseau horaire (UTC + 1h) ; ainsi que la date de modélisation (le 16 juillet 2022 pour le premier et le deuxième site et le 17 juillet 2022 pour le troisième et le quatrième site) et les données personnelles et les données concernant les vêtements (0.9 clo) et l'activité (80 w) sont toutes renseignées.

Dans l'ordre de mesurés les divers indicateurs thermiques tels que le SVF, PET ; Tmrt et OUT-SET, les données relatives à l'environnement physique (dimensions des bâtiments et arbres) de chaque site sur un total de 12 points sont toutes renseignées. (Voir figure VI.14).

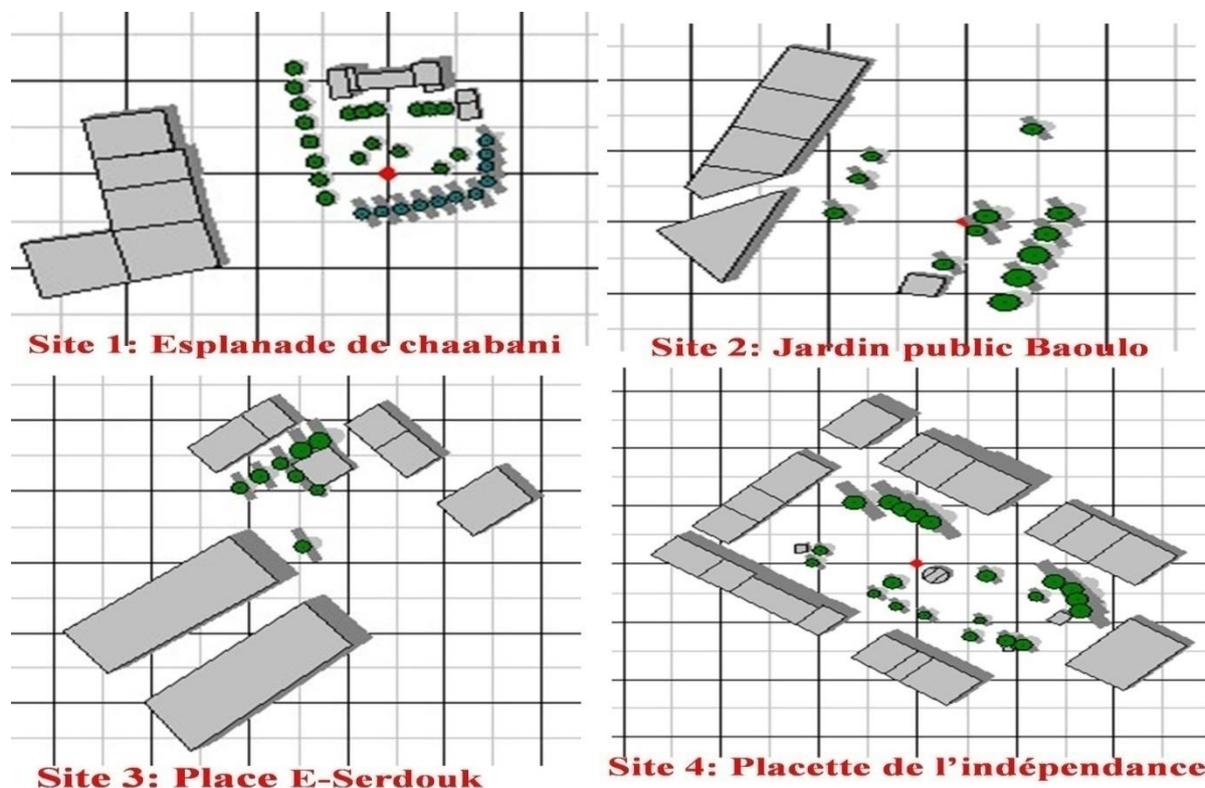


Figure VI.99: Illustration de l'environnement physique des sites d'intervention par Rayman 1.2. Source : auteur 2024.

La figure VI.15 présente ; la modélisation par Rayman 1.2 de deuze points de mesure distribuer pour les sites d'intervention.

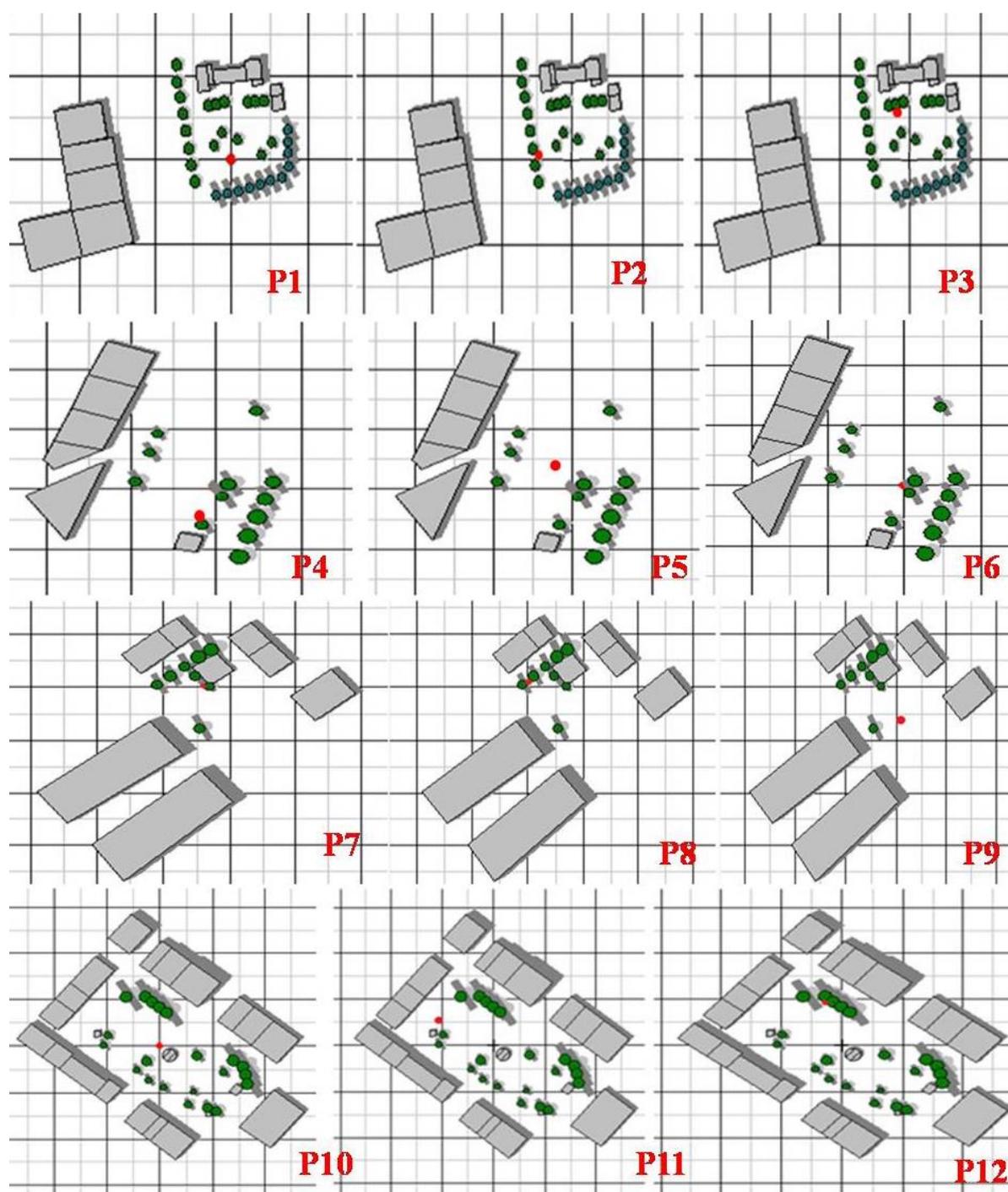


Figure VI.100: La modélisation des 12 points de mesure par Rayman 1.2 .Source : auteur 2024.

✓ **Evaluation de facteur de visibilité de ciel SVF :**

Les limites de l'horizon pour chacune des douze points de mesures sont affichées dans la figure VI.16, sous forme d'un diagramme de coordonnées polaires (Fish eye) réalisé avec Rayman 1.2, après l'entrée des données de l'environnement physique que ce soit les bâtiments ou bien les arbres.

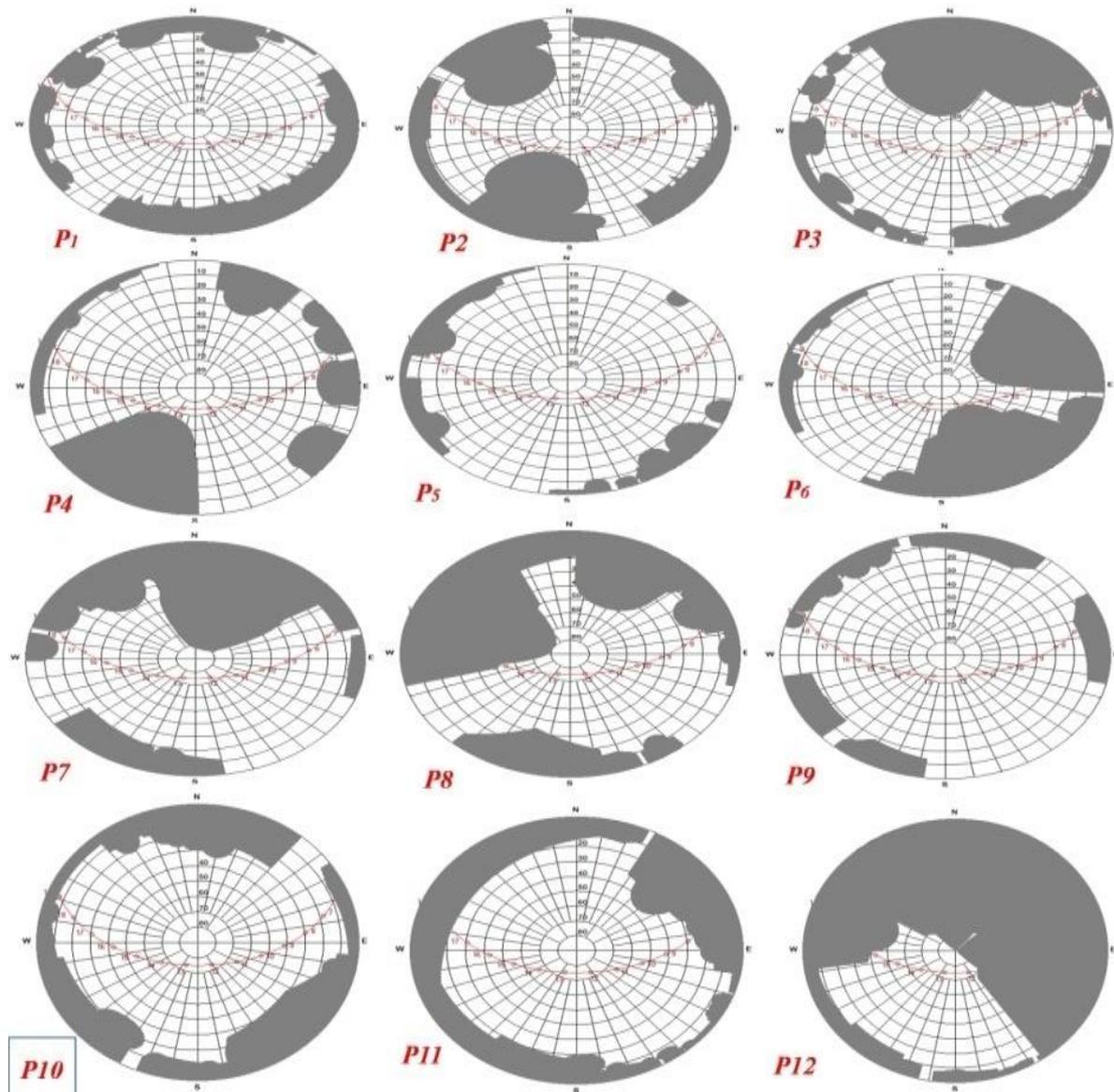


Figure VI.101: Diagramme polaire (image en Fish eye) des 12 points de mesure sur les sites d'intervention réalisés par Rayman 1.2. Source : auteur 2024.

Après l'analyse des valeurs des SVF obtenus de douze points de mesure des sites d'interventions (voir figure VI.17) ; la valeur la plus basse de SVF est représenté par le P12 dans le quatrième site avec un SVF égale à 0.304 ce qui signifie une limitation d'horizon de 69.9%, a cause de la nature de point de mesure qui est très proche des arbres de platanes. Cette valeur de SVF est suivie par le P8 du troisième site qui présente la deuxième valeur la plus basse où le SVF dans ce point est égale à 0.530 avec une limitation de l'horizon estimé de 47.09%. C'est résultat montre l'effet des arbres existé dans les différents sites sur les valeurs de SVF.



Figure VI.102: Valeurs de SVF et de limitation d'horizon calculées par Rayman 1.2 .Source : Auteur 2024.

✓ **Évaluation des valeurs de température radiante moyenne Tmrt :**

D’après l’analyse des résultats de modélisation, les valeurs calculées de température radiante moyenne Tmrt dans les sites d’intervention montre qu’ils sont très proche au valeur de température d’air à 6 :00 a.m et à 6 :00 p.m.

Tandis que les valeur de Tmrt marque une augmentation dans les restes heures de mesures (8 :00 a.m , 10 :00 a.m , 12 ;00 a.m , 2 :00 p.m. , 4 : 00 p.m.), ce qui signifie que la Tmrt est très sensibles à l'heure solaire (voir tableau VI.6).

Tableau VI.6: Valeurs de Tmrt aux différents points de mesure calculées par Rayman 1.2. Source : Auteur 2024.

Date	Temps	Esplanade de chaabani			Jardin public Baoulo			Date	Place E-Serdouk			Placette de l’indépendance		
		P1	P2	P3	P4	P5	P6		P7	P8	P9	P10	P11	12
16-07-2022	6 a.m	30.2	28.5	31.1	30.9	30.7	31.3	17-07-2022	31.5	30.4	31.5	30.1	31.1	29.2
	8 a.m	54.3	51.7	53.2	56.9	57.9	48.4		56.1	55.1	58.0	55.5	55.7	44.6
	10 a.m	66.5	62.4	66.6	63.6	65.3	64.7		64.6	61.7	64.3	68.0	65.5	55.2
	12 a.m	63.8	59.8	65.6	64.0	66.2	65.8		65.7	67.1	69.8	69.3	66.3	63.3
	2 p.m	64.8	62.8	65.8	66.1	66.9	65.0		66.3	65.4	68.2	65.9	65.4	64.2
	4 p.m	55.7	53.3	55.2	66.0	59.8	57.7		55.9	49.2	57.4	55.7	55.8	45.4
	6 p.m	33.4	32.1	32.6	63.5	36.5	36.5		33.5	34.6	33.9	33.8	32.8	32.6

❖ **La compagne de mesure du 16 juillet 2022 :**

La valeur la plus élevé de Tmrt était 66.9 C° pendant 2 :00 p.m. a P5 du deuxième site ; tandis que P2 du premier site a enregistré à 6 :00 a.m la valeur la plus basse de Tmrt avec

28.5 C°. Dans le premier site le point P2 a eu le moyens de Tmrt le plus bas en comparant de tout le reste de points avec Tmrt. $Moyen. P2=50.085$ C°.

Tandis que dans le deuxième site la valeur la plus basse de moyens Tmrt était pour P6 avec Tmrt. $Moyen. P6=52.77$ C° (voir figure VI.18).

❖ La campagne de mesure du 17 juillet 2022 :

A 12 :00 a.m, le troisième site a marqué la valeur la plus élevé de Tmrt dans P9 avec 69.8 C° suivi par P10 du quatrième site avec 69.3 C°. Par contre la valeur de Tmrt la plus basse était dans le quatrième site a 6 :00 a.m pour P12 d'où Tmrt $P12=29.2$ C°.

Dans le troisième site le point P8 a eu le moyens de Tmrt le plus bas en comparant de tout le reste de points avec Tmrt. $Moyen. P8=51.92$ C°. Tandis que dans le quatrième site la valeur la plus basse de moyens Tmrt était pour P12 avec Tmrt. $Moyen. P12=47.78$ C°. (Voir figure VI.18)

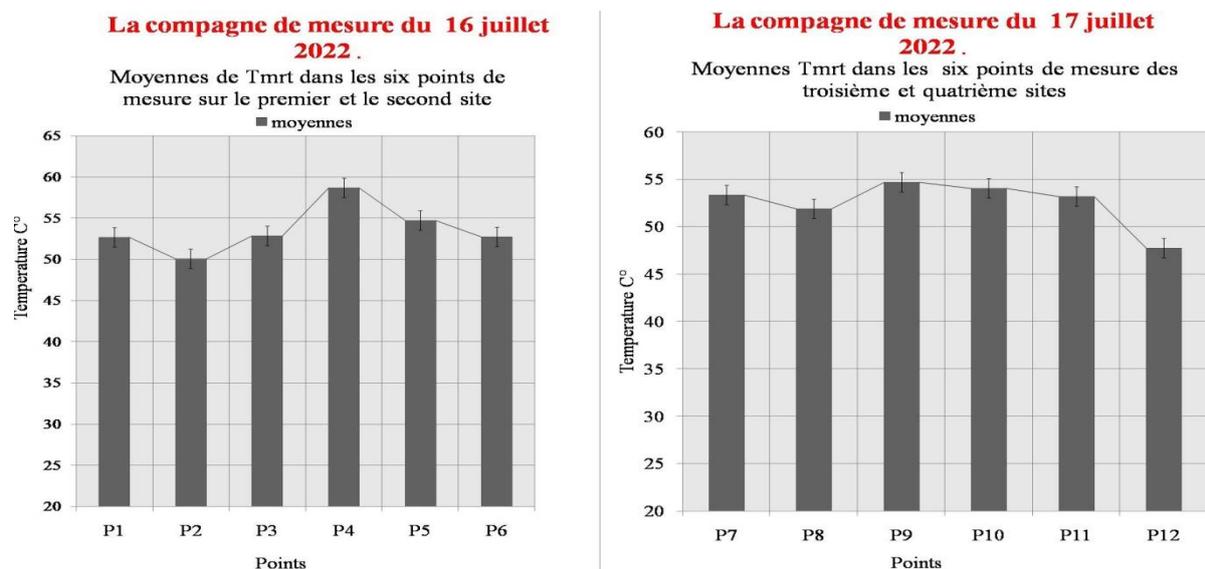


Figure VI.18: Les moyennes de Tmrt aux différents points de mesure .Source : Auteur 2024.

On note que les points P2, P6 et P12 qui ont enregistré les moyens plus bas de Tmrt sont des point de mesures très proche des arbres, ce qui signifie que les arbres ont un effet sur l'abaissement des valeurs de Tmrt.

✓ L'évaluation de température physiologique équivalente PET:

L'évaluation des mesures de PET obtenu durant l'intervalle d'étude dans les sites d'intervention et sur une totalité de deuze points de mesures, a démontré l'existence de quatre diverses zones de confort thermique qui sont : Légèrement tiède, Tiède, Chaud et Très

chaud. Du 6 :00 a.m jusqu'au 4 p.m., les valeurs de PET s'augmentent dans tous les 12 point de mesure. (Voir tableau VI.7 et VI.8).

❖ La campagne de mesure du 16 juillet 2022 :

A P5 du deuxième site ;une zone de température maximale de 52.0 C° a été enregistré a 2 :00 p.m, cette dernière représente la valeur de PET la plus élevé toute long de période d'étude provoquant un stress thermique aux usagers qui fréquentent ce espace publics . Par contre la valeur de PET la plus basse était obtenu à P2 du premier site pendant 6 :00 a.m avec 25.0 C° ce qui provoque un léger stress thermique (Voir tableau VI.7).

Tableau VI.7: Valeurs de PET aux différents points de mesure du premier et du deuxième site calculées par Rayman I.2.Source : Auteur 2024.

site	Date	Points de mesures	6 a.m	8 a.m	10 a.m	12 a.m	2 p.m.	4 p.m.	6 p.m.
Esplanade de chaabani	16-07-2022	P1	27.7	40.4	51.6	47.7	48.8	42.3	31.1
		P2	25.0	36.2	45.7	42.1	46.2	39.1	28.9
		P3	28.5	39.5	52.0	50.5	50.7	42.5	30.2
Jardin public Baoulo		P4	29.0	43.9	47.0	48.4	51.0	50.7	46.9
		P5	29.1	45.1	49.5	51.2	52.0	47.8	35.2
		P6	29.6	41.0	49.1	50.7	49.6	45.8	34.9
Niveau de stress thermique		23 to 29	29 to 35		35 to 41		> 41		
		Légèrement tiède	tiède		Chaud		Très chaud		

Les résultats des valeurs de PET obtenus dans le premier et le deuxième site, indiquent que les moyens de PET les plus bas sont : a P3 dans le premier site avec PET. $Moyen. P3=36.73\text{ C}^\circ$ et P6 dans le deuxième site avec PET. $Moyen. P6=42.95\text{ C}^\circ$ (voir figure VI. 20) .Ce abaissement est fortement due a l'ombre portée par les arbres de frênes qui sont très proche de ces points de mesures.

On comparant le premier site au deuxième, les valeurs de PET sont plus bas, d'où $PET_{Moyen.Site1}=38.56\text{ C}^\circ$ et $PET_{Moyen.site2}=47.16\text{ C}^\circ$. Cette différence est liée au pourcentage de couverture végétale plus élevé au premier site qu'au deuxième site.

❖ La campagne de mesure du 17 juillet 2022 :

A P9 du troisième site ;une zone de température maximale de 56.2 C° a été enregistré a 12 :00 a.m, cette dernière représente la valeur de PET la plus élevé toute long de période d'étude provoquant un stress thermique aux usagers qui fréquente ce espace public.

Par contre la valeur de PET la plus basse était obtenue à P12 du quatrième site pendant 6 :00 a.m avec 26.1 C° ce qui provoque un léger stress thermique. (Voir tableau VI.8).

Tableau VI.8: Valeurs de PET aux différents points de mesure du troisième et du quatrième site calculées par Rayman I.2. Source : Auteur 2024.

site	Date	Points de mesures	6 a.m	8 a.m	10 a.m	12 a.m	2 p.m	4 p.m	6 p.m
place E-serdouk	17-07-2022	P7	29.1	43.7	48.8	50.6	51.4	43.2	31.4
		P8	27.6	42.2	44.8	52.7	50.4	41.7	32.7
		P9	28.9	45.8	47.8	56.2	53.6	44.5	31.7
Placette de l'Indépendance		P10	27.3	42.4	53.8	55.6	50.6	42.5	31.5
		P11	28.4	42.8	50.2	51.3	50.0	42.9	30.5
		P12	26.1	36.6	45.9	47.6	49.0	37.6	30.2
Niveau de stress thermique		23 to 29	29 to 35		35 to 41		> 41		
		Légèrement tiède	tiède		Chaud		Très chaud		

Les résultats des valeurs de PET obtenus dans le troisième et le quatrième site, indiquent que les moyennes de PET les plus bas sont : a P12 dans le quatrième site avec $PET_{Moyen, P12}=39\text{ C}^\circ$ et P8 dans le troisième site avec $PET_{Moyen, P8}=41.72\text{ C}^\circ$ (voir figure VI.19).

Cet abaissement est fortement dû à l'ombre portée par les arbres de platanes et frênes qui sont très proche de ces points de mesures. On comparant le quatrième site au troisième, les valeurs de PET sont plus bas, d'où $PET_{Moyen, Site 4}=41.56\text{ C}^\circ$ et $PET_{Moyen, Site 3}=42.97\text{ C}^\circ$.

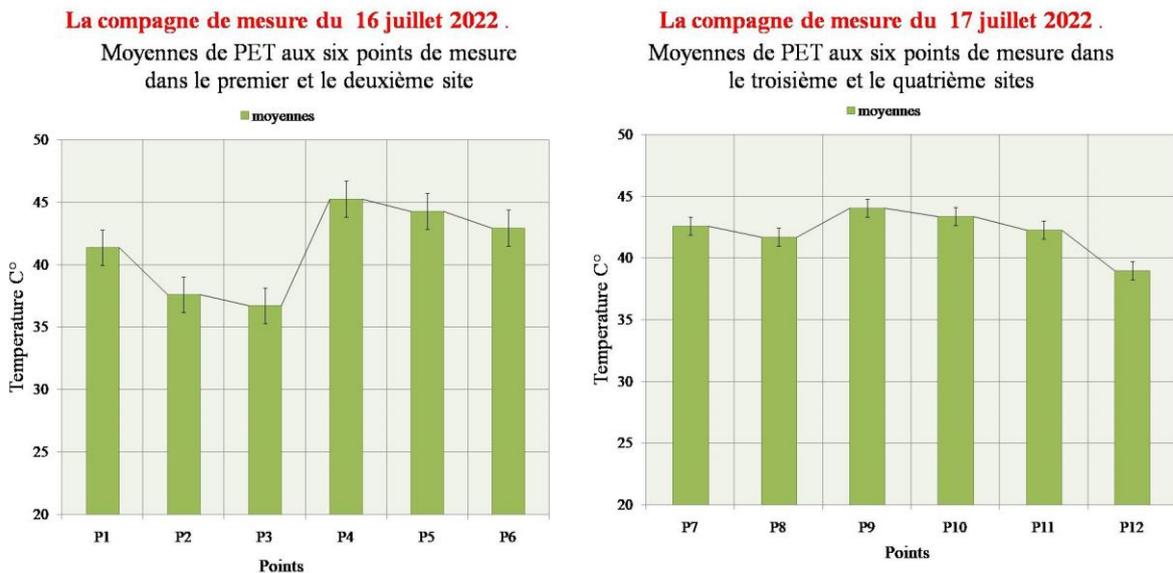


Figure VI.19: Les moyennes de PET aux différents points de mesure. Source : auteur 2023 : Auteur 2024.

✓ **Évaluation des valeurs de température effective standard extérieure OUT-SET :**

D'après l'analyse des valeurs de OUT-SET obtenu dans les sites d'intervention sur les deux points de mesures, cinq zones de confort thermique est détectés toute a long de la journée : neutre, Légèrement tiède, Tiède, Chaud et Très chaud.

Les valeurs de OUT-SET marque une augmentation du 6 :00 a.m jusqu'au 4 :00 p.m. Sur toutes les points de mesures, et ça redescend a 6 :00 p.m. (voir tableau VI.9 et VI.10).

❖ **La campagne de mesure du 16 juillet 2022 :**

A P3 du premier site ; une zone de température maximale de 40.6 C° a été enregistré a 10 :00 a.m, cette dernière représente la valeur de OUT-SET la plus élevé toute long de période d'étude, sachant que les mesures de température d'air T_a et température radiante moyenne T_{mrt} dans cette point est estimé respectivement de 37.7 C° et 66.6 C°, qui sont proche de la valeur de température maximale enregistrée dans cette journée. Cette valeur élevée d'OUT-SET provoque un stress thermique aux usagers de cet espace public.

Par contre la valeur d'OUT-SET la plus basse était obtenue à P2 du premier site avec 21.4 C° et a P4 du deuxième site avec 24.8 C° pendant 6 :00 a.m, où les températures d'air T_a et la temperature radiante moyenne T_{mrt} enregistrés dans ces points sont les plus basse toute long de la journée avec des valeurs de $T_a_{P2}=25.8$ C°, $T_{mrt}_{P2}=28.5$ C° et $T_a_{P4}=28.1$, $T_{mrt}_{P4}=30.9$ C°.

Ces valeurs basses d'OUT- SET démontrent l'absence totale de stress thermique dans ces deux derniers points qui sont très proches des arbres de frênes. (Voir tableau VI.9).

Tableau VI.9: les Valeurs d'OUT-SET aux différents points de mesure du premier et du second site calculées par Rayman I.2.Source : Auteur 2024.

Site	Date	Points de mesures	6 a.m	8 a.m	10 a.m	12 a.m	2 p.m	4 p.m	6 p.m
esplanade de chaabani	16-07-2022	P1	23.4	33.0	39.9	37.4	38.5	34.1	25.6
		P2	21.4	29.6	36.1	33.1	36.9	31.7	23.9
		P3	23.9	32.4	40.6	39.7	40.0	34.3	25.0
Jardin public Baoulo		P4	24.8	35.3	37.1	37.5	39.6	39.4	36.9
		P5	25.1	36.0	39.1	39.5	40.0	37.3	28.2
		P6	25.2	33.2	38.9	39.7	38.6	36.2	28.1
Niveau de stress thermique		22.2–25.6	25.6–30.0	30.0–34.5	34.5–37.5	> 37.5			
		Neutre	Légèrement tiède	Tiède	Chaud	Très chaud			

Les résultats des valeurs de OUT-SET obtenus dans le première et le deuxième site, indiquent que les moyens de OUT-SET les plus bas sont : a P2 du premier site où OUT-SET_{Moyen, P2}=30.38 C° et P6 de deuxième site où OU-SET_{Moyen, P6}=34.25 C° (voir figure VI.20). Cet abaissement est fortement dû à l'ombre portée par les arbres de frênes qui sont très proche de ces points de mesures. Le premier site à marquer des valeurs de OUT-SET plus bas que le deuxième site, d'où OUT-SET_{Moyen-site 1}=32.4 °C et OUT- SET_{Moyen-site 2}=35.02 °C, ce qui montre que le pourcentage de couverture végétale existé a un effet sur cet abaissement.

❖ **La campagne de mesure du 17 juillet 2022 :**

La valeur la plus élevé de OUT- SET était 44.3 C° à P9 du troisième site, suivi par 43.1 C° a P10 du quatrième site pendant 12 :00 a.m , ces deux points représente les mesures des températures d'air T_a et température radiante moyenne T_{mrt} les plus élevés tout a long de période d'étude d'où $T_{a P9}$ =39.0 C°, $T_{mrt P9}$ =69.8 C° et $T_{a P10}$ =40.5 C°, $T_{mrt P10}$ =69.3 C° , cette résultat provoque un stress thermique aux usagers de cet espace public .

Tandis que P12 du quatrième site a enregistré a 6 :00 a.m la valeur la plus basse de OUT-SET avec 28.5 C° ce qui produit un léger stress thermique au usagers de ce espaces publics, suivi par P8 du troisième site avec 23.1 C°, cette valeur enregistré ne provoque aucun stress thermique aux usagers ; sachant que la valeur de température d'air T_a et température radiante moyenne T_{mrt} de ces deux point sont les plus basses pendant toute la journée d'où $T_{a P8}$ =27.9 C°, $T_{mrt P8}$ =30.4 C° et $T_{a P12}$ =26.6 C, $T_{mrt P12}$ =29.2 C° (voir tableaux VI.10) .

Tableau VI.10: Les Valeurs d'OUT-SET aux différents points de mesure du deuxième et du troisième site calculées par Rayman 1.2.Source : Auteur 2024.

Site	Date	Points de mesures	6 a.m	8 a.m	10 a.m	12 a.m	2 p.m	4 p.m	6 p.m
place E-Serdouk	17-07-2022	P7	24.5	35.1	38.6	39.5	40.4	34.7	25.9
		P8	23.1	33.6	35.0	40.9	39.0	33.0	26.6
		P9	24.2	36.9	37.9	44.3	41.9	35.7	26.1
Placette de l'Independence		P10	23.2	34.3	42.0	43.1	39.8	34.3	26.0
		P11	23.8	34.5	38.9	40.3	39.5	34.5	25.2
		P12	22.2	30.1	36.5	37.2	38.6	30.6	25.0
Niveau de stress thermique		22.2–25.6	25.6–30.0	30.0–34.5	34.5–37.5	> 37.5			
		Neutre	Légèrement tiède	Tiède	Chaud	Très chaud			

Les résultats des valeurs de OUT- SET obtenus dans le troisième et le quatrième site, indiquent que les moyens de OUT-SET les plus bas sont : a P12 du quatrième site où OUT-

SET. $Moyen. P_{12}=31.45\text{ C}^\circ$ et P8 de troisième site où $OUT-SET. Moyen. P_8=33.02\text{ C}^\circ$ (voir figure VI.20). Ce abaissement est fortement due a l’ombre portée par les arbres de platanes et frênes qui sont très proche de ces points de mesures. Le quatrième site à marquer des valeurs de $OUT-SET$ plus bas que le troisième site, d’où $OUT-SET. Moyen. Site 4=32.99\text{ C}^\circ$ et $OUT-SET. Moyen. Site 3=34.13\text{ C}^\circ$, ce qui montre que le quatrième site est plus confortable aux usagers que le troisième site.

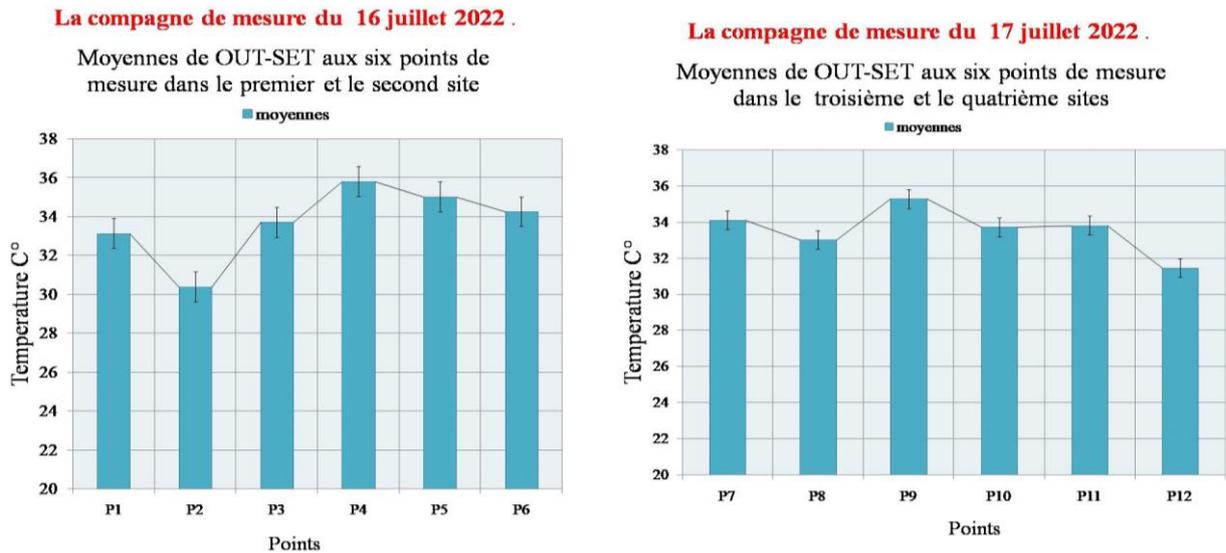


Figure VI.20: Les moyennes de OUT-SET aux différents points de mesure .Source : Auteur 2024.

D’après les résultats précédents obtenus on peut distinguer deux périodes thermiques différentes et qui ont une relation avec l’évolution des valeurs des différents indices thermique au cours des deux journées choisies. La première période compris la première et la dernière heure de mesure (6 :00 a.m et 6 :00 p.m.) et seconde période pendant les heures de clarté (de 8 :00 a.m à 4 :00 p.m.).

Les points végétaux ont enregistré les meilleures conditions climatiques et thermiques dans les quatre sites pendant les deux journées d’étude, ce qui montre l’effet des arbres existés dans ces espaces publics dans l’amélioration de bien être thermique extérieurs des personnes qui fréquentent ces espaces publics (Voir tableaux VI.11)

Tableau VI.11: les conditions climatiques et thermiques des points végétaux dans différents sites.

Source : auteur 2024.

P2		P3		P6		P7		P8		P12	
Ta2	Va2	Ta3	Va3	Ta6	Va6	Ta7	Va7	Ta8	Va8	Ta12	Va12

30.77C °	1.26m/ s	33 C°	0.79m/ s	34.6 C°	0.86m/ s	33.67C °	0.87m/ s	34.12C °	1.22m/ s	32.77C °	0.94m/ s
RH₂	Tmrt₂	RH₃	Tmrt₃	RH₆	Tmrt₆	RH₇	Tmrt₇	RH₈	Tmrt₈	RH₁₂	Tmrt₁₂
29.54 %	50.08C °	29.75 %	52.87C °	27.68 %	52.77C °	30.86 %	53.37C °	29.71 %	51.92C °	31.6%	47.78C °
PET₂	OUT- SET₂	PET₃	OUT- SET₃	PET₆	OUT- SET₆	PET₇	OUT- SET₇	PET₈	OUT- SET₈	PET₁₂	OUT- SET₂
37.6 C°	30.38C °	36.73C °	33.7 C°	42.95C °	34.25C °	42.6C°	34.1 C°	41.72C °	33.02C °	39 C°	31.45C °

✓ L'évaluation de la PET, du Tmrt, de l'OUT-SET en fonction des valeurs du SVF

Le tableau 8 montre les valeurs de Tmrt, PET et OUT-SET obtenus dans les sites d'intervention sur les différents points de mesures en relation avec la valeur de SVF. Les valeurs minimales des indices thermiques (Tmrt, PET et OUT-SET) sont enregistrées dans les points près des arbres P2, P3 dans le premier site, P6 du deuxième site, P8 du troisième site et P12 de quatrième site. Ces derniers ont les mesures de SVF les plus basse d'où $SVF_{P2}= 0.587$, $SVF_{P3}= 0.589$, $SVF_{P6}= 0.575$, $SVF_{P8}= 0.530$ et $SVF_{P12}= 0.304$ (voir tableau VI.12).

Ce qui montre que la canopée des arbres augmente le pourcentage de limitation d'horizon en diminuant les valeurs de SVF et a son tour le SVF participe à l'abaissement des valeurs de ces indices thermique qui détecte le confort thermique extérieurs des usagers fréquentant ces espaces publics.

Tableau VI.12 : Les valeurs de PET, Tmrt et SET en fonction des valeurs SVF. Source : auteur 2024.

Point	Horizon limitation	SVF	Tmrt	PET	SET
P2	41.3%	0.587	50.085 C°	37.6 C°	30.38 C°
P3	41.1%	0.589	52.87 C°	36.73 C°	33.7 C°
P6	42.5%	0.575	52.77 C°	42.95 C°	34.25 C°
P8	47.0%	0.530	51.92 C°	41.72 C°	33.02 C°
P12	69.9%	0.304	47.78 C°	39.0 C°	31.45 C°

VI.2.3 L'évaluation de l'effet des plans d'eau dans la régulation de microclimat urbain et l'amélioration le confort thermique extérieur à la ville de souk ahars :

Afin d'évaluer l'impact des plans d'eau sur les conditions microclimatiques et le confort thermique extérieur à la ville de Souk Ahars, nous avons réalisé 2 campagnes de mesures sur

le terrain (le 16/07/2022 et le 17/07/2022). D’où Trois variables climatiques sont évaluées, à savoir la température d’air T_a , la vitesse du vent V_a et l’humidité relative RH dans trois espaces publics (l’esplanade de Chaabani, la placette de l’indépendance et jardin communal) sur un ensemble de 6 points de mesure à l’aide de trois instruments de mesures calibré : le thermo hygromètre portatif HANNA, le thermomètre hygromètre Chauvin Arnoux et un anémomètre TROTEC à hélice (voir tableau VI.13).

Tableau VI.13 : Les données météorologiques actuelles mesurées dans les trois espaces publiques choisis. Source : auteur 2024.

Paramètre microclimatique	Date	Temps	L’esplanade de chaabani		Date	Placette de l’indépendance		Jardin communal	
			P1	P13		P11	P14	P15	P16
Temperature T_a °C	16-07-2022	6 a.m	27.6	27.4	17-07-2022	28.6	28.4	27.9	27.8
		8 a.m	30.3	30.1		32.5	32.1	33.1	33.2
		10 a.m	38.5	38.2		37.8	37.5	37.5	37.2
		12 a.m	35.6	35.4		36.8	36.5	37.8	37.4
		2 p.m	35.2	35.3		35.6	35.1	35.5	35.1
		4 p.m	32.5	32.3		32.8	32.4	33.1	32.9
6 p.m		30.8	30.7	30.4		29.9	31.2	31.5	
Humidité relative $RH\%$		6 a.m	38.3	38.6		36.1	36.3	38.1	38.4
		8 a.m	33.7	33.6		30.7	30.6	32.1	32.3
		10 a.m	24.9	24.8		26	26.2	24.8	24.7
		12 a.m	22.9	23.1		21.4	21.6	22.9	23.1
		2 p.m	25.2	25.1		24.3	23.9	26.1	26.3
	4 p.m	33.3	33.4	33.8	33.9	33.6	33.8		
Vitesse de vent V_a m/s	6 p.m	35.2	35.4	34.2	34.6	35.4	35.5		
	6 a.m	0.65	0.70	0.75	0.85	0.85	0.90		
	8 a.m	0.75	0.74	0.77	0.95	0.95	0.87		
	10 a.m	1.39	1.42	1.60	1.63	1.56	1.80		
	12 a.m	1.41	1.40	0.77	0.87	0.95	0.75		
	2 p.m	1.02	1.08	0.80	0.95	0.75	0.95		
4 p.m	1.05	0.95	0.95	1.10	0.86	1.02			
6 p.m	0.95	1.10	0.95	1.25	1.09	0.95			

VI.2.4 L’analyse de l’impact des plans d’eau sur la température de l’air T_a :

La figure VI.21 montre une comparaison simultanée des mesures de T_a , mesurés dans la ville de Souk Ahras, à savoir l’esplanade de Chaabani le 16 juillet 2022, ainsi que la placette de l’indépendance et le jardin communal le 17 juillet 2022. Il s’agit de 6 points différents, allant de 6 :00 .a.m jusqu’à 6 :00 p.m.

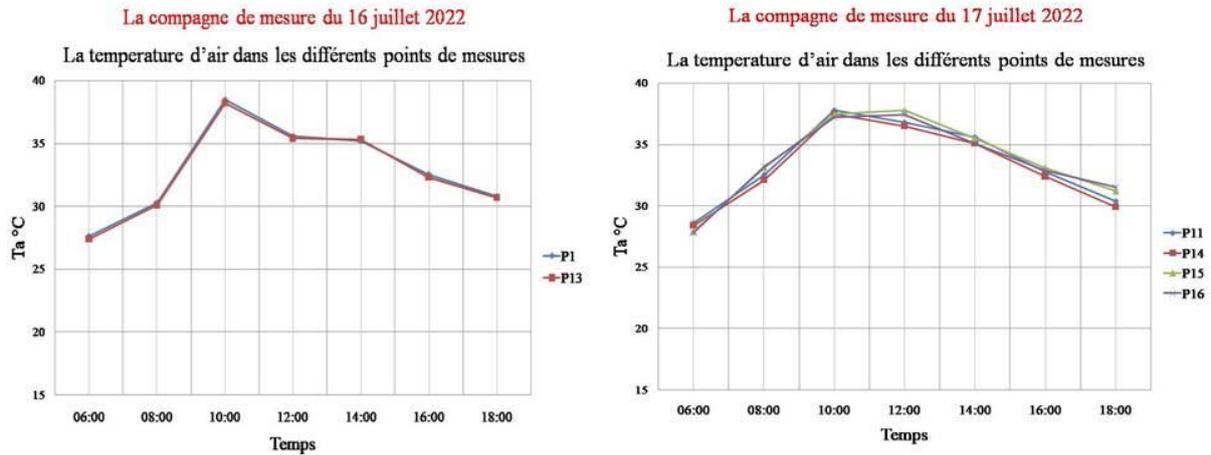


Figure VI.21 : Les mesures de T_a enregistrés dans les trois espaces publics choisis. Source : auteur 2024.

❖ La campagne de mesure du 16 juillet 2022 :

La valeur de température de l'air la plus élevée est enregistré a 10 :00 a.m dans le point libre P1 avec 38.5 C° suivis par P13 qui est un point humide situé sur la fontaine sèche avec 38.2C° dans la même heure. Tandis que la valeur de température d'air la plus basse est obtenu a 6 :00 a.m dans P13 avec 27.4 C°.

L'évaluation des moyennes de température d'air T_a enregistrés dans les deux points de mesures de l'esplanade de chaabani montre que P13 a eu les valeurs de températures d'air les plus basse toute au long de la journée avec un $T_{a, \text{Moyen}, P13} = 32.77 \text{ C}^\circ$ (voir figure VI.22). D'où la différence de valeurs de température d'aire enregistrés entre le point P1 et P13 est 0.15 C° et cela indique que le plans d'eau existé dans l'esplanade de chaabani (la fontaine sèche) a un impact direct sur la température de l'air en la réduisant.

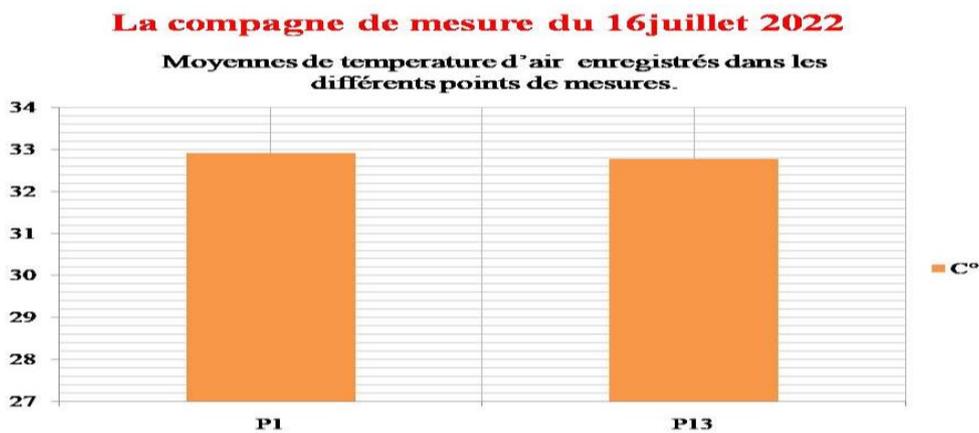


Figure VI.22 : Les moyennes de température d'air enregistré dans les différents points de mesure pendant le 16 juillet 2022. Source : auteur 2024.

❖ **La campagne de mesure du 17 juillet 2022 :**

La température de l'air la plus élevée a été enregistrée dans le jardin communal à 12.00 a.m à l'emplacement libre P15, avec 37,8 °C. Alors que le P16 du même site a enregistré la valeur la plus basse de température d'air à 6.00 a.m avec 27,8 °C, ce dernier est un point humide situé sur une fontaine sèche.

Les mesures de température d'air enregistrées dans les 2 espaces publics révèlent que le P14 de la placette de l'indépendance a relevé les températures d'air les plus faibles pendant la journée, avec un taux d'avertissement de $T_{a. Moyen. P14}=33.12\text{ C}^\circ$ par rapport à tous les autres points. On remarque aussi, que P16 présente les moyennes de température d'air les plus bas obtenus dans le jardin communal avec $T_{a. Moyen. P16}=33.58\text{ C}^\circ$ (voir figure VI.23).

La campagne de mesure du 17 juillet 2022

Moyennes de température d'air enregistrés dans les différents points de mesures.

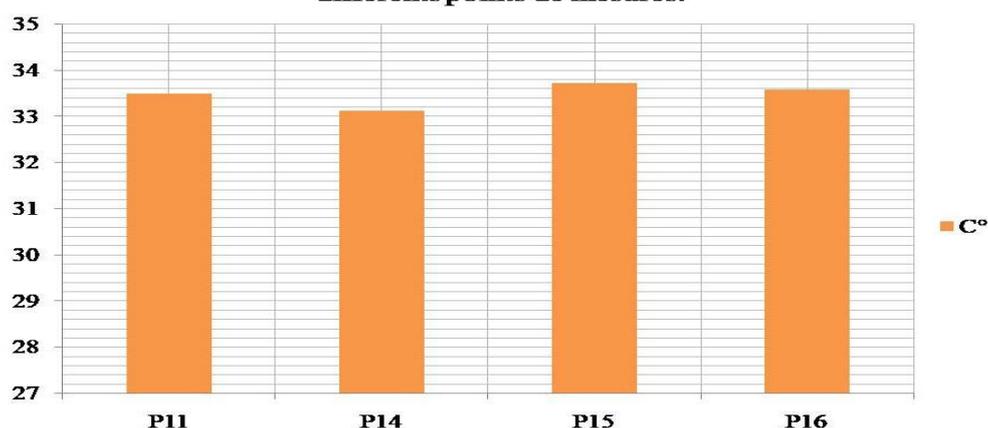


Figure VI.23 : Les moyennes de température d'air enregistré dans les différents points de mesure pendant le 17 juillet 2022. Source : auteur 2024.

Les points P14 et P16 sont considérés comme des points humides, ce qui laisse entendre que pendant les journées chaudes, les plans d'eau présents dans ces espaces publics ont une influence directe sur la réduction des valeurs de température d'airs (Voir tableau VI.14).

Tableau VI.14 : différences de températures d'air enregistrés entre les points libres et humides des deux espaces publics choisis. Source : auteur 2024

	Placette de l'indépendance	Jardin communal
Différence de température d'air enregistré	0.38 C°	0.14 C°

VI.2.5 L'analyse de l'impact des plans d'eau sur l'humidité relative :

Les valeurs d'humidité relative mesurées dans la ville de Souk Ahras, à savoir l'esplanade de Chaabani le 16 juillet 2022, ainsi que la placette de l'indépendance et le jardin communal le 17 juillet 2022, sont comparées simultanément dans la figure VI.24 sur un ensemble de six points de mesures allant de 6.00a.mjusqu'à 6 :00 p.m.

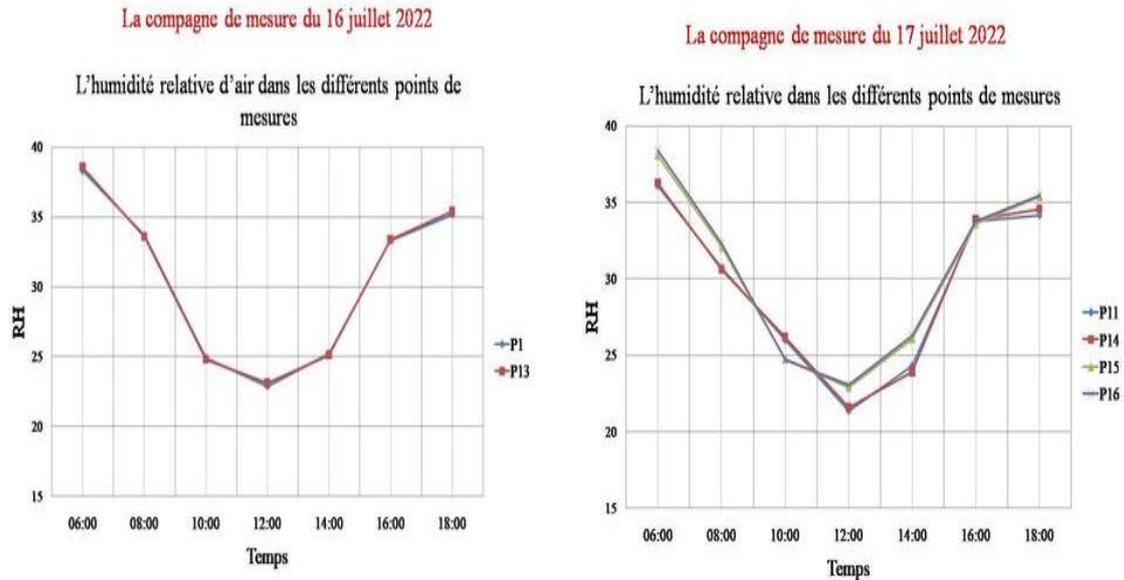


Figure VI.24: Les valeurs d'humidité relative mesurée dans les trois espaces publics choisis.

Source : auteur 2024.

❖ La campagne de mesure du 16 juillet 2022 :

Le point humide P13 enregistre la valeur d'humidité relative la plus élevée à 6.00 a.m avec 38,6 %, tandis que P1 enregistre la valeur d'humidité relative la plus basse à 12.00 a.m avec 22,9 %.

L'analyse des moyennes d'humidité relative enregistré dans les deux points de mesures de l'esplanade de chaabani montre que P13 a eu les valeurs d'humidité relative les plus élevé toute au long de la journée avec un $RH_{Moyen, P13} = 30,57\%$ (voir figure VI.25).

D'où la différence de valeurs d'humidité relative enregistrés entre le point P1 et P13 est 0,07% et cela indique que le plans d'eau existé dans l'esplanade de chaabani (la fontaine sèche) a un impact direct sur l'augmentation d'humidité relative.

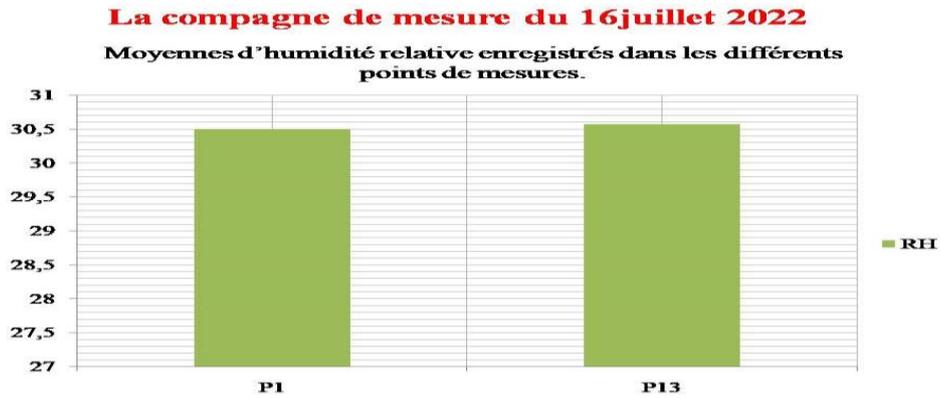


Figure VI.25 : Moyennes d'humidité relative dans les différents points de mesure pendant le 16 juillet 2022. Source : auteur 2024.

❖ **La campagne de mesure du 17 juillet 2022 :**

À 6.00 a.m, la valeur de l'humidité relative la plus élevée a été observée dans le jardin communal, à l'emplacement humide P16, avec une concentration de 38.4 %. Tandis que le point P11 de la placette de l'indépendance a relevé la valeur la plus basse d'humidité à 12.00 a.m avec 21,4 %, ce dernier est un point libre situé près de la limite de la placette.

Les données sur l'humidité relative enregistrées dans les deux espaces publics indiquent que le P16 du jardin communal a connu les valeurs d'humidité relative les plus élevées tout au long de la journée, avec un taux d'avertissement de 30.58 % par rapport à tous les autres points. On constate également que le point P11 de la placette de l'indépendance présente les moyennes d'humidité relative les plus basses avec $RH_{average.P11}$ est égal à 29.5 % (voir figure VI.26).

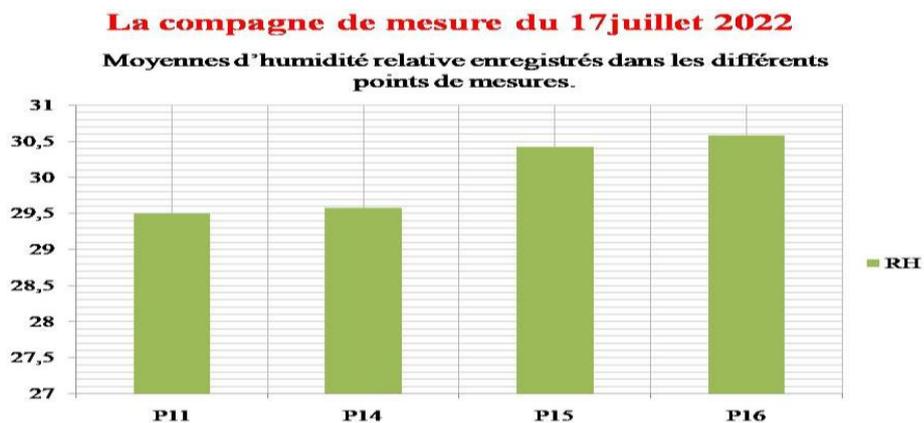


Figure VI.26 : Moyennes d'humidité relative dans les différents points de mesure pendant le 17 juillet 2022. Source : auteur 2024

Les points P14 et P16 sont des points humides, ce qui montre que pendant les journées chaudes, les plans d'eau présents dans ces espaces publics ont un effet direct sur l'augmentation des taux d'humidité relative (voir tableau VI.15).

Tableau VI.15 : différences des taux d'humidité relative enregistrés entre les points libres et humides des deux espaces publics choisis. Source : auteur 2024.

	Placette de l'indépendance	Jardin communal
Différence d'humidité relative enregistrée	0.08%	0.16%

VI.2.6 L'analyse de l'effet des plans d'eau sur la vitesse de vent :

La figure VI.27 présente une comparaison simultanée des valeurs de vitesse de vent mesurées dans la ville de Souk Ahras, notamment dans l'esplanade de chaabani pour le 16 juillet 2022 et la placette de l'indépendance et le jardin communal pour le 17 juillet 2022 sur un ensemble de six points de mesure, allant de 6.00 a.m à 6.00 p.m.

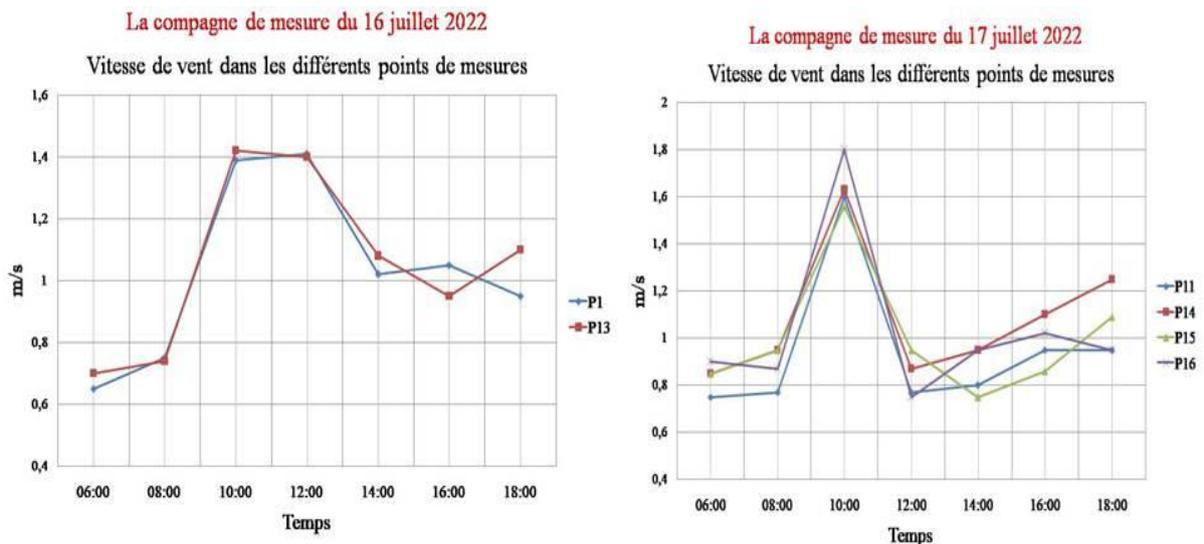


Figure VI.27 : Les valeurs de vitesse de vent mesuré dans les trois espaces publiques choisis. Source : auteur 2024.

❖ La campagne de mesure du 16 juillet 2022 :

Le point humide P13 enregistre la plus forte vitesse de vent à 8.00 a.m avec 1,42 m/s, tandis que P1 enregistre la plus faible vitesse de vent à 6.00 a.m avec 0,65 m/s. Selon l'évaluation des mesures de vitesse de vent obtenus dans les deux points de mesure de l'esplanade de

Chaabani, P13 a enregistré les valeurs de vitesse de vent les plus élevées tout au long de la journée, avec un $V_{a. \text{Moyen. P13}} = 1,05 \text{ m/s}$ (voir figure VI.28).

C'est pourquoi on observe une variation de $0,02 \text{ m/s}$ de vitesse de vent entre le point P1 et P13, ce qui suggère que les plans d'eau présents sur l'esplanade de Chaabani (la fontaine sèche) ont un effet direct sur cette augmentation de vitesse de vent.

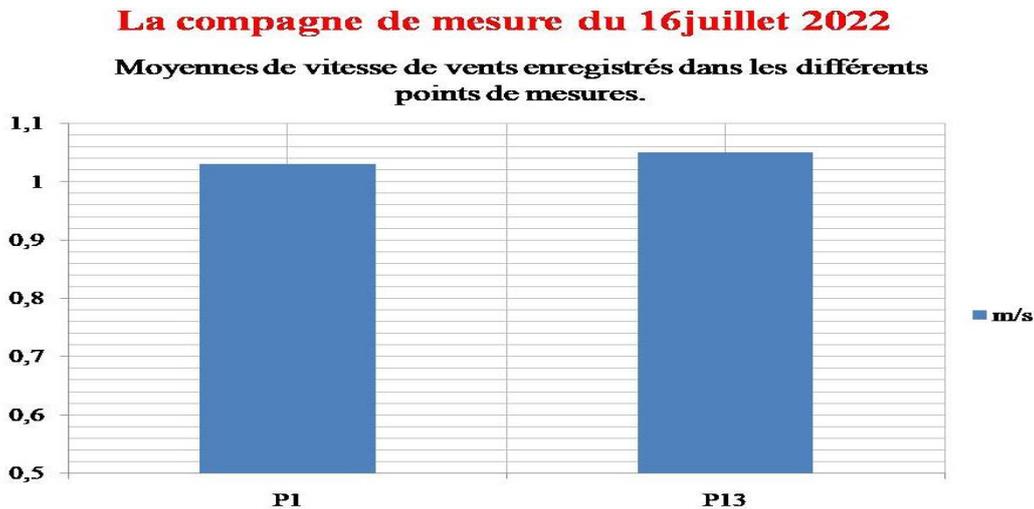


Figure VI.28 : Moyennes vitesse de vents dans les différents points de mesure pendant 16 juillet 2022. Source : auteur 2024.

❖ La campagne de mesure du 17 juillet 2022 :

À 8.00 a.m, on a constaté une vitesse de vent la plus élevée dans le jardin communal, à l'emplacement humide P16, avec une vitesse de $1,8 \text{ m/s}$. Alors que le point P11 de la placette de l'indépendance a enregistré la vitesse de vent la plus basse à 6.00 a.m avec une vitesse de $0,75 \text{ m/s}$, ce dernier est un point libre situé près de la limite de la placette.

Selon les données sur la vitesse de vent collectées dans les deux espaces choisis, le P14 de la placette de l'indépendance a relevé les valeurs de vent les plus élevées tout au long de la journée, avec un taux d'avertissement de $1,08 \text{ m/s}$ contrairement à tous les autres points.

Il est également observable que le point P11 de la placette de l'indépendance affiche les moyennes de vitesse de vent les plus faibles, avec $V_{a. \text{Moyen. P11}}$ étant de $0,94 \text{ m/s}$ (voir figure VI.29).

La campagne de mesure du 17 juillet 2022

Moyennes de vitesse de vents enregistrés dans les différents points de mesures.

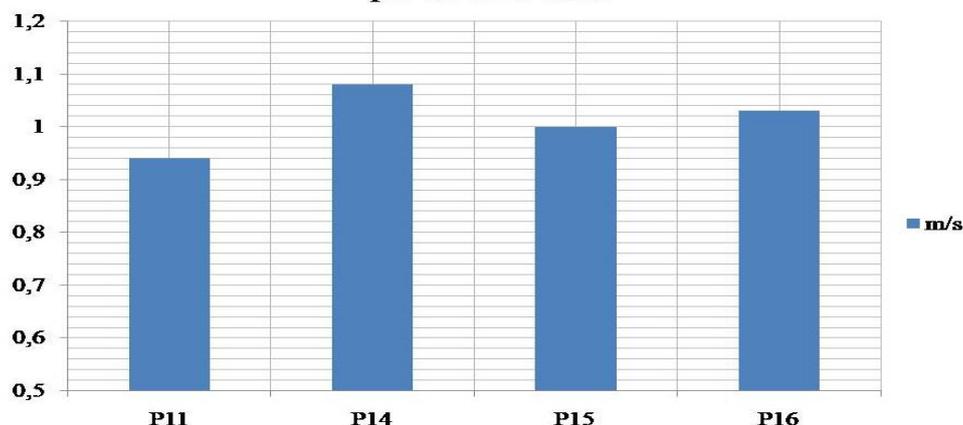


Figure VI.29 : Moyennes vitesse de vents dans les différents points de mesure pendant le 17 juillet 2022. Source : auteur 2024.

Les points P14 et P16 sont considérés comme des points humides, ce qui démontre que lors des journées chaudes, les plans d'eau présents dans ces espaces publics ont un effet direct sur l'accroissance de la vitesse du vent (voir tableau VI.16).

Tableau VI.16: différences des valeurs de vitesse de vent enregistré entre les points libres et humides des deux espaces publics choisis. Source : auteur 2024.

	Placette de l'indépendance	Jardin communal
Différence de vitesse de vent enregistrée	0.14 m/s	0.03 m/s

VI.3 Comparaisons et discussions des résultats :

VI.3.1 Les facteurs influencent le confort humain thermique extérieur :

En comparant les résultats de l'enquête par questionnaire qui était dérouler dans les cinq espaces publics a la ville de Souk-Ahras et les données des paramètres météorologiques mesurer via les druzes points de mesures lors des deux campagnes de mesures ; et les résultats liée au confort thermique (la troisième section du questionnaire).

Le classement de vote pour la sensation thermique est directement lier a la température d'air T_a ; cela veut dire que le rayonnement solaire est le principal élément influençant le confort thermique humain extérieur en été puisque l'augmentation du rayonnement solaire provoque

directement une augmentation dans la température d'air ce qui rend les usagers des espaces publics dans une situation d'inconfort thermique. Dans les questions liées à la sensation des variables météorologiques ; l'évaluation des résultats enregistrées ont démontré que les deux facteurs météorologiques suivants : celle de l'humidité relative et la vitesse de vent ne pas beaucoup affecter et déranger les usagers des deux espaces publics choisis ; contrairement à la température d'air.

Donc ; après l'évaluation et la comparaison des informations recueillis, il a été constaté que les résultats du vote de la sensation thermique n'étaient pas significativement affectés par l'humidité relative ou la vitesse du vent.

Cependant les résultats obtenus concernant l'impact des arbres et plans d'eau existée dans ces espaces publics sur la sensation de la chaleur des usagers qui les fréquentent montre que les arbres ont un effet plus rafraichissant que les plans d'eau ; ce qui confirme que l'amélioration du confort thermique apportée par un plan d'eau est généralement bien moindre que celle apportée par l'ajout d'arbre .

En conclusion, on considère que la température d'air T_a , la présence des arbres et les plans d'eau sont parmi les facteurs le plus influençant le bien être thermique extérieur d'une personne lors des saisons chaudes.

VI.3.2 La contribution des arbres à l'optimisation des conditions environnementales et du confort thermique extérieur :

D'après les résultats obtenus de l'analyse des paramètres météorologiques mesurés dans les quatre espaces publics choisis : celle de l'esplanade de Chaabani, le jardin public de Baoulo, la place E-Serdouk et la placette de l'indépendance pendant la période d'étude : 16 juillet 2022 pour les deux premiers sites et 17 juillet 2022 pour les deux autres.

Les meilleures conditions climatiques ont été représentées dans les points très proches des arbres de frênes dans le premier et le deuxième site "P2, P3, P6" et l'arbre de schinus molle et frêne dans le troisième site "P7, P8" et les arbres de platanes dans le quatrième site P12, d'où ces points ont marqué des températures d'air T_a plus basses, une humidité relative RH plus élevée et une vitesse de vent V_a modérée on compare par les autres points libres "P1, P4, P5, P9, P10 et P11" .

La différence de température d'air des points végétales par rapport aux points libre dans les quatre sites d'intervention est estimée respectivement de : 1.043 °C ; 0.43 °C, 0.376 °C et 1.02 °C.

Tandis que la différence des valeurs d'humidité relative est : 0.85%, 1.8 %, 0.03% et 1.67 respectivement. Ces différences enregistrées sont dues à la structure et la fonction particulière des arbres existants dans les quatre sites d'intervention. Ces propriétés leur permettent d'absorber des quantités massives de rayonnement à ondes courtes par réflexion et transmission à travers leurs feuilles, ce qui abaisse la température de l'air ambiant dans la zone environnante et fournit de l'ombre et des effets de refroidissement par évaporation.

Les arbres transpirent, libérant de l'eau par leurs feuilles pour augmenter l'humidité environnante et abaisser la température de l'air. Ces résultats concordent avec ceux de (Upreti, 2017) et (Morakinyo et al., 2016) et (Zheng et al., 2018).

L'analyse des valeurs de SVF dans les deux points montre que les points végétales dans les quatre sites d'intervention "P2, P3, P6, P7, P8 et P12" ont marqué les valeurs les plus basses et un pourcentage élevé de limitation de l'horizon ce qui signifie que l'ombre portée par les arbres a un effet sur la diminution des valeurs de SVF et l'amélioration de l'environnement thermique. Tandis que les points libres ont peine à être ombragés et ont enregistré de mauvaises conditions climatiques avec des températures très élevées provoquant des situations d'inconfort pour les usagers de ces espaces publics. Ces résultats sont d'accord avec la recherche de (J. Zhang, 2019).

Concernant la température radiante moyenne T_{mrt} , les résultats obtenus des deux points de mesure dans les quatre sites d'interventions montrent que les points libres "P1, P4, P5, P9, P10 et P11" sont les plus exposés au rayonnement solaire direct pendant la période d'étude en comparaison avec les points près des arbres "P2, P3, P6, P7, P8 et P12", d'où la différence des moyennes de température radiante T_{mrt} est estimée de 1.19 °C au premier site, 3.96°C au deuxième site, 2.07°C au troisième site et 5.58°C au quatrième site.

Cette disparité s'explique par l'ombrage créé par les arbres qui atténue le rayonnement solaire, ce qui est cohérent avec les recherches effectuées par (de Abreu-Harbach et al., 2015).

Les valeurs de PET obtenues sont influencées par les valeurs de T_{mrt} enregistrées dans tous les points de mesure des quatre sites d'interventions ainsi que d'autres facteurs climatiques qui sont la température d'air T_a , la vitesse de vent V_a et l'humidité relative RH, ces résultats

est cohérente avec celle de (Teshnehdel et al., 2020), la différence de température physiologique équivalente obtenus entre les points végétales et les points libres dans les quatre sites d'interventions est estimée respectivement de 4.20°C, 1.82°C, 1.91°C et 3.84°C, cela est dû à l'effet de refroidissement des arbres en bloquant les rayons solaires directs, abaissant la température d'air et augmentant l'humidité relative, améliorant le confort thermique extérieurs des usagers de ces espaces, ces résultats sont cohérents avec ceux de (Cheung, 2018).

Les valeurs de température effective standard OUT-SET étaient clairement influencées par les facteurs climatiques mesurés des douze points de mesure dans les quatre sites d'intervention tout au long de la période d'étude (Nazarian et al., 2017), d'où les moyennes les plus basses de OUT-SET ont été enregistrées dans les points végétales "P2, P3, P6, P7, P8 et P12" qui ont marqué les meilleures conditions climatiques grâce à l'existence des arbres près de ces points.

Tandis que la différence entre ces points et les points libres "P1, P4, P5, P9, P10 et P11" est estimée de 1.08°C au premier site, 1.16°C au deuxième site, 1.72°C au troisième site et 2.31°C pour le quatrième site, ce qui montre l'effet positif des arbres sur l'abaissement des valeurs de température effective standard et l'amélioration de la perception thermique des personnes utilisant ces espaces publics.

VI.3.3 La contribution des plans d'eau dans l'optimisation des facteurs environnementaux et du confort thermique extérieur :

L'influence première des plans d'eau sur l'environnement thermique urbain réside dans leur capacité à refroidir l'air par évaporation. En outre, la capacité thermique élevée des plans d'eau se reflète par une température inférieure à celle des terrains environnants.

La température plus basse des masses d'eau fournit un gradient de température plus élevé entre l'air et la surface de l'eau pour le transfert de chaleur par convection (Lai et al., 2019a).

Selon les résultats de l'analyse des paramètres météorologiques mesurés dans les trois espaces publics sélectionnés, à savoir l'esplanade de Chaabani, la placette de l'indépendance et le jardin communal, pendant la période d'étude : le 16 juillet 2022 pour le premier site et le 17 juillet 2022 pour les deux autres.

Les conditions climatiques les plus favorables ont été observées dans les points humides P13 sur le premier site, P14, P16 sur le deuxième et troisième site. Ces points ont été caractérisés

par des températures d'air T_a un peu plus basses, une humidité relative RH plus élevée et une vitesse de vent V_a modérée, comparés aux autres points libres ‘‘P1, P11, P15’’.

La différence de température d'air entre les points humides et les points libres dans les trois espaces publics sélectionnés est estimé à : $0,15^{\circ}\text{C}$; $0,38^{\circ}\text{C}$ et $0,14^{\circ}\text{C}$.

Alors que les taux d'humidité relative varient de $0,07\%$ à $0,08\%$ et de $0,16\%$ respectivement ainsi que les vitesses de vent qui présente une différence estimée respectivement de $0,02\text{ m/s}$ à $0,14\text{ m/s}$ et de $0,37\text{ m/s}$.

Ces différences enregistrées sont due au processus de l'évaporation qui évacue la chaleur ambiante. En plus de cela, La propagation de chaleur par convection entre l'air ambiant et la surface de l'eau refroidit cette dernière et augmente le taux d'humidité relative. Ces résultats sont alignée avec celle de (Imam Syafii et al., 2017; Manteghi et al., 2015b) .

Les plans d'eau donc ont un effet direct sur la régulation de microclimat urbain par la modification des données climatiques, qui ont une influence positive sur le confort thermique extérieur des usagers même si cette amélioration est généralement bien moindre que celle apportée par les arbres est cela est cohérent avec les recherches effectuées par (Chatzidimitriou & Yannas, 2015).

Conclusion :

Au cours de ce chapitre, nous avons exploré les résultats obtenus, qui ont été répartis en trois phases. Les résultats de la première phase d'exploration visant à appréhender et saisir les comportements, les actions, la sensation et l'adhésion à l'environnement thermique des utilisateurs des espaces publics à la ville de Souk Ahras, afin d'approfondir la problématique de notre recherche. Selon ces résultats, les utilisateurs des espaces publics choisis ont été vraiment touchés par l'effet d'îlot de chaleur urbain ICU. Après l'analyse et la comparaison des résultats du vote de la sensation thermique, les deux éléments météorologiques suivants, à savoir l'humidité relative et la vitesse du vent, ne sont pas très influents et perturbent pour les utilisateurs des espaces publics contrairement à la température de l'air. Toutefois, les résultats obtenus concernant l'impact des arbres et des plans d'eau présents dans ces espaces publics sur leurs sensations de chaleur démontrent que les arbres ont un effet plus apaisant que les plans d'eau.

Selon les résultats de la première phase, nous avons entamé deux phases essentielles visant à comprendre le rôle des arbres et des plans d'eau existée sur la configuration des conditions microclimatiques et l'amélioration de confort thermique dans les espaces publics à la ville de Souk Ahars.

Selon les résultats, il ressort que la présence des arbres a une influence très évidente sur la température de l'air mesuré (avec des valeurs quotidiennes faibles près des arbres), sur l'humidité relative (avec des valeurs quotidiennes élevées près des arbres) et sur la vitesse de l'air, en comparant tous espaces publics choisis.

L'arbre offre une protection aux surfaces humaines, réduisant ainsi l'intensité du rayonnement solaire direct et l'émission de rayonnement thermique converti. L'évapotranspiration des végétaux entraîne une augmentation de l'humidité relative, une diminution de la température de l'air et une limitation de la vitesse de vent. Cela illustre sa capacité à réduire l'impact de l'îlot de chaleur urbain et l'amélioration de confort thermique (les indicateurs thermique comme la T_{mrt} , le SVF, la PET et l'OUT-SET ont montré l'effet des arbres sur le confort thermique extérieur).

En d'autres termes, les résultats d'analyse des paramètres métrologiques mesurés dans les points humides des espaces publics choisis montrent que les plans d'eau ont un effet direct sur la régulation du microclimat urbain en modifiant les données climatiques par deux processus ; l'évaporation et le transfert de chaleur par convection.

Ces derniers ont une influence positive sur le confort thermique en extérieur pour les utilisateurs ; cependant cette amélioration est généralement bien moindre que celle apportée par les arbres, ce qui était confirmée par les résultats obtenus grâce au questionnaire.

Conclusion générale

1. Conclusion générale

L'urbanisation à grande échelle modifie le climat régional, entraînant des variations de la couverture nuageuse, des précipitations, du rayonnement solaire, de la température de l'air et de la vitesse du vent entre la ville et ses environs ruraux. Alors que le réchauffement climatique continue de s'aggraver, les villes connaissent de plus en plus de phénomènes extrêmes tels que l'îlot de chaleur urbain ICU. La menace d'une chaleur excessive peut avoir divers effets néfastes, notamment une diminution du confort thermique, une augmentation des maladies et des décès liés à la chaleur, une détérioration de la qualité de l'air, une augmentation de la demande énergétique pour le refroidissement, ainsi que des conséquences financières et sociétales imprévues. Cette chaleur excessive provoque aussi des effets négatifs potentiels sur le confort thermique extérieurs OTC des citoyens.

Les espaces urbains jouent un rôle crucial dans plusieurs aspects de la vie, incluant la promotion de la santé publique, la facilitation des interactions sociales, la promotion de la culture locale, l'amélioration de l'esthétique urbaine, la réponse aux besoins fonctionnels des citoyens, le soutien à l'activité économique et la préservation de l'environnement écologique. Par conséquent, leur importance croissante est soulignée en tant qu'éléments essentiels qui contribuent à la fois à la durabilité de l'environnement et à la qualité de vie urbaine. Cependant comme les températures extérieures sont nettement plus élevées que les températures intérieures, peu d'individus sont en mesure de passer des périodes prolongées à l'extérieur, en particulier pendant les journées chaudes où il n'y a pas d'abris ou de centres de rafraîchissement.

Le confort thermique extérieur OTC a suscité l'intérêt des chercheurs à l'échelle mondiale en raison des défis associés au phénomène des îlots de chaleur urbains ICU. Il est un élément crucial, pour mesurer la qualité perçue du microclimat urbain, en prenant en compte cet aspect dès le début de la conception des espaces extérieurs. Afin d'évaluer le confort thermique en tenant compte des échanges d'énergie entre le corps humain et l'environnement, plusieurs indices thermiques polyvalents ont été développés par les chercheurs. Parmi ceux-ci, on retrouve le vote moyen prévisible (PMV), la température effective (ET*), la température effective standard (SET*), la température effective standard extérieure (OUT_SET*), ainsi que la température physiologique équivalente (PET). Selon des études récentes, le PET est considéré comme le choix le plus approprié pour évaluer les conditions de confort thermique dans les environnements extérieurs, plutôt que de se baser sur des indicateurs thermiques conçus pour des espaces intérieurs.

L'une des stratégies les plus efficace dans l'amélioration et l'optimisation de confort thermique extérieur par le biais de divers processus, est l'utilisation des solutions naturels comme que la végétation urbaine et les plans d'eau dans les villes; en raison d'un ombrage supplémentaire de la surface causé par l'insolation à travers la couverture végétale et d'un accroissement de l'évapotranspiration de surface. La végétation réduit la température radiante moyenne T_{mrt} et améliore les conditions environnementales grâce aux processus d'évapotranspiration et de régulation et de réflexion de la lumière radiante.

En outre, la végétation contribue à la réduction du CO_2 dans l'air, ce qui améliore les conditions microclimatiques. Lorsqu'il s'agit de réguler le climat et d'abaisser le Température, les arbres sont plus utiles que d'autres composants végétaux. Les arbres peuvent contribuer à améliorer le confort thermique en abaissant les températures de l'air et de la surface grâce à leur forme et de leur fonction particulière, les arbres sont capables de diminuer la température de l'air environnant en bloquant d'énormes quantités de rayonnement à ondes courtes par réflexion et transmission à travers leurs feuilles. Ce processus est communément désigné sous le nom de refroidissement par évaporation. Les plans d'eau ont principalement un effet sur l'environnement thermique urbain en étant capables de refroidir l'air par évaporation.

De plus, les plans d'eau ont une grande capacité thermique, ce qui se manifeste par une température inférieure à celle des terrains environnants. Le fait que les plans d'eau soient plus froids crée un gradient de température plus élevé entre l'air et la surface de l'eau, favorisant ainsi le transfert de chaleur par convection.

L'objectif principal de cette étude est d'analyser l'influence de ces deux éléments naturels sur la configuration du microclimat urbain et l'amélioration de confort thermique extérieur dans les espaces publics pendant la chaleur estivale excessive a la ville de Souk ahars, qui se distingue par son climat sub humide.

Après avoir commencé cette thèse en introduisant le sujet d'étude en passant du contexte global au contexte plus spécifique, en posant une problématique en soulignant et en établissant la relation entre les variables de l'étude, et en soulignant l'importance de ce sujet dans notre cas d'étude. En outre, en examinant les interrogations, les objectifs et les hypothèses qui définissent le déroulement de cette étude et qui ont été validées dans la dernière partie de la thèse. Les six chapitres de cette thèse sont composés de trois chapitres littéraires qui exposent différentes études principales liées au sujet de l'étude ;d'où elle débute en exposant divers concepts, théories et approches liés au climat, au microclimat, au

changement climatique et confort thermique, jusqu'à présenter la végétation urbaine et les plans d'eau comme un régulateur thermique extérieur. Finalement, grâce à ces chapitres, nous avons pu établir notre positionnement épistémologique et méthodologique. La problématique est abordée dans les trois autres chapitres pratiques, qui sont à leur tour présentés sous la forme d'un cas d'étude, d'un chapitre sur le matériel et les méthodes, et d'un chapitre sur les résultats et les discussions.

La partie pratique est subdivisée en deux parties essentielles, la première est présentée par une investigation sur terrain le long d'un trajet urbain constitué de cinq espaces publics les plus fréquentés à la ville de Souk Ahras ; la deuxième est la modélisation numérique par le logiciel Rayman 1.2. Cependant l'investigation sur terrain est composée de deux méthodes pour recueillir le maximum d'informations sur les divers espaces publics étudiés : une enquête par questionnaire et 2 campagnes de mesures des trois facteurs climatiques (la température d'air T_a , l'humidité relative RH et la vitesse de vent V_a) pendant quatre jours consécutifs (du 16 juillet 2022 jusqu'à 18 juillet 2022). L'objectif était de mieux comprendre la dynamique de l'espace urbain dans la ville de Souk Ahras, notamment en ce qui concerne la corrélation entre l'utilisation des gens et les bénéfices qu'il offre. De plus, nous avons étudié l'environnement thermique extérieur et nous avons examiné l'impact des solutions naturelles, notamment les arbres et les plans d'eau existants, sur le paramétrage de microclimat urbain et l'amélioration du confort thermique extérieur en cas de stress thermique.

La comparaison des résultats obtenus de l'enquête par questionnaire et les données des paramètres météorologiques mesurés via les deux points de mesures lors des deux campagnes de mesures a montré que la sensation thermique des usagers est directement liée à la température d'air T_a ; cela veut dire que le rayonnement solaire est le principal facteur influençant le confort thermique humain extérieur en été puisque l'augmentation du rayonnement solaire provoque directement une augmentation dans la température d'air ce qui rend les usagers de ces espaces publics dans une situation d'inconfort thermique.

D'autre part, La végétation urbaine (en particulier les arbres) a eu un effet sur les conditions microclimatiques mesurées. D'où les valeurs de la température de l'air, l'humidité relative et la vitesse de vents dans tous les espaces publics sélectionnés indiquent que les points proches des arbres sont enregistrés :

- Des mesures journalières de température d'air les plus basses d'où la différence est estimé respectivement de : 1.043 °C ; 0.43 °C, 0.376 °C et 1.02 °C.
- Des taux d'humidité relative les plus élevés avec une différence respective de 0.85%, 1.8 %, 0.03% et 1.67 et des vitesses de vents modérés.

Les résultats d'évaluation des niveaux de facteur de visibilité du ciel SVF dans les espaces publics choisis ont montrés que les points proches des arbres (P2, P3, P6, P7, P8 et P12) ont enregistré des valeurs plus basses (qui se varie de 3.04 jusqu'à 0.575) par rapport au point libre ; ce qui affirme que l'ombre portée par les arbres augmente la limitation de l'horizon et diminue les valeurs de SVF.

L'analyse des données de niveau de stress thermique obtenus par le calcul de divers indices thermiques (Tmrt, PET et OUT-SET) à l'aide de Rayman 1.2 montrent que:

- Les valeurs de température radiante moyennes Tmrt dans les points libres (P1, P4, P5, P9, P10 et P11) sont les plus exposés au rayonnement solaire direct pendant la période d'étude par rapport au point proche des arbres dans les espaces publics choisis d'où la différence des moyens de température radiante Tmrt est estimée respectivement de 1.19 °C, 3.96°C, 2.07°C, 5.58°C.
- La différence de température physiologique équivalente PET obtenus entre les points végétales (P2, P3, P6, P7, P8 et P12) et les points libres (P1, P4, P5, P9, P10 et P11) dans les espaces publics d'interventions est estimé respectivement de 4.20°C, 1.82°C, 1.91°C et 3.84°C
- Les moyens les plus basse de température effective standard extérieur OUT-SET dans les différents espaces publics choisis ont été enregistrés dans les points végétales (P2, P3, P6, P7, P8 et P12), tandis que la différence est estimé respectivement de 1.08°C, 1.16 °C, 1.72°C et 2.31°.

Cela est dû fortement à l'effet de refroidissement des arbres en bloquant les rayons solaire direct, abaissant la température d'air et augmentant l'humidité relative, améliorant le confort thermique extérieurs des usagers de ces espaces.

Les résultats de l'analyse du rôle des plans d'eau présents dans les espaces publics sélectionnés sur les paramètres de microclimat urbain ont révélé que les conditions climatiques les plus propices ont été constatées dans les points humides (P13, P14, P16). Les températures d'air Ta ont été légèrement plus basses, l'humidité relative RH est plus élevée et

la vitesse de vent V_a est modérée, par rapport aux autres points libres (P1, P11, P15). C'est pourquoi la différence de température d'air est évalué à $0,15^{\circ}\text{C}$; $0,38^{\circ}\text{C}$ et $0,14^{\circ}\text{C}$ respectivement. Tandis que les taux d'humidité relative fluctuent de $0,07\%$ à $0,08\%$ et de $0,16\%$ respectivement, les vitesses de vent affichent des variations estimées de $0,02\text{ m/s}$ à $0,14\text{ m/s}$ et de $0,37\text{ m/s}$ respectivement.

Ces variations observées sont causées par le processus de l'évaporation de l'eau qui évacue la chaleur de l'environnement. Par ailleurs, la convection de chaleur entre l'air environnant et la surface de l'eau permet de la refroidir et d'augmenter le taux d'humidité relative. Les plans d'eau ont une influence directe sur la régulation des conditions microclimatique en modifiant les données climatiques, ce qui améliore la sensation thermique des utilisateurs en extérieur. Bien que cette amélioration soit généralement bien moindre que celle apportée par les arbres, cela est conforme aux conclusions de l'enquête par questionnaire.

En résumé, il est démontré que la végétation urbaine et les plans d'eau ont un impact considérable sur la régulation du microclimat urbain et l'amélioration du confort thermique en extérieur grâce à l'évapotranspiration. La ville de Souk Ahras dispose d'une capacité importante en termes de terres agricoles et d'espaces verts, qui pourraient être aménagés en espaces publics verts bien conçus pour répondre aux besoins des citoyens. Par la promotion de l'expansion de la végétation et des plans d'eau, ou la réduction des surfaces imperméables, cela pourrait renforcer les effets rafraîchissants en milieu urbain.

2. Limites de recherche :

Cette recherche a été restreinte par diverses contraintes et limites que nous ne pouvons pas maîtriser, telles que :

- Il est impossible d'obtenir les données climatiques actuelles de la ville de souk ahars pour les dix dernières années, nous sommes donc limités aux données climatiques antérieures, allant de 1996 à 2018.
- Lors des entretiens avec les usagers des espaces publics sélectionnés, il était extrêmement compliqué d'expliquer les questions et de faire comprendre les objectifs du questionnaire, Ce qui a conduit à une diminution du nombre de participants.
- Le laboratoire de recherche de la faculté de rattachement (laboratoire de génie civil et hydraulique LGCH) ne disposent pas des instruments de mesure nécessaires pour le démarrage des campagnes de mesure. Afin de résoudre cette situation, nous avons utilisé un thermomètre hygromètre Chauvin Arnoux (C.A 846 ; 692670A00 - Ed.5)

provenant du laboratoire ABE (Architecture Bioclimatique et Environnement) de l'université de Constantine 3, ainsi qu'un anémomètre (TROTEC à hélice ba16) du docteur Mekhnès Nardjes. Cela nous contraint à prendre en compte une période d'étude spécifique et à évaluer un nombre précis des facteurs climatiques.

- La présence du logiciel de simulation des deux dimensions naturelles (la végétation et les plans l'eau) dans le laboratoire de la faculté de rattachement était impossible. Afin de résoudre cette situation et réaliser les objectifs de cette étude, nous avons seulement employé la modélisation numérique à l'aide du logiciel Rayman 1.2
- Il est impossible de réaliser des photos de type Fish Eye avec un appareil photographique professionnel afin de faciliter le calcul du SVF. Pour résoudre cette situation, il faudra d'abord extraire toutes les dimensions de l'environnement physique des sites choisis dans les plans directeurs d'aménagement et d'urbanisme PDAU de la ville de souk ahars, puis les insérer dans le logiciel Rayman 1.2.
- La présence de seulement deux types de plans d'eau dans les espaces publics choisis, ce qui a conduit à adhérer à l'étude de l'effet de ces types uniquement

3. Perspectives futures :

La thèse a permis d'approfondir notre compréhension du phénomène d'îlots de chaleur urbain et de ses conséquences néfastes sur la perception thermique des utilisateurs des espaces publics extérieur la ville de souk ahars. Toutefois, elle souligne également l'impact de la végétation urbaine (les arbres urbains) et les plans d'eau sur la configuration des conditions microclimatiques et l'optimisation de confort thermique extérieur lors de la surchauffe estivale.

Cette étude ouvre de nouvelles perspectives qui pourraient être des pistes de recherches futures :

- Notre étude se concentre exclusivement sur l'analyse de l'effet de la végétation et du plan d'eau sur l'amélioration du confort thermique extérieur. Il est essentiel de considérer l'interaction entre ces éléments naturels et leur influence sur le confort thermique à l'intérieur des bâtiments; d'où l'optimisation de l'environnement extérieur pourrait également permettre d'économiser et de réduire la demande énergétique, ce qui entraînerait une réduction des émissions de carbone et contribuerait ainsi à la lutte contre le changement climatique.
- Notre étude a été basée sur l'analyse des seuils de confort thermique dans les espaces publics et le rôle des arbres et plans d'eaux existées sur ce dernier. Cette étude a

impliqué la réalisation d'une enquête par questionnaire destinée aux usagers et une série de mesures des différents paramètres climatiques. Afin de mieux appréhender l'environnement thermique urbain de ces espaces publics, notamment de la logique de conception et des éléments physiques qui les composent, il est recommandé d'avoir des entretiens avec des professionnels tels que les concepteurs, les architectes, les urbanistes et les services techniques.

- Notre étude est basée uniquement sur la modélisation numérique de l'état actuel des espaces publics. Afin de mieux appréhender et approfondir le rôle de régulation thermique de ces éléments naturels, il est recommandé de combiner la modélisation et la simulation numérique en utilisant des logiciels performants.
- La détermination des niveaux de confort thermique dans les espaces publics pendant la période de surchauffe estivale repose uniquement sur deux éléments : la végétation et les plans d'eau. Cependant, il existe d'autres éléments qu'on peut les associer pour étudier leurs effets sur l'optimisation du confort thermique extérieur. Il est donc conseillé d'accorder une attention particulière à l'association avec les espaces enherbés, les revêtements de sols, le mobilier urbain et la géométrie urbaine.

Liste bibliographique

- Abd Elraouf, R., Elmokadem, A., Megahed, N., Abo Eleinen, O., & Eltarabily, S. (2022). The impact of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot-humid climate. *Building and Environment*, 225, 109632. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109632>
- Abdel-Ghany, A. M., Al-Helal, I. M., & Shady, M. R. (s. d.). Human Thermal Comfort and Heat Stress in an Outdoor Urban Arid Environment : A Case Study. *Advances in Meteorology*.
- Aicha, D., & Karima, H. (s. d.). *L'évolution urbaine de la wilaya de Souk Ahras à travers les instruments d'urbanisme*.
- Akbari, H., Cartalis, C., Kolokotsa, D., Muscio, A., Pisello, A. L., Rossi, F., Santamouris, M., Synnef, A., Wong, N. H., & Zinzi, M. (2015). LOCAL CLIMATE CHANGE AND URBAN HEAT ISLAND MITIGATION TECHNIQUES – THE STATE OF THE ART. *JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING AND MANAGEMENT*, 22(1), 1-16.
<https://doi.org/10.3846/13923730.2015.1111934>
- Akbari, H., & Kolokotsa, D. (2016). Three decades of urban heat islands and mitigation technologies research. *Energy and Buildings*, 133, 834-842. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.09.067>
- Al-Azri, N. A., Zurigat, Y. H., & Al-Rawahi, N. Z. (2013). Development of bioclimatic chart for passive building design. *International Journal of Sustainable Energy*, 32(6), 713-723.
<https://doi.org/10.1080/14786451.2013.813026>
- ALGERIE SOUK AHRAS / le Grand Bord et le Stade de Gymnastique / | Zu Kauf auf Delcampe.
(s. d.). Delcampe. Consulté 10 janvier 2024, à l'adresse
<https://www.delcampe.net/de/sammlerobjekte/ansichtskarten/algerien/souk-ahras/algerie-souk-ahras-le-grand-bord-et-le-stade-de-gymnastique-252258546.html>
- Alzahrani, A. (2022). Classification of Urban Spaces : An Attempt to Classify Al-Baha City Urban Spaces Using Carmona's Classification. *SAGE Open*, 12(2), 215824402210978.
<https://doi.org/10.1177/21582440221097892>
- Ampatzidis, P., & Kershaw, T. (s. d.). *A Review of the Impact of Blue Space on the Urban Microclimate*.
- Arens, E. A., & Zhang, H. (s. d.). *The Skin's Role in Human Thermoregulation and Comfort*.

- Arruda, A. M. de, Lopes, A., & Masiero, É. (2023). Microclimate Multivariate Analysis of Two Industrial Areas. *Atmosphere*, *14*(8), 1321. <https://doi.org/10.3390/atmos14081321>
- Awadallah, T., Johansson, E., Ouahrani, D., Al-Asir, H. S., Blomsterberg, Å., Håkansson, H., Hellström, B., & Kvist, H. (2015). *Climate Conscious Architecture and Urban Design in Jordan*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2369.0089>
- Ayman El.Deeb, D., Nagy Sarhan, A., & Sobhy Kandile, Y. (2021). The Use of Green Design Strategies for Achieving Thermal Comfort (Applying PMV as a Measurement Tool). *Engineering Research Journal*, *171*(0), 35-46. <https://doi.org/10.21608/erj.2021.193471>
- BADACHE Halima. (s. d.). *L'impact de la végétation sur le microclimat et le confort extérieur des usagers dans les espaces publics : Cas de la ville de Biskra*.
- BADACHE Halima. (2014). *L'espace public entre conception et usage : Cas des jardins publics de Biskra*. Université Mohamed Khider – Biskra.
- Bahi, H., Mastouri, H., & Radoine, H. (2020). Review of methods for retrieving urban heat islands. *Materials Today: Proceedings*, *27*, 3004-3009. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.272>
- Balany, F., Ng, A. W., Muttill, N., Muthukumar, S., & Wong, M. S. (2020a). Green Infrastructure as an Urban Heat Island Mitigation Strategy—A Review. *Water*, *12*(12), 3577. <https://doi.org/10.3390/w12123577>
- Balany, F., Ng, A. W., Muttill, N., Muthukumar, S., & Wong, M. S. (2020b). Green Infrastructure as an Urban Heat Island Mitigation Strategy—A Review. *Water*, *12*(12), 3577. <https://doi.org/10.3390/w12123577>
- Bandurski, K., Bandurska, H., Kazimierczak-Grygiel, E., & Koczyk, H. (2020). The Green Structure for Outdoor Places in Dry, Hot Regions and Seasons—Providing Human Thermal Comfort in Sustainable Cities. *Energies*, *13*(11), 2755. <https://doi.org/10.3390/en13112755>
- Barata, M., Ligeti, E., Simone, G. D., Dickinson, T., Jack, D., Penney, J., Rahman, M., & Zimmerman, R. (2011). Climate change and human health in cities. In C. Rosenzweig, W. D. Solecki, S. A. Hammer, & S. Mehrotra (Éds.), *Climate Change and Cities* (1^{re} éd., p. 179-214). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511783142.013>

- BELDJAZIA Amina. (2009). *ETUDE ECOLOGIQUE ET CARTOGRAPHIQUE DE LA VEGETATION DU MASSIF DE LA MAHOUNA (GUELMA)*. UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA.
- Benjamin Morille, Nicolas Lauzet, & MarjorieMusy. (2015). SOLENE-microclimate : A tool to evaluate envelopes efficiency on energy consumption at districts scale. *Energy Procedia*.
<https://doi.org/doi: 10.1016/j.egypro.2015.11.088>
- Benzaid, N. (s. d.). *MONOGRAPHIE WILAYA DE SOUK AHRAS*.
- Bherwani, H., Singh, A., & Kumar, R. (2020). Assessment methods of urban microclimate and its parameters : A critical review to take the research from lab to land. *Urban Climate*, 34, 100690. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100690>
- Bodnar, J. (2015). Reclaiming public space. *Urban Studies*, 52(12), 2090-2104.
<https://doi.org/10.1177/0042098015583626>
- Boukehili, K., Boutabia, L., Telailia, S., Mena, M., Tlidjane, A., Cherif Maazi, M., Chefrour, A., Saheb, M., & Vla, E. (2018). Les orchidées de la wilaya de Souk-Ahras (Nord-est algérien) : Inventaire, cologie, répartition et enjeux de conservation. *Revue d'cologie (La Terre et La Vie)*, 73(2), 167-179. <https://doi.org/10.3406/revec.2018.1924>
- Brodway, E. E., Moreto, J. A., Xavier, A. A. de P., & de Oliveira, R. (2019). The approximation between thermal sensation votes (TSV) and predicted mean vote (PMV) : A comparative analysis. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 69, 1-8.
<https://doi.org/10.1016/j.ergon.2018.09.007>
- Busato, F., Lazzarin, R. M., & Noro, M. (2014). Three years of study of the Urban Heat Island in Padua : Experimental results. *Sustainable Cities and Society*, 10, 251-258.
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2013.05.001>
- Byrne, M. P., & O'Gorman, P. A. (2018). Trends in continental temperature and humidity directly linked to ocean warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(19), 4863-4868. <https://doi.org/10.1073/pnas.1722312115>
- Carmona, M. (2010). Contemporary Public Space, Part Two : Classification. *Journal of Urban Design*, 15(2), 157-173. <https://doi.org/10.1080/13574801003638111>

- Chan, E. Y. (2018). Climate change is the world's greatest threat – In Celsius or Fahrenheit? *Journal of Environmental Psychology*, 60, 21-26. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2018.09.002>
- Chapman, S., Watson, J. E. M., Salazar, A., Thatcher, M., & McAlpine, C. A. (2017). The impact of urbanization and climate change on urban temperatures : A systematic review. *Landscape Ecology*, 32(10), 1921-1935. <https://doi.org/10.1007/s10980-017-0561-4>
- Chapter 2 : *An Overview of Canada's Changing Climate*. (s. d.).
- Charalampopoulos, I., & Matzarakis, A. (2022). Thoughts about the Thermal Environment and the Development of Human Civilisation. *Atmosphere*, 13(11), 1925. <https://doi.org/10.3390/atmos13111925>
- Charita Kishore Rupa. (2015). *Importance of public spaces in cities*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1656.1125>
- Chatzidimitriou, A., & Yannas, S. (2015). Microclimate development in open urban spaces : The influence of form and materials. *Energy and Buildings*, 108, 156-174. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.08.048>
- Chauzy, S., Hamdi, R., Lemonsu, A., Masson, V., Musy, M., & Najjar, G. (s. d.). *Le microclimat urbain à haute résolution : Mesures et modélisation*.
- Che-Ani, A. I., Shahmohamadi, P., Sairi, A., Mohd-Nor, M. F. I., & Zain, M. F. M. (s. d.). *Mitigating the Urban Heat Island Effect : Some Points without Altering Existing City Planning*.
- Chen, L., Wang, X., Cai, X., Yang, C., & Lu, X. (2021). Seasonal Variations of Daytime Land Surface Temperature and Their Underlying Drivers over Wuhan, China. *Remote Sensing*, 13(2), 323. <https://doi.org/10.3390/rs13020323>
- Chen, L., Wen, Y., Zhang, L., & Xiang, W.-N. (2015). Studies of thermal comfort and space use in an urban park square in cool and cold seasons in Shanghai. *Building and Environment*, 94, 644-653. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.10.020>
- Chen, Y.-C., Chen, W.-N., Chou, C., & Matzarakis, A. (2020). Concepts and New Implements for Modified Physiologically Equivalent Temperature. *Atmosphere*, 11(7), 694. <https://doi.org/10.3390/atmos11070694>

- Cheng, Y., Liu, X., Zeng, Z., Liu, S., Wang, Z., Tang, X., & He, B.-J. (2022). Impacts of Water Bodies on Microclimates and Outdoor Thermal Comfort : Implications for Sustainable Rural Revitalization. *Frontiers in Environmental Science, 10*, 940482.
<https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.940482>
- Cheung, P. K. (2018). Comparing the cooling effects of a tree and a concrete shelter using PET and UTCI. *Building and Environment*.
- Chitrakar, R. M. (s. d.). *TRANSFORMATION OF PUBLIC SPACE IN CONTEMPORARY URBAN NEIGHBOURHOODS OF KATHMANDU VALLEY, NEPAL: AN INVESTIGATION OF CHANGING PROVISION, USE AND MEANING*.
- Clarence, D., & Gamini, W. (2022a). *Influence of Urban Design Interventions on Outdoor Thermal Comfort in Tropical Cities; a Review. 7*.
- Clarence, D., & Gamini, W. (2022b). *Influence of Urban Design Interventions on Outdoor Thermal Comfort in Tropical Cities; a Review. 7*.
- climatologie—LAROUSSE*. (s. d.). Consulté 17 octobre 2023, à l'adresse
<https://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/climatologie/34511>
- Cole-Dai, J. (2010). Volcanoes and climate. *WIREs Climate Change, 1*(6), 824-839.
<https://doi.org/10.1002/wcc.76>
- Cooper, C. L., Swindles, G. T., Savov, I. P., Schmidt, A., & Bacon, K. L. (2018). Evaluating the relationship between climate change and volcanism. *Earth-Science Reviews, 177*, 238-247.
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.11.009>
- Corburn, J. (2009). Cities, Climate Change and Urban Heat Island Mitigation : Localising Global Environmental Science. *Urban Studies, 46*(2), 413-427.
<https://doi.org/10.1177/0042098008099361>
- Cui, D., Liang, S., & Wang, D. (s. d.). *Observed and projected changes in global climate zones based on Köppen climate classification*.
- Daget, P. (1977). Le bioclimat méditerranéen : Analyse des formes climatiques par le système d'emberger. *Vegetatio, 34*(2), 87-103.

- Dahe, Q., Tandong, Y., Yongjian, D., & Jiawen, R. (2020). *Establishment and Significance of the Scientific System of Cryospheric Science*.
- Dalila, N., & Slimane, B. (2008). La désertification dans les steppes algériennes : Causes, impacts et actions de lutte. *VertigO, Volume 8 Numéro 1*. <https://doi.org/10.4000/vertigo.5375>
- Daniel, M. (s. d.). *Villes, climat urbain et climat régional sur la France : Étude par une approche de modélisation climatique couplée*.
- Dayi Lai. (s. d.). *A Comprehensive Review of Thermal Comfort Studies in Urban Open Spaces*.
- de Abreu-Harbich, L. V., Labaki, L. C., & Matzarakis, A. (2015). *Effect of tree planting design and tree species on human thermal comfort in the tropics*.
- Deb, C. (2010). The significance of Physiological Equivalent Temperature (PET) in outdoor thermal comfort studies. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2.
- Debbage, N., & Shepherd, J. M. (2015). The urban heat island effect and city contiguity. *Computers, Environment and Urban Systems*, 54, 181-194.
<https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2015.08.002>
- Diem, J. E., & Brown, D. P. (2003). Anthropogenic Impacts on Summer Precipitation in Central Arizona, U.S.A. *The Professional Geographer*, 55(3), 343-355. <https://doi.org/10.1111/0033-0124.5503011>
- Dirksen, M., Ronda, R. J., Theeuwes, N. E., & Pagani, G. A. (2019). Sky view factor calculations and its application in urban heat island studies. *Urban Climate*, 30, 100498.
<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100498>
- Djalante, R. (2019). Key assessments from the IPCC special report on global warming of 1.5 °C and the implications for the Sendai framework for disaster risk reduction. *Progress in Disaster Science*, 1, 100001. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2019.100001>
- Djekic, J., Djukic, A., Vukmirovic, M., Djekic, P., & Dinic Brankovic, M. (2018). Thermal comfort of pedestrian spaces and the influence of pavement materials on warming up during summer. *Energy and Buildings*, 159, 474-485. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.11.004>
- Dobinski, W. (2006). Ice and environment : A terminological discussion. *Earth-Science Reviews*, 79(3-4), 229-240. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.07.003>

- Dos Reis, A. S., Vaquero, P., Dias, M. F., & Tavares, A. (2022). Passive Discomfort Index as an alternative to Predicted Mean Vote and Predicted Percentage of Dissatisfied to assess occupant's thermal discomfort in dwellings. *Energy Reports*, 8, 956-965.
<https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.07.128>
- Dună, Ș., Silviu Doboși, I., Mihăilă, D., Teodorescu, D., & Troi, L. (2019). The notion of comfort, from word to concept. *E3S Web of Conferences*, 111, 02071.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911102071>
- Dunnett, N., Swanwick, C., & Woolley, H. (2002). *Improving urban parks, play areas and green spaces : May 2002*. Dept. for Transport, Local Government and the Regions.
- Dyvia, H. A., & Arif, C. (2021). Analysis of thermal comfort with predicted mean vote (PMV) index using artificial neural network. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 622(1), 012019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/622/1/012019>
- Elnabawi, M. H., & Hamza, N. (2019). Behavioural Perspectives of Outdoor Thermal Comfort in Urban Areas : A Critical Review. *Atmosphere*, 11(1), 51.
<https://doi.org/10.3390/atmos11010051>
- El-Sieedy, A., Abuzekry, T., & Al-Menshaway, A. (2021). The Difference Between The Concept Of Space And Of Place In Urban Science. *The Egyptian International Journal of Engineering Sciences and Technology*, 35(1), 1-7. <https://doi.org/10.21608/eijest.2021.57319.1038>
- Estacio, I., Hadfi, R., Blanco, A., Ito, T., & Babaan, J. (2022). Optimization of tree positioning to maximize walking in urban outdoor spaces : A modeling and simulation framework. *Sustainable Cities and Society*, 86, 104105. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104105>
- Fadhil, M., Hamoodi, M. N., & Ziboon, A. R. T. (2023). Mitigating urban heat island effects in urban environments : Strategies and tools. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1129(1), 012025. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1129/1/012025>
- Fang, Z., Feng, X., Liu, J., Lin, Z., Mak, C. M., Niu, J., Tse, K.-T., & Xu, X. (2019). Investigation into the differences among several outdoor thermal comfort indices against field survey in subtropics. *Sustainable Cities and Society*, 44, 676-690.
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.10.022>

- Faragallah, R. N. (2022). Evaluation of thermal comfort and urban heat island through cool paving materials using ENVI-Met. *Ain Shams Engineering Journal*.
- Faragallah, R. N., & Ragheb, R. A. (2022). Evaluation of thermal comfort and urban heat island through cool paving materials using ENVI-Met. *Ain Shams Engineering Journal*, 13(3), 101609. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.10.004>
- Fatma Zohra HAFSI. (2021). *IMPACT DE LA MORPHOLOGIE DE LA VILLE SUR LE DEVELOPPEMENT URBAIN DURABLE. CAS DE LA VILLE DE SOUK AHRAS*. 296.
- Fernando, H. J. S. (2013). *Handbook of environmental fluid dynamics*. CRC Press.
- Finaeva, O. (2017). Role of Green Spaces in Favorable Microclimate Creating in Urban Environment (Exemplified by Italian Cities). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 262, 012141. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/262/1/012141>
- Fischereit, J. (2021). The simple urban radiation model for estimating mean radiant temperature in idealised street canyons. *Urban Climate*.
- Foshag, K., Aeschbach, N., Höfle, B., Winkler, R., Siegmund, A., & Aeschbach, W. (2020). Viability of public spaces in cities under increasing heat : A transdisciplinary approach. *Sustainable Cities and Society*, 59, 102215. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102215>
- Fouillat, S. (s. d.). *Fiche Espèce Frêne*.
- Francis, J., Giles-Corti, B., Wood, L., & Knuiiman, M. (2012). Creating sense of community : The role of public space. *Journal of Environmental Psychology*, 32(4), 401-409. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2012.07.002>
- Gage, A. P. (s. d.). Biophysics and physiology. *ENVIRONMENTAL PHYSIOLOGY*.
- Gago, E. J., Roldan, J., Pacheco-Torres, R., & Ordóñez, J. (2013). The city and urban heat islands : A review of strategies to mitigate adverse effects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 749-758. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.057>
- Galal, O. M., Sailor, D. J., & Mahmoud, H. (2020). The impact of urban form on outdoor thermal comfort in hot arid environments during daylight hours, case study : New Aswan. *Building and Environment*, 184, 107222. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107222>

- Gao, S. (2019). Formulation of human body heat transfer coefficient under various ambient temperature, air speed and direction based on experiments and CFD. *Building and Environment*.
- Gatto, E., Buccolieri, R., Aarrevaara, E., Ippolito, F., Emmanuel, R., Perronace, L., & Santiago, J. L. (2020a). Impact of Urban Vegetation on Outdoor Thermal Comfort : Comparison between a Mediterranean City (Lecce, Italy) and a Northern European City (Lahti, Finland). *Forests*, *11*(2), 228. <https://doi.org/10.3390/f11020228>
- Gatto, E., Buccolieri, R., Aarrevaara, E., Ippolito, F., Emmanuel, R., Perronace, L., & Santiago, J. L. (2020b). Impact of Urban Vegetation on Outdoor Thermal Comfort : Comparison between a Mediterranean City (Lecce, Italy) and a Northern European City (Lahti, Finland). *Forests*, *11*(2), 228. <https://doi.org/10.3390/f11020228>
- Gatto, E., Ippolito, F., Rispoli, G., Carlo, O. S., Santiago, J. L., Aarrevaara, E., Emmanuel, R., & Buccolieri, R. (2021). Analysis of Urban Greening Scenarios for Improving Outdoor Thermal Comfort in Neighbourhoods of Lecce (Southern Italy). *Climate*, *9*(7), 116. <https://doi.org/10.3390/cli9070116>
- Georgi, J. N., & Dimitriou, D. (2010). The contribution of urban green spaces to the improvement of environment in cities : Case study of Chania, Greece. *Building and Environment*, *45*(6), 1401-1414. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.12.003>
- Gettelman, A., & Rood, R. B. (2016). Components of the Climate System. In A. Gettelman & R. B. Rood, *Demystifying Climate Models* (Vol. 2, p. 13-22). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-48959-8_2
- Gherraz, H. (s. d.-a). (*Cas de la ville de Constantine*).
- Gherraz, H. (s. d.-b). (*Cas de la ville de Constantine*).
- Gherraz, H., Guechi, I., & Benzaoui, A. (2018). Strategy to Improve Outdoor Thermal Comfort in Open Public Space of a Desert City, *Ouargla, Algeria*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *151*, 012036. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/151/1/012036>
- Givoni, B. (1992). Comfort, climate analysis and building design guidelines. *Energy and Buildings*, *18*(1), 11-23. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(92\)90047-K](https://doi.org/10.1016/0378-7788(92)90047-K)

- Gomes, P. S., & Paris-Est, U. (s. d.). *FACTORS OF GOOD PUBLIC SPACE USE*.
- Gunawardena, K., & Kershaw, T. (s. d.-a). *Green and blue-space significance to urban heat island mitigation*.
- Gunawardena, K., & Kershaw, T. (s. d.-b). *Green and blue-space significance to urban heat island mitigation*.
- Gunawardena, K. R., Wells, M. J., & Kershaw, T. (2017). Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity. *Science of The Total Environment*, 584-585, 1040-1055.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.158>
- Guo, H., Aviv, D., Loyola, M., Teitelbaum, E., Houchois, N., & Meggers, F. (2020). On the understanding of the mean radiant temperature within both the indoor and outdoor environment, a critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 117, 109207.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.06.014>
- Halima GHERRAZ. (2013). *Les espaces publics entre forme et pratique dans les villes arides et semi arides (Cas des places publiques de la ville de Ouargla)*. Université Mohamed Khider – Biskra.
- Hamaidia, K., Fouzia, T., & Soltani, N. (2016). *Faune culicidienne de la région de Souk-Ahras (Nord-Est Algérie) Répartition spatio-temporelle et corrélation avec les facteurs du milieu*.
- Hami, A., Abdi, B., Zarehaghi, D., & Maulan, S. B. (2019). Assessing the thermal comfort effects of green spaces : A systematic review of methods, parameters, and plants' attributes. *Sustainable Cities and Society*, 49, 101634. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101634>
- Hanafi, A., & Alkama, D. (2017). Role of the urban vegetal in improving the thermal comfort of a public place of a contemporary Saharan city. *Energy Procedia*, 119, 139-152.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.061>
- HANAFI Abdelhakim. (2018). *Le Végétal urbain générateur de confort thermique dans les villes sahariennes contemporaines. Cas des places publiques de la ville de Biskra/ Algérie*.
Université Mohamed Khider de Biskra.
- Hanzl, M. (s. d.). *The Meaning of Public Spaces*.

- Hartabela, D., Dewancker, B. J., & Koerniawan, M. D. (2021). A Relationship between Micro-Meteorological and Personal Variables of Outdoor Thermal Comfort : A Case Study in Kitakyushu, Japan. *Sustainability*, *13*(24), 13634. <https://doi.org/10.3390/su132413634>
- Heaviside, C., Vardoulakis, S., & Cai, X.-M. (2016). Attribution of mortality to the urban heat island during heatwaves in the West Midlands, UK. *Environmental Health*, *15*(S1), S27. <https://doi.org/10.1186/s12940-016-0100-9>
- Hefnawy, N. H. (2022). The Effect of Using Green Walls in Enhancing the Imageability of Urban Spaces. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1113*(1), 012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1113/1/012007>
- Hertzberg, M., Siddons, A., & Schreuder, H. (2017). Role of greenhouse gases in climate change. *Energy & Environment*, *28*(4), 530-539. <https://doi.org/10.1177/0958305X17706177>
- Hewitt, V., Mackres, E., & Shickman, K. (s. d.). *Cool Policies for Cool Cities : Best Practices for Mitigating Urban Heat Islands in North American Cities*.
- Hobbi, S., Michael Papalexiou, S., Rupa Rajulapati, C., Nerantzaki, S. D., Markonis, Y., Tang, G., & Clark, M. P. (2022). Detailed investigation of discrepancies in Köppen-Geiger climate classification using seven global gridded products. *Journal of Hydrology*, *612*, 128121. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128121>
- Hobbie, S. E., & Grimm, N. B. (2020). Nature-based approaches to managing climate change impacts in cities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *375*(1794), 20190124. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0124>
- Högyeová, M., Agócsová, Á., Hajduk, M., & Gažová, D. (2023). The Role of Temporary Use of Public Space in Sustainable Development : A Case Study. *Periodica Polytechnica Social and Management Sciences*, *31*(2), 100-111. <https://doi.org/10.3311/PPso.17914>
- Hong, S. H., Lee, J. M., Moon, J. W., & Lee, K. H. (2018). *Thermal Comfort, Energy and Cost Impacts of PMV Control Considering Individual Metabolic Rate Variations in Residential Building*.
- Hoof, J. van. (2010). Thermal comfort : Research and practice. *Frontiers in Bioscience*, *15*(1), 765. <https://doi.org/10.2741/3645>

- Höppe, P. (1999). The physiological equivalent temperature—A universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology*, 43(2), 71-75. <https://doi.org/10.1007/s004840050118>
- Hosseini, S. H., Shokry, E., Ahmadian Hosseini, A. J., Ahmadi, G., & Calautit, J. K. (2016). Evaluation of airflow and thermal comfort in buildings ventilated with wind catchers : Simulation of conditions in Yazd City, Iran. *Energy for Sustainable Development*, 35, 7-24. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2016.09.005>
- Hou, Y.-C., Timmins, F., Zhou, Q., & Wang, J.-Z. (2021). A conceptual analysis of the meaning of comfort at the end-of-life using the Walker and Avant (2014) Framework. *Frontiers of Nursing*, 8(2), 91-97. <https://doi.org/10.2478/fon-2021-0011>
- Huang, J., Kong, F., Yin, H., Middel, A., Liu, H., Zheng, X., Wen, Z., & Wang, D. (2022). Transpirational cooling and physiological responses of trees to heat. *Agricultural and Forest Meteorology*, 320, 108940. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.108940>
- Hulme, M. (2015). Climate. *Environmental Humanities*, 6(1), 175-178. <https://doi.org/10.1215/22011919-3615952>
- Humphreys, M. A., & Fergus Nicol, J. (2002). The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments. *Energy and Buildings*, 34(6), 667-684. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00018-X](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00018-X)
- Ignatieva, M., & Mofrad, F. (2023). Understanding Urban Green Spaces Typology's Contribution to Comprehensive Green Infrastructure Planning : A Study of Canberra, the National Capital of Australia. *Land*, 12(5), 950. <https://doi.org/10.3390/land12050950>
- Imbert, C., Bhattacharjee, S., & Tencar, J. (s. d.). *Simulation of Urban Microclimate with SOLENE-microclimat—An Outdoor Comfort Case Study*.
- Jabbar, H. K., Hamoodi, M. N., & Al-Hameedawi, A. N. (2023). Urban heat islands : A review of contributing factors, effects and data. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1129(1), 012038. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1129/1/012038>

- Jalaladdini, S., & Oktay, D. (2012). Urban Public Spaces and Vitality : A Socio-Spatial Analysis in the Streets of Cypriot Towns. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 35, 664-674.
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.02.135>
- Jamei, E., Rajagopalan, P., Seyedmahmoudian, M., & Jamei, Y. (2016). Review on the impact of urban geometry and pedestrian level greening on outdoor thermal comfort. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1002-1017. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.104>
- Ji, W., Zhu, Y., Du, H., Cao, B., Lian, Z., Geng, Y., Liu, S., Xiong, J., & Yang, C. (2022). Interpretation of standard effective temperature (SET) and explorations on its modification and development. *Building and Environment*, 210, 108714.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108714>
- Joshi, M. Y., & Teller, J. (2021). Urban Integration of Green Roofs : Current Challenges and Perspectives. *Sustainability*, 13(22), 12378. <https://doi.org/10.3390/su132212378>
- jpguilhembet. (2012, décembre 28). Nacéra Benseddik, Thagaste, Souk Ahras, Patrie de saint Augustin, éditions Inas, Alger, 2004, 79 p., 30 illustrations (Noëlle Géroutet) [Billet]. *Histoire Urbaine*. <https://sfhu.hypotheses.org/927>
- Jundus, A. (s. d.). *THE EFFECT OF URBAN GEOMETRY ON MICROCLIMATE AND OUTDOOR THERMAL COMFORT (DOWNTOWN TUCSON, ARIZONA AS CASE STUDY)*.
- Kalvová, J., Halenka, T., Bezpalcová, K., & Nemešová, I. (2003). KÖPPEN CLIMATE TYPES IN OBSERVED AND SIMULATED CLIMATES. *Stud. Geophys. Geod.*
- Kamel, S., Sabry, H., Hassan, G. F., Refat, M., Elshater, A., Elrahman, A. S. A., Hassan, D. K., & Rashed, R. (Éds.). (2020). *Architecture and Urbanism : A Smart Outlook: Proceedings of the 3rd International Conference on Architecture and Urban Planning, Cairo, Egypt*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-52584-2>
- Karade, R. M., Kuchi, V. S., & Kabir, J. (2017). The role of green space for sustainable landscape development in urban areas. *Acta Horticulturae*, 1181, 73-76.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1181.9>

- Karakounos, I., Dimoudi, A., & Zoras, S. (2018a). The influence of bioclimatic urban redevelopment on outdoor thermal comfort. *Energy and Buildings*, *158*, 1266-1274.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.11.035>
- Karakounos, I., Dimoudi, A., & Zoras, S. (2018b). The influence of bioclimatic urban redevelopment on outdoor thermal comfort. *Energy and Buildings*, *158*, 1266-1274.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.11.035>
- Khalili, S., Fayaz, R., & Zolfaghari, S. A. (2022). Analyzing outdoor thermal comfort conditions in a university campus in hot-arid climate : A case study in Birjand, Iran. *Urban Climate*, *43*, 101128. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101128>
- Khan, J. A. & Mudassar Hassan Arsalan. (2008). *General Climatology*. Department of Geography, University of Karachi. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2327.6241>
- Khoualdia, W., & Yahia, H. (s. d.). *CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA SECHERESSE ET CONCEPTS DES MODELES PROBABILISTES « CAS DE LA REGION DE SOUK-AHRAS, ALGERIE »*.
- Kleerekoper, L., van Esch, M., & Salcedo, T. B. (2012). How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect. *Resources, Conservation and Recycling*, *64*, 30-38.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.06.004>
- Koch, K., Ysebaert, T., Denys, S., & Samson, R. (2020). Urban heat stress mitigation potential of green walls : A review. *Urban Forestry & Urban Greening*, *55*, 126843.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126843>
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, *15*(3), 259-263.
<https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- Kousis, I., & Pisello, A. L. (2023). Evaluating the performance of cool pavements for urban heat island mitigation under realistic conditions : A systematic review and meta-analysis. *Urban Climate*, *49*, 101470. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101470>

- Kriegel, L. S., Barrenger, S. L., & Henwood, B. F. (2023). Public space as a potential resource during reentry for formerly incarcerated people with serious mental illnesses. *Health & Place*, *84*, 103133. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2023.103133>
- Kumar, P. (2020). Study on importance, procedure, and scope of outdoor thermal comfort –A review. *Sustainable Cities and Society*.
- Kumar, P. (2021). Climate Change and Cities : Challenges Ahead. *Frontiers in Sustainable Cities*, *3*, 645613. <https://doi.org/10.3389/frsc.2021.645613>
- Kumar, P., & Sharma, A. (2020). Study on importance, procedure, and scope of outdoor thermal comfort –A review. *Sustainable Cities and Society*, *61*, 102297. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102297>
- Lai, D. (2019). A review of mitigating strategies to improve the thermal environment and thermal comfort in urban outdoor spaces. *Science of the Total Environment*.
- Lai, D., Guo, D., Hou, Y., Lin, C., & Chen, Q. (2014). Studies of outdoor thermal comfort in northern China. *Building and Environment*, *77*, 110-118. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.03.026>
- Lai, D., Liu, W., Gan, T., Liu, K., & Chen, Q. (2019a). A review of mitigating strategies to improve the thermal environment and thermal comfort in urban outdoor spaces. *Science of The Total Environment*, *661*, 337-353. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.062>
- Lai, D., Liu, W., Gan, T., Liu, K., & Chen, Q. (2019b). A review of mitigating strategies to improve the thermal environment and thermal comfort in urban outdoor spaces. *Science of The Total Environment*, *661*, 337-353. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.062>
- Le corps humain a sans cesse des échanges thermiques... - [1ère SVT - Enseignement Scientifique]—* QCM n° 1106. (s. d.). Consulté 2 novembre 2023, à l'adresse <https://www.qcm-svt.fr/QCM/public-affichage.php?niveau=1ere-Ens-Sc&id=1106>
- Le, M. T., & Tran, N. A. Q. (2019). Features of the formation of urban heat islands effects in tropical climates and their impact on the ecology of the city. *E3S Web of Conferences*, *91*, 05005. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199105005>

- Leal Filho, W., Wolf, F., Castro-Díaz, R., Li, C., Ojeh, V. N., Gutiérrez, N., Nagy, G. J., Savić, S., Natenzon, C. E., Quasem Al-Amin, A., Maruna, M., & Bönecke, J. (2021). Addressing the Urban Heat Islands Effect : A Cross-Country Assessment of the Role of Green Infrastructure. *Sustainability*, *13*(2), 753. <https://doi.org/10.3390/su13020753>
- Lehnert, M., Savić, S., Milošević, D., Dunjić, J., & Geletič, J. (2021). Mapping Local Climate Zones and Their Applications in European Urban Environments : A Systematic Literature Review and Future Development Trends. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, *10*(4), 260. <https://doi.org/10.3390/ijgi10040260>
- Li, J., Zheng, B., Shen, W., Xiang, Y., Chen, X., & Qi, Z. (2019). Cooling and Energy-Saving Performance of Different Green Wall Design : A Simulation Study of a Block. *Energies*, *12*(15), 2912. <https://doi.org/10.3390/en12152912>
- Li, X., Stringer, L. C., & Dallimer, M. (2022). The Impacts of Urbanisation and Climate Change on the Urban Thermal Environment in Africa. *Climate*, *10*(11), 164. <https://doi.org/10.3390/cli10110164>
- Lithosphere*. (s. d.). Consulté 16 décembre 2023, à l'adresse <https://education.nationalgeographic.org/resource/lithosphere>
- Liu, Z., Cheng, W., Jim, C. Y., Morakinyo, T. E., Shi, Y., & Ng, E. (2021a). Heat mitigation benefits of urban green and blue infrastructures : A systematic review of modeling techniques, validation and scenario simulation in ENVI-met V4. *Building and Environment*, *200*, 107939. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107939>
- Liu, Z., Cheng, W., Jim, C. Y., Morakinyo, T. E., Shi, Y., & Ng, E. (2021b). Heat mitigation benefits of urban green and blue infrastructures : A systematic review of modeling techniques, validation and scenario simulation in ENVI-met V4. *Building and Environment*, *200*, 107939. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107939>
- Lobaccaro, G., & Acero, J. A. (2015). Comparative analysis of green actions to improve outdoor thermal comfort inside typical urban street canyons. *Urban Climate*, *14*, 251-267. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.10.002>

- Lopes, C., Adnot, J., Santamouris, M., Klitsikas, N., Alvarez, S., & Sanchez, F. (s. d.). *Managing the Growth of the Demand for Cooling in Urban Areas and Mitigating the Urban Heat Island Effect*.
- Lopes, M. N. N. (s. d.). *THE CHANGING PUBLICNESS OF URBAN SPACES*.
- Lopez-Cabeza, V. P., Alzate-Gaviria, S., Diz-Mellado, E., Rivera-Gomez, C., & Galan-Marin, C. (2022a). Albedo influence on the microclimate and thermal comfort of courtyards under Mediterranean hot summer climate conditions. *Sustainable Cities and Society*, 81, 103872. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103872>
- Lopez-Cabeza, V. P., Alzate-Gaviria, S., Diz-Mellado, E., Rivera-Gomez, C., & Galan-Marin, C. (2022b). Albedo influence on the microclimate and thermal comfort of courtyards under Mediterranean hot summer climate conditions. *Sustainable Cities and Society*, 81, 103872. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103872>
- Louafi, S., Abdou, S., & Reiter, S. (s. d.). *Effect of vegetation cover on thermal and visual comfort of pedestrians in urban spaces in hot and dry climate*.
- Lucarini, V. (s. d.). *Towards a definition of climate science*.
- Lukić, M. (2019). AN ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF AIR TEMPERATURE AND HUMIDITY ON OUTDOOR THERMAL COMFORT IN BELGRADE (SERBIA) USING A SIMPLE HEAT INDEX. *Archives for Technical Sciences*, 2(21), 75-84. <https://doi.org/10.7251/afts.2019.1121.075L>
- Luo, M. (2016). Revisiting an overlooked parameter in thermal comfort studies, the metabolic rate. *Energy and Buildings*.
- Madhumathi, A., Subhashini, S., & VishnuPriya, J. (2018). The Urban Heat Island Effect its Causes and Mitigation with Reference to the Thermal Properties of Roof Coverings. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3207224>
- Malinin, V. N. (s. d.). *Exchanges of Water in the Hydrosphere*.
- Malys, L., Musy, M., & Inard, C. (2015). Microclimate and building energy consumption : Study of different coupling methods. *Advances in Building Energy Research*, 9(2), 151-174. <https://doi.org/10.1080/17512549.2015.1043643>

- Manteghi, G., Limit, H. B., & Remaz, D. (2015). Water Bodies an Urban Microclimate : A Review. *Modern Applied Science*, 9(6), p1. <https://doi.org/10.5539/mas.v9n6p1>
- Manzano-Agugliaro, F., Montoya, F. G., Sabio-Ortega, A., & García-Cruz, A. (2015). Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 736-755. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.095>
- Marando, F., Heris, M. P., Zulian, G., Udías, A., Mentaschi, L., Chrysoulakis, N., Parastatidis, D., & Maes, J. (2022a). Urban heat island mitigation by green infrastructure in European Functional Urban Areas. *Sustainable Cities and Society*, 77, 103564. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103564>
- Marando, F., Heris, M. P., Zulian, G., Udías, A., Mentaschi, L., Chrysoulakis, N., Parastatidis, D., & Maes, J. (2022b). Urban heat island mitigation by green infrastructure in European Functional Urban Areas. *Sustainable Cities and Society*, 77, 103564. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103564>
- Masson, V., Le Moigne, P., Martin, E., Faroux, S., Alias, A., Alkama, R., Belamari, S., Barbu, A., Boone, A., Bouyssel, F., Brousseau, P., Brun, E., Calvet, J.-C., Carrer, D., Decharme, B., Delire, C., Donier, S., Essauouini, K., Gibelin, A.-L., ... Voldoire, A. (2012). *The SURFEXv7.2 land and ocean surface platform for coupled or offline simulation of Earth surface variables and fluxes* [Preprint]. *Hydrology*. <https://doi.org/10.5194/gmdd-5-3771-2012>
- Matallah, M. E., Alkama, D., Ahriz, A., & Attia, S. (2020). Assessment of the Outdoor Thermal Comfort in Oases Settlements. *Atmosphere*, 11(2), 185. <https://doi.org/10.3390/atmos11020185>
- Matzarakis, A., Matuschek, O., Neumcke, R., Rutz, F., & Zalloom, M. (2007). *CLIMATE CHANGE SCENARIOS AND TOURISM – HOW TO HANDLE AND OPERATE WITH DATA*.
- Matzarakis, A., & Rutz, F. (2006). RayMan : A TOOL FOR RESEARCH AND EDUCATION IN APPLIED CLIMATOLOGY. *ATMOSPHERIC PHYSICS*.
- Matzarakis, A., Rutz, F., & Mayer, H. (2006). *Modelling the thermal bioclimate in urban areas with the RayMan Model*.

- Matzarakis, A., Rutz, F., & Mayer, H. (2010). Modelling radiation fluxes in simple and complex environments : Basics of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology*, 54(2), 131-139. <https://doi.org/10.1007/s00484-009-0261-0>
- Mayaud, J., & Webb, N. (2017). Vegetation in Drylands : Effects on Wind Flow and Aeolian Sediment Transport. *Land*, 6(3), 64. <https://doi.org/10.3390/land6030064>
- Mehhdi, R., Johari, M. Y. M., & Afshin, S. (s. d.). *Terminology of Urban Open and Green Spaces*.
- Meili, N., Manoli, G., Burlando, P., Carmeliet, J., Chow, W. T. L., Coutts, A. M., Roth, M., Velasco, E., Vivoni, E. R., & Fatichi, S. (2021). Tree effects on urban microclimate : Diurnal, seasonal, and climatic temperature differences explained by separating radiation, evapotranspiration, and roughness effects. *Urban Forestry & Urban Greening*, 58, 126970. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126970>
- Menut, L. (s. d.). *ETUDE EXPERIMENTALE ET THEORIQUE DE LA COUCHE LIMITE ATMOSPHERIQUE ENAGGLOMERATION PARISIENNE*.
- Miao, C., Yu, S., Hu, Y., Zhang, H., He, X., & Chen, W. (2020). Review of methods used to estimate the sky view factor in urban street canyons. *Building and Environment*, 168, 106497. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106497>
- Mihalakakou, G., Souliotis, M., Papadaki, M., Menounou, P., Dimopoulos, P., Kolokotsa, D., Paravantis, J. A., Tsangrassoulis, A., Panaras, G., Giannakopoulos, E., & Papaefthimiou, S. (2023). Green roofs as a nature-based solution for improving urban sustainability : Progress and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 180, 113306. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113306>
- Mikhaylov, A., Moiseev, N., Aleshin, K., & Burkhardt, T. (2020). Global climate change and greenhouse effect. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 7(4), 2897-2913. [https://doi.org/10.9770/jesi.2020.7.4\(21\)](https://doi.org/10.9770/jesi.2020.7.4(21))
- M'Ikiugu, M. M., Kinoshita, I., & Tashiro, Y. (2012). Urban Green Space Analysis and Identification of its Potential Expansion Areas. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 35, 449-458. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.02.110>

- Misni, A. (s. d.). *THE EFFECTS OF SURROUNDING VEGETATION, BUILDING CONSTRUCTION AND HUMAN FACTORS ON THE THERMAL PERFORMANCE OF HOUSING IN A TROPICAL ENVIRONMENT.*
- Mohajerani, A., Bakaric, J., & Jeffrey-Bailey, T. (2017). The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. *Journal of Environmental Management*, 197, 522-538. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.095>
- Mohammed, A. (s. d.). *THESE DE DOCTORAT EN SCIENCES.*
- Morakinyo, T. E., Dahanayake, K. W. D. Kalani. C., Adegun, O. B., & Balogun, A. A. (2016). Modelling the effect of tree-shading on summer indoor and outdoor thermal condition of two similar buildings in a Nigerian university. *Energy and Buildings*, 130, 721-732. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.08.087>
- Moulai, M., Khavari, F., Shahhosseini, G., & Zanjani, N. E. (2020). *Study of the Urban Heat Island Mitigation Strategies : The Case of Two Cities.*
- Mourou, C., Zamorano, M., Ruiz, D. P., & Martín-Morales, M. (2022). Cool Surface Strategies with an Emphasis on the Materials Dimension : A Review. *Applied Sciences*, 12(4), 1893. <https://doi.org/10.3390/app12041893>
- Munck, D. (s. d.-a). *Modélisation de la végétation urbaine et stratégies d'adaptation pour l'amélioration du confort climatique et de la demande énergétique en ville.*
- Munck, D. (s. d.-b). *Modélisation de la végétation urbaine et stratégies d'adaptation pour l'amélioration du confort climatique et de la demande énergétique en ville.*
- Musy, M., Malys, L., Morille, B., & de Nantes. (s. d.). *The use of SOLENE-microclimat to assess adaptation strategies at the.*
- Nasrollahi, N., Ghosouri, A., Khodakarami, J., & Taleghani, M. (2020a). Heat-Mitigation Strategies to Improve Pedestrian Thermal Comfort in Urban Environments : A Review. *Sustainability*, 12(23), 10000. <https://doi.org/10.3390/su122310000>
- Nasrollahi, N., Ghosouri, A., Khodakarami, J., & Taleghani, M. (2020b). Heat-Mitigation Strategies to Improve Pedestrian Thermal Comfort in Urban Environments : A Review. *Sustainability*, 12(23), 10000. <https://doi.org/10.3390/su122310000>

- Nazarian, N., Fan, J., Sin, T., Norford, L., & Kleissl, J. (2017). Predicting outdoor thermal comfort in urban environments : A 3D numerical model for standard effective temperature. *Urban Climate*, 20, 251-267. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.04.011>
- Nikolopoulou, M., Baker, N., & Steemers, K. (2001). Thermal comfort in outdoor urban spaces : Understanding the human parameter. *Solar Energy*, 70(3), 227-235. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00093-1](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00093-1)
- Nochian, A., Tahir, O. M., Maulan, S., & Rakhshandehroo, M. (2015). *A COMPREHENSIVE PUBLIC OPEN SPACE CATEGORIZATION USING CLASSIFICATION SYSTEM FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF PUBLIC OPEN SPACES*. 8(1).
- Noethen, M., Hemmerle, H., & Bayer, P. (2023). Sources, intensities, and implications of subsurface warming in times of climate change. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 53(5), 700-722. <https://doi.org/10.1080/10643389.2022.2083899>
- Nuruzzaman, Md. (2015a). Urban Heat Island : Causes, Effects and Mitigation Measures - A Review. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*, 3(2), 67. <https://doi.org/10.11648/j.ijema.20150302.15>
- Nuruzzaman, Md. (2015b). Urban Heat Island : Causes, Effects and Mitigation Measures - A Review. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*, 3(2), 67. <https://doi.org/10.11648/j.ijema.20150302.15>
- Nwakaire, C. M., Onn, C. C., Yap, S. P., Yuen, C. W., & Onodagu, P. D. (2020). Urban Heat Island Studies with emphasis on urban pavements : A review. *Sustainable Cities and Society*, 63, 102476. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102476>
- Oke, T. R. (1976). The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands. *Atmosphere*, 14(4), 268-277. <https://doi.org/10.1080/00046973.1976.9648422>
- Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108(455), 1-24. <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>
- Oke, T. R. (1988). The urban energy balance. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 12(4), 471-508. <https://doi.org/10.1177/030913338801200401>

Ovstedal, L., & Ryeng, E. O. (s. d.). *UNDERSTANDING PEDESTRIAN COMFORT IN EUROPEAN CITIES: HOW TO IMPROVE WALKING CONDITIONS?*

Özdamar, M., & Umaroğullari, F. (2018). *THERMAL COMFORT AND INDOOR AIR QUALITY*. 5(3).

Ozkeresteci, I., Crewe, K., Brazel, A. J., & Bruse, M. (s. d.). *Use and Evaluation of the Envi-Met Model for Environmental Design and Planning : An Experiment on Linear Parks*.

Panduro, T. E., & Veie, K. L. (s. d.). *Classification and valuation of urban green spaces – A hedonic house price valuation*.

Patrimoine forestier à Souk Ahras : Une source de richesse et un facteur d'attractivité des investissements de loisirs – lecourrier-dalgerie.com. (2020, août 30). <https://lecourrier-dalgerie.com/patrimoine-forestier-a-souk-ahras-une-source-de-richesse-et-un-facteur-dattractivite-des-investissements-de-loisirs/>

Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci*.

Pelumi Awoyemi. (2020). *The Components of the Climate System and Its Importance in the Climate Change conundrum*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26077.56805/1>

Peng, W., Wang, R., Duan, J., Gao, W., & Fan, Z. (2022). Surface and canopy urban heat islands : Does urban morphology result in the spatiotemporal differences? *Urban Climate*, 42, 101136. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101136>

Pigeon, G. (s. d.). *Discipline : Physique de l'Atmosphère*.

Pinto, S., Fumincelli, L., Mazzo, A., Caldeira, S., & Martins, J. C. (2017). Comfort, well-being and quality of life : Discussion of the differences and similarities among the concepts. *Porto Biomedical Journal*, 2(1), 6-12. <https://doi.org/10.1016/j.pbj.2016.11.003>

Piringer, M., Grimmond, C. S. B., Joffre, S. M., Mestayer, P., Middleton, D. R., Rotach, M. W., Baklanov, A., De Ridder, K., Ferreira, J., Guilloteau, E., Karppinen, A., Martilli, A., Masson, V., & Tombrou, M. (2002). [No title found]. *Water, Air and Soil Pollution: Focus*, 2(5/6), 1-16. <https://doi.org/10.1023/A:1021302824331>

- Pourshaghaghay, A., & Omidvari, M. (2012). Examination of thermal comfort in a hospital using PMV–PPD model. *Applied Ergonomics*, 43(6), 1089-1095.
<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2012.03.010>
- Rad, V. B., & Ngah, I. B. (2013). The Role of Public Spaces in Promoting Social Interactions. *International Journal of Current Engineering and Technology*.
- Rakha, T., Zhand, P., & Reinhart, C. (s. d.). *A Framework for Outdoor Mean Radiant Temperature Simulation : Towards Spatially Resolved Thermal Comfort Mapping in Urban Spaces*.
- Ramlee, M., Omar, D., Yunus, R. M., & Samadi, Z. (2015). Revitalization of Urban Public Spaces : An Overview. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 201, 360-367.
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.08.187>
- Ramyar, R., Ackerman, A., & Johnston, D. M. (2021). Adapting cities for climate change through urban green infrastructure planning. *Cities*, 117, 103316.
<https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103316>
- Redon, E. (s. d.). *Modélisation de la végétation urbaine comme régulateur thermique*.
- Redon, E., Lemonsu, A., & Masson, V. (2020). An urban trees parameterization for modeling microclimatic variables and thermal comfort conditions at street level with the Town Energy Balance model (TEB-SURFEX v8.0). *Geoscientific Model Development*, 13(2), 385-399.
<https://doi.org/10.5194/gmd-13-385-2020>
- Rembeza, M. (s. d.). *Role of public space in designing complex urban structures*.
- Robock, A. (s. d.). VOLCANIC ERUPTIONS AND CLIMATE. *REVIEWS OF GEOPHYSICS*.
- Roshan, Gh. R., Farrokhzad, M., & Attia, S. (2017). Defining thermal comfort boundaries for heating and cooling demand estimation in Iran’s urban settlements. *Building and Environment*, 121, 168-189. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.05.023>
- Roy, B. L. (s. d.). *Méthodologie d’étude des impacts du changement climatique sur la ville par descente d’échelle statistico-dynamique : Application à la région parisienne*.
- Roy, S., Dutta, S., & Hoque, M. (2017). Urban forestry and urban greening for sustainable urban development-A case of Dhaka north city corporation area (Zone-1). *Journal of the*

Bangladesh Agricultural University, 14(2), 167-176.

<https://doi.org/10.3329/jbau.v14i2.32691>

Sachindra, D. A., Ng, A. W. M., Muthukumar, S., & Perera, B. J. C. (2016). Impact of climate change on urban heat island effect and extreme temperatures : A case-study. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 142(694), 172-186.*

<https://doi.org/10.1002/qj.2642>

Sadasivam Karuppanan, Alpana Sivam, Ning Gu, & Teimouri, R. (2019). Social sustainability with Urban Green Space (UGS) planning. *Journal of Advances in Humanities and Social Sciences, 5(5).* <https://doi.org/10.20474/jahss-5.5.5>

Saklani, N., & Khurana, A. (2019). Global Warming : Effect on Living Organisms, Causes and its Solutions. *International Journal of Engineering and Management Research, 09(05), 24-26.*

<https://doi.org/10.31033/ijemr.9.5.4>

Schiavon, S., & Lee, K. H. (s. d.). *Predictive clothing insulation model based on outdoor air and indoor operative temperatures.*

Services, C. 66 : E. (s. d.). *Gaz à Effet de Serre et Couche d'Ozone.* Climatisation 66. Consulté 12 décembre 2023, à l'adresse <https://clim-efpservices-66.com/couche-ozone-gaz-effet-de-serre.html>

Shahidan, M. (2015). Potential of Individual and Cluster Tree Cooling Effect Performances Through Tree Canopy Density Model Evaluation in Improving Urban Microclimate. *Current World Environment, 10(2), 398-413.* <https://doi.org/10.12944/CWE.10.2.04>

Shahidan, M. F., & Salleh, E. (2007). *Effects of Tree Canopies on Solar Radiation Filtration In a Tropical Microclimatic Environment.*

Shahmohamadi, P., Che-Ani, A. I., Maulud, K. N. A., Tawil, N. M., & Abdullah, N. A. G. (2011a). The Impact of Anthropogenic Heat on Formation of Urban Heat Island and Energy Consumption Balance. *Urban Studies Research, 2011, 1-9.*

<https://doi.org/10.1155/2011/497524>

Shahmohamadi, P., Che-Ani, A. I., Maulud, K. N. A., Tawil, N. M., & Abdullah, N. A. G. (2011b). The Impact of Anthropogenic Heat on Formation of Urban Heat Island and Energy

- Consumption Balance. *Urban Studies Research*, 2011, 1-9.
<https://doi.org/10.1155/2011/497524>
- Shahzad, U. (2015). *Global Warming : Causes, Effects and Solutions*. 1(4).
- Sharma, R., Hooyberghs, H., Lauwaet, D., & De Ridder, K. (2019). Urban Heat Island and Future Climate Change—Implications for Delhi’s Heat. *Journal of Urban Health*, 96(2), 235-251.
<https://doi.org/10.1007/s11524-018-0322-y>
- Sharmin, M., Tjoelker, M. G., Pfautsch, S., Esperón-Rodriguez, M., Rymer, P. D., & Power, S. A. (2023). Tree Traits and Microclimatic Conditions Determine Cooling Benefits of Urban Trees. *Atmosphere*, 14(3), 606. <https://doi.org/10.3390/atmos14030606>
- Shelton, D. P. (s. d.). *Air Properties : Temperature and Relative Humidity*.
- Sheng, S., & Wang, Y. (2024). Configuration characteristics of green-blue spaces for efficient cooling in urban environments. *Sustainable Cities and Society*, 100, 105040.
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.105040>
- Siefert, M. L. (2002). Concept Analysis of Comfort. *Nursing Forum*, 37(4), 16-23.
<https://doi.org/10.1111/j.1744-6198.2002.tb01288.x>
- Simon, H., Fallmann, J., Kropp, T., Tost, H., & Bruse, M. (2019). Urban Trees and Their Impact on Local Ozone Concentration—A Microclimate Modeling Study. *Atmosphere*, 10(3), 154.
<https://doi.org/10.3390/atmos10030154>
- Smaniotto Costa, C., Mathey, J., & Šuklje Erjavec, I. (2008). Green spaces – a key resources for urban sustainability. The GreenKeys approach for developing green spaces. *Urbani Izziv*, 19(2), 199-211. <https://doi.org/10.5379/urbani-izziv-en-2008-19-02-012>
- Sodoudi, S., Shahmohamadi, P., Vollack, K., Cubasch, U., & Che-Ani, A. I. (2014). Mitigating the Urban Heat Island Effect in Megacity Tehran. *Advances in Meteorology*, 2014, 1-19.
<https://doi.org/10.1155/2014/547974>
- Soltani, A., & Sharifi, E. (2017). Daily variation of urban heat island effect and its correlations to urban greenery : A case study of Adelaide. *Frontiers of Architectural Research*, 6(4), 529-538. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2017.08.001>

SOUK AHRAS FAUBOURG ST CHARLES. (s. d.). vitaminedz.com. Consulté 10 janvier 2024, à l'adresse <https://www.vitaminedz.com/fr/Algerie/souk-ahras-faubourg-st-charles-148833-Photos-0-0-1.html>

SOUK-AHRAS (ALGERIE) PLACE THAGASTE , FONTAINE très animée avant 1904 • EUR 20,00. (s. d.). PicClick FR. Consulté 10 janvier 2024, à l'adresse <https://picclick.fr/SOUK-AHRAS-ALGERIE-PLACE-THAGASTE-FONTAINE-tr%C3%A9s-anim%C3%A9e-401747053922.html>

Spahić, M. (2018). *MICROCLIMATE AND (OR) TOPOCLIMATE - REPRESENTATION OF CLIMATE FACTORS IN DEFINING THE CLIMATE ELEMENTS*.

Speak, A. F., & Salbitano, F. (2022). Summer thermal comfort of pedestrians in diverse urban settings : A mobile study. *Building and Environment*, 208, 108600.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108600>

Staiger, H., Laschewski, G., & Matzarakis, A. (2019). Selection of Appropriate Thermal Indices for Applications in Human Biometeorological Studies. *Atmosphere*, 10(1), 18.
<https://doi.org/10.3390/atmos10010018>

Stenchikov, G. (2021). The role of volcanic activity in climate and global changes. In *Climate Change* (p. 607-643). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821575-3.00029-3>

Stephens, G. L., Li, J., Wild, M., Clayson, C. A., Loeb, N., Kato, S., L'Ecuyer, T., Stackhouse, P. W., Lebsock, M., & Andrews, T. (2012). An update on Earth's energy balance in light of the latest global observations. *Nature Geoscience*, 5(10), 691-696.
<https://doi.org/10.1038/ngeo1580>

Syafii, N. I., Ichinose, M., Wong, N. H., Kumakura, E., Jusuf, S. K., & Chigusa, K. (2016). Experimental Study on the Influence of Urban Water Body on Thermal Environment at Outdoor Scale Model. *Procedia Engineering*, 169, 191-198.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.10.023>

Szkordilisz, F., & Zöld, A. (2016). Effect of Vegetation on Wind-Comfort. *Applied Mechanics and Materials*, 824, 811-818. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.824.811>

- Taleghani, M. (2014). Heat mitigation strategies in winter and summer : Field measurements in temperate climates. *Building and Environment*.
- Talhi, A., Barlet, A., Bruneau, D., & Aichour, B. (2020). Towards a prediction of outdoor human thermal comfort adapted for designers of urban spaces : Examining UTCI and APCI in the context of Algiers (Algeria). *International Journal of Biometeorology*, 64(4), 651-662.
<https://doi.org/10.1007/s00484-019-01854-3>
- Tan, J., Zheng, Y., Tang, X., Guo, C., Li, L., Song, G., Zhen, X., Yuan, D., Kalkstein, A. J., Li, F., & Chen, H. (2010). The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai. *International Journal of Biometeorology*, 54(1), 75-84.
<https://doi.org/10.1007/s00484-009-0256-x>
- Tengkaoprasert, R. (2018). The Concept of Energy Conservation in Architectural Design and the Creation of Modern Thai Architectural Identity. *Athens Journal of Architecture*, 4(2), 171-190. <https://doi.org/10.30958/aja.4-2-2>
- Teshnehdel, S., Akbari, H., Di Giuseppe, E., & Brown, R. D. (2020). Effect of tree cover and tree species on microclimate and pedestrian comfort in a residential district in Iran. *Building and Environment*, 178, 106899. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106899>
- Thermal Comfort—An overview | ScienceDirect Topics*. (s. d.). Consulté 1 novembre 2023, à l'adresse <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/thermal-comfort>
- Timplalexis, C., Dimara, A., & Krinidis, S. (s. d.). *Thermal Comfort Metabolic Rate and Clothing Inference*.
- Tochaiwat, K., Phichetkunbodee, N., Suppakittpaisarn, P., Rinchumphu, D., Tepweerakun, S., Kridakorn Na Ayutthaya, T., & Sittisom, P. (2023). Eco-Efficiency of Green Infrastructure on Thermal Comfort of Outdoor Space Design. *Sustainability*, 15(3), 2566.
<https://doi.org/10.3390/su15032566>
- Tonnelat, S. (s. d.). *The sociology of urban public spaces*.
- Toufik Boutellis & Ammar Bouchair. (2022). Predictive Capacity Analysis for Outdoor Thermal Comfort Assessments : A Case Study of Jijel City, Algeria. *Journal of Advanced Research in*

Fluid Mechanics and Thermal Sciences, 98(1), 18-41.

<https://doi.org/10.37934/arfmts.98.1.1841>

Trenberth, K. E. (2018). Climate change caused by human activities is happening and it already has major consequences. *Journal of Energy & Natural Resources Law*, 36(4), 463-481.

<https://doi.org/10.1080/02646811.2018.1450895>

Tsagkalidou, O. (2014). *MICROCLIMATIC STUDIES IN THE GREEK URBAN ENVIRONMENT: A CASE STUDY IN THESSALONIKI*.

Tuan, Y.-F. (2011). *Space and place : The perspective of experience* (7. print). Univ. of Minnesota Press.

Tumini, I. (2015). The urban microclimate in open space. Case studies in Madrid. *Cuadernos de Investigación Urbanística*, 96. <https://doi.org/10.20868/ciur.2014.96.3022>

Ugursal, A. (s. d.). *Thermal Comfort under Transient Metabolic and Dynamic Localized Airflow Conditions combined with Neutral and Warm Ambient Temperatures*.

Un festival BD à Bordeaux, totalement distinct de ce qu'incarne Angoulême. (s. d.). Consulté 1 avril 2024, à l'adresse <https://actualitte.com/article/33580/edition/un-festival-bd-a-bordeaux-totalement-distinct-de-ce-qu-incarne-angouleme>

Upreti, R. (2017). *Radiative shading effect of urban trees on cooling the regional built environment*.

Varna, G. M. (s. d.). *ASSESING THE PUBLICNESS OF PUBLIC PLACES: TOWARDS A NEW MODEL*.

Vlahov, D. (2002). Urbanization, Urbanicity, and Health. *Journal of Urban Health: Bulletin of the New York Academy of Medicine*, 79(90001), 1S - 12.

https://doi.org/10.1093/jurban/79.suppl_1.S1

Vujovic, S., Haddad, B., Karaky, H., Sebaibi, N., & Boutouil, M. (2021). Urban Heat Island : Causes, Consequences, and Mitigation Measures with Emphasis on Reflective and Permeable Pavements. *CivilEng*, 2(2), 459-484. <https://doi.org/10.3390/civileng2020026>

Vukmirovic, Gavrilovic, & Stojanovic. (2019). The Improvement of the Comfort of Public Spaces as a Local Initiative in Coping with Climate Change. *Sustainability*, 11(23), 6546.

<https://doi.org/10.3390/su11236546>

- Wang, Y., & Ouyang, W. (2021). Investigating the heterogeneity of water cooling effect for cooler cities. *Sustainable Cities and Society*, 75, 103281. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103281>
- Water Vapor Saturation Pressure—An overview / ScienceDirect Topics*. (s. d.). Consulté 1 novembre 2023, à l'adresse <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/water-vapor-saturation-pressure>
- Watson, R. T., Filho, L. G. M., Sanhueza, E., & Janetos, A. (s. d.). *Greenhouse Gases : Sources and Sinks*.
- Wong, N. H., Tan, C. L., Kolokotsa, D. D., & Takebayashi, H. (2021). Greenery as a mitigation and adaptation strategy to urban heat. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2(3), 166-181. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-00129-5>
- Wootton-Beard, P., Xing, Y., Durai Prabhakaran, R., Robson, P., Bosch, M., Thornton, J., Ormondroyd, G., Jones, P., & Donnison, I. (2016). Review : Improving the Impact of Plant Science on Urban Planning and Design. *Buildings*, 6(4), 48. <https://doi.org/10.3390/buildings6040048>
- Wu, S., Yang, H., Luo, P., Luo, C., Li, H., Liu, M., Ruan, Y., Zhang, S., Xiang, P., Jia, H., & Cheng, Y. (2021). The effects of the cooling efficiency of urban wetlands in an inland megacity : A case study of Chengdu, Southwest China. *Building and Environment*, 204, 108128. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108128>
- Yan, C., Guo, Q., Li, H., Li, L., & Qiu, G. Y. (2020). Quantifying the cooling effect of urban vegetation by mobile traverse method : A local-scale urban heat island study in a subtropical megacity. *Building and Environment*, 169, 106541. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106541>
- Yang, J., Hu, L., & Wang, C. (2019). Population dynamics modify urban residents' exposure to extreme temperatures across the United States. *Science Advances*, 5(12), eaay3452. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aay3452>
- Yang, L., Qian, F., Song, D.-X., & Zheng, K.-J. (2016). Research on Urban Heat-Island Effect. *Procedia Engineering*, 169, 11-18. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.10.002>

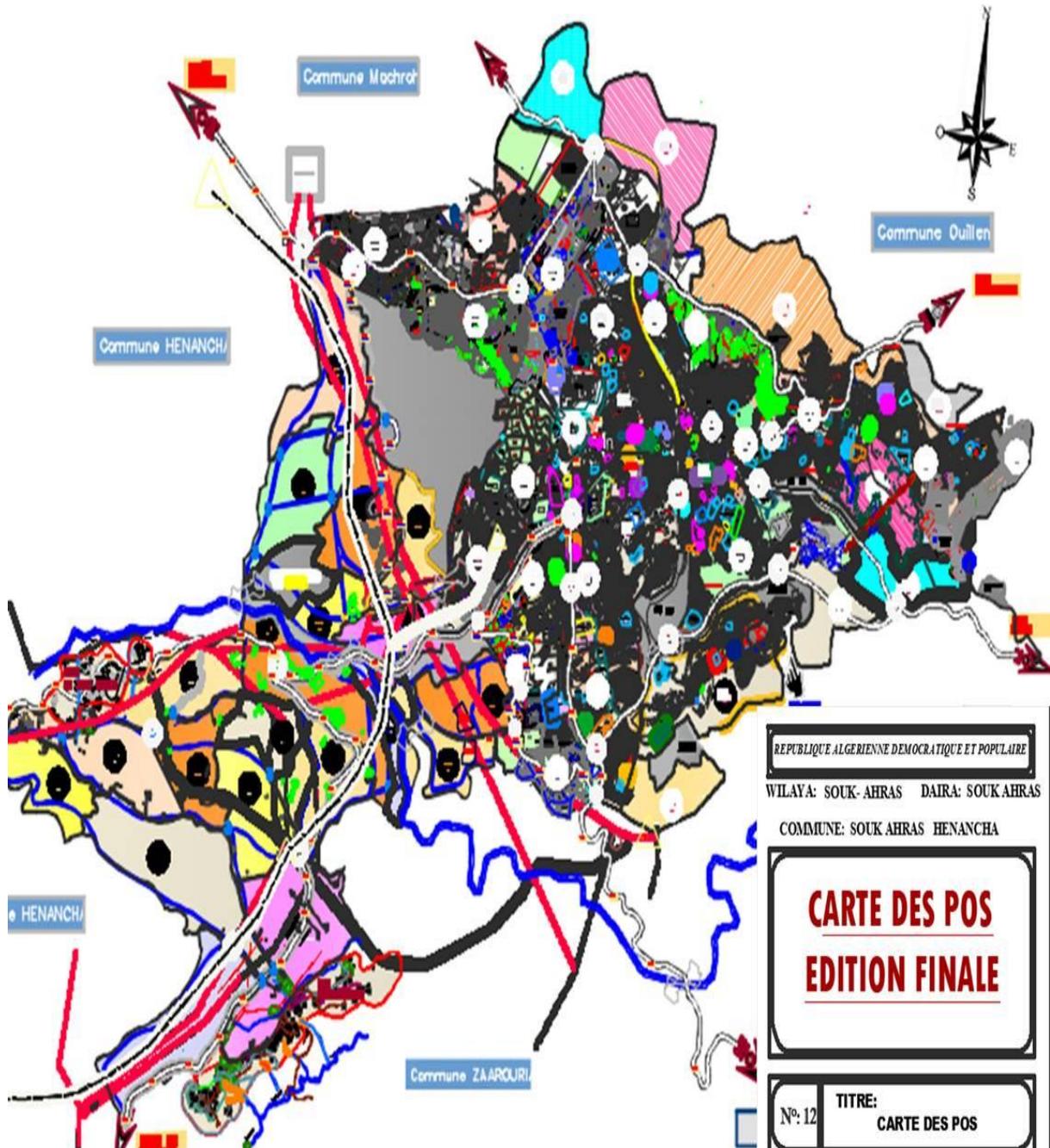
- Yang, S., Wang, L. (Leon), Stathopoulos, T., & Marey, A. M. (2023). Urban microclimate and its impact on built environment – A review. *Building and Environment*, 238, 110334. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110334>
- Yau, Y., & Chew, B. (2014). A review on predicted mean vote and adaptive thermal comfort models. *Building Services Engineering Research and Technology*, 35(1), 23-35. <https://doi.org/10.1177/0143624412465200>
- Ye, G., Yang, C., Chen, Y., & Li, Y. (2003). A new approach for measuring predicted mean vote (PMV) and standard effective temperature (SET*). *Building and Environment*.
- Yilmaz, S., Mutlu, B. E., Aksu, A., Mutlu, E., & Qaid, A. (2021a). Street design scenarios using vegetation for sustainable thermal comfort in Erzurum, Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(3), 3672-3693. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10555-z>
- Yilmaz, S., Mutlu, B. E., Aksu, A., Mutlu, E., & Qaid, A. (2021b). Street design scenarios using vegetation for sustainable thermal comfort in Erzurum, Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(3), 3672-3693. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10555-z>
- Yu, C., & Hien, W. N. (2006). Thermal benefits of city parks. *Energy and Buildings*, 38(2), 105-120. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.04.003>
- Zamanian, Z., Sedaghat, Z., Hemehrezaee, M., & Khajehnasiri, F. (2017). Evaluation of environmental heat stress on physiological parameters. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 15(1), 24. <https://doi.org/10.1186/s40201-017-0286-y>
- Zare, S. (2018). Comparing Universal Thermal Climate Index (UTCI) with selected thermal indices/environmental parameters during 12 months of the year. *Weather and Climate Extremes*.
- Zenati, N., Belhacene, N., Rezak, A., Zeghadnia, L., & Messadi, D. (2018). *ORIGINE DE LA DEGRADATION DE LA QUALITE DES EAUX D'OUED MEDJERDA EN AVAL. REGION DE SOUK AHRAS*. 7(2).
- Zeroual, A., Assani, A. A., Meddi, M., & Alkama, R. (2019). Assessment of climate change in Algeria from 1951 to 2098 using the Köppen–Geiger climate classification scheme. *Climate Dynamics*, 52(1-2), 227-243. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4128-0>

- Zhang, G., He, B.-J., Zhu, Z., & Dewancker, B. J. (2019). Impact of Morphological Characteristics of Green Roofs on Pedestrian Cooling in Subtropical Climates. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *16*(2), 179.
<https://doi.org/10.3390/ijerph16020179>
- Zhang, J. (2019). *The impact of sky view factor on thermal environments in urban parks in a subtropical coastal city of Australia*.
- Zhang, J., Gou, Z., Shutter, L., & School of Engineering and Built Environment, Griffith University, Australia. (2019). Effects of internal and external planning factors on park cooling intensity : Field measurement of urban parks in Gold Coast, Australia. *AIMS Environmental Science*, *6*(6), 417-434. <https://doi.org/10.3934/environsci.2019.6.417>
- Zhang, J., Khoshbakht, M., Liu, J., Gou, Z., Xiong, J., & Jiang, M. (2022a). A clustering review of vegetation-indicating parameters in urban thermal environment studies towards various factors. *Journal of Thermal Biology*, *110*, 103340.
<https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2022.103340>
- Zhang, J., Khoshbakht, M., Liu, J., Gou, Z., Xiong, J., & Jiang, M. (2022b). A clustering review of vegetation-indicating parameters in urban thermal environment studies towards various factors. *Journal of Thermal Biology*, *110*, 103340.
<https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2022.103340>
- Zhang, L., Zhan, Q., & Lan, Y. (2018). Effects of the tree distribution and species on outdoor environment conditions in a hot summer and cold winter zone : A case study in Wuhan residential quarters. *Building and Environment*, *130*, 27-39.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.12.014>
- Zhang, Y. (2022). An improved algorithm of thermal index models based on ENVI-met. *Urban Climate*.
- Zhao, W., Chow, D., & Sharples, S. (2019). The relationship between thermal environments and clothing insulation for rural low-income residents in China in winter. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *329*(1), 012023. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/329/1/012023>

- Zheng, S., Guldmann, J.-M., Liu, Z., & Zhao, L. (2018). Influence of trees on the outdoor thermal environment in subtropical areas : An experimental study in Guangzhou, China. *Sustainable Cities and Society*, 42, 482-497. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.07.025>
- Zheng, S., Liu, L., Dong, X., Hu, Y., & Niu, P. (2022). Dominance of Influencing Factors on Cooling Effect of Urban Parks in Different Climatic Regions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(23), 15496. <https://doi.org/10.3390/ijerph192315496>
- Zhou, X., & Parves Rana, M. (2012). Social benefits of urban green space : A conceptual framework of valuation and accessibility measurements. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 23(2), 173-189. <https://doi.org/10.1108/14777831211204921>
- Zivali Turhan, T. (2019). PUBLIC SPACE AS CULTURAL RESOURCE. *Türkiye Bilimler Akademisi Kültür Envanteri Dergisi*, 19(1), 134-144. <https://doi.org/10.22520/tubaked.2019.19.008>
- Zölch, T., Rahman, M. A., Pfeleiderer, E., Wagner, G., & Pauleit, S. (2019). Designing public squares with green infrastructure to optimize human thermal comfort. *Building and Environment*, 149, 640-654. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.051>
- ZOUAIDIA Hanene. (2006). *bilan des indices de forêt dans l'est algérien. Cas de Mila, Constantine, Guelma et Souk ahras*. université Mentouri constantine.
- Zouyed, I., Cabaret, J., & Bentounsi, B. (2018). Climate influences assemblages of abomasal nematodes of sheep on steppe pastures in the east of Algeria. *Journal of Helminthology*, 92(1), 34-41. <https://doi.org/10.1017/S0022149X16000845>
- Un festival BD à Bordeaux, totalement distinct de ce qu'incarne Angoulême*. (s. d.). Consulté 1 avril 2024, à l'adresse <https://actualitte.com/article/33580/edition/un-festival-bd-a-bordeaux-totalement-distinct-de-ce-qu-incarne-angouleme>

Annexes :

1. Carte des pos de la commune de souk Ahras :



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE	
WILAYA: SOUK-AHRAS DAIRA: SOUK-AHRAS	
COMMUNE: SOUK-AHRAS HENANCHA	
CARTE DES POS EDITION FINALE	
N°: 12	TITRE: CARTE DES POS
Ech: 1/5000	Date:
URBANISTE / ARCHITECTE: M ^r AMRI MOHAMED EL YAZID M ^{me} OUEVENS MERIEME	INGENIEUR MILIEU PHYSIQUE: M ^{me} HANZA Wamia
TECHNICIENNE: SOLTANI Samira	VERIFIEE PAR: M ^{me} BOUHOUM Nora
Centre d'Etudes et de Réalisations en Urbanisme de Annaba	
U R B A N	
ADRESSE : CHEMIN DE LA FONTAINE ROMAINE, LES CAROUBIERS - ANNABA - Tél: 038. 86. 62. 84 * Fax: 038. 86. 52. 41	

2. Les caractéristiques, type et le nombre des arbres existé dans les sites d'intervention pour la modélisation avec Rayman 1.2.

<i>Espace publics</i>	<i>Nom</i>	<i>Type</i>	<i>Hauteur</i>	<i>Largeur de la couronne</i>	<i>N°</i>
1	frênes	Feuilles caduques	7m	5m /6m	18
	Cyprès	Conifères	13m	3m	11
2	Murier	Feuilles caduques	4.5 m	3.5 m	1
	Frênes		Entre 6m et 7m	Entre 4m et 5m	6
3	Ailanthus altissima		4.5m	4m	1
	Schinus molle		8m	4.5m	1
	Frênes		Entre 10m, 8m et 7m	Entre 6m, 5.5m et 5m	5
4	platanes		13m	6m	9
	Frênes		Entre 7m et 5.5 m	Entre 3 m ,5m et 6m	12

3. Les données météorologiques mesurées dans la placette de l'indépendance et l'esplanade de chaabani lors de la première campagne de mesure 06 juillet 2022.

<i>Météorologiques Data</i> 16/07/2022.		<i>date</i>	<i>Unité</i>	<i>Placette de independence</i>			<i>Esplanade chaabani</i>			
				P1	P2	P3	P4	P5	P6	
<i>T_a</i>	6 :00 Am	06-07-2022	°C	27.9	28.1	28.2	28.2	27.9	27.8	
	8 :00 Am			37.4	38.1	35.5	32.6	33.4	31.0	
	10 :00 Am			40.1	39.4	37.5	36.9	34.1	34.3	
	12 :00 Am			40.3	41.5	39.4	40.0	38.0	40.6	
	14 :00 Pm			41.0	41.5	38.5	40.8	37.4	40.6	
	16 :00 Pm			38.7	39.7	36.4	37.3	35.8	39.3	
	18 :00 Pm			34.2	33.9	33.3	32.8	32.3	32.4	
	20 :00 Pm			33.10	32.5	31.9	29.8	31.2	31.5	
	6 :00 Am			37.9	36.20	37.4	33.7	34.8	34.7	
8 :00 Am	22.8		24.1	24.5	28.1	33.8	29.2			
10 :00 Am	20.25		21.54	21.6	24.5	27.4	26.06			
12 :00 Am	16.2		19.5	19.4	19.5	21.1	21.2			
14 :00 Pm	23.0		23.4	25.2	24.2	26.5	24.1			
16 :00 Pm	23.4		25.3	27.9	25.9	28.6	26.2			
18 :00 Pm	30.0		31.0	32.7	34.3	35.8	35.6			
20 :00 Pm	32.5		33.20	35.2	35.6	36.3	36.2			
<i>V_a</i>	6 :00 Am			m/s	1.35	0.77	0.82	1.14	0.75	0.75
	8 :00 Am		1.45		0.96	1.12	1.17	1.43	0.90	
	10 :00 Am	0.95	0.85		0.85	1.41	1.90	1.11		
	12 :00 Am	0.93	1.12		0.75	1.02	0.77	1.08		
	14 :00 Pm	0.80	1.30		1.24	1.85	1.30	0.80		
	16 :00 Pm	0.83	0.75		0.75	0.85	1.2	0.86		
	18 :00 Pm	0.75	1.04		0.80	0.77	1.25	0.76		
	20 :00 Pm	0.95	0.90		0.85	1.30	1.02	0.83		

4. Les résultats de calcul des indices thermique obtenue par Rayman 1.2

Jardin public Baoulo :

RayMan diagram - RayMan Diagram												
© 2000 Physical Institute, University of Freiburg, Germany Address Limitation: 29.5% sky view factor: 0.705 Longitude: 7°57' latitude: 36°17' timezone: UTC +1.0 h Data: height: 1.65 m weight: 75.0 kg age: 35 a sex: f clothing: 0.9 clo activity: 80.0 W												
day of year	time h:mm	sun rise	sun set	Gact W/m2	Sact W/m2	Dact W/m2	Ts °C	Ta °C	Tmrt °C	PMV	PET °C	SET* °C
197	6:00	5:27	19:41	96	39	57	28.8	28.1	30.9	1.2	29.0	24.8
197	8:00	5:27	19:41	470	318	152	44.8	33.5	56.5	5.0	43.9	35.3
197	10:00	5:27	19:41	774	603	171	51.9	34.4	63.6	5.6	47.0	37.1
197	12:00	5:27	19:41	886	715	171	53.9	37.1	64.0	6.1	48.4	37.5
197	14:00	5:27	19:41	774	603	171	55.0	37.7	66.1	6.8	51.0	39.6
197	14:00	5:27	19:41	774	603	171	54.6	37.7	66.0	6.8	50.7	39.4
197	14:00	5:27	19:41	774	603	171	51.3	34.7	63.5	5.6	46.9	36.9

RayMan diagram - RayMan Diagram												
© 2000 Physical Institute, University of Freiburg, Germany Address Limitation: 11.9% sky view factor: 0.881 Longitude: 7°57' latitude: 36°17' timezone: UTC +1.0 h Data: height: 1.65 m weight: 75.0 kg age: 35 a sex: f clothing: 0.9 clo activity: 80.0 W												
day of year	time h:mm	sun rise	sun set	Gact W/m2	Sact W/m2	Dact W/m2	Ts °C	Ta °C	Tmrt °C	PMV	PET °C	SET* °C
197	6:00	5:27	19:41	108	39	69	28.4	27.9	30.7	1.3	29.1	25.1
197	8:00	5:27	19:41	490	318	172	45.4	34.5	57.9	5.3	45.1	36.0
197	10:00	5:27	19:41	791	603	188	54.6	34.9	65.3	6.3	49.5	39.1
197	12:00	5:27	19:41	902	715	187	57.0	38.6	66.2	6.9	51.2	39.5
197	14:00	5:27	19:41	791	603	188	55.1	38.9	66.9	7.1	52.0	40.0
197	16:00	5:27	19:41	490	318	172	47.1	37.9	59.8	6.1	47.8	37.3
197	18:00	5:27	19:41	82	0	82	34.2	34.6	36.5	3.1	35.2	28.2

RayMan diagram - RayMan Diagram

2000
 Institute, University of Freiburg, Germany
 class
 tion: 42.5% sky view factor: 0.575
 de: 7°57' latitude: 36°17' timezone: UTC +1.0 h
 : height: 1.65 m weight: 75.0 kg age: 28 a sex: f clothing: 0.9 clo activity: 80.0 W

day of year	time h:mm	sun rise	sun set	Gact W/m2	Sact W/m2	Dact W/m2	Ts °C	Ta °C	Tmrt °C	PMV	PET °C	SET* °C
197	6:00	5:27	19:41	61	0	61	28.7	28.8	31.3	1.4	29.6	25.2
197	8:00	5:27	19:41	165	0	165	37.5	34.4	48.4	4.3	41.0	33.2
197	10:00	5:27	19:41	761	603	158	54.6	34.8	64.7	6.1	49.1	38.9
197	12:00	5:27	19:41	874	715	159	58.7	36.6	65.8	6.6	50.7	39.7
197	14:00	5:27	19:41	761	603	158	53.6	37.1	65.0	6.3	49.6	38.6
197	16:00	5:27	19:41	456	318	138	46.1	36.3	57.7	5.5	45.8	36.1
197	18:00	5:27	19:41	88	39	48	34.7	34.2	36.5	3.0	34.9	28.1

Placette de l'indépendance :

RayMan diagram - RayMan Diagram

2000
 Institute, University of Freiburg, Germany
 class
 tion: 30.2% sky view factor: 0.698
 de: 7°57' latitude: 36°17' timezone: UTC +1.0 h
 height: 1.65 m weight: 75.0 kg age: 30 a sex: f clothing: 0.9 clo activity: 80.0 W

day of year	time h:mm	sun rise	sun set	Gact W/m2	Sact W/m2	Dact W/m2	Ts °C	Ta °C	Tmrt °C	PMV	PET °C	SET* °C
197	6:00	5:27	19:41	96	39	56	27.8	27.1	30.1	0.9	27.5	23.4
197	8:00	5:27	19:41	470	318	151	43.5	32.1	55.5	4.5	42.4	34.3
197	10:00	5:27	19:41	773	603	170	58.4	38.8	68.0	7.6	53.8	42.0
197	12:00	5:27	19:41	885	715	170	63.0	40.5	69.3	8.1	55.6	43.1
197	14:00	5:27	19:41	773	603	170	55.5	36.4	65.9	6.6	50.6	39.8
197	16:00	5:27	19:41	470	318	151	43.5	32.5	55.7	4.5	42.6	34.3
197	18:00	5:27	19:41	96	39	56	31.7	31.2	33.8	2.0	31.5	26.0

RayMan diagram - RayMan Diagram

2000
 Institute, University of Freiburg, Germany
 class
 tion: 32.3% sky view factor: 0.677
 de: 7°57' latitude: 36°17' timezone: UTC +1.0 h
 height: 1.65 m weight: 75.0 kg age: 29 a sex: f clothing: 0.9 clo activity: 80.0 W

day of year	time h:mm	sun rise	sun set	Gact W/m2	Sact W/m2	Dact W/m2	Ts °C	Ta °C	Tmrt °C	PMV	PET °C	SET* °C
197	6:00	5:27	19:41	68	0	68	28.4	28.6	31.1	1.1	28.4	23.8
197	8:00	5:27	19:41	467	318	149	43.9	32.5	55.7	4.6	42.8	34.5
197	10:00	5:27	19:41	771	603	168	53.4	37.8	65.5	6.5	50.2	38.9
197	12:00	5:27	19:41	883	715	168	59.5	36.8	66.3	6.8	51.3	40.3
197	14:00	5:27	19:41	771	603	168	55.3	35.6	65.4	6.4	50.1	39.5
197	16:00	5:27	19:41	467	318	149	43.8	32.8	55.8	4.6	42.9	34.5
197	18:00	5:27	19:41	68	0	68	30.2	30.4	32.8	1.7	30.5	25.2

RayMan diagram - RayMan Diagram												
2000												
Institute, University of Freiburg, Germany												
class												
orientation: 69.6% sky view factor: 0.304												
longitude: 7°57' latitude: 36°17' timezone: UTC +1.0 h												
height: 1.65 m weight: 75.0 kg age: 29 a sex: f clothing: 0.9 clo activity: 80.0 W												
day of year	time	sun rise	sun set	Gact W/m2	Sact W/m2	Dact W/m2	Ts °C	Ta °C	Tmrt °C	PMV	PET °C	SET* °C
197	6:00	5:27	19:41	43	0	43	26.8	26.6	29.2	0.5	26.1	22.2
197	6:00	5:27	19:41	43	0	43	26.8	26.6	29.2	0.5	26.1	22.2
197	8:00	5:27	19:41	135	0	135	34.3	31.4	44.6	3.2	36.6	30.1
197	10:00	5:27	19:41	190	0	190	41.4	37.0	55.2	5.6	45.9	36.5
197	12:00	5:27	19:41	850	715	135	50.8	36.0	61.5	5.3	45.6	35.4
197	14:00	5:27	19:41	734	603	132	54.5	35.8	64.2	6.2	49.0	38.6
197	16:00	5:27	19:41	135	0	135	35.2	32.4	45.4	3.4	37.6	30.6
197	18:00	5:27	19:41	43	0	43	30.4	30.2	32.6	1.7	30.2	25.0

Esplanade chaabani :

RayMan diagram - RayMan Diagram												
2000												
Institute, University of Freiburg, Germany												
class												
orientation: 26.0% sky view factor: 0.740												
longitude: 7°57' latitude: 36°17' timezone: UTC +1.0 h												
height: 1.65 m weight: 75.0 kg age: 29 a sex: f clothing: 0.9 clo activity: 80.0 W												
day of year	time	sun rise	sun set	Gact W/m2	Sact W/m2	Dact W/m2	Ts °C	Ta °C	Tmrt °C	PMV	PET °C	SET* °C
197	6:00	5:27	19:41	72	0	72	27.4	27.6	30.2	0.9	27.7	23.4
197	8:00	5:27	19:41	474	318	156	41.8	30.3	54.3	3.9	40.4	33.0
197	10:00	5:27	19:41	777	603	174	54.9	38.5	66.5	6.9	51.6	39.9
197	12:00	5:27	19:41	889	715	174	54.7	35.6	63.8	5.8	47.7	37.4
197	14:00	5:27	19:41	777	603	174	53.7	35.2	64.8	6.1	48.8	38.5
197	16:00	5:27	19:41	474	318	156	43.2	32.5	55.7	4.5	42.3	34.1
197	18:00	5:27	19:41	99	39	59	31.3	30.8	33.4	1.9	31.1	25.6

RayMan diagram - RayMan Diagram												
2000												
Institute, University of Freiburg, Germany												
class												
orientation: 41.3% sky view factor: 0.587												
longitude: 7°57' latitude: 36°17' timezone: UTC +1.0 h												
height: 1.65 m weight: 75.0 kg age: 29 a sex: f clothing: 0.9 clo activity: 80.0 W												
day of year	time	sun rise	sun set	Gact W/m2	Sact W/m2	Dact W/m2	Ts °C	Ta °C	Tmrt °C	PMV	PET °C	SET* °C
197	6:00	5:27	19:41	62	0	62	25.8	25.8	28.5	0.2	25.0	21.4
197	8:00	5:27	19:41	457	318	139	38.1	29.5	51.7	2.9	36.2	29.6
197	10:00	5:27	19:41	762	603	159	51.0	33.5	62.4	5.2	45.7	36.1
197	12:00	5:27	19:41	875	715	160	47.5	33.6	59.8	4.4	42.1	33.1
197	14:00	5:27	19:41	762	603	159	52.0	32.7	62.8	5.3	46.2	36.9
197	16:00	5:27	19:41	457	318	139	40.6	30.8	53.3	3.6	39.1	31.7
197	18:00	5:27	19:41	88	39	49	30.1	29.5	32.1	1.3	28.9	23.9

RayMan diagram - RayMan Diagram												
2000												
l Institute, University of Freiburg, Germany												
hrass												
ation: 41.1% sky view factor: 0.589												
ude: 7°57' latitude: 36°17' timezone: UTC +1.0 h												
: height: 1.65 m weight: 75.0 kg age: 28 a sex: f clothing: 0.9 clo activity: 80.0 W												
day of	time	sun	sun	Gact	Sact	Dact	Ts	Ta	Tmrt	PMV	PET	SET*
year	h:mm	rise	set	W/m2	W/m2	W/m2	°C	°C	°C		°C	°C
197	6:00	5:27	19:41	62	0	62	28.5	28.6	31.1	1.2	28.5	23.9
197	8:00	5:27	19:41	457	318	139	41.3	29.8	53.2	3.6	39.5	32.4
197	10:00	5:27	19:41	762	603	159	56.7	37.7	66.6	7.0	52.0	40.6
197	12:00	5:27	19:41	875	715	160	58.9	36.1	65.6	6.5	50.5	39.7
197	14:00	5:27	19:41	762	603	159	56.0	36.2	65.8	6.6	50.7	40.0
197	16:00	5:27	19:41	457	318	139	43.7	32.4	55.2	4.5	42.5	34.3
197	18:00	5:27	19:41	62	0	62	30.1	30.2	32.6	1.6	30.2	25.0

Place E-Serdouk :

RayMan diagram - RayMan Diagram												
2000												
l Institute, University of Freiburg, Germany												
hrass												
ation: 39.1% sky view factor: 0.609												
ude: 7°57' latitude: 36°17' timezone: UTC +1.0 h												
height: 1.65 m weight: 75.0 kg age: 28 a sex: f clothing: 0.9 clo activity: 80.0 W												
day of	time	sun	sun	Gact	Sact	Dact	Ts	Ta	Tmrt	PMV	PET	SET*
year	h:mm	rise	set	W/m2	W/m2	W/m2	°C	°C	°C		°C	°C
197	6:00	5:27	19:41	90	39	51	29.4	28.7	31.5	1.3	29.1	24.5
197	8:00	5:27	19:41	460	318	141	44.7	33.4	56.1	4.8	43.7	35.1
197	10:00	5:27	19:41	764	603	161	54.1	34.9	64.6	6.1	48.8	38.6
197	12:00	5:27	19:41	877	715	162	58.0	37.2	65.7	6.6	50.6	39.5
197	14:00	5:27	19:41	764	603	161	56.2	37.1	66.3	6.9	51.4	40.4
197	16:00	5:27	19:41	460	318	141	44.2	33.2	55.9	4.7	43.2	34.7
197	18:00	5:27	19:41	64	0	64	31.1	31.2	33.5	2.0	31.4	25.9

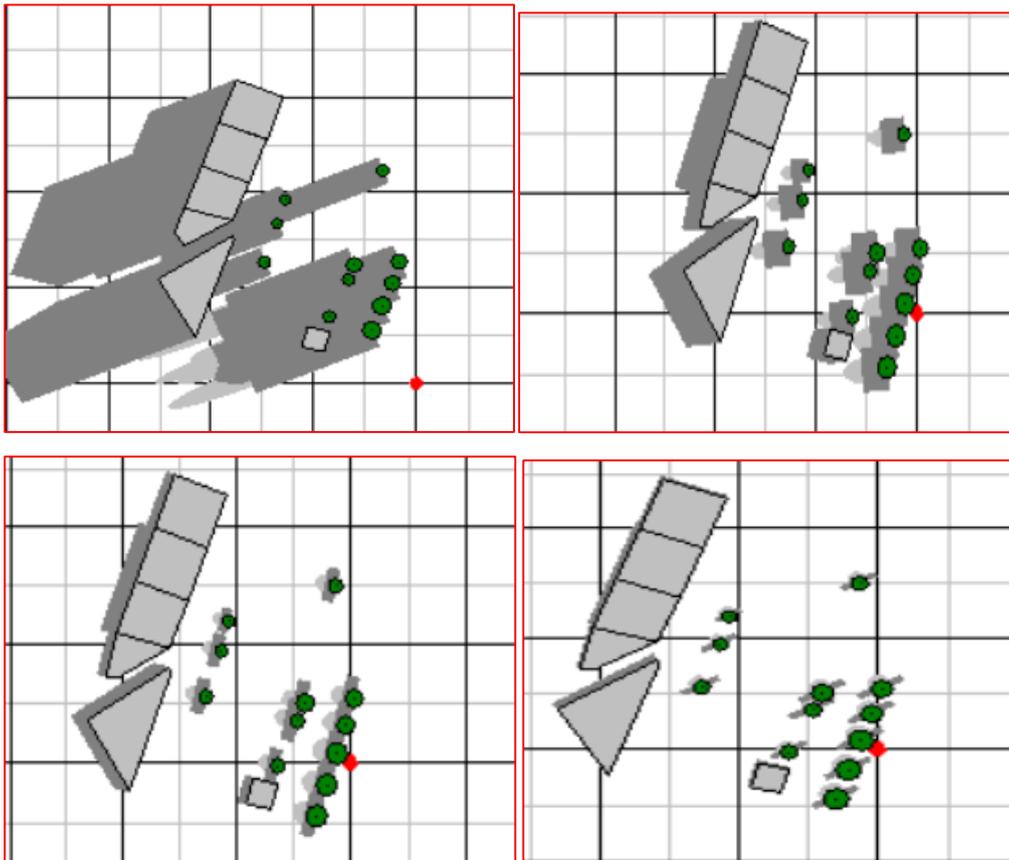
RayMan diagram - RayMan Diagram												
© 2000												
al Institute, University of Freiburg, Germany												
hrass												
ation: 47.0% sky view factor: 0.530												
ude: 7°57' latitude: 36°17' timezone: UTC +1.0 h												
a: height: 1.75 m weight: 75.0 kg age: 35 a sex: m clothing: 0.9 clo activity: 80.0 W												
day of	time	sun	sun	Gact	Sact	Dact	Ts	Ta	Tmrt	PMV	PET	SET*
year	h:mm	rise	set	W/m2	W/m2	W/m2	°C	°C	°C		°C	°C
197	6:00	5:27	19:41	58	0	58	27.9	27.9	30.4	1.3	27.6	23.1
197	8:00	5:27	19:41	451	318	133	42.8	33.4	55.1	3.7	42.2	33.6
197	10:00	5:27	19:41	756	603	154	48.7	34.1	61.7	4.0	44.8	35.0
197	12:00	5:27	19:41	870	715	155	60.8	38.0	67.1	5.5	52.7	40.9
197	14:00	5:27	19:41	756	603	154	54.4	37.4	65.4	5.1	50.4	39.0
197	16:00	5:27	19:41	460	0	160	38.3	35.8	49.2	3.7	41.7	33.0
197	18:00	5:27	19:41	58	0	58	32.3	32.3	34.6	2.3	32.7	26.6

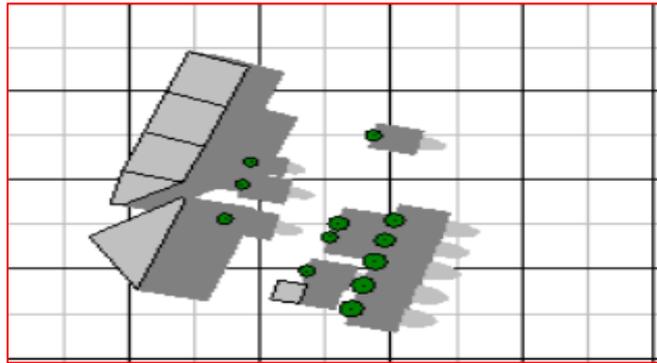
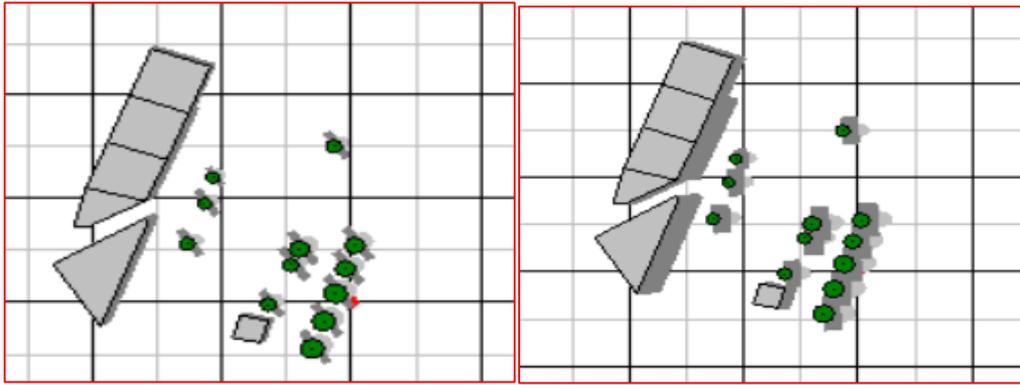
RayMan diagram - RayMan Diagram												
© 2000												
al Institute, University of Freiburg, Germany												
Address												
Orientation: 14.9% sky view factor: 0.851												
Longitude: 7°57' latitude: 36°17' timezone: UTC +1.0 h												
User: height: 1.65 m weight: 75.0 kg age: 32 a sex: f clothing: 0.9 clo activity: 80.0 W												
day of year	time	sun rise	sun set	Gact W/m2	Sact W/m2	Dact W/m2	Ts °C	Ta °C	Tmrt °C	PMV	PET °C	SET* °C
197	6:00	5:27	19:41	80	0	80	28.6	28.9	31.5	1.3	28.9	24.2
197	8:00	5:27	19:41	487	318	169	46.2	34.1	58.0	5.5	45.8	36.9
197	10:00	5:27	19:41	788	603	185	52.7	34.1	64.3	5.8	47.8	37.9
197	12:00	5:27	19:41	899	715	184	64.8	39.0	69.8	8.3	56.2	44.3
197	14:00	5:27	19:41	788	603	185	57.7	38.8	68.2	7.6	53.6	41.9
197	16:00	5:27	19:41	487	318	169	45.0	33.6	57.4	5.1	44.5	35.7
197	18:00	5:27	19:41	106	39	67	31.7	31.4	33.9	2.1	31.7	26.1

6. Le tracé de l'ombre à travers les temps des différents espaces d'intervention obtenue par

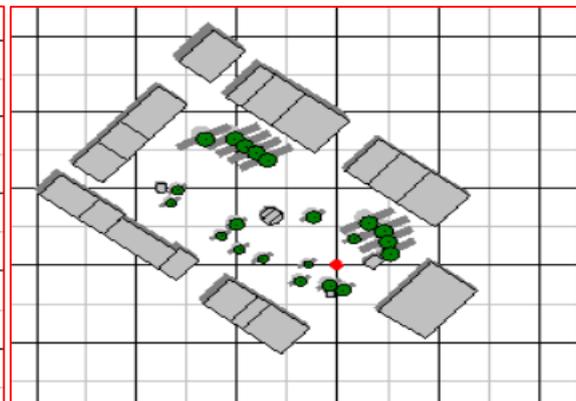
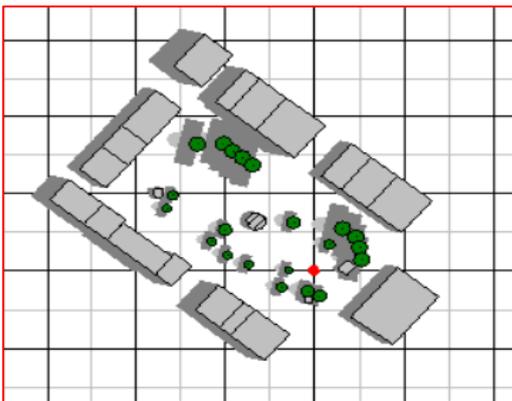
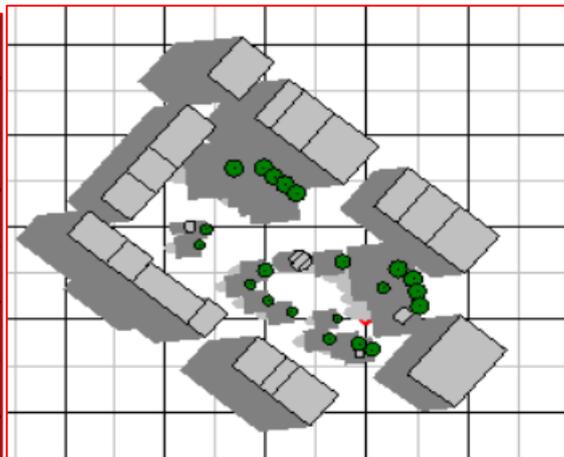
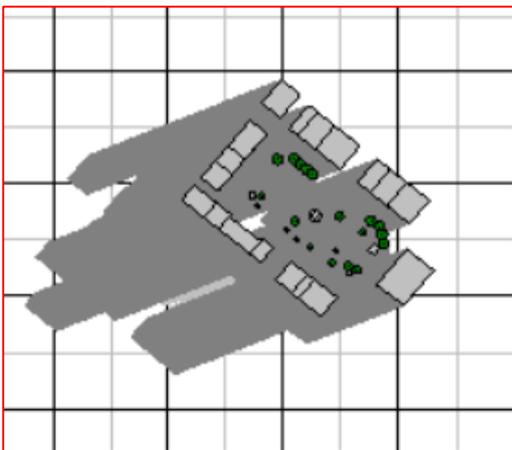
Rayman 1.2 :

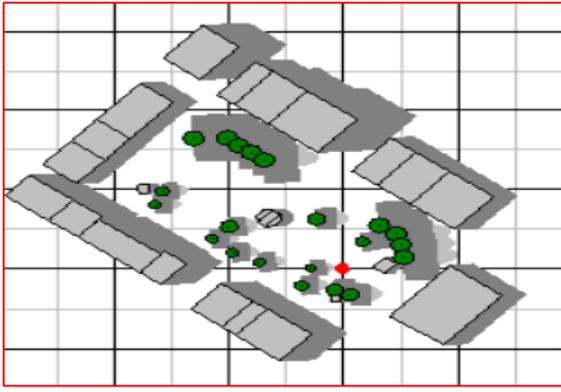
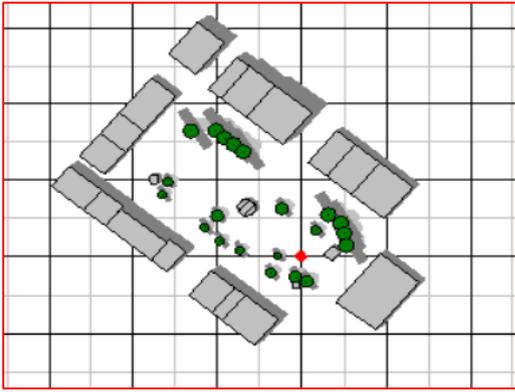
Jardin public Baoulo :



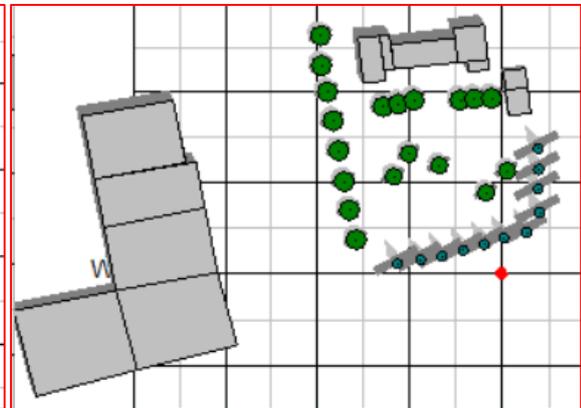
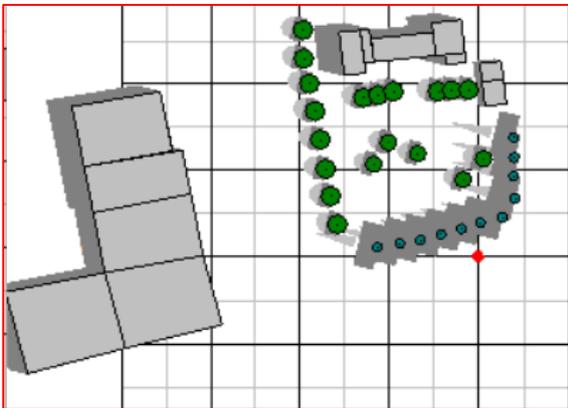
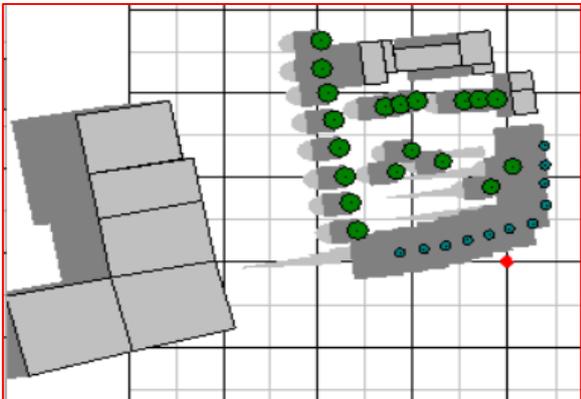
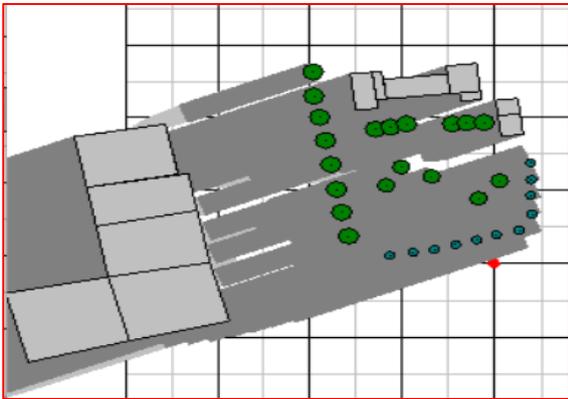


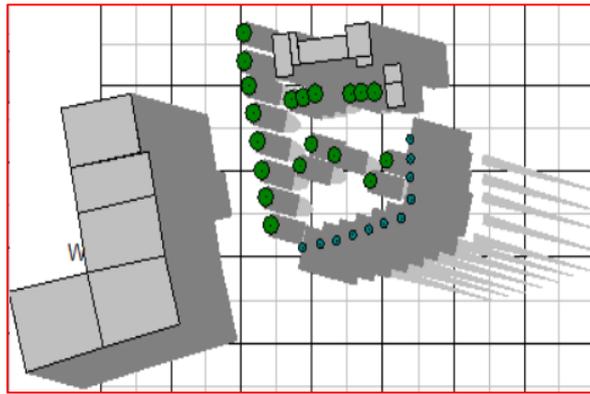
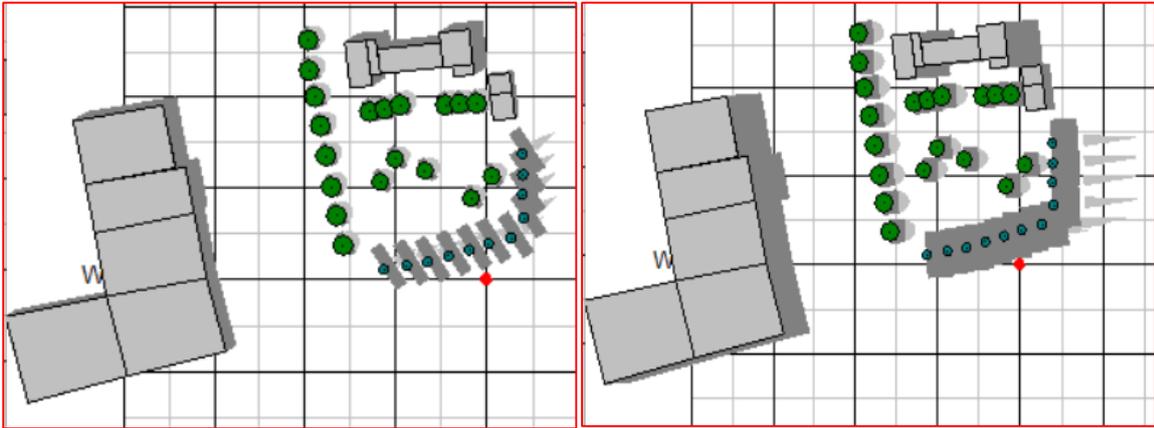
Placette de l'indépendance



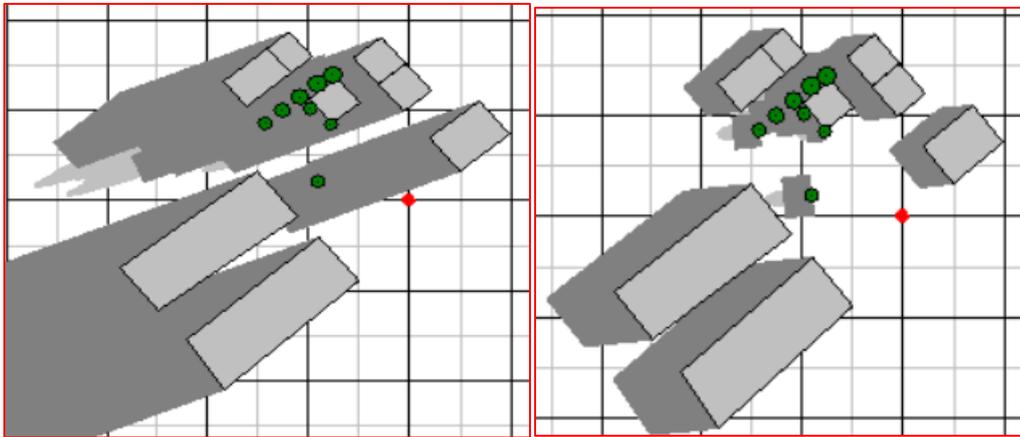


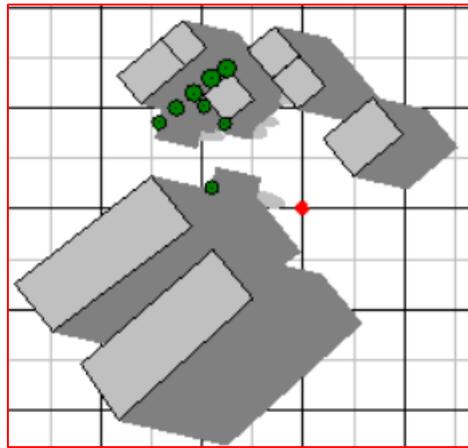
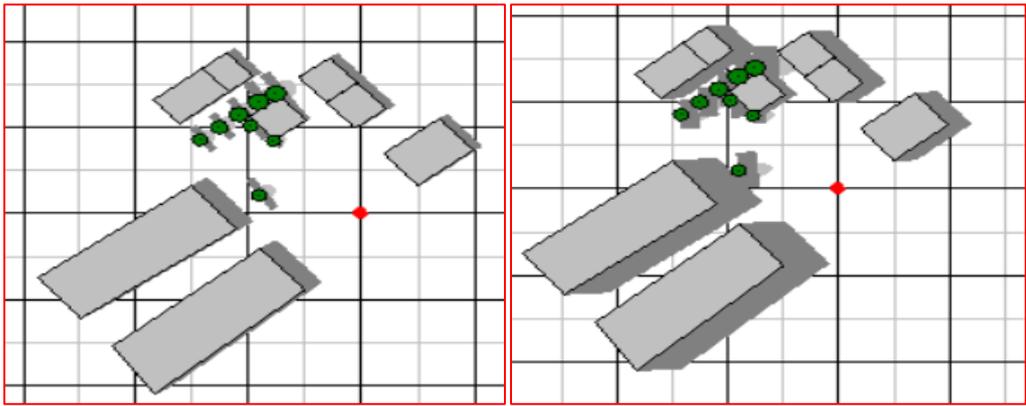
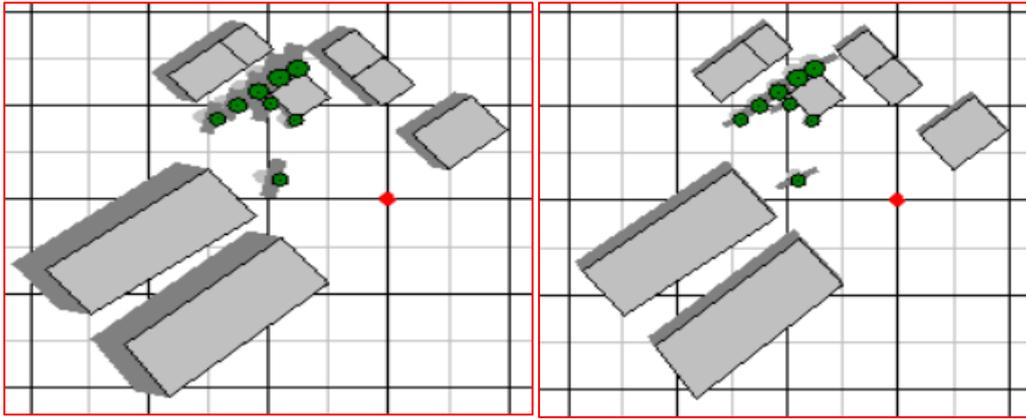
Esplanade chaabani :





Place E-Serdouk :





7. Formulaire de questionnaire :



Université de 08 mai 1945 Guelma.

Faculté des sciences et technologie.

Département d'architecture



Formulaire du questionnaire :

Relatif au travail de recherche thèse de doctorat intitulée : *Paramétrage de microclimat urbain par la végétation et les plans d'eau à la ville de Souk Aharss.*

Doctorante : Khelifa fatma.

Spécialité : architecture durable et projet urbain.

Description générale :

Place

Date et heure :

Personne questionnée :

Sexe: Homme Femme

Age : Enfant Adolescent Adulte

Fonction et niveau scolaire : Elève Etudiant Fonctionnaire
Retraité Au chômage Autres

Usages d'espace public :

Pour quoi vous choisissez cet endroit ?

Bonne situation : Pour son animation :

Bon confort : Autres :

Combien de temps vous passez à cet endroit par semaine ?

Minute : Une heure :

Plus d'une heure : Autres :

À quelle fréquence utilisez-vous cette espace ?

Toujours : Par semaine : Le weekend

Questions relatives au confort :

Pour le moment, vous trouvez qu'i fait :

Très froid : Froid: Ni chaud ni froid :

Chaud : Très chaud :

Que pensez-vous du vent en ce moment ?

Doux : Un peu doux : Acceptable :



Un peu stagnant : Stagnant :

Que pensez-vous d'humidité en ce moment?

humide : Un peu humide : Acceptable :

Un peu sec : Sec :

Votre niveau de confort général en ce moment :

Inconfortable Neutre confortable

Votre de niveau de tolérance l'environnement thermique :

Inacceptable acceptable Absolument acceptable

Quel est, selon vous, l'effet des arbres existé sur la qualité générale de l'espace et sur votre expérience ?

Extrêmement positive

Plutôt positif

Neutre

Plutôt négatif

Extrêmement négative

Quel est, selon vous, l'effet des plans d'eau existé sur la qualité générale de l'espace et sur votre expérience ?

Extrêmement positive

Plutôt positif

Neutre

Plutôt négatif

Extrêmement négative

Compte tenu de la présence d'arbres, comment ressentez-vous la chaleur lorsque vous vous trouvez à proximité des arbres dans cet espace public ?

Rafraichissant

Léger impact positif

Neutre

Léger impact négative

Inconfortable

Compte tenu de la présence des plans d'eau, comment ressentez-vous la chaleur lorsque vous vous trouvez à proximité des arbres dans cet espace public ?

Rafraichissant

Léger impact positif

Neutre

Léger impact négative

Inconfortable

8. Les valeurs de température mesurées dans les différents espaces publics pendant les 4 jours d'étude :

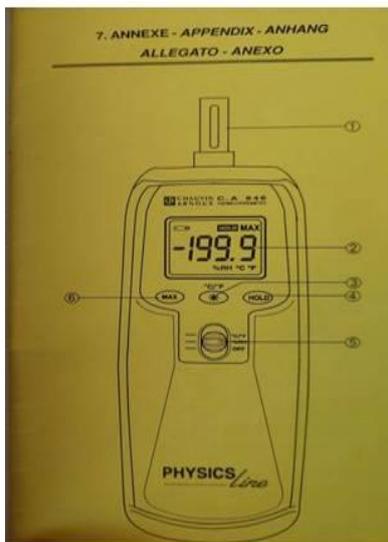
Date	temps	L'esplanade de chaabani				Jardin public Baoulo		
Le 15/07/2022	6 a.m	27.5	26.1	28.2	27.1	28.2	28.1	28.5
	8 a.m	30.6	29.4	29.6	30.4	33.7	34.6	34.4
	10 a.m	38.2	33.6	36.6	37.9	34.1	38.2	34.6
	12 a.m	35.6	32.4	36.4	35.1	36.9	38.4	36.1
	2 p.m	35.4	31.2	36.1	35.9	38.1	37.9	36.8
	4 p.m	33.2	30.4	33.1	32.8	37.5	37.3	35.5
	6 p.m	31.2	30.1	30.6	31.1	33.9	33.9	33.5

Date	temps	L'esplanade de chaabani				Jardin public Baoulo		
Le 16/07/2022	6 a.m	27.6	25.8	28.6	27.4	28.1	27.9	28.8
	8 a.m	30.3	29.5	29.8	30.1	33.5	34.5	34.4
	10 a.m	38.5	33.5	37.7	38.2	34.4	34.9	34.8
	12 a.m	35.6	33.6	36.1	35.4	37.1	38.6	36.6
	2 p.m	35.2	32.7	36.2	35.3	37.7	38.9	37.1
	4 p.m	32.5	30.8	32.4	32.3	37.7	37.9	36.3
	6 p.m	30.8	29.5	30.2	30.7	34.7	34.6	34.2

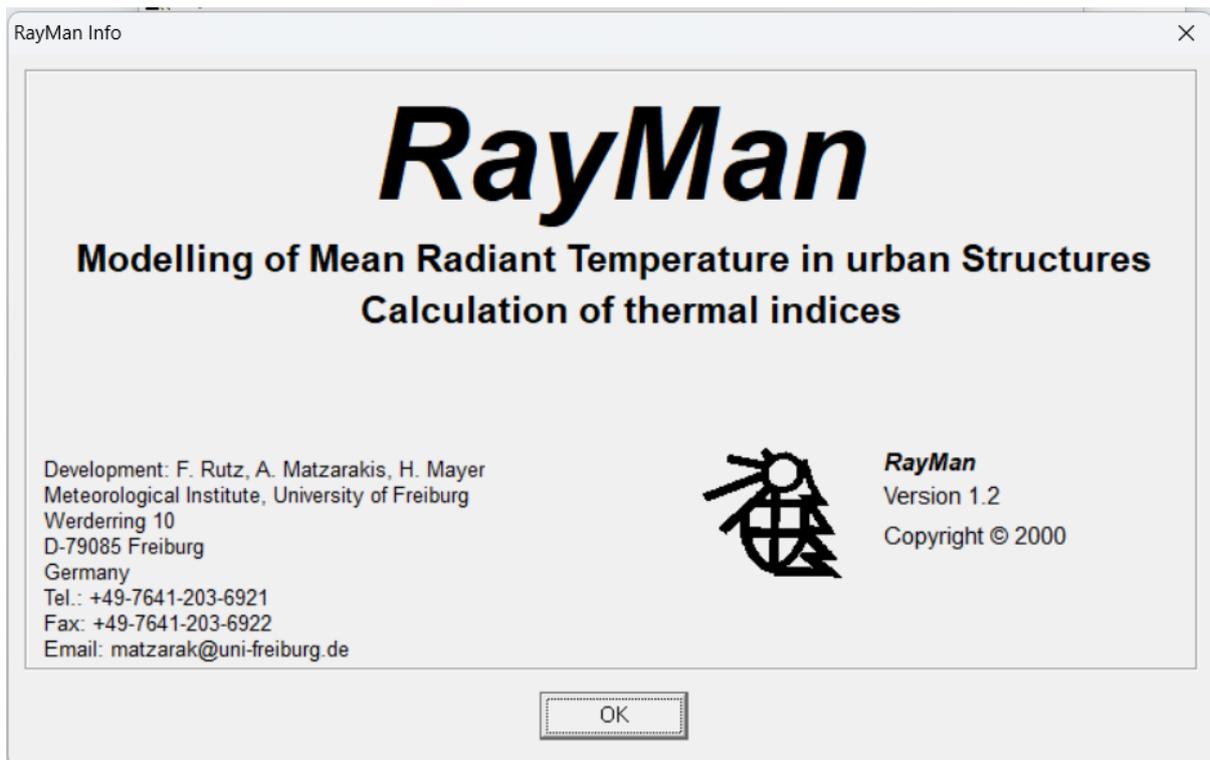
Date	temps	Place E-Serdouk			Placette de l'indépendance				Jardin communal	
Le 17/07/2022	6 a.m	28.7	27.9	28.9	27.1	28.6	26.6	28.4	27.9	27.8
	8 a.m	33.4	33.4	34.1	32.1	32.5	31.4	32.1	33.1	33.2
	10 a.m	34.9	34.1	34.1	38.8	37.8	37.0	37.5	37.5	37.2
	12 a.m	37.2	38.0	39.0	40.5	36.8	36.0	36.5	37.8	37.4
	2 p.m	37.1	37.4	38.8	36.4	35.6	35.8	35.1	35.5	35.1
	4 p.m	33.2	35.8	33.6	32.5	32.8	32.4	32.4	33.1	32.9
	6 p.m	31.2	32.3	31.4	31.2	30.4	30.2	29.9	31.2	31.5

Date	temps	Place E-Serdouk			Placette de l'indépendance				Jardin communal	
Le 18/07/2022	6 a.m	28.5	28.1	28.8	27.5	28.5	26.1	28.2	27.4	27.9
	8 a.m	33.6	33.8	34.5	31.9	32.2	30.8	31.9	33.4	33.5
	10 a.m	34.6	34.2	34.4	38.5	38.2	37.5	37.7	37.8	37.4
	12 a.m	36.9	38.3	38.9	39.5	36.6	36.4	36.6	37.4	37.2
	2 p.m	36.4	36.6	37.4	36.1	35.9	36.0	35.8	35.6	35.4
	4 p.m	32.8	34.1	33.7	32.7	32.9	32.5	32.6	33.7	33.1
	6 p.m	31.4	32.2	31.4	31.4	30.6	30.4	30.1	31.4	31.7

9. Les instrument de mesure :



10.L'interface de Rayman 1.2



11. Autorisation d'utilisation de Rayman1.2

Dear RayMan user,

Please connect with your browser:

<http://www.urbanclimate.net/matzarakis/models/raymanpro>

userid: matzarakis

password: models2013

Please use the following citations when using RayMan Pro:

1. Matzarakis, A., Rutz, F., Mayer, H., 2007: Modelling Radiation fluxes in simple and complex environments – Application of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology* 51, 323-334.
2. Matzarakis, A., Rutz, F., Mayer, H., 2010: Modelling Radiation fluxes in simple and complex environments – Basics of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology* 54, 131-139.
3. Matzarakis, A., Fröhlich, D. 2018: Influence of urban green on human thermal bioclimate – application of thermal indices and micro-scale models. *Acta Horticult.* 1215, 1-9. Doi: 10.17660/Acta Horticult.2018.215.1
4. Matzarakis, A., Gangwisch, M., Fröhlich, D., 2021: RayMan and SkyHelios Model. In: Palme, M., Salvati, A. (eds) *Urban Microclimate Modelling for Comfort and Energy Studies*. Springer, Cham, 339-361, https://doi.org/10.1007/978-3-030-65421-4_16
5. Fröhlich, D., Gangwisch, M., Matzarakis, A., 2019: Effect of radiation and wind on thermal comfort in urban environments - Application of the RayMan and SkyHelios model. *Urban Climate* 27, 1-7.