

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mohamed Khider-Biskra

Faculté des Sciences et de la technologie

Département : Architecture

Ref :



جامعة محمد خيضر بسكرة

كلية العلوم والتكنولوجيا

قسم الهندسة المعماري

المرجع :

Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de :

Doctorat en science : en Architecture

Option : Ville et Architecture au Sahara

**Fluctuation des ambiances thermiques extérieures sous l'effet du végétal
dans les zones arides. « Cas d'une placette à Biskra ville ».**

Présentée par :

M^{me} Djaghroui Djamila

Sous la direction du Professeur : BENABBAS Moussadek

Soutenue publiquement le:

Mr ZEMMOURI	Noureddine	Professeur	Président	Université de Biskra
Mr BENABBAS	Moussadek	Professeur	Rapporteur	Université de Biskra
Mr ALKAMA	Djamel	Professeur	Examineur	Université de Guelma
M ^{me} HAMMOUDA	Abida	M.C.A.	Examinatrice	Université de Batna1

Année Universitaire : 2020/2021



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
مُحَمَّدٌ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ
مَوْلَانَا مُحَمَّدٌ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ
مَوْلَانَا مُحَمَّدٌ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ

A La mémoire de Mon Père.

A ma Mère

A Mon Fils.

A mes Frères et Sœurs

Remerciement

Je remercie Dieu, le tout puissant, de m'avoir donné la santé et le courage de terminer ce travail.

De nombreuses personnes m'ont apporté leur soutien et leur appui tout au long de ce travail de thèse. Je tiens à les remercier pour leur aide.

J'aimerais exprimer tout particulièrement ma gratitude à mon encadreur ; **Pr. Benabbas Moussadek**, pour la confiance qu'il m'a accordé, pour son dévouement, sa compétence scientifique, dont il a fait preuve en m'assurant la possibilité de mener à bien ce travail de recherche, pour ses encouragements constants tout en long de celui-ci, ses critiques constructives, pour sa droiture et sa franchise.

Je remercie également, **Pr Zemmouri Noureddine**, directeur du laboratoire LACOMOFA, pour ses encouragements, son bon sens d'humour, et pour la mise à notre disposition d'instruments de mesures très efficaces, qui nous ont permis des aboutissements conséquents en des temps record.

Et aussi, pour avoir aimablement accepté de présider le jury de cette thèse.

Un grand merci pour les membres du jury ; **Pr. Alkama Djamel** et **Dr. Hammouda Abida** d'avoir accepté, aimablement, l'évaluation de ce travail, à tous les deux mes sincères respects.

Un merci tout particulier au Pr Farhi Abdallah, Pr Kamal Serrairi, Pr. Titaouine Saddok, Pr. Haba Hamada, Pr. Belbacha El Djamai, Pr. Belghar Noureddine, Pr Djamila Rouag - safiedine et Dr Atef Ahriz pour leur aide et soutien, ainsi que tous nos enseignants en Architecture, qui grâce à eux on est formé.

Merci à mes parents, mes frères et mes sœurs en guise de reconnaissance pour tout ce qu'ils ont fait pour moi.

Merci à Mon brave mari qui a toujours cru en moi et qui n'a cessé de m'encourager.

Merci aussi à Mon fils Abderrahim, Leila et Souad Zemmouri, qui m'ont accompagnés dans cette tâche dès son début.

A ma belle-famille, je dis merci.

Merci à tous mes amis et à tous ce qui ont contribué de loin ou de près à l'aboutissement de ce travail, en particulier, ma fidèle amie Chetara Aicha pour son aide si précieuse.

Je remercie aussi le Pr Michael BRUSE de l'université de Bochum en Allemagne, pour ses orientations, et Pr Andreas Matzarakis du Meteorological Institute, Albert-Ludwigs University of Freiburg, Germany pour sa mise à notre disposition et gracieusement, le logiciel Rayman pro version 3.1.

Table des matières

Dédicace.....	I
Remerciement.....	II
Sommaire.....	III
Liste des figures.....	X
Liste des tableaux.....	XV
Liste des graphes.....	XVII
Chapitre introductif.	
Introduction Générale	01
Les objectifs de la recherche	18
Méthodologie et outils de recherche	20
Structure de la thèse	21

Partie théorique

Chapitre I: le microclimat des espaces urbains extérieurs sous l'effet de la végétation

Introduction	24
I.1. Le microclimat urbain	25
I.2. Les échelles du climat urbain	25
I.2.1. Le macroclimat	26
I.2.2. Le méso climat	26
I.2.3. Le microclimat	26
I.3. Les facteurs climatiques	27
I.3.1. Les facteurs cosmiques	27
I.3.2. Les facteurs géographiques	27
I.4. Les éléments du climat	27
I.5. Les microclimats urbains	28
I.5.1. Îlot de chaleur urbain (ICU)	29
I.6. L'espace public	30
I.6.1. Le prospect (le Ratio H/L)	32
I.6.2. Facteur vue de ciel (SVF)	32
I.6.3. Albédo des surfaces	35
I.6.4. Facteur d'ombre portée	38
I.7. La végétation en milieu urbain	39
I.7.1. Définition de la végétation urbaine	39
I.7.2. Le végétal urbain	39
I.7.2.1. Le végétal grimpant	40
I.7.2.2. La pelouse et les végétaux couvrants	40
I.7.2.3. L'arbre urbain	41
I.7.3. La végétation caduque et persistante	41
I.7.4. Typologie végétale	42
I.7.4.1. Structure des feuilles	42
I.7.4.2. Morphologie : types et formes de feuilles	42
I.7.5. Qualités associées à la végétation	43
I.7.6. Effet du végétal sur le confort	44
I.7.6.1. L'impact acoustique	44
I.7.6.2. L'impact sur l'odorat	44
I.7.7. Le confort lumineux	44
I.8. Modification des échanges radiatifs	46
I.8.1. L'indice Foliaire	47

I.8.1.1. Effet modérateur du végétal sur la température de l'air et l'îlot de chaleur urbain	49
I. 9. Effets microclimatiques de la végétation urbaine	50
I.9.1. Végétation et refroidissement	51
I.9.2. Végétation et ombre	51
I.9.3. Effet d'ombrage du végétal urbain	52
I.9.3.1. L'ombre	53
I.9.3.2. Détermination de l'ombrage des végétaux	54
I.10. Effet aéraulique du végétal urbain	55
I.10.1. Effet de refroidissement	55
I.10.2. Effets mécaniques	55
I.11. Vent et développement des arbres	55
I.11.1. Effet du végétal sur le vent	56
I.11.1.1. Effet de changement de rugosité	56
I.11.1.2. Effet de brise vent	56
I.12. Température de surface des végétaux	59
I.13. L'évapotranspiration	59
I.14. Impact de la végétation sur les économies d'énergie	62
I.15. Effets bioclimatiques de la végétation dans les zones arides ; L'oasis	63
I.15.1. Effet d'oasis	64
I.15.1.1. L'effet brise vent de l'oasis : La turbulence au-dessus de l'oasis	64
I.15.2. Les effets d'une oasis sur les processus énergétiques dus à l'origine du climat.....	64
I.16. Exemples de la présence de la végétation comme élément structurant; Les ksour	65
Conclusion	66
Chapitre II : Le confort thermique dans les espaces extérieurs	
Introduction	68
II.1. Définition	69
II.2. Formes de confort	69
II.2.1. Confort matériel	70
II.2.2. Confort psychologique	70
II.2.3. Confort physiologique	70
II.2.4. Confort respiratoire	71
II.2.5. Confort visuel	71
II.2.6. Confort acoustique	71
II.3. Confort thermique	72
II.3.1. Éléments du confort thermique	73
II.3.1.1. Température de l'air et température moyenne radiante (T _{mr})	75
II.3.1.2. Humidité relative	75
II.3.1.3. Mouvement de l'air	76
II.3.1.4. Rayonnement solaire	76
II.3.2. Confort en régime transitoire, acclimatation et inertie thermique du corps	77
II.4. Les échanges thermiques	78
II.4.1. Les échanges radiatifs	78
II.4.2. Les échanges convectifs	78
II.4.2.1. Rayonnement de grande longueur d'onde	79
II.4.2.2. Rayonnement de courte longueur d'onde	79
II.4.3. Les échanges convectifs	79
II.5. L'évaluation du confort thermique dans les ambiances extérieures	80
II.5.1. La dimension qualitative	81
II.5.1.1. Comportement adaptatif de l'homme dans les conditions thermiques extérieures ...	81
II. 5. 1. 2. Les échelles de sensation thermique	82
II. 5. 2. Bilan énergétique	83

II. 5. 3. Les caractéristiques thermiques des ambiances extérieures	84
II. 5. 3. 1. Caractéristiques thermiques de l’ambiance urbaine	84
II.5.3.2. Les facteurs nécessaires pour l’évaluation du confort thermique extérieur	84
II. 6. Indices de confort thermique	85
II.6. 1. La température effective corrigée (CET)	85
II.6. 2. La chaleur équivalente (EW)	86
II. 6. 3. La température opérative (TO)	86
II. 6. 4. La température moyenne radiante (T_{mrt})	86
II. 6. 5. Le vote moyen prévisible (PMV)	86
II.6. 5. 1. L’indice de PMV et ses dérivés	87
II.6.5.2. PMV corrigé	90
II.6.6. La température physiologique équivalente (PET)	90
II.6.7. La température résultante (RT)	93
II.6.8. Le vote de sensation effective (Actual Sensation Vote) « ASV »	94
II.6.9. L’UTCI (Indice Universel du Climat Thermique)	94
II. 6.10. SET (Température effective standard)	96
II. 6.11. L’indice d’OUT- SET	97
II. 6. 12. L’indice DISC (Indice d’inconfort thermique)	97
II.7. Le confort thermique dans les espaces publics extérieurs	98
II.7.1. Les indices de confort ou de stress thermique en espaces extérieurs	98
II.8. Etude de Jörg Spangenberg du centre-ville de São Paulo, Brésil, 2008	99
II. 8. 1. Résultats des mesures et discussion	100
II. 8. 2. Les résultats de simulation	101
II. 8. 2. 1. La température de l’air	101
II. 8. 2. 2. L’humidité relative	102
II. 8. 2. 3. La vitesse du vent	102
II. 8. 2. 4. La Température Surfacique	103
II. 8. 2. 5. Température moyenne radiante	103
II. 8. 2. 6. Température effective physiologique (PET)	103
II.8.3. Conclusions de la recherche	104
Conclusion	104
Chapitre III : Etat de l’art et positionnement épistémologique	
Introduction	106
III.1. Contexte et état de l’art	107
III.1.1. Les effets de la végétation à l’échelle du bâtiment	107
III.1.2. Les effets de la végétation à l’échelle du quartier	108
III.1.3. Les effets de la végétation à l’échelle de la ville	109
III.2. Démarches méthodologiques: Approches existantes pour étudier le rôle de la végétation sur le climat urbain	111
III.2 .1. La démarche environnementale	112
III. 2 .1. 1. La démarche environnementale, une diversité avec des limites	112
III. 2. 2. La démarche d’investigation	112
III. 2. 2. 1. L’approche expérimentale	113
III. 2. 2. 2. Approche objective (quantitative)	114
III. 2. 2. 3. Approche (qualitative et subjective)	115
III. 2. 2. 4. Approches combinées (objectives-subjectives)	115
III. 2. 3. La démarche sensorielle	115
III. 3. Etat de l’art sur les recherches antérieures	116
III.3.1. Etude de Picot (2004): Thermal comfort in urban spaces: impact of vegetation growth: Case study: Piazza della Scienza, Milan, Italy.....	117
III.3.1.1. Méthode adoptée	118

III. 3. 2. Etude de Sahashua–Bart et al, 2010: Modélisation du microclimat sous l’impact d’arbres de la rue dans une morphologie urbaine variée de la ville méditerranéenne de Tel Aviv, Israël	120
III. 3. 3. L’étude Ballout, et al, 2015 : Le rôle de la végétation et l’eau dans la création d’un microclimat urbain	124
III. 3. 4. L’étude d’Andre Santos Nouri et al, 2018: L’impact des espèces de tipuana tipu sur les seuils de confort thermique humain local dans différents cas de canyon urbain dans les climats méditerranéens ; Lisbonne, Portugal	126
III. 4. Positionnement épistémologique	134
III. 4. 1. Le choix de l’approche pour étudier le rôle de la végétation sur le climat urbain	135
III.5. Les méthodes de quantification du climat urbain et les modèles climatiques : méthodes d’évaluation microclimatique	136
III.5.1. Les mesure	136
III. 5. 1. 1. Les mesures instantanées in situ	137
III. 5. 1. 2. Les mesures à distance (Télé-détection)	138
III. 5. 2. La modélisation et simulation numérique	139
III.5.3. la modélisation par discrétisation spatiale (maillage)	139
III. 5. 3. 1. Le modèle «Solène-microclimat »	140
III. 5. 3. 2. ENVI-met (Environmental Meteorology)	141
III. 5. 3. 3. RayMan	142
III. 5. 3. 4. LASER/F	143
III. 5. 3. 5. Le modèle éco physiologique RATP	143
III. 5. 3. 6. CFD (Computational Fluid Dynamics), PHOENICS	144
III. 5. 4. La modélisation par para métrisation	144
III. 5. 5. La modélisation par para métrisations 2D	144
III. 5. 6. La modélisation par para métrisations 3D	145
III. 5. 6. 1. Le modèle SM2U-3D (Dupont et al. 2004)	145
III. 5. 6. 2. Le modèle TEB (Town energy Budget), (Masson, 2000), Le modèle « TEB » Modèle de la canopée urbaine à simple-couche ; (Town Energy Balance) (MASSON et al. 2001) : échelle micro	145
III. 5. 6. 3. TEB-Veg : une meilleure prise en compte des interactions bâti végétation	146
III. 5. 6. 4. TEB-UTCI : un modèle pour évaluer le confort thermique	147
III. 5. 6. 5. SOLWEIG	148
III. 5. 7. Le choix d’un modèle climatique	148
III. 5. 7. 1. Le choix du modèle de la simulation « ENVI-met, version 4.4.5»	149
III. 5. 7. 2. Fiabilité des résultats de simulation avec ENVI-met	150
III. 5. 8. Le choix du modèle de la simulation « RayMan pro version 3.1»	150
Conclusion	151

Partie Pratique

Chapitre IV : L’investigation (Analyse des données de mesures in situ)

Introduction	154
IV.1. Présentation du cas d’étude : Localisation et caractéristiques climatiques de la ville de Biskra	155
IV.2. Les paramètres climatiques de la ville de Biskra	157
IV.2.1. Température de l’air	157
IV.2.2. L’humidité relative	158
IV.2.3. Précipitations	159
IV.2.4. L’Insolation	159
IV.2.5. Les Vents	160

IV.3. La végétation dans la ville de Biskra	162
IV.3. 1. L'Arbre Ficus Retusa	164
IV.4.1. Détermination des isothermes de la ville de Biskra	166
IV.5. Motivation du choix du site	169
IV.5.1. Présentation de la placette retenue	171
IV.5.2. Structure morphologique de la placette : Composantes de la placette	172
IV. 5. 3. Les matériaux	172
IV. 6. Typologie végétale	173
IV. 6. 1. Le Ficus, estimé à 90%	173
IV. 6. 2. Le Palmier, environ 1%	174
IV. 6. 3. Figuier, environ 1%	174
IV. 6. 4. le Faux-acacia 1%	174
IV.7. Les caractéristiques morphologiques de la placette	174
V.7. 1. la perspective du ratio H / L	176
IV.7.2. Albédo moyen des surfaces (a.)	176
IV.7. 3 Facteur d'ouverture vers le ciel (SVF).....	176
IV.7. 4. Ratio de couverture verte	177
IV.8. Choix des stations de mesure : Parcours de mesures.....	177
IV.9. Méthodologie et déroulement des campagnes de mesures	178
IV 9. 1. Protocole de la prise de mesures	178
IV 9. 2. L'analyse des mesures In-situ.....	179
IV 9. 2. 1. La campagne de mesures.....	179
IV.10. Les instruments de mesure (Les appareils de mesure).....	180
IV.7.1.2.2. Canon EOS 6D	181
IV.7.2. Les facteurs climatiques mesurés	181
IV.7.2.1. Température de l'air	183
IV.7.2. 2. Température moyenne radiante.....	183
IV.7.2.3. Humidité relative.....	184
IV.7.2.4. La vitesse de l'air.....	184
IV .7. 3. Station météorologique de référence.....	185
IV.7. 3. Interprétations des données enregistrées	185
IV.7.4. Interprétations pour chaque station	186
IV.7.4.1. Station S1.....	186
IV.7.4.2. Station S2	187
IV.7.4.3. Station S3	188
IV.7.4.4. Station S4	189
IV.7.4.5-Station S5	190
IV.7.4.6. Station météo aéroport Biskra	190
IV.7.5. Comparaison des différents paramètres climatiques mesurés des 05 stations (1, 2, 3,4 et 5), sur terrain de la placette	191
IV.7.5.1. La température de l'air (T air °C)	191
IV.7.5.2. L'humidité relative (RH%)	192
IV.7.5.3. Vitesse des vents V vent m/s	193
IV.7.5.4. La température moyenne radiante (Tmrt °C)	194
IV.7.6. Comparaison entre les différents paramètres climatiques mesurés et ceux de la station météo de Biskra	196
IV. 7. 6. 1. La température de l'air (°C)	196
IV. 7. 6. 2. L'humidité relative %	198
IV.7.6.3. Vitesse des vents V vent m/s	198
Conclusion	202
Chapitre V : Simulation numérique (Couplage des logiciels ENV-met et RayMan)	

Introduction	205
V.1. La simulation numérique	206
V. 2. Présentation des outils de simulation	206
V. 2. 1. Le Logiciel de simulation (ENVI-met)	207
V.2.2. Précision du modèle ENVI-met	208
V.2.3. L’interface du logiciel ENVI-met, version 4.4.5	208
V.2.4. Visualisation des résultats d’ENVI-met (LEONARDO)	209
V.2.5. Schéma de base du logiciel et ses fonctions	210
V.2.6. Les entrées (inputs)	210
V.2.6.1. Fichier éditeur (.inx). « Spaces»	210
V.2.6.2. Fichier de configuration (.cf). «Envi-guide»	211
V.2.7. Les données des sorties (Outputs)	211
V.2.7. 1. Fichier de sortie en 3D	211
V.2.7. 2. Fichier des récepteurs	211
V.2.7. 3. D fichier model	211
V.2. 8. Présentation du modèle RayMan pro (version 3.1)	211
V.2. 8. 1. Les données d’entrées (Inputs)	212
V.2. 8. 2. Les données des sorties (Outputs)	213
V.3. L’effet des masques solaires: Les masques environnementaux physiques	213
V. 4. Le facteur d’ouverture au ciel de la placette par le biais du logiciel « Rayman»	216
V. 5. Protocole de la simulation, l’aide du logiciel ENVI-met V 4.4.5	218
V.5. 1. Déroulement de la simulation	218
V.5. 2. Définition des entrées et génération des fichiers de simulation (Inputs)	218
V.6. Modélisation géométrique	219
V.7. Simulation de la placette retenue à l’aide du logiciel ENVI-met 4.4.5	220
V.8. Interprétation des résultats obtenus	223
V.8.1. Validation du modèle numérique	223
V. 8.2. La corrélation entre les valeurs mesurées In-situ et les valeurs simulées	223
V. 9. Impact de la végétation sur les paramètres microclimatique	226
V. 9. 1. Impact de la végétation sur la température de l’air	226
V. 9. 2. Impact de la végétation sur l’humidité relative (%)	230
V. 9. 3. Impact de la végétation sur la Vitesse des vents	234
V. 9. 4. Impact de la végétation sur la température moyenne radiante (Tmrt)	237
V. 10. Evaluation du confort thermique dans les stations de la placette	241
V. 10. 1. Impact de la végétation sur le PET (Température Effective Physiologique)	242
V. 10. 2. Impact de la végétation sur l’UTCI (L’indice thermique universel du climat).....	243
V. 10. 3. Impact de la végétation sur le PMV (Vote Moyen Prévisible)	245
Conclusion	247
Chapitre VI : Amélioration du confort thermique par simulation paramétrique	
Introduction	250
VI. 1. Amélioration des conditions de confort thermique de la placette	251
VI. 1. 1. Le choix de type d’arbre urbain à introduire dans la simulation	252
VI. 1. 2. Calcul du nombre d’arbres et du pourcentage de couvert végétal « GCR. »	256
VI. 1. 3. Caractéristiques d’ombrage de l’arbre retenu	257
VI. 1. 4. Évaluation du rapport de pourcentage d’arbres implanté par GCR et détermination du pourcentage de l’espace végétalisé GnPR	258
VI. 2. Présentation du modèle simulé et du protocole de simulation pour l’optimisation	259
VI. 3. Protocole de simulation pour améliorer le confort thermique extérieur au niveau de la placette	260
VI. 4. Simulation de l’effet de densité et disposition des arbres ficus et nature du sol sur les paramètres climatiques et les indices de confort thermique PMV, PET et UTCI	261

VI. 4. 1. Présentation des différents scenarios	262
VI. 5. Cas de la Densité du couvert végétal GCR = 0%	264
VI. 6. Cas de la Densité du couvert végétal GCR = 50%	264
VI. 6. 1. Cas dispositifs des arbres groupés	264
VI. 6. 1. 1. Orientation et disposition au Nord de la placette	264
VI. 6. 1. 2. Orientation et disposition au Centre de la placette	265
VI. 6. 1. 3. Orientation et disposition au Sud de la placette	265
VI. 6. 1. 4. Orientation et disposition à l'Ouest de la placette	266
VI. 6. 1. 5. Orientation et disposition à l'Est de la placette	266
VI. 6. 2. Cas des dispositifs des arbres Linéaires	267
VI. 6. 2. 1. Dispositifs selon l'axe Y : (Nord-Sud)	267
VI. 6. 2. 2. Dispositifs selon l'axe X : (Est-Ouest)	267
VI. 7. Cas de la Densité du couvert végétal GCR= 100%	268
VI. 8. Interprétation des résultats obtenus	268
VI. 8. 1. L'effet de la densité du couvert végétal GCR simulé sur le confort thermique dans la placette	268
V. 8. 2. Détermination des paramètres microclimatique simulés dans la placette améliorée avec GCR = 00%	268
VI. 8. 3. Détermination des paramètres microclimatique simulés dans la placette améliorée avec GCR =50%.....	270
VI. 8. 3. 1. Echantillon d'arbres tests	270
VI. 9. Effet de l'orientation et de la disposition des arbres sur les paramètres climatiques dans les deux cas du sol de la placette	276
VI.9.1. Effet d'orientation et de la disposition des arbres sur la température de l'air, cas du sol en pavé gris	276
VI. 9. 2. Effet d'orientation et de la disposition des arbres sur l'humidité relative, cas du sol en pavé gris	277
VI. 9. 3. Effet d'orientation et de la disposition des arbres sur la Tmrt, cas du sol en pavé gris	277
VI. 9. 4. Effet d'orientation et de la disposition des arbres sur la température de l'air, cas du sol gazonné	278
VI. 9. 5. Effet d'orientation et de la disposition des arbres sur l'humidité relative, cas du sol gazonné	278
VI. 9. 6. Effet d'orientation et de la disposition des arbres sur la Tmrt, cas du sol gazonné	279
VI. 10. Comparaison entre les deux dispositions ; groupée et linéaire.....	279
VI. 11. Synthèse de l'effet du couvert végétal GCR = 50% dans le cas des arbres linéaires suivant l'axe « Y».....	280
VI. 11. Synthèse de l'effet du couvert végétal GCR = 100%	281
VI. 12. Comparaison entre l'effet des divers aménagements sur les paramètres microclimatiques simulés dans la placette	283
VI. 12. 1. Effets des divers aménagements sur la température de l'air (T air).....	283
VI. 12. 2. Effets des divers aménagements sur l'humidité relative (Hr).....	284
VI. 12. 3. Effets des divers aménagements sur la température moyenne radiante (Tmrt).....	285
VI. 13. Effets des divers aménagements sur les paramètres relatifs au confort thermique dans la placette	286
VI. 13. 1. Effets des divers aménagements sur la température physiologique équivalente (PET)	287
VI. 13. 2. Effets des divers aménagements sur L'UTCI	289
VI.13. 3. Effets des divers aménagements sur le PMV	291
Conclusion	293
Conclusion Générale (recommandations, limites et perspectives de la recherche).....	

Bibliographie	305
Les annexes	313
Résumé	
Abstract	
ملخص	

Liste des figures

Figure 0.1 : L'interaction entre la végétation urbaine, microclimat et confort thermique extérieur (Variables de la recherche). (Source: Auteure, 2017)	19
Figure 0.2 : Représentation schématique de la structure de notre thèse. (Source : Auteure, 2017)	23
Figure I.1 : Représentation des échelles climatiques et atmosphériques, de l'échelle méso (a), à l'échelle locale (b) et micro (c). (Source : Leroyer, 2006)	25
Figure I.2 : L'importance de la courbure de la terre par rapport à la répartition de la chaleur sur le globe. (Source. Meteocentre.com/internet/temperature/diff_temp2)	27
Figure I.3 : Paramètres qui font le climat urbain, Auteur: Sebastian Wypych. (Source:http://klimat.czn.uj.edu.pl)	28
Figure I.4 : L'îlot de chaleur urbain au-dessus de Paris et de ses alentours lors d'un épisode caniculaire. (Source: MétéoFrance, brochurede2014: http://www.meteofrance.fr)	29
Figure.I.5 : L'esplanade du champ de Mars à Paris. (Source : www.paris-walking-tours.co)	30
Figure. I.6 : Quelques formes de place. (Source. Allain, 2004)	31
Figure I.7 : Différents types d'espaces avec différents 'H/L' et son rapport avec les rayons solaires. (Source : Reiter, S ; 2007)	32
Figure I.8 : Distribution schématique du rayonnement solaire incident dans différents scénarios d'H/L. (Source : Givoni, 1998)	32
Figure I.9. Taux d'ouverture de l'espace entre deux bâtiments pour différents profils de rue. (Source : Ait amour, 2002)	33
Figure I.10. Paramètres géométriques pour le calcul de SVF à partir d'un point sur le sol dans un espace de type place à une distance donnée d'une paroi continue et au point d'un espace circulaire central. (Source : Erell et al, 2011)	33
Figure I.11. Vue schématique d'un espace de type cour rectangulaire. (Source: Erell et al,2011)	34
Figure I.12. Exemples d'estimation SVF urbaine en utilisant des modèles urbains 3D avec le système d'information géographique (SIG) logiciel d'analyse.(Source : Erell et al, 2011)	34
Figure I.13: Fish-eye des quatre types d'espaces respectivement de gauche à droite : espace ouvert, semi ouvert et deux Canyons. (Source : Bourbia Fatiha et al, 2004)	35
Figure I. 14. (a). Le facteur de vue du ciel de la place A (FVC = 0,13). (b) Le facteur de vue du ciel de la place F (FVC = 0,81). (c) la relation entre le facteur de vue du ciel et le pourcentage de périodes de confort. (Source : Tzu-Ping et al, 2010)	35
Figure I. 15. Photo et thermographies IRT des revêtements testés dans l'étude de (Source. Doulos et al, 2004)	36
Figure I. 16. (a) Réflexion spéculaire sur une surface lisse. (b) Réflexion diffuse sur une surface rugueuse. (c) Deux modèles de toiture convexe et plane. (Source : Akbari et al, 2008)	37
Figure I.17: Divers albédos de la ville. Compris entre 0 et 1 l'albédo caractérise le pouvoir réfléchissant d'un support. A 1, l'énergie lumineuse est entièrement renvoyée. (Source: Colombert, 2008)	38
Figure I.18: Les paramètres pour le calcul de l'ombrage coefficient. (Source : Erell et al, 2011)	39
Figure. I. 19: Le végétal grim pant. (Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Mur_végétalisé)	40
Figure. I. 20 : Les végétaux couvrants. (Source : M. A. Guyot, 1998)	40

Figure. I.21 : L'arbre d'alignement (Source: fr.wikipedia.org/wiki/Arbre_d'alignement)	41
Figure. I. 22: Forme et type de feuilles. (Source : http://crapouillot-montessori.blogspot.com/2015/10/feuille-les-differents-bord-marge.html)	43
Figure. I. 23: Les différents effets de la végétation. (Source : (Liébard et al. 2005)	44
Figure. I. 24: 1- Effet d'humidification: une bande de végétation suffisante peut créer une baisse de 1° de 3,5°C et une augmentation de 5 % de l'humidité relative, 2-Effet d'oxygénation, 3-Action d'absorption et de réémission du rayonnement solaire. (Source : Liébard et al. 2005)	44
Figure. I. 25: L'impact la végétation sur le confort acoustique	45
Figure. I. 26: confort lumineux et effet tampon du végétal. (Source : M. A. Guyot, 1998)	46
Figure. I.27 : Schématisation de l'effet de piégeage de la lumière d'un couvert végétal. (Source: Guyot. G., 1997)	46
Figure. I. 28: Transmission solaire. (Source : Akbari et Al., 1992)	47
Figure. I. 29: Modification des échanges radiatifs. (Source : Izard et al. 1979)	48
Figure. I. 30: Effet de refroidissement par évapotranspiration en fonction du taux de surfaces. (Source: Oke, T.R., Vogt, J.A 1997)	49
Figure. I. 31: Modification des transferts de chaleur autour d'un arbre. (Source : Vinet J., 2000)	50
Figure. I. 32: un microclimat plus confortable par la présence des arbres. (Source : (http://fr.slideshare.net/Saamysaami/vgtation-confort))	50
Figure. I. 33: Processus physiques principaux à l'origine des modifications radiatives et thermiques du climat urbain. (Source : APUR, 2012)	52
Figure. I. 34 : tracer l'ombre à l'aide de logiciel d'Ecotect. (Source : Shahida et al, 2007)	54
Figure. I. 35 : tracer l'ombre à l'aide de logiciel Rayman. (Source : Tebbani et al, 2015)	55
Figure. I.36 : Effet de brise vent : distance de protection. (Source : John D.Wilson)	57
Figure. I. 37 : Zones végétales isothermes à 27, 28 et 29°C. (Source : Alvarez <i>et al.</i> 2000)	57
Figure. I. 38 : évaporation et évapotranspiration potentielle et réelle. Source : (http://www.u-picardie.fr)	60
Figure. I. 39. : Place de l'eau du sol dans le cycle de l'eau. (Source : http://www.u-picardie.fr)	62
Figure I.40. : Economie d'énergie due aux effets directs et indirects des arbres dans trois villes américaines. (Source : Akbari <i>et al.</i> 1992)	63
Figure. I. 41: Position du cadre bâti par rapport à la palmeraie (Source : Auteure, 2020)	65
Figure. II. 1: Relation entre l'humidité relative mesurée <i>in situ</i> et leur perception par les sujets. (D'après Stathopoulos <i>et al.</i> , 2004)	75
Figure. II. 3 : Les différents types d'échanges thermiques. (Source. Depecker et al. 1989)	78
Figure. II. 2 : Relation entre le rayonnement solaire mesurée <i>in situ</i> et leur perception par les sujets. (D'après Stathopoulos <i>et al.</i> , 2004)	77
Figure. II. 4 : Les pertes thermiques du corps humain. (Source. Liébard et al. 2005)	78
Figure. II. 5 : Échelle de sensation thermique d'ASHRAE. (Source : Charles, K.E. Fanger's Thermal Comfort and Draught Models, 10, 2003-IRC-RR-162, conseil national de recherche Canada)	82
Figure. II. 6 : Classification des valeurs du PMV selon neuf échelles de confort (Source : Michael. BRUSE, 2004)	83
Figure. II. 7 : La température résultante (RT)	93
Figure II.08: Schéma des principaux paramètres de l'UTCI (Source: Blazejczyk. K et al, 2013)	96
Figure. II. 09 : La vie de rue dans la zone claire (photos du square, à gauche, et de la rue canyon, à droite). (a) L'équipement de mesure utilisée dans le canyon urbain. (b) (Source : Jörg Spangenberg, 2006)	99
Figure. II. 10 : Localisation des trois points de mesure dans la zone de Luz. Point 1 = parc, point 2 = Canyon, point 3 = carré. (Source : Jörg Spangenberg, 2006)	100
Figure. II. 11 : Photos hémisphérique de la vue du ciel prise avec un Nikon 4500 équipé d'un objectif fish eye à 180° pour un parc (1), Canyon (2) et de la place d'ouverture (3). (Source : Jörg Spangenberg, 2006)	100

Figure. II. 12 : a) température de l'air pour le parc, la place, et le canyon. b) humidité relative et absolue pour le parc, la place publique et le canyon. (Source : Jörg Spangenberg, 2006)	101
Tableau II.12 : échelle par sensations de l'indice DISC. (Source : BOUTABA, S. 2007)	98
Figure. II. 13 : Comparaison entre la température mesurée et simulée de l'air pour la rue canyon. (Source : Jörg Spangenberg, 2006)	101
Figure.II.14: a) la température de l'air simulé pour le canyon de la rue sans arbres, avec des arbres ayant un couvert de haute densité et avec des arbres ayant un couvert de faible densité b) température de surface simulée de la rue sans arbre, une rue à feuillage des arbres de haute densité et une rue avec une canopée à faible densité d'arbres. (Source : Jörg Spangenberg, 2006)	102
Figure. II. 15 : (T_{mrt}) simulée dans la rue sans arbre, avec couvert à haute densité et la rue avec couvert de faible densité. (Source : Jörg Spangenberg, 2006)	102
Figure. II. 16 : PET simulées pour la rue sans arbres, rue avec haute densité du couvert et rue avec haute faible du couvert. (Source : Jörg Spangenberg, 2006)	103
Figure III.01: Modèle des deux toitures simulées et Variations de températures journalières du toit de référence, toit vert et l'air ambiant. (Source : Bass. b, Baskaran. b, 2001)	108
Figure III.02. Modélisation avec SOLENE du square Fleuriot à Nantes : a) avec bassin d'eau sans arbres. b) avec arbres sans bassin d'eau. c) avec bassin d'eau et arbres (situation actuelle). (Source : Mirela Robitu, 2005)	109
Figure III.03 : Influence d'un parc urbain dans le cadre d'EUROMED2. (Source: De Munck C., 2013)	110
Figure. III. 04 : Les approches de la démarche environnementale. (Source : Auteure, 2019)	112
Figure. III. 05 : Les étapes de la démarche d'investigation. (Source : Rojat D. 2013)	113
Figure III.06 : Approches expérimentales de prédiction et d'évaluation du confort microclimatique à l'échelle urbaine	115
Figure. III. 07 : Les approches de la démarche sensorielle. (Source : Auteure, 2019)	116
Figure. III. 08: Caractéristiques des arbres et prévisions de croissance de 2001–2002 à 2032. (Source: Picot. X, 2004)	118
Figure III.09: Impact de la croissance de l'arbre vue par le ciel au point P1 (Source: Picot. X., 2004)	119
Figure. III. 10. Les arbres de rue dans différentes morphologies urbaines de la ville de Tel Aviv. (Source : Sahashua–Bart et al, 2010)	120
Figure. III. 11. Caractéristique géométriques de la rue avec différents pourcentages de couvertures d'arbres. (Source : Sahashua -Bart .L et al, 2010)	121
Figure. III. 12. Caractéristique des arbres utilisés pour la de la rue avec différents pourcentages de couvertures d'arbres. (Source: Sahashua – Bart. et al, 2010)	122
Figure. III. 13 : Localisation des quatre points de mesure dans la place d'Ain el Fouara à Sétif. (Source : Ballout. A, 2015)	124
Figure. III. 14: Les cinq scenarios de la simulation placette. (Source: Ballout. et al, 2015)	126
Figure.III.15. Représentation de l'espèce Tipuana tipu (A) Exemple de plantation linéaire d'espèces dans le trottoir latéral est du Rossio pendant l'après-midi (B) Dimensions de l'arbre dont elles ont ensuite été utilisées dans les simulations (C) Foliation annuelle et coloration de la couronne végétative - adapté de Viñas, Solanich [72]	128
Figure.III.16. : Disposition d'orientation nord-sud (NSO) des cas déterminés de canyons urbains (UCC) et des points de référence centraux / latéraux (RP) avec des étendues de cime et des rapports de couverture végétative (VCR) spécifiés; Section A-A en HW2.00, section B-B en HW1.00, section C-C en HW0.50, section D-D en HW0.17	130
Figure. III. 17 : Schéma récapitulatifs des différents types d'investigations utiles à l'évaluation du Confort Thermique dans les espaces extérieurs. (Source : Auteure, 2019)	137
Figure III.18: The locations of measuring instruments. RH: relative humidity; Ta: air temperature. (Source: Zhixin Liu et al, 2018) (nstrument types, locality, and accuracy)	138
Figure. III. 19 : Illustration des capteurs utilisés pour obtenir les mesures de terrain comparatives et leur localisation dans la zone d'étude. La position des capteurs est illustrée en rouge dans un nuage de points SLT. (Source : Zhixin Liu, et al, 2018)	139
Figure. III. 20 : Mesure de télédétection dans le domaine solaire. (Source: Bacour, 2001)	139

Figure III.20 : Modélisation avec Solène du quartier Antigone (Source : Jérôme Vinet, 2000)	140
Figure. III. 21. Les quatre scénarios de la simulation placette avec ENV-met. (Source : Hyunjung Lee et al., 2016)	141
Figure. III. 22 : L'étude de conception de rues avec différents types de végétations. (Source : Matzarakis et al, 2010)	142
Figure. III. 23. Schématisation de la géométrie 3D des modules de végétation dans LASER/F, « sol enherbé » et « arbre », doivent prendre en compte. Le LAI (indice de surface foliaire) permet d'avoir une idée de la quantité de feuille et de sa spatialisation. Les profondeurs racinaires indiquent le niveau maximum de ponction de l'eau	143
Figure. III. 24. Prise en compte du feuillage d'un arbre, Arbre avec a) RATP et avec b) LASER/F. Source.	143
Figure. III. 25 : les quatre configurations utilisées pour la simulation (Source : Blocken. B, et al, 2007)	144
Figure. III. 26: Schémas représentatif du paramétrisation de la canopée urbaine selon DA-SM2-U basée sur une approche multicouche en utilisant le modèle de sol SM2U-3D. (Source : Dupont et al. 2004)	145
Figure. III. 27 : Le processus du TEB : Centre National de Recherches Météorologiques (Source : https://www.umr-cnrm.fr)	146
Figure. III. 28. Comparaison des configurations TEB-ISBA (haut) et TEB-Veg (bas) pour le calcul des flux de surface par SURFEX en un point où coexistent des surfaces artificielles et naturelles (urbaines et rurales). ftown, fbld, froad, fgarden, et fnature sont respectivement les fractions de ville, bâti, route, jardins urbains, et nature d'une surface d'étude donnée. (Source : Lemonsu et al. 2012)	146
Figure. III. 29. Thèse Cécile demunck , 2013 Page 43 (source : Krayenhoff et al 2015)	147
Figure. III. 30. Les trois environnements simulent dans TEB lors du calcul de l'UTCI. (Source : PIGEON, 2011)	147
Figure IV.1 : Situation géographique de la ville de Biskra. Source : https://www.google.dz/search; , (réadapté par auteur)	155
Figure IV. 2 : Les zones climatiques d'été en Algérie. (Source : Ministère de l'habitat, Recommandations Architecturales, 1993)	156
Figure IV. 3 : Les zones climatiques d'hiver en Algérie. Source : Ministère de l'habitat, Recommandations Architecturales, 1993	156
Figure IV.5. Direction et valeurs mensuelles et annuelles des vitesses du vent (1975- 1984) Source : Boutabba S.D., 2007	161
Figure IV.6 : Répartition des principaux espaces verts de la ville de Biskra. Source: Google Earth, 2016. Municipalité	163
Figure. IV.7 : diagramme de Givoni Source : EVANS Martin, Housing, climate and confort, (reproduit par l'auteur)	167
Figure. IV.8 : Diagramme d'Olgay. Source : EVANS Martin, Housing, climate and confort, (reproduit par l'auteur)	168
Figure. IV. 9 : Diagramme solaire indiquant la trajectoire solaire, et la zone de surchauffe pour la ville de Biskra – latitude 34°48'. Source : Atlas solaire	169
Figure. IV. 9 : la situation du pôle universitaire central, Université Mohamed Kheider, Biskra [Google Earth]	170
Figure. IV.10 : la situation du cas d'étude au sein du pôle université central, Biskra [Google Earth]	170
Figure. IV. 11 : Attractivité de la placette retenue pendant la période estivale. Source: Auteure	170
Figure. IV .12 : zoning de la placette (Google Earth) (Exploitation par l'auteur)	171
Figure IV.13. Morphologie et effets climatiques sur la placette, (traitement de l'auteur)	171
Figure IV.13 : L'aspect physique de la placette. (Source: Auteure)	172
Figure IV.14, a) partie nord de la placette nue entourée des blocs pédagogiques (Source : Auteur)	172
Figure IV.14, b) partie sud de la placette, végétalisée entourée des blocs pédagogiques. (Source: Auteur).	172
Figure IV.15. Les types de sol de la placette pendant la période estival. Source: Auteure, 2019	173

Figure. IV.6. Arbre et feuilles du Ficus Retusa. (Source Auteure, 2019)	173
Figure IV. 17 le palmier (source : Auteure)	174
Figure .IV.18.Figuier.(source : Auteure)	174
Figure. IV.19) le Faux acacia (Source Auteure)	174
Figure IV.20 : angle solide de vue d'une rue canyon asymétrique l'angle solide égale à 1800–01-02 .source : Oke 1981	177
Figure. IV.21. Répartition des stations de mesures sur la placette retenue, pendant la période estival. (Source : Auteure, 2017)	178
Figurte. IV. 8 : Matériel utilisé dans les campagnes de mesures ; Testo 480 (Source : auteure)	180
Figure. IV.23 : Thermomètre 38 mm plat globe gris. (Thorsson et al, 2007)	183
Figure IV.24 : Menus de la fenêtre de ray man 1.3 permettant l'importation et l'exportation de structures urbaines pour le calcul de la température moyenne de rayonnement TMR et indices thermiques. Source : (Matzarakis et al, 2000)	184
Figure. IV. 25: Situation de la station météorologique par rapport au cas d'étude (www.flashearth.com 2015, adaptée par l'auteure)	185
Figure. V.1. Schéma du modèle de base d'ENVI-met (Source : Huttner, 2012).	207
Figure V.2. Diagramme de flux des données. (Source : Knodel, 2012)	208
Figure V.3 : Interface ENVI-met V 4.4.5. (Source : Guide ENVI-met V 4.4.5. 2020).	209
Figure V.4. Interface de LEONARDO pour ENVI-met. (Source : Guide ENVI-met V 4.4.5, 2020).	209
Figure V.5.a. Représentation 2D des résultats dans la fenêtre LEONARDO. (Source : Guide ENVI-met V.4.4.5, 2020)	209
Figure V.5.b. Représentations 3D des résultats dans la fenêtre LEONARDO (Source : Guide ENVI-met.)	210
Figure V. 6 : Fichiers nécessaires pour débiter une simulation avec ENVI-met 4.4.5. (Source. Auteur 2020)	210
Figure V. 7 : Les éléments de l'interface du modèle RayMan Pro 3.1, a gauche, La fenêtre du démarrage du modèle RayMan. A droite, La fenêtre principale de RayMan, (Source: Matzarakis et al, 2018)	212
Figure. V. 8. Fenêtre d'entrée des obstacles. Source : Matzarakis et al, 2018	212
Figure V. 9: Les fenêtres « Edit obstacles», a gauche, fenêtre de modification des obstacles Bâtiments, a droite, fenêtre de modification des obstacles Arbres. Source : Matzarakis et al, 2018	212
Figure. V. 10 : Fenêtre des données de sortie : Diagramme polaire. Source : Matzarakis et al,	213
Figure V. 11 : la corrélation entre Tmrt mesurée et celle simulée par le modèle 'RayMan' Source: Matzarakis, A et al; (2010)	213
Figure V.12. Graphe de la corrélation entre Tmrt mesurée et celle évalué par le modèle 'RayMan'. Le coefficient $r^2 = 0.9318$. Source: Andrade, H et al; (2007)	213
Figure. V. 13. Revêtement du sol pour Les chemins piétonniers « Sol and surface (Editeur sol) » dans la placette	219
Figure. V. 14. Modèle d'herbe et d'arbres (GT) de la placette	219
Figure V.15: Dessin de la placette étudiée (avec les récepteurs). Fichier d'entrée de la zone étudiée (.inx) pour scénario de l'état initial « model area 2D » (Source : Auteure, 2020)	220
Figure V.16: Medelisation de la placette étudiée (avec les récepteurs), fichier d'entrée de la zone étudiée (.inx) pour scénario de l'état initial « model area 3D » (Source : Auteure)	221
Figure V.17 : Medelisation de la placette étudiée, fichier d'entrée de la zone étudiée (.inx) pour scénario « A » l'état initial « model area 3D » avec végétation modèle d'arbres (GT) intgré (Source : Auteure, 2020)	221
Figure V. 18. Corrélations entre des valeurs mesurées et les valeurs simulées enregistrées de température l'air moyenne, humidité relative moyen, vitesse du vent moyen et Tmrt moyenne dans la placette actuelle pendant la période estivale de 08h00 à 16h00. Source : Auteure. 2020.	225
Figure V. 19: la température de l'air des 05 stations (1, 2, 3,4 et 5) scénario « A » la placette actuelle). (Source : Auteure, 2020)	227
Figure V.20: Humidité relatives % des 05 stations (1, 2, 3,4 et 5) scénario « A » la placette	

actuelle). (Source : Auteure, 2020)	231
Figure. V.21: Vitesses des vents au niveau des 05 stations (1, 2, 3,4 et 5) scenario « A » la placette actuelle. (Source : Auteure, 2020)	235
Figure. V.22 : La température moyenne radiante (T _{mrt}) au niveau des 05 stations (1, 2, 3, 4 et 5) scenario « A » la placette a l'état initial. (Source : Auteure, 2020)	238
Figure. V. 23. Lecture du niveau de stress thermique.	242
Figure. V. 24. Lecture du niveau de stress thermique.	244
Figure. VI. 1. Les six types d'arbres selon les caractéristiques formelles	252
Figure. VI. 2. Comparaison de la quantité d'ombre créée par une large canopée d'arbre par opposition à une grande canopée selon les angles solaires. Source : Kotzenn. B (2003)	252
Figure. VI. 3. Comparaison de l'ombre projetée par rapport au diamètre de la couronne. (Source: Kotzenn.B (2003).	253
Figure. VI. 4. Diagramme illustrant que la longueur d'ombre perdue par les larges canopées rondes est compensé par leur largeur. Source : Kotzenn.B (2003).	253
Figure VI. 5. Les formes d'arbres les plus courantes . De gauche à droite et de haut en bas ; vasés, colonnaires, Palmiers, ouvertes, sphériques, et pyramidaux.	254
Figure VI. 6. Caractéristiques des arbres. (Source : d'Abreu- Harbich et al(2015).	255
Figure. VI. 7. L'arbre ficus refusa et sa feuille. (Source : Auteure. 2019)	256
Figure VI. 8. Formes des ombres projetées selon les différentes formes d'espèces d'arbres. Source : Meerow et al (1991)	257
Figure.VI. 9. Influence de la hauteur et de la forme du houppier sur l'efficacité de l'ombrage, la géométrie de l'arbre de droite est plus avantageuse à la fois en hiver et en été (Y ₂ < Y ₁).	258
Figure. VI. 10 : Dimension nécessaires pour une idéale plantation d'arbre urbain. Source (SUZEL, b et al 2008)	258
Figure V. 11. Identificatin des paramètres constants et variables. (Source : Auteure 2019)	259
Figure V. 12. Phase de preparation des dessins pour l'optimisation du confort thermique exterior au niveau de la placette . (Source : Auteure, 2019)	260
Figure VI. 13 : Présentation les différents Fichiers d'entrée (.INX) de la zone étudiée pour scenarios de modélisation et simulation. (Source : Auteure, 2019).	264
Figure.VI. 14: Impact of Herb. (Source: Tuli, 2014)	269
Figure. VI. 15 : Medelisation de la placette étudiée sans végétation, fichier d'entrée de la zone étudiée (.inx) pour « scenario N°1, GCR = 0% » (a) model area 3D (b) model area 2D. (Source : Auteure, 2019)	269
Figure VI. 16 : Medelisation de la placette étudiée, fichier d'entrée de la zone étudiée (.inx) pour scenario « A » l'état initial « model area 3D » avec végétation modèle d'arbres (GT) intégré (Source : Auteure, 2020)	271
Figure. VI. 17: Impact de l'implantation <u>linéaire</u> des arbres qui empêche le passage des rayons solaires, (b) et (c) un vrai masque aux rayons solaires, adopté dans notre conception et présente la qualité de l'ombre. (Source: Tuli, 2014)	272
Figure. VI. 18 : Impact of High Density Green (Source: Tuli, 2014)	282
Figure. VI. 35. Lecture du niveau du stress thermique selon L'UTCI	291

Liste des tableaux

Tableau 0.1: Tableau synthétique de l'analyse conceptuelle. (Source : Auteure, 2017)	20
Tableau I.1: Les échelles climatiques et leur extension spatiale. (Source : Markus et Morris, 1980. Adopté de Kitous, 2012)	26
Tableau I.2. Les indicateurs combinés du concept fabrique de la ville. (Source : Mohamad Slimane et al 2018)	31
Tableau I.3 : Quelques valeurs de l'albedo pour revêtements de sol typiques. (Source : REITER, S., 2007)	37
Tableau .I.04 : Espèces et transmission du rayonnement solaire	53
Tableau. I. 05 : Hauteurs d'eau annuelles échangées par évaporation	61
Tableau. II. 1: Typical metabolic heat génération for various activities (D'après O'cofaigh et al, 1999)	72

Tableau. II. 2: Thermal insulation provided by various combinations of clothing (D'après O'cofaigh et al, 1999)	73
Tableau II.3 : Les différents paramètres déterminant le confort thermique (D'après Potvin, 1997)	74
Tableau. II. 4 : Echange par convection. (D'après, Pénicaud, 1978)	80
Tableau. II. 6 : Echelle MTV (Source : Bedford T. 1936, cité par Nilsson H. 2004) 82 Tableau. II.7 : Classification des valeurs du PMV selon les sept échelles de confort « ASHRAE ». (Source : Mayer H., 1993)	87
Tableau II.7 : Klima Michel Model (PMV), Jendritzky, 1979 (Source : Kedissa C., 2010)	90
Tableau. II. 8 : Classes de la sensation thermique indiquée par la PET (Source : Matzarakis A., 2006)	91
Tableau. II. 9 : Le vote de sensation effectif ASV (Nikolopoulou). (Source: Reiter, 2007)	94
Tableau. II. 10 : Grille d'appréciation de l'UTCI. (Source : Blazejezyk. et al. 2014)	95
Tableau. II. 11 : La relation entre la température standard effective SET et la sensation thermique (Source : Parsons, 2003)	97
Tableau II.12 : échelle par sensations de l'indice DISC. (Source : BOUTABA, S. 2007)	98
Tableau. III.1: Résultats du bilan de 2002 à 2032, le 12 juillet à 12h solaire. (Source: Picot. X, 2004)	119
Tableau III.2. Caractéristiques de base des espèces étudiées. (Source : Sahashua -Bart. L et al, 2010)	121
Tableau. III. 3. Description et catégorisation des cas de canyons urbains (UCC) utilisés et leur rapport hauteur, largeur et hauteur / largeur (HW) respectif...Source.....	129
Tableau .III.4 : Recherches antérieures sur l'impact de la végétation sur le confort thermique urbain. (Source : Adapté de plusieurs recherches. Auteure, 2019)	131
Tableau IV.1. Moyennes mensuelles de la température d'air pendant la décennie (2005-2015)	157
Tableau IV.2 : Moyennes mensuelles de l'humidité relative pendant la décennie (2005-2015) Source. (Station météorologique Biskra, 2015)	158
Tableau IV.3. Moyennes mensuelles des précipitations pendant la décennie (2005-2015). Source. (Station météorologique de Biskra, 2015)	159
Tableau IV.4. Moyennes mensuelles d'insolation pendant la décennie (2005-2015) Source. (Station météorologique de Biskra, 2015)	160
Tableau IV.5. Moyennes mensuelles des vitesses de l'air pendant la décennie (2005-2015) Source. (Station météorologique de Biskra, 2015)	162
Tableau IV. 06 : l'arbre ficus et ses types à Biskra. Source: (Maaoui, M. 2014)	164
Tableau IV.7. Isothermes déterminant les différentes zones thermiques de l'année	166
Tableau. IV. 8 : Les caractéristiques morphologiques de la placette. Source: Auteure, 2017	175
Tableau.IV. 9: Instruments utilisés pour la mesure des données (Source: Auteure)	181
Tableau. V. 1 : La trace d'ombre « SPO » horaire projetée par les constructions et la végétation Simulées par « Rayman pro version 3.1 » (Source : Auteur 2020).	214
Tableau. V. 2 : le facteur d'ouverture au ciel (SVF) et (SPO) pour chaque station de la placette par Le biais du logiciel Rayman pro version 3.1. (Source. : Auteur 2020).	216
Tableau V.3 : les matériaux de la placette l'état initial. (Source : Auteure, 2020)	220
Tableau V.4. Données de configuration d'entrée appliquées dans les simulations ENVI-met. Les principaux paramètres introduits au fichier *.cf. (Source : Auteure 2020)	222
Tableau V.5 : Type de corrélation de valeur de coefficient de Spearman « R ».	224
Tableau V.6 : Valeurs simulées du PMV au niveau des 05 stations (1, 2, 3,4 et 5) scénario « A » la placette actuelle. (Source : Auteure. 2020).	245
Tableau V.7 Tableau récapitulatif des données morphologiques et climatiques des différents stations (Source : Auteure, 2020).	247
Tableau VI. 1. Zones de potentiel de dureté végétale. Source : Adaptation de l'auteure à partir d'USDA (2017).	255
Tableau VI. 2: (Plan factoriel) Les différents scénarios de modélisation et de simulation. (Source : Auteure, 2019)	263
Tableau VI. 3 : Résultats de l'effet de l'albédo dans la placette, le cas GCR = 0% (Source : Auteure, 2020)	269
Tableau. VI. 5: Type de vegetation (type de sols et arbres) utilisés dans le modèle env-met	271

4.4.5.	
Tableau VI. 6 : Résultats de l'effet de la Densité du couvert végétal GCR « 50% » avec sol pavé 100%. (Source : Auteure, 2020)	274
Tableau. VI. 7 : Résultats de l'effet combiné de l'augmentation de l'albédo et l'introduction des arbres dans la placette le cas GCR =50 %. (Source : Auteur, 2020)	275
Tableau. VI. 08: Résultats de l'effet combiné de l'augmentation de l'albédo et l'introduction des arbres dans la placette, le cas GCR = 50 % , et le cas de disposition linéaire des arbres suivant « y ». (Source Auteure, 2020)	282
Tableau VI. 09 : Résultats de l'effet combiné de l'augmentation de l'albédo et l'introduction des arbres dans la placette, cas du GCR = 100%. (Source : Auteur 2020).	282

Liste des graphes

Graphe II. 1 : Prédit d'insatisfaits PPD en fonction du PMV d'après la norme ISO 7730 (Source : ASHRAE)	88
Graphe II.2 : Diagramme de confort relatif au PMV (Source : Vinet J., 2000 d'après Hoffman 1994)	89
Graphe II. 3 : Classes de la sensation thermique indiquée par la PET (Source : Matzarakis A, 2006)	92
Graphe IV.1. Moyennes mensuelles de la température d'air Pendant la décennie (2005-2015). Source : Auteure, établi sur la base des données obtenues de la station météorologique de Biskra	158
Graphe IV.2. Moyennes mensuelles de l'humidité relative pendant la décennie (2005-2015). Source : Auteure, établi sur la base des données obtenues de la station météorologique de Biskra	158
Graphe IV.3 : Moyennes mensuelles des précipitations pendant la décennie (2005-2015). Source :(Station météorologique Biskra, 2015)	159
Graphe IV. 4. Moyennes mensuelles d'insolation pendant la décennie (2005-2015) Source : Auteur 2015, établi sur la base des données obtenues de la station météorologique.	160
Graphe IV.5 Moyennes mensuelles des vitesses de l'air pendant la décennie (2005-2015) Source : Auteur 2017, établi sur la base des données obtenues de la station météorologique de Biskra.	162
Graphe IV.6 : Indice d'aridité de la ville de Biskra durant la décennie (2005-2015). Graphe IV.7 : Les quatre paramètres enregistrés pour la station S1 pendant la période estival. (Source : auteure, 5 juillet 2019).	165 187
Graphe. IV. 8: Les quatre paramètres climatique en enregistrés pour la station S2 pendant la période estival (Source : auteure, 5 juillet 2019).	188
Graphe. IV. 9 : Les quatre paramètres climatique en enregistrés pour la station S3 pendant la période estivale (Source : Auteure, 5 juillet 2019).	189
Graphe .IV.10 : Les Quatre paramètres climatique enregistrés pour la station S4 pendant la période estivale. (Source : Auteure, 5 juillet 2019).	189
Graphe n°IV.11 : Les quatre paramètres climatique enregistrés pour la station S5 pendant la période estivale. (Source : Auteure, 5 juillet 2019).	190
Graphe. IV.12 : Résumé des trois paramètres pour station météo aéroport Biskra. Pendant la période estivale. (Source : Station météo aéroport Biskra.)	191
Graphe .IV.13 : Comparaison entre des températures de l'air mesurées au niveau des 05 stations (1, 2, 3,4 et 5), Pendant la période estivale. (Source : Auteure, 5 juillet 2019).	192
Graphe. IV.14 : Comparaison entre les humidités mesurées au niveau des 05 stations (1, 2, 3,4 et 5) Pendant la période estivale. (Source : Auteure, 5 juillet 2019).	193
Graphe .IV . 15 : Comparaison entre des vitesses du vent mesurées au niveau des 05 stations (1, 2, 3,4 et 5) pendant la période estivale. (Source : Auteure, 5 juillet 2019).	195
Graphe. IV. 16 : Comparaison de la Tmrt mesurées entre les 05 stations (1, 2, 3, 4 et 5) de la placette pendant la période estivale. (Source : Auteure, 5 juillet 2019)	195
Graphe : IV. 16. Comparaison entre températures de l'air au niveau de la placette avec celles de la station météo de Biskra pendant la période estival. (Source : Auteure, 5 juillet 2019)	195
Graphe V. 1 : Comparaison entre la variation des températures de l'air au niveau des 05 stations (1, 2, 3,4 et 5) simulées, scenario « A » la placette durant la période estevale, de 08h 00 a16h 00.	

(Source : Auteure, 2020).	230
Graphe. V. 2 : Comparaison entre la variation les humidités relatives % au niveau des 05 stations (1, 2, 3,4 et 5) simulées scenario « A » la placette actuelle dans la période estevale (08.00-16.00). (Source : Auteur, 2020).	234
Graphe. V. 3 : Comparaison entre la variation du Vitesses des vents au niveau des 05 stations (1, 2, 3,4 et 5) scenario « A » la placette actuelle pendant la période estevale de 08h 00-16h 00) (Source : Auteure, 2020).	234
Graphe V. 4 : Comparaison entre la variation du la température moyenne radiante (Tmrt) au niveau des 05 stations (1, 2, 3,4 et 5) scenario « A » la placette actuelle) » placette durant la période estevale, de 08h 00 a 16h 00 (Source : Auteure, 2020).	241
Graphe. V. 5 : Variations simulées du PET au niveau des 05 stations (1, 2, 3,4 et 5) de la placette actuelle) (Source : Auteure, 2020).	243
Graphe V. 6 : Variations simulées de l'UTCI au niveau des 05 stations (1, 2, 3,4 et 5) dans la placette actuelle (Source : Auteure, 2020).	244
Graphe. V. 7 : variations simulées du PMV au niveau des 05 stations (1, 2, 3,4 et 5) scenario « A » la placette actuelle. (Source : auteur)	246
Graphe. VI. 01 : Comparaison entre le sol pavé gris 100% « Albedo= 0.22 » et le sol gazonné 100% « Albedo=0.27 » dans la placette cas GCR= 0% (Source : Auteure, 2020)	270
Graphe. VI. 08: Comparaison entre l'effet combiné de l'albédo et l'introduction des arbres dans la placette, le cas GCR = 50 % , et le cas de disposition linéaire des arbres Suivant « y ». (Source : Auteure, 2020)	281
Graphe VI. 09: Résultats de l'effet combiné de l'augmentation de l'albédo et l'introduction des arbres dans la placette, cas du GCR = 100%. (Source : Auteur 2020).	283
Graphe VI. 10: Comparaison entre la variation du la température de l'air au niveau des trois cas : GCR=0% et GCR=50% et 100% Pendant la période estival. (05.07.2019) (Source : Auteure, 2020)	284
Graphe VI. 11 : Comparaison entre la variation du l'humidité relative % au niveau des trois cas : GCR=0% , GCR=50% et 100% Pendant la période estival. (05.07.2019) (Source : Auteure, 2020)	285
Graphe VI. 12 : Comparaison entre la variation du « Tmrt »au niveau des trois cas : GCR=0% et GCR=50% et 100% Pendant la période estival. (05.07.2019) (Source : Auteure, 2020)	286
Graphe V. 13. Comparaison entre la variation du « PET » Evaluations de l'indice du PET au niveau des différents scénarios simulés cas : GCR = 0%, GCR = 50% et 100% pendant la période estivale de 08h00 à 16h00 (Source : Auteure, 2020).	288
Graphe VI.14. Comparaison entre la variation du UTCI au niveau des différents scénarios simulés cas GCR=0% et GCR=50% et 100% pendant la période estival de 08h00 à 16h00 (Source : auteure, 2020)	290
Graphe VI.15. Comparaison entre la variation du PMV au niveau des différents scénarios simulés cas : GCR=0% et GCR=50% et 100% pendant la période estival de 08h00 à 16h00. (Source : Auteure, 2020)	292

Chapitre introductif



Introduction Générale

A travers les siècles, l'architecture comme l'urbanisme cherchent, tout le temps, à satisfaire les besoins de l'humanité en matière de confort, rappelant l'idée d'Arturo Soria y Mata pour la ville linéaire, où les espaces verts sont conçus comme des écrans protecteurs contre les effets néfastes causés par la pollution, d'où une ville intimement incorporée à la nature. Ainsi, la conception utopique d' Ebenezer Howard de faire construire des cités jardins, aussi bien que Franck Lloyd Wright et ses théories de Broad acre city, qui sont des idées précurseurs de la ville verte, rassemblant le minéral et le végétal, comme avantages du village et ceux de la ville, réunis ensemble.

Le Corbusier, lors du congrès international d'architecture CIAM 1933, annonce une nouvelle vision sur l'aménagement urbain, intitulé les trois joies de l'urbanisme : Soleil – Verdure - Espace. Toutes ces réflexions tel qu'elles soient ; écologistes, naturalistes ou modernistes, ont reconnu l'importance du couvert végétal même si elles ne sont pas déduites d'une approche bioclimatique.

Dans beaucoup de pays et plus particulièrement ceux en développement, observent une urbanisation, sans précédent, entraînant de vastes extensions au détriment d'espaces naturels et de végétations, ainsi que la destruction et l'abandon d'écosystèmes relatifs à leurs environnements, surtout lorsqu'il s'agit d'environnements oasiens des régions chaudes et arides, avec leur fragilité, ne font pas l'exception (P.H. Boyer, 1978).

Dans ces milieux de type oasien, espace de notre propre intérêt dans ce travail, le soleil constitue une réelle source d'inconfort, le besoin de fraîcheur en période estivale par le biais de la climatisation devient la préoccupation de toute la population, et ce malgré ses inconvenances en matière de confort thermique extérieur, d'environnement et de consommation importantes d'électricité, etc...

Tout cela est dû, dans une grande mesure, au manque de la végétation et à la réduction, allant même jusqu'à l'inexistence d'espaces végétalisés, alors qu'il est prétendu, que les arbres et les espaces verts contribuent de manière significative à refroidir nos villes et à économiser de l'énergie (Santamouris. M, 2001).

Plusieurs études et recherches ont été effectuées ailleurs pour mettre en évidence ce phénomène, des chercheurs de la NASA ; Jeff Lu Vall et Dale Quattrochi ont étudié comment les forêts urbaines peuvent permettre à des villes de se développer sans interruption tout en maintenant la qualité de l'air et de l'environnement aussi bien qu'abaisser les coûts de refroidissement pendant l'été (David. E. Steitz et al, 1998).

Par ailleurs, la négligence du rôle de la végétation dans la conception urbaine, le réchauffement de la terre, et la dégradation des écosystèmes (déforestation, sécheresse) deviennent une préoccupation mondiale.

En 1972 à Stockholm, le congrès qui s'est tenu sur l'environnement ouvre une nouvelle pensée environnementale, faisant appel à l'amitié entre l'homme et la nature et l'arrêt du gaspillage des ressources naturelles. C'est la première fois qu'on fait introduire le mot développement durable qui vise à assurer aux générations futures le droit de profiter des ressources naturelles, donc, c'est un développement qui a pour objectif la stabilité et la continuité de la vie humaine.

Plus tard, en 1992 à Rio de Janeiro s'ouvre une autre vision en architecture pour concrétiser la notion de villes durables, en introduisant un nouveau concept nommé l'architecture verte, qui se base sur l'importance de la relation entre le cadre bâti, la nature et l'écosystème environnant, c'est une réaction contre les problèmes de l'environnement et d'hygiène qui résident dans les nouvelles urbanisations sans tenir compte de la dimension environnementale et l'importance de l'énergie et les ressources naturelles atypiques.

Les décisions politiques internationales, en particulier celles issues du protocole de Kyoto, entrées en vigueur en février 2005, visent à réduire les émissions de gaz à effet de serre, à ce sujet, beaucoup de chercheurs ont confirmé l'importance de la végétation sur la conservation d'énergie, parmi eux ; Akbari (1988) qui a démontré qu'en plantant 100.000.000 arbres près des maisons pourraient sauver approximativement 0.25 quadruple (22 milliards de KWH) d'électricité, de valeur environ 2,3 milliards de dollars annuel, et de 9 millions de tonnes d'émissions d'anhydride carbonique (J. James. Kielbaso, 2002).

Aussi, McPherson (1991) a démontré par simulation sur ordinateur des résultats, des coûts et des rendements des arbres pour un projet d'implantation de 500.000 arbres, donne des avantages nets de l'ordre de 236 millions dollars pour une période de 40 ans, avec le rapport de coût d'avantage et le taux interne de rendement pour tous les arbres étant 2,6 à 7,1%, respectivement par arbre ; des avantages de refroidissement de 20,73\$ ont été projetés comme suit: 227 KWh (16,34\$) pour le refroidissement par évapotranspiration et 227 KWh (4,39\$) pour l'ombrage direct (P.H. Boyer, 1978).

Dans le même contexte, Akbari et al (1992) ont démontré que la température des zones périphériques très boisées, ainsi que des grands parcs situés au centre des villes présentent des situations de quelques degrés plus fraîche que l'îlot de chaleur urbain où les bâtiments sont contigus. Le refroidissement de la température ambiante est dû à la fois à l'ombre procurée par les arbres et à l'évapotranspiration. Les grands parcs où les voisinages

résidentiels avec la végétation étendue peuvent produire des réductions de température de l'air aussi grandes que 10°C (McPherson, E.G. 1992).

Les deux chercheurs Quattrochi et Lu Vall, de leur cote aussi, ont constaté que les parcs des villes et d'autres secteurs urbains avec les arbres et l'herbe sont plus frais que les secteurs abritant une concentration élevée de bâtiments, ainsi, ils sont arrivés au résultat, que les températures de surface des matériaux peuvent être de 2°C à 4°C plus élevées que celles du couvert végétal, à titre d'exemple le matériau tel que l'asphalte stocke une grande partie de l'énergie du soleil et demeure chaud longtemps après le coucher du soleil, ces matériaux produisent un dôme au-dessus de la ville avec des températures de 5°C à 10°C plus élevées que les secteurs ruraux adjacents.

Plus une ville se développe, elle remplace les arbres et les herbes par des bâtiments et des routes et elle devient réchauffeur, d'où le besoin en refroidissement exigeant une énergie électrique importante.

Dans le monde arabe, L'urbanisme actuel inhibe tout rapport significatif des résidents urbains avec les milieux urbains extérieur, rendant ainsi le cadre de vie et la manière de vivre des habitants introvertis et résumant le rôle des espaces extérieurs à de simple espaces de transition et de circulation, de ce fait un nouveau défi est lancé aux urbanistes, architectes et décideurs politiques afin d'assurer un niveau acceptable dans la qualité des espaces extérieurs (urbains) et de rendre à ces derniers le rôle qu'ils occupaient autre fois.

La recherche du confort thermique d'été semble être difficile pour la plupart des habitants de ces zones arides, face à cette situation d'inconfort, le recours à la climatisation comme seule solution est très coûteuse en matière de consommation d'énergie sans oublier ses effets négatifs sur l'environnement extérieur, en conséquences d'autres alternatives restent à explorer, les performances énergétiques par l'usage de stratégies passives dans certains cas se sont révélées très performantes en matière de réduction de la climatisation, entre autre la protection et l'isolation des éléments et des parties de construction exposées au soleil, limitent leur échauffements et les transferts calorifiques vers l'intérieur des bâtisses, souvent ces éléments protecteurs sont des arbres ou des éléments végétaux.

Les secteurs verts sont plus frais parce qu'ils absorbent l'énergie solaire en l'employant pour évaporer l'eau par les feuilles, par ailleurs, ils aident également à refroidir les villes en ombrageant les surfaces comme l'asphalte, les toits et les aires de stationnement, et empêchent le stockage de chaleur.

La plupart des régions musulmanes, y compris le Maghreb, se situent dans des zones climatiques très rudes (climat chaud et sec), dans ce contexte et d'après les images de la NASA, on observe que la majorité de nos zones sont caractérisées par la rareté ou l'absence totale des couverts végétaux, ce qui nécessite une réflexion et un énorme effort de remédiation principalement dans le domaine végétal et forestier.

Problématique :

Les grandes villes, comme les petites, en période estivale, développent de plus en plus fréquemment certains problèmes liés au phénomène « d'îlot de chaleur urbain », celui-ci est dû principalement aux transformations des tissus urbains, qui ont tendance à devenir de plus en plus asphaltés, souvent au détriment des espaces verts, affectant le confort thermique des usagers par l'induction de hautes températures accablantes.

On apprend que ces espaces souffrent de problèmes de surchauffe estivale très sensibles, surtout dans les climats chauds, des recherches l'expliquent par le facteur de déminéralisation généralisée des zones.

Autrement dit, ce phénomène de minéralisation des villes, c'est-à-dire que le remplacement de la végétation par du béton et de l'asphalte sont les contributeurs principaux de ces nuisances.

La question du confort thermique des espaces urbains n'est pas essentiellement liées au contexte climatique de la ville, mais aussi à la conception urbaine et architectural, qui dans la plus part du temps, ne s'adapte pas au climat, c'est pourquoi on doit intégrer la notion du microclimat dans chaque opération de conception ou d'intervention sur la ville.

La qualité thermique est influencée par l'albédo des matériaux qui constituent l'espace urbain (pouvoir d'absorber ou de réfléchir les rayons solaires).

La géométrie de l'espace influe sur la ventilation, l'éclairage ainsi que l'effet radiatif et thermique de ces espaces, ce comportement thermique est aussi influencé par l'inertie thermique des parois qui constituent l'espace urbain, toutefois, l'impact de la végétation reste l'élément majeur qui offre des zones ombrées, introduit des échanges thermiques « latents » susceptibles de modifier la température de l'air ou celle des surfaces, la végétation absorbe efficacement les radiations de longues longueurs d'ondes grâce à leurs feuilles, de ce fait, il est l'élément primordial de notre présente recherche.

La forme urbaine, la nature des matériaux ainsi que les composants (végétation et eau) influent directement sur le microclimat induit, c'est pourquoi la conception des espaces urbains doit intégrer tous ces facteurs d'ambiances. Dans ce cas, est-ce que les

espaces urbains actuels ont réussi cette combinaison ou à la limite l'un deux, ou en particulier la végétation ?

Il est essentiel de bien comprendre les différents entrains que peuvent remplir les arbres et les espaces boisés dans un paysage urbain car, sous bien des aspects, ils permettent de réduire les effets nuisibles sur notre environnement (pollution) et notre santé. De plus, non seulement les arbres en milieu urbain remplissent des fonctions écologiques et thérapeutiques, mais ils peuvent aussi concourir à notre confort et notre sécurité et jouer un rôle social, esthétique et même économique. Que la prise de conscience de tous leurs bienfaits nous incite à soutenir et inciter leur présence en ville, sans oublier qu'un arbre a des exigences qui lui sont propres (ombrage, type de sol par exemple) et qu'il occupe un certain espace à l'âge adulte. Il est donc essentiel de considérer ces aspects lorsqu'on décide de planter un arbre en milieu urbain. U I N

L'un des plus importants bienfaits que procurent les arbres à notre environnement est certainement la fonction de purificateur d'air ; en produisant l'oxygène que tout être vivant respire, en réduisant les gaz polluants ou encore en captant en partie les fines particules en suspension dans l'air.

Les arbres en ville jouent également le rôle de climatiseur, en diminuant la température environnante souvent accablante des villes et en corrigeant sa ventilation.

Les arbres améliorent et protègent aussi la structure des sols limitant, entre autres, leur appauvrissement et les risques d'érosion. Ils préservent la qualité de l'eau et régulent l'eau qui y demeure, réduisant ainsi les menaces d'inondation et des excès des égouts pluviaux.

Enfin, les boisés urbains assurent une fonction essentielle pour le maintien de la biodiversité dans nos villes, par la présence d'une flore et d'une faune qui n'existeraient plus sans eux.

Les espaces boisés purifient l'air. C'est certainement l'un des plus importantes indulgences apportées par les arbres :

Par ailleurs, ils réduisent la présence des gaz polluants dans l'air qui constituent le smog si spécifique des grandes villes. Le smog correspond en effet à un mélange de dépréants atmosphériques produits, entre autres, lors du brûlage des combustibles fossiles (pétrole, charbon) par les véhicules que nous utilisons, par certaines industries, etc. Dans le cas du CO₂, il est absorbé par les végétaux et transformé en biomasse végétale (bois, feuillage, racines).

D'autres polluants sont également ingérés, transformés en éléments moins nocifs puis stockés par les arbres. Enfin, il existe aussi des polluants qui sont absorbés et accumulés sans transformation (fluor, plomb, par exemple). Ils sont parfois si néfastes qu'ils affectent la vie des arbres (cas du fluor). En épuisant une partie importante de tous ces gaz polluants, les arbres contribuent donc à empêcher l'aggravation de l'effet de serre à l'échelle de la planète, de cette manière, ils filtrent les petites poussières fines et les aérosols en suspension dans l'air. Une partie des poussières présentes dans l'air est en effet interceptée par les feuilles des végétaux et y adhère. Certaines espèces d'arbres possèdent des feuilles duveteuses qui retiennent alors une plus grande quantité de poussière. Une étude a jugé qu'un arbre urbain mature peut saisir jusqu'à 20 kg de particules par an. (Guy Bussièrès. 2006).

Les arbres réduisent le nombre de jours de smog où la température de l'air dépasse 18 °C, sachant que lorsque la température ambiante dépasse 18°C, le problème de pollution augmente. Avec l'addition de la lumière du soleil, les corrupteurs atmosphériques commencent à s'agencer pour produire des composés secondaires de plus en plus préjudiciables, comme de l'ozone troposphérique. (Lessard, G., E. Boulfroy, 2008)

Les arbres améliorent la qualité du sol en participant, entre autres, à un enrichissement de la matière organique du sol grâce au longeron de feuilles, aux fruits et aux fleurs fournis par les arbres. De plus, en dévorant une partie des nutriments du sol, les arbres évitent que ces derniers soient lessivés et emportés par les eaux de pluie; apparence qui aurait pour effet d'appauvrir le sol à long terme, conséquemment ils stabilisent le sol grâce à l'enracinement profond des arbres, limitant ainsi l'érosion (en particulier pour les berges des rivières, les pentes, les talus). En effet, les racines des arbres et arbustes stabilisent le sol et soutiennent en place les éléments le composant. En l'absence de couvert végétal sur un terrain abrupt ou sur des berges de rivière par exemple, à l'occasion d'averses ou de la fonte des neiges, des quantités importantes de terre sont emportées par l'eau. Même par temps sec, un terrain dépourvu de végétation sera affecté par les vents et consentira les effets de l'érosion.

Les arbres régulent l'eau dans le sol, diminuant les risques d'inondation, de débordement des égouts pluviaux et d'érosion. Une partie de l'eau de pluie est interceptée par le feuillage, ce qui ralentit son agression et favorise sa pénétration dans le sol. De plus, une part importante de l'eau de pluie qui arrive au sol est absorbée par les racines des arbres. À la forêt Montmorency de l'Université Laval près de Québec, des recherches ont démontré qu'un peuplement d'arbres feuillus intercepte 21% des eaux de pluie et une

sapinière, 32 %, ce qui diminue d'autant la quantité d'eau qui ruisselle. (Société de l'arbre du Québec. 1998)

Enfin, la litière au sol provenant des arbres joue également un rôle dans la régulation des eaux de pluie, puisqu'elle emprisonne une partie de l'eau et diminue alors le ruissellement et l'érosion du sol. Les arbres préservent la qualité de l'eau, la présence d'arbres réduit la pollution des eaux de surface grâce à l'absorption de ces dernières par les racines, limitant ainsi les écoulements sur des espaces pavés baignés de polluants (comme le plomb, que l'on retrouve constamment). En l'absence d'arbres, ces écoulements chargés d'éléments polluants seraient assainis vers les cours d'eau ou encore captés par les égouts pluviaux, affectant alors la qualité des cours d'eau tout en augmentant les coûts de traitements des eaux des villes. Les arbres agissent aussi comme agent de filtration de l'eau souterraine, en retenant certains composants polluants, comme les fertilisants, dans leur système racinaire.

Les espaces boisés assurent le maintien de la Biodiversité dans les villes par la présence d'une variété d'espèces végétales et animales et de milieux de vie. Les arbres, en plus de représenter une richesse pour la biodiversité d'un milieu en tant que végétal, assurent également l'habitat (abri, protection et nourriture) de plusieurs espèces d'oiseaux, insectes et petits animaux. Par exemple, certains arbres et arbustes, conservent leurs fruits en hiver, ce qui assure une source de nourriture pour les oiseaux. De nombreux fruits d'arbres tels que les glands attirent et alimentent également des mammifères.

Les végétaux fournissent aussi une protection contre certains prédateurs. Les mousses, lichens et plantes herbacées nourrissent une multitude d'insectes et de petits animaux qui sont nécessaires au bon fonctionnement de la chaîne alimentaire et de l'écosystème. La disparition de certains boisés en ville, provoquée par l'étalement urbain, peut affecter la diversité biologique des écosystèmes présents en milieu urbain.

Les boisés en ville contribuent à notre bonne santé physique en offrant des lieux propices à la tenue d'activités de plein air comme la marche, la course à pied et le vélo. Ils favorisent aussi l'équilibre psychique des citoyens, en leur fournissant un endroit à l'abri du stress de la ville, leur permettant le ressourcement, la détente, le retour à leur espace vital.

Enfin, la présence des arbres en ville exerce également un effet thérapeutique important, en réduisant les risques de certaines maladies comme les malaises respiratoires, les faiblesses cardiaques, les coups de chaleur, les cancers de la peau ou encore les problèmes de cataracte. (Société de l'arbre du Québec. 1998)

Les espaces boisés progressent le bien-être physique et psychologique en constituant un milieu opportun à la tenue d'activités physiques et de plein air, requérant peu d'organisation préalable comme la marche, la course à pied et le vélo, favorisant, par le fait même la bonne santé physique des êtres. Les espaces urbains boisés accessibles au public (parcs urbains, parcs de quartier, parcs linéaires, centres de plein-air...) sont de plus en plus fréquentés par les citoyens lors de la tenue d'activités de plein air de ce type.

Les espaces boisés favorisent l'équilibre psychique des citoyens en maintenant la présence d'un certain rapport d'éléments naturels. Ces espaces de verdure donnent une dimension humaine au paysage urbain. Ils permettent de régénérer un espace vital, un espace d'air libre, plus calme, qui est nécessaire à tout individu qui peut souvent et facilement se sentir stressé et sentir son espace fondamental envahi. Les espaces boisés deviennent alors des endroits de détente, de contemplation et de méditation où les individus peuvent se ressourcer, se débarrasser du stress accumulé et se rénover les idées. La présence d'arbres dans un lieu de convalescence assure un rétablissement plus rapide des patients hospitalisés. Il a été observé que ces derniers ont également moins de maux de tête, nausées, fatigue mentale et requièrent moins de traitements. (Société de l'arbre du Québec. 1998)

Les espaces boisés ont un effet de médication en diminuant les troubles respiratoires chez les personnes sensibles (personnes âgées, enfants asthmatiques, personnes atteintes de maladies cardio-respiratoires), en réduisant la présence des gaz nocifs dans l'air. Pendant les canicules, ils contribuent à réduire les problèmes de santé liés à la chaleur excessive (faiblesses cardiaques, coups de chaleur), en réduisant la chaleur ambiante des villes.

Ils contribuent à diminuer les risques de cancer de la peau, de cataractes, en représentant une protection contre les ultraviolets-B grâce à l'ombrage fourni par leur feuillage. Ainsi en été, un arbre feuillu, en interceptant jusqu'à 95 % des rayons du soleil, dispose ainsi d'un écran très efficace pour se protéger du soleil. Depuis des décennies déjà, l'appauvrissement de la couche d'ozone nous expose de plus en plus aux rayons UV-B et l'auspice offert par les arbres est alors d'autant plus important. (Lessard, G., E. Boulfroy, 2008)

Enfin, la présence d'arbres aide à diminuer les pertes de milliards de dollars dues aux soins de santé prodigués et à une baisse de l'efficacité de la production, grâce au progrès de la santé des citoyens.

Sous bien des aspects, la présence de boisés en ville affecte notre confort au quotidien. Ainsi, ils sont responsables d'un microclimat bien plus confortable, que ce soit en diminuant la température ambiante et l'éblouissement causé par le soleil, en protégeant le promeneur contre les intempéries, en diminuant la vitesse des vents ou encore en contribuant à créer un climat plus confortable dans les habitations lorsque des arbres sont plantés à proximité dans des endroits appropriés. La souillure sonore peut aussi être amoindrie lorsque des aménagements de talus plantés sont exécutés selon certains critères et une partie des odeurs néfastes peut aussi être dissimulée.

Les espaces boisés créent un microclimat plus commode, ils créent un milieu plus tempéré, en diminuant la température ambiante des villes, et en ralentissant les températures extrêmes, les arbres font en sorte que la différenciation entre les températures diurnes et nocturnes est moins importante (nuits moins fraîches et journées moins chaudes). Ils amoindrissent l'éblouissement causé par le soleil en produisant de l'ombre et en dispersant la partie perceptible du rayonnement solaire. Ils protègent le promeneur contre les intempéries en retenant une quantité importante des précipitations grâce à leur feuillage.

Ils diminuent de la vitesse des vents en offrant une résistance aux déplacements de l'air. La vitesse du vent peut être réduite de 50% sur une distance de 10 à 20 fois la hauteur de l'écran, selon la grosseur et le type de végétaux. (Lessard, G., E. Boulfroy, 2008)

Le long des rues rectilignes où le vent est concentré et amplifié, les arbres agissent comme brise-vent et diminuent l'affluence des courants d'air.

Les espaces boisés limitent la pollution sonore, ou on avance qu'un talus planté de végétaux sur une longueur de 30 m et une hauteur de 15 m restreint le bruit de 6 à 8 décibels, ce qui correspond à une perception de diminution du bruit de 30 à 40%. (Société de l'arbre du Québec. 1998)

Le bruissement des feuilles, qui ajouté aux chants des oiseaux qui y séjournent, participent également à dissimuler les bruits de la ville, comme ils peuvent voiler en partie les mauvaises odeurs, entre autres, par la diffusion de leur propre parfum.

La présence d'arbres le long des axes routiers renforce la sécurité des automobilistes ou des piétons qui circulent à proximité en améliorant entre autres, la qualité de conduite des automobilistes. On observe aussi, que dans un paysage bordé d'arbres, les automobilistes réduisent leurs vitesses de conduite.

Les plantations d'arbres en bordure des routes ou entre les voies de circulation améliorent la qualité de la conduite des automobilistes et leur sécurité. En effet, à condition qu'elle respecte certaines règles de localisation, la plantation d'arbres sur les abords routiers améliore la compréhension et la clarté de la route, réduit l'éblouissement du soleil ou a la circulation inverse, maîtrise le vent et l'enneigement sur la chaussée, réduit la poudrière durant l'hiver et la présence de chaussées glacées (phénomène obtenu à partir de la combinaison du vent, du froid et de l'humidité, qui glacent la chaussée).

Les arbres réduisent la vitesse sur les axes routiers. Il a, en effet été observé, que les automobilistes conduisent moins vite sur des axes routiers longés d'arbres. (Société de l'arbre du Québec, 1998)

Les plantations d'arbres augmentent la sécurité des piétons qui circulent sur des trottoirs munis de rangées d'arbres, qui les séparent des voies réservées aux voitures.

La présence d'espaces boisés en ville permet de déployer des aspects sociaux différents à l'intérieur du tissu urbain, puisqu'ils soutiennent, entre autre, les relations humaines entre les gens du même quartier et peuvent renforcer le sentiment d'appartenance unificateur lorsqu'il s'agit de mobiliser la population d'un quartier pour différentes causes. L'aménagement de boisés urbains est aussi exploité dans certains processus de réinsertion sociale de jeunes transgresseurs ou de personnes sans emploi ni formation. (Lessard, G., E. Boulfroy, 2008)

Les boisés urbains forment également des lieux de découvertes et d'observations privilégiées de la nature ainsi qu'un outil éducateur sérieux. Des activités de vulgarisation scientifique peuvent y être organisées, ou tout simplement l'ornithologie qui est une activité de plus en plus populaire. Les boisés urbains forment aussi un outil d'initiation à la conservation des espaces verts. Les espaces boisés permettent de développer des apparences sociales différentes à l'intérieur du tissu urbain, ils soutiennent les relations humaines entre les personnes fréquentant ou habitant le même quartier, en constituant des lieux de retrouvailles et de défoulements. Ils renforcent aussi les relations entre les gens qui se connaissent déjà (Exemple : parcs de quartier).

Les actions communautaires de plantations d'arbres favorisent également la participation d'individus, de groupes de citoyens et d'enfants. Ces projets communautaires développent une éthique à l'égard du respect de l'environnement et mènent à une baisse du vandalisme.

La plantation d'arbres constitue un outil utilisé dans certains processus de réinsertion sociale de jeunes contrevenants ou de personnes sans emploi ni formation.

Ces chantiers urbains permettent surtout de favoriser la socialisation des jeunes et de leur donner des moyens concrets pour faire l'apprentissage d'une citoyenneté active, à travers une expérience de travail, de vie de groupe et d'activités culturelles, sportives, de loisirs et d'entraide au bénéfice de la communauté. Les espaces boisés constituent un lieu de découvertes et d'observation de la nature ainsi qu'un outil pédagogique. Ils représentent pour la population des villes des lieux privilégiés de rencontre avec le milieu naturel permettant la découverte, l'observation et l'interprétation de la nature, qu'il s'agisse de la faune ou de la flore. L'ornithologie est, par exemple, une activité de plus en plus populaire auprès des citoyens.

Certaines municipalités organisent même parfois leurs espaces verts en réseaux d'interprétation de la nature, qui constituent un outil de sensibilisation auprès de la population à la conservation des espaces verts, dans un contexte où, en ville, de plus en plus de nouveaux quartiers sont déboisés pour les différentes constructions, etc. Par ailleurs, ils constituent des lieux d'étude des sciences naturelles et de l'écologie, ils représentent en effet des lieux propices à la propagation scientifique des phénomènes écologiques dans lesquels l'arbre interagit en close relation avec son milieu, plusieurs professeurs organisent d'ailleurs des cours pratiques dans les milieux boisés urbains situés à proximité des écoles.

Tout le monde s'entend pour dire que les arbres contribuent à l'embellissement d'une propriété ou d'une ville, en apportant des éléments de diversité dans un paysage bâti. Par contre, on a tendance à oublier que les arbres peuvent agir également comme élément de design. Non seulement on peut jouer avec les formes, les hauteurs, les couleurs, mais la végétation permet aussi d'organiser l'espace pour créer un effet de perspective, par exemple. La végétation peut également être utilisée comme outil de renforcement de design, en servant de transition entre deux bâtiments ou en découpant un grand espace vide, les arbres peuvent aussi être utilisés pour préserver l'intimité d'un lieu. Enfin, la végétation sert à moduler le point de vue d'un observateur, notamment en influençant la perception que l'on a de la taille d'une maison ou encore en permettant de mettre l'emphasis ou de masquer certains éléments d'une vue.

Les arbres agissent comme élément de design et de structure, en ville, la végétation constitue un élément architectural à part entière, permettant d'articuler et de définir l'espace, en outre les plantations de rues peuvent servir à créer ou à encadrer les

perspectives. La présence de végétation constitue un outil de renforcement de design, la végétation peut servir de lien ou de transition entre différents bâtiments ou encore d'élément unificateur permettant de donner une cohérence et un sentiment d'unité à une scène constituée d'éléments disparates, elle permet aussi dans certains cas de créer une hiérarchie au sein d'un ensemble de bâtiments, en mettant l'emphase sur certains ou en modulant l'importance des autres en les masquant.

La végétation est également utilisée pour moduler l'espace, entre autres, en découpant un grand espace vide comme une cour en plusieurs petits espaces délimités par de la végétation, comme elle sert d'écran pour préserver l'intimité dans le cas d'arbres. La présence d'une bande boisée permet d'isoler une zone résidentielle d'un site peu esthétique comme un parc de stationnement, une voie routière importante, une zone industrielle, etc. Les arbres peuvent également servir à assurer le caractère privé d'une propriété par le biais d'écrans, de haies ou de massifs boisés.

La végétation apporte des éléments de distinction par changements de textures, contrastes de couleurs, de formes, de hauteur par rapport aux bâtiments contigus, naturalisation d'un espace lugubre, etc. Dans un contexte où les matériaux utilisés en construction sont inertes et peu sujets aux transmutations, la présence de végétation apporte également une apparence de diversité dans le temps. Que ce soit à l'échelle d'une journée, d'un temps ou encore d'une existence. Pour les arbres, l'image qu'ils dégagent change sans cesse et transforme la perception que l'on a du paysage. (Lessard, G., E. Boulfroy, 2008)

Certains arbres dressent un fort pouvoir attirant auprès de la population, que ce soit par leurs propriétés esthétiques ou par la faune qu'ils attirent. L'arbre d'ornement est d'ailleurs souvent caractérisé par sa floraison singulière, la couleur de son feuillage, sa forme spécifique, la constitution de son écorce ou toutes les autres caractéristiques ornementales qui le rendent captivant. La végétation sert à moduler le point de vue de l'observateur d'une scène, entre autre elle permet de moduler la perception que l'on a de la taille des éléments qui constituent une scène. Elle permet de fixer l'emphase sur certains éléments ou d'en cacher d'autres, réorganisant alors entièrement le point de vue de l'observateur. Les espaces boisés contribuent à embellir l'ambiance qui règne dans un milieu urbain, par l'absorption d'une partie de la brume jaunâtre, terne et délayée (smog) qui est typique de l'horizon urbain des grandes métropoles.

Les arbres en ville, sous bien des aspects, représentent une valeur économique incontestable, que ce soit pour leur possesseur, une agglomération ou encore le pays. Ainsi, les arbres, lorsqu'ils sont plantés à des endroits bien choisis, peuvent diminuer

substantiellement les coûts de climatisation et de chauffage. Il est également notoire que les arbres augmentent le cout foncier des propriétés.

Pour une ville, les arbres diminuent la quantité d'infrastructures de drainage indispensable et les coûts reliés à des excès dans les systèmes d'égouts pluviaux. D'autre part, le boisement et l'entretien des arbres en ville génèrent une activité économique importante. La concentration d'espaces verts forme aussi une aubaine pour les municipalités en amplifiant l'attraction qu'elles exercent auprès des visiteurs et des futurs acquéreurs.

Les arbres augmentent la valeur foncière des propriétés, aussi bien que les aménagements paysagers qui constituent un supplément financière. Cette plus-value peut représenter jusqu'à 15% de la valeur d'une propriété (terrain et bâtiment). Selon une étude, la part des arbres représente 10 à 20% du prix que les acheteurs sont prêts à déboursier. (Guy Bussières. 2006)

La présence d'arbres publics ou de parcs boisés situés au voisinage d'une propriété privée augmente également la valeur financière de celle-ci.

Les arbres diminuent la quantité d'infrastructures d'assainissement nécessaire en milieu habité ainsi que les coûts reliés à des excédents dans les systèmes d'égouts pluviaux. Il a été estimé que dans certaines villes d'Amérique du Nord, le couvert arborescent peut intercepter de 7 à 22% des eaux de ruissellement destinées aux canaux d'évacuation pluviale. (Société de l'arbre du Québec. 1998) Les arbres réduisent donc la quantité d'infrastructures d'assainissement nécessaire en milieu habité ainsi que les coûts joints à un risque aggravé d'inondation et d'excès subit dans les systèmes d'égouts pluviaux dans les parties basses des agglomérations.

Grâce au rôle thermorégulateur des arbres (réduction des écarts de température diurnes et nocturnes), celles-ci augmentent la durée de vie des chaussées, on observe moins de raccourcissements et d'accroissements répétitifs de l'asphalte dans les espaces boisé. (J. L. Monty, Fondation canadienne de l'arbre, 2006)

Les espaces boisés génèrent de l'emploi et une activité économique conséquente, découlant des prestations offertes par les entreprises spécialisées dans le domaine de l'arboriculture, de la foresterie urbaine et de l'horticulture. Les espaces boisés constituent une aubaine économique non négligeable pour les municipalités et amplifient l'attraction de certaines villes qui tendent à se développer. La présence massive d'arbres et d'espaces boisés dans une contrée peut servir de stimuli aux futurs citoyens en quête d'un logement. Citons l'exemple de la ville de London en Ontario qui se qualifie de « Forest City », où

l'importante concentration d'arbres et d'espaces verts constitue l'image de marque de la ville. (Société de l'arbre du Québec. 1998)

De plus, l'engouement pour certains grands parcs urbains reconnus, suscite l'intérêt d'un grand nombre de visiteurs. L'impact touristique qu'ils génèrent est d'ailleurs reconnu, citons les exemples de Central Park à New-York, de Hyde Park à Londres, ou des Bois de Boulogne à Paris.

Les arbres aident à créer un climat plus commode dans les habitations en diminuant la chaleur en été sans la léser en hiver surtout lorsqu'il s'agit d'arbre caducs. Des arbres plantés du côté des façades ouest et sud génèrent de l'ombrage l'été (les rayons du soleil provenant de l'ouest sont les plus chauds de la journée). Ces arbres plantés, en plus de réduire la chaleur estivale grâce à l'ombre qu'ils projettent sur les constructions, apportent un effet rafraîchissant additionnel par la circulation de l'air frais qu'ils produisent et la production de vapeur d'eau lors du phénomène de l'évapotranspiration. Il est important par contre que les arbres plantés sur les façades ouest et sud ne gênent pas l'ensoleillement pendant l'hiver; c'est pourquoi il faut opter pour l'implantation d'arbres caducs.

Les arbres réduisent les refroidissements causés par le vent en hiver sur les façades au nord et au Sud, surtout lorsque des conifères sont plantés du côté de la façade nord, de manière à faire écran. Par contre, des règles strictes doivent être observées lors de la plantation d'arbres à proximité d'infrastructures, si l'on ne veut pas que ces derniers corrompent les édifices ou les pavages (Ex : excès d'humidité et risque de moisissures, risques de bris lors de la chute des arbres, progression des racines qui peuvent causer des problèmes aux surfaces pavées, aux trottoirs, présence de radicelles dans les conduites sanitaires occasionnant éventuellement leur obstruction, etc.).

Mais, des plus important et en concordance avec notre objectif sur l'impact de la végétation sur le confort thermique, à l'intérieur comme à l'extérieur tout le monde s'entend que les arbres diminuent les coûts de climatisation et de chauffage, lorsqu'ils sont choisis en fonction des caractéristiques recherchées et qu'ils sont plantés à des endroits stratégiques qui tiennent compte de la direction des vents dominants et de l'orientation de la maison. Une étude a démontré qu'une bonne disposition d'arbres et d'arbustes autour d'une maison permet de diminuer jusqu'à 15 % les frais de chauffage en hiver et jusqu'à 50 % les dépenses de climatisation en été. (Guy Bussières. 2006)

Les espaces boisés agissent comme climatiseur naturel en diminuant la température ambiante des villes et en favorisent une meilleure ventilation, ce qui revient à soulever le constat suivant :

Les arbres rafraîchissent l'air ambiant en modifiant le degré d'humidité locale grâce à la production de la vapeur d'eau dans l'atmosphère par évapotranspiration. De plus, le feuillage absorbe et réfléchit une partie des radiations solaires qui seraient, autrement, transformées en partie, en énergie thermique (chaleur) si elles arrivaient jusqu'au sol, sur une surface quelconque et d'asphalte en particulier. De plus, il est reconnu que les boisés urbains favorisent une meilleure ventilation de la ville, car les différences de température entre des espaces boisés et des zones bâties sans arbres au sein d'une ville favorisent en effet la circulation de l'air frais (étant plus lourd, l'air frais des boisés pousse l'air réchauffé par les surfaces bâties).

Ces derniers apports que nous allons développer au cours de ce travail nous permettront de confirmer ou d'infirmer ces apports, qui semblent, à première vue, s'affirmer grâce à une investigation précédente où l'on a observé une diminution substantielle de la température dans des endroits ombragés par rapport à ceux découverts et qui sont exposés aux radiations solaires directs, cela, bien entendu s'est confirmé à l'aide de mesures réelles in situ et par l'adoption d'une méthode comparative.

Cette présente recherche qui est une sorte d'approfondissement de notre travail nous permettra de vérifier nos précédents résultats par recours à un autre outil qui est la simulation par le couplage de deux logiciels ; Envi-met bio-met et Ray Man, et de voir plus loin s'il est possible d'optimiser ces apports de confort thermiques en adoptant une variété de scénarios que nous développerons, au fur et à mesure, et qu'on soumettra à la simulation pour confirmer le scénario optimum.

Le climat urbain peut être modifié à un niveau du microclimat depuis la densité des constructions, revêtement du sol, hauteur des constructions, orientation, largeur des rues, situation et la présence d'eau, comme il peut être modifié grâce à la végétation (ombre, refroidissement, obstruction et ventilation).

Malgré le grand rôle de cette dernière, dans notre pays, on la trouve généralement seulement sous forme de tâches vertes dans les villes. Sa définition et ses implantations n'ont jamais eu la moindre attention et si on les aborde, on se contente de leur rôle esthétique. Pour démontrer l'impact de la végétation sur la modération du microclimat urbain et le confort thermique, le présent travail prendra une des placettes sus à l'université de Biskra comme cas d'étude.

Cet espace public appartenant au campus universitaire de la ville de Biskra, ville de l'Est Algérien, connue pour son climat aride chaud et sec, surtout durant la période estivale,

comporte partiellement une masse végétale assez conséquente, faisant de cet espace un lieu d'attraction pour des foules d'étudiants à longueur des journées chaudes.

Formuler une opinion sur le confort thermique de cet espace suppose une connaissance de certains paramètres, les plus significatifs sont : la température et la vitesse de l'air ambiant, l'humidité relative, ainsi que la température moyenne radiante.

Ceux-ci à leur tour sont tributaires de la structure urbaine de l'espace public ainsi que de ses composantes, l'humidité dépend de l'interaction entre la température de l'air et la température des surfaces qui composent l'espace urbain : les surfaces absorbent la chaleur, l'émettent, la température de l'air augmente (convection) l'humidité relative diminue par la suite à cause de l'évaporation.

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

Et, est-ce qu'il y'a une corrélation entre la densité de fréquentation de cet espace et la disposition des arbres ?

Ce sont les principales questions auxquelles nous tenterons de répondre par le choix d'une variété de situation au sein même de l'échantillon choisi, dans lesquels seront pris en considération les paramètres cités et les différentes mesures à prendre seront sans doute très révélatrices et nous éclaireront sur l'impact de la végétation sur le microclimat urbain et sur les situations de confort thermique qui font de cet espace un lieu attractif durant les temps rudes de chaleur.

Questions de la recherche

L'impact de la végétation urbaine sur le microclimat urbain et le confort thermique dans les espaces extérieurs impose des questions fondamentales de recherche :

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

Comment le végétal urbain peut-il contribuer à l'amélioration du confort thermique dans les espaces extérieurs urbains?

Quel est le type, le pourcentage de la densité du couvert végétale et la disposition des arbres qui peuvent affecter le microclimat urbain et le confort thermique dans les espaces extérieurs des milieux arides et chauds durant la période estivale?

Hypothèses de la recherche

Beaucoup de recherches ont démontré le rôle des grandes surfaces vertes dans la modération du climat des villes mais peu sont celles qui ont traité le rôle de la végétation à l'échelle d'un espace urbain ((Robitu, 2005 ; Vinet, 2000 ; Malys, 2012 ; Jörg Spangenberg

,2008) et (shinzato et duarte, 2012 ; Hyunjung Lee et al 2016)). Certains chercheurs pensent que l'effet de la végétation est vraiment considérable lorsque qu'il s'agit d'une surface importante, d'autres pensent qu'avec un seul arbre on peut modifier la température de l'air (Matzarakis et al. 2003), alors que, si le nombre d'arbres est limité, le volume de la masse foliaire suffit à confirmer la performance de l'arbre, en plus d'autres critères tels : l'espèce, la densité et l'implantation de l'arbre.

Par conséquent notre hypothèse est la suivante ; pendant la période estivale

1- La présence de la végétation dans les espaces extérieurs des zones arides et chaudes, est à l'origine de la création d'un microclimat plus clément en produisant un meilleur confort thermique extérieur, ce qui encourage l'exploitation de ces espaces par les usagés, étant la première hypothèse.

2- Cet impact de la végétation peut être optimisé si on intervient sur certains des caractéristiques de ses constituants telles que ; la densité du couvert végétal, le type et le mode d'implantation des arbres, et la nature du sol, comme deuxième hypothèse, autrement dit, que la régulation thermique optimum du microclimat urbain, dans les régions à climat chaud et sec est possible par un choix judicieux de la quantité de la végétation (densité du couvert végétal), de la disposition des arbres et de la nature du sol

Les objectifs de la recherche

Parmi les préoccupations du développement durable figure la volonté d'améliorer le confort thermique dans les espaces urbains de manière durable.

L'espace urbain public « placette » est le support des activités citadines, lieu d'échange et de rencontre, moyen d'équilibre physique et psychologique, son importance autant qu'élément structurant de la ville exige une disposition de certaines qualités du confort thermique qui puissent attirer les citoyens. Dans ce sens, ce travail a été organisé autour des objectifs suivants.

L'objectif majeur de cette thèse est d'étudier comment prendre en compte la végétation, et plus particulièrement les arbres dans un modèle microclimatique, afin d'être en mesure de simuler les interactions entre la végétation et l'environnement urbain, dans le cas d'un espace public semi ouvert à climat chaud et aride, dans une zone du sud Algérien, généralement, les objectifs visés sont :

1- Evaluer et quantifier l'impact de la végétation sur le microclimat et le confort thermique dans notre cas d'étude par le choix du type de végétal urbain (arbres ficus retusa) qui répond à l'objectif de la recherche dans le climat chaud et aride et par une conception adéquate d'implantation de ces arbres.

2- Démontrer que la régulation thermique du microclimat urbain dans un climat chaud et aride pendant la période estivale comme celui de la ville de Biskra peut être obtenu au niveau de la placette par des choix judicieux du type de végétation et de la géométrie de celle-ci et que son optimisation est-elle possible par un choix judicieux de la nature du sol, de la taille, de la disposition et de la quantité de la végétation (le pourcentage du green cover ratio « GCR »).

3- Réaliser une base de données des paramètres climatiques (la température de l'air, la température moyenne radiante, la vitesse de l'air, l'humidité relative, ainsi que la température de surface) grâce à une campagne de mesures sur terrain.

4- Déterminer l'impact de la végétation sur le microclimat urbain et confort thermique extérieur en utilisant une modélisation numérique afin d'évaluer le confort thermique par l'indice thermique PET (Physiologically Equivalent Temperature), UTCI (Universal Thermal Climate Index) et PMV (Predicted Mean Vote).

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

L'analyse conceptuelle

L'analyse conceptuelle de la recherche a permis de concrétiser les concepts figurant dans les hypothèses en vue de les transformer en phénomènes. Par ailleurs, les variables indépendantes et dépendantes ont été dégagées (Figure. 0.1)

- variable indépendante : la végétation urbaine.
- variable intermédiaire : le microclimat.
- variable dépendante : le confort thermique.

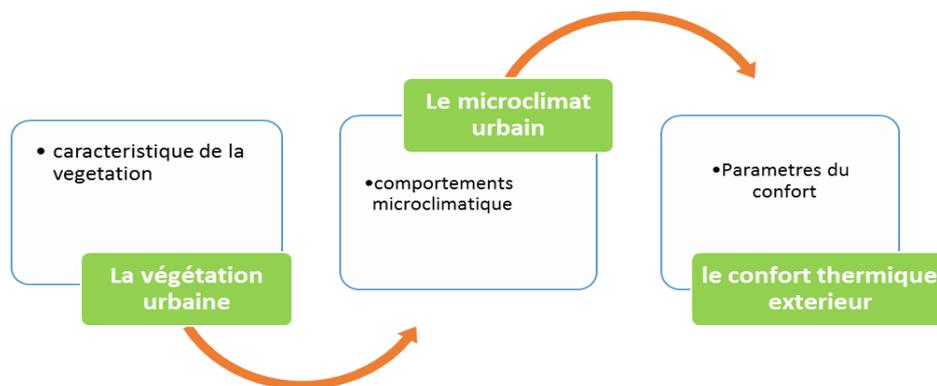
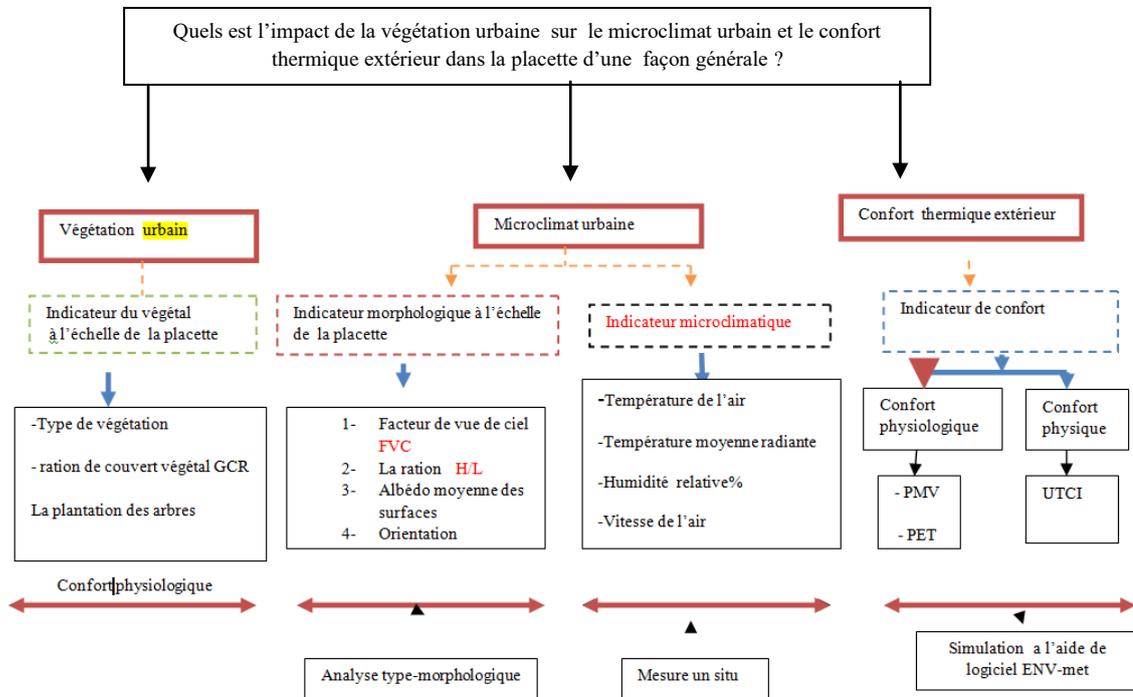


Figure 0.1 : L'interaction entre la végétation urbaine, microclimat et confort thermique extérieur (Variables de la recherche). (Source : Auteure, 2017).

Dans le but de confirmer ou infirmer les hypothèses annoncées auparavant, on tentera de concrétiser les concepts, en les décomposant en dimensions afin de déterminer des indicateurs mesurables (voir le tableau 0.1)



(Tableau 0.1) : Tableau synthétique de l'analyse conceptuelle. (Source : Auteure, 2017)

Méthodologie et outils de la recherche

Cette recherche présente l'opportunité d'évaluer l'effet de la végétation urbaine sur le confort thermique des espaces urbains extérieurs sous les conditions climatiques d'une zone aride et sèche en l'occurrence la ville de Biskra.

Afin d'atteindre nos objectifs, nous avons eu recours à l'usage de deux outils de recherche. L'investigation à travers les mesures in situ à l'aide d'instruments. Pour l'investigation, l'interprétation et la prise des valeurs de T air, H air, Vair, Tg dans notre site retenu, dans sa situation actuelle, pour déterminer les ambiances thermiques horaires afin de voir, plus tard, lors de nos futurs simulations, les possibilités d'optimisation du confort thermique.

Les observations menées sur notre site nous permettront de mieux soutenir les résultats des mesures.

La simulation à l'aide du couplage de deux logiciels informatiques ; ENVI-met (version 4.4.5 Beta 4) et Ray Man pro version (3.1), pour modélisation et simulation des scenarios à dégager, plus loin. On procèdera à l'évaluation du confort thermique à l'aide du

programme RayMan qui évalue le confort thermique extérieur par l'usage des différents indices, notamment ; (PET, UTCI et PMV).

Pour l'étude microclimatique de la région d'étude, la recherche se servira de l'interprétation des données météorologiques de la région, des paramètres influençant son microclimat et des techniques usuelles (diagrammes bioclimatiques). Ceci nous permettra de déterminer les caractéristiques de son climat, d'évaluer les besoins en confort thermique et de spécifier les stratégies à adopter. La synthèse des résultats sera présentée éventuellement sous forme de documents écrits en recommandations générales, ainsi notre thèse se structurera de la manière suivante.

Structure de la thèse.

Selon la méthodologie exposée ci-dessus, notre recherche s'articule autour de deux parties principales:

A- Partie théorique

Dédiée aux repères théoriques, elle est une synthèse des connaissances issues d'une analyse bibliographique et documentaire, elle se compose de l'introduction qui comprend la problématique, les hypothèses et les objectifs de la recherche ainsi que les trois premiers chapitres, illustrant les concepts de bases de notre recherche.

Cette partie regroupe le soubassement scientifique, à savoir les définitions, les éclaircissements sémantiques et les théories de bases sur chaque concept.

Ceci est développé pour mieux cerner et comprendre tous les éléments théoriques de base en rapport avec notre sujet de recherche et d'orienter le travail vers les objectifs ciblés.

Chapitre I.

Présente quelques concepts élémentaires permettant de comprendre les concepts du microclimat et de la végétation et le rôle de cette dernière en milieux urbains, qui est non seulement esthétique et embellissant mais plus important que ça et surtout qu'il est modérateur de climat ambiant et générateur d'ambiances thermiques confortables.

Chapitre II.

Consiste en une approche théorique sur le second concept qui est le confort thermique dans les espaces extérieurs, les paramètres relatifs à ce concept et les différents développements de cet axe.

Chapitre III.

Quant à lui, présente un état de l'art (literature review) sur des études et des recherches analytiques et expérimentales récentes réalisées de par le monde, et qui traitent de l'effet de végétation sur le confort dans les espaces urbains extérieurs, et des paramètres exerçant

une influence sur le microclimat urbain et le confort thermique extérieur engendre, ce qui nous permettra de présenter notre positionnement épistémologique dans le but de choisir parmi ces techniques, celles qui pourraient convenir à notre objectif.

L'exposition de leurs résultats nous tiendra lieu de référence pour accomplir les phases suivantes de notre travail de recherche.

Finalement, le Modèle microclimatique ENVI-met et RayMan, pour l'évaluation du confort thermique, sont retenus, vu leurs pertinences dans l'évaluation du corpus choisis.

B- Partie pratique

De part sa nature, c'est la partie la plus importante de la thèse, se compose principalement de deux chapitres.

Chapitre IV: dédié à la présentation du cas d'étude, de la méthodologie de travail et de l'investigation. Aussi, l'étude microclimatique de la ville de Biskra était présentée. Cette partie développe les mesures in situ des différents paramètres climatiques, effectuées sur notre placette, choisis selon des critères préalablement établis. Ces mesures ont été faites en périodes d'été en utilisant des appareils de mesure adaptés à ce genre de travail, comme il présente l'interprétation des résultats de l'investigation.

Chapitre V : concerne la modélisation et simulation par couplage des deux logiciels ; ENVI-met (version 4.4.5) et RayMan pro (version 3.1). La modélisation et simulation permet de proposer des scénarios en vue d'optimisation.

Chapitre VI :

Il expose les résultats des simulations et leurs représentations graphiques et statistiques, suivi par des discussions et d'explications des phénomènes étudiés

La thèse s'achève, comme tout travail de recherche, par une conclusion générale dont le contenu est :

Synthétiser à la lumière de notre recherche et des résultats obtenus à partir des analyses et des interprétations de simulations, des conclusions à en tirer profit, d'identifier et reconnaître les limites de cette recherche et enfin d'ouvrir des pistes sur des perspectives futures qui peuvent faire l'objet d'éventuels axes de recherches, avec aboutissement final sous forme de recommandations utiles pour l'aménagement et l'intégration du couvert végétal dans les espaces extérieurs des régions chaudes et arides.

La figure (0.2) indique une représentation schématique de la structure de la présente thèse qui vient clore notre chapitre introductif.

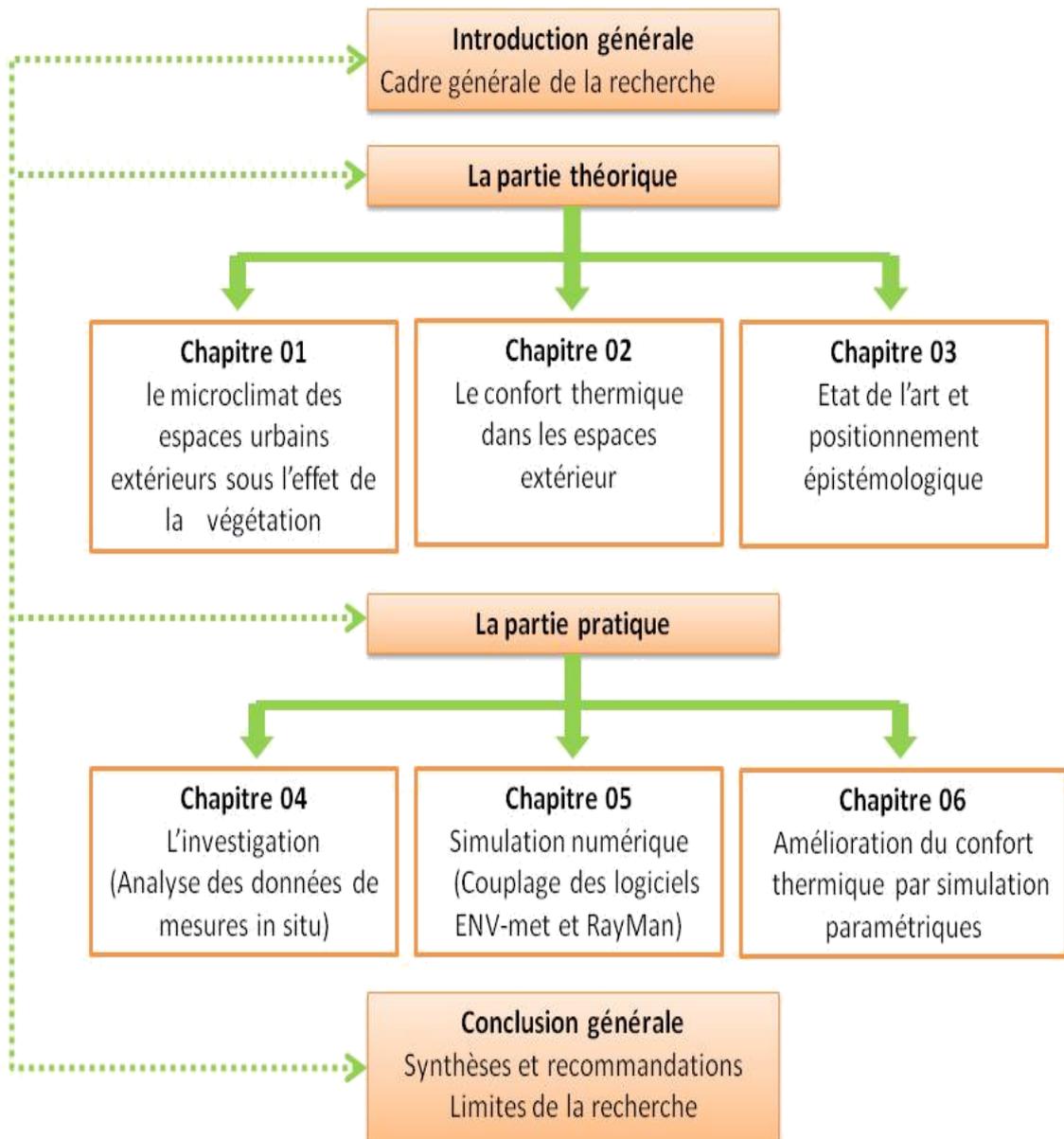


Figure 0.2 : Représentation schématique de la structure de notre thèse.
(Source : Auteure, 2017).

Partie théorique

Chapitre I: le microclimat des espaces urbains extérieurs sous l'effet de la végétation

L'ombre du platane est unanimement « Jardins, parcs, squares, ensembles végétaux constituent des éléments essentiels de la qualité du cadre de vie en ville, encore faut-il qu'ils soient bien conçus et que les arbres qui en constituent l'armature essentielle soient bien disposés, bien choisis et bien plantés pour créer des volumes et des ambiances qui répondent aux aspirations des habitants. » [Cabanel 1993]



reconnue comme la plus agréable, elle participe sans doute aux raisons de son succès. Fraîche sans être froide, elle reste lumineuse à condition que la taille n'ait pas contenu à l'excès son volume folié. Elle est préférée à celle du micocoulier car ce dernier a une ombre plus tamisée alors que le platane Chapitra une ombre unie. Les Provençaux parlent de qualités d'ombre. Parmi les bonnes, ils citent également celle du figuier et du tilleul ; cette dernière pour certain trop froid, peut faire perdre la voix ou donner mal au rein. Le peuplier et le noyer sont mentionnés comme dispensateur d'ombres humides, mauvaises voire maléfiques. C'est le contraire pour le auquel on reproche une ombre trop chaude et trop sèche. »

(Stefulesco 1993)

Introduction

Depuis le milieu du 19^{ème} siècle, et surtout au 20^{ème} siècle, les villes se sont énormément développées. Le fait qu'il y ait beaucoup de grands immeubles sur une zone relativement petite modifie plusieurs aspects de la météorologie, par exemple la température de l'air, la direction et la vitesse du vent. Et de nombreux facteurs naturels contrôlent le climat urbain, comme la latitude, le relief, la façon dont le sol est utilisé ou la présence de points d'eau.

Les activités humaines (en particulier les industries et les transports) ont aussi un impact sur le climat dans les villes. Elles sont concentrées dans les zones urbaines et produisent de grandes quantités de polluants multiples.

Ce chapitre présente une analyse bibliographique sur interactions entre les trois concepts de la recherche que sont ; le microclimat, les paramètres environnementaux urbains et la végétation, et il est nettement apparu que l'impact de la végétation urbaine sur le climat est un phénomène complexe.

D'abord, nous présentons le concept « climats urbains » sous ses différentes échelles climatiques. Il est important de faire une distinction entre ces différentes échelles car les phénomènes qui s'y produisent ne sont pas forcément les mêmes ou n'ont pas les mêmes répercussions, ensuite l'impact de la végétation sur le microclimat urbain

Dans cette étude, nous nous attardons sur ce dernier point en nous focalisant tout précisément sur le microclimat urbain. Nous allons présenter les différents types de manifestations thermiques qui s'y déroulent, ainsi que les spécificités du microclimat urbain.

Cette approche physique de la ville doit permettre de poser les bases essentielles à la mise au point des simulations à envisager.

Vient après, le concept de l'espace public « placette ». Tout en expliquant son aspect géométrique et sa classification en fonction de ses dimensions notamment sa largeur et la hauteur des constructions qui la délimitent. Une deuxième partie sera consacrée aux effets climatiques se manifestant dans une placette urbaine. Ce volet mettra l'accent sur les trois plus importants effets climatiques qui sont les effets aérodynamiques, thermiques et radiatifs.

Vient finalement le concept de « la végétation urbaine » et ses inductions sur le micro climat de l'espace extérieur, Ainsi, nous analyserons, de manière précise, comment les végétaux ont la possibilité de modifier leur environnement thermique par leurs actions sur

les rayonnements de courte et de grande longueur d'onde, par leur influence sur les écoulements aérauliques et par le phénomène d'évapotranspiration.

I.1. Le microclimat urbain

Le mot climat dérive directement du mot grec klima qui veut dire inclinaison en rapport soit avec l'inclinaison moyenne des rayons solaires, variable suivant la latitude du lieu où l'en se trouve, ou à la pente variable des terrains vis-à-vis du rayonnement solaire. Avec le progrès de la météorologie, le climat est considéré comme "l'ensemble des phénomènes météorologiques, qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère en un point quelconque de la surface de la Terre" (Définition selon l'organisation météorologique mondiale de l'OMM, 1981.)

I.2 Les échelles du climat urbain

Le climat d'un lieu peut être défini à trois échelles : le macroclimat, le méso climat et le microclimat, d'après (Oke, 1987). (Figure : I.1.)

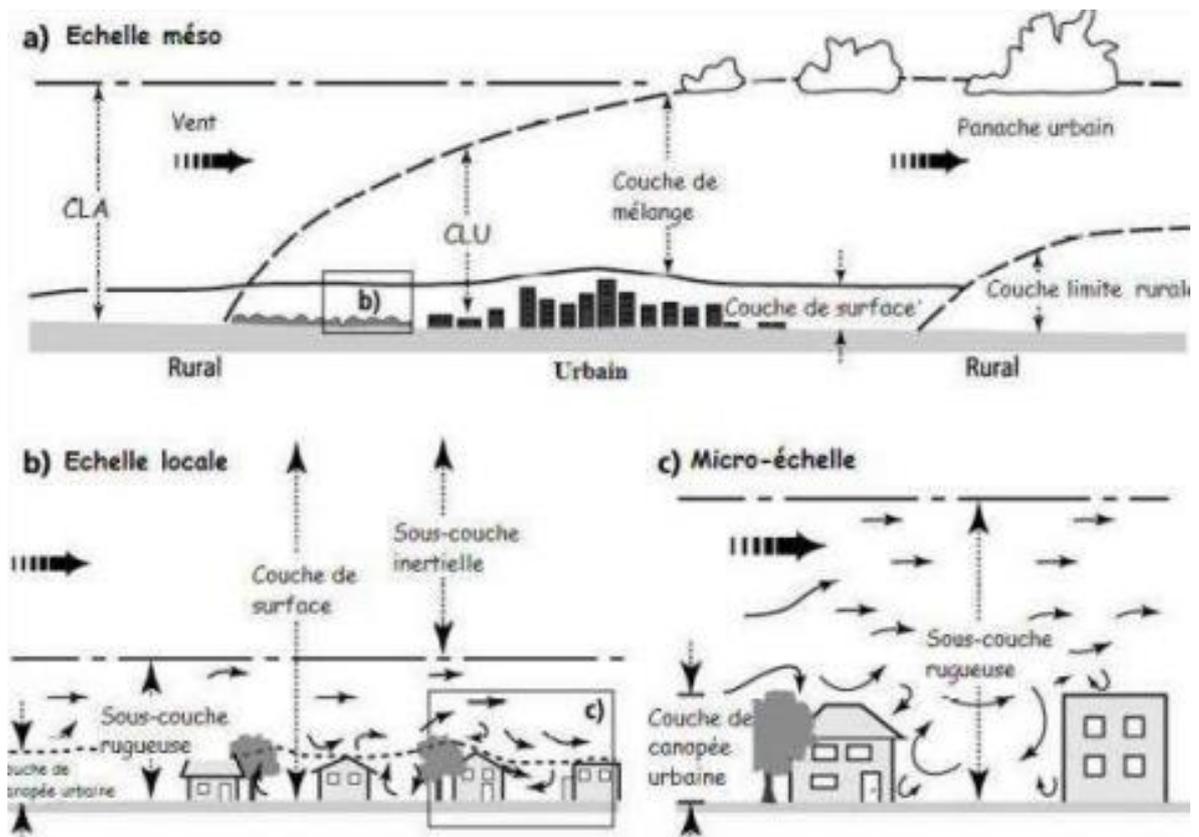


Figure I.1 : Représentation des échelles climatiques et atmosphériques, de l'échelle méso (a), à l'échelle locale (b) et micro (c). (Source : Leroyer, 2006)

I.2.1. Le macroclimat

Le macroclimat est représenté par les caractéristiques climatiques principales d'un pays ou d'une surface de grande ampleur. La ville influence le temps et le climat à l'échelle de tout son territoire.

À l'échelle temporelle, cette influence s'étale sur une période de un à six mois.

I.2.2. Le méso climat

L'échelle des climats régionaux ou méso climats, qui s'applique à des régions de plusieurs milliers de kilomètres carrés, soumises à certains phénomènes météorologiques bien particuliers (Sirocco, vent venu du désert) du fait de l'interaction entre la circulation générale et le relief. Le méso climat inclut les effets des caractéristiques du paysage, tel que la topographie, la présence de masses importantes d'eau (mer, lac de grande taille,...), de végétation (forêts,...) ou de bâtiments (zones urbaines,...). Son évolution temporelle est de l'ordre d'une journée (24 heures). (Oke, 1987).

I.2.3. Le microclimat

Définit les conditions climatiques locales d'un site particulier. Il se réfère à des espaces de petites dimensions tels qu'un terrain, une rue ou une place. Il est influencé par le volume des constructions voisines mais aussi par la nature, l'orientation et l'inclinaison des surfaces, la présence d'arbres, etc. Chaque surface possède son propre microclimat. Ils s'étendant de moins de un à plusieurs centaines de mètres. La variabilité du microclimat peut s'effectuer dans une période de temps très courte.

Le climat d'un lieu peut être défini à trois échelles; selon l'ampleur et les grandeurs retenues pour les différentes catégories de climats, celles-ci sont synthétisées dans le (tableau I.1) ci- dessus. (Oke, 2004)

Echelles	Caractères dimensionnels		
	Horizontal (m) (Oke)	Vertical (km)	Temporel
Meso	10^4 à 2×10^5	1 à 10	1 à 6 mois
Local	10^2 à 5×10^4	0.01 à 0.1	1 à 24 h
microclimat	10^{-2} à 10^3	0.01	1 s à 24 h

Tableau I.1: Les échelles climatiques et leur extension spatiale. (Source : Markus et Morris, 1980. Adopté de Kitous, 2012).

I.3. Les facteurs climatiques

Parmi les éléments impactant les facteurs climatiques, on retrouve ceux reliés au cosmiques, autant que ceux en relation avec les facteurs géographiques

I.3.1. Les facteurs cosmiques

Ils agissent sur toute l'étendue de la planète terre. Il s'agit de:

- L'atmosphère: est le siège de tous les phénomènes qui créent le temps et les climats.
- Les mouvements de la terre : (rotation, révolution). Ils entraînent la succession des jours et des nuits, la succession des saisons et provoquent des différences thermiques sur les façades des continents.

- La latitude: La quantité de chaleur que reçoit la terre dépend de la hauteur du soleil à l'horizon. Pour le même nombre de rayons (même quantité d'énergie solaire), la surface réchauffée sera plus petite à l'équateur, car les rayons arrivent perpendiculairement à la surface. De plus, les rayons ont traversé un minimum d'épaisseur atmosphérique à l'équateur. La quantité d'énergie que le sol reçoit par unité de surface est donc très grande à l'équateur. Figure : I.2.

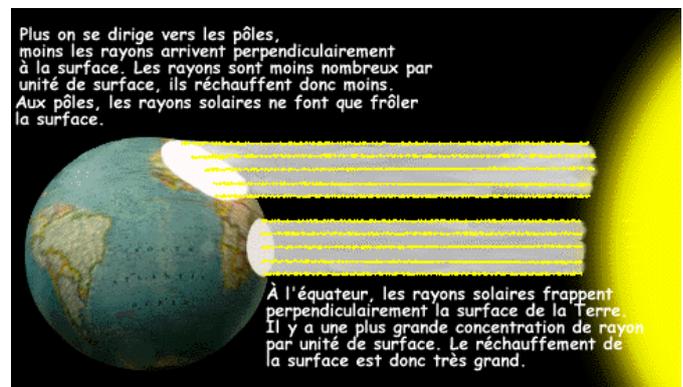


Figure 1.2 : L'importance de la courbure de la terre par rapport à la répartition de la chaleur sur le globe. (Source. Meteocentre.com/internet/temperature/diff_temp2).

I.3.2. Les facteurs géographiques

Ils agissent sur une région bien précise de la planète :

- Le relief: il intervient par l'altitude (la température diminue au fur et à mesure que l'on s'élève en altitude) et par l'exposition (adret: versant au vent; Ubac: versant sous le vent)
- La végétation: apporte l'humidité, baisse la température et protège le sol.
- Les courants marins : sont parcourus par les courants chauds (Gulf stream; Oya shivo) et par des courant froids (Labrador; Kouro shivo) qui modifient le climat des côtes qu'ils baignent

I.4. Les éléments du climat

Les principaux éléments climatiques à prendre en considération par les concepteurs, sont : La température de l'air, L'humidité, Les vents, Les pluies et le rayonnement solaire.

I.5. Les microclimats urbains

Le climat urbain est le résultat des interactions entre des facteurs naturels et anthropiques (causés par les humains). La pollution de l'air, les matériaux de surface de la ville, l'émission de chaleur ajoutés à des causes naturelles, créent des différences climatiques entre les villes et les zones rurales. Figures : I.3.

Rappelant que l'échelle microclimatique est limitée à quelques centaines de mètres (< 500 m). (Kitous, 2012) (Voir figure I.1) et (Tableau I.1)

« Il se réfère à des espaces de petites dimensions tels qu'un terrain, une rue ou une place. Il est influencé par le volume des constructions voisines mais aussi par la nature, l'orientation et l'inclinaison des surfaces » (SIGRID, R ; 2007) et Les effets microclimatiques sont au niveau de la couche de canopée urbaine, veut dire, entre le sol et le sommet des bâtiments.

Ce qu'on remarque au niveau du microclimat urbain est le changement des paramètres climatiques (l'augmentation de

la température de l'air, l'atténuation de la vitesse du vent et de l'humidité relative), ces changements sont après intervention de l'homme sur son site ou bien des conséquences du choix des matériaux ou la composition urbaine. (VINET, J ; 2000)

Le microclimat urbain est spécifique à la ville; il est influencé par la topographie du site, la nature du sol, la composition urbaine et la végétation. Donc, lors d'une conception des places publiques ou bien les espaces publics en général, on doit prendre tous les éléments de l'environnement naturel et construit et non pas se limiter aux données climatiques enregistrées par la station météorologique. (SIGRID, R; 2007)

Dans le cadre de cette recherche, on s'intéresse précisément aux interactions des paramètres climatiques avec les éléments physiques de la morphologie urbaine à une micro-échelle (celle de l'espace public, voir figure 1.4.) La variation de l'environnement thermique dans les espaces publics extérieurs est influencée par l'interaction de plusieurs paramètres. D'une part, l'interaction entre les facteurs climatiques à savoir la vitesse du vent et la température de l'air, d'autre part, l'interaction entre les éléments physiques de la morphologie urbaine,

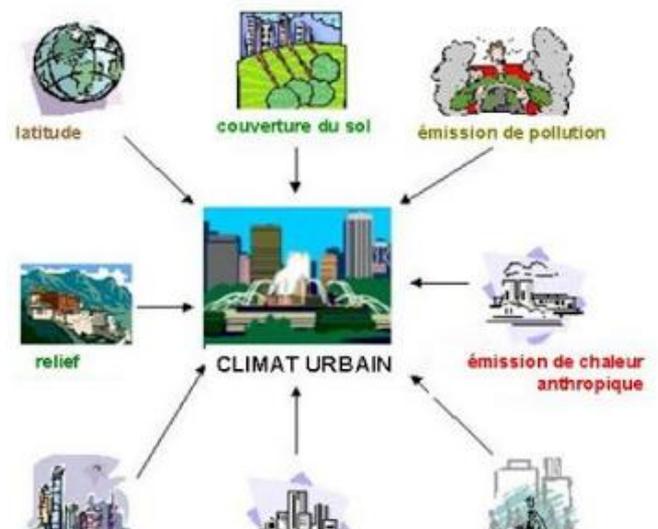


Figure I.3. Paramètres qui font le climat urbain, Auteur: Sebastian Wypych. (Source: <http://klimat.czn.uj.edu.pl>)

ces derniers modifient aussi l'environnement éolien à l'échelle de la ville comme à l'échelle de l'espace public, comme ils sont à l'origine de la formation de l'îlot de chaleur urbain.

I.5.1. Îlot de chaleur urbain (ICU)

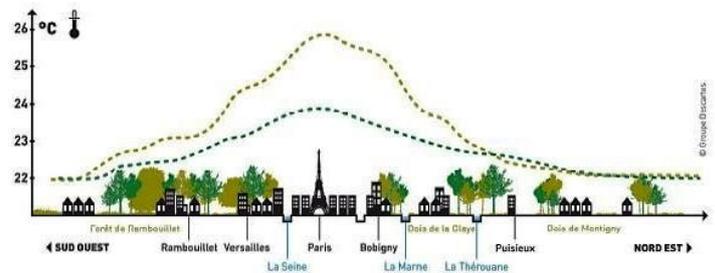
L'îlot de chaleur urbain (ICU), est un phénomène propre au microclimat urbain, est caractérisé par une élévation localisée de la température de l'air, mesurée entre le site urbain et les campagnes environnantes. La différence de température peut atteindre jusqu'à 10°C et est en moyenne de 1,5 à 2,5°C. (Fedele, 2010)

Des études américaines par Akbari et al, (1992) cité par (Vinet, 2000), ont montré que les températures estivales, dans les zones urbaines, sont généralement plus élevées de 1 à 4 °C que celles des zones rurales environnantes. L'évolution spatiale de la température se traduit par un pic semblable à un « îlot ».

Le phénomène se caractérise par :

- Un rafraîchissement nocturne en milieu urbain fortement atténué, ainsi l'heure du maximum d'ICU est généralement située quelques heures après le coucher du soleil ;
- l'augmentation de température en début de journée est plus rapide en milieu rural jusqu'à observer temporairement une température plus faible en ville ;
- Une inertie du milieu urbain, notamment due aux matériaux et revêtements des surfaces urbaines.

L'îlot de chaleur urbain est un effet de dôme thermique, créant une sorte de microclimat urbain où les températures sont significativement plus élevées : plus on s'approche du centre de la ville, plus il est dense et haut, et plus le thermomètre grimpe, toutefois l'un des facteurs atténuant l'effet de l'îlot de chaleur urbain est surtout l'introduction, au sein de cet espace, de la végétation, sujet de cette présente recherche, dont les effets sur le microclimat de notre cas d'étude, seront développés en détails, plus loin dans ce manuscrit. (Figure I.4).



Evolution de la température nocturne au-dessus de Paris et ses alentours lors d'une canicule

— Evolution actuelle — Modification après un ajout de végétation

Figure I.4. L'îlot de chaleur urbain au-dessus de Paris et de ses alentours lors d'un épisode caniculaire. (Source :

Météo France. brochure de 2014:

I.6. L'espace public

Albert Dupagne, et al., (1996) (cité par Ouamer, 2007), a défini l'espace public urbain comme la forme creuse délimitée par les formes construites qui l'entourent et par le sol,

mais aussi déterminée par les tracés volontaires ou simplement par l'implantation progressive du bâti. Les parois architecturées des rues et des places, avec les discontinuités créées par les masses construites d'édifices à différentes échelles, permettent de déterminer ce volume urbain particulier.

Notre recherche est focalisée sur l'évaluation du microclimat et du confort thermique généré à l'échelle de la place, celle-ci nécessite une définition, comme suit, dans ce contexte.

L'un des éléments les plus importants de la conception de la ville est la place. Le mot «**Place**» vient du terme grec "**plateia**", puis latin « **platea** », qui signifie une "**large rue**".

La place est un espace libre de rencontre. La place est une zone encadrée par des bâtiments et une zone destinée à présenter ses bâtiments pour le plus grand avantage (Moughtin, 2003).

La place est un espace public non bâti, desservi par des voies, affecté aux piétons ou/et aux véhicules, au revêtement généralement minéral, entouré principalement par des bâtiments, et agrémenté de mobilier urbain et d'édicules divers (Gauthiez, 2004). La naissance de la place peut être une convergence de chemins ou de rues, ou d'un espace fortuit, ou bien peut être planifié dans une localisation choisie en fonction d'un usage déterminé.

Une place est caractérisée soit par sa **forme** ou sa **fonction**. Gauthiez 2004, distingue les **types**

de place suivant leur **fonction** dans la ville et les activités qu'elle abrite à son sein, on a: les places promenade, les placettes, les cours publiques, les places attenantes, les place-parvis, les place-carrefours, et les esplanades, telle que l'une des plus importantes au monde ; l'esplanade du champ de Mars à Paris, ci-contre. Figure I.5



Figure. I.5. L'esplanade du champ de Mars à Paris. (Source : www.paris-walking-tours.co)

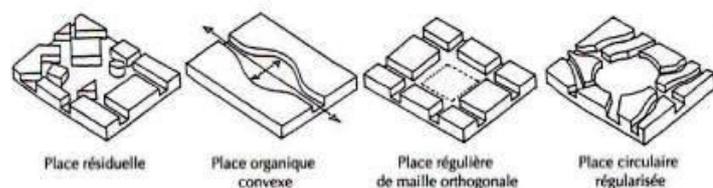


Figure. I.6. Quelques formes de place. (Source. Allain, 2004)

Ainsi l'activité dans une place est importante pour sa vitalité et par conséquent, aussi pour son attrait visuel (Moughtin, 2003).

La classification des places selon leurs formes est faite par Zucker, qui a pu **distinguer cinq** formes archétypiques de la place : **la place fermée** où l'espace est autonome, la place **dominée** où l'espace est dirigé vers le bâtiment principal, la place **nucléaire** où l'espace est formé autour d'un centre, les places **regroupées** où les unités spatiales sont combinées pour former des compositions plus grandes et la place **amorphe** où l'espace est illimité (Moughtin, 2003). (Figure. I.6).

Dans la littérature on distingue les indicateurs pour quantifier et évaluer la forme urbaine (niveau bâtiment) et végétation, en ce qui concerne ce dernier, dans la place, sujet principale de nos préoccupations, sera abordé en détail plus loin dans ce chapitre.

Pour le bâtiment, celui-ci désigne aussi la masse construite de la forme urbaine, quelle que soit leur fonction (habitation, équipement) ou leur dimension (Borie, et al., 1980)) à l'échelle de l'espace public « micro-échelle » (la rue et placette), concerne la forme urbaine (bâtiment), d'après (Ahmed, Ouameur, F (2007), et (Mohamad Slimane 2018).

Les indicateurs morphologiques choisis pour qualifier la place sont : Le prospect (le Ratio H/L), le facteur vu de ciel (SVF), l'albédo des surfaces et le facteur d'ombre portée. Ces indicateurs sont pertinents pour l'introduction et l'atténuation des effets microclimatiques, qui se génèrent au niveau de la place. (Tableau I.2)

Les indicateurs morphologiques choisis pour qualifier la place sont : Le prospect (le Ratio H/L), le facteur vu de ciel (SVF), l'albédo des surfaces et le facteur d'ombre portée. Ces indicateurs sont pertinents pour l'introduction et l'atténuation des effets microclimatiques, qui se génèrent au niveau de la place. (Tableau I.2)

Concept	Dimensions	Sous-dimensions		Indicateurs		
Fabrique de la ville	Micro-échelle	Bâtiment		Hauteur (ou gabarit enveloppe) de l'immeuble		
				Facteur de forme		
				Compacité du Bâti		
		Espaces libres	Rue			Rapport H/W
						Facteur vue de ciel
						Orientation
			Place			Tracé (rectiligne ou sinueux)
						Albédo des surfaces
		Espace vert			Facteur vue de ciel	
					Albédo des surfaces	
					Facteur d'ombre portée	
		Mésos-échelle	Tissu urbain			Type d'espace vert
						Densité végétale
				COS Végétal		
				Densité		
				Rugosité		
				Porosité		
				Sinuosité		
				Occlusivité		
				Compacité		
				Contiguïté		
Macro-échelle	Ville			Admittance solaire		
				Minéralisation		
				Tâche urbaine		

Tableau I.2. Les indicateurs combinés du concept fabrique de la ville. (Source : Mohamad Slimane et al 2018).

Notre recherche est focalisée sur l'évaluation du microclimat et le confort thermique à l'échelle micro (La place), donc nous allons nous baser sur des indicateurs à l'échelle de la place et qui sont :

I.6.1. Le prospect (le Ratio H/L)

D'après, (Oke. T, R, 1981), le ratio H/L, c'est le rapport entre la hauteur moyenne de l'espace et sa plus petite largeur, il permet simplement de caractériser l'ensoleillement et la lumière disponible et l'effet d'ombrage au sein d'un tissu urbain donné. (Figure. I.7).

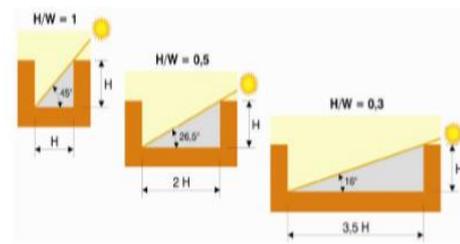


Figure I.7. Différents types d'espaces avec différents 'H/L' et son rapport avec les rayons solaires. (Source : Reiter, S ; 2007)

Il permet ainsi de quantifier le rapport entre les surfaces verticales et horizontales pouvant être impliquées dans les échanges énergétiques dans l'espace. (Figure. I.8)

D'après (Ait-Ameur et al, 2002) et d'après (Ahmed, Ouameur, F. 2007), le calcul numérique du ratio H/L dépend des dimensions horizontales et verticales de l'espace. Pour quantifier cet indicateur, deux relevés doivent être effectués : un relevé de la hauteur de toutes les surfaces verticales afin d'en déduire une hauteur moyenne et un relevé de la plus petite largeur de cet espace. Le ratio H/L peut ainsi être obtenu à partir de l'équation suivante :

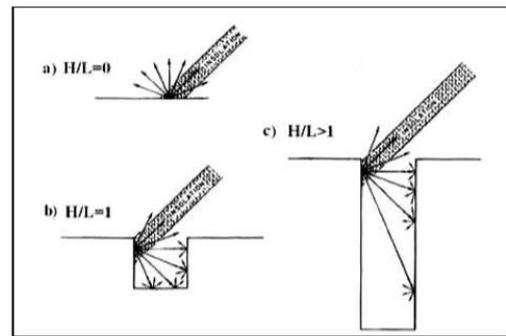


Figure I.8. Distribution schématique du rayonnement solaire incident dans différents scénarios d'H/L. (Source : Givoni, 1998)

$$H/L = H_m / L_P \dots\dots\dots (Formule I-1)$$

Ou ; - H_m = hauteur moyenne de l'espace, en m.

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

I.6.2. Facteur vue de ciel (SVF)

Le facteur de vue de ciel, est une mesure de l'angle solide sous lequel le ciel est vu depuis un point de l'espace urbain. Il détermine les échanges radiatifs entre le ciel et la structure physique de la ville. Du point de vue climatique Watson et Johnson en 1987 le définissent comme le rapport entre la radiation reçue par une surface plane et celle

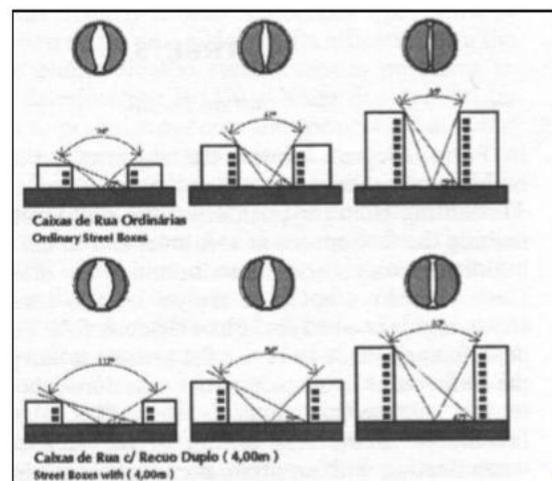


Figure I.9. Taux d'ouverture de l'espace entre deux bâtiments pour différents profils de rue. (Source : Ait amour, 2002)

reçue par la totalité de l'environnement radiatif (Svensson, 2004).

Le facteur vue de ciel « signifie que la vue du ciel est dépourvue de toute obstruction (champ isolé) et par contre la valeur « égal à 0 » signifie que, la vue du ciel est totalement obstruée. (Oke, 1988), (Athamena, 2012) Figure I.9.

Le facteur vue de ciel peut être estimée pour d'autres type d'espaces, comme les places ou les espaces à une seule paroi. Sa définition pour la place reste la même déjà défini pour la rue, le seul changement qui est introduit est la formule de calcul, qui devient pour un espace comme une grande place, qui est délimitée sur un seul côté par une paroi linéairement continue et est effectivement ouverte dans toutes les autres directions, on estime que le facteur de vue de ciel, dans les deux cas, est comme suit : Figure I.10.

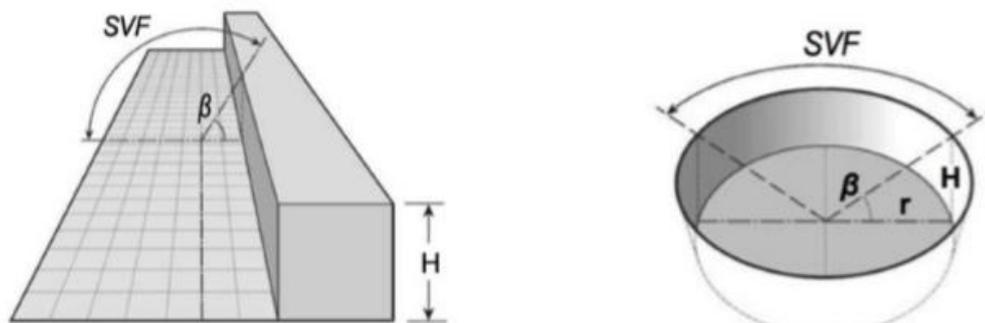


Figure I.10. Paramètres géométriques pour le calcul de SVF à partir d'un point sur le sol dans un espace de type place à une distance donnée d'une paroi continue et au point d'un espace circulaire central. (Source : Erell et al, 2011).

- Espace délimité sur un seul côté par une paroi linéairement continue

$$SVF = (1 + \cos \beta) / 2 \dots \dots \dots (I.2)$$

Où $\beta = \tan^{-1} (H / D)$ et D est la distance du point de mesure au mur.

- une place circulaire aurait, à son point central :

$$SVF = \cos^2 \beta \dots \dots \dots (I.3)$$

Où $\beta = \tan^{-1} (H / r)$ et r est le rayon du cercle.

Il existe d'autres types d'espaces urbains qui ne peuvent pas être décrits par une seule section, mais qui ont une géométrie relativement simple et régulière. Une cour rectangulaire, par exemple, a son point de vue vers le ciel obstrué non par deux murs (comme dans le canyon), mais par un total de quatre murs, deux dans chaque direction. Une approximation de SVF, qui représente des parois de longueur finie et de la géométrie régulière en trois dimensions (décrites par hauteur, largeur et longueur), est donnée par le produit des SVF dans chacune de ces deux directions différentes : Figure I.11

$SVF = \cos\beta_W \cos\beta_L$ où $\beta_W = \tan^{-1}(H / 0,5 W)$ et $\beta_L = \tan^{-1}(H / 0,5 L)$

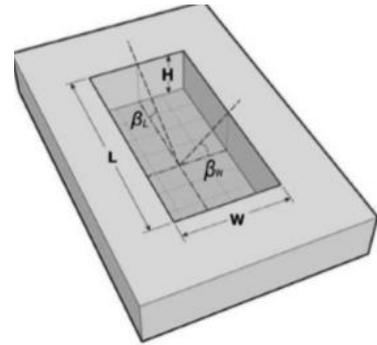


Figure I.11. Vue schématique d'un espace de type cour rectangulaire. (Source : Erell et al, 2011)

Pour des géométries plus complexes et irrégulières, qui sont caractéristiques de la plupart des milieux urbains réels. (Figure I.12). Une variété d'outils peut être utilisée pour estimer le SVF. Certains de ces outils sont de calcul, une nouvelle méthode est développée récemment par le chercheur Matzarakis en 2000 sous forme de logiciel «

RayMan » qui est basé sur un modèle radiatif (Matzarakis, et al, 2007), et intégré à plusieurs logiciels permettant de calculer le facteur vue du ciel, en se basant sur la formule précédemment citée, parmi ces nombreux programme nous citons : Solène,

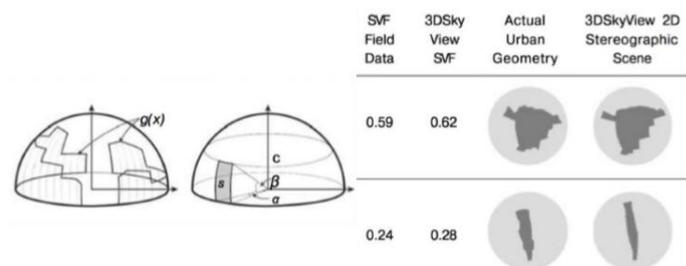


Figure I.12. Exemples d'estimation SVF urbaine en utilisant des modèles urbains 3D avec le système d'information géographique (SIG) logiciel d'analyse. (Source : Erell et al, 2011).

Ecotect Analysis, l'option «Héliodon virtuel» de Auto CAD, Ener CAD. Et « logiciel Rayman » (<http://www.guide-clea.fr>, 2015)

Il peut être évalué, aussi, par un procédé photographique, le dispositif est constitué par un appareil photo numérique 'Caméra' couplé à un objectif fish-eye. (Ben Messaoud. O, 2010) (Vieira, et al. 2003), (Bourbia Fatiha et al, 2004.). Figure I.13.



Figure I.13: Fish-eye des quatre types d'espaces respectivement de gauche à droite : espace ouvert, semi ouvert et deux Canyons. (Source : Bourbia Fatiha et al, 2004)

Ainsi, le facteur de vue du ciel affecte le confort dans les espaces extérieurs. Tzu-Ping et al., (2010) ont étudié expérimentalement le confort thermique estival dans les espaces extérieurs d'un campus universitaire à Taiwan en utilisant l'indice de confort PET

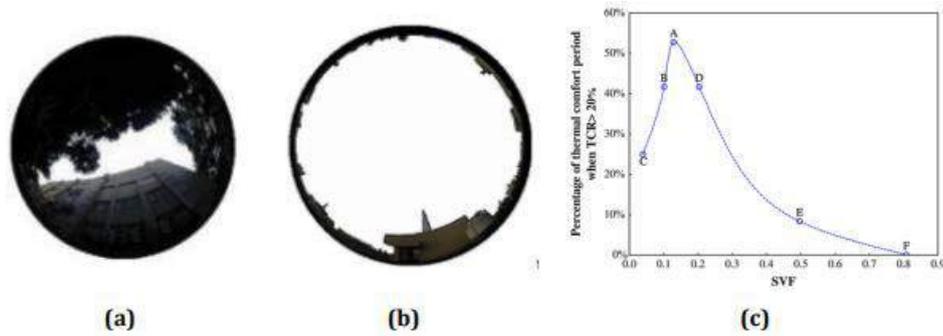


Figure I. 14. (a). Le facteur de vue du ciel de la place A (FVC = 0,13). (b) Le facteur de vue du ciel de la place F (FVC = 0,81). (c) la relation entre le facteur de vue du ciel et le pourcentage de périodes de confort. (Source : Tzu-Ping et al., 2010).

(Température Physiologique Equivalente). Ils ont croisé les résultats de l'indicateur FVC et le pourcentage des périodes thermiquement confortables pour divers endroits sur le campus. Les résultats ont montré que la place A (Figure I. 14 (a)), dont FVC est de 0,13, présente le plus grand pourcentage de périodes confortables avec plus de 53 % (Figure I. 14 (c)). Ce pourcentage diminue avec l'augmentation du FVC des surfaces jusqu'à atteindre 0 % pour la place F (Figure I. 14 (b)) dont le FVC vaut 0,81. Inversement, lorsque les valeurs de FVC sont inférieures à 0,13, le pourcentage diminue et atteint 25 % pour un FVC de 0,04. Ainsi, les espaces présentant des surfaces avec un grand FVC risquent de provoquer des situations d'inconfort en été.

I.6.3. Albédo des surfaces

L'albédo est la mesure de la capacité d'une surface à réfléchir le rayonnement solaire. Il vient du mot « Albus » qui veut dire en grec «blanc » ce dernier apparu au 19eme siècle par George Philipps Bond (astronome américain). Il est le rapport du rayonnement solaire réfléchi et du rayonnement solaire reçu sur une surface. (BOZONNET, E;2005)

Oke (1978) estime que l'albédo moyen des villes est de 0,15, ce qui est souvent plus faible que celui des zones rurales (0,2 pour la végétation ; 0,11 à 0,15 pour la forêt ; 0,25 à 0,3 pour des sols nus (Najjar et coll. 2005). Comme le signale Taha (1997), les albédos des milieux urbains sont généralement compris entre 0,10 et 0,20, mais dans certaines villes ces valeurs peuvent être bien plus importantes. Les villes nord-africaines en sont un bon exemple avec l'albédo compris entre 0,30 et 0,45 alors que la plupart des villes américaines et européennes ont un albédo compris entre 0,15 et 0,20

L'Albédo ou bien la réflectivité ; est exploitée dans le domaine du confort thermique dans la sélection et le classement des matériaux par leur nature soient : couleur, perméabilité ou texture, tout cela indique le degré du reflet et l'absorption du rayonnement solaire de la température de la l'air ; par contre les matériaux de couleur clair absorbent moins le rayonnement solaire. Selon REITER, S. (2007). Les matériaux de couleur sombres reflètent moins le rayonnement solaire, donc se chauffent plus par absorption. Figure I.15.

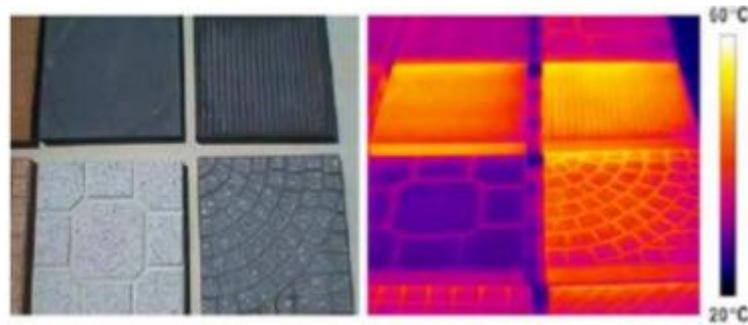


Figure I. 15. Photo et thermographies IRT des revêtements testés dans l'étude de (Doulos et al, 2004)

En plus de dépendre de la couleur des matériaux, l'albédo dépend également de la nature des matériaux. Akbari et al., (2008) ont montré que les toitures avec des tuiles plates reflètent plus d'énergie solaire que les toitures à tuiles concaves ou convexes. Figure I.16.

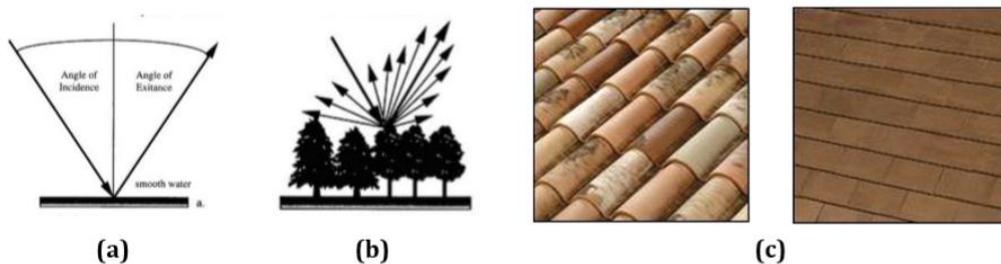


Figure I. 16. (a) Réflexion spéculaire sur une surface lisse. (b) Réflexion diffuse sur une surface rugueuse. (c) Deux modèles de toiture convexe et plane. (Source : Akbari et al, 2008).

L'effet de la rugosité a aussi été étudié par Berdahl et Bretz, (1997). Les chercheurs ont constaté que la rugosité diminue fortement la réflexion solaire. Il est avéré que la réflexion d'un matériau à surface lisse de l'ordre de 79 % chute à 51% lorsque sa surface est rugueuse. En effet, si la surface est rugueuse, les rayons solaires effectuent plusieurs réflexions, appelées réflexions diffuses avant de s'échapper. Ceci diminuerait la quantité

d'énergie solaire réfléchi. Une surface lisse engendre des réflexions spéculaires qui s'échappent sans inter-réflexions. Le tableau I. 3. Présente l'albédo de chaque type de matériaux, il montre que l'asphalte absorbe la majeure partie du rayonnement solaire qu'il reçoit comparativement aux autres matériaux. En ce qui concerne les valeurs de la végétation, une étude allemande a mesuré des valeurs comprises entre 0,25 et 0,30 pour les arbres et entre 0,15 et 0,18 pour les surfaces gazonnées.

Matériaux du sol	Albédo
Surface d'eau	0.03 à 0.1
Tas de feuilles et herbes coupées	0.05
Asphalte	0.07
Bois foncé (chêne,...)	0.05 à 0.1
Bois clair (pin,...)	0.1 à 0.2
Prairie	0.12 à 0.3
Sol sableux	0.15 à 0.4
Terre nue	0.2 à 0.25
Brique pourpre	0.23
Béton	0.3
Gazon	0.26 à 0.33
Neige	0.75 à 0.95

Tableau I.3 : Quelques valeurs de l'albédo pour revêtements de sol typiques. (Source : REITER, S., 2007)

Les surfaces avec un albédo faible deviennent alors plus chaudes que celles avec un albédo élevé, le goudron par exemple, largement présent en voirie, a un albédo très faible. Les matériaux ayant un albédo et une émissivité élevés s'échauffent moins vite quand ils sont exposés au soleil et réduisent ainsi le transfert de chaleur à l'air environnant (Prado, et Ferreira, 2005)

D'après, Bouyer, Julien (2009), divers travaux de recherche dans différents pays et climats ont été menés en ce qui concerne les performances thermiques de différents matériaux utilisés dans le tissu urbain, ceci en grande partie pour les revêtements des voies de circulation piétonne et

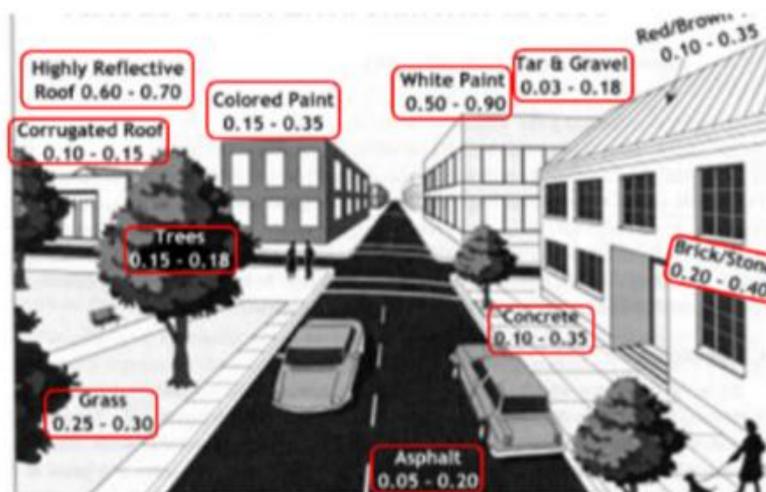


Figure I.17: Divers albédos de la ville. Compris entre 0 et 1 l'albédo caractérise le pouvoir réfléchissant d'un support. A 1, l'énergie lumineuse est entièrement renvoyée. (Source: Colombert, 2008).

et automobile. À titre d'exemple, Doulos, Santamouris, Livada, 2004 ont constaté après une analyse comparative de 93 échantillons de matériaux que l'Albédo ne se limite pas aux caractéristiques physiques et aux propriétés thermiques des matériaux, mais il y'a d'autres facteurs qui interviennent, parmi eux ; la couleur, la texture des surfaces ainsi que la nature des matériaux de construction et le niveau de dégradation des matériaux. Figure I. 17

L'albédo est quantifié par un chiffre entre 0 et 1 qui exprime la portion du rayonnement solaire réfléchi par rapport à la quantité reçue. Un corps, qui réfléchit la totalité du rayonnement solaire, a un albédo de 1 alors qu'un corps qui l'absorbe à 100% à un albédo de 0 » Sachant qu'une partie de l'énergie solaire arrivant sur une surface est réfléchi et le reste est absorbé. Pour cela, la surface qui a un faible albédo elle est plus chaude que celle avec un fort albédo. Autre chose en rapport avec l'albédo, c'est l'émissivité de la surface, ou bien du matériau.

I.6.4. Facteur d'ombre portée

Le facteur d'ombre portée ou connue sous l'appellation de « Coefficient d'ombrage », il décrit la proportion du corps exposé à la radiation directe du soleil dans un point précis, il varie entre « 0 à 1 » la valeur « égal à « 0 » lorsque le corps est totalement sous l'ombre, et la valeur « égal à « 1 » lorsque le corps est complètement exposé. Le Coefficient d'ombrage est en fonction de la hauteur d'obstacle, l'orientation et l'angle d'incidence solaire (Erell, et al. 2011). Pour dessiner les portions de l'espace ombré, les diagrammes de courbes solaires polaires ou cylindriques ou encore les courbes mensuelles sont utilisées, récemment se sont aussi des logiciels qui simulent les ombres projetées de bâtiments à différentes heures de la journée, pour différentes périodes de l'année et sous différentes latitude par exemple le logiciel « RayMan » qui est basé sur un modèle radiatif (Matzarakis, et al, 2007)

Ces outils constituent des aides précieuses à la conception (Liebard, et al. 2006), en particulier son calcul peut se faire à partir de l'équation suivante ; $\tan ALT_{bp} = \tan ALT / \cos (AZ - AZW)$. Figure. 1. 18

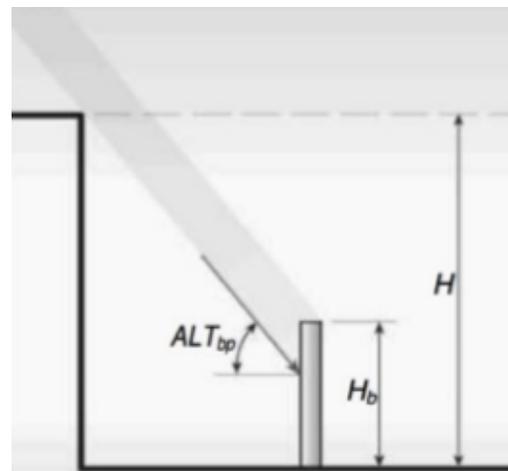


Figure I.18: Les paramètres pour le calcul de l'ombrage coefficient.
(Source : Erell et al, 2011).

I.7. La végétation en milieu urbain

La végétation en ville est une association de deux notions à priori en opposition : le végétal associé au monde rural, qui est un environnement "naturel", et la ville associée au minéral, l'urbain est ce qui sans cesse advient par l'action des hommes, ce qui est artificiel. En milieu urbain le végétal est matérialisé sous de multiples formes, l'imbrication entre toutes ses dimensions est en fait un véritable matériau à considérer dans tout projet

d'aménagement. La richesse de la palette végétale permet ainsi de créer et d'innover dans le milieu urbain.

I.7.1. Définition de la végétation urbaine

Selon le « Dictionnaire historique de la langue française », le terme de végétation serait emprunté dès le début du XVI^e siècle au dérivé latin de végétation (signifiant animation) et désignant à son tour « vie des végétaux, fait de pousser ». Le terme évolue alors dans le sens de « disposition naturelle qui reproduit des formes végétales » avant de désigner l'ensemble des végétaux, cultivés ou non, poussant dans un milieu considéré. (Kadri O, 2012).

I.7.2. Le végétal urbain

Nous estimons évident qu'aborder la question du végétal urbain, c'est faire appel à des connaissances provenant de diverses disciplines : climatologie, hydrologie, pédologie, agronomie et physiologie végétale, c'est dire la variété des préoccupations et les difficultés pour adapter ces connaissances aux besoins spécifiques du champ de l'urbanisme par le biais du microclimat, où le végétal est appelé à jouer un rôle important. Le végétal urbain peut se présenter essentiellement sous (03) formes qui, correspondent aussi à (03) échelles spatiales : Le végétal grimpant, La pelouse et les végétaux couvrants et l'arbre urbain.

I.7.2.1. Le végétal grimpant

Il est plus fréquemment associé à l'architecture, et proportionné à l'échelle du bâtiment. Il peut être aussi utilisé dans les espaces urbains et constituer par exemple : un ombrage (treillis sur rue) son effet microclimatique s'exerce sur un espace plus réduit en général à l'échelle du piéton. (Figure. I. 19).



Figure. I. 19: Le végétal grimpant. (Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Mur_végétalisé)

I.7.2.2. La pelouse et les végétaux couvrants

Ils ont le plus souvent, une fonction décorative, en remplaçant un revêtement minéral. Leurs effets microclimatiques se limitent au contrôle des conditions de surface (il en va de même pour les végétaux grimpants couvrant des surfaces entières de façades des bâtiments (M. A. Guyot, 1998). (Figure. I. 20).



Figure. I. 20 : Les végétaux couvrants. (Source : M. A. Guyot, 1998)

I.7.2.3. L'arbre urbain

L'arbre urbain peut à son tour être subdivisé en deux (02) catégories :

- * L'arbre en parc ou jardin.
- * L'arbre d'alignement.

Dans les (02) cas, l'arbre est un élément vivant, source quantifiable de confort en région méditerranéenne, le choix des essences doit être fait avec soin. Une bonne connaissance de son usage enrichit la panoplie d'outils d'aide à la décision pour le contrôle des ambiances micro climatiques dans les projets : l'arbre urbain peut atteindre de grandes tailles (plus de 25 m de haut) -arboriculture urbaine. (Figure. I.21).

Il participe beaucoup au paysage urbain (https://fr.wikipedia.org/wiki/Arbre_d'alignement).

Figure. I. 21 : L'arbre d'alignement. (Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Arbre_d'alignement).



I.7.3. La végétation caduque et persistante

Selon leurs typologies, les végétaux peuvent être de type caduc ou persistant, en effet, les végétaux à feuilles persistantes ou sempervirentes maintiennent leurs feuilles tout au long de l'année, ce qui permet une protection annuelle. Ce type est recommandé dans les régions chaudes et sèches tandis que ceux à feuilles caduques, ils perdent leurs feuilles en automne et sont nus.

Pendant les mois les plus froids de l'année, ce qui permet au soleil de traverser et de chauffer l'enveloppe des bâtiments à partir de novembre à mars.

En été, ils retiennent largement le rayonnement, ce qui procure un ombrage saisonnier, donc, c'est une végétation qui pousse au printemps, protège en été et perd ses feuilles à l'automne et en hiver. Ces plantes sont plutôt favorables pour les climats arides et semi-arides où la radiation solaire est très prisée en hiver (MURET.J.P, ALLAIN.Y.M, MARIE-LISE 1987

I.7.4. Typologie végétale

Les différents types de végétaux peuvent se distinguer grâce à la morphologie de leurs feuilles (forme, types et disposition des feuilles).

I.7.4.1. Structure des feuilles

Les feuilles sont des organes constitués de cellules qui contiennent des chloroplastes (Dans lesquels se réalise la photosynthèse), dont la position est ajustée de façon que la plus grande surface possible soit exposée au soleil. Des vaisseaux conducteurs de sève apportent l'eau et les sels minéraux ou emportent les produits de la photosynthèse. Les ouvertures, appelées **stomates**, pores grâce auxquels la plante réalise les échanges gazeux sont nécessaires à la respiration et à la photosynthèse.

La plupart des feuilles sont vertes, couleur due à un pigment, la chlorophylle, cependant, toutes les feuilles ne sont pas vertes. La coloration automnale des feuilles est le Résultat de la décomposition de la chlorophylle. (<https://fr.wikipedia.org/wiki/Feuille>)

I.7.4.2. Morphologie : types et formes de feuilles

Les diverses morphologies et dispositions des feuilles sont généralement utilisées aux fins d'identification et de classification des plantes. On distingue deux grands types de feuilles: les feuilles simples, au limbe unique, non divisé, par exemple la feuille de chêne, de l'érable ou du houx; et les feuilles composées, au limbe constitué de folioles telles que celles de trèfle, du marronnier ou du frêne. (MURET.J.P, ALLAIN.Y.M, MARIE-LISE, 1987)

Le limbe des feuilles simples peut présenter multiples formes : oblong (dans le cas du Cerisier, plus large vers l'extrémité de la feuille que du côté du pétiole), en forme de cœur comme c'est le cas de la violette, sagitté, c'est-à-dire en forme de pointe de flèche, lancéolé (En fer de lance), lobé (portant des échancrures), à bord lisse ou denté, etc. Les principales formes et morphologies de feuilles sont représentées dans la figure. I. 22, ci-dessous

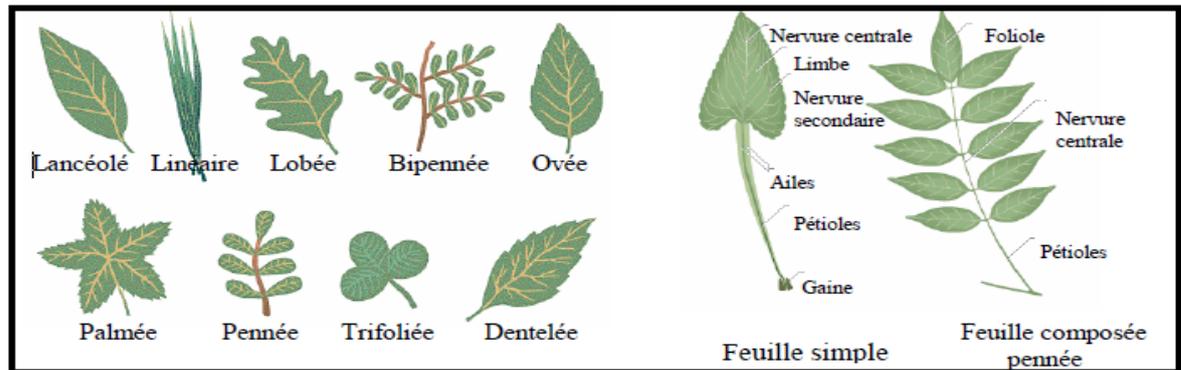


Figure. I. 22: Forme et type de feuilles.

Source: <http://crapouillot-montessori.blogspot.com/2015/10/feuille-les-differents-bordmarge.html>

I.7.5. Qualités associées à la végétation

Les modalités d'intervention de la végétation sur le milieu urbain sont nombreuses et font appel à une analyse multi-sensorielle. Les **dimensions esthétiques** et les **qualités visuelles** ont déjà été abordées dans le paragraphe précédent.

L'impact acoustique est parfois mentionné à travers une atténuation de certaines fréquences du spectre sonore mais reste sujet de controverse (**Robinette 1972**).

Le jeu du vent à travers les feuillages via le son est un élément intéressant à retenir : en été un bruissement de feuilles nous avertit qu'un courant d'air peut nous rafraîchir et est donc ressenti comme agréable, alors qu'en hiver le sifflement du vent dans les branches nous alerte de conditions météorologiques défavorables (**De Sablet 1988**).

La dimension sensorielle aborde également le domaine des odeurs par la qualité olfactive des différentes essences, dont certaines ont le pouvoir d'évoquer un souvenir lié à une période de l'année ou à une région.

Le sens tactile n'est certes pas très développée dans nos sociétés, cependant cette dimension peut être mise en œuvre par le jeu sur les textures des différents végétaux et est donc un point que l'on se doit de signaler.

En terme de protection face à des nuisances, les intérêts de la végétation sont nombreux (Figure I.23 et Figure I.24.) réduction de la pollution atmosphérique et amélioration de la qualité de l'air par fixation de certaines poussières, diminution de l'effet

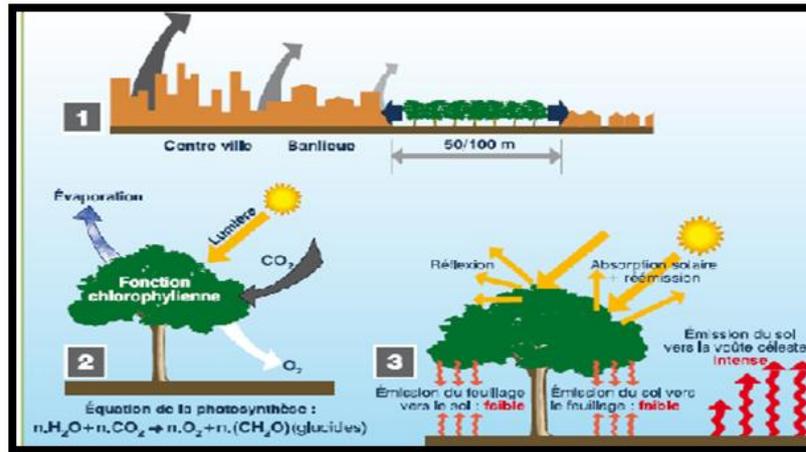


Figure. I. 23: Les différents effets de la végétation. (Source : Liébard et al. 2005)

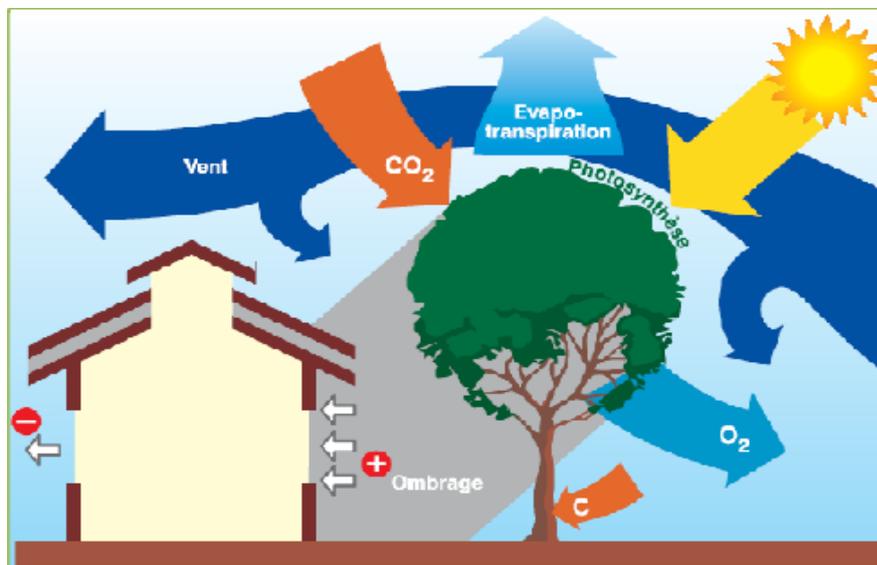


Figure. I. 24: 1- Effet d'humidification: une bande de végétation suffisante peut créer une baisse de 1° de 3,5°C et une augmentation de 5 % de l'humidité relative, 2-Effet d'oxygénation, 3-Action d'absorption et de réémission du rayonnement solaire. (Source : Liébard et al. 2005)

de ruissellement par interception des pluies, protection contre l'érosion due aux vents et à l'eau, affaiblissement de la présence de rosée et de gelée, suppression des éblouissements par effet de filtre ou d'écran, etc.

Cependant, la capacité d'adaptabilité des espèces végétales est à prendre en compte car les nuisances précédemment citées sont autant de problèmes pour les différentes essences. En effet, les arbres doivent présenter des symptomatiques à leur survie (faculté à tolérer plusieurs stress, à résister aux maladies du sol et de l'air, à la pollution, à l'ombre des bâtiments, etc.).

Il est important également de choisir des espèces dont le bois n'est pas cassant et dont les racines ne peuvent pas détériorer les trottoirs et les canalisations.

Bien évidemment nous ne pouvons pas nous attarder sur chacun de ces points, tant la largeur du champ d'investigation nous éloignerait de notre recherche sur l'impact énergétique et nécessiterait un investissement dans de nombreux domaines.

Cependant des éléments de réponse sont avancés dans des ouvrages généraux, mais doivent être étudiés de manière précise et renvoient donc à la littérature scientifique spécialisée. (Robinette 1972, Izard 1979, Muret 1987, Givoni 1991, Maillet et al. 1993)

I.7.6. Effet du végétal sur le confort

Le végétal a un rôle primordial sur le refroidissement et la qualité de l'air ; mais on ne peut pas nier son impact sur le confort sensoriel.

I.7.6.1. L'impact acoustique : est parfois mentionné à travers une atténuation de certaines fréquences du spectre sonore, un élément est cependant intéressant à retenir c'est le jeu du vent à travers les feuillages via le son, en été un bruissement de feuilles nous avertit qu'un courant d'air peut nous rafraîchir et donc ressenti comme agréable, alors qu'en hiver le sifflement de vent dans les branches nous alerte de conditions météorologiques défavorables.

(Figure. I. 25).

I.7.6.2. L'impact sur l'odorat

La dimension sensorielle aborde également le domaine des odeurs par la qualité olfactive des différentes essences, dont certains ont le pouvoir d'évoquer un souvenir lié à une période de l'année ou à une région.

En outre la protection face aux nuisances, réduction de la pollution atmosphérique et amélioration de la qualité de l'air par fixation de

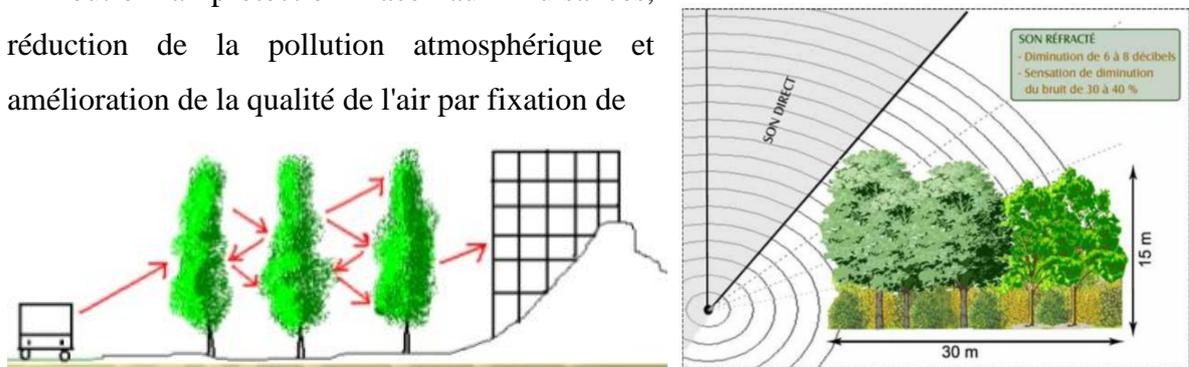


Figure. I. 25: L'impact la végétation sur le confort acoustique (Source : Société de l'arbre du Québec. 1998).

certaines poussières, diminution de l'effet de ruissellement par interception des pluies, protection contre l'érosion due aux vents et à l'eau, suppression des éblouissements par effet de filtre ou d'écran.

I.7.7. Le confort lumineux

Exige des espaces intermédiaires, une transition entre l'ombre et la pleine lumière afin d'éviter des phénomènes d'éblouissement (M. A. Guyot, 1998). Figure. I. 26

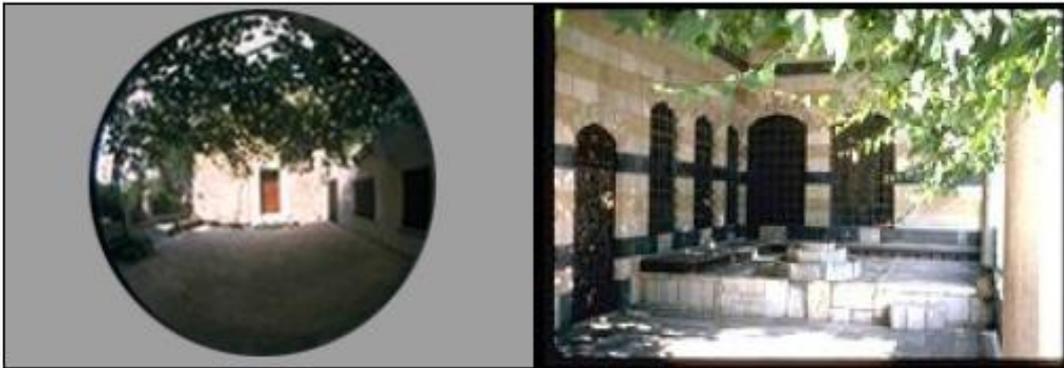


Figure. I. 26: confort lumineux et effet tampon du végétal. (Source : M. A. Guyot, 1998)

I.8. Modification des échanges radiatifs

Parmi les actions considérables du végétal sur le microclimat, son pouvoir d'absorption ou de réflexion de la radiation solaire, le rayonnement incident réfléchi par la partie supérieure du couvert végétal est en partie capté par les irrégularités de la surface comme l'indique schématiquement la figure. I.27, ci-dessous

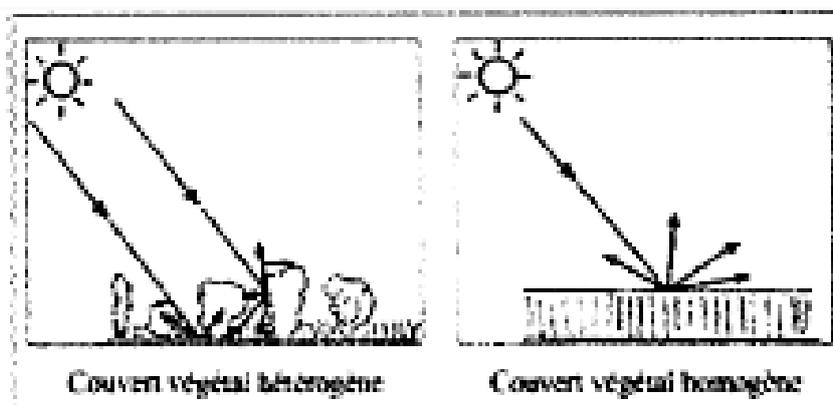


Figure. I.27 : Schématisation de l'effet de piégeage de la lumière d'un couvert végétal. (Source : Guyot. G., 1997).

L'utilisation des arbres est une des techniques très efficaces pour contrôler la température du sol et des surfaces voisines par l'observation plus ou moins intégrale de la radiation solaire incidente.

Les feuilles absorbent la plupart des radiations solaires qui les atteignent, une petite partie de cette énergie est transformée en énergie chimique lors de la photosynthèse ce qui devrait induire une réduction d'un bilan thermique de l'espace urbain, or le rendement de cette transformation est faible et on peut donc considérer que l'effet thermique est négligeable, 1 à 2% (Givoni 1991).

La densité d'un feuillage détermine plus ou moins la perméabilité à la lumière et aux rayonnements de grandes longueurs d'onde. Cette densité varie de façon sensible suivant l'espèce considérée, son développement (âge) et la saison. (Figure. I.28).



Figure. I. 28: Transmission solaire. (Source : Akbari et Al., 1992)

Les arbres urbains peuvent constituer trois types d'écrans :

- * Un écran opaque (conifères).
- * Un écran semi transparent (arbres à feuilles caduques).
- * Un écran transparent (certains arbres fruitiers ou certaines espèces de pins).

Aussi bien les dimensions de la couronne végétale sont des paramètres très importants qui vont définir la tâche d'ombre au sol et sur les façades des bâtiments proches, il est à noter que les apports solaires transmis ne sont pas forcément nul, il est donc nécessaire d'associer à la tâche d'ombre la part d'énergie qui atteint les surfaces.

I.8.1. L'indice Foliaire

Lorsqu'on parle de masse végétale, il est utile de donner la définition de l'indice foliaire qui est le rapport entre la surface de toutes les feuilles du couvert végétal et la surface du sol sous-jacente, dont une seule des deux faces de la feuille doit être considérée, lorsque celle-ci est plane, pour une aiguille de conifère, on prend la moitié de la surface totale. L'indice foliaire varie de 0 (sols nus) et 10, les valeurs usuelles vont de 4 à 8 pour une culture annuelle à son maximum de végétation ou une forêt de feuillus en été.

La pénétration du rayonnement solaire dans un couvert végétal décroît de façon exponentielle avec le chemin parcouru environ 95% du rayonnement intercepté est absorbé par le feuillage, qui en réfléchit de l'ordre de 5% dans le visible ; ainsi les effets de réverbération ou d'éblouissement dus à l'ombre et au soleil peuvent être largement atténués par une lumière diffuse fournie par la présence d'une couverture végétale.

Avec le type de mesure (thermographie infrarouge) l'équipe d'ABC à Marseille est arrivée à la conclusion que la masse foliaire des arbres en jardins, comme en alignement a tendance à conserver une température voisine de la température de l'air sous abri et souvent même une valeur inférieure (**Groupe ABC 1997**).

On peut dire donc que sous une masse foliaire, tout ce passe comme si le rayonnement solaire était totalement annulé, il est à noter que cet effet est très intéressant sur les voies urbaines avec les arbres d'alignement. Celles-ci deviennent des espaces non seulement à l'ombre, mais aussi des zones dans lesquelles aucun effet de surface chaude ne vient augmenter la température environnante, ce qui entraîne non seulement une réduction de la température du sol mais également une diminution de la radiation réfléchie vers les zones occupées. « Donc une masse végétale se comporte comme un plafond réfrigérant » (**Destobbeleire, G. et Izard, J-L. 1998**).

Il faut cependant se méfier, car les arbres en villes croissent généralement dans des zones pavées, le long des rues et sur des parkings.

Les surfaces pavées comme l'Asphalte sont des environnements chauds car l'absence de refroidissement par évaporation entraîne une augmentation de la température de la surface végétale. La manière dont l'arbre répond à une augmentation de l'énergie dépend des espèces, de l'humidité et de l'exposition de la couronne.

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

L'énergie retenue par les feuilles résulte d'une combinaison entre une plus forte transpiration et une clôture partielle des stomates qui entraînent une augmentation de la température des feuilles.

Celles-ci ne pouvant plus évacuer ces apports, ainsi les espèces à stomates sensibles ou en zones arides avec humidité faible, retiennent l'énergie, augmentent la température des feuilles et la valeur du déficit de pression de vapeur entre les feuilles et l'air, ce qui peut accélérer le processus de fermeture et donc d'échauffement.

Le regroupement d'arbres ou l'augmentation de la densité de la couronne devrait probablement permettre une dissipation du rayonnement intercepté sur plus de feuilles et ainsi réduire les gains d'énergie

Ce qui indique que l'arbre modifie le bilan thermique et notamment les échanges radiatifs avec son environnement. Figure. I.29.

I.8.1.1. Effet modérateur du végétal sur la température de l'air et l'îlot de chaleur urbain

L'effet de refroidissement du végétal a été simulé pour le cas de Montréal où le refroidissement dû à l'évapotranspiration croît (Jusqu'à -6°C) avec le taux de surfaces évapotranspirantes vertes de l'ensemble de la ville, mais la loi n'étant pas linéaire, ce sont les premières 20 à 30% de ces surfaces qui sont les plus efficaces (-3°C). Figure. I. 30.

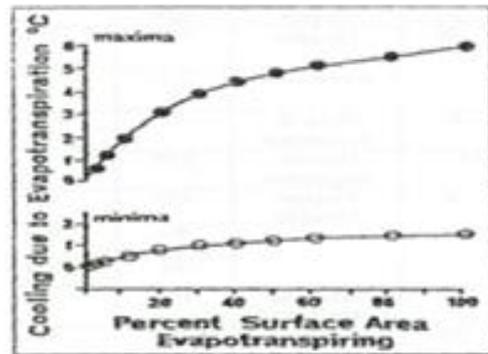


Figure. I. 29: Modification des échanges radiatifs. (Source : Izard et al. 1979)

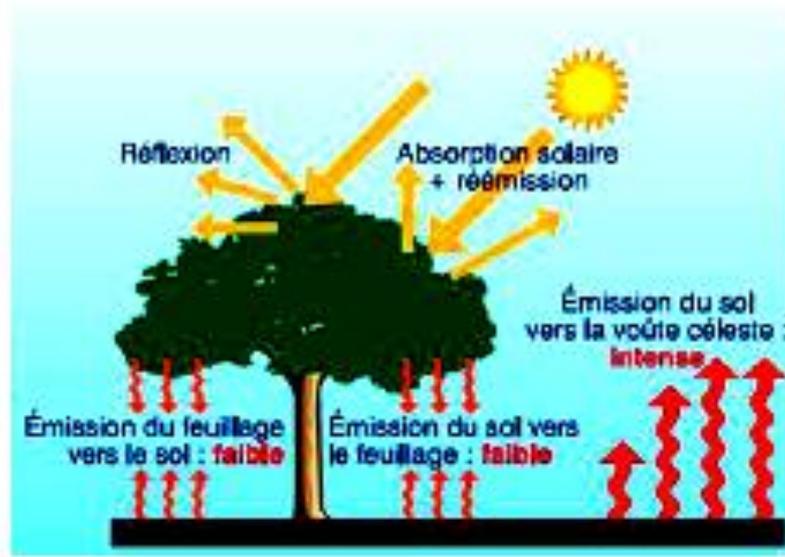


Figure. I. 30: Effet de refroidissement par évapotranspiration en fonction du taux de surfaces. (Source: Oke, T.R., Vogt, J.A 1997)

Cette analyse synthétique des différents travaux permet de fixer les ordres de grandeur quant aux impacts envisagés au niveau des températures de surface et d'air. A l'issue de ces premières caractéristiques de la végétation, nous pouvons résumer la majorité des éléments que nous avons avancés dans le schéma présenté, (figure. I.15). Sur cette figure, les

flèches rayées de couleur jaune et bleu représentent les rayonnements de courte longueur d'onde et celles de couleur rouge, les rayonnements de grande longueur d'onde. (Vinet J., 2000). (Figure. I. 31)

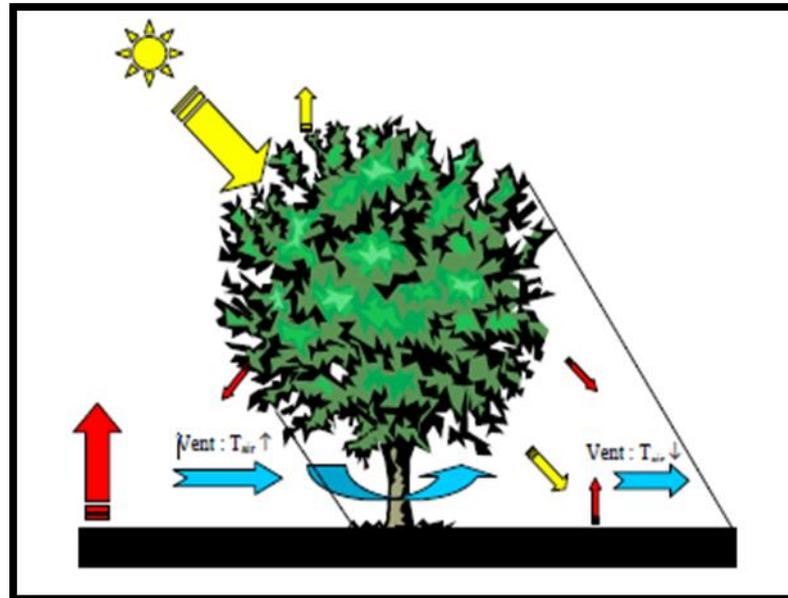


Figure. I. 31: Modification des transferts de chaleur autour d'un arbre. (Source : Vinet J., 2000)

I. 9. Effets microclimatiques de la végétation urbaine

La présence de végétation en milieu urbain est un facteur très important ; car les effets induits sont nombreux et concerne aussi les problématiques d'urbanisme et de climatologie que de confort et d'ambiance. Figure. I.32.

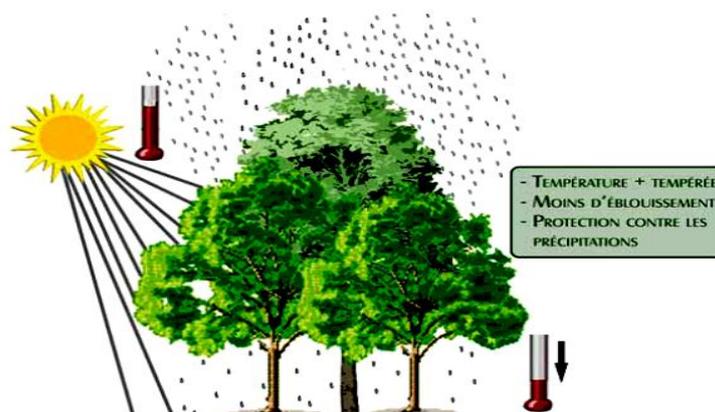


Figure. I. 32: un microclimat plus confortable par la présence des arbres. (Source : (<http://fr.slideshare.net/Saamysaami/vgtation-confort>))

L'impact de la végétation peut être direct mais il peut aussi apparaître de manière indirecte et à une échelle plus importante spécifique du champ d'urbanisme, par le biais du micro climat urbain, ou le végétal joue un rôle très important, cela par la connaissance du fonctionnement microclimatique du végétal urbain sous toutes ses formes et leurs effets qui se subdivisent essentiellement en trois grands effets

- Effet de refroidissement de l'air par échange gazeux.
- Effet d'ombrage des espaces urbains.
- Effet aéraulique des végétaux urbains.

Qu'on va essayer de traiter avec plus de détails en cour de ce chapitre.

I.9.1. Végétation et refroidissement

L'effet de refroidissement des espaces verts sur le microclimat urbain est un champ de recherche et d'étude de beaucoup de sciences appliquées : Climatologie et météorologie, des Forêts et Arboriculture, conception bioclimatique et physique du bâtiment, aménagement du paysage, et autres (Scudo., 2002).

Il ressort clairement qu'aucun élément ne peut disposer des meilleurs effets pour l'amélioration du confort thermique dans la rue pendant une longue durée de la journée et dans différentes directions et autours des bâtiments, mais des études ont montrées que l'effet de l'orientation et la géométrie est bien réduit dans le refroidissement passif estival de l'espace urbain que celui de l'arbre, il a même été constaté que le végétal arrive à compenser l'effet de ses deux facteurs réunis.

Outre l'ombre protectrice que l'arbre peut donner, il régule aussi la température de l'air environnant. Cet effet thermique modérateur de la végétation n'est pas dû seulement au processus d'évaporation mais aussi radiatif, en raison de la surface froide ombragée (Bartholomei, B et Labaki).

lors d'une étude faite sur un échantillon d'espèces d'arbres tropicaux au Brésil, ont constaté qu'en été tropical, la réduction du rayonnement solaire varie entre 76,3 à 92,8%. (Wardoyo, J. Budiharjo, E. Nur, M et Prianto, E., 2011).

L'effet de refroidissement se trouve dépendant de l'étendue de la zone partielle ombragée, d'où plus la zone est importante plus le résultat est significatif, il se trouve même dépendant de la densité des bâtiments et de leurs hauteurs. Des études ont montré que l'effet des petits espaces arborés est relativement perceptible à 100m, tandis qu'un grand espace fortement arboré peut s'étendre jusqu'à 2km.

I.9.2. Végétation et ombre

Quand on parle du végétal, c'est les différents types de végétation entre arbre (isolé, bosquet ou en rangée) arbuste, herbe ... mais de tout traitement végétatif, le déploiement des arbres d'ombrage est l'astuce la plus efficace pour l'atténuation de la surchauffe estivale due principalement à la chaleur stockée par les surfaces ensoleillées, mais son efficacité dépend de sa densité, sa forme, sa dimension et surtout sa position. Figure. I.33.

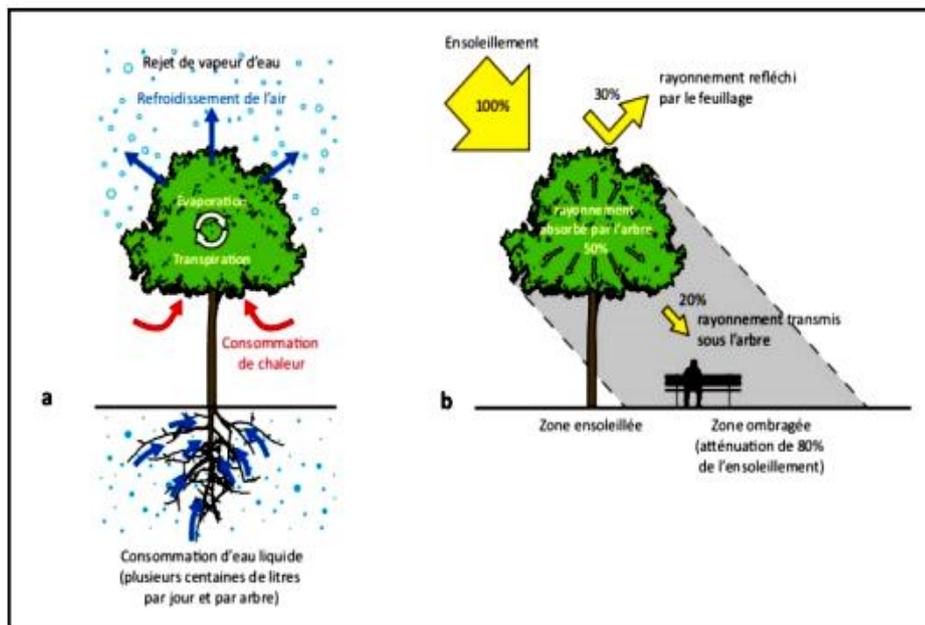


Figure. I. 33: Processus physiques principaux à l'origine des modifications radiatives et thermiques du climat urbain. (Source : APUR, 2012)

Il se trouve que la structure de la couronne, sa hauteur, la forme et la couleur des feuilles influence le degré de réduction du rayonnement solaire (Bartholomei, B et Labaki., 2005). (Wardoyo, J. Budiharjo, E. Nur, M et Prianto, E., 2011).

Il ressort que la densité donne un plus grand potentiel d'ombre, par ailleurs, la densité selon Scudo., (2002), pour un mouvement d'air dans les zones chaudes (comme le cas de son étude) obstrue le vent et c'est une situation indésirable pour les zones chaudes et humides. En donnant de l'ombre, l'arbre contribue à la réduction des charges thermiques sur les bâtiments, ce qui réduit significativement l'énergie de refroidissement à l'intérieur des bâtiments.

I.9.3. Effet d'ombrage du végétal urbain

L'ombre des arbres et des végétaux n'a pas un effet très marqué sur la température de l'air, par contre cette ombre réduit considérablement les flux solaires et en limitant les

échauffements des surfaces qui normalement devrait être ensoleillées, réduit aussi les flux radiatifs thermiques.

I.9.3.1. L'ombre

Est en général l'effet principal, recherché lorsque l'on plante des arbres ou lorsque l'on fait pousser des plantes grimpantes sur treille ou pergola. « L'ombre du platane est unanimement reconnue comme le plus agréable, elle participe sans doute aux raisons de son succès ; fraîche sans être froide, elle reste lumineuse à condition que la taille n'ait pas contenue à l'excès son volume folié. Elle est préférée à celle du micocoulier car ce dernier à une ombre plus tamisée alors que la platane à une ombre unie ».

L'instrument de mesure le plus adéquat pour faire apparaître l'influence de l'ombre du végétal serait donc : *le thermomètre à globe*.

Des études ont été faites à l'école d'architecture de Valence dans le but de trouver les espaces les plus confortables dans la ville de Valence (une des études a été faite sur les principales interactions entre les espaces verts et les paramètres environnementaux urbains) Des prises de mesures du rayonnement solaire ont été effectuées au dessous de l'arbre, donc il était possible de calculer un pourcentage d'absorption pour chaque espèce par rapport aux valeurs totales mesurées dans la ville.

En mesurant la température de l'air et l'humidité relative dans les allées et dans les zones vertes, un écart de température de 2.5°C a été trouvé entre les surfaces au sol à l'ombre couverte de végétal et les rues entourées de bâtiments. Cet écart est dû au rafraîchissement apporté par évapotranspiration du végétal. Tableau .I.04.

Espèces	Pourcentage du rayonnement global transmis(%)	Rayonnements mesurés au-dessous des arbres (W/m ²)
Acer Negundo	15.2	88.6
Catipa Bignoïnoïdes	1.5	85.8
Geltis Australis	0.6	91
Ficus Mcrophila	0.3	93.8
Pincus Alepensis	1.2	85.8
Robinia Pseudoacacia	7.7	93.2

Tableau .I.04 : Espèces et transmission du rayonnement solaire.

I.9.3.2. Détermination de l'ombrage des végétaux

L'ombre effective des arbres sur le sol ou sur les façades environnantes dépend de deux (02) phénomènes :

a- L'ombre portée par la forme de la canopée entière supposée opaque.

b- La transmission solaire de la canopée elle-même.

Le premier phénomène permet de déterminer les surfaces du sol ou des façades de bâtiments soumises à l'ombre d'un arbre pendant une journée particulière de l'année.

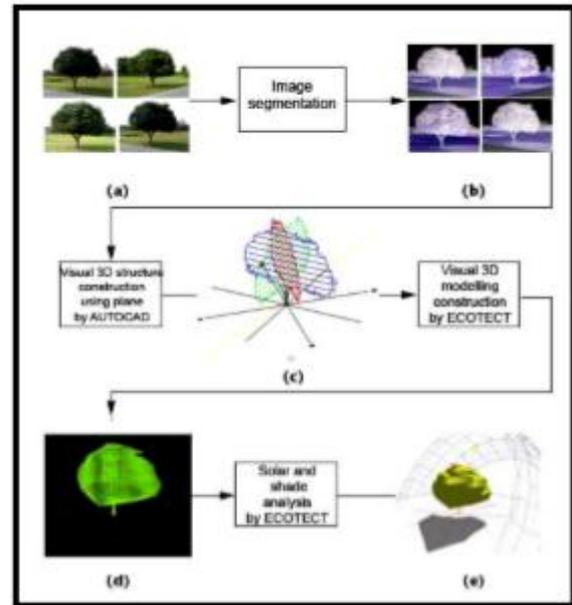


Figure. I. 34 : tracer l'ombre à l'aide de logiciel d'Ecotect. (Source : Shahida et al, 2007).

Le second phénomène permet d'évaluer le taux d'ombrage obtenu dans les zones sous influence de l'ombre de la canopée.

Pour voir l'effet de l'ombre apporté par le végétal ; c.-à-d. l'ombre portée par la forme de la canopée, il faut faire une projection d'une forme géométrique sur un ou plusieurs plans, puisque toute canopée peut être

assimilée à un volume de forme ; sphérique, cylindrique, conique, elliptique, cubique... etc., selon leur forme naturelle ou la manière de tailler leur feuillage.

Pour les plantes grimpantes il est supposé de faire des surfaces planes (pergolas et treilles).

Il s'agit de résoudre la projection du volume sur un ou plusieurs plans selon les angles d'incidences des rayons solaires, dont plusieurs méthodes peuvent être employées.

*La saisie des formes sphériques, conique et cylindrique pour déterminer l'ombre sur de parois verticales.

*Géométriser les canopées de diverses essences répandues en région méditerranéenne, dans le but d'établir leur ombrage sur des parois.

*Les logiciels de type modeleurs, peuvent être utilisés l'ors qu'ils comportent une fonction héliodon, exemple : ARCHI-CAD, on peut alors soit tracer l'ombre portée vue en plan, en axonométrie ou en perspective, et utilise le logiciel Rayman.

et logiciel d'Ecotect. Figure. I.34. et I. 35.

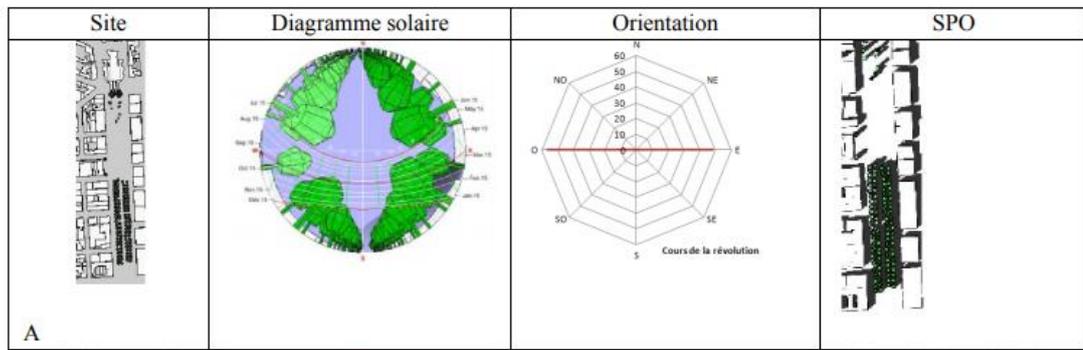


Figure. I. 35 : tracer l'ombre à l'aide de logiciel Rayman. (Source : Tebbani et al, 2015).

La végétation se distingue des autres protections par son aspect physique, naturel et son aspect saisonnier pour les arbres caduques

I.10. Effet aéraulique du végétal urbain

Le végétal et le vent interagissent pour définir des ambiances urbaines, en particulier dans le domaine de l'aéraulique, cette interaction doit être analysée selon deux points de vue :

- Les effets du vent sur le végétal urbain.
- Les effets du végétal sur le vent milieu urbain.

I.10.1. effet de refroidissement

Il n'avait été déjà cité que le vent, en accélérant les échanges thermiques avec l'air environnant, avait pour effet de réduire les effets de refroidissement dus à l'évapotranspiration, cet effet de refroidissement au lieu de se limiter au volume d'air adjacent à l'arbre se dissipe dans l'air qui circule et devient totalement insensible.

I.10.2. Effets mécaniques

Les fortes vitesses de vent peuvent provoquer des cassures des branches et des troncs.

La présence d'un vent dominant est à l'origine aussi de ce qui est appelé «Anémomorphisme» du végétal.

Lorsque l'arbre se développe dans un site canalisant le vent, son feuillage prend une forme et constitue en général un indicateur de l'écoulement dominant de l'air, cela vaut pour les sites naturels, comme pour les sites urbains.

I.11. Vent et développement des arbres

Au-delà d'une certaine vitesse d'air (estimé par certains à 2m/s) les stomates de feuille se ferment et la photosynthèse s'interrompt ou se ralenti fortement, cela peut se confirmer

par une observation du fait que les arbres en zones abritée du vent sont en général plus développés que dans les zones où ils se trouvent exposés à un vent dominant.

I.11.1. Effet du végétal sur le vent

Par la porosité géométrique qui est défini comme apport :

Surfaces des trous / surfaces total.

Le feuillage d'un arbre se laisse traverser par le flux d'air ce qui a pour effet en général d'en réduire la vitesse.

Beaucoup de défenseurs de la cause du végétal urbain placent cet effet de réduction des vitesses d'air au crédit des arbres urbains.

I.11.1.1.Effet de changement de rugosité

Les arbres apportent une rugosité au sol qui influe sur les écoulements d'air et notamment sur les vitesses d'air.

Dans une forêt les vitesses d'air sont donc globalement diminuées par rapport à un terrain découvert.

Les clairières provoquent donc une variation brutale de la rugosité qui se traduit par des changements micro climatiques et en particulier par une variation de la vitesse d'air.

I.11.1.2.Effet de brise vent

La disposition des végétaux en haies permet de protéger des espaces au sol sur une distance qui peut s'exprimer en multiples de la hauteur. Cet effet est recherché à l'origine pour la protection des clôtures en zones de vent.

D. Soltner a proposé différentes solutions en donnant la distance de protection.

La longueur protégée peut aller jusqu'à 35 fois la hauteur, et est en moyenne de l'ordre de 15 fois la hauteur de la haie végétale. « La bande boisée perméable et large est le brise vent le plus efficace, l'air s'y engouffre presque totalement sans provoquer de turbulence et s'élimine progressivement par le haut des arbres... » Cette solution pourrait être mise en œuvre dans des espaces dégagés en ville pour offrir une zone de calme par rapport à un vent dominant.

Des aménagements peuvent alors proposer des systèmes végétaux de protection face aux nuisances aérauliques.

Lorsque l'arbre est aggloméré en forêt, l'écoulement de l'air est modifié par effet de rugosité, et l'on peut dire alors que dans cette mesure il a une influence sur le vent.

Les arbres de la ville auront une influence d'autant plus grande -sur les écoulements d'air que l'espace urbain qu'ils occupent sera plus large. Figure. I. 36.

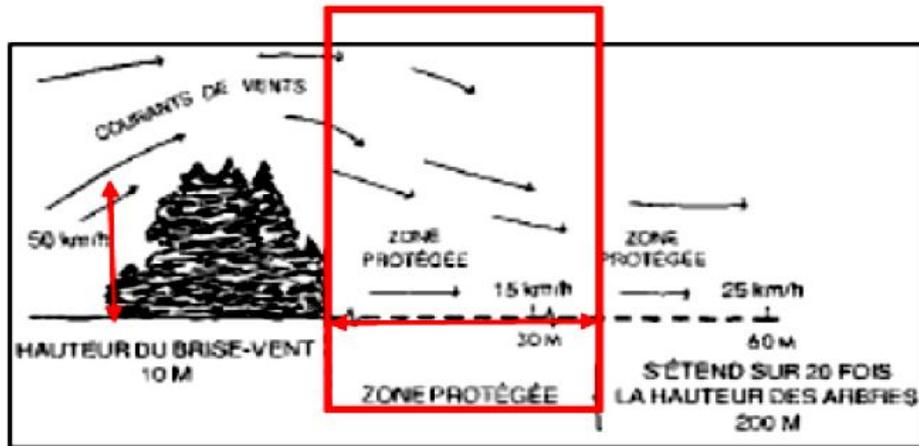


Figure. I.36 : Effet de brise vent : distance de protection. (Source : John D.Wilson)

I.12. Température de surface des végétaux

Des mesures thermiques par imagerie infrarouge indiquent que la température de surface du feuillage est pratiquement équivalente à celle de l'air sous abri, même pour des conditions de rayonnement solaires très différentes. En effet, on peut relever que les différences de température, des feuilles des faces supérieures et inférieures d'une pergola, pour un apport solaire de 465 W/m², sont les mêmes à 1 °C près, l'écart n'étant que de 2°C pour un rayonnement de l'ordre de 930 W/m².

Dans les illustrations suivantes, nous confirmons ce résultat (Figure I.18). Les températures de surface observées dans l'infrarouge, indiquent les zones de la couronne végétale de l'arbre qui sont à 27, 28 et 29 °C dans le cas où celui-ci est dans un air à 28 °C et soumis à un ensoleillement important correspondant à celui d'une journée claire d'été. (Alvarez et al. 2000). Figure. I. 37.

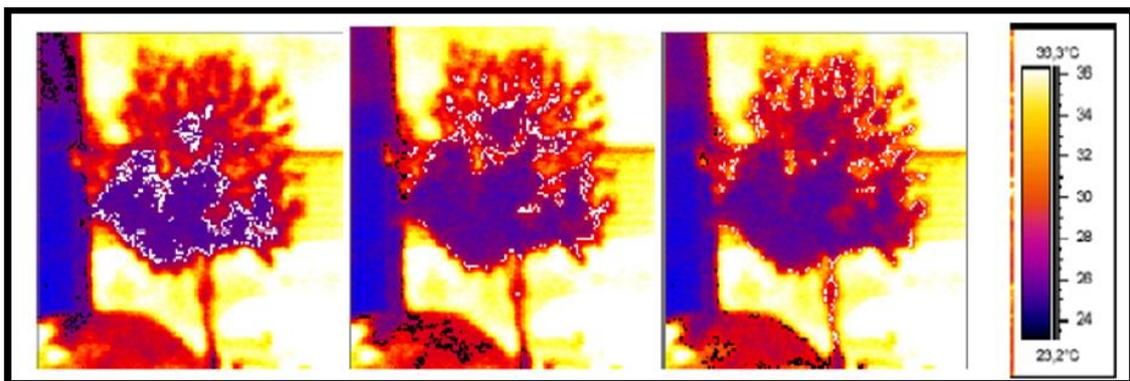


Figure. I. 37 : Zones végétales isothermes à 27, 28 et 29°C. (Source : Alvarez et al. 2000)

Avec le même type de mesure (thermographie infrarouge), l'équipe d'ABC à Marseille est arrivée à la conclusion que la masse foliaire des arbres, en jardin comme en alignement,

a tendance à conserver une température voisine de la température d'air sous abri et souvent même une valeur inférieure (Groupe ABC 1997).

Autrement dit, sous un arbre, tout se passe comme si le rayonnement solaire était totalement annulé. Cet effet est très intéressant sur les voies urbaines avec arbres d'alignement. Celles-ci deviennent des espaces non seulement à l'ombre, mais aussi des zones dans lesquelles aucun effet de surface chaude ne vient augmenter la température environnante. En effet, cela entraîne non seulement une réduction de la température du sol, mais également une diminution de la radiation réfléchie vers les zones occupées. Une masse végétale se comporte donc comme un « plafond réfrigérant » (Destobbeleire et al. 1998). Les zones de pelouse ont également tendance à équilibrer, comme la couronne des arbres leur température avec celle de l'air (De La Torre et al. 1998).

Certains travaux apportent une correction à ce constat sur l'équivalence des températures d'air et de surface des végétaux (Kjelgren et al. 1998).

En effet, les arbres en ville croissent généralement dans des zones pavées, le long des rues et sur des parkings. Les surfaces pavées comme l'asphalte sont des environnements chauds car l'absence de refroidissement par évaporation entraîne une augmentation de la température de surface.

Ces températures élevées induisent des échanges radiatifs de grande longueur d'onde plus importants que dans le cas d'une surface végétale. La manière dont l'arbre répond à une augmentation de l'énergie dépend des espèces, de l'humidité et de l'exposition de la couronne. Les arbres à larges feuilles caduques qui interceptent l'énergie due au rayonnement de grande longueur d'onde ne dissipent pas immédiatement leur chaleur par refroidissement convectif.

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

Il est à signaler qu'un calcul en régime permanent des températures de surface peut être envisagé. En effet, la capacité de chaleur par unité de volume varie de 1 MJ.m⁻³.K⁻¹ pour le bois du pin rouge à 2 à 3 MJ.m⁻³.K⁻¹ pour les feuilles et les fruits. Ainsi, les constantes de temps sont de l'ordre de quelques secondes pour les petites feuilles, de quelques minutes pour les feuilles larges et de quelques heures pour le tronc (Monteith et al. 1991). Enfin, nous ajoutons que la température des troncs suit la température de l'air avec une différence positive moyenne de 0.5 °C, l'écart maximal étant de 2°C en début d'après-midi (Escourou 1981).

Dans certaines études, les images prises dans le domaine du rayonnement de grande longueur d'onde (infrarouge) au-dessus des villes ont la possibilité de mesurer les températures de surfaces des objets qui la composent ; rues, places, parcs urbains, forêt, plans d'eau, l'exemple de l'étude faite à Stuttgart par Robel. Hoffmann et Rickert en 1976.

Les images de deux passages au-dessus de la ville par un beau jour anticyclonique de juin (Soir et matin) ont été récupérées et doublées par des mesures de température d'air au sol.

On peut voir dans le tableau que les végétaux limitent les échauffements qu'ils soient sous forme de parc urbain ou de forêt plus compact, en début de soirée ; le centre-ville est chaud et entièrement inclus dans la même classe de température de surface tandis qu'en milieu de nuit des différences significatives apparaissent entre les rues et les îlots.

I.13. L'évapotranspiration

L'évapotranspiration (*ET*) est le phénomène combiné de perte en eau par évaporation directe et par transpiration¹¹⁷. L'évaporation est le processus par lequel l'eau liquide des surfaces d'eau, des trottoirs, du sol et de la végétation humide est convertie en vapeur d'eau (vaporisation) et enlevée à la surface. Quant à la transpiration, elle comprend la vaporisation de l'eau liquide contenue dans les tissus végétaux et l'extraction de vapeur vers l'atmosphère. Ressource indispensable à la croissance des plantes, l'eau est un élément constitutif majeur de la matière végétale ainsi qu'une source d'hydrogène et d'oxygène pour la plante. L'eau, ainsi que quelques aliments, est prise par les racines et transportée par la plante ; la vaporisation se produit dans la feuille, à savoir dans les espaces intercellulaires, et l'échange de vapeur avec l'atmosphère est commandé par l'ouverture du stomate.

Presque toute l'eau prise est perdue par la transpiration et seulement une fraction dérisoire est employée au sein de la plante. Les deux processus, d'évaporation et de transpiration se

produisent simultanément et il n'est pas facile de distinguer l'un de l'autre, de sorte qu'ils sont réunis sous le terme général d'évapotranspiration. Suite à des travaux entrepris sur l'estimation des besoins en eau des cultures, on peut distinguer différentes notions dans l'évapotranspiration. Figure. I. 38.

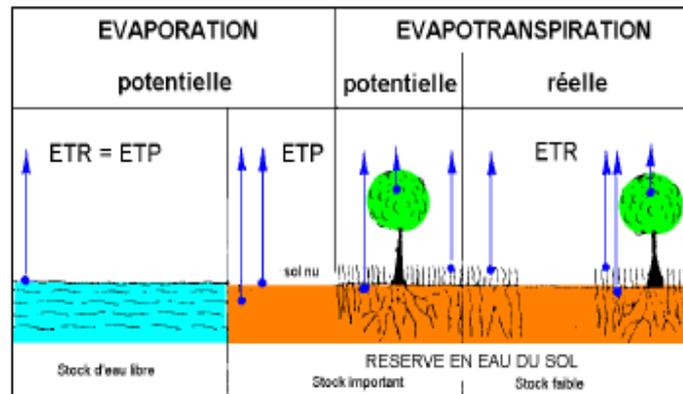


Figure. I. 38 : évaporation et évapotranspiration potentielle et réelle.
 (Source : <http://www.u-picardie.fr>).

L'évapotranspiration correspond pour les plantes et pour leur environnement, -en particulier le sol- à une perte de vapeur d'eau vers l'atmosphère qu'il faut compenser par des apports d'eau.

L'évaporation potentielle (EP) : Evaporation potentielle = correspond à la quantité d'eau nécessaire à la plante pour éviter, l'échauffement excessif des feuilles, compte tenu des conditions radiatives et hygrométriques en supposant illimitée la quantité d'eau disponible dans le sol. Est obtenue lorsque toutes les surfaces évaporantes d'un couvert végétal sont recouvertes d'eau et donc saturées d'eau (possibilités maximales d'évaporation dans des conditions climatiques données).

L'évaporation potentielle théorique (EP) : représente la valeur maximale de EP, lorsque la végétation n'oppose aucune résistance au transfert de vapeur d'eau. Elle peut être déterminée à partir de formules climatiques comme la formule de Penman.

L'évapotranspiration réelle (ETR) : est égale à la quantité d'eau qui est réellement évapotranspirée et dépend des conditions climatiques (en particulier du bilan radiatif et du vent), de la disponibilité de l'eau à la surface (résistance stomatale en particulier) et des caractéristiques de la partie aérienne des couverts végétaux (étendue, hauteur, disposition des surfaces évaporantes dans l'espace). Donc, elle correspond au cas général dans les conditions naturelles et par conséquent c'est celle qui nous intéresse.

L'évapotranspiration réelle maximale (ETR_m) : est la valeur de l'ETR lorsque la résistance stomatale du couvert est minimale.

L'évapotranspiration potentielle climatique (ETP_c) : correspond à la valeur de l'ETP obtenue à partir des données météorologiques sur des intervalles de temps allant de la journée au mois.

La dépense en eau doit donc être mise en perspective avec des rendements de croissance fixés. Les paramètres ayant une influence sur les débits d'eau perdus doivent être connus.

Pour donner un chiffre global Hanson rappelle qu'à l'échelle d'un continent comme celui des Etats-Unis. L'évapotranspiration. C'est à dire L'évaporation directe à partir des surfaces humides à laquelle s'ajoute la transpiration des végétaux représente de 40 à 100% des précipitations annuelles en allant du nord -Ouest au sud-ouest du pays, en moyenne cela représente 67% soit plus de deux fois les débits cumulés des cours d'eau vers les deux océans 29% les chiffres annuels de la planète sont, selon le tableau. I. 5.

Lame d'eau tombée sur terre ferme	720M	100%
Evapotranspiration	410Mm	57%
Ecoulement superficiels et sous terrains	310M m	43%
Evaporation directe océans	1250Mm	
Lame d'eau tombée sur océans	1120Mm	

Tableau. I. 05 : Hauteurs d'eau annuelles échangées par évaporation.

Oke propose une formulation du bilan hydrique sous une forme prise par rapport au cycle de l'eau. Figure; I. 39.

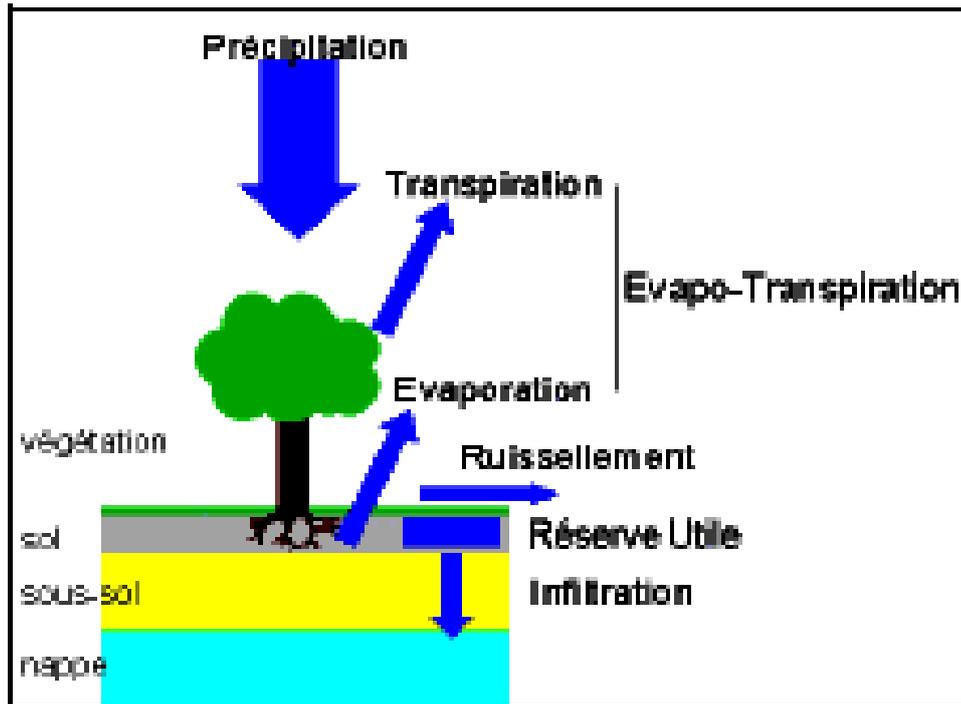


Figure. I. 39. : Place de l'eau du sol dans le cycle de l'eau.
(Source : <http://www.u-picardie.fr>).

Selon Hanson les paramètres influant sur les débits d'évapotranspiration des plantes sont :

- le rayonnement solaire net.
- l'aire des étendues d'eau.
- la vitesse du vent.
- la densité et le type du couvert végétal.
- la disponibilité de l'eau dans le sol la profondeur des racines.
- l'albédo de la surface du sol et pour les climats tempérés, la saison.

I.14. Impact de la végétation sur les économies d'énergie

Les résultats d'une recherche sur les relations entre le microclimat urbain et la densité locale des arbres, à partir de mesures dans la ville de Sacramento, en Californie (Sailor et al. 1992), révèlent une interaction complexe entre différents facteurs et mènent à la conclusion qu'une augmentation du nombre d'arbres peut élever la température de l'air urbain pour des jours globalement frais. Ce point négatif, n'induit pas pour autant d'effet significatif sur les charges énergétiques de refroidissement consommées en ville sur la saison complète d'été. En effet, l'analyse des températures confirme que les charges

résidentielles utilisées pour le rafraîchissement (mesurées par les degrés jour) peuvent diminuer de 5 à 10 % chaque fois que la densité des arbres augmente de 10 %.

Des simulations ont été présentées pour analyser les effets des arbres comme option de rafraîchissement passif des bâtiments (Raessi et al. 1999).

Les besoins horaires en charge de refroidissement sont calculés par la résolution de l'équation du bilan d'énergie pour le bâtiment.

Cette simulation est validée par comparaison avec des données relatives à une maison construite, pour être encore, un peu plus réaliste, il faut ajouter que l'ombre des arbres réduit certes la demande en air conditionné l'été mais augmente la charge de chauffage l'hiver en interceptant l'énergie solaire qui aurait été apportée à la structure de l'ombre et en considérant la réduction de la vitesse du vent (Simpson et al. 1998).

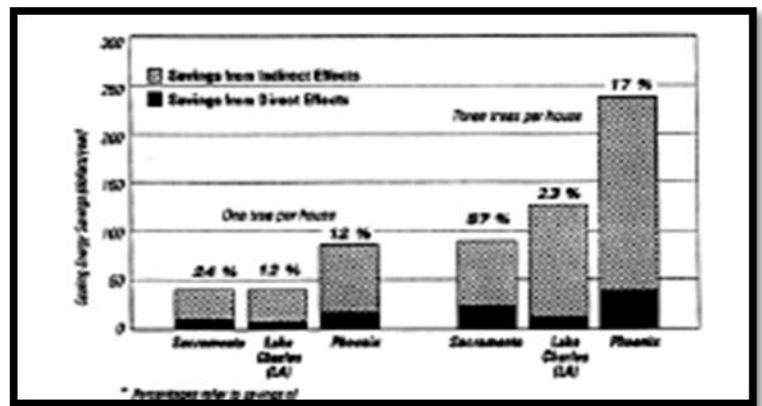


Figure I.40. : Economie d'énergie due aux effets directs et indirects des arbres dans trois villes américaines. (Source : Akbari et al. 1992)

Les effets cumulés de l'ombre et de la réduction du vent, mais sans prise en compte des effets indirects cette fois ci, induisent une économie totale annuelle de \$14.00 par arbre, soit \$43.00 par propriété. Figure. I. 40.

I.15. Effets bioclimatiques de la végétation dans les zones arides ; L'oasis

L'oasis est une zone nettement différente de l'espace environnant, et le changement des propriétés de surface s'accompagne d'un changement de propriétés de la basse atmosphère au contact de l'oasis. Figure. I.24.

Il y a donc une modification locale du climat environnant qui est le plus souvent chaud et sec avec de fortes amplitudes thermiques à cause d'un fort rayonnement solaire et de la rareté des pluies. La vitesse du vent est également souvent élevée à l'extérieur de l'oasis en raison de la faible rugosité du désert.

L'oasis modifie trois (03) éléments :

-La teneur en eau à la surface du sol en raison de la nappe d'eau proche ou de l'irrigation.

-La rugosité dynamique (ou la force de frottement du vent) augmentée par la présence des arbres et parfois plusieurs niveaux de végétation.

-La répartition verticale de l'énergie rayonnante qui est distribuée dans l'oasis en fonction des strates végétales.).

Le microclimat de l'oasis dépendra non seulement de la dimension spatiale de l'hétérogénéité créée au sein du désert mais aussi de la densité de la végétation.

(<https://revues.univ-ouargla.dz/index.php/volume-1-numero-2-ast-2007/207>).

I:15.1. Effet d'oasis

Le fait de créer, au sein d'une zone sèche ; « une tache d'humidité » modifie évidemment l'évaporation et en conséquence tout le bilan énergétique.

D'après, (Rider et al, 1963) après des mesures effectuées près d'un sol nu et sec à un gazon court bien irrigué, à travers ces travaux des informations importantes peuvent être tirées.

La présence d'une zone humide entraîne un refroidissement et une humidification de l'air qui augmentent au fur et à mesure que l'air pénètre dans la zone et que l'on se rapproche du sol.

Le flux énergétique, et en particulier l'évaporation, diminuent d'abord rapidement puis très lentement ; dans l'exemple choisi l'évaporation est à peu près stationnaire à partir de 30m du bord. Ces valeurs mettent en évidence les limites d'une modification du climat induite par un aménagement local.

I.15.1.1. L'effet brise vent de l'oasis : La turbulence au-dessus de l'oasis

Il y a peu de mesures effectuées au-dessus des oasis, mais il y a des résultats obtenus sur des peuplements forestiers ou des vergers.

La présence des arbres se traduit par une forte rugosité et un déplacement du plan de référence qui n'est plus le sol ; pour un couvert dense de hauteur h , un plan d'altitude $2h/3$ environ, tout ceci se traduit par une forte turbulence au-dessus des arbres.

La turbulence devient moins forte au-dessus et les échanges de vapeur d'eau se réduisent car le feuillage diminue. Les deux effets; augmentation de la rugosité et couvert continu qu'entraîne la présence des arbres, et qui jouent en sens inverse, conduisent en conditions hydriques non limitant à une évaporation des arbres et qui est en général assez proche de celle d'un gazon et parfois inférieur.

Ce qui affirme qu'il y a une réduction du vent à l'intérieur de l'oasis, du a la vegetation

I.15.2. Les effets d'une oasis sur les processus énergétiques dus à l'origine du climat

- Refroidissement, enrichissement en vapeur d'eau près du sol, freinage du vent, diminution et changement qualitatifs de l'énergie solaire arrivant au sol.

Parmi toutes les modifications des éléments du climat qu'on constate dans l'oasis celle qui porte sur :

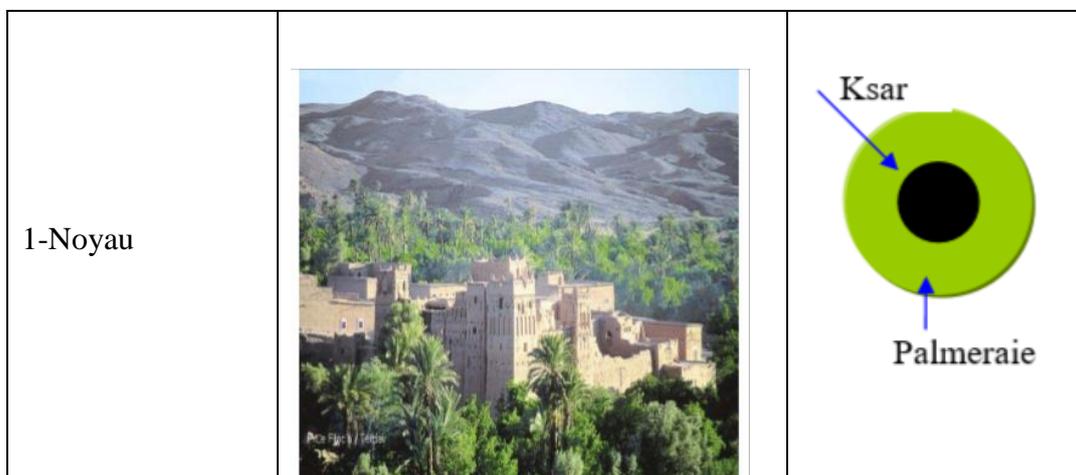
- La vitesse de l'air, est la plus marquée, elle est liée à la structure de l'oasis et à son degré d'ouverture vers l'extérieur.

Une pénétration aisée du vent se traduit par une homogénéisation des températures et l'humidité, qui ne sont modifiées que près du sol, quand l'état de surface de l'oasis est très différent de celui de la zone environnante. Au contraire, une végétation plus dense, va se traduire par un certain confinement de l'air pouvant entrainer dans l'oasis au niveau de l'abri des températures diurnes parfois plus élevée qu'à l'extérieur ; le contraire ayant lieu la nuit et une humidité plus élevée.

Pour une oasis traditionnelle à plusieurs strates de végétations, l'interception du rayonnement solaire va accentuer le refroidissement près du sol. (<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00885212/document>).

I.16. Exemples de la présence de la végétation comme élément structurant ; Les ksour

Le ksar est le mode d'implantation en milieu saharien, c'est la forme traditionnelle dans ces régions, des cités fortifiées ; leur installation dépend directement de la disponibilité des ressources en eau, une condition qui assure la culture du palmier et la création de vastes jardins. Celles-ci fonctionnent tels de micro climat indispensable à la sédentarisation humaine, leurs configurations sont variées. Figure. I. 41.



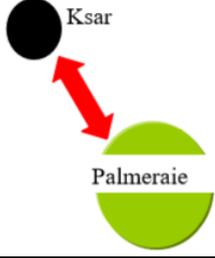
<p>2-Frontière "voisinage"</p>		
<p>3-Rupture totale</p>	<p>séparation marquée entre le milieu agricole qui se positionne dans les zones irrigables tandis que l'habitat prendra place face au désert, dans le secteur le plus aride du territoire</p>	

Figure. I. 41: Position du cadre bâti par rapport a la palmeraie (Source : Boudjelal Lazhar, 2006)

Conclusion

Dans ce chapitre s'est développée une analyse bibliographique sur les trois concepts de la recherche et la relation entre la végétation, le microclimat et l'espace extérieur (Placette), il est nettement apparu que l'impact de la végétation urbaine sur le climat est un phénomène complexe. Ce phénomène matérialisé par des effets aérauliques et thermiques perceptibles à différentes échelles, chaque échelle implique des interactions atmosphériques et climatiques propres. Dans cette recherche on s'est intéressé précisément aux interactions des paramètres climatiques avec les éléments physiques de la végétation et morphologie urbaine à une micro-échelle.

Les végétaux contribuent à rafraîchir l'air en milieu urbain en combinant les effets liés à leurs ombres et leurs évapotranspirations. L'ombre faite par la végétation permet de réduire la température de surface des éléments de structure et des bâtiments en diminuant la part d'énergie solaire qu'ils perçoivent. L'évapotranspiration permet de rafraîchir l'air via

l'évaporation de l'eau présente dans le sol et les végétaux ainsi que la transpiration au niveau des feuilles.

Parmi la végétation, les arbres ont, de plus, la particularité d'intercepter directement le rayonnement solaire incident et de réfléchir le rayonnement émis par les surfaces environnantes. A travers cette étude bibliographique, nous avons essayé de souligner l'importance de la végétation en milieu urbain, ainsi, nous avons pu constater que l'utilisation des arbres et des espaces verts dans des projets urbains ou architecturaux ne pouvait être qu'un élément favorable à l'amélioration du cadre de vie.

Dans ce qui suivra, nous nous intéresserons à présenter les connaissances existantes en matière de confort thermique. Ceci nous conduit à effectuer un état de l'art qui permet de présenter les différentes approches, les paramètres, les indices de confort thermique ainsi que les différentes méthodes et outils utilisés pour quantifier et qualifier les espaces public en termes de confort thermique par le biais de notre placette d'étude.

Chapitre II : Le confort thermique dans les espaces extérieurs.

"Le maintien de l'équilibre thermique entre le corps humain et son environnement est l'une des principales exigences pour la santé, le bien-être et le confort. Cela implique de conserver la température des tissus constituant le corps à l'intérieur d'un domaine étroit.... les conditions dans lesquelles on obtient cet équilibre, et l'état du corps lorsqu'il atteint l'équilibre avec l'environnement, dépendent de la conjugaison de nombreux facteurs "

B. Givoni

Introduction

Le confort thermique est une sensation du bien-être et de satisfaction, il a été largement étudié au niveau de l'intérieur, mais actuellement beaucoup de recherches récentes visent à le contrôler et le maîtriser au niveau des espaces extérieurs.

Les espaces extérieurs urbains notamment les rues sont les premières à être touchées par la perturbation du degré de confort thermique surtout dans les régions chaudes et arides, les chercheurs se sont alors penchés sur l'analyse des causes de cette perturbation en essayant de la remédier et de concevoir de nouveaux espaces qui répondent le mieux aux exigences du bien-être du piéton, et qui pourront être qualifiés de confortables.

Les paramètres influençant les conditions thermiques à l'extérieur bien que semblables à ceux rencontrés à l'intérieur, occupent une plus grande palette et sont variables, c'est pourquoi les tentatives de la compréhension du confort en conditions extérieures demeurent peu nombreuses à cause de cette complexité et variabilité.

En effet, dans notre chapitre nous allons aborder le sujet du confort dans ses différentes figures en s'appuyant sur l'aspect thermique, avec ses paramètres. En outre, la recherche vise à éclaircir l'image de la sensation thermique, cette dernière fait le point investigué par une variété d'indices. Le nombre des paramètres tels que : la température de l'air, la température moyenne radiante, l'humidité relative et la vitesse de l'air, nous guident à déterminer les indices du PMV (vote moyen prévisible), et la PET (température équivalente physiologique), cela pour permettre la compréhension de la thématique du confort thermique.

L'étude du confort en espace extérieur est devenu un sujet de recherche d'actualité, l'accent est surtout mis sur les sensations thermiques dans les espaces extérieurs. A travers des études menées ces dernières années, un certain nombre d'indices de confort a été établi dont le calcul permet l'évaluation du confort thermique en espace extérieur.

II.1. Définition

C'est le bien-être matériel, commodités qui rendent la vie quotidienne plus agréable, plus facile. Aussi, le confort c'est la tranquillité psychologique, intellectuelle, morale obtenue par le rejet de toute préoccupation (Larousse, 1970).

Le confort désigne de manière générale les situations où les gestes et les positions du corps humains sont ressentis comme agréables ou non désagréables (état de bien-être) ; où et quand le corps humain n'a pas d'effort à faire pour se sentir bien. Le confort est un sentiment de bien-être qui a une triple origine ; physique, fonctionnelle et psychique.

On considère que le confort est une des composantes de la qualité de vie, de la santé et donc de l'accès au développement humain. Il intéresse les économistes, les employeurs et l'organisation du travail car il influe aussi sur la productivité des groupes et des individus.

Pourquoi nous cherchons souvent le confort ?

En effet, c'est depuis les premiers temps que les anciens peuples survivent sur les biens de la terre qui les fournit, ils se nourrissent et se protègent dans des conditions vitales assez différentes d'une époque à l'autre, liés au degré du niveau socio-économique.

Le bien-être, le besoin impérieux, classé aujourd'hui par des associations mondiales de santé et de l'homme comme facteur de la longue espérance de vie, en générant plusieurs tendances qui revendiquent à une manière seine pour intégrer la vie de l'homme et de trouver les bonnes conditions de survivre, le confort physique et physiologique notamment, qui font des pièces précieuses face à la mauvaise qualité environnementale. Mais quel que soit le niveau de vie voire économique assez suffisant, la vraie source du bien-être est la vraie corrélation entre homme et environnement.

En termes d'architecture le confort de l'homme est directement lié aux aspects de lumière, d'acoustique, et l'aspect thermo-hygrométrique.

II.2. Formes de confort

Pour chacun de nos sens perceptifs sensibles au confort, il existe une « zone de confort », entre le pas assez, et le trop (de bruit, de lumière, d'air, d'espace, d'humidité, de chaleur/fraîcheur, etc.). Cette zone peut être ressentie comme plus ou moins étendue selon la personne, son âge, le contexte et la durée d'exposition à l'environnement (public, privé, de travail, véhicule...)

II. 2. 1. Confort matériel

Il concerne les aspects physiques et matériels du confort. Avec le développement de l'ère industrielle et le développement d'une société de consommation, initialement basée sur la multiplication d'objets manufacturés et de biens et services matériels relativement standardisés, le confort matériel est devenu au XIX^{ème} et surtout au XX^{ème} siècle une valeur emblématique de la modernité et de fortune.

II. 2. 2. Confort psychologique

L'environnement consiste un point essentiel de l'aspect psychologique envers les comportements de l'homme. Le bien-être psychologique est caractérisé de l'interprétation mentale et l'état psychique de chacun de nous dans une situation ou un espace bien déterminé.

Une perception de l'espace architectural ou urbain, peut avoir parfois des sortes de traumatismes, cela réapprend les architectes ou urbanistes à prétendre que l'on ne peut pas guère s'habituer à n'importe quel endroit conçu. L'espace et l'homme, à l'intérieur comme à l'extérieur, sont des polarités indissociables.

Il n'y a rien d'étonnant à ce qu'une destruction de personnalité se manifeste par des changements au niveau de la conception de l'espace et dans les actions qui s'y développent. Bien entendu, le rapport entre corps avec l'environnement immédiat est très important, ce qu'il fait l'image de notre corps et la manière dont elle s'intègre, ou non à l'image de l'entourage perçu. A ce propos il y a un effort réel mais naturel produit pour le but de s'adapter avec les ambiances de l'espace extérieur et à certaines des ses configurations.

II. 2. 3. Confort physiologique

Le confort physiologique est étroitement lié aux exigences sensorielles : respiratoire, thermiques, lumière, sonores, olfactifs...etc. bien entendu, le bien-être physiologique dépend de ces facteurs cités, dont ils jouent le rôle primordial sur la limitation de la qualité architecturale et physiologique si l'on peut dire de l'espace occupé.

II.2.4. Confort respiratoire

L'air que l'on respire en espace clos peut avoir des effets sur le confort et la santé, depuis la simple gêne-odeur, somnolence, irritation des yeux et de la peau, jusqu'au développement de pathologies, comme l'allergie respiratoire (De Herde, 2005).

Négligée pendant de nombreuses années, la qualité de l'air intérieur est désormais un sujet de préoccupation des autorités sanitaires et un critère d'un habitat de qualité. De nombreux polluants sont, en effet, concentrés dans l'air intérieur, provenant à la fois de nos comportements, des produits utilisés et des matériaux de construction, tandis que la première source de pollution reste le monoxyde de carbone (CO), suivi du dioxyde de carbone (CO₂), d'allergènes d'animaux, d'acariens, de moisissures, de composés organiques volatils (COV) ; dont toute la famille des aldéhydes, d'oxyde d'azote (NO_x) ou encore de fibres minérales artificielles.

II. 2. 5. Confort visuel

La perception de la lumière est un des sens les plus importants de l'Homme. Grâce à cette perception, nous pouvons appréhender facilement l'espace qui nous entoure et nous mouvoir aisément dedans. L'œil, jouant le rôle d'interface avec l'environnement est sensible non seulement aux caractéristiques de la lumière, mais aussi au niveau de ses variations et de sa répartition. L'œil est indubitablement une merveille de "technologie naturelle" capable de s'adapter aux conditions extrêmes qui règnent sur notre planète, mais, naturellement, a ses limites au niveau adaptation et accommodation; c'est en qui consiste les limites du confort visuel.

II. 2. 6. Confort acoustique

Le son est une sensation auditive engendrée par la fluctuation périodique de la pression de l'air au niveau de l'oreille. Cette fluctuation peut être caractérisée par son intensité (niveau sonore, en décibel : dB), sa fréquence (comprise entre 20 et 20000 Hz pour l'être humain) et son timbre (différence qualitatif liée à la forme de la vibration) (De Herde, 2005).

II. 3. Confort thermique

La définition du confort thermique est très complexe en raison de l'interaction de plusieurs variables environnementales et personnelles. Pour Givoni (1978), le maintien de l'équilibre thermique entre le corps humain et son environnement est l'une des principales exigences pour la santé, le bien-être et le confort. Il affirme que les conditions dans lesquelles on obtient cet équilibre est l'état du corps lorsqu'il atteint l'équilibre avec son environnement, dépendant de la conjugaison de nombreux facteurs. Certains de ces facteurs sont d'ordre personnel (l'activité physique, le niveau d'habillement, etc.) et d'autres sont des facteurs de l'environnement immédiat tels que la température de l'air, le rayonnement solaire, l'humidité relative et le mouvement de l'air.

Donc, théoriquement et quantitativement, il est possible de prédire les conditions du confort thermique en fonction des paramètres environnementaux et des variables personnelles à savoir, le niveau d'habillement et le taux métabolique.

Les valeurs de ces deux paramètres sont illustrées respectivement au tableau .II.1 et .II.2.

CLOTHING	THERMAL RESISTANCE	
	m ² K/W	clo
Nude	0	0
Shorts	0.015	0.1
Typical tropical clothing ensemble: briets, shorts, open-neck shirt with short sleeves, light socks and sandals	0.045	0.3
Light summer ensemble: briets, long light-weight trousers, open-neck shirt with short sleeves, light socks and shoes	0.08	0.5
Light working ensemble; Light underwear, cotton work shirt with long sleeves, work trousers, woolen socks and shoes	0.11	0.7
Typical indoor winter ensemble: Underwear, shirt with long sleeves, trousers, jacket or sweater with long sleeves, heavy socks and shoes	0.16	1.0
Heavy traditional European business suit: cotton underwear with long legs and sleeves, shirt, suit including trousers, jacket and waistcoat, woolen socks and heavy shoes	0.23	1.5



Tableau. II. 1: Typical metabolic heat génération for various activities (D'après O'cofaigh et al, 1999)

ACTIVITY	W/m ²		ACTIVITY	W/m ²	
Resting			Miscellaneous Occupational Activities		
Sleeping	40	0.7	Cooking	95-115	1.8-2.0
Reclining	45	0.8	House cleaning	115-200	2.0-3.4
Seated, quiet	60	1.0	Seated, limb movement	130	2.2
Standing, relaxed	70	1.2	Machine work		
Walking (on the level)			sawing (light table)	105	1.8
0.89 m/s	115	2.0	light (electrical industry)	115-140	2.0-2.4
1.34 m/s	150	2.6	heavy	235	4.0
1.79 m/s	220	3.8	Handling 50kg bags	235	4.0
Office Activities			Pick and shovel work	235-280	4.0-4.8
Reading, seated	55	1.0	Miscellaneous Leisure Activities		
Writing	60	1.0	Dancing, social	140-255	2.4-4.4
Typing	65	1.1	Calisthenics / exercise	175-235	3.0-4.0
Filing, seated	70	1.2	Tennis, singles	210-270	3.6-4.0
Filing, standing	80	1.4	Basketball	290-440	5.0-7.8
Walking about	100	1.7	Wrestling, competitive	410-505	7.0-8.7
Lifting, packing	120	2.1			
Driving / Flying					
Car	60-115	1.0-2.0			
Aircraft, routine	70	1.2			
Aircraft, instrument landing	105	1.8			
Aircraft, combat	140	2.4			
Heavy vehicle	185	3.2			

Tableau. II. 2: Thermal insulation provided by various combinations of clothing (D'après O'cofaigh et al, 1999).

Le confort thermique a été défini comme l'état de satisfaction vis-à-vis de l'environnement thermique établi par échange thermique entre le corps et son environnement (Steeners et al,

2004). Dans ce contexte, plusieurs études (Chrisomallidou et al, 2002; Nagara et al, 1999; et Nikolopoulou et al, 2001) dans des contextes climatiques différents révèlent que le confort thermique est influencé conjointement par des variables climatiques, physiques et psychologiques.

La définition du confort thermique dans le cadre de cette recherche se réfère à celle exposée par Givoni permettant une interprétation objective des résultats.

II.3.1. Éléments du confort thermique

Le concept du confort a fait l'objet de plusieurs définitions qui sont basées sur les critères de la thermorégulation, c'est-à-dire, sur les critères de l'équilibre thermique entre le corps humain et son environnement (Givoni, 1978; Gómez *et al* 2004; Potvin, 1997; et Szokolay, 2004). En effet, Le corps humain produit de la chaleur constamment par son processus métabolique.

La perte de chaleur moyenne du corps est comprise entre 70 W et 700 W selon le niveau d'activité. Pour Gómez *et al* (2004), l'équilibre thermique du corps humain consiste à maintenir une température du corps entre 36,5 °C et 37 °C. Ainsi, augmenter ou réduire la température du corps produit l'inconfort, c'est-à-dire, si la température du corps atteint 40 °C les problèmes de circulation de sang apparaissent, et si elle atteint 41- 42°C (coma).

Il est possible objectivement de prédire les conditions du confort thermique en utilisant l'équation II.1 proposée par Gómez *et al* (2004), mais le confort thermique ne doit pas être confondu avec l'équilibre thermique. Le maintien du confort thermique n'implique pas que les conditions thermiques intérieures doivent être conservées en permanence à un niveau précis (Givoni, 1978)

$$0 = M \pm R \pm C_v \pm C_d - E \dots\dots\dots (II.1).$$

Où :

M : est la chaleur métabolique

R : est l'échange de chaleur par rayonnement

C_v : l'échange de chaleur par convection

C_d : est l'échange de chaleur par conduction

et *E* : est l'échange de chaleur par évapotranspiration.

A l'inverse des réponses physiologiques qui peuvent être mesurées de manière objective, la détermination des réponses subjectives des perceptions dépend de la propre évaluation de la personne soumise à un environnement donné. Cette évaluation n'est pas unique, mais varie avec les individus, les sociétés, et également pour un même individu selon différentes périodes.

Givoni (1978) (cité par Potvin, 1997) définit les paramètres environnementaux déterminant le confort thermique comme suit : Il s'agissait de la température de l'air (°C), la température moyenne radiante (°C), l'humidité de l'air (%) et le mouvement de l'air (m/s).

L'auteur affirme que le confort peut être réalisé par diverses combinaisons de ces paramètres, cette combinaison peut être modifiée par d'autres facteurs tels que le taux métabolique et le niveau d'habillement. Tableau. II. 3.

Paramètres environnementaux	Paramètres personnels
— Température de l'air (°C)	— Taux métabolique (met) ;
— La température radiante moyenne (°C)	— Habillement de niveau (clo).
— Humidité (%) ;	
— Mouvement d'air (m/s).	

Tableau II.3 : Les différents paramètres déterminant le confort thermique (D'après Potvin, 1997)

II. 3. 1. 1. Température de l'air et température moyenne radiante (T_{mr})

La température de l'air ambiante et la température moyenne radiante d'un environnement homogène affectent l'échange de chaleur du corps par convection et rayonnement, le taux de cet échange de chaleur dépend du mouvement de l'air et du niveau d'habillement (Givoni, 1978).

La température moyenne radiante (T_{mr}) est définie comme la température moyenne des surfaces environnantes, elle inclut l'effet du rayonnement solaire incident, elle a un impact significatif sur la sensation du confort thermique en milieu urbain. (Potvin, 1997)

II. 3. 1. 2. Humidité relative

L'effet de l'humidité relative comparativement à la température de l'air et la T_{mr} est négligeable lorsqu'elle est comprise entre (30 % et 50 %) (Szokolay, 2004). Mais dans les situations de transition d'un espace à l'autre, l'effet thermique résultant de différents niveaux d'humidité peut être deux à trois fois plus haut (Goulding et al, 1993, cité par Potvin, 1997).

Une étude réalisée au centre-ville de Montréal par Stathopoulos (2004) avait pour but d'étudier la perception et la préférence des paramètres microclimatiques définissant les conditions du confort thermique pour les usagers des espaces publics. Les résultats de cette recherche affirment que l'humidité relative influence la perception du

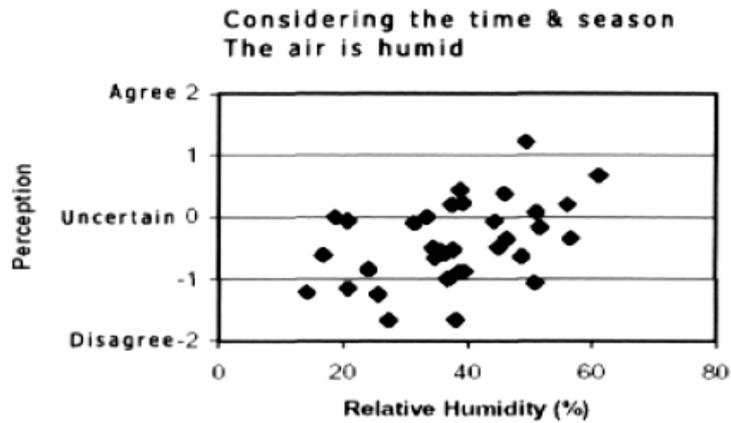


Figure. II. 1: Relation entre l'humidité relative mesurée *in situ* et leur perception par les sujets. (D'après Stathopoulos *et al*, 2004)

confort thermique, et ce lorsque la température atteint des valeurs très élevées, mettant la relation entre les valeurs d'humidité relative mesurées *in situ* et leur perception par les sujets. D'après le graphique, les sujets perçoivent l'air humide à partir de 38 %. Donc les valeurs moins élevées de l'humidité relative (inférieures à 38 %) n'influencent pas la perception du confort thermique. Figure. II.1.

Il est important de connaître la valeur d'humidité relative à partir de laquelle les usagers des espaces publics perçoivent l'air humide. Ces informations permettent de fixer l'étendue d'humidité relative qui doit être considéré dans l'analyse du confort thermique.

II. 3. 1. 3. Mouvement de l'air

Le mouvement de l'air est un paramètre très important du confort. Il affecte le corps humain de deux façons différentes. Tout d'abord il détermine l'échange de chaleur convectif du corps, et ensuite, il affecte la capacité évaporatoire de l'air, et par conséquent, agit sur la production de la sueur (Givoni, 1978).

Dans un contexte nordique, le concepteur doit tenir compte de l'indice de refroidissement éolien «*Wind Chilli Factor*». Ce dernier combine la vélocité du vent et la température de l'air. Le confort dynamique dans les espaces extérieurs est fonction de la vitesse du vent. Les résultats de la recherche expérimentale menée par Penwarden (1973) illustre qu'un vent de 5 m/s représente un début de l'inconfort dynamique. Dans le cadre de cette recherche, l'évaluation du confort dynamique des individus dans les espaces extérieurs n'est pas prise en considération, mais elle peut faire l'objet d'une discussion sur le comportement et l'adaptation des piétons dans les espaces extérieurs.

II. 3. 1. 4. Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est également un paramètre qui influence le confort thermique dans les espaces extérieurs. Il possède à la fois des effets thermiques et biologiques sur l'homme.

Biologiquement, le corps est affecté par les ultraviolets (U.V) du spectre, tandis que l'effet thermique est dû aux rayons visibles et infrarouges (Givoni, 1978). L'étude réalisée par

Stathopoulos *et al* (2004) démontre que la perception du confort thermique est fonction de l'intensité du rayonnement solaire. Les sujets perçoivent le rayonnement solaire à partir de 300 W/m, Ainsi les valeurs moins élevées du rayonnement solaire, c'est-à-dire inférieure à 300 W/m², n'influencent pas la perception du confort thermique. Figure. II.2.

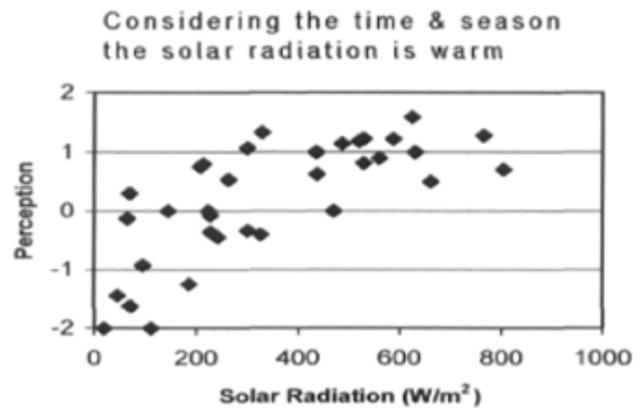


Figure. II. 2 : Relation entre le rayonnement solaire mesurée *in situ* et leur perception par les sujets. (D'après Stathopoulos *et al*, 2004)

II. 3 .2. Confort en régime transitoire, acclimatation et inertie thermique du corps

L'homme réagit en permanence à des variations de température, d'humidité et de rayonnement. Si le taux de production de la chaleur dans le corps n'est pas égal au taux des pertes, la différence est stockée ce qui entraîne un changement de la température moyenne du corps. Sur des périodes longues, le stockage net de chaleur doit être nul, mais sur de courtes périodes la capacité thermique du corps est suffisamment importante pour absorber temporairement les écarts avec une faible variation de la température. La chaleur spécifique du corps a été quantifiée à une valeur de 3,49 kJ/kg, soit environ 83 % de la valeur relative à l'eau. Pour un homme de 70 kg et de surface 1.8 m², le taux d'élévation de la température moyenne du corps (en K/s) est défini en fonction du taux de stockage de chaleur (S). Ainsi, la température du corps augmente de 1Kj en 1 heure avec un taux de stockage de 38W/m² (Mc Intyre 1980).

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

l'organisme augmente son débit sudoral et peut ainsi maintenir son équilibre thermique dans des conditions plus dures.

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

II. 4. Les échanges thermiques

Les échanges thermiques entre l'individu et son environnement sont définis dans de nombreux ouvrages et se présentent de différentes manières (Fanger 1970, Givoni 1976, Hofmann 1994, Depecker et al. 1989, Alvarez et al. 1992).

II.4.1. Les échanges radiatifs

Nous allons passer en revue les différents transferts de chaleur sensible (échange radiatifs et convectifs) ainsi que les pertes par respiration, par diffusion et par sudation. Les échanges par conduction ne sont pas présentés ici car ce type d'échange entre l'individu et le sol est considéré comme négligeable. Figure. II. 3.

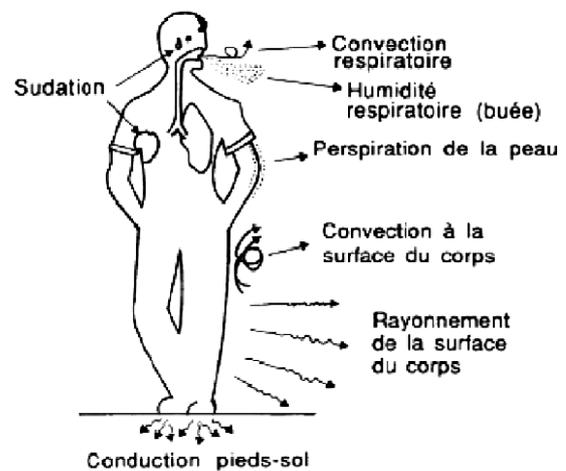


Figure. II. 3 : Les différents types d'échanges thermiques. (Source. Depecker et al. 1989)

L'équilibre du bilan thermique sur un individu peut être calculé en connaissant ou en estimant un certain nombre de paramètres. Dans les différentes analyses réalisées, la description mathématique des termes entrant dans le bilan énergétique de l'individu est une combinaison d'équations ou de relations empiriques (coefficients d'échange et certains paramètres physiologiques). Figure. II. 4.

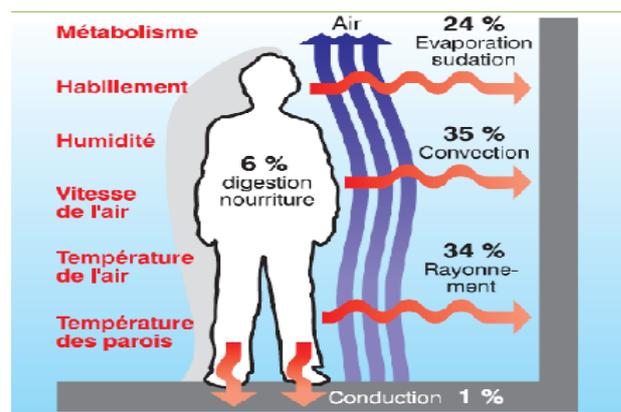


Figure. II. 4 : Les pertes thermiques du corps humain. (Source. Liébard et al. 2005)

L'équation du bilan thermique appliquée à l'individu est la suivante :

$$M = \varphi_{\text{CLO}} - \varphi_{\text{conv}} - \varphi_{\text{GLO}} - E_{\text{dif}} - \varphi_{\text{res}} - E_{\text{res}} - E_{\text{rsw}} \dots \dots \dots \text{(II.2)}$$

Les différents termes intervenant dans cette expression sont détaillés dans ce chapitre

II.4.2. Les échanges convectifs

Ces échanges s'effectuent de deux manières à savoir : par rayonnement de grande longueur d'onde et par rayonnement de courte longueur d'onde.

II. 4. 2. 1. Rayonnement de grande longueur d'onde

Le calcul de ce type d'échanges entre l'individu et son environnement peut se faire grâce à la loi de Stefan-Boltzmann :

$$\varphi_{\text{GLO}} = F_{\text{eff}} F_{\text{cl}} \varepsilon \sigma [(T_{\text{cl}} + 273.2)^4 - (T_{\text{mrt}} + 273.2)^4] \dots \dots \dots \text{(II.3)}$$

Dans cette équation F_{eff} représente le facteur de surface effective de rayonnement qui est le rapport entre la surface effective de rayonnement de l'individu et sa surface totale, on adopte en pratique une valeur de 0.7, qui est l'émissivité moyenne de la peau et des vêtements dans l'infrarouge lointain, soit environ 0,97. A titre d'exemple, pour une personne vêtue d'une tenue d'été dont la température de surface extérieure est de 26°C et dans une ambiance dont la température radiante moyenne T_{mrt} équivaut à 22 °C, les pertes par rayonnement sont égales à 18 W/m² (Hofmann 1994).

II. 4. 2. 2. Rayonnement de courte longueur d'onde

Ce flux de chaleur inclut la fraction de l'énergie du rayonnement solaire incident (S_{\bullet}) qui est directement absorbée par la peau :

$$\varphi_{\text{CLO}} = ((1 - \alpha_{\text{sk}}) * \tau_{\text{cl}} * S_{\downarrow}) / F_{\text{cl}} \dots \dots \dots \text{(II.4)}$$

Avec τ_{cl} le coefficient de transmission du vêtement, α_{sk} l'albédo solaire de la peau et F_{cl} la fraction entre la surface du vêtement et la surface de la peau, ce qui permet de calculer le flux de chaleur par unité de surface de peau. Les apports dus aux réflexions sur les parois et la fraction du rayonnement solaire qui est absorbée par le vêtement ne sont pas considérés dans cette expression.

II. 4. 3. Les échanges convectifs

Un phénomène de convection naturel apparaît lorsque sous l'effet d'une différence de densité de l'air due à une différence de température, un courant d'air se met en place. C'est ce qui se passe, au voisinage de la peau, lorsque celle-ci est à une température

supérieure à celle de l'air ambiant. Lorsque l'air est en mouvement sous l'action d'une force externe, on emploie le terme de convection forcée. Plus la vitesse de l'air est élevée, plus les échanges thermiques sont importants.

Les équations qui régissent ce type de phénomènes sont complexes et ne donnent lieu à des résultats analytiques que pour très peu de configurations. Afin d'estimer ces échanges, il est d'usage d'introduire un coefficient de convection que l'on note h_c . Ainsi, nous pouvons estimer le terme convectif par l'équation suivante :

$$\Phi_{\text{conv}} = f_{cl} h_c (T_{cl} - T_{\text{air}}) \dots \dots \dots \text{ (II.5)}$$

La norme **ISO 7730** adopte pour valeur de h_c la plus grande des deux valeurs suivantes :

: En convection naturelle : $h_c = 2,28 (T_{cl} - T_a) 0,25$

En convection forcée : $h_c = 12,1 U 0,5$

Avec : U : vitesse relative de l'air par rapport à la personne.

Dans la littérature, les valeurs des coefficients d'échange convectif donnent lieu à de nombreuses corrélations. De plus, en espace extérieur, des vitesses de vent élevées peuvent apparaître. Des formules sont répertoriées pour le calcul de ce terme pour différentes vitesses de vent. Tableau II.4 (Penicaud 1978).

Vitesse de vent (U en m.s ⁻¹)	U < 0.1	0.1 < U < 2.4	2.4 < U
Echange par convection (W.m ²)	2.05 f _{cl} (T _{cl} - T _a) 1,25	10.4 f _{cl} V ^{0,5} (T _{cl} - T _a)	8 f _{cl} V ^{0,8} (T _{cl} - T _a)

Tableau. II. 4 : Echange par convection. (D'après, Pénicaud, 1978)

II.5. L'évaluation du confort thermique dans les ambiances extérieures

Pour établir une évaluation du confort thermique dans un environnement extérieur, il y'a plusieurs méthodes, s'appuyant toutes sur le même principe, il est essentiel voire obligatoire d'élaborer des connaissances intégrant les deux dimensions fondamentales :

- **La dimension quantitative** basée sur les mesures et l'estimation du bilan énergétique.
- **La dimension qualitative** basée sur le subjectif ressenti par l'homme et son degré de satisfaction ou d'insatisfaction.

Pour surmonter tout écart entre la première méthode et la seconde, ces deux doivent travailler d'une façon complémentaire. Ainsi une analyse doit accompagner cette évaluation, analyse du microclimat, de l'espace urbain et ses éléments constituants (bâti, végétal, eau)...Selon Remy, N., l'évaluation des ambiances thermiques se fait à travers des paramètres appelés Descripteurs. Classés comme suit :

- . Les descripteurs microclimatiques
- . Les descripteurs spatiaux.
- . Les descripteurs des fonctions et des usages.
- . Les descripteurs de la perception microclimatiques.

L'objectif est de réaliser un diagnostic environnemental du site (humidité, pluie, vent ensoleillement) préalablement, en vue de la maîtrise de la thermique extérieure, puis ressortir les atouts et contraintes des endroits stratégiques pour finir avec une liste d'interventions et de corrections pour un confort plus stable et durable.

Dans la succession de ce chapitre, on va essayer de développer les méthodes et outils de caractérisation et évaluation quantitative du confort thermique extérieur, et plus précisément; les outils liés aux phénomènes environnementaux, néanmoins on répond brièvement à la question.

II. 5. 1. La dimension qualitative

C'est l'évaluation de l'évolution de la sensation thermique in situ, à base d'enquêtes, par questionnaires, entrevue, et ce, pendant une période précise. L'objectif derrière cette méthode est d'évaluer l'effet qualitatif de l'ambiance en question sur le confort thermique extérieur, l'étude de l'interaction homme –ambiance, si l'homme s'adapte à l'ambiance ou l'adapte à sa convenance.

II. 5. 1. 1. Comportement adaptatif de l'homme dans les conditions thermiques extérieures

Il est difficile d'atteindre une sensation thermique neutre des usagers dans les espaces extérieurs principalement avec les fluctuations les plus importantes en hiver et en été. *Confort psychologique et physiologique ?* La perception de l'ambiance thermique ne dépend pas seulement de la nature du microclimat mais aussi de la dimension psychologique, c'est une émotion, une humeur, un vécu et un ressenti (de stress de gêne de bien être...), une évaluation effective de cette situation ; c'est chercher si elle est désirable ou indésirable. Pour un confort accrue et durable dans la rue, se baser seulement sur cette

approche, semble insuffisant dans l'évaluation de la sensation du confort. (http://www.univ-chlef.dz/Revue Natec/issue-15/Article_C/C_Article391.pdf).

Compte tenu de l'interaction des paramètres physiques psychique et physiologiques (avoir froid, avoir chaud...), un piéton dans l'urbain cherche à se mettre dans les environnements les moins inconfortables, et tente de s'y adapter pour réduire la sensation d'inconfort, soit en changeant l'allure de marche (marcher vite, ralentir, s'arrêter) soit en évitant intuitivement ou volontairement ces lieux inconfortables.

II. 5. 1. 2. Les échelles de sensation thermique

C'est une méthode d'évaluation du degré de confort thermique d'une ambiance donnée par une échelle de points à voter, avec un choix judicieux à l'aide d'un échantillonnage représentatif. (Charles, K.E., 2003)

Plusieurs échelles ont été proposées partant toutes du même principe notant parmi elles :

- **Échelle ASHRAE** : échelle de 07 points. Figure. II. 5.

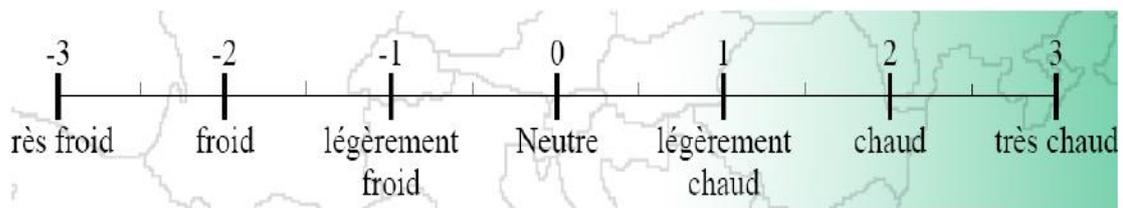


Figure. II. 5 : **Échelle de sensation thermique d'ASHRAE.**

Source : Charles, K.E. Fanger's Thermal Comfort and Draught Models, October 10, 2003-IRC-RR-162, conseil national de recherche Canada

- **Échelle MTV** (Mean Thermal Vote) : il se présente en sept graduations. Tableau. II. 6.

-3	beaucoup trop froid
-2	Trop froid
-1	Froid mais confortable
0	Neutre
+1	Chaud mais confortable
+2	Trop chaud
+3	beaucoup trop chaud

Tableau. II. 6 : Echelle MTV

(Source : Bedford T. 1936, cité par Nilsson H. 2004)

• Echelle de Michael Bruse

Il a adopté une échelle à neuf points (-4 /+4), classification des valeurs de PMV (vote moyen prévisible) lors de ses travaux de simulation du confort propre aux espaces extérieurs. (Boucheriba, F., 2006). Figure. II. 6.

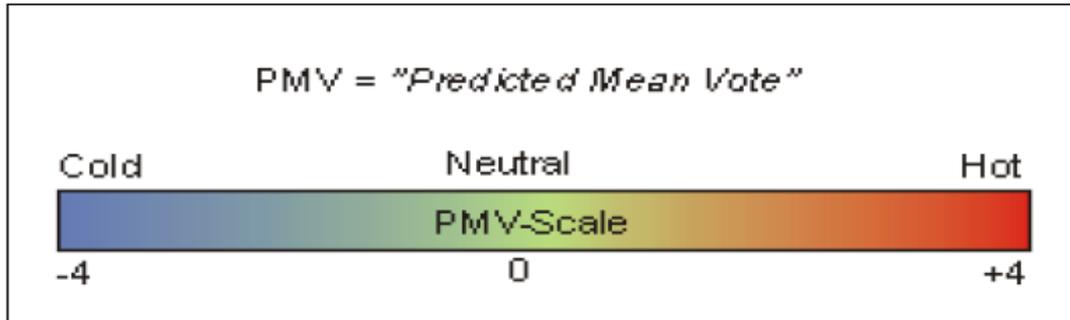


Figure. II. 6 : Classification des valeurs du PMV selon neuf échelles de confort (Source : Michael. BRUSE, 2004)

Comment évaluer l'effet d'un environnement thermique sur l'homme ?

Selon Höppe, P. R., (2007) la seule manière de décrire l'effet d'un environnement thermique sur l'homme, est le bilan énergétique avec tous les paramètres qu'il inclut (météorologique, comportementale, vêtement et activité). En utilisant l'équation de confort de Fanger et les modèles MEMI IMEM comme exemple.

II. 5. 2. Bilan énergétique

C'est une approche analytique statique qui vise à identifier les conditions de confort thermique par la prédiction de la sensation thermique des usagers.

En espace extérieur, il est nécessaire d'analyser si l'espace extérieur présente un bilan énergétique acceptable et par conséquent un confort extérieur optimal. La variation de la perception thermique (hiver-été) est provoquée par la température, et l'influence que les deux environnements (intérieur, extérieur) ont mutuellement l'un sur l'autre. D'un point de vue général, l'application d'un bilan permet de raffiner les connaissances des différents échanges d'énergie (Vinet, J., 2000).

L'augmentation ou l'abaissement de la température extérieure influence la demande énergétique en hiver et en été, une augmentation de la puissance de conditionnement en été et les charges de chauffage en hiver des bâtiments, et par conséquent une grande demande en électricité, gaz à effet de serre, polluant, intensité de l'îlot de chaleur.

Ce résultat affecte le potentiel de la ventilation naturelle dans la rue. Par ailleurs, cela demande des techniques de rafraîchissement urbain passives plus appropriées.

En conclusion on peut dire que la consommation énergétique est fortement liée à la température, plus celle-ci est forte plus la consommation est importante et vis versa sauf en hiver, qui présente une légère diminution.

En milieu urbain les trois flux énergétiques nécessaires au calcul du bilan thermique urbain sont :

- Gains énergétiques = Pertes + Énergie stockée

Gain énergétique = Le flux net radiatif Q_r (flux perdu par les milieux opaques dans leurs échanges radiatifs) + Le flux de chaleur anthropique Q_T produite par l'activité humaine (transport, industrie, production d'énergie électrique, bâtiment, etc.)

- Perte = Le flux de chaleur sensible Q_E perdue par l'environnement urbain + Le flux de chaleur latente Q_L perdue par l'environnement urbain + Le flux de chaleur adventif perdu par l'environnement urbain avec son environnement extérieur (sensible et latent) Q_A

- L'énergie stockée dans les éléments opaques, Q_s . (http://new.learn.info/packages/tareb/docs/lea/lea_ch4_fr.pdf).

II. 5. 3. Les caractéristiques thermiques des ambiances extérieures

La forme extrêmement ambiguë et plissée de l'urbain, de l'espace extérieur et des caractéristiques microclimatiques thermiques complexes de celui-ci. C'est la manifestation climatique de l'urbanisation qui en est la cause la plus évidente.

II. 5. 3. 1. Caractéristiques thermiques de l'ambiance urbaine

La thermique intérieure a toujours été traitée amplement dans la recherche du confort de l'homme, et de nos jours, cette recherche étend ses outils et repères pour aller au-delà des murs des bâtiments, à l'environnement extérieur et même les moyens de transport (avion, bateau...), bref suivre l'homme là où il va. (Cantin, R. Moujalled, B. Guarracino, G., 2005).

II.5.3.2 : Les facteurs nécessaires pour l'évaluation du confort thermique extérieur

- La température de l'air T_a
- La vitesse de l'air V
- L'humidité relative
- Un quatrième paramètre se voit décisif pour l'évaluation de ce confort et se trouve interdépendant des irradiances globales, est la température moyenne radiante T_{mrt} , elle résume toutes les ondes (grandes, courtes) absorbées par le corps.

La température moyenne radiante est une variable clé de l'évaluation du confort thermique extérieur en vertu de la sensation thermique et indépendamment de l'indice de confort (Mayer., 1987).

Pour Fanger, l'interaction de six (06) facteurs fondamentaux nous définit la sensation de confort au sein d'un environnement thermique.

- Quatre (04) environnementaux qui sont : La température ambiante, la température radiante, l'humidité et le mouvement de l'air.
- Deux facteurs non environnementaux (comportementaux) ; le taux métabolique et le rythme d'activité.

C'est les variables qui affectent la réponse de l'homme face à un environnement thermique donné. (Epstein, Y. et Moran, D. S., 2006)

II. 6. Indices de confort thermique

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

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

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

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

II. 6. 1. La température effective corrigée (CET)

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

d'irradiations solaires, le même effet que l'atmosphère en question, la température effective corrigée a intégré, en plus, l'effet des radiations solaires.

A présent, cet indice est le plus utilisé. (KOENIGSBERGER, O.H, INGERSOLL, T.G, MAYHEW, Alain and SZOKOLAY, S.V., 1980).

II. 6. 2. La chaleur équivalente (EW)

Indice mis en place par Bedford en Angleterre, les paramètres pris en considération sont : La température de l'air, l'humidité relative, la température moyenne radiatif (MRT) ainsi que la température surfacique de la peau et de l'habillement.

La chaleur équivalente est donnée par un nomogramme. Bedford est arrivé à définir une zone de confort située entre 30°C avec une humidité relative élevée et 35°C avec une humidité relative basse, mais en sous estimant l'effet de rafraîchissement de l'air en cas d'une haute humidité relative.

II. 6. 3. La température opérative (TO)

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

II. 6. 4. La température moyenne radiante (T_{mrt})

La température moyenne radiante intègre les flux de courte et grande longueur d'onde. (MASMOUDI, Soraya 2003) La T_{mrt} est définie comme suit : Si toutes les surfaces de l'environnement sont uniformément exposées à cette température, il va se produire le même bilan thermique de cet environnement avec ses variations de températures de surfaces. (KOENIGSBERGER, O.H, INGERSOLL, T.G, MAYHEW, Alain and SZOKOLAY, S.V., 1980) La T_{mrt} contribue à l'évaluation des différents indices de confort thermique extérieur.

II. 6. 5. Le vote moyen prévisible (PMV)

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

II. 6. 5. 1. L'indice de PMV et ses dérivés

Le **PMV** ou le vote moyen prévisible est un indice certainement le plus connu et le plus utilisé en thermique du bâtiment. En effet, la norme **ISO 7730-93** adoptée en 1984 et révisée en 1993, s'intitulant « Ambiances thermiques modérées » (Détermination des indices PMV et PPD et spécification des conditions de confort thermique), s'appuie sur les travaux de Fanger (1970).

La première exigence est l'existence d'un équilibre thermique : bilan thermique nul (états stationnaires : sensation de séjour). L'équation relie les paramètres classiques que sont ; la température de l'air, la température radiante moyenne, l'hygrométrie, la vitesse de l'air, le métabolisme et la résistance thermique des vêtements. De plus, deux paramètres physiologiques s'ajoutent : la température moyenne de la peau et l'évacuation de la chaleur par sudation.

Au total, 1396 sujets ont été testés sur 8 niveaux d'activité, 9 valeurs de vitesse d'air, sept valeurs relatives aux vêtements, de nombreuses valeurs de température ambiante, une valeur d'humidité égale à 50 %.

Le vote de confort moyen (Predicted Mean Vote) varie sur une échelle de 7 degrés, allant de - 3 (très froid) a + 3 (très chaud). Tableau. II. 7.

Valeurs du PMV	Sensations
-3	Très froid
-2	Froid
-1	Légèrement frais
0	Confortable
+1	Légèrement chaud
+2	Chaud
+3	Très chaud

Tableau. II.7 : Classification des valeurs du PMV selon les sept échelles de confort « ASHRAE »
(Source : Mayer H., 1993)

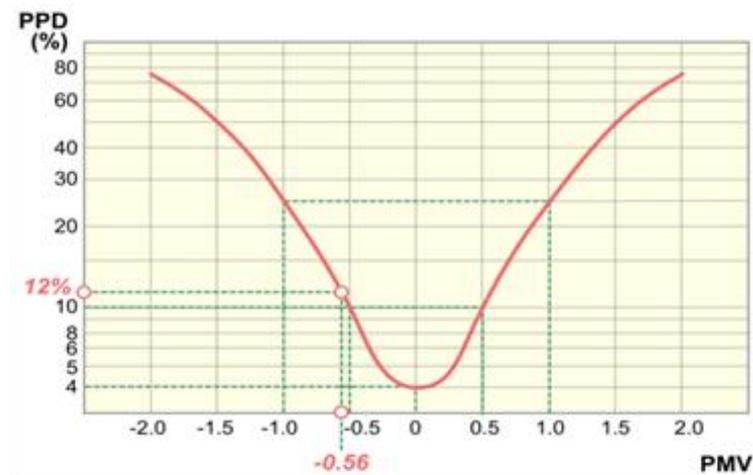
La formule se base sur l'hypothèse fondamentale que le vote de la sensation thermique est proportionnel à la charge thermique appliquée à l'individu, c'est à dire à l'effort que les mécanismes régulateurs doivent fournir. Le PMV est donné par l'équation suivante :

$$PMV = (0.303 e^{-0.036 M_{th}} + 0.028) \times [(M - W) - H - E_c - C_{res} - E_{res}] \dots \dots \dots (II.6)$$

M : taux métabolique ; **W** : travail mécanique efficace ; **H** : Pertes de chaleur sèche de la surface du corps par conduction, convection et radiation ; **E_c** : Echanges de chaleur au niveau de la peau par évaporation ; **C_{res}** : Echanges de chaleur au niveau des voies respiratoires par convection ; **E_{res}** : Echanges de chaleur au niveau des voies respiratoires par évaporation (Boutabba S.D., 2007).

Le pourcentage prévisible d'insatisfaits (**PPD**) donne en fonction de l'indice PMV d'une situation thermique précise, le pourcentage de personnes insatisfaites. Il s'agit donc d'une autre façon d'exprimer le même résultat. Connaissant le PMV, la figure ci-après permet d'évaluer directement le PPD. Si par exemple le PMV est de -1 ou +1, l'indice PPD montre que près de 25% de la population ne serait sans doute pas satisfaite.

Pour ramener le PPD à une valeur maximale par exemple de 10%, le PMV doit se situer entre -0,5 et +0,5. Enfin, on voit que pour une valeur 0 de l'indice PMV, soit un état de confort thermique optimal, il y a encore 4% d'insatisfaits. Graphe. II. 1.



Graphe II. 1 : Prédit d'insatisfaits PPD en fonction du PMV d'après la norme ISO 7730 (Source : ASHRAE)

En effet, les critiques concernant cet indice de confort sont nombreuses, parmi celles qui sont le plus régulièrement recensées nous pouvons citer la liste suivante:

- Un point de vote sur l'échelle à 7 points correspond à 3.3 °C environ en condition d'été, ce qui signifie que l'on est censé être encore satisfait si l'on se trouve dans une ambiance à 3 ou 4 °C de la température optimale.
- La représentation du vêtement par les clo est très schématique (la ventilation intérieure, l'absorption et la transmission de l'humidité sont négligées).
- Les variations interpersonnelles sont sans doute sous-estimées.

- Dans la zone chaude, le PMV présente une sensibilité faible à l'hygrométrie qui ne traduit pas de façon satisfaisante les sensations que l'on peut observer.
- Les pertes par sudation sont évaluées en fonction du seul métabolisme, l'hygrométrie ambiante n'intervenant pas du tout dans ce terme. (Hofmann 1994)

Pour compenser ce dernier point, on réintroduit l'hygrométrie dans le calcul du PMV en remplaçant la température résultante sèche par ET dans cette équation pour définir le PMV. (Gagge N., 1986)

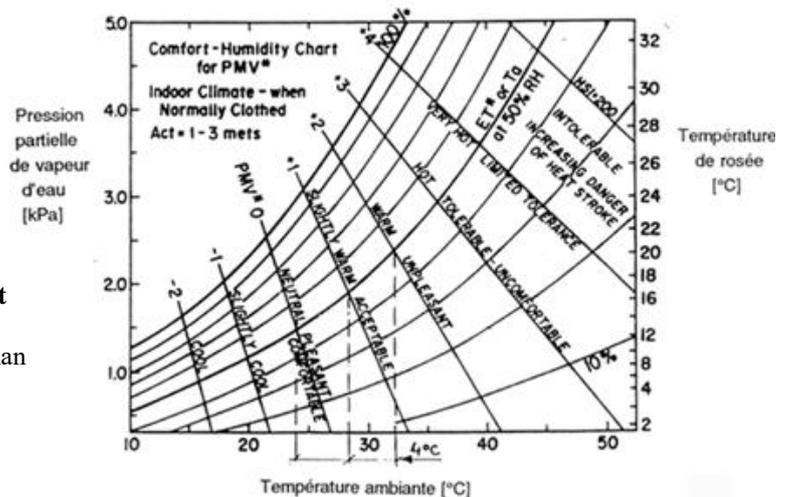
Ainsi, cet indice modifié a une sensibilité plus importante à l'humidité dans la zone chaude, tout en laissant la même valeur dans la zone de neutralité et au dessous. Plus précisément, ET* est substitué dans l'équation de Fanger à l'ensemble de T_{air} et T_{mrt} .

Les droites d'iso-PMV sur le diagramme psychrométrique recouvrent avec une unité différente les iso-ET et les iso-mouillures cutanées (indice DISC).

L'indice PMV semble le plus pertinent des indices synthétiques de confort existants et rien de plus convaincant n'a été proposé depuis lors. Graphe. II. 2.

Il hérite de la légitimité que peut porter le PMV, avec lequel il se confond en zones froides et neutres, ainsi qu'à 50 % HR en zone chaude.

Gagge lui-même a souligné que le PMV de Fanger traduit mieux la sensation thermique pure et que le **PMV** représente mieux la sensation de confort (Vinet J., 2000).



Graphe II. 2 : Diagramme de confort relatif au PMV
(Source : Vinet J., 2000 d'après Hoffman 1994)

II.6.5.2. PMV corrigé

Jendritzky a développé le PMV pour l'extérieur en introduisant le rayonnement absorbé par une personne debout dans la valeur de la température moyenne radiante. (Matzarakis A. et al. 1998)

L'étude a visé le développement d'un model appelé Klima Michel Model (KMM) qui signifie un nom typique d'un allemand âgé de 35 ans, 1.75 m de taille, 75 kg de poids et de 4 km/h comme vitesse de marche.

A propos de l'habillement, il est sélectivement choisi entre 0.5 et 1.75 clo (voire l'ensemble des vêtements allemands d'été et d'hiver respectivement), tandis que les valeurs du PMV sont calculées selon les équations de Fanger. Cependant le PMV corrigé forme un indice purement physiologique, ce qui est met en cause par plusieurs recherches expérimentales comptent évaluer le confort thermique. Tableau. II. 7.

Valeurs du PMV corrigé	Sensations
< -2.5	Très froid
-2.5 ~ -1.5	Froid
-1.5 ~ -0.5	Légèrement frais
-0.5 ~ +0.5	Confortable
+0.5 ~ +1.5	Légèrement chaud
+1.5 ~ +2.5	Chaud
> +2.5	Extrêmement chaud

Tableau II.7 : Klima Michel Model (PMV), Jendritzky, 1979
(Source : Kedissa C., 2010)

II.6.6. La température physiologique équivalente (PET)

En 1999, Höppe a développé un nouvel indice de confort thermique extérieur basé sur un modèle d'échange thermique. La température équivalente physiologique (**PET**) est définie comme un indice thermique universel. Cet indice est basé sur les modèles d'Énergie-Équilibre de Munich pour les individus (MEMI). L'idée fondamentale dans l'établissement de PET est le transfert du climat extérieur réel à un environnement intérieur fictif équivalent dans lequel la même sensation thermique peut être prévue. Le PET est défini comme étant la température de l'air à laquelle le bilan énergétique pour des conditions d'intérieur assumées est caractérisé par la même température du corps humain et de la peau, et le même taux de sueur que ceux calculés pour les conditions extérieures réelles. Cela, signifie qu'un individu dans une pièce avec une température d'air de 43°C atteint le même état thermique que dans les conditions en extérieur.

D'après Kedissa C. (2010), l'environnement de référence est défini comme suivant :

- La température de l'air T_{air} = la température moyenne radiante T_{mrt}

- La vitesse d'air (V_{air}) = 0.1 m/s.
- La pression de vapeur (p_v) = 12 h Pa (voire humidité relative = 50%, $T_{air} = 20^\circ\text{C}$)
- Métabolisme (M) = 114w (activité légère, métabolisme du travail de 80w à ajouter au métabolisme de base).
- Résistance des vêtements (R_{clo}) = 0.9 clo.
- Pour un sujet âgé de 35 ans, 1.75m de taille, un poids de 75 kg.

Pour la relève de la température physiologique équivalente, il est impératif de prendre les mesures à une hauteur de 1.20 m, ce qui réfère au point de gravité d'un individu debout. En outre, pour une limitation de la PET bien précise, Matzarakis et al. Ont suggéré des domaines de températures étroitement liées à la perception sensorielle, et qui sont respectivement préconisées selon le tableau. II. 8.

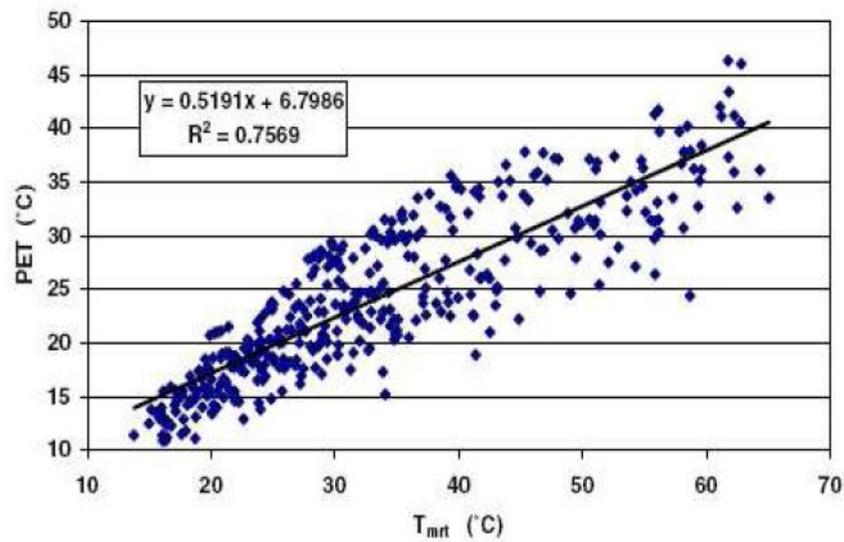
PET ($^\circ\text{C}$)	Sensation thermique
< 4 $^\circ$	Très froid
4 – 8 $^\circ$	Froid
8 – 13 $^\circ$	Frais
13 – 18 $^\circ$	Légèrement frais
18 – 23 $^\circ$	Confortable
23 – 29 $^\circ$	Légèrement chaud
29 – 35 $^\circ$	Chaud
35 – 41 $^\circ$	Très chaud
> 41 $^\circ$	Extrêmement chaud

Tableau. II. 8 : Classes de la sensation thermique indiquée par la PET
(Source : Matzarakis A., 2006)

En effet, la PET est devenu un indice adéquat pour l'évaluation du bilan thermique et énergétique au niveau de l'espace extérieur pour un bon nombre de climats différents. Ainsi, elle est basée sur la quantification de plusieurs paramètres agissant remarquablement sur l'environnement thermique urbain. Cependant, le paramètre clé qui influe sur le changement de la température de l'air, si on considère que la vitesse de l'air est calme, c'est bien sur la T_{mrt} . L'évaluation de l'indice PET est corrélée fortement à la valeur réelle de la température moyenne radiante, ce qui les rend approximatives, notamment pendant la période de surchauffe.

Pour l'estimation de la PET, beaucoup de projets ont été abordé, dont le Climlis project, par le professeur Andrade, celui-ci a visé une étude sur le quartier résidentiel Telheires à

Lisbonne, avec une typologie constituée par un ensemble de bâtiments qui ne dépassent pas les 25m. Les paramètres qui ont été relevés sont ; la température de l'air, le rayonnement global et rayonnement terrestre, tandis que la T_{mrt} était calculée par le biais du logiciel Rayman. La PET pour une production de chaleur de 80w/m^2 avec un habillement de 0.9 clo a été calculé au niveau de dix endroits représentant des différences microclimatiques, cela pour deux périodes ; celle de 24 jours en juin et juillet, et une autre durant dix jours en février 2000. A vrai dire, pendant la nuit les faibles variations de température d'air ont été relevées avec une différence moyenne de 0.6°C en hiver et de 0.8°C en été. Par contre au jour, la différence était perçue d'un écart de 1.9°C en hiver et de 3.2°C en été. Graphe II. 3



Graphe II. 3 : Classes de la sensation thermique indiquée par la PET
(Source : Matzarakis A., 2006)

L'étude a mis le point sur la corrélation de la température de l'air avec le degré de l'ouverture sur ciel (Sky view factor), ce qui a résulté un rapport négatif entre les deux facteurs. Les résultats de la modélisation de la T_{mrt} ont montré une forte corrélation négative entre le SVF et la T_{mrt} la nuit, cependant cette relation était beaucoup plus compliquée durant le jour. La T_{mrt} était élevée dans tous les espaces ouverts à grand SVF surtout ceux présentant des ouvertures vers le Sud et l'Est et avec un albédo élevé. En outre l'étude a démontré que la PET a des plus grandes variations que la température de l'air. Elle dépend du contraste entre la T_{mrt} et la vitesse du vent, pendant la nuit la valeur moyenne de la différence maximale de la PET était de 3.5°C en été et 3.9°C en hiver avec une corrélation négative avec le SVF. Tandis que le jour, la différence maximale était de 13.1°C en été et 8.9°C en hiver.

Cette différence dépend principalement des conditions du rayonnement, soit le SVF, et à un degré moindre de la vitesse du vent. L'étude a conclu que le facteur principal qui contrôle la PET est la configuration spatiale urbaine, puisque les endroits étaient homogènes en végétation et en matériaux de façade et de couverture au sol et exposés à la même direction du vent. (GIANNI Scudo, 2002).

II. 6. 7. La température résultante (RT)

Le développement de la température résultante (RT) inventée par Missenard, a été motivé par l'hypothèse qu'une base plus solide d'indice thermique pourrait être constituée par des expériences où l'équilibre thermique (état de confort) serait maintenu entre le corps et l'ambiance environnante, sous les effets de l'humidité et du vent où ces conditions restent à être déterminées (fictives). Figure II.7.

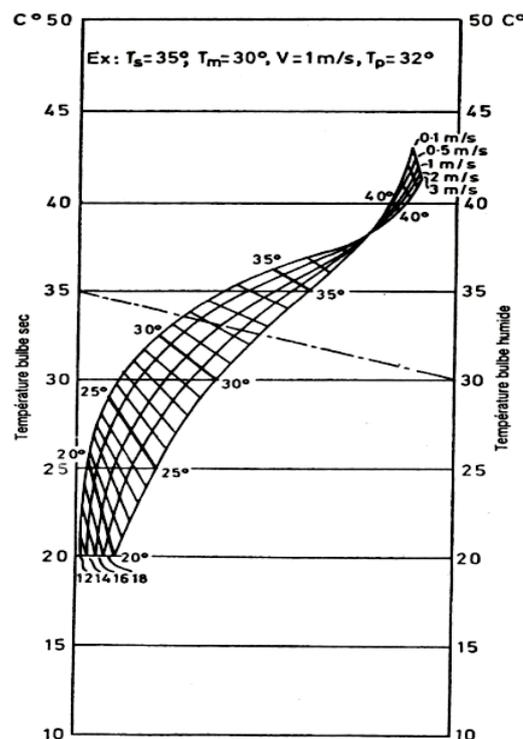


Figure. II. 7 : La température résultante (RT)

Ainsi l'étude a requis une durée d'exposition plus longue que celle utilisée pour les expériences de la température effective (Givoni B., 1978).

La température résultante couvre les intervalles des facteurs comme suit :

- T_{air} : 20 à 45 °C.
- Température humide (voire hygrométrie en °C) : 18 à 40 °C.
- Vitesse de vent : air calme, il peut aboutir jusqu'à 3 m/s.
- Influence du métabolisme et l'habillement.

II. 6. 8. Le vote de sensation effective (Actual Sensation Vote) « ASV »

D'après Nikolopoulou et al (2004), dans le contexte du projet européen RUROS, les conditions du confort thermique extérieur ont été évaluées à travers des enquêtes sur terrain dans 14 villes européennes afin d'élaborer une nouvelle méthode simplifiée pour l'évaluation du confort thermique extérieur. Cet indice de confort thermique extérieur est basé sur près de 10 000 interviews réalisés dans les espaces publics de centres urbains.

Les paramètres microclimatiques mesurés pendant les interviews et utilisés dans l'élaboration d'un indice de confort sont : la température de l'air (T_{air} , °C), le rayonnement solaire global (W/m^2), la vitesse du vent (V , m/s) et l'humidité relative (RH , %). (Nikolopoulou et al, 2004). L'équation de (ASV) est donnée comme suit :

$$ASV = 0.049 T_{air} + 0.001 Sol - 0.051 V + 0.014 RH - 2.079 \dots\dots\dots (II.7)$$

Cette équation se différencie d'une autre par les poids (coefficients) attribués aux variables d'entrées ainsi que par le coefficient de corrélation (R^2). La sensation thermique effective d'un individu y est considérée égale à son choix sur une échelle de cinq niveaux, allant de « très froid » à « très chaud ». La sensation thermique effective d'un individu y est considérée égale à son choix sur une échelle de cinq niveaux allant de « très froid » à « très chaud ». (Reiter, 2007). L'échelle ASV (Actual Sensation Vote) utilisée comporte cinq niveaux. Tableau. II. 9.

ASV	Sensation
-2	Très froid
-1	Froid
0	Neutre
1	Chaud
2	Très chaud

Tableau. II. 9 : Le vote de sensation effectif ASV (Nikolopoulou).
(Source: Reiter, 2007)

II. 6. 9. L'UTCI (Indice Universel du Climat Thermique)

Est un indice thermo-physiologique qui a été introduit en 1994. Il a été développé, spécifiquement pour l'évaluation du confort thermique extérieur (Park et al., 2014).

L'UTCI est considéré comme l'un des indices les plus complets pour la caractérisation du stress thermique dans les espaces extérieurs (Zare, et al., 2018). Sa version actuelle a été développée en 2009 dans le cadre d'une commission spéciale de la Société Internationale de Biométéorologie (ISB) et de l'action européenne COST 730 (Błażejczyk et al, 2013). Il est issu d'un travail coopératif de plus de 45 scientifiques de 23 pays (Australie, Canada, plusieurs pays d'Europe, Nouvelle-Zélande et États-Unis) ayant eu pour objectif le

développement d'un indice thermique universel facilement accessible (Jendritzky et al, 2012). Il a été développé sur la base d'un modèle de régulation thermique multi-nœuds avancé, dénommé « Fiala » (Li et al., 2018).

Le calcul de l'UTCI amène à une valeur de température d'air, correspondant à une condition de référence dont la réponse thermo-physiologique est identique à celle des conditions réelles rencontrées (Blażejczyk et al, 2013).

L'échelle de cet indice permet de classer les espaces étudiés en fonction d'un niveau de stress thermique allant d'un stress thermique extrême « froid » (- 40°C) à un stress thermique extrême « chaud » (+46°C). Tableau.

II. 10.

En 2000, l'Universal Climate thermique Index (UTCI) a été élaboré par une commission créée par le Société internationale de biométéorologie (ISB, 2004). La commission, présidée par Jendritzky. L'objectif principal était de créer un indice qui soit exacte dans tous les climats, les saisons et les échelles, et être indépendant des caractéristiques personnelles telles que l'âge, le sexe, activités spécifiques et de l'habillement. (Walls et al, 2015).

Valeur UTCI (°C)	Sensation
> +46	extreme heat stress
+38 to +46	very strong heat stress
+32 to +38	strong heat stress
+26 to +32	moderate heat stress
+9 to +26	no thermal stress
+9 to 0	slight cold stress
0 to -13	moderate cold stress
-13 to -27	strong cold stress
-27 to -40	very strong cold stress
< -40	extreme cold stress

Tableau. II. 10 : Grille d'appréciation de l'UTCI.
(Source : Blazejczyk. et al. 2014)

L'UTCI est défini comme la température

d'air (T_a) de l'état de référence provoquant la même réponse physiologique comme l'état réel. (Medeouk et al, 2015).

Les variables d'entrées de l'UTCI sont des paramètres climatologiques (température de l'air (en °C) ; T_{mrt} : température radiante moyenne (en °C) ; v : vitesse de l'air à 10 m au-dessus du sol (en ms-1) ; HR : Humidité relative de l'air (en %).) et des données physiologiques (résistance thermique liée à l'habillement et température radiante moyenne). Figure. II.08.

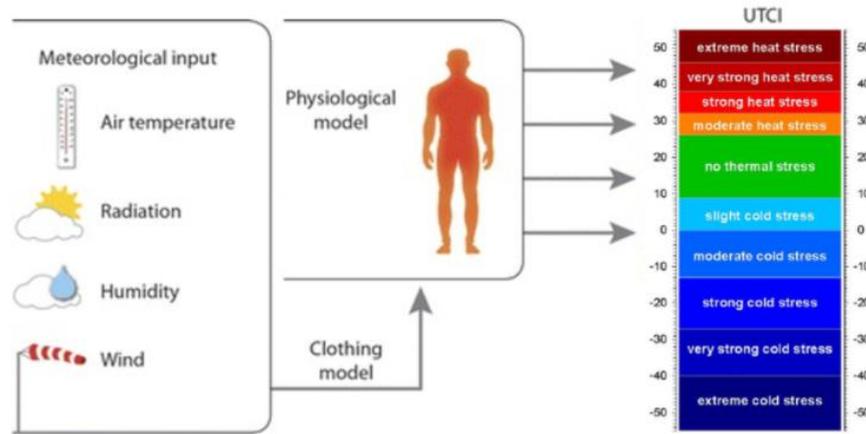


Figure II.08: Schéma des principaux paramètres de l'UTCI
(Source: Blazejczyk. K et al, 2013)

La formule mathématique de l'indice climato-thermique universel se présente ainsi qu'il suit. (Medeouk et al, 2015)

$$UTCI = 3.21 + 0.872 t + 0.245 T_{mrt} - 2.507 v - 0.0176 HR \dots \dots \dots (II.7)$$

Avec t : température de l'air (en °C) ; T_{mrt} : température radiante moyenne (en °C) ; v : vitesse de l'air à 10 m au-dessus du sol (en ms-1) ; HR : Humidité relative de l'air (en %). L'Indice thermique universel du climat (UTCI) est exprimé en une température ambiante équivalente (°C) d'un environnement de référence fournissant la même réponse physiologique d'une personne de référence comme l'environnement réel. (Walls et al, 2015)

II. 6. 10. SET (Température effective standard)

La température effective standard, cet indice représente la température sèche équivalente d'une enceinte isotherme à 50 % d'humidité relative, dans laquelle un sujet, portant une vêtue standardisée par rapport à son activité, échangerait la même quantité de chaleur et aurait la même mouillure cutanée que dans l'enceinte réelle dans laquelle il se trouve (Moujalled, 2007). Le SET intégrant l'effet des six paramètres de base, et applicable dans des conditions transitoires chaudes, modérées ou froides. (Parsons, 2003). Les sensations thermiques peuvent être déduites des différentes valeurs de SET à partir du Tableau. II. 11.

SET (°C)	Sensation	L'état physiologique d'une personne
>37.5	Extrêmement chaud, très inconfortable	Echec de la régulation
34.5-37.5	Très chaud, très inacceptable	Sudation profuse
30.0-34.5	Chaud, inconfortable,	inacceptable Sudation
25.6-30.0	légèrement inacceptable	Sudation légère, vasodilatation
22.2-25.6	Confortable et acceptable	Neutralité
17.5-22.2	légèrement inacceptable	Vasoconstriction
14.5-17.5	Froid et inacceptable	Refroidissement ralenti du corps
10.0-14.5	Très froid, très inacceptable	Frissons

Tableau. II. 11 : La relation entre la température standard effective SET et la sensation thermique.
(Source : Parsons, 2003)

II. 6. 11. L'indice d'OUT- SET

L'utilisation de la température moyenne radiante en extérieur, calculée par le modèle OUT-MRT et introduite dans l'indice de confort thermique de température standard effective (SET) obtenue par le modèle à 2 nœuds de Gagge, permet de calculer un nouvel indice de confort thermique OUT-SET (Pickup et al. 1999). L'objectif est de définir la température d'un environnement de référence isotherme ($T_{air} = T_{mrt}$, RH = 50 %, U = 0.15 m/s) telle qu'une personne dans cet environnement (0.6 clo et 1.2 met) possède la même température moyenne de peau (T_{sk}) et la même moiteur (ω) que dans l'environnement réel complexe. Les environnements réels et de référence sont équivalents en termes de contrainte physiologique et d'inconfort thermique car T_{sk} et ω sont fortement corrélées avec l'inconfort subjectif dans des environnements froids et chauds respectivement.

II. 6. 12. L'indice DISC (Indice d'inconfort thermique)

Cet indice, contrairement aux autres indices, touche l'inconfort et non pas le confort ; veut dire, il touche le stress thermique en se basant sur les facteurs physiologiques importants dans les climats chauds; le premier, étant la mouillure cutanée (ω) alors que le deuxième, c'est le débit sudoral. (WINSLOW, C.E et al, 1937).

Les valeurs de cet indice sont reportées dans le tableau. II.12. Ci-après.

Sensations	Echelle
Confortable et agréable	0
Légèrement inconfortable mais acceptable	1
Inconfortable et désagréable	2
Très inconfortable	3
Tolérance limité	4
Intolérable	5

Tableau II.12 : échelle par sensations de l'indice DISC.
(Source : BOUTABA, S. 2007)

II.7. Le confort thermique dans les espaces publics extérieurs

Le confort thermique extérieur est l'un des facteurs qui influencent les activités dans les rues, parcs, terrains de jeux et les places (Givoni *et al*, 2003).

La quantité et l'intensité de chaque activité sont affectées par le niveau d'inconfort éprouvé par les individus lorsqu'ils sont exposés aux conditions climatiques dans ces espaces extérieurs. Dans ce contexte, plusieurs études (**Boussoualim et al, 2002; Nikolopoulou, 2004; et Lindberg, 2003**) montrent que l'usage des espaces publics et le comportement des individus sont fonction des conditions climatiques. D'après Nikolopoulou (2004), la fréquence d'occupation des espaces publics durant la saison hivernale est fonction de la température globale (rayonnante et ambiante). Les résultats de cette recherche démontrent une corrélation directe et forte entre la température globale et le nombre d'utilisateurs dans les espaces publics extérieurs. Cette relation entre les deux variables affirme que la qualité de l'environnement thermique est impérative pour l'usage et l'appropriation des espaces publics extérieurs.

Dans un contexte nordique et aux périodes de transitions saisonnières, le vent est un paramètre climatique particulièrement important déterminant le degré du confort (thermique et dynamique) dans les espaces extérieurs. Ces hautes vitesses augmentent considérablement le taux de refroidissement éolien malgré des températures et un degré d'ensoleillement acceptables (**Davenport, 1975, Potvin, 1993**).

II.7.1. Les indices de confort ou de stress thermique en espaces extérieurs

L'évaluation du confort thermique en extérieur est importante dans le but de le quantifier en ces espaces extérieurs, de nombreux travaux ont été réalisés en **examinant les facteurs climatiques, physiologiques et psychologiques** qui ont une influence sur le confort de l'individu. L'étude du confort thermique se traduit comme l'étude des échanges thermiques qui se produisent entre le corps humain et son environnement.

Néanmoins, il n'y a que quelques décennies que l'étude du confort en espaces extérieurs est devenu un sujet de recherche. L'accent était mis, surtout, sur les sensations thermiques à l'intérieur des bâtiments. A travers des études menées ces dernières années, un certain nombre d'indices de confort a été établis dont le calcul permet l'évaluation du confort thermique en ces espaces extérieurs. On constate deux principales catégories d'indices de confort, **les empiriques et les analytiques**. Les empiriques ont été développés pendant les premières approches de l'étude de confort thermique et sont beaucoup plus simples à calculer alors que les analytiques sont basés sur la modélisation des flux et des échanges thermiques chez l'individu. (**Oliveira 2007**).

Dans notre cas nous faisons recours aux indices analytiques ou Nous allons ainsi présenter parmi-eux les plus applicables aujourd'hui qui sont développés et utilisés pour évaluer le confort thermique dans ces espaces extérieurs.

II.8. Etude de Jörg Spangenberg du centre-ville de São Paulo, Brésil, 2008

Cette étude climatique a été effectuée le 19 Décembre 2006 par Jörg Spangenberg (Université du Bauhaus, Weimar), dans la zone de Luz. Figure. II. 09.

Cette journée peut être considérée comme une journée d'été typique chaude, le principal objectif de ces mesures était de créer une base de données initiale pour la température de l'air, l'humidité relative, le rayonnement solaire, la température de surface, la direction du vent et la vitesse du vent pour la période estivale.



Figure. II. 09 : La vie de rue dans la zone claire (photos du square, à gauche, et de la rue canyon, à droit).

(a) L'équipement de mesure utilisée dans le canyon urbain. (b)

(Source : Jörg Spangenberg, 2006)

Trois principaux types d'espaces urbains ont été définis pour les mesures : un parc, une aire sous forme de place ouverte et un canyon urbain. Ces trois zones ont été choisies compte tenu des caractéristiques principales du site et de ses environs. Figure .II .10.



Figure. II. 10 : Localisation des trois points de mesure dans la zone de Luz.

Point 1 = parc, point 2 = Canyon, point 3 = carré.

(Source : Jörg Spangenberg, 2006)

L'intérêt particulier était de comparer l'effet de la végétation dans le parc avec les deux autres situations. Et où le facteur de vue sur le ciel (Sky View Factor) des trois sites varie considérablement. Figure. II. 11.

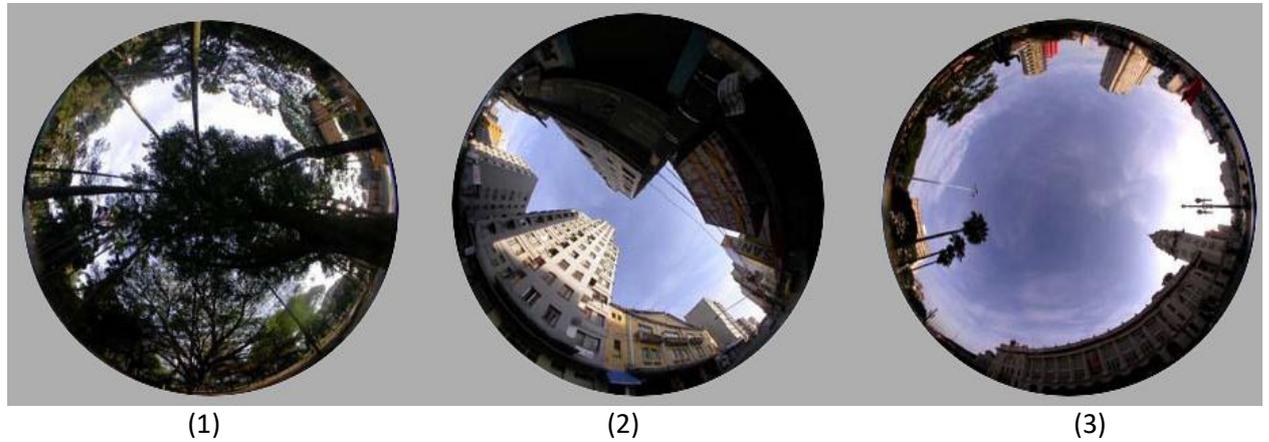


Figure. II. 11 : Photos hémisphérique de la vue du ciel prise avec un Nikon 4500 équipé d'un objectif fish eye à 180° pour un parc (1), Canyon (2) et de la place d'ouverture (3).
(Source : Jörg Spangenberg, 2006).

II. 8. 1. Résultats des mesures et discussion

Les résultats présentés ont donné des informations importantes sur les différences microclimatiques entre les trois sites urbains. Les profils de température de l'air ambiant montrent que l'effet de refroidissement du parc est de 2 °C en moyenne par rapport à l'espace ouvert avec des pointes allant jusqu'à 6 °C. Par rapport au canyon, la température du parc est d'environ 2,5 °C plus fraîche vers midi. Figure. II. 12. a.

L'humidité relative était d'environ 10% plus élevée dans le parc que dans les deux autres sites.

L'humidité absolue (g / m^3) est d'environ $1 \text{g} / \text{m}^3$ plus élevé dans le parc. Une basse température et une humidité plus élevée dans le parc sont dues à l'ombrage et l'évapotranspiration. Figure. II. 12. b.

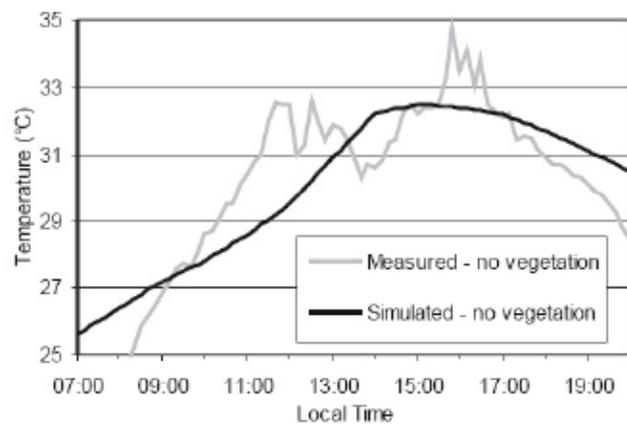


Figure. II. 12 : a) température de l'air pour le parc, la place, et le canyon. b) humidité relative et absolue pour le parc, la place publique et le canyon.
(Source: Jörg Spangenberg, 2006)

II. 8. 2. Les résultats de simulation

Sont apparentes et interprétées selon la figure. II. 13.

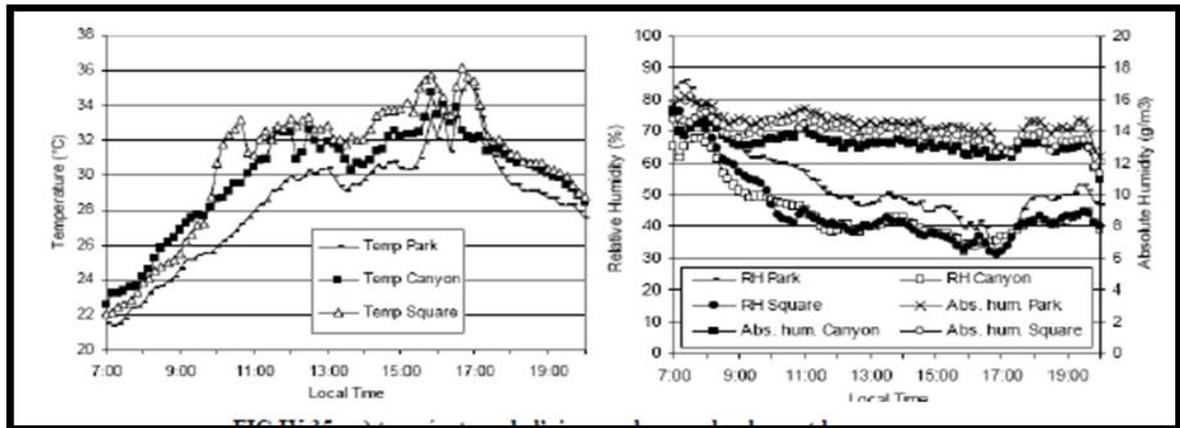


Figure. II. 13 : Comparaison entre la température mesurée et simulée de l'air pour la rue canyon.
(Source : Jörg Spangenberg, 2006).

II. 8. 2. 1. La température de l'air

Dans la Figure. II.12.a, la température de l'air simulée est montrée pour les trois cas, pas d'arbres, des arbres ayant un couvert de haute densité (ISF = 5) et les arbres ayant un couvert de faible densité (ISF = 1).

Les canyons couverts par des arbres moins denses (T1) et denses (T2) ont en moyenne 0,5 °C à 1,1 °C inférieure à la température de l'air des cas sans arbres. Figure. II. 14.

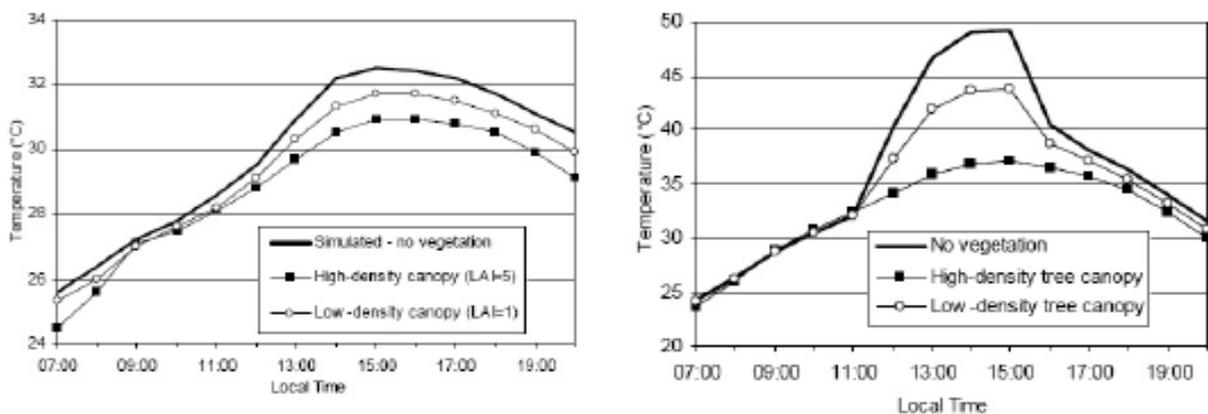


Figure. II. 14 : a) la température de l'air simulé pour le canyon de la rue sans arbres, avec des arbres ayant un couvert de haute densité et avec des arbres ayant un couvert de faible densité.

b) température de surface simulée de la rue sans arbre, une rue à feuillage des arbres de haute densité et une rue avec une canopée à faible densité d'arbres.

(Source : Jörg Spangenberg, 2006)

II. 8. 2. 2. L'humidité relative

L'humidité relative ne progresse que légèrement en raison de l'intégration des arbres dans la rue canyon (moins de 5%). La canopée à haute densité provoque une humidité relative de quelques pour cent plus élevée que la canopée basse densité. L'humidité absolue est cependant similaire pour tous les cas et très stable, variant de 12 à 14 g/m³ pendant la journée. L'effet non significatif de l'évaporation des arbres sur l'humidité, est en bon accord avec d'autres études.

II. 8. 2. 3. La vitesse du vent

La vitesse du vent simulé par ENVI-met est clairement affectée par les arbres. Bien que les arbres étudiés n'aient pas de feuilles entre le sol et une hauteur de 3 m, la vitesse du vent à hauteur piétonne (1,5 m) est réduite de 0,86 m/s (sans arbres) à 0,80 m/s (canopée à faible densité) et à 0,47 m/s (à haute densité du couvert), respectivement. Ainsi, les canopées avec de faibles densités de surface foliaire ou LAD (Leaf Area Density) réduisent la vitesse du vent beaucoup moins que les arbres avec une densité de surface foliaire LAD élevée.

II. 8. 2. 4. La Température Surfaceutique

La Figure ci-dessous montre la température surfaceutique de la rue bitumée pour les trois cas (sans arbres, à faible densité du couvert et à haute densité du couvert). Pendant les heures où la rue

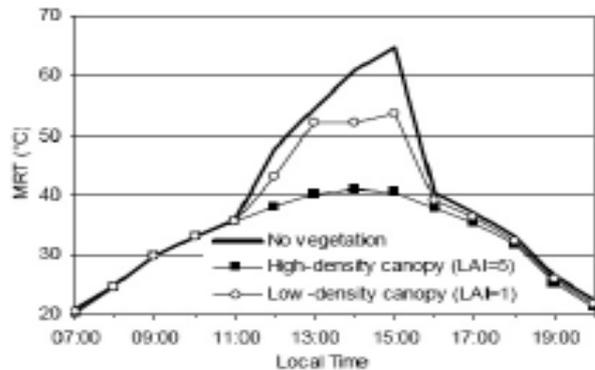


Figure. II. 15 : (T_{mrt}) simulée dans la rue sans arbre, avec couvert à haute densité et la rue avec couvert de faible densité. (Source : Jörg Spangenberg, 2006)

reçoit le rayonnement solaire (à partir de 12:00 à 15:00), cela montre que les arbres ont un impact énorme sur la température

surfaceutique du sol. Les arbres les moins denses (T1) abaissent la température jusqu'à 5 °C et les arbres de haute densité (T2) abaissent la température d'un maximum de 12°C.

II. 8. 2. 5. Température moyenne radiante (T_{mrt})

La température moyenne radiante (T_{mrt}) est le paramètre le plus affecté par l'ombrage des arbres. La Figure. II.16 montre comment varie la T_{mrt} à hauteur piétonne et pour les trois cas (pas d'arbres, à haute densité du couvert et à faible densité du couvert). Pendant les heures où la rue reçoit le rayonnement solaire (à partir de 12:00 à 15:00), la Figure. II.15 montre que les arbres à

faible densité (T1) et ceux à forte densité (T2) diminuent la T_{mrt} jusqu'à 11 °C et 24 °C respectivement.

La canopée à haute densité est nettement plus efficaces que la canopée à faible densité.

La réduction de la T_{mrt} grâce à l'ombre comprend à la fois moins de rayonnement directe, diffuse et réfléchi (de courtes ondes) reçues du soleil et abaisse les températures de surface et réduit ainsi les radiations thermiques (longues ondes) émis par les surfaces urbaines.

Les réductions de la T_{mrt} trouvées dans cette étude sont moins que ceux enregistrées par Chatzidimitriou et al. (Chatzidimitriou et al. 2005). La raison probable est qu'ils ont étudié un canyon peu profond comme discuté ci-dessus.

II. 8. 2. 6. Température effective physiologique (PET) :

Le confort thermique, exprimée comme la température physiologique équivalent (PET), a été calculé sur la base de valeurs simulées de la température de l'air, MRT, l'humidité relative et la vitesse du vent.

La PET varie considérablement d'un canyon sans arbre à celui avec couvert végétal, la figure. II. 17., montre comment la PET varie à hauteur piétonne pour les trois cas (pas d'arbres, couvert à haute densité et couvert à faible densité). De même que pour la T_{mrt} , la PET atteint des valeurs très inconfortables entre 12:00 et 15:00. Ce pic est considérablement réduit par les arbres moins denses (T1) et presque effacé par les arbres d'ombrage dense (T2). Les arbres plus denses sont donc plus efficaces, même s'ils diminuent la vitesse du vent plus que les arbres moins denses.

Les réductions des valeurs de PET trouvées dans cette étude (jusqu'à 12 °C) sont inférieures à celles présentées par (Ali-Toudert et Mayer, 2005) et (Ali-Toudert et Mayer, 2007) qui ont trouvé des réductions supérieures à 20 °C. La raison peut être qu'ils avaient une plus grande proportion du rayonnement solaire direct et donc les arbres fournissent une nuance plus efficace.

Figure. II. 16.

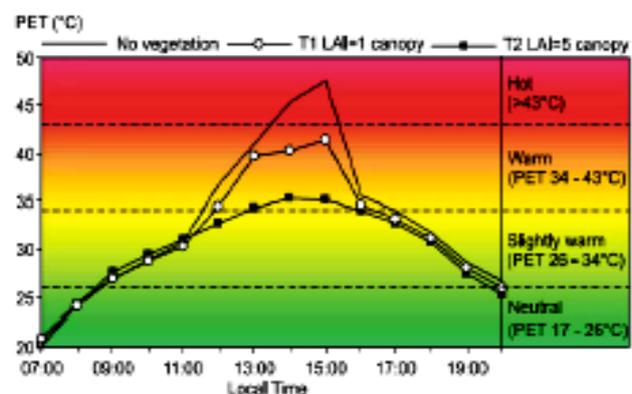


Figure. II. 16 : PET simulées pour la rue sans arbres, rue avec haute densité du couvert et rue avec haute faible du couvert.

(Source : Jörg Spangenberg, 2006)

Conclusion

Ce chapitre a traité la notion de confort d'une manière globale, mais les conditions de confort climatique ont été traitées d'une manière approfondie. Aussi, ont été discutés les paramètres définissant le confort climatique dans l'espace extérieur.

A travers les rappels sur la notion de confort thermique, nous pouvons constater la difficulté liée à la qualification et à la quantification de ce concept, même en ne considérant que des paramètres physiques objectifs (transferts de chaleur entre l'individu et son environnement).

Les paramètres usuels (température de l'air, humidité, vitesse de vent, température radiante moyenne, activité, vêtements) interviennent dans les nombreux échanges thermiques entre l'individu et son environnement.

Ce chapitre nous a permis de recueillir des paramètres qu'on pourra utiliser pour l'évaluation du confort en espace extérieur par rapport à certains facteurs essentiels, qui sont, la température de l'air ambiant, l'humidité relative de l'air, la vitesse du vent et la température moyenne radiante.

Enfin, l'analyse des échanges thermiques entre l'individu et son environnement a permis d'aborder le confort thermique en espace extérieur.

Un travail de synthèse des indices de confort ou de stress thermique en extérieur nous ont renseignés sur les modalités de calcul et sur les spécificités de chaque indice.

De nombreux indices ont été présentés, ils correspondent en général à des résultats d'expériences à l'intérieur des bâtiments et sont modifiés pour être applicables en espace extérieur, comme PMV, PET, SET et UTCI.

Des analyses comparatives et paramétriques de certains de ces indices issus de travaux expérimentaux, repris brièvement en tant qu'état d'art, dans ce chapitre, apportent des éléments d'information sur la manière dont nous pouvons rendre l'espace urbain plus confortable.

Chapitre III : Etat de l'art et positionnement épistémologique

« Pour un esprit scientifique, toute connaissance est une réponse à une question. S'il n'y a pas eu de question, il ne peut y avoir connaissance scientifique. Rien ne va de soi. Rien n'est donné. Tout est construit »

*Gaston Bachelard
La formation de l'esprit scientifique (1938).*

Introduction

Ce chapitre est considéré comme élément d'articulation et de passage entre la partie théorique et pratique. L'objectif qui lui est assigné consiste à réaliser un état de l'art sur les recherches accomplies dans le domaine de l'impact de végétation sur le micro climat et le confort thermique dans les espaces urbains extérieurs, ensuite, il détermine le positionnement épistémologique de cette recherche par rapport au point conceptuel et méthodologique ou pratique de notre travail.

Les préoccupations environnementales appellent pour une réconciliation avec la nature. En effet depuis une trentaine d'années, la recherche pour améliorer le cadre de vie dans le milieu urbain s'intéresse au microclimat, au confort et aux ambiances. Le recours aux éléments comme la végétation pour préserver la nature en ville et créer des ambiances confortables, s'avère un sujet d'une stratégie très pertinente. Les savoirs théoriques fondés dans ce cadre se dirigent dans plusieurs directions. Des démarches environnementales, et sensorielles ont toutes traité ce sujet en l'abordant chacune à sa manière.

Ce présent chapitre rassemble une série d'études menées par des chercheurs et spécialistes du domaine, nous voulons, à travers ces travaux, acquérir la meilleure méthode de l'approche expérimentale, cependant, il était impératif de sélectionner les différentes expériences dans lesquelles les outils de travail varient alors que l'objectif reste unique, cela nous permettra d'exposer les différents modèles climatiques qui ont été utilisés par différents chercheurs pour quantifier le microclimat urbain et évaluer le confort thermique extérieur. Dans le but de ressortir la technique qui convienne le mieux à notre sujet de recherche, en justifiant notre positionnement épistémologique.

Il s'agit en premier lieu de présenter les différents modèles climatiques qui nous aident à quantifier le microclimat urbain et évaluer le comportement thermique extérieur en tant que facteur clé implicite influençant le confort thermique, en fonction des indicateurs morphologiques et la densité du couvert végétale.

Dans cette perspective et pour mieux cerner le cadre méthodologique de notre recherche, ce chapitre sera structuré en trois parties :

- La première phase abordera la végétation dans le domaine de la recherche scientifique, celle-ci consistera en un passage en revue d'un ensemble de travaux antérieurs.
- La seconde partie exposera les démarches méthodologiques qui touchent à notre thème, à savoir celles appliquées pour approcher la végétation en milieu urbain.

- La partie finale, constituera une synthèse qui renforcera notre positionnement épistémologique pour mieux choisir les approches qui serviront notre recherche.

III.1. Contexte et état de l'art

La littérature sur l'impact de la végétation en milieu urbain est abondante mais inégale en ce qui concerne les types de végétation abordés. Historiquement, ce sont les effets directs des arbres, (ombrage) ou indirects (bioclimatiques) qui ont d'abord été étudiés, plus récemment, de plus en plus d'études se sont intéressées aux effets des enveloppes végétales des bâtiments sur le milieu urbain, même si la quantité des publications qui traitent des toitures végétalisées est bien plus conséquente que celle des façades végétalisées, ces dernières sont encore peu mises en œuvre dans les villes, et finalement peu étudiées et par conséquent moins documentées.

III.1.1. Les effets de la végétation à l'échelle du bâtiment

Dans son état de l'art Cécile De Munck (2013) a établi une analyse de la littérature concernant les effets de la végétation à plusieurs échelles dont celle du bâtiment. La végétation agit sur les bâtiments comme une barrière solaire (Eumorfopoulou et Kontoleon, 2009). Plusieurs études montrent que les enveloppes végétales des bâtiments peuvent réduire les températures de surface comparées à des surfaces artificielles (Takebayashi et Moriyama, 2007; Wong et al. 2010; Sternberg et al., 2011), ce qui limite la quantité de chaleur qui peut pénétrer dans les bâtiments.

Dans le même contexte, Affal et al. (2012) ont comparé, par la simulation, l'impact d'une même toiture végétalisée sous trois climats différents l'un de l'autre (Athènes, La Rochelle et Stockholm, respectivement ; chaud, tempéré et froid). Leurs résultats illustrent à quel point les performances des toitures végétalisées peuvent varier, en fonction du climat sous lequel elles sont implantées. La consommation annuelle de climatisation est fortement diminuée à Athènes (-52%) et à La Rochelle (-98%) et n'est pas affectée à Stockholm. Les performances énergétiques des façades végétalisées sont, elles aussi, fonction du climat sous lequel elles sont implantées. D'ailleurs selon Alexandri et Jones (2008), la performance énergétique estivale des enveloppes végétales est d'autant plus marquée que le climat est chaud et sec (avec - 68 % pour Brasilia et - 35 % pour Bombay).

Pour étudier la performance des toitures végétalisées à Ottawa, Bass (2001), a testé (un toit vert d'un côté et un toit conventionnel de l'autre côté, comme toit de référence), dans un but de comparer la performance thermique des deux systèmes de toits, une simulation basée

sur le logiciel « DAINÉ VISUAL » a été alors développée en plus des mesures in situ, de la température de l'air, de réflectivité solaire, d'humidité du sol et d'écoulement de précipitation. Les résultats de cette expérience ont révélé que la membrane de la toiture jardin a subi des variations de température sensiblement plus faibles pendant les mois chauds que celle de la toiture conventionnelle. En été, la variation de température moyenne quotidienne de la toiture jardin était de 6,5°C, contre 46°C, pour la toiture conventionnelle. Par ailleurs, cette variation de température est restée constamment plus faible que la variation de température moyenne quotidienne de l'air ambiant. Figure. III.01.

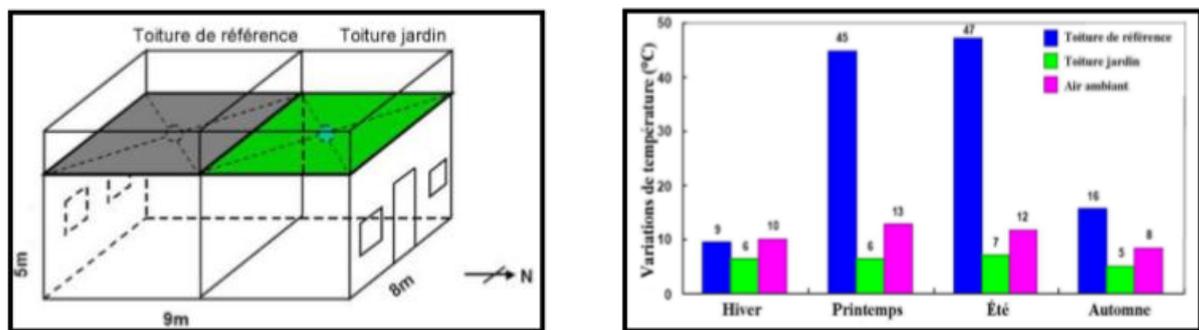


Figure III.01: Modèle des deux toitures simulées et Variations de températures journalières du toit de référence, toit vert et l'air ambiant. (Source : Bass. b, Baskaran. b, 2001)

III.1.2. Les effets de la végétation à l'échelle du quartier

Bowler et al. (2010) ont réalisé une méta-analyse de la littérature concernant quatre types de végétation urbaine (parcs urbains, arbres de rue, forêts urbaines et végétation basse au sol ou en toiture), basée sur 47 études empiriques et décrivant l'impact de la végétation sur la température de l'air. Leurs résultats montrent que les parcs urbains (mélange de végétation arborée et herbacée) engendrent un rafraîchissement moyen en journée de l'ordre de 0,94°C, avec des variations qui s'expliquent notamment par la taille du parc (Chang et al. 2007; Barradas, 1991) et sa composition (ratio arbre/pelouse), (Potchter et al., 2006), mais aussi des conditions climatiques environnantes.

D'un autre côté, l'impact de la végétation associée à des bassins ou jets d'eau sur le microclimat d'un quartier et sur les situations de confort thermique était l'objectif d'un bon nombre de recherches. (Vinet, 2000 ; Robitu, 2005 ; Balout, 2010 ; De Munck, 2013 ; Ahriz, 2016 ; Ridha, 2018). Leurs recherches abordées, s'intéressent dans leur majorité à l'effet combiné, de la végétation et l'eau. Grâce à des mesures in situ et à des programmes, surtout les logiciels ; (Solène, Fluent, Envi-Met). Des cas ont été simulés ; (Cas avec bassin

d'eau sans végétation, cas avec la végétation mais sans eau et finalement, le cas avec l'eau et la végétation). Les résultats ont mis en évidence l'importance de l'influence de la végétation sur le confort thermique extérieur. Cette dernière par son ombre et le phénomène d'évapotranspiration ainsi que son effet d'atténuation des vents et dimensions esthétiques, assure plusieurs fonctions. Elles ont également montré que l'eau, apporte, à son tour aussi, des améliorations mais qui restent minimales et locales. Son effet sur l'humidité reste plus importante que celui sur la température. Figure. III.02.

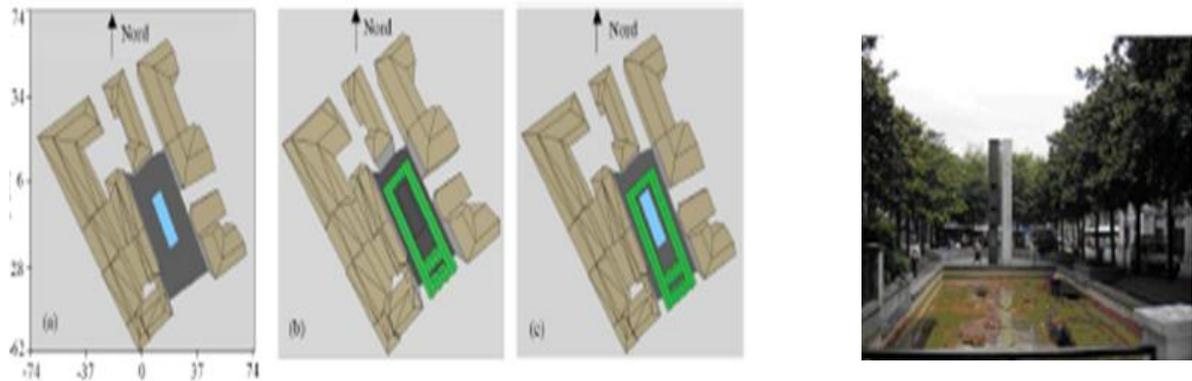


Figure III.02. Modélisation avec SOLENE du square Fleuriot à Nantes : a) avec bassin d'eau sans arbres. b) avec arbres sans bassin d'eau. c) avec bassin d'eau et arbres (situation actuelle).
(Source : Mirela Robitu, 2005)

III.1.3-Les effets de la végétation à l'échelle de la ville

Actuellement, les préoccupations climatiques s'orientent vers l'impact de différentes stratégies sur le climat urbain, et notamment de la végétalisation des villes. Elles essayent d'adopter une approche qui considère le système urbain dans sa globalité pour permettre l'adaptation au changement climatique. Des études numériques basées sur des modèles météorologiques et de canopées urbaines ont commencé à s'intéresser à l'impact de différentes stratégies d'adaptation en contexte de canicule

Dans VURCA, la combinaison de trois leviers d'action (bâtiments vertueux + usage modéré de la climatisation + ville plus verte + arrosage des espaces verts) simulée pour une canicule future moyenne, permet de réduire la consommation d'énergie liée à la climatisation de 60 % et de gagner 2 h 15 de plus par jour de confort en extérieur

Dans EUROMED2, la création du parc a un effet important sur le rafraîchissement des températures (entre - 2.5 et - 4° C en moyenne), effet qui peut être amplifié s'il est combiné avec la présence d'un ruisseau (entre - 3 et - 6° C).

Cet effet est très localisé, avec un rayon d'influence sur les quartiers alentours ne dépassant pas les 100 m, comme le montre la figure ci-dessous, si la création d'îlots de fraîcheur est recherchée, alors les parcs urbains sont une bonne solution pour l'amélioration du confort extérieur de jour comme de nuit, par contre, ce type d'aménagement n'a qu'un effet limité dans l'espace. Figure. III.03.

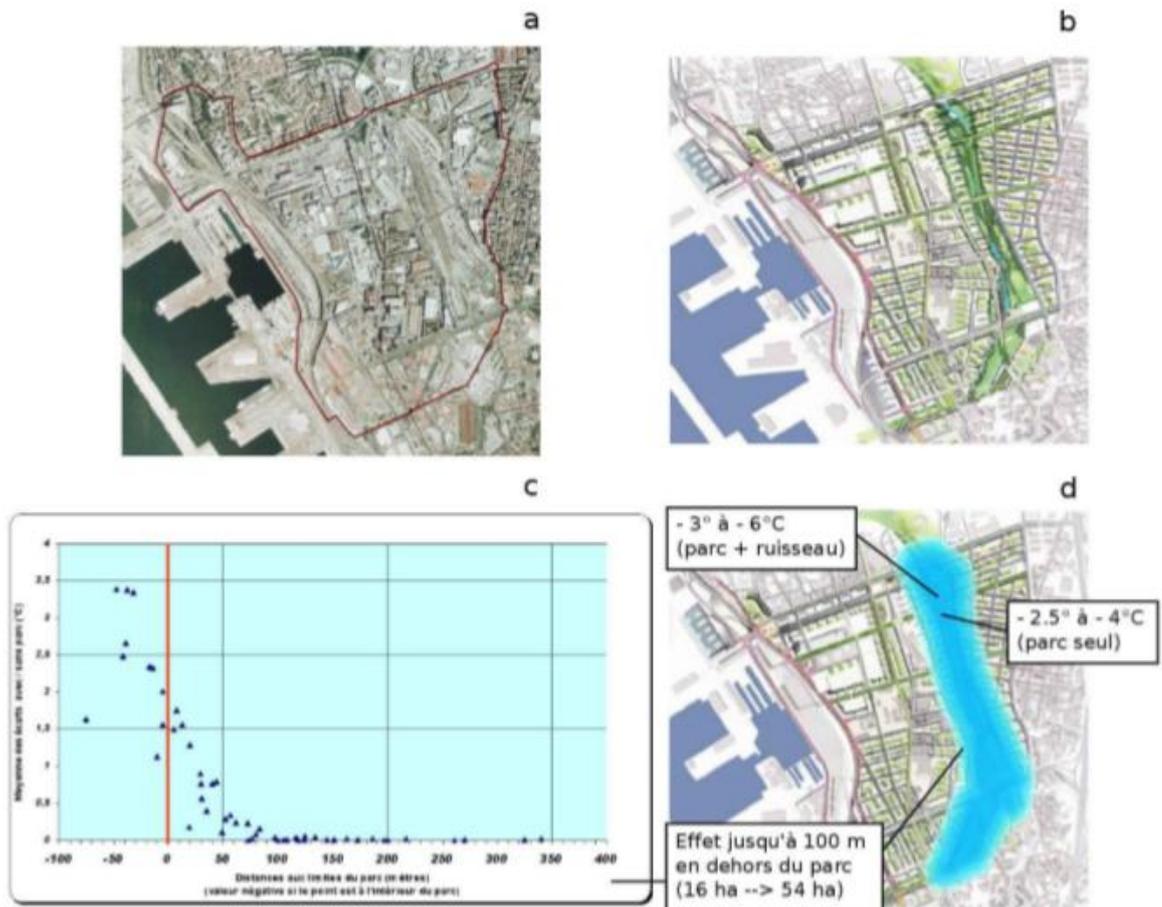


Figure III.03 : Influence d'un parc urbain dans le cadre d'EUROMED2.

(Source : De Munck C., 2013)

Pour un effet mieux réparti, même si plus faible, mieux vaut distribuer la végétation sur l'ensemble du territoire. Des travaux identiques sur la ville de New York (Rosenzweig étal. 2009) suggèrent qu'une infrastructure des toitures végétalisées serait susceptible de réduire les températures urbaines de 1.4°C en moyenne, avec pour conséquence une diminution de l'îlot de chaleur newyorkais.

III.2. Démarches méthodologiques: Approches existantes pour étudier le rôle de la végétation sur le climat urbain

Nous présenterons dans cette partie les approches existantes, utilisées par les scientifiques, pour étudier le rôle de la végétation sur le climat urbain et comme nous avons pu voir précédemment, que plusieurs travaux de recherche ont traité la thématique de la végétation en milieu urbain pour des objectifs distincts, nous constatons que la majorité des travaux de recherche dans ce domaine s'est intéressée à mesurer les incidences environnementales et sociales sur les lieux caractérisés par la présence de la végétation. Récemment un bon nombre de travaux s'est consacré au domaine du ressenti dans ces lieux.

Plusieurs démarches ont été appliquées par les chercheurs pour approcher cette thématique. Nous distinguons la démarche environnementale, celle d'investigation, celle historique et la démarche sensorielle.

En ce qui suit, après avoir pris en considération l'apport de la végétation à l'aménagement de l'espace urbain et également leur influence sur le microclimat et le confort thermique extérieur, nous allons exposer succinctement les démarches les plus courantes en accordant particulièrement plus de détails à celles qui touchent notre problématique. D'abord nous présentons la démarche environnementale qui sera suivie par celle d'investigation, à laquelle succèdera la démarche sensorielle.

III.2 .1. La démarche environnementale

Les préoccupations environnementales orientent les acteurs du domaine de bâtiment vers de nouveaux modes de création. James Wines (l'architecture verte, 2002, p: 67) nous décrit cette situation en ces termes: *« Certains designers placent au cœur de leur objectifs les derniers progrès en matière de technologie environnementale ; pour d'autres en revanche, il importe de revenir aux leçons du passé et à l'emploi de méthodes et matériaux locaux. Un autre groupe encore considère que les ressources topographiques ou celles de la végétation et de l'énergie solaire, voire de la terre elle-même, sont les moyens d'accéder à une conception plus large des bâtiments organiques »* de ce fait on déduit que cette démarche est composée de quatre approches.

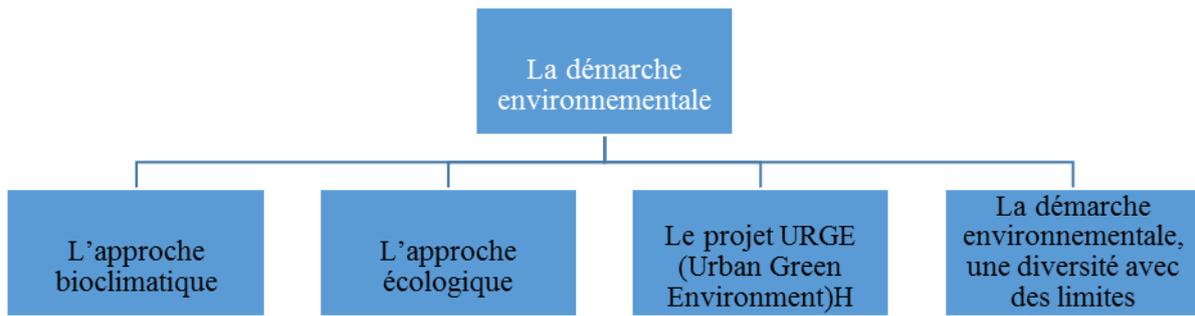


Figure. III. 04 : Les approches de la démarche environnementale. (Source : Auteure, 2019)

III. 2 .1. 1. La démarche environnementale, une diversité avec des limites

La préoccupation environnementale appliquée à l'urbanisme et à l'architecture a donné naissance à diverses méthodes, bien que les intentions pour répondre à cette préoccupation soient partagées, l'approche de mise en œuvre diffère cependant en fonction du pays concerné. Elle s'appelle BREAM (Building Research Establishment and Environmental Assessment Method) en Angleterre, PASSIVHAUS en Allemagne et en Autriche, HQE (haute qualité environnementale) en France et LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) en Amérique du nord

III. 2. 2. La démarche d'investigation

Elle est définie comme « un processus intentionnel de diagnostic des problèmes, de critiques des expériences réalisées, de distinctions entre les alternatives possibles, de planification des recherches, de recherches d'hypothèses, de recherches d'informations, de constructions de modèles, de débat avec ses pairs et de formulation d'arguments cohérents (Linn, David & Bell, 2004, p :4). Les techniques de la démarche d'investigation sont définies selon l'organigramme ci-dessous.

La démarche d'investigation s'articule autour de plusieurs méthodes qui sont des procédures de travail ; qu'adopte le chercheur pour appréhender un phénomène, ou résoudre un problème. Le chercheur doit d'abord définir ses objectifs et ses hypothèses avant de décider de ses méthodes : celles-ci doivent être adaptées aux besoins et non l'inverse. Le chercheur doit ensuite faire un choix, parmi ces méthodes, car plus d'une méthode peut être utilisée, et c'est à lui de déterminer quelles sont les méthodes de recherche les mieux adaptées à sa problématique. Figure. III.05

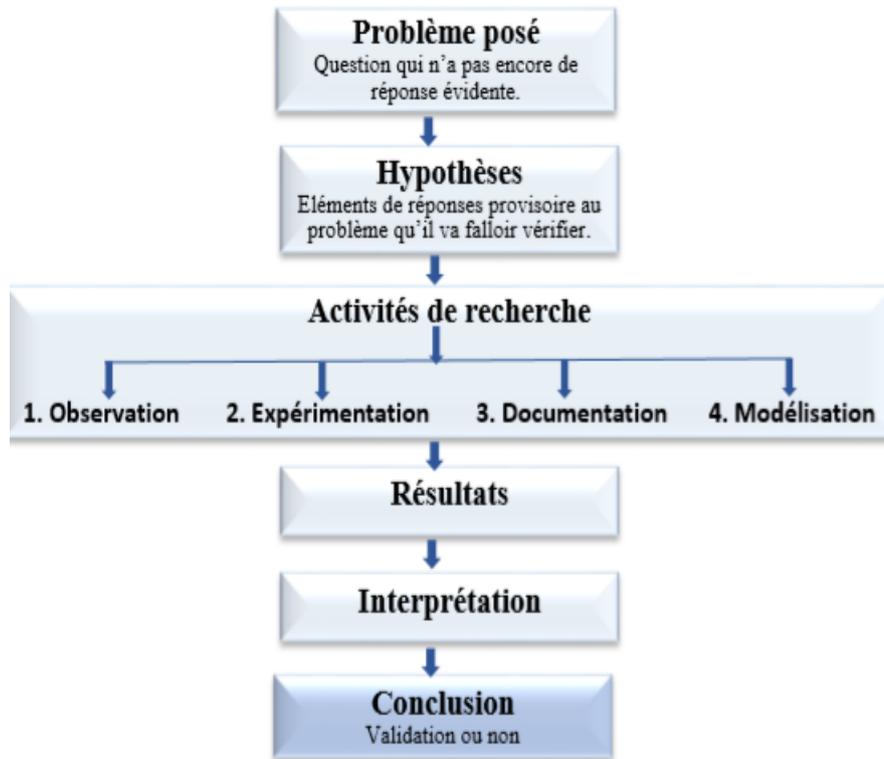


Figure. III. 05 : Les étapes de la démarche d'investigation. (Source : Rojat D. 2013).

III. 2. 2. 1. L'approche expérimentale

L'étude des conditions microclimatiques de façon expérimentale (empirique) peut se faire en caractérisant l'espace urbain, uniquement, d'un point de vue physique, cela se fait à travers des approches objectives basées sur l'analyse des données micro-météorologiques liées aux effets morphologiques du tissu urbain. Le confort thermique peut être, également, caractérisé en se basant sur des modèles physico-physiologiques. Ces derniers prennent en considération la physiologie du corps humain et la nécessité de l'équilibre de son bilan thermique. Il est aussi possible d'évaluer les conditions microclimatiques en adoptant des approches expérimentales subjectives qui permettent de quantifier scientifiquement le ressenti des usagers. Des modèles plus complets conjuguant des approches objectives et subjectives ont été développés pour étudier l'impact des conditions microclimatiques sur le confort thermique perçu dans les espaces publics extérieurs. Nous présentons dans cette section l'ensemble des approches objectives et subjectives utilisées, de nos jours, pour l'évaluation du confort microclimatique.

III. 2. 2. 2. Approche objective (quantitative)

Du fait de l'interdisciplinarité de la thématique des ambiances thermiques urbaines, des chercheurs appartenant au domaine de la biométéorologie s'intéressent également à ces questions. En effet, plusieurs études ont été menées en se basant sur l'intégration du facteur humain dans l'évaluation des conditions microclimatiques (Cheung & Jim, 2018; Holst & Mayer, 2011; Lee & Mayer, 2018a, 2018b; Matzarakis et al., 1999; Mayer et al., 2008; Park et al., 2014; Zölch et al, 2016 Shi Yin et al ,2019 ; Hanafi et al, 2019 Djaghroui et al, 2017).

Les approches empiriques, purement physiques, caractérisent l'impact de l'environnement bâti et de l'aménagement urbain sur le microclimat en ville. Généralement, les paramètres météorologiques mesurables agissant sur le bilan thermique des individus (Ait-Ameur, 2002) sont utilisés, tels que la température et la vitesse de l'air, la température rayonnante et le taux d'humidité dans l'air. Ces approches permettent d'avoir des données météorologiques en temps réel de l'étude. Pour procéder de la sorte, il est nécessaire d'avoir le matériel adéquat pour collecter les données, à savoir : Thermomètre pour mesurer la température de l'air, Hygromètre pour le taux d'humidité dans l'air, Thermomètre à globe pour la température rayonnante et Anémomètre pour mesurer la vitesse de l'air.

Dans ce cas, les études permettent d'évaluer certains effets de la végétation urbaine géométrie sur les conditions microclimatiques. Nous citons à titre d'exemple, une partie des résultats du Taleghani et al, 2014. Musy et al, 2017) . En 2012, Athemna, son travail de recherche vise à étudier par le biais de la modélisation et de la simulation numérique la relation entre la morphologie urbaine spécifique des éco quartiers, le microclimat et le confort ou l'inconfort thermique dans les espaces publics extérieurs. Pour caractériser cet impact, l'auteur a développé une approche numérique basée sur un couplage entre un modèle CFD (Code Saturne) et un modèle thermo-radiatif SOLENE, ce logiciel est un autre outil de simulation numérique permettant de modéliser le climat urbain à l'échelle du quartier, issus de l'investigation expérimentale objective. Les campagnes de mesures météorologiques ont démontré que chaque configuration urbaine étudiée se caractérise par un microclimat spécifique. Il a été conclu que différents phénomènes microclimatiques se produisent en fonction des données locales des cas étudiés, nous présentons ici quelques effets identifiés :

III. 2. 2. 3. Approche (qualitative et subjective)

Etant donné que les approches physiques ne peuvent pas, à elle seules, évaluer le confort thermique en espaces publics, l'investigation subjective s'avère une approche complémentaire qui permet une analyse fine du comportement humain face à l'influence des facteurs

climatiques (Marialena; Nikolopoulou et al, 2001). La problématique du confort thermique en espaces publics extérieurs fait, donc partie intégrante des champs de recherches en science

III. 2. 2. 4. Approches combinées (objectives-subjectives)

Largement utilisées (Adolphe et al., 2002; Djekic et al., 2018b; Li et al., 2018; Nikolopoulou et al., 2001; Perini et al., 2017; Rosso et al., 2017 ; Talhi et al ,2020 ; BinChen et al 2019 ; Louafi et al ,2017), les expérimentations in situ combinent la plupart du temps des campagnes de mesures objectives et subjectives. La représentation graphique ci dessous montre la complexité et l'efficacité des approches combinées conjuguant investigation physique et sensible. D'après l'étude de (Talhi et al, 2020), la corrélation des deux indices UTCI / APCI, afin de qualifier l'aptitude de l'UTCI à évaluer le confort microclimatique ressenti, a été faite suite aux valeurs d'APCI et d'UTCI obtenues, pour les 12 configurations de la "promenade microclimatique" définie par le protocole expérimental. **Figure. III. 06.**

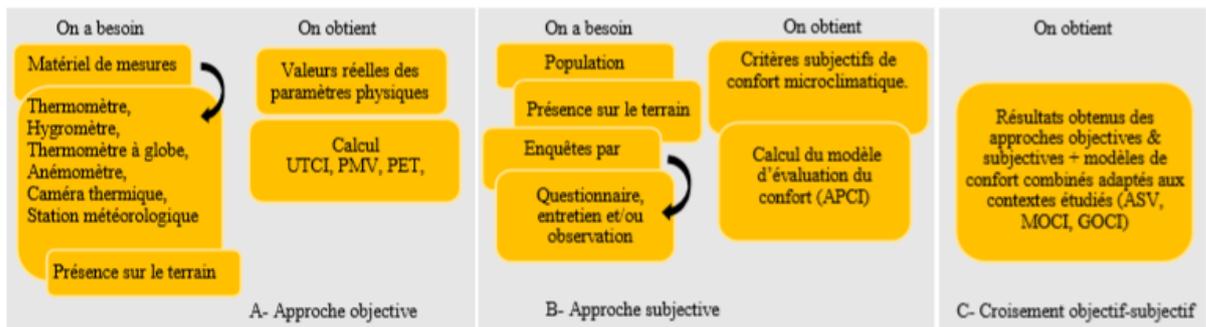


Figure III.06 : Approches expérimentales de prédiction et d'évaluation du confort microclimatique à l'échelle urbaine

III. 2 .3. La démarche sensorielle

Actuellement, la recherche sur l'ambiance architecturale et urbaine est très fertile, la question des rapports sensoriels à l'espace urbain a été renseignée par de multiples chercheurs à travers le monde, et plusieurs travaux ont vu le jour principalement en France au sein du centre de recherche sur l'espace sonore et l'environnement urbain (CRESSON) et du centre de recherche méthodologique (CERMA), la démarche sensorielle se fait selon les approches suivantes : Figure. III. 07.

Les recherches engagées dans le **domaine des ambiances** se sont focalisées sur deux champs complémentaires chacun a sa façon, à savoir :

- **Approche sensible** d'une ambiance relevant d'une expérience spatiale, qui explore l'usage sensible in situ et mobilise les savoirs sur les utilisations et les représentations.

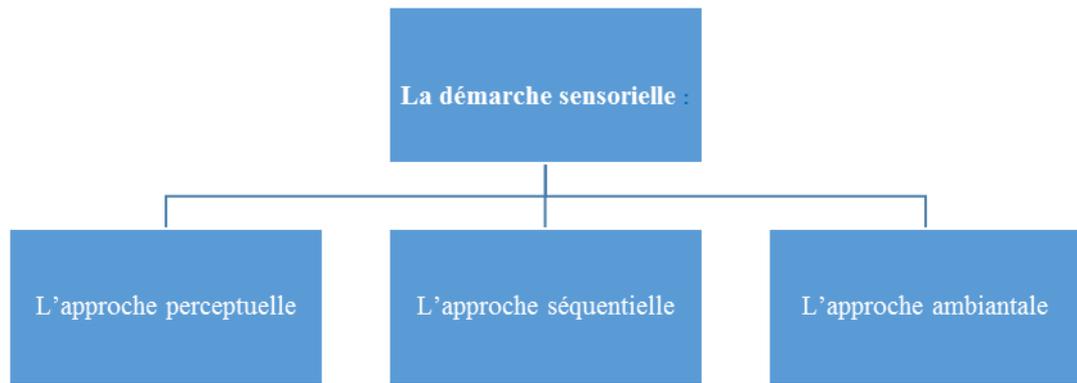


Figure. III. 07 : Les approches de la démarche sensorielle. (Source : Auteure, 2019)

- **Approche technique des ambiances concernant les facteurs physiques** (composant l'ambiance) qui se concentre sur la maîtrise des flux ambiants (lumière, son, chaleur, aéraulique etc....) et s'appuie sur les sciences pour l'ingénieur et la connaissance des formes urbaines et architecturales

L'étude des phénomènes d'ambiance nécessite le recours à des méthodes permettant de recueillir les **données physiques mesurables (quantitatives et objectives)** relatives aux facteurs physiques des ambiances, et les données sensibles (qualitatives et subjectives) correspondant aux significations que prêtent les sujets, confrontés à une expérience sensible des espaces de la ville, à ces phénomènes.

III. 3. Etat de l'art sur les recherches antérieures

À leurs débuts, les recherches concernant l'interférence réciproque et subordonnée entre la végétation et la morphologie urbaine et le climat portent une marque expérimentale. Les études descriptives, d'Howard Luke (1830), Albert Kartzner (1956), Givoni (1978), Escourrou (1991), Golany (1996). L'intérêt au concept de climat urbain est apparu en premier lieu chez les Anglo-Saxons grâce au livre d'Howard Luke (1818.1833) (the climate of London), il a découvert l'influence de la structure urbaine sur le climat local et il a examiné la différence de température entre les sites urbains et les sites ruraux, ce qu'il a décrit après, sous le nom d'ilot de chaleur urbain [Mills. 2008]. Les études de Givoni en 1978 et Escourrou en 1991 mettent en évidence la corrélation entre la ville et le climat ainsi que la prise en compte du climat dans la création des villes.

L'introduction des nouvelles technologies, comme la simulation par ordinateur, a induit une nouvelle réflexion pluridisciplinaire intégrant les différents aspects de la climatologie urbaine comme la climatologie, la pratique de l'aménagement urbain et l'architecture.

Ce partenariat multidisciplinaire opérationnel concerne une multitude de variables ; la vitesse du vent, le rayonnement solaire, la morphologie urbaine, les types de matériaux et la

vegetation etc., ce qui la rend dépendante de la responsabilité conjointement des climatologues, des géographes, des urbanistes, des architectes, et ce pour proposer les meilleures solutions afin d'éviter les problèmes environnementaux et atteindre une qualité de vie satisfaisante en zone urbaine.

Une multitude de travaux ont été menées à travers le monde entiers et plus particulièrement dans les environnements arides afin d'introduire tout ce qui peut contribuer à l'amélioration des conditions de vie et l'allègement des contraintes climatique en intervenant sur les différents aspects ; compositionnels, morphologiques, urbanistiques, environnementaux, etc...., parmi ces travaux et des plus importants, on cite les suivants :

Des études antérieures sur le microclimat urbain et le confort thermique dans les espaces urbains extérieurs ont été menées dans divers climats : climat froid, climat chaud et humide, subtropical, les climats tempérés, et chauds et secs. La littérature examinée ci-dessous concerne le climat chaud et sec

III.3.1. Etude de Picot (2004): Thermal comfort in urban spaces: impact of vegetation growth: Case study: Piazza della Scienza, Milan, Italy

Description et objectifs de l'étude :

L'objectif de cette étude est de quantifier l'impact de la croissance de la végétation sur le confort des utilisateurs dans une place publique en Italie, Piazza della Scienza à Milan, c'est une place carré entourée de deux bâtiments en forme de C de sept étages à ses extrémités nord et sud. L'orientation du carré correspond étroitement aux points cardinaux nouvellement conçus, en effet, les arbres sont implantés à deux niveaux différents, à chaque coin de la place. Figure. III. 8.

III.3.1.1. Méthode adoptée

Implique un ensemble de mesures sur terrain qui sont ; Température de l'air et température moyenne radiante, vitesse de vent et humidité relative, qui prises pendant un jour typique en juillet 2001 à une hauteur de 1.50 m du sol de 6 heures du matin à 18 h. (temps solaire) pour une évaluation simplifiée du confort thermique avec la méthode Comfa et une simulation d'un scénario prenant en considération seulement la croissance des arbres jusqu'à ce qu'ils deviennent adultes, sans changer les caractéristiques de l'emplacement. Trois points de mesures pour une évaluation significative ont été choisis :

Le point P1 situé au Nord-est sur un sol gazonné, le point P2 situé au centre de la place sur un sol minéral et entièrement exposé au rayonnement solaire. Le point P3 situé au sud-est sur un sol minéral entre les arbres et les bâtiments et n'est jamais exposé au rayonnement solaire direct.

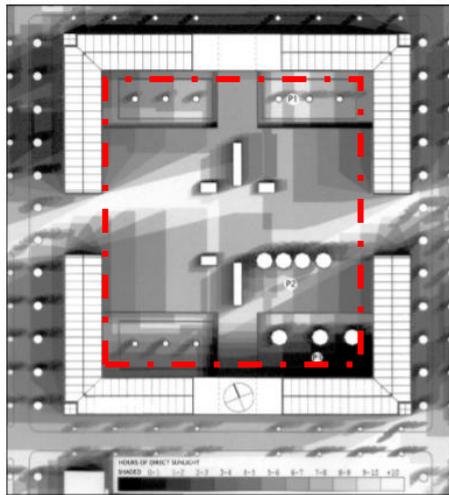
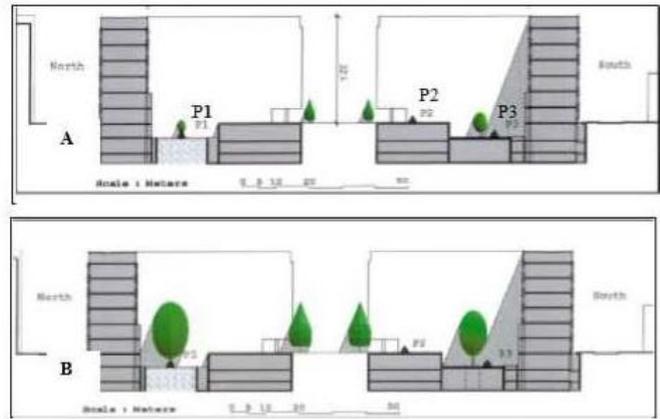


Fig. 3. The plaza—hours of direct sunlight: 21 June 2001.



Section de la place della Scienza à Milan, A en 2002, B en 2032

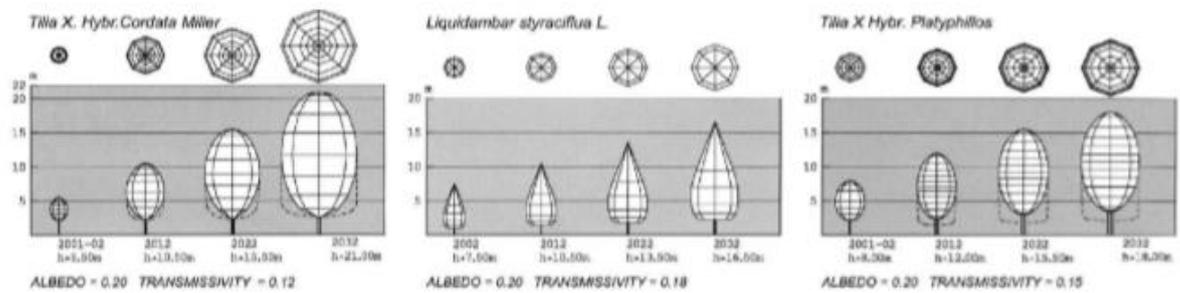


Figure. III. 08: Caractéristiques des arbres et prévisions de croissance de 2001–2002 à 2032. (Source: Picot. X, 2004)

Résultats de l'expérience:

Les résultats calculés avec la méthode Comfa pour chaque point étudié sont montrés sur le tableau ci-dessous où les valeurs du bilan sont calculées pour juillet à 12h solaire.

Tableau III.1.

Budget results from 2002 to 2032 for July 12th at 12.00 a.m.

	2002	2012	2022	2032
P1				
Ground albedo (%)			22.00	
Mean environment albedo (%)	17.55	17.77	17.91	18.10
Sky view factor (%)	25.4	21.4	17.8	13.7
Absorbed radiation	479	479	479	479
Budget	155	155	155	155
P2				
Ground albedo (%)			16.00	
Mean environment albedo (%)	22.08	22.12	22.23	22.24
Sky view factor (%)	43.6	42.5	40.9	38.9
Absorbed radiation	454	454	454	454
Budget	191	191	191	191
P3				
Ground albedo (%)			15.00	
Mean environment albedo (%)	17.75	17.83	17.93	17.98
Sky view factor (%)	27.2	24.7	22.2	20.3
Absorbed radiation	368	368	368	367
Budget	46	46	46	46

Budgets in W/m².

Tableau. III.1 : Résultats du bilan de 2002 à 2032, le 12 juillet à 12h solaire. (Source: Picot. X, 2004)

Nous pouvons observer un niveau constant du rayonnement absorbé par un corps humain « P » de 2002 à 2032. Les points situés dans les secteurs ensoleillés (P1 et P2) ont des résultats de bilan de plus de 150 W/m², correspondant aux niveaux élevés du rayonnement absorbé et d'une sensation chaude.

Les résultats pour le point P3 montre l'effet de l'ombrage constant des bâtiments, indépendamment de la croissance des arbres, sur la valeur du bilan énergétique d'une personne où 46 W/m² ont été enregistrés durant les heures les plus chaudes de la journée, soit très près du confort. Ceci met en évidence encore une fois un effet meilleur de la réduction du SVF par les bâtiments que par les couronnes d'arbres. L'expansion du feuillage réduit le SVF et diminue le rayonnement solaire absorbé par P1, tandis qu'il augmente légèrement les radiations terrestres absorbés par P1. Figure. III-9 et Tableau. III.1

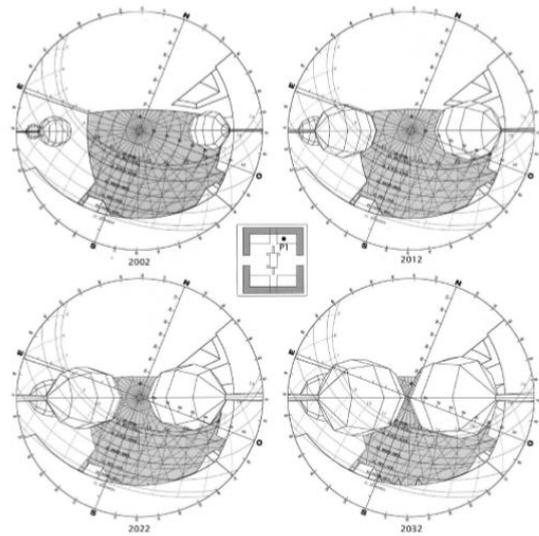


Figure III.09: Impact de la croissance de l'arbre vue par le ciel au point P1. (Source Picot. X., 2004)

Si l'effet d'ombrage par les bâtiments est responsable de la sensation du confort à 6h, 8h et 18h, la diminution du facteur SVF due à la croissance du feuillage, n'a pas d'effet sur le rayonnement solaire absorbé par une personne à midi durant toute la période de mesure et par conséquent sur son bilan d'énergie. Ces résultats révèlent que *les canopées des arbres ne donnent pas une ombre importante même après maturité si la distance entre les arbres ne produit pas l'effet souhaité*. Cette conclusion nous mène à citer un exemple d'étude sur *l'effet de la densité des arbres de par la réduction du SVF*

III. 3. 2. Etude de Sahashua–Bart et al, 2010: Modélisation du microclimat sous l'impact d'arbres de la rue dans une morphologie urbaine variée de la ville méditerranéenne de Tel Aviv, Israël

Description et objectifs de l'étude :

L'étude examine les facteurs affectant le microclimat et sa signification dans la planification urbaine à travers deux composantes qui affectent de manière dominante le climat de la ville: la densité bâtie et les arbres d'ombrage urbains. L'étude vise à développer un outil opérationnel pour évaluer les effets thermiques intégratifs de différentes espèces d'arbres et des éléments bâtis du site, ainsi que leur interaction dans un espace ouvert urbain. Figure. III. 10.

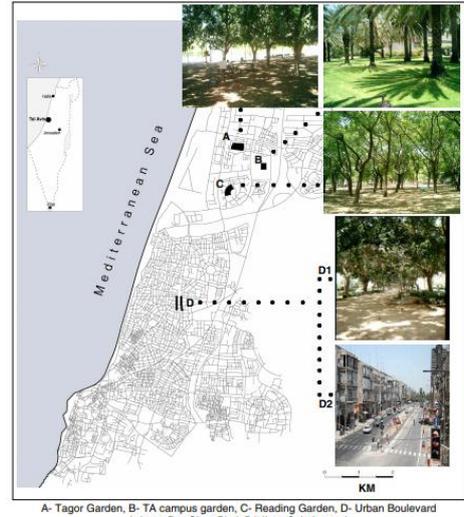


Figure. III. 10. Les arbres de rue dans différentes morphologies urbaines de la ville de Tel Aviv. (Source : Sahashua-Bart et al, 2010)

L. Shashua-Bar et al ont analysé trois espèces d'arbres avec différentes caractéristiques de canopée (résumées dans le tableau III.2, ci-dessous) et trois niveaux de géométrie de rue, indiqués par le rapport $H/W = (0.6, 0.8, 1)$, afin de déterminer leurs effets thermiques sur le microclimat d'une rue pendant la mi-juillet.

Espèce d'arbre	Diamètre des couronnes (m) et caractéristiques	Distance entre les arbres (m)	Hauteur de la couronne (m)	Niveau de protection de la rue par les canopées
Ficus retusa (figuier)	20 dense et large	12	20	90%
Tipuana Tipu	15 taille modérée	12	10	70%
Palmier	8 clairsemée et étroite	7	15	20%

Tableau III.2. Caractéristiques de base des espèces étudiées. (Source : Sahashua -Bart. L et al, 2010).

Pour toutes les configurations étudiées, on a ; largeur(w) = 27m, L1=10m, L2=20m et longueur du block bâti (D) = 25m. Trois configurations d'une rue commerçante urbaine typique de largeur de 27m, avec 4, 6 et 8 étages (correspondant à une ration H/W de 0.6, 0.8 et 1) respectivement ont été analysées. Les données climatiques d'été d'une station météorologique près de la ville Tel-Aviv ont été employées pour calculer les écarts entre l'urbain et le rural. Figure. III. 11.

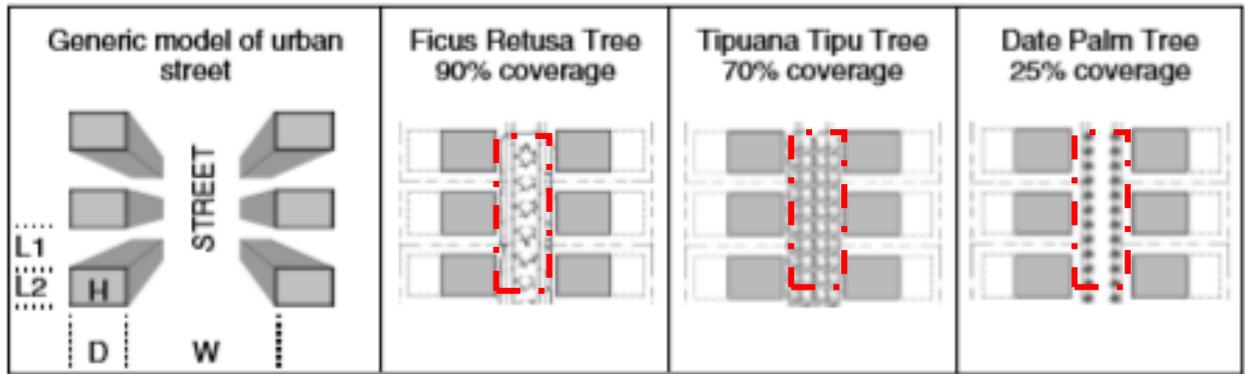


Figure. III. 11. Caractéristique géométriques de la rue avec différents pourcentages de couvertures d'arbres. (Source : Sahashua -Bart .L et al, 2010).

L'approche méthodologique de cette étude est axée sur la généralisation. La procédure de généralisation pour quantifier l'effet thermique de toute situation étudiée est réalisée ici par le paramétrage des variables selon des attributs mesurables de base. Ce processus est appliqué pour deux variables de contrôle principales, à savoir la densité bâtie et les arbres d'ombrage urbains.

Les caractéristiques thermiques de l'arbre sont paramétrées par des attributs, à savoir la couverture de l'arbre, les caractéristiques thermiques de la canopée, y compris l'absorptivité solaire de la canopée, la transmissivité solaire de la canopée, la constante de temps thermique de la canopée et le coefficient de refroidissement de l'arbre dû à l'évapotranspiration et aux changements dans le stockage de chaleur de l'arbre. Figure. III. 12.

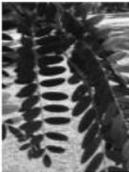
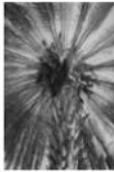
Botanical name	Ficus retusa	Tipuana tipu	Phoenix dactylifera
Family	<i>Moraceae</i>	<i>Fabaceae</i>	<i>Arecaceae (Palmae)</i>
Common name	Indian Laurel Fig	tipu tree	Date Palm
Height at maturity	10–15 m	6–15 m	10–20 m
Canopy width	Vertically growing branches, 15–20 m in diameter. Suited for formal shearing. May be pruned at any time of year to desired shade and size.	Up to 10–15 m. Broad silhouette with flattened crown. Usually wider than higher.	Large feather palm, 6 m diameter.
Trunk	Central smooth trunk, with growth of air roots which can develop into sub-branches.	Central trunk branching. Needs support as young tree especially in windy areas.	Slender trunk, 30–40 cm in diameter. Trunk patterned with base of old leafstalks. Suckers from base, natural state is clump of several trunks.
Foliage	Dense foliage. Leaves are clear lustrous green, similar in size.	Leaves divided into 11–21 oblong; 3 cm long. Light green leaflets.	Leaves at top only. Grey-green waxy leaves. 3 m long. Leaflet stiff and sharply pointed at top.
			

Figure. III. 12. Caractéristique des arbres utilisés le long de la rue avec différents pourcentages de couvertures (Source: Sahashua – Bart. et al, 2010).

Les formes construites sont paramétrées par trois relations géométriques (rapport d'aspect, rapport de profondeur de bâtiment et rapport d'espacement) représentant les diverses configurations de forme de bâtiment. La quantification des effets thermiques pour chaque attribut et aspect de forme bâtie, l'effet thermique total des principales variables de la végétation et de la densité des bâtiments, ainsi que l'interaction thermique entre eux sont estimés à l'aide d'un modèle analytique bien validé, le modèle Green CTTC, montre la procédure de modélisation suivie dans cette étude pour quantifier les effets des variables de contrôle du système. Dans cette étude, deux variables de contrôle principales analysées sont la géométrie de l'espace urbain et les arbres urbains et leurs effets d'interrelation sur le microclimat. Cet effet d'interrelation est analysé par modélisation en utilisant la paramétrisation des principaux attributs de chacun des deux impacts: pour la géométrie de l'espace urbain, trois ratios bâtis, et pour les arbres urbains, six attributs qui capturent l'effet thermique du refroidissement des arbres.

L'étude analytique est décrite dans la section 4, qui comprend une brève description de la formulation du modèle, son adéquation à des fins de simulation et sa validité dans la prévision des variations de température de l'air pour les sites étudiés. La section traite également de la valeur estimée de l'effet de refroidissement de l'arbre et de sa dépendance à l'égard de la densité urbaine. La section 5 illustre les lacunes de la modélisation fragmentaire et plaide en faveur des mérites de l'approche intégrative.

Conclusion du cas d'étude : Résultats de l'expérience

L'effet de refroidissement des arbres en été dans un climat chaud et humide est important et peut atteindre jusqu'à 3 à 4 degrés de refroidissement, ce qui représente environ 50% de l'augmentation de la température de l'air du lever du soleil à midi.

Les arbres de ficus principalement, ont montré l'effet de refroidissement et plus élevé car leurs couronnes couvèrent 90 % de la surface de la rue. Ce qui indique, comme solution l'importance de la diminution du SVF par les couronnes d'arbres. Cependant cet effet diminue avec la profondeur de l'espace du à l'effet protecteur de la géométrie. (Ainsi l'effet d'une géométrie à faible svf diminue de l'effet des couronnes d'arbres).

- L'effet de refroidissement potentiel de l'arbre s'est révélé dépendre principalement du niveau de couverture de la canopée et de la densité de plantation dans la rue urbaine, et peu des **caractéristiques des autres espèces**. Ceci devrait être pris en compte lors de la sélection des espèces d'arbres pour la planification climatique durable.

- Le palmier dattier dans une rue résidentielle (27 m de large) s'est révélé inefficace comme agent de refroidissement.
- L'effet thermique d'un arbre est fortement lié à la géométrie de la rue urbaine. Pour tout niveau de couverture arborée, l'effet de refroidissement n'est pas constant: **plus l'espace ouvert est profond (H / W élevé)**, plus l'effet de refroidissement de l'arbre est petit.
- Dans les rues urbaines avec de grands espaces ouverts, l'effet des arbres sur **le microclimat associé est faible**. Dans de tels cas, **les arbres avec une petite taille de canopée**, comme la canopée du palmier dattier, conviennent **mieux que les grands**, surtout si l'espace ouvert profond est celui d'une étroite largeur de rue plutôt que de hauts murs flamboyants. Ces arbres sont surtout nécessaires le long des trottoirs pour le bénéfice des piétons, principalement pour l'ombrage et le confort thermique pendant les heures de midi.
- Dans le cas des rues urbaines avec des **espaces ouverts** peu profonds, l'effet de refroidissement potentiel d'un arbre peut être amélioré en utilisant **des arbres à feuilles larges (comme les espèces d'arbres Ficus et Tipuana tipu)** à des intervalles de plantation minimaux, de sorte que les couvertures se chevauchent à maturité.
- Il a été constaté que des effets thermiques d'interaction significatifs existaient entre les effets de végétation et les effets d'accumulation. La modélisation fragmentaire des variables a conduit à des effets thermiques avec un biais significatif par rapport à la modélisation intégrative. La solution intégrative est atteinte grâce à l'utilisation d'un modèle analytique. Dans cette étude, le modèle Green CTTC donne des résultats satisfaisants.

III. 3. 3. L'étude Ballout. et al, 2015 : Le rôle de la végétation et l'eau dans la création d'un microclimat urbain

Description et objectifs de l'étude :

L'objectif de l'étude est d'arriver à évaluer et quantifier l'impact de la végétation et l'eau sur le confort en milieu urbain et démontrer que la régulation thermique du microclimat urbain dans les régions à climat chaud et sec est possible par un choix judicieux de la taille, la disposition et la quantité de la végétation et étendues d'eau. Le site d'étude choisi est la place d'Ain El Fouara à Sétif, Algérie.

(Fig.III.13.)



Figure. III. 13 : Localisation des quatre points de mesure dans la place d'Ain el Fouara à Sétif.
(Source : Ballout. A, 2015)

Au-delà des croyances liées à l'eau de la fontaine, la place constitue un espace propice au regroupement et récréation. De plus, cette place qui est un espace minéral ouvert avec un point d'eau et de la végétation abondante, est un site qui offre l'opportunité de vérifier le rôle jumelé à la fois de l'eau et la végétation en termes de microclimat et confort.

La 2^{ème} partie de l'étude concerne l'application **de** l'investigation sur terrain. Cette dernière comporte **une campagne de mesures et un questionnaire**, tous deux relatifs aux facteurs influant sur le confort thermique en milieu urbain. Par la suite **une simulation** basée sur l'outil informatique, en l'occurrence, **Envi-met** qui permet de quantifier les impacts microclimatiques liés aux paramètres de la végétation et de l'eau sur le confort thermique extérieur et simuler plusieurs scénarios.

Les mesures se sont effectuées sur 03 jours consécutifs, quatre points de mesure ont été choisis dans le but de répondre aux hypothèses. Chaque point représente des caractéristiques physiques différentes des autres ; présence de végétation proximité du point d'eau et l'exposition au rayonnement solaire.

Une journée représentative est choisie : chaude, ciel complètement dégagé avec des brises légères de vent. Les résultats obtenus pour chaque station ont été comparés entre eux et avec ceux de la station météorologique.

Un questionnaire fût aussi dressé dans le cadre de cette recherche, l'échantillon choisi répond aux conditions de disponibilité et de proximité. Une simulation est utilisée ici en 2^{ème} phase dans le but de vérifier et consolider les résultats obtenus lors de l'investigation et mettre en évidence de nouveaux éléments qui pourraient ajouter un plus dans le travail. Deux logiciels sont utilisés ; Envi-met pour la modélisation du microclimat urbain et l'étude de paramètres affectant le confort en ville. Le deuxième s'appelle psychcomfort.xls pour l'extraction des valeurs du PMV et du PPD.

Les paramètres étudiés sont la présence et la quantité d'eau d'une part et la densité du couvert végétal d'autre part. Cinq scénarios sont définis ayant comme différence les deux paramètres cités ci-dessus. Les résultats obtenus sont comparés avec les mesures in-situ, et entre eux.

Scénario 01 : sans végétation et sans eau.

Scénario 02 : correspond à l'état actuel (avec fontaine et arbres).

Scénario 03 : même densité végétale avec une surface d'eau qui correspond au terrain plein central ; soit 3,7% de la surface totale de la place

Scénario 04 : état du 3^{ème} scénario avec deux bassins d'eau de chaque côté de la fontaine.

Scénarios 05 : semblable au précédent avec une augmentation, cette fois-ci, de la densité de végétation (92% de la surface totale de la place. Figure. III. 14.

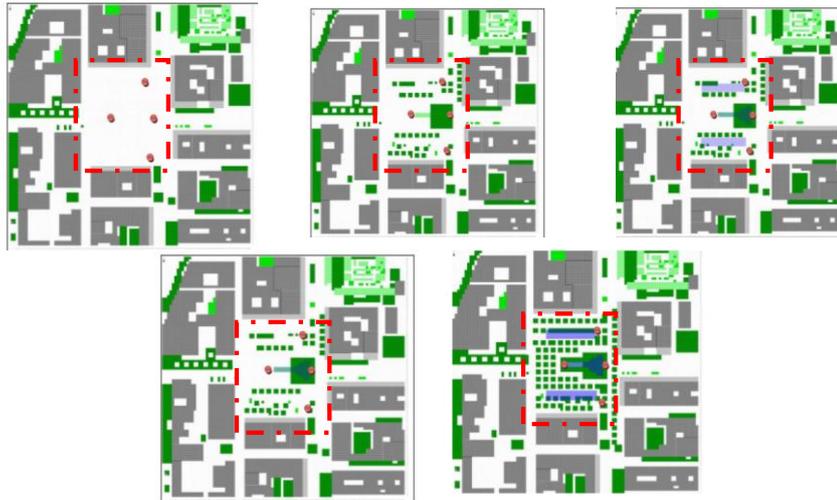


Figure. III. 14: Les cinq scénarios de la simulation placette. (Source: Ballout. et al, 2015)

Conclusion du cas d'étude: Résultats de l'expérience

Les résultats obtenus démontrent une influence de la végétation sur le confort thermique, déduite à travers la présence quantitative de la végétation dans l'espace de la place. D'autres paramètres pourraient être étudiés tels que : le type d'arbre, leur positionnement dans l'espace etc...

Pour l'eau aussi, un seul paramètre est pris en considération, le quantitatif qui concerne (la surface évaporatoire). Son effet reste très localisé, la surface de l'eau à une influence locale sur l'humidité spécifique de l'air, mais à degrés moindre sur sa température.

III. 3. 4. L'étude d'Andre Santos Nouri et al, 2018: L'impact des espèces de tipuana tipu sur les seuils de confort thermique humain local dans différents cas de canyon urbain dans les climats méditerranéens ; Lisbonne, Portugal

Description et objectifs de l'étude :

Dans le cadre de ces études, les avantages de la végétation sur le domaine public urbain ont été examinés, y compris leur capacité à réguler la température ambiante urbaine (T_{amb}) et les effets de l'ICU. Nonobstant, et comme suggéré par Kong, Lau et al, au sein de la communauté scientifique, il existe encore un plus grand nombre d'études qui se sont concentrées sur les variations de T_{amb} plutôt que sur les impacts thermo physiologiques résultant de la végétation locale. Concomitamment à cette perspective, cet article est centré sur l'importance d'aller au-delà des seules caractéristiques climatiques et vise à compléter

les études existantes qui identifient l'importance de considérer les influences thermo physiologiques «in-situ» résultant de la végétation urbaine.

Conformément à cet objectif, cette étude utilise une nouvelle version du modèle SkyHelios comme nouveau moyen de traiter les caractéristiques microclimatiques (à savoir la vitesse du vent (V)); et examine et applique de nouveaux indices thermo physiologiques modifiés pour effectuer des évaluations plus précises des conditions de confort thermique au cours de différentes périodes de l'année. De telles méthodes sont appliquées au cas de Lisbonne pour identifier comment l'un des arbres d'ombrage les plus couramment trouvés dans la ville (c.-à-d. Tipuana tipu) peut influencer les conditions de bioclimat in-situ dans les UCC urbains symétriques qui sont généralement situés dans le centre historique de la ville.

La modélisation, le raffinement et la représentation des évaluations UCC ont été traités selon une approche en trois étapes. Dans un premier temps, une nouvelle version du modèle SkyHelios a été utilisée pour évaluer les conditions microclimatiques et les implications sur les paramètres introduits par rapport aux morphologies urbaines. Tel que présenté par Fröhlich , le modèle a été développé pour analyser la dimension spatiale d'un microclimat spécifique. La courte durée d'exécution et la large gamme de formats d'entrée pris en charge, ainsi que la capacité de traiter différents systèmes de coordonnées projetés permettent l'applicabilité du modèle pour évaluer la comparaison de différents UCC, compositions d'arbres et leur effet sur la biométéorologie thermique.

En termes de traitement, le nouveau modèle SkyHelios suit essentiellement une approche similaire à celle du modèle Rayman, mais il a la particularité supplémentaire de considérer également la dimension spatiale des paramètres. En conséquence, SkyHelios utilise le processeur graphique pour calculer le facteur de vue du ciel (SVF). Sur la base de la SVF, les flux de rayonnement peuvent être déterminés pour n'importe quel emplacement dans la zone du modèle respective, et résumés en tant que température radiante moyenne (T_{mrt}). Tel que défini par Oke , le SVF est la fraction du ciel visible vue d'un point spécifié. Dans le module logiciel, la première opération est le rendu d'une image fish-eye pour cet emplacement spécifié, et deuxièmement, le SVF est déterminé en distinguant les pixels transparents et colorés dans l'image générée. Semblable aux environnements réels.

Les arbres utilisés sont de type tipuana tipu, cet arbre est reconnu comme arbre d'ombrage urbain efficace spécifiquement dans les climats méditerranéens, il est aussi fréquemment

mélangé avec d'autres espèces à Lisbonne. Ces circonstances peuvent être illustrées par un mélange avec d'autres «arbres d'ombrage» identifiés tels que *Jacaranda mimosifolia* dans le jardin urbain de «Santos» et la place publique de «Rossio» dans le quartier historique. L'exemple de ce dernier est illustré sur la figure ci-dessous qui montre un coin salon bordé de trottoir sous les couronnes végétatives d'une plantation linéaire de *Tipuana tipu* avec une rangée parallèle de *Jacaranda mimosifolia* sur le bord du trottoir. Commune aux typologies de plantation de trottoir identifiées par Torre, la configuration de plantation linéaire a été identifiée pour atténuer efficacement le rayonnement, en particulier lorsque les lignes d'arbres sont parallèles / proches d'une façade de bâtiment et des configurations de vent qui ont lieu perpendiculairement à la ligne des arbres

Diverses compositions morphologiques ont été construites. En modifiant l'une des caractéristiques des canyons, il a été possible d'obtenir des rapports hauteur / largeur (HW) différents, qui étaient les plus courants dans le quartier historique de Lisbonne. Figure III.15



Figure.III.15. Représentation de l'espèce *Tipuana tipu* | (A) Exemple de plantation linéaire d'espèces dans le trottoir latéral est du Rossio pendant l'après-midi | (B) Dimensions de l'arbre dont elles ont ensuite été utilisées dans les simulations | (C) Foliation annuelle et coloration de la couronne végétative - adapté de Viñas, Solanich.

En conséquence, la hauteur du canyon a été maintenue à 20 m (ce qui équivaut à peu près à un bâtiment de cinq étages), et les largeurs du canyon ont fluctué entre 10, 20, 40 et 120 mètres pour obtenir `` très haut ", `` haut ", `` moyen " et UCC `` très faible", respectivement. Bien que centrée sur une plus grande échelle, une approche similaire a été

appliquée par Norton, Coutts, qui a catégorisé les besoins prioritaires généraux pour l'infrastructure verte dans différents canyons urbains. Auparavant, un UCC avec une description de «faible» était également initialement envisagé pour l'étude. Un tel canyon présentait une largeur de canyon de 80 m et un rapport HW de 0,25, mais sur la base d'une étude précédente menée par les auteurs, il a été identifié qu'il présentait des conditions thermiques presque identiques au rapport de 0,17. Comme ce dernier présentait de plus grandes différences avec le ratio plus élevé de 0,50, il a été décidé de se concentrer sur les quatre UCC identifiés dans cette étude spécifique, comme présenté dans le tableau III.3.

UCC Description	Canyon Height	Canyon Width	HW Ratio
'Very High'	20	10	2.00
'High'	20	20	1.00
'Medium'	20	40	0.50
'Very Low'	20	120	0.17

Tableau. III. 3. Description et catégorisation des cas de canyons urbains (UCC) utilisés et leur rapport : largeur et hauteur / largeur (HW) respectif .(**Source** : d'Andre Santos Nouri et al, 2018).

Conclusion du cas d'étude: Résultats de l'expérience.

Les résultats obtenus à partir de SkyHelios et ensuite traités par RayMan pour obtenir les valeurs PET, et les grades PS respectifs, ont été démontrés pour chacun des quatre UCC. Afin de faciliter la compréhension des résultats, le programme CTIS a été utilisé pour présenter les différences obtenues entre les simulations sans végétation (NVSim), contre des simulations avec la présence de l'espèce *Tipuana tipu* (TTSim); et les disparités identifiées à partir des résultats obtenus initialement de la station météorologique. Comme prévu, les UCC avec le moins de stress thermique étaient HW2.00 et HW1.00 qui présentaient généralement à la fois des périodes et des quantités de stress thermo physiologiques plus faibles. Cela a été principalement reconnu au sein du NVSim. Plus précisément, et en ce qui concerne le canyon HW2.00, il a été établi que durant le 03 juillet au sein du NSO, la présence des couronnes d'arbres a permis de réduire d'un tout les niveaux de PS entre 12h00 et 14h00, degré de contrainte avec une réduction maximale du mPET de 6,8 ° C (obtenue à 14h00 en RPE). Une telle diminution représentait la capacité de la cime des arbres à diminuer la vulnérabilité à hauteur des piétons pendant les quelques heures pendant lesquelles le canyon était exposé au rayonnement solaire direct.

Le 03 juillet au sein du WEO, le TTSim a présenté des réductions beaucoup plus prolongées des seuils de PS, notamment en RPN et RPC2 qui ont été coulés à l'ombre de la couronne végétative entre 10h00-15h00 et 10h00-16h00, respectivement. Figure. III. 16.

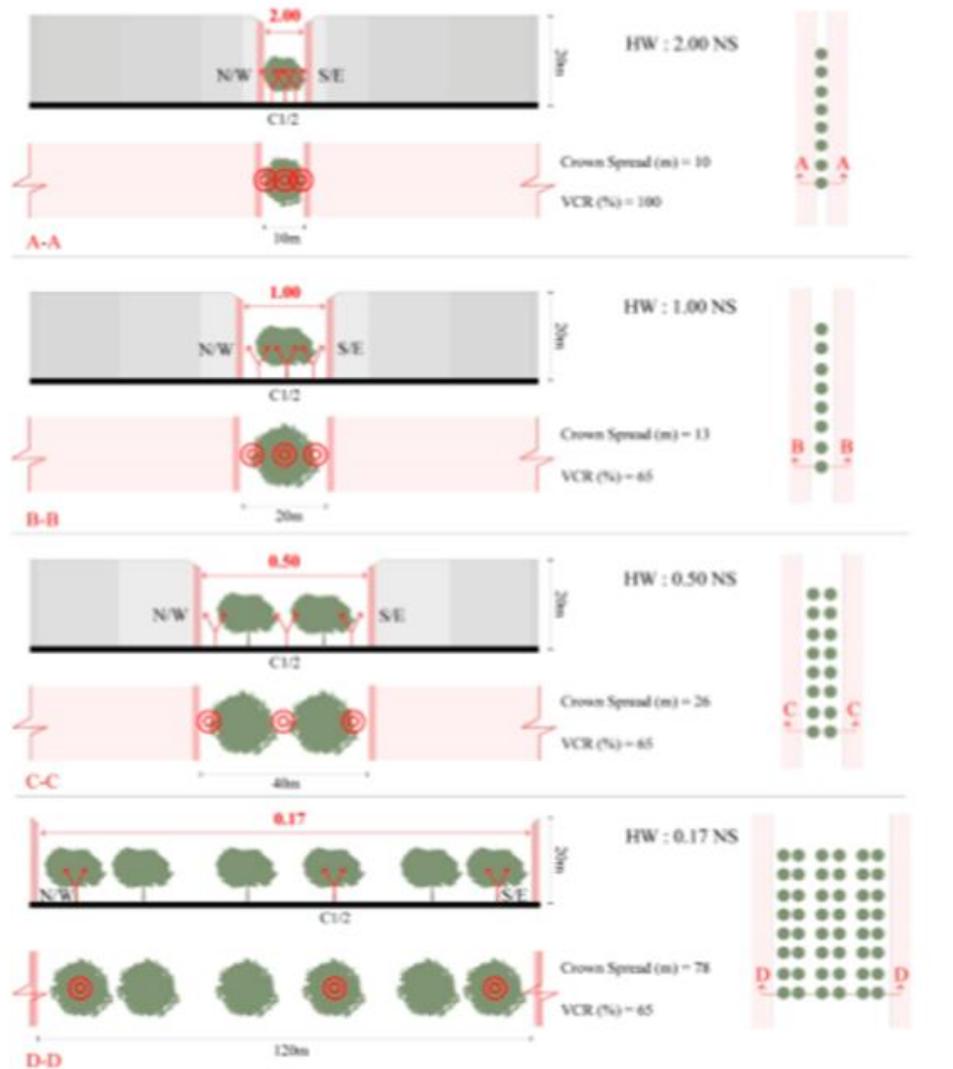


Figure.III.16 : Disposition d'orientation nord-sud (NSO) des cas déterminés de canyons urbains (UCC) et des points de référence centraux / latéraux (RP) avec des étendues de cime et des rapports de couverture végétative (VCR) spécifiés; Section A-A en HW2.00, section B-B en HW1.00, section C-C en HW0.50, section D-D en HW0.17

Pendant ces heures, et dans le cas du RPC2, les valeurs mPET réduites variaient entre 29,1°C – 37,7 ° C, au lieu de 34,6 °C – 42,9 °C comme obtenu dans le NVSim; 16 décembre pour le NSO et le WEO, il a été possible d'identifier que l'absence / la présence de végétation n'a conduit à aucune différence significative entre le NVSim et le TTSim. Dans le cas du NSO, les variations très subtiles de PS telles que celles présentées à 12h00 et 16h00 étaient le résultat de valeurs V1.1 oscillant de 0,1 m / s. Au sein de la WEO, ces distinctions étaient encore moins significatives, mais en raison de valeurs V1.1

généralement plus élevées (c'est-à-dire entre 0,2 m / s et 0,7 m / s), tous les RP présentait des niveaux de PS légèrement plus froids.

Finalement, les résultats de l'étude indiquent comment les simulations peuvent être associées aux mesures sur le terrain pour comparer et adapter les données climatiques de la station météorologique locale; les effets thermo physiologiques in situ qu'un arbre d'ombrage commun peut avoir sur les piétons pendant les périodes d'été et d'hiver dans les régions sujettes à des stimuli thermiques plus élevés, en particulier pendant l'été; et enfin, comment ces résultats peuvent faciliter la transition et le «langage partagé» entre les domaines de la climatologie urbaine et de la conception / planification urbaine locale. Dans ce qui suit nous exposons une série d'exemple d'études antérieures sur l'effet de **la densité des arbres sur l'amélioration des conditions thermique extérieures**. Tableau. III. 4.

Auteurs et années	situation	Méthodologie et résultats
Gianni Scudo et al (1995)	Quatre places publique Milan, Italy	Pour une estimation quantitative des effets climatiques de la végétation urbaine sur le confort thermique extérieure, ont menés <i>une investigation</i> sur quelques places publiques. Les critères de choix des exemples d'étude pour caractériser le confort dans les places publiques sont <i>la dimension et la situation dans le système urbain</i> . Les Quatre places ont été choisies dans ce but: Deux de petites dimensions soit 2000 m ² , place Saint Fedele, place typique des places à ciel ouvert et avec très peu de végétation du centre de Milan, de forme allongée orientée selon l'axe NE-SO, relativement entourée de bâtiments de hauteurs moyennes et la Place de sainte-Marie des croisades de même forme et orientation que la précédente, plus ouverte au ciel et avec de la végétation caduque au centre. Deux autres de grandes dimensions : la place de Leonardo de Vinci de 35.000 m ² de forme rectangulaire orientée selon l'axe N-S avec une importante distribution d'un mélange de végétation paysagée. La seconde est la place Aspromonte de 22.000 m ² de forme carrée avec une importante végétation caduque qui donne un ombrage presque permanent.

		<p>Les résultats pour la place Sainte-Marie des croisades font apparaître clairement <i>l'effet de l'ombre des arbres sur les températures de l'air</i> où une différence moyenne de 2.5 °C et une maximale de 4°C est enregistrée entre les zones à l'ombre et au soleil. Par contre la place Aspromonte à végétation dense et ombrage permanent n'enregistre qu'une différence moyenne de 2°C et une maximale de 3.5°C entre les zones à l'ombre et les zones au soleil. Cependant les températures moyennes de l'air sont inférieures de 2°C par rapport à la place précédente. De même, dans la place publique Leonardo de Vinci, <i>l'influence de l'ombrage des arbres</i> donne une différence moyenne et maximale respectivement de 2°C et 3°C donc inférieure aux deux précédentes ; <i>ceci nous ramène à dire que pour bénéficier au maximum du refroidissement dû à l'effet combiné de l'ombrage et l'évapotranspiration des arbres, il faut prévoir des petites places presque fermées à ombrage permanent, soit de faible SVF.</i></p>
<p>S. Striling et A.Matzarakis (2003)</p>		<p>Ils ont mesuré la température de l'air et l'humidité relative sous un arbre isolé et un groupement d'arbres, ils ont trouvé une différence de température de l'air de 0.9 à 1°C entre le groupement d'arbres et un espace découvert référence, cependant pour un arbre isolé la différence était seulement 0,1°C.. Par contre les différences dans l'humidité relativement moyenne étaient insignifiantes, elles étaient respectivement de 5% à 7% entre les secteurs avec arbres et sans arbres.</p> <p>Des petites différences de 1.1% et de 0.9% étaient enregistrées, respectivement, sous la couronne d'un arbre isolé et le groupement d'arbres. Ces mêmes résultats ont été prouvés antérieurement, 1975, par une étude dans la zone du centre d'affaire de Syracuse (USA) par (Herrington et</p>

		<p>Vittum citées par Heisler et en 1998 par C. Calzada et al) dans une étude dans le centre de Barcelone. Cependant, leurs résultats de l'influence des arbres sur le paramètre thermique T_{mrt} et la PET étaient d'un intérêt spécial. Des différences maximales de 30.8°C et de 34°C dans la T_{mrt} ont été trouvées entre les endroits fortement et légèrement influencés par les arbres. Les différences moyennes et maximales sont respectivement de l'ordre de 19.3°C et 21°C. Les différences maximales montrées par la PET sont de l'ordre de 17.6°C et 16.6°C, 7.5°C et de 9.9°C respectivement.</p> <p>Le sentiment de fraîcheur exprimé par les personnes est donc un résultat d'une réduction du rayonnement reçu (R) qu'il soit direct, diffus ou réfléchi, <i>c'est-à-dire de la réduction du SVF</i>, aussi bien que des radiations en grandes longueurs d'ondes provenant notamment des sols artificiels. De ce fait <i>un petit groupe d'arbres aussi bien qu'un arbre isolé a des effets positifs sur le confort thermique.</i></p>
<p>Lin et al (2010)</p>	<p>Taiwan chine</p>	<p>Douze stations <i>de mesures</i> sur le terrain ont été menées sur un campus universités, pour discuter les effets de l'ombrage sur le confort thermique extérieure à long terme. Une <i>simulation numérique avec RayMan</i> a été effectuée pour évaluer le confort thermique en fonction de données météorologiques couvrant une période de 10ans. L'étude a montré que la température moyenne radiante (T_{mrt}) simulé était très proche de celle mesurée. Les auteurs ont signalé que les endroits inconfortables (facteur de vue de ciel élève), alors que les zones très ombragées (faible facteur de vue de ciel) représentaient des lieux de mal à l'aise en hiver. Ils ont suggéré que plusieurs types d'ombres et différents niveaux d'ombrage sont recommandés afin que les usagers puissent définir ou se tenir dans des zones qui leur</p>

		fournissent leurs conditions thermiques préférées.
Shinzato et Duarte (2012)	Sao Paulo. Brésil	En étudiant l'effet de la densité des arbres sur la température de l'air et de la surface au niveau des piétons. sur la base de mesures de paramètre biophysique LAI « leaf area density » dans le parc urbain d'Ibirapuera. trois valeurs (1, 2,3) ont été sélectionné pour la simulation avec le modèle « <i>ENVI-met.</i> ». Le modèle considère que LAI est connu et que la densité de la surface foliaire (LAI) peut être calculée en intégrant les valeurs de LAI. Les arbres denses (LAI=5) ont montré une différence moyenne de 14,7° pour la température de surface du sol entre le zone verte et la rue. ainsi que 10° pour les arbres avec LAI=3 et 5° pour les arbres avec LAI=1. Les différences de la température de l'air entre les zones sous les arbres denses (LAI=5) et dans les rues est d'environ 1.3°C.

Tableau .III.4 : Recherches antérieures sur l'impact de la végétation sur le confort thermique urbain.
(Source : Adapté de plusieurs recherches. Auteure, 2019)

III. 4. Positionnement épistémologique

L'importance du présent chapitre est de savoir le cadre méthodologique qui convient le mieux pour résoudre les problèmes scientifiques impliqués dans ce travail, à travers les démarches scientifiques de tous les modèles méthodologiques mentionnés précédemment. Nous avons présentés auparavant les différentes démarches qui mettent en considération l'importance de la végétation sur le confort dans les espaces extérieures. Ainsi, notre recherche vise à choisir une méthode qui permettrait de comprendre l'impact de la végétation sur le microclimat et le confort thermique. Cela implique notamment la définition des démarches, et la détermination de leur mode de gestion et leurs objectifs. Donc, nous allons nous concentrer ici sur **(la démarche) l'approche d'investigation** (méthode choisie) qui mettra en évidence la végétation et le confort thermique. Nous pouvons avec cette approche d'investigation réaliser une étude traitant l'impact de la végétation sur le microclimat et le confort thermique extérieur dans la ville de Biskra. Cette étude est connue par sa complexité

et son ambiguïté mais nous l'avons choisi pour que nous puissions identifier et comprendre mieux le problème sujet de notre étude et d'assurer l'atteinte de bons résultats.

III. 4. 1. Le choix de l'approche pour étudier le rôle de la végétation sur le climat urbain

Nous présentons dans cette partie **l'approche la plus** utilisée par les scientifiques, pour étudier le rôle de la végétation sur le climat urbain, La démarche d'investigation qui s'appuie sur deux méthodes complémentaires ; la mesure spécifique réalisée sur le terrain et la simulation effectuée avec des modèles numériques ; s'avère la plus efficace, malgré sa complexité. Relativement à notre travail, les deux méthodes ont été utilisées pour atteindre les objectifs de cette recherche :

- **La première** ; concerne l'application d'une série **de mesures (in situ)** sur les facteurs climatiques affectant le confort thermique, au niveau de notre placette d'étude
- **La seconde est une simulation** ; basée sur l'application numérique, permettant une quantification précise des facteurs microclimatiques impactés par les paramètres de la végétation et les répercussions de ces facteurs sur le confort thermique en plein air de la placette, mais aussi ce que nous allons développer dans les prochains chapitres, précisément au chapitre cinq, ou on présentera le modèle numérique retenu et son application pour modéliser et simuler plusieurs scénarios afin de ressortir le scénario optimum avec sa configuration respective. Figure. III.17.

III.5. Les méthodes de quantification du climat urbain et les modèles climatiques : méthodes d'évaluation microclimatique.

Dans le cadre de la climatologie urbaine, les techniques scientifiques offertes actuellement existent depuis les années 70, celles nous permettent d'évaluer le rapport réciproque entre le milieu urbain et les paramètres microclimatiques, parmi ces **techniques ; les mesures instantanées in situ**, les observations par **téledétection** et les performances **des modèles de simulation** numérique.

Tous ces moyens ont contribué à constituer un ensemble de connaissances qui nous permettent d'anticiper le comportement thermique extérieur en tant que facteur clé implicite qui influe sur le confort thermique extérieur à l'échelle intermédiaire (placette) en fonction des indicateurs morphologiques et densité du couvert végétal.

III.5.1. Les mesures

Il y a deux types des mesures ; **Les mesures instantanées in situ** et **Les mesures à distance**

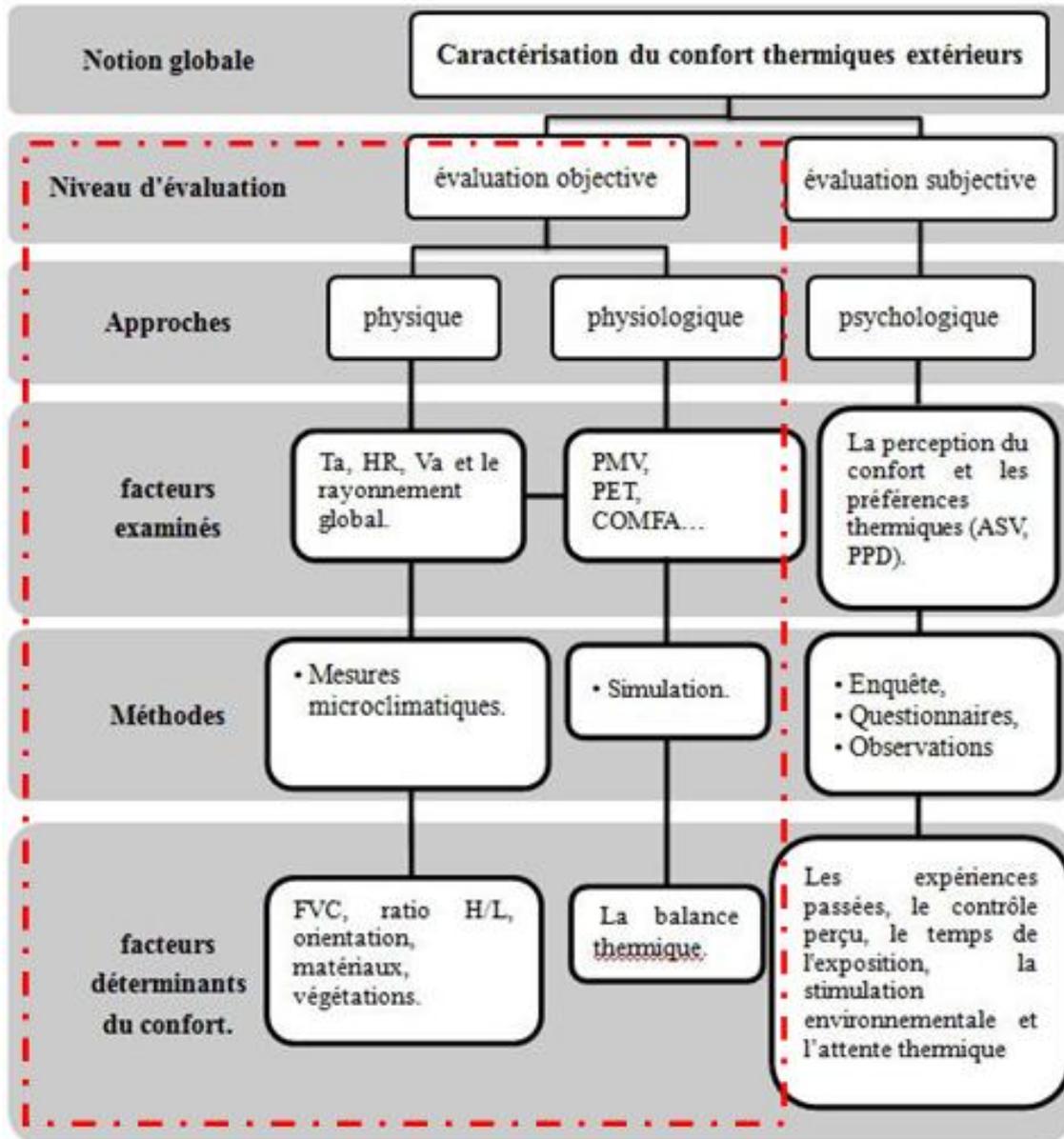


Figure. III. 17 : Schéma récapitulatifs des différents types d'investigations utiles à l'évaluation du Confort Thermique dans les espaces extérieurs.
(Source : Auteure, 2019)

III. 5. 1. 1. Les mesures instantanées in situ

C'est un prélèvement de mesures instantanées des paramètres climatiques sur terrain selon des points de mesures fixes pour évaluer l'ambiance extérieure par des instruments comme l'appareil portatif de Mesures des Ambiances Physiques (APMAP). KIMO, HD100 et TESTO 480... etc. pour comparer ces mesures collectées avec les mesures soient calculées ou bien simulées, qu'on retrouve dans moult travaux.de calcul (Lam, J.C. 1999 ; Yu, J., 2008 ; Ji, Y., K.J. 2009 ; Chua, K, 2010), et travaux de simulation qui ont permet de vérifier et d'évaluer toutes les théories applicables à la bioclimatique urbaine et architecturale. (Jörg Spangenberg ,2008) et shinzatoet duarte, 2012 ; Robitu, 2005 ; Vinet, 2000 ; Malys, 2012 ; Lin et al, 2010) ; picot, 2004 ;Tobi Eniolu MORAKINYet al,2018) ; (Zhixin Liu et al,2018) . Figure III. 18.

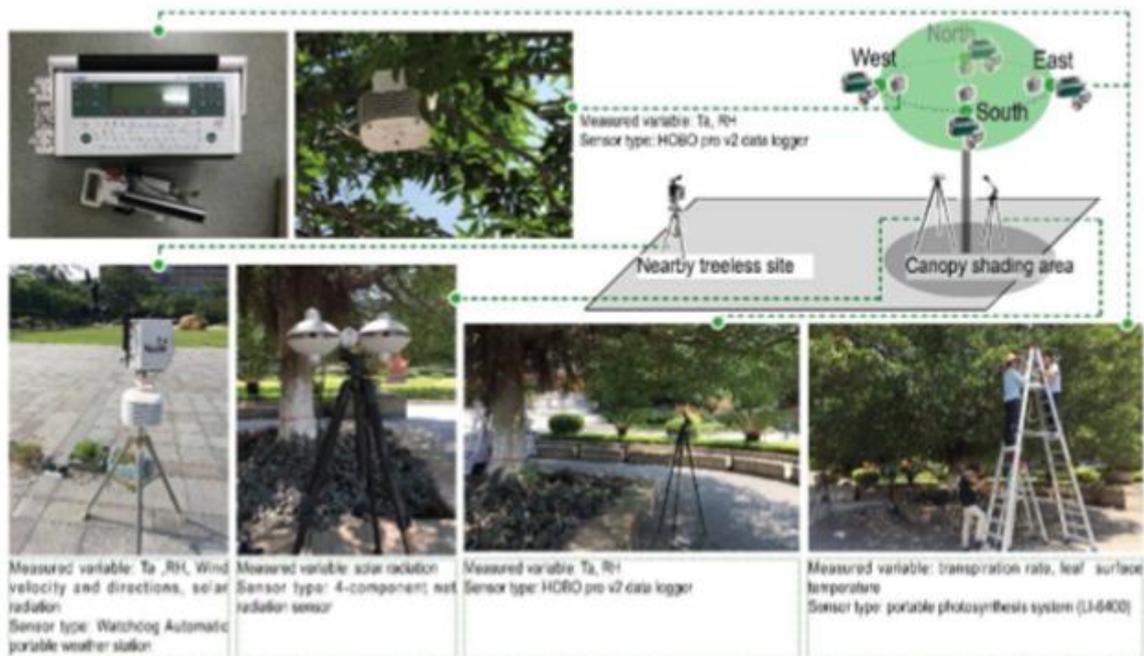


Figure III.18: The locations of measuring instruments. RH: relative humidity; Ta: air temperature. (Source: Zhixin Liu et al, 2018) (Instrument types, locality, and accuracy)

D'autres projets sont plus ciblés sur le rôle de la végétation en ville, tels que **VegDUD5** (le rôle du Végétal dans le Développement Urbain Durable) à Nantes (Musy, 2014) et **EPICC6** à Vancouver au Canada (Liss et al, 2010). Les mesures instantanées in situ, dans notre cas, nous permettent de déterminer les paramètres les plus adaptés à nos buts.

III. 5. 1. 2. Les mesures à distance (Téledétection)

Par la télédétection on peut étudier les grandeurs physiques de l'lot de chaleur urbain de n'importe quel endroit sur terre. À travers les prises de vues aériennes ou l'imagerie satellite, en général on mesure : Figure III.19

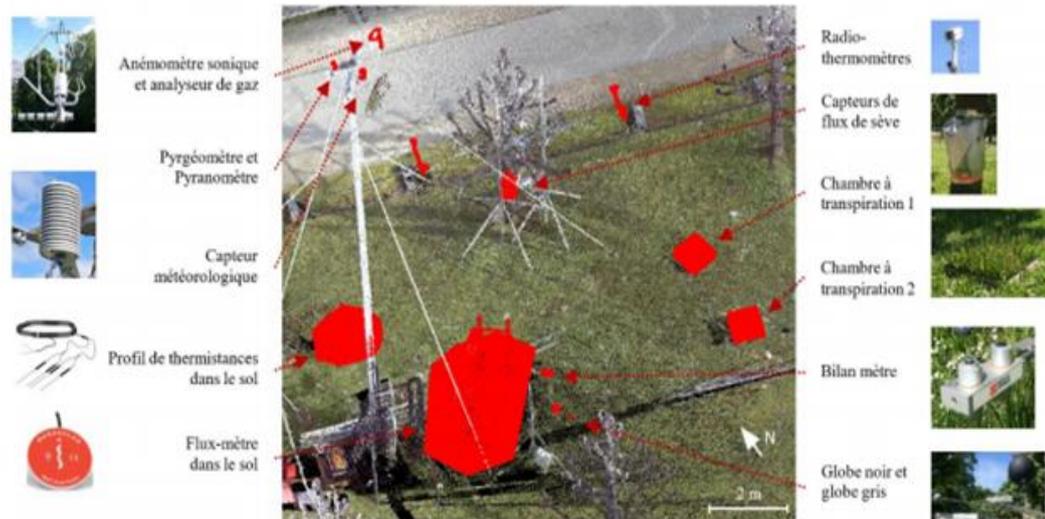


Figure. III. 19 : Illustration des capteurs utilisés pour obtenir les mesures de terrain comparatives et leur localisation dans la zone d'étude. La position des capteurs est illustrée en rouge dans un nuage de points SLT. (Source : Zhixin Liu, et al, 2018)

- La température du surface du terrain (Land Surface Température : LST). Elle donne la possibilité de traiter toute une ville ou bien un vaste territoire. (WENG et al 2004).

- La présence de la végétation en général soit arbre ou herbe par l'indice différentiel de végétation normalisé (Normalisé Différence Végétation Index : NDVI).

- L'albédo. (KIM. H, 1992) à noter qu'il existe à nos jours des difficultés majeurs pour avoir de bonnes et exactes données par la télédétection. (CHAMPIAT clément, 2008), Zhixin Liu et al ,2018.), et (Bacour 2001). Figure III.20.

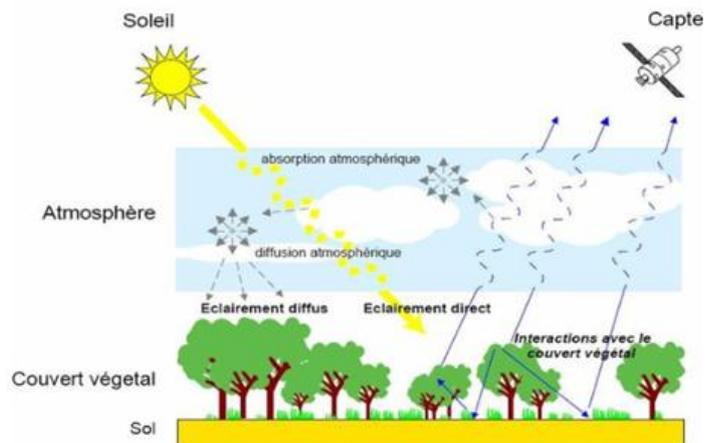


Figure. III. 20 : Mesure de télédétection dans le domaine solaire. (Source : Bacour, 2001).

III. 5. 2. La modélisation et simulation numérique

L'utilisation des techniques informatiques avec leurs puissances de calcul ainsi que la capacité de mémoire des ordinateurs pour résoudre des équations complexes et multiples

des différents modèles physiques développés en climatologie urbaine sont les plus utilisés. Dans ce sens, (Benzerzour Mohamed 2009), a mentionné deux modèles de simulation numérique en climatologie urbaine qui s'appliquent à l'échelle de la canopée urbaine et qui prennent en compte la surface urbaine

III.5.3. la modélisation par discrétisation spatiale (maillage)

Un maillage assez fin est appliqué aux surfaces et aux éléments de la canopée urbaine pour analyser les mécanismes de propagation des phénomènes physiques d'une maille à une autre. C'est une méthode qui s'applique généralement à l'échelle microclimatique. Il s'agit dans ces modèles de prendre en compte l'aspect tridimensionnel des espaces urbains en prenant en compte le tracé et les hauteurs réelles des espaces et des bâtiments. Cette modélisation numérique est utilisée par plusieurs logiciels.

III. 5. 3. 1. Le modèle «Solène-microclimat »

C'est un outil de simulation solaire et lumineuse appliqué à des scènes 3D architecturales et urbaines, basé sur des procédures géométriques et projectives d'analyse des "inter-visibilités entre un élément de l'espace et le soleil, le ciel ou un autre élément de l'espace". (Groleau d, p.1). Depuis les années 1980, il aide à calculer qualitativement ou quantitativement l'ensoleillement, l'éclairage et les bilans énergétiques des projets architecturaux ou urbains, sa mise en œuvre a été dans des thèses de doctorat (Bouyer, 2009 ; Miguet, 2000 ; Robitu, 2005; Malys, 2012 Al-hafiz, 2017; Bouyer, 2009; Musy et al, 2015; Vinet, 2000), ensuite à des travaux d'aide de l'évaluation de la conception. Figure III.21.

En Novembre 2012, A. Colom et all déclarent que Solene est un outil de simulation développé au laboratoire CERMA .

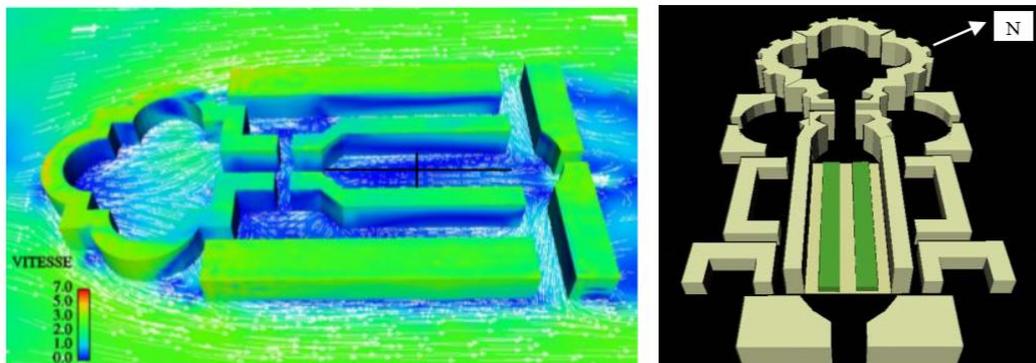


Figure III.21 : Modélisation avec Solène du quartier Antigone
(Source : Jérôme Vinet, 2000)

Malys Laurent et Morille Benjamin accentuent sur l'historique de développement de Solène. Ils déterminent Solène Microclimat, Solène thermique et Solène thermo-radiatif, (il a été utilisé dans divers travaux de recherche, citant ; (Mahaya. C, 2013), (Athamena. K, 2013), (Bouyer. J, 2009), (Benlatreche. T, 2006).

III. 5. 3. 2. ENVI-met (Environmental Meteorology)

Ce logiciel a été développé par Michael Bruse au sein du Groupe de Recherche en climatologie (GRC) au département de géographie de l'université de Bochum en Allemagne. Ce modèle est couplé avec un outil de visualisation (LEONARDO) pour fournir les résultats de la modélisation, en 2d comme en 3d (Bruse, 2004) ainsi que de simuler les indices de confort extérieur. Il permet d'anticiper l'effet de l'environnement urbain à petite échelle (arbres, cours intérieures végétalisées, etc.), en prenant en considération non seulement les phénomènes microclimatiques et les interactions de la surface minérale, mais aussi la végétation et l'atmosphère. (Bruse, 1999 ; www.envi-met.com/). ENVI-met est conçu pour modéliser seulement le climat d'un quartier et non une ville entière. Un modèle 3D qui se base sur un maillage, sur une grille géométrique de dimensions variables, allant jusqu'à ; 250x250x25 mailles pour les ordinateurs récents, telle l'étude de (Hyunjung Lee et al 2016)

Dans la plus part des cas, la résolution horizontale est entre 0,5 m à 5 m, cela permet de couvrir une zone de (100m x 100m) à (1km x 1km). (Jörg Spangenberg, 2008) et (Shinzato et duarte, 2012) . Figure. III. 22.

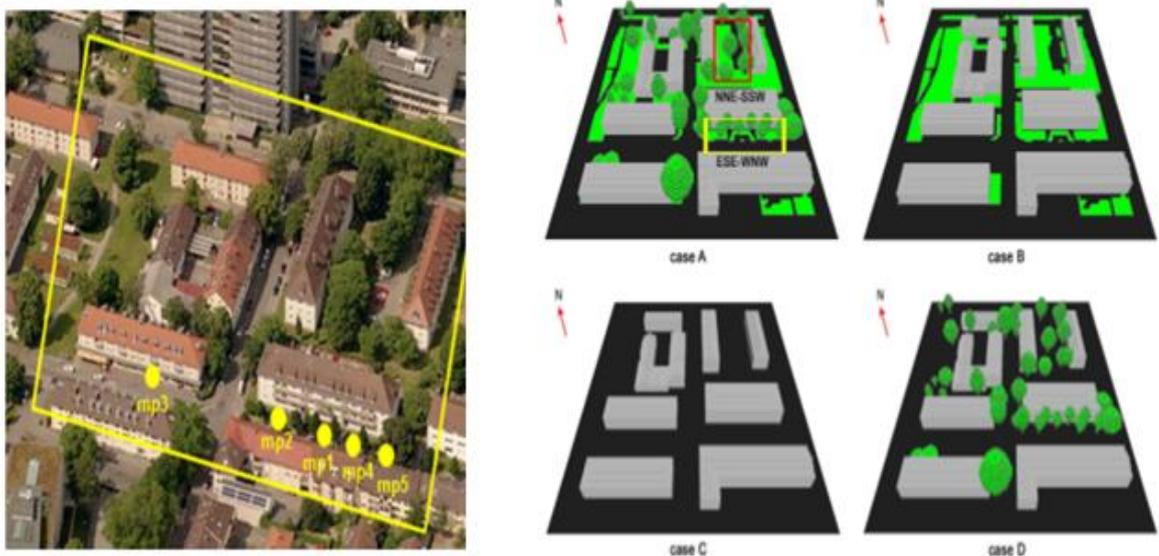


Figure. III. 22. Les quatre scénarios de la simulation placette avec ENV-met.

(Source : Hyunjung Lee et al., 2016)

III. 5. 3. 3. RayMan

Est un progiciel localisé utilisé pour l'évaluation du bioclimat humain et du confort thermique extérieur (Matzarakis, Rutz et Mayer, 2007, 2010). Les entrées du RayMan1.2 sont des données météorologiques sur la température de l'air, la vitesse du vent, la pression de vapeur d'eau (humidité relative), le rayonnement global et la couverture nuageuse, ainsi que les entrées se réfèrent à la morphologie urbaine et d'autres se réfèrent à des caractéristiques représentatives d'une personne. De plus, des facteurs tels que l'albédo, le rapport Bowen de la surface du sol et la turbidité de l'air peuvent être ajustés dans le logiciel RayMan pro 3.1. Les résultats de RayMan3.1 sont constitués des résultats des indices thermiques pour les conditions biométéorologiques humaines, ainsi que des résultats des flux de rayonnement et du Tmrt. De plus, avec des entrées.

Prend en compte la végétation et la morphologie des bâtiments, la capacité d'évaluer la situation biométéorologique humaine et d'approfondir l'évaluation de l'application de mesures d'adaptation et d'atténuation, telles que la planification urbaine, la conception des rues ou différents types de végétation, est le principal avantage. du logiciel (Matzarakis et al., 2007). Le logiciel RayMan 1.2 est facile à utiliser et a un temps d'exécution rapide et gratuit. Ces avantages se reflètent dans la popularité croissante du logiciel dans la recherche sur le microclimat urbain et le confort thermique extérieur, par ex. (Holst et Mayer, 2011; R. L. Hwang, Lin et Matzarakis, 2011; Krüger, Minella et Rasia, 2011; Ndetto et Matzarakis, 2017; Niu et al., 2015). (Lin et al, 2010) et Mohamed elhadi Matallah et al, 2020). Comme exemples significatifson peut citer les etudes de ; (Matzarakis et al, 2010) et Fazia ali-toudert et helmut mayer, 2005. Figure. III. 23.



Figure. III. 23 : L'étude de conception de rues avec différents types de végétations.
(Source : Matzarakis et al, 2010).

III. 5. 3. 4. LASER/F

Le modèle LASER/F (LAtent SENSible Radiation Fluxes), développé par l'équipe TRIO du laboratoire ICube, est un modèle basé sur les principes de la thermodynamique qui permet de simuler les bilans radiatifs et d'énergie en tous points d'un quartier (Kastendeuch et al., 2017). L'intérêt de ce modèle, par rapport à d'autres modèles existants, est sa capacité à réaliser des simulations à une échelle très fine spatialement (prise en compte de petits objets) et temporellement (intervalle de temps entre les simulations de quelques minutes). LASER/F tient compte de deux types de végétation : le sol enherbé et les arbres. La géométrie 3D prise en compte dans le modèle, pour ces deux types de végétation, est illustrée Figure 1. Cette géométrie comprend la surface de sol, l'enveloppe de la couronne de l'arbre, l'indice de surface foliaire (LAI: Leaf Area Index) et la profondeur racinaire. Figure. III. 24.

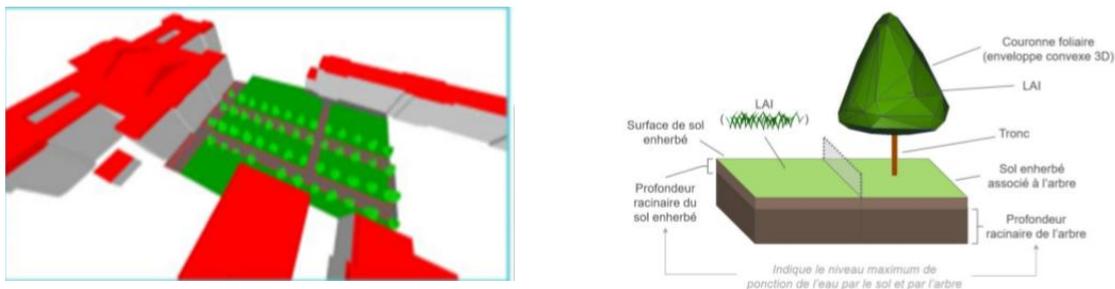


Figure. III. 24. Schématisation de la géométrie 3D des modules de végétation dans LASER/F, « sol enherbé » et « arbre », doivent prendre en compte. Le LAI (indice de surface foliaire) permet d'avoir une idée de la quantité de feuille et de sa spatialisation. Les profondeurs racinaires indiquent le niveau maximum de ponction de l'eau

III. 5. 3. 5. Le modèle éco physiologique RATP

L'extérieur de la couronne foliaire d'un arbre, le modèle éco physiologique RATP (*Radiation absorption transpiration and photosynthesis*) a été choisi (Sinoquet et al ,20011). Le code, écrit en fortran90 et en Python, se trouve aussi disponible sur la plateforme Open Alea (Pradel et al ,2008). RATP a été développé par L'UMR PIAF de l'INRA de Clermont-Ferrand pour simuler la distribution spatiale du rayonnement et des

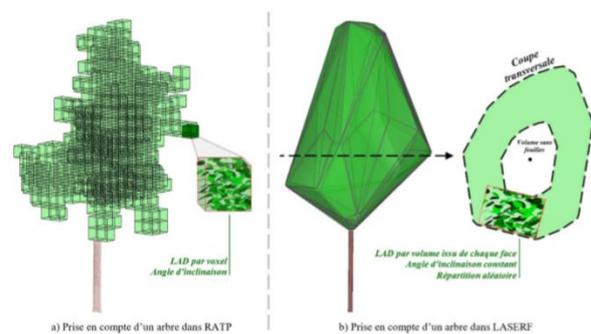


Figure. III. 25 : Prise en compte du feuillage d'un arbre, Arbre avec a) RATP et avec b) LASER/F.

échanges gazeux sous un couvert végétal feuillu en fonction de la structure du couvert, du microclimat aux alentours et des propriétés physiques et physiologiques des feuilles, ce modèle permet de simuler le bilan. Figure. III. 25.

III. 5. 3. 6. CFD (Computational Fluid Dynamics), PHOENICS

C'est un logiciel développé par CHAM), Les méthodes de type CFD (Computational Fluid Dynamics) consistent à résoudre à l'aide d'un programme informatique les équations régissant le mouvement des fluides (Equations de Navier-Stokes)³. PHOENICS⁴ est un logiciel polyvalent qui utilise les techniques de CFD (Computational Fluid Dynamics). Ce logiciel permet de prédire quantitativement comment les fluides (air, eau, vapeur, huile, sang, etc.) circulent dans et autour ; moteurs, du matériel de fabrication, bâtiments, êtres humains, lacs, rivières et océans, etc.... tel que l'étude réalisée par Blocken. B, et al, 2007. PHOENICS est, en effet, utilisé principalement par les scientifiques, ingénieurs, architectes, spécialistes de l'environnement, enseignants et les étudiants.

Le diagramme ci-dessous est un schéma des trois principales fonctions de (Vinet, 2000). (Zekri, 2010 et Guo, F et al, (2015) et le confort thermique des habitants et les effets de la végétation sur le climat (Erell, et al, 2011). Figure. III. 26

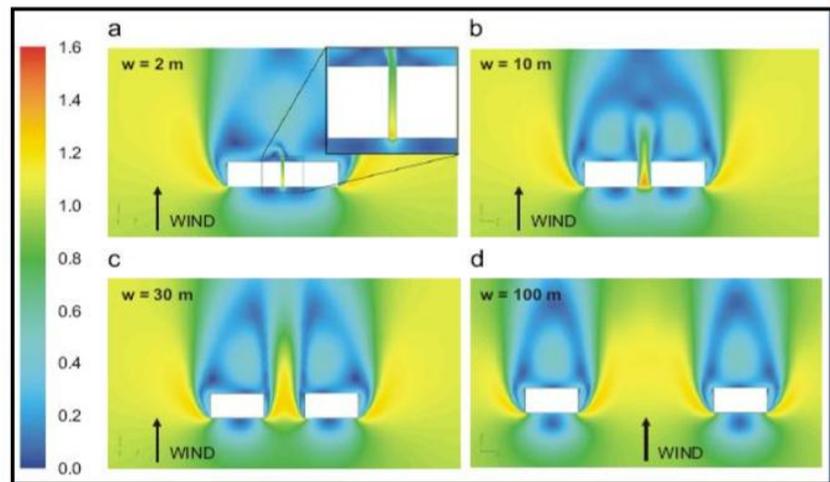


Figure. III. 26 : les quatre configurations utilisées pour la simulation (Source : Blocken. B, et al, 2007).

III. 5. 4. La modélisation par para métrisation

Analyser la forme urbaine dans toute sa complexité nécessiterait des temps de calcul considérables, des hypothèses ont été donc admises pour réduire cette complexité à un certain nombre de paramètres jugés suffisamment représentatifs de la forme urbaine. On parle de modèles paramétriques, c'est à dire, ceux qui réduisent la forme urbaine à un certain nombre de paramètres selon le concept (canyon urbain). On peut distinguer deux modèles :

III. 5. 5. La modélisation par para métrisations 2D

qui néglige la troisième dimension de la forme urbaine et qui concerne deux modèles climatiques ; le modèle SM2U [DUPONT 2001 (Sub-Meso Soil Model Urbain) développé à l'École Centrale de Nantes simule les interactions thermiques et hydriques et radiatives entre le sol et l'atmosphère à une grande échelle, c'est-à-dire à l'échelle Sub-Meso (entre l'échelle locale et l'échelle Meso).et le modèle LUMPS "Local-scale Urban Meteorological pre-processing Scheme " (Grimmond et Oke 2002] .Le modèle LUMPS nécessite uniquement des données correspondant à la surface minérale et non la surface végétale '(Benzerzour, Mohamed, 2009).

III. 5. 6. La modélisation par para métrisations 3D

qui tente de reproduire l'effet de la troisième dimension avec trois modèles climatiques; le modèle SM2U-3D , le modèle « TEB » le bilan énergétique de surface» (Town Energy Balance) et Finite Volume Model (FVM) .

III. 5. 6. 1. Le modèle SM2U-3D (Dupont et al. 2004)

Le modèle de sol urbain SM2U est un modèle couplé avec le modèle atmosphérique Penn State/NCAR Meso scale Model (MM5) pour représenter les effets thermodynamiques et turbulents des éléments de la canopée (végétation et bâtiments). Figure III.27

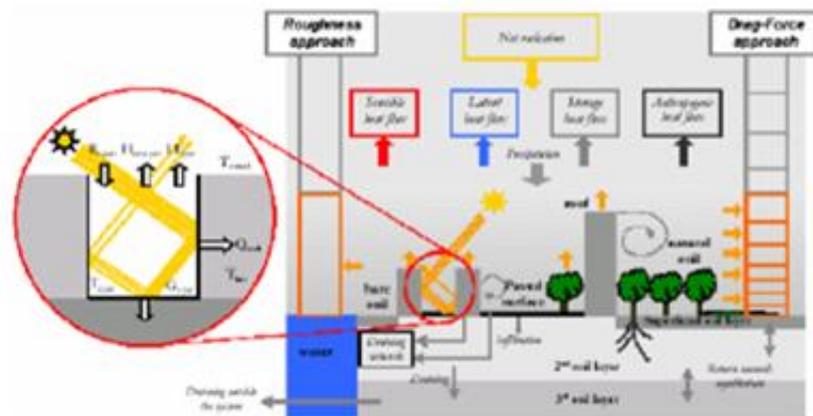


Figure III. 27: Schémas représentatif du para métrisation de la canopée urbaine selon DA-SM2-U basée sur une approche multicouche en utilisant le modèle de sol SM2U-3D.

(Source : Dupont et al. 2004)

III. 5. 6. 2. Le modèle TEB (Town energy Budget), (Masson, 2000), Le modèle « TEB » Modèle de la canopée urbaine à simple-couche ; (Town Energy Balance) (MASSON et al. 2001) : échelle micro

Celui-ci a été développé par le Centre National de Recherche Météorologique « CNRM » de Toulouse, conçu pour être aussi général que possible, dans le but de pouvoir représenter n'importe quelle ville et n'importe quelle condition météorologique. Sont objectif est de simuler les flux de chaleur entre une surface urbanisée et l'atmosphère. Figure III.28.



Figure. III. 28 : Le processus du TEB : Centre National de Recherches Météorologiques (Source : <https://www.umr-cnrm.fr>)

III. 5. 6. 3. TEB-Veg : une meilleure prise en compte des interactions bâti végétation

Comme la version originale du schéma urbain TEB (Masson, 2000) ne permet de traiter que les surfaces bâties, la modélisation des zones urbaines résidentielles avec de la végétation nécessite de coupler TEB avec les schémas dédiés aux surfaces naturelles, ISBA (Noilhan et Planton, 1989). Dans cette configuration TEB-ISBA, les flux et variables microclimatiques sont calculés par les schémas respectifs, sans interaction, puis agrégés en pondérant par les fractions de surfaces respectives. Cette configuration présente l'inconvénient de ne pas décrire les interactions à micro-échelle entre le bâti et la végétation. (Lemonsu et al, 2012), (Shashua-Bar et al, 2009). Figure. III. 29.

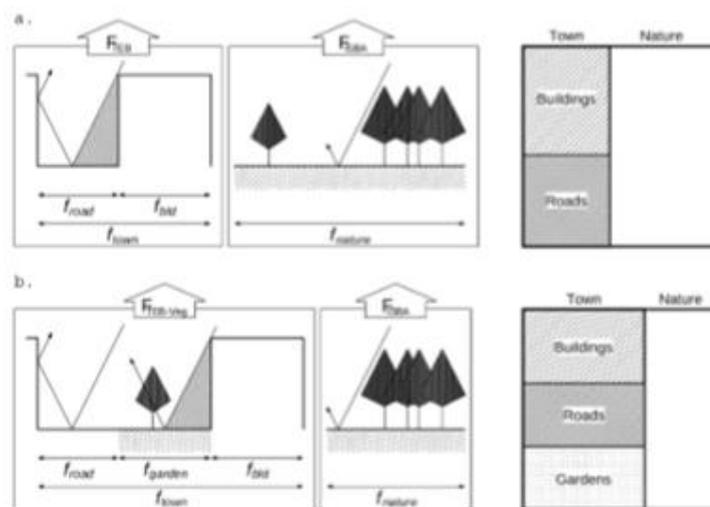


Figure. III. 29. Comparaison des configurations TEB-ISBA (haut) et TEB-Veg (bas) pour le calcul des flux de surface par SURFEX en un point où coexistent des surfaces artificielles et naturelles (urbaines et rurales). f_{town} , f_{bld} , f_{road} , f_{garden} , et f_{nature} sont respectivement les fractions de ville, bâti, route, jardins urbains, et nature d'une surface d'étude donnée. (Source : Lemonsu et al. 2012).

III. 5. 6. 4. TEB-UTCI : un modèle pour évaluer le confort thermique

Les versions précédentes de TEB permettent de décrire les variables microclimatiques qui dévient l'environnement urbain. Ces variables peuvent ensuite être analysées pour estimer le confort thermique qui leur est associé. Ce confort thermique dépend des échanges entre les êtres vivants et leur environnement. Il est contrôlé par la température ambiante de l'air, mais aussi par d'autres facteurs météorologiques : le vent, le rayonnement environnant (solaire et infrarouge) et l'humidité de l'air. Figure III.30.

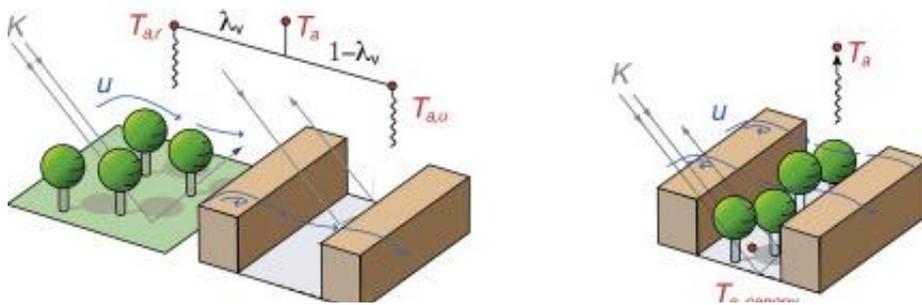


Figure. III.30. Facteurs influant le confort thermique. (Source : Krayenhoff et al 2015)

Numérique capable de considérer la végétation en 3D. Dans cette étude, nous nous intéressons aux modèles numériques intégrant la végétation en 3D, plus particulièrement à l'échelle de la rue, voire du quartier, dans l'optique d'étudier l'aménagement de villes durables. Figure. III. 31.

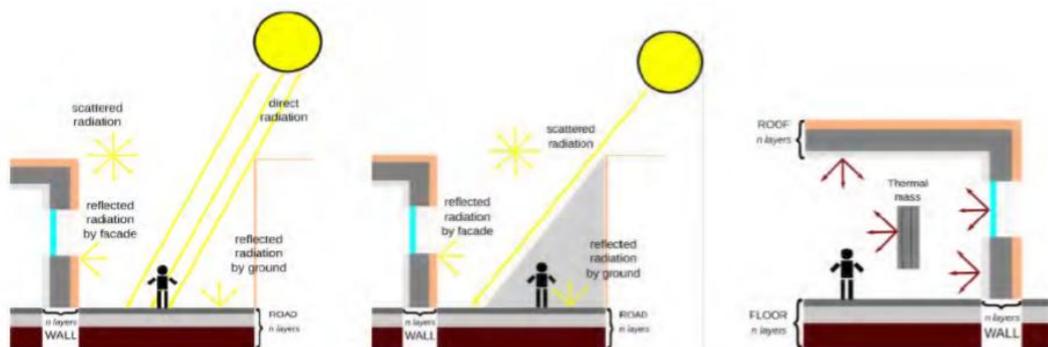


Figure. III. 31. Les trois environnements simulés dans TEB lors du calcul de l'UTCI. (Source : PIGEON, 2011)

III. 5. 6. 5. SOLWEIG

C'est l'abréviation de: Solar Long Wave Environmental Irradiance Geometry. Il est disponible sur une interface graphique pouvant être téléchargé gratuitement du site web :

<http://gvc.gu.se>. Ce modèle simule en 3D les variations spatiales de la température moyenne radiante et les flux de courtes et de grandes longueurs d'onde.

Selon : LINDBERG et al ; (2008), son calcul se base sur l'équation suivante :

$$T_s - T_a = 0,37 * N_{max} - 3,41$$

N_{max} : élévation maximale du soleil, en (degrés)

III. 5. 7. Le choix d'un modèle climatique

Chaque modèle a ses avantages et ses inconvénients qui influencent plus ou moins leur capacité à modéliser les modifications climatiques de la ville, plusieurs modèles, parmi ceux mentionnés, ont fait l'objet d'usage des logiciels Envi-met et / ou Rayman, par conséquence, nous adapterons ces mêmes logiciels pour notre travail courant, du moment qu'ils sont les plus appropriés pour ce genre de travail, en particulier ils donnent des informations importantes et fiables sur les liens étroits entre les bâtiments, leur environnement climatique et la végétation. Il est important de garder à l'esprit que ces outils ne donnent, bien sûr, pas de solutions toutes faites; le décideur doit composer avec de nombreuses contraintes. Ceux-ci sont plus ou moins difficiles à gérer, et les éléments objectifs et pratiques donnés par les résultats des simulations seront des facteurs décisifs et fiables pour le choix final. (F. Miguet, 2007).

Tous ces arguments nous ont conduits à retenir ces logiciels comme outils d'application pour cette investigation ; d'une part. Une combinaison entre la démarche choisie et les outils disponibles qui permettront l'exécution des différentes étapes d'évaluation. Pour cela on fait référence aux études de ; (Hyunjung Lee et al 2016) (Jörg Spangenberg ,2008) et (shinzato et duarte, 2012), lesquels ont utilisé ces moyens de simulation pour leur compatibilité avec la méthode qui a été ciblée.

De nombreux logiciels traitent de l'influence de végétation sur le microclimat et le confort thermique extérieur, mais **Envi-met** en tant que logiciel de simulation **reste le plus pondérant** puisqu'il a été utilisé, beaucoup plus que les autres, dans divers travaux de recherche, en particuliers les travaux de ; Shi Yin et al,2019) et (Suaad R et al ,2018) (Ali-Toudert et Mayer, 2006 ; Yang et al., 2011, Müller et al., 2013, Acero et Herranz-Pascual, 2015), etc....

L'évaluation du microclimat et du confort thermique dans ces études s'appuient essentiellement sur la **simulation numérique** d'un modèle 3D simplifié assisté par ordinateur à l'aide d'un logiciel numérique développé par Michael Bruse au sein du

Groupe de Recherche en climatologie (GRC) au département de géographie de l'université de Bochum en Allemagne, dans ce qui suit une brève représentation du logiciel **Envi-met (Environmental Meteorology)** choisi pour l'application.

En particulier, (Suaad R et al ,2018) proposent diverses fonctions de simulation qui permettent d'appréhender des modèles géométriques en 3D à l'échelle d'un unique bâtiment, d'une rue canyon ou encore d'un fragment. Dans notre cas on est amené, pour des raisons d'efficiences, à coupler deux modèles de simulation « ENVI-met, version 4.4.5 et RayMan pro version 3.1. ».

III. 5. 7. 1. Le choix du modèle de la simulation « ENVI-met, version 4.4.5»

Le modèle choisi pour effectuer la simulation est le modèle ENVI-met dans sa nouvelle version 4.4.5, celui-ci calcul tous les paramètres météorologiques importants : rayonnement solaire, température de l'air, humidité relative, et surtout, la température moyenne radiante, qui est la **clé d'évaluation de la sensation thermique**. Les simulations du modèle ENVI-met peuvent être un outil révélateur des différences thermiques dans les espaces micro-échelle, sauf que les résultats doivent être considérés avec une certaine prudence dans le cas de comparaison avec les campagnes de mesure sur site.

Au moyen du modèle ENVI-met les mesures sur site peuvent être éliminées avant le début du processus de construction. L'application du modèle microclimatique urbain offre une occasion de prédire les différentes conditions de stress thermique dans la résolution spatiale et temporelle. **ENVI-met est le seul modèle qui regroupe tous les facteurs qui influent le confort thermique extérieur**, tel que la vitesse et la direction du vent, la température moyenne radiante qui sont simulés intégralement pour dériver les indices du confort thermique. Le modèle ENVI-met est choisi aussi parce qu'il est le modèle le plus complet en termes de calcul du confort humain. La sortie générée contient les quatre principaux paramètres de confort thermique : température de l'air, température moyenne radiante (T_{mrt}), vitesse du vent et humidité relative.

Le modèle ENVI-met répond à tous les exigences pour simuler avec précision la physique de la couche limite atmosphérique d'une zone urbaine, donc il est le meilleur modèle qui coïncide avec notre démarche méthodologique.

Une comparaison faite par (Vidmar, 2013), renforce notre choix du modèle, expose les résultats de l'évaluation, qui ont montré que le modèle ENVI-met (1017 points) est très puissant par rapport à d'autres modèles comme le Projet Vasari avec (1001 points) et IES VE-Pro à la troisième place (917 points).

III. 5. 7. 2. Fiabilité des résultats de simulation avec ENVI-met

De nombreux chercheurs tentent de montrer la précision et l'importance des résultats de leurs travaux de simulation en utilisant ENVI-met. (Lahme et Bruse, 2002) ont indiqué que les résultats obtenus à partir de l'ENVI-met représentaient l'environnement réel sur la base d'un ensemble limité de méthodes numériques disponibles pour décrire l'ampleur des processus physiques dans la réalité. Selon (Ghaffarianhoseini et al, 2015), ils ont affirmé que la fiabilité de l'utilisation d'ENVI-met pour simuler la performance thermique des espaces extérieurs a été prouvée dans de nombreuses études. Ces études ont indiqué que les données mesurées ou observées aux stations météorologiques locales semblaient être en accord avec la température de l'air simulée. (Yu et Hien, 2006) sont arrivés à la même conclusion, affirmant que la simulation ENVI-met approuvait les données générées par la mesure sur le terrain. (Monam et Ruckert, 2013) ont indiqué que selon de nombreux chercheurs (Ali-Toudert, 2005) et (Ozkeresteci et al., 2003), les résultats d'ENVI-met sont considérés comme plus précis et fiables par rapport à d'autres logiciels.

III. 5. 8. Le choix du modèle de la simulation « RayMan pro version 3.1»

Le choix de l'outil de modélisation numérique « RayMan » est adopté pour sa particularité par rapport aux autres logiciels disponibles et par rapport à notre recherche, il répond amplement à nos objectifs et par-dessus tout, il est.

- Disponible, y est téléchargeable gratuitement.
- Rapide dans le travail, il suffit juste de quelques manipulations pour établir la simulation.
- Avantageux puisqu'il présente diverses données sous forme de tableaux, graphes ou dessins... etc. relatives au climat, au soleil, à l'ombre des constructions et des arbres.
- Maniable puisqu'il réalise vite et facilement des modifications micro climatologiques de différents milieux urbains.
- Simple pour introduire les données d'entrée (input) pour établir une simulation.
- Utilisé et validé par plusieurs recherches depuis l'année 2000. (Matzarakis, A., Rutz, F., Mayer, H., 2007) et (KHALID Setaih et al, 2013); (Charalampopoulos Ioannis et al 2013) et (Amirtham Lilly Rose et al, 2014).

Conclusion

Ce chapitre a mis en relief la méthodologie adoptée pour vérifier la réponse à notre question de recherche. La méthode expérimentale choisie coïncide parfaitement avec l'hypothèse et les objectifs recherchés. L'expérimentation simulée est basée essentiellement

sur la modélisation, dans ce sens plusieurs modèles étaient explorés. En parallèle aux choix des méthodes. Une brève interrogation des différentes démarches optées dans des recherches antérieures qui s'intéressent à la thématique de la végétation en milieu urbain nous a permis de distinguer et d'explorer diverses démarches à savoir: la démarche environnementale, la démarche d'investigation, et aussi la démarche sensorielle

Par ailleurs, on a examiné les études portant sur l'influence de la présence de l'élément végétal sur le confort thermique humain en milieu extérieur, ou les chercheurs ont employés des simulations numériques et /ou des campagnes de mesures météorologiques, en tant que méthodes d'investigation. En dépit d'être limité aux composants physiques du confort thermiques, ces méthodes d'investigation restent toujours utiles.

Nous avons exposé, à travers ce chapitre, quelques techniques et modèles climatiques utilisés par différents chercheurs qui nous permettent de quantifier le microclimat urbain et d'évaluer l'interaction des paramètres microclimatiques et végétales sur le confort thermique. Parmi ces techniques, on peut citer : les mesures instantanées in situ et la modélisation qui reste le moyen de simulation numérique le plus utilisé en devenant un sujet d'actualité.

Certains travaux de recherche se sont principalement appuyés sur l'investigation in situ, d'autres par contre, passent par l'expérimentation et la simulation numérique. Ainsi, nous avons exposé brièvement leurs résultats et synthèses qui peuvent être bénéfiques. Ces études, nous ont permis d'avoir des schémas, des méthodes, des indicateurs pour déterminer la méthode et les paramètres les plus adaptés à nos buts.

Le choix judicieux d'ENVI-met et Ray man comme modèles de simulation des variations microclimatiques est venu après une comparaison de plusieurs modèles sur la scène de la recherche en climatologie urbaine. Dans le même palier les avantages qu'offrent ces modèles vis-à-vis de la génération du cycle diurne du climat dans une micro-échelle, fondent la base de notre choix. En parallèle les paramètres microclimatiques quantifiés par ENVI-met et Ray Man permettent d'évaluer le degré du confort thermique extérieur, surtout par le logiciel « RayMan 3.1 ». Ce dernier offre une gamme d'indices d'évaluation du confort thermique extérieur (PET, UTCI et PMV) qui pour Envi-met ne sont disponibles que dans sa version professionnelle.

Par conséquent, les logiciels utilisés dans **ce travail est l'association entre Envi-met et Ray Man** qui est une alternative de couplage entre les deux pour une meilleure complémentarité et que nous développerons plus loin, dans le chapitre V.

Partie Pratique

Chapitre IV : L’investigation (Analyse des données de mesures in situ)

« La mesure, ou mesurage, est un processus consistant à obtenir expérimentalement une ou plusieurs valeurs raisonnablement attribuable à une grandeur. La mesure peut être un acte quotidien et est souvent indispensable. »

« Lavoye, F., et al. (2015) ».

Introduction

La présente recherche ayant trait à l'impact de la végétation sur le microclimat et les ambiances thermiques extérieures ne peut être consolidée qu'à travers un travail de terrain en choisissant comme site d'investigation celui qui présente les caractéristiques physiques recherchées.

Le volet pratique de ce travail sera abordé sur la base d'une investigation sur terrain dont l'objectif est d'abord d'évaluer le comportement du climat en fonction d'un élément précis qui est la végétation, pour cela, la recherche s'est accentuée sur les effets climatiques les plus perceptibles, retenus, affectant directement le site en question, à savoir, la température de l'air ambiant, l'humidité relative et la vitesse de l'air et température moyenne radiante.

Cette investigation nous permettra de manifester ou de disconvenir l'importance de la végétation urbaine vis-à-vis du bien-être de l'utilisateur, tout en s'insérant dans le contexte du climat aride relatif au site d'une part, et aboutir à des résultats qui peuvent être généralisés d'autre part.

La méthodologie d'approche de cette phase de recherche qui est essentiellement un travail de terrain, se résume en une campagne de mesure, s'étalant sur trois jours successifs. Un axe le long du site retenu, allant du nord au sud comporte cinq stations bien choisies, en fonction de leur environnement immédiat et par conséquent de leurs distinctions les unes par rapport aux autres, ont fait l'objet de cette campagne, une description sera développée pour chacune d'elles.

Les instruments utilisés consistent en un appareil multi mesures, Le Testo 480, doté d'un capteur de pression différentielle extrêmement précis pour les mesures, avec ses différentes sondes, qui dans notre cas, nous ont servi pour les mesures de la température de l'air et l'humidité relative de l'air avec une sonde, alors que l'autre nous a servi pour mesurer la vitesse de l'air et la température globe. Cette phase d'investigation consiste en différentes comparaisons entre les paramètres climatiques pour en déduire leur influence sur le microclimat.

Parmi les tâches à effectuer, on cite :

- Mesurer les différents paramètres climatiques pour chaque station.
- Comparer les différents paramètres climatiques mesurés des 05 stations.
- Comparer les différents paramètres climatiques mesurés avec ceux de la station météo de Biskra.

Obtenir les différences des températures de l'air entre la station de référence S1 et les autres stations.

IV.1. Présentation du cas d'étude : Localisation et caractéristiques climatiques de la ville de Biskra

La ville de Biskra se situe au sud-est algérien, à 34°48' de latitude Nord, et à 5°44' de longitude Est. Elle est limitée par les Wilayas suivantes ; Batna au Nord, Khenchela à l'Est, M'Sila et Djelfa à l'Ouest et Ouargla au Sud , elle est la portière du grand sud Algérien, comme elle est la zone de séparation entre les hauts plateaux et le grand désert, connue sous le nom « Ziban », ce qui lui confère un micro climat assez particulier. Figure. IV.1.



Figure IV.1 : Situation géographique de la ville de Biskra.
Source : <https://www.google.dz/search>., (réadapté par auteur).

Biskra, avec cette situation charnière entre le Tell avec son climat continental qui règne sur la région des hauts plateaux, et qui est un point commun de la majorité des régions internes du pays, et le Sahara avec son climat chaud et sec, lui permet d'avoir des caractéristiques spécifiques. D'après la classification donnée par les recommandations architecturales (1993), et les deux figures indiquant les zones climatiques d'été (Figure IV.2) et les zones climatiques d'hiver (Figure IV.3), la ville de Biskra se caractérise par :

- Un été très chaud et sec (zone E3) ou l'écart des températures diurnes est important.
- Un hiver très froid la nuit par rapport au jour (zone H3a), avec un écart de température entre le jour et la nuit important. (Ministère de l'habitat, Recommandations Architecturales, ENAG édition, Alger, 1993).

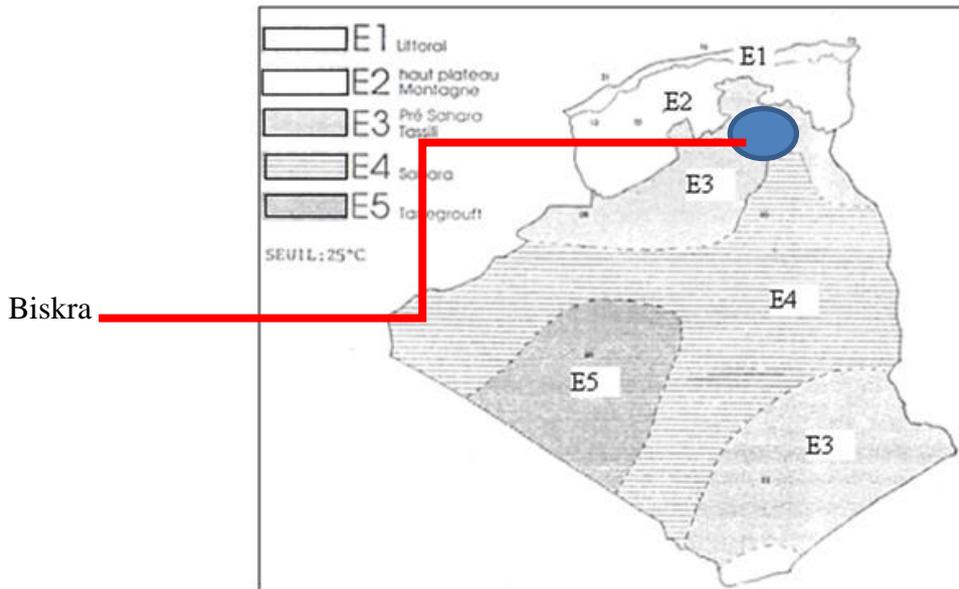


Figure IV. 2 : Les zones climatiques d'été en Algérie. (Source : Ministère de l'habitat, Recommandations Architecturales, 1993.

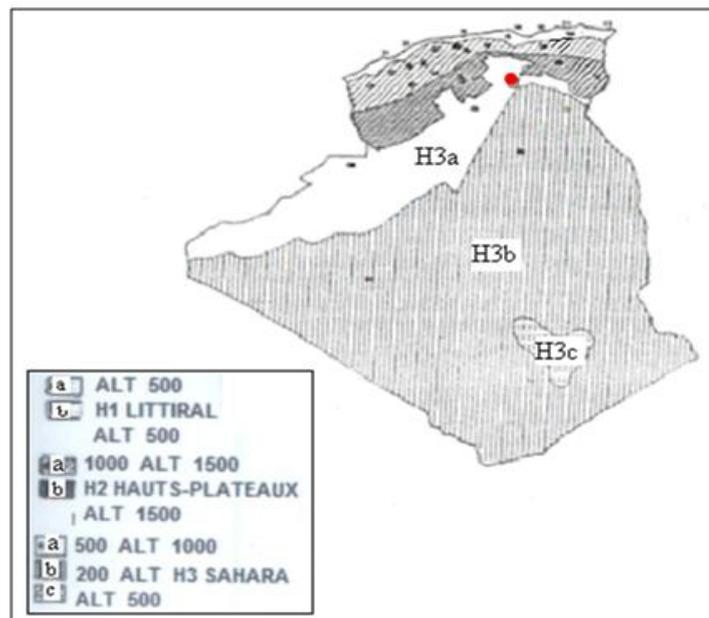


Figure IV. 3 : Les zones climatiques d'hiver en Algérie. Source : Ministère de l'habitat, Recommandations Architecturales, 1993.

D'après la répartition des zones climatiques d'Algérie établies, Biskra appartient à la zone D, qui présente le pré-Sahara et Sahara, cette zone se distingue par des températures moyennes maximales atteignant 45°C et entre 20°C à 30°C en hiver, avec des variations saisonnières de 20°. Sous l'effet de la latitude, les hivers deviennent de plus en plus froids.

IV.2. Les paramètres climatiques de la ville de Biskra

La ville de Biskra appartient à une région soumise à un climat désertique chaud, où l'irradiation solaire est quasiment ininterrompue et très élevée grâce à l'air stable descendant et à la haute pression correspondante, qui s'y trouvent. L'absence ou la forte atténuation des perturbations atmosphériques, à long terme, est responsable d'un climat désertique, où les nuages et les précipitations ont du mal à atteindre cette région. En effet, dans les déserts chauds, la durée moyenne de l'insolation est comprise entre 3.600 à 4.000 h/an, représentant (entre 80 % et 90 % de la période diurne), sachant qu'elle atteint près de 4.300 h/an au Sahara oriental, la région la plus ensoleillée du globe, ce qui fait 97 % à 98 % de la période diurne. Les déserts chauds incluent les déserts d'Afrique du Nord, tel que le Sahara (le plus grand désert chaud du monde).

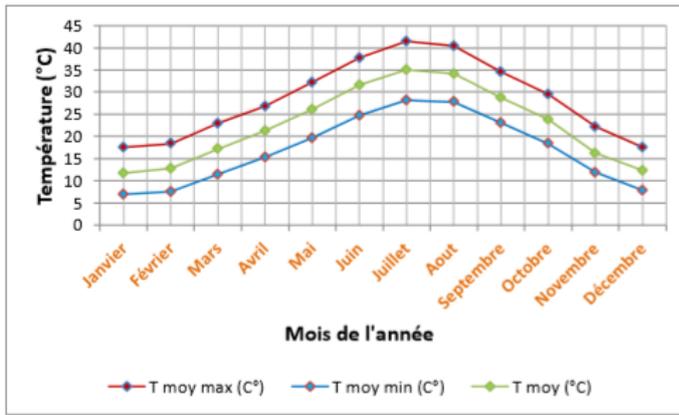
IV.2.1. Température de l'air

(Le tableau IV.1) et (le graphique IV.1) ci-dessous, illustrent l'évolution mensuelle de la température de l'air pendant la décennie (2005-2015), dont la source est la station météorologique de Biskra, on a les valeurs maximales (T_{max}), les minimales (T_{min}), et les moyennes (T_{moy}), celles-ci montrent une variété de moyennes, la maximale est enregistrée au mois de juillet avec une température max de 41,5°C. En revanche la température minimale moyenne au cours de l'année est relevée au mois de Janvier, avec une température min de 6,9°C. Ce qui est important à envisager est l'écart entre températures, celui-ci semble très important durant l'été, avec une valeur qui atteint $\epsilon = 13,3^\circ\text{C}$ entre la nuit et le jour.

Il est à indiquer aussi, que l'écart saisonnier entre les températures est important, avec un seuil de 23,3°C, ce qui explique un changement profond du climat apparaissant au niveau des paramètres climatiques.

Temp	Jan	Févr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Octo	Nov	Déc
$T_{moy\ max}$ (°C)	17,5	18,4	23,0	26,8	32,2	37,8	41,5	40,5	34,6	29,5	22,2	17,6
$T_{moy\ min}$ (°C)	6,9	7,5	11,4	15,3	19,7	24,7	28,2	27,8	23,1	18,4	11,9	7,9
T_{moy} (°C)	11,8	12,8	17,2	21,3	26,1	31,6	35,1	34,2	28,8	23,8	16,2	12,3

Tableau IV.1. Moyennes mensuelles de la température d'air pendant la décennie (2005-2015)



Graphe IV.1. Moyennes mensuelles de la température d'air Pendant la décennie (2005-2015). **Source :** Auteure, établi sur la base des données obtenues de la station météorologique de Biskra

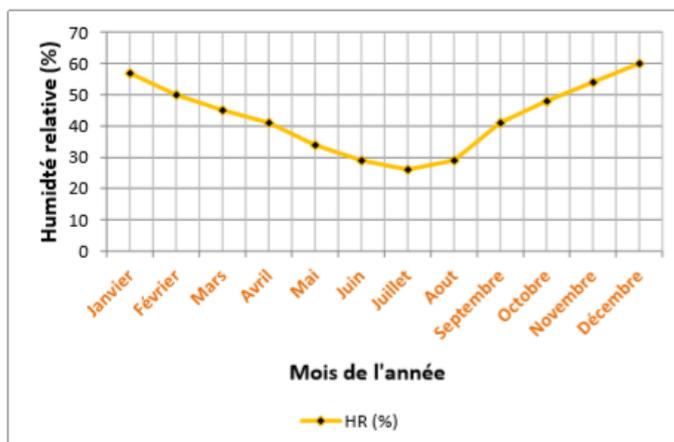
IV.2.2. L'humidité relative

Selon les données retenues de la station météorologique de Biskra, le (tableau IV.2) et (le graphique IV.2) ci-dessous, diagnostiquent une évolution de l'humidité relative pendant la décennie (2005-2015) dans la région de Biskra.

Les taux extraits montrent un maximum enregistré au mois de Décembre avec 60%, tandis que le minimum est pris en Juillet, avec 26%. Les résultats ont déterminé la hausse d'humidité pendant la saison hivernale, dont les valeurs sont supérieures ou égales à 50%, par contre la saison estivale montre une plage de 26%. Les autres saisons enregistrent des valeurs plus a moins équivalentes, balançant entre 41% à 48%.

Hum. Rel	Jan	Févr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
HR moy (%)	57	50	45	41	34	29	26	29	41	48	54	60

Tableau IV.2 : Moyennes mensuelles de l'humidité relative pendant la décennie (2005-2015). **Source.** (Station météorologique Biskra, 2015)



Graphe IV.2. Moyennes mensuelles de l'humidité relative pendant la décennie (2005-2015). **Source :** Auteure, établi sur la base des données obtenues de la station météorologique de Biskra

IV.2.3. Précipitations

A vrai dire, pendant la décennie (2005-2015), les précipitations dans la région de Biskra sont caractérisées par une faiblesse très remarquable, la rareté et l'irrégularité, le maximum des précipitations est relevé au mois d'octobre, qui est considéré comme une période de transition saisonnière d'un automne modéré à un hiver légèrement froid (21 décembre).

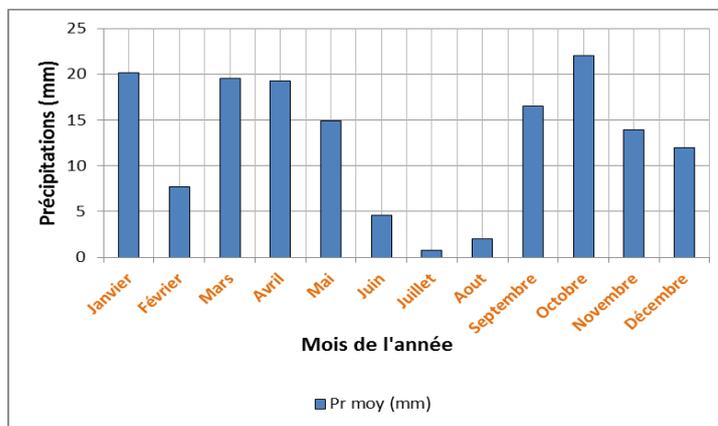
La moyenne maximale atteint les 22 mm, tombés durant les dix années, explique bel et bien un état de sécheresse qui frappe la région.

(<https://planificateur.acontresens.net/afrique/algerie/wilaya de Biskra/Biskra/2503826.html>).

Le minimum enregistré était au mois de Juillet avec une moyenne de 0,8mm ; les mois les plus secs sont : Février, juin, juillet et Aout. (Tableau IV.3 et graphe IV.3)

Précipitations	Jan	Févr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Précip moy (mm)	20,2	7,7	19,5	19,3	14,9	4,6	0,8	2,0	16,5	22,0	13,9	12,0

Tableau IV.3. Moyennes mensuelles des précipitations pendant la décennie (2005-2015). **Source.** (Station météorologique de Biskra, 2015)



Graphe IV.3 : Moyennes mensuelles des précipitations pendant la décennie (2005-2015). **Source.** (Station météorologique Biskra, 2015)

IV.2.4. L'Insolation

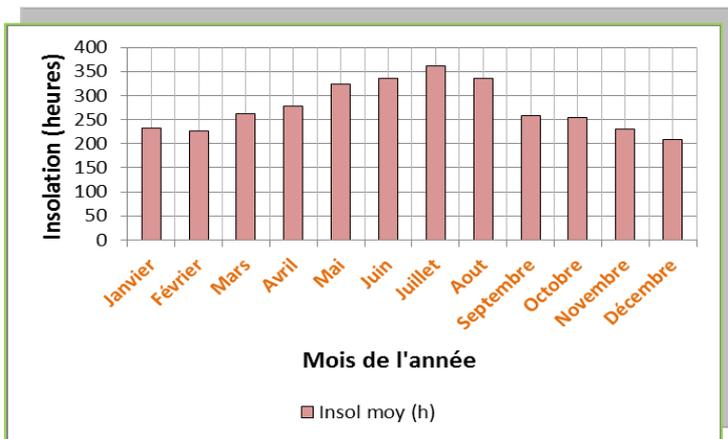
Sur (Le tableau IV.4) et (le graphique IV.4) ci-dessous, préfigurent les moyennes mensuelles de l'insolation pendant dix ans (2005-2015). La durée de l'ensoleillement a souvent été un facteur phare pour la météo, soit journalière ou mensuelle.

Un temps maximum était relevé au mois de juillet avec 362 heures d'exposition au soleil, ce qui explique principalement la chaleur résultante pendant ce mois, en revanche le

mois de décembre dévoile la quantité la plus basse de toute l'année (209 heures) relativement due à la couverture irrégulière du ciel (ciel nuageux).

Insolation	Jan	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
Insol moy (heures)	232	226	262	279	323	336	362	336	258	254	231	209

Tableau IV.4. Moyennes mensuelles d'insolation pendant la décennie (2005-2015)
Source. (Station météorologique de Biskra, 2015)



Graphe IV. 4. Moyennes mensuelles d'insolation pendant la décennie (2005-2015) **Source :** Auteur 2015, établi sur la base des données obtenues de la station météorologique.

L'amplitude énergétique diffuse est le résultat concret de l'insolation, celui qui participe au réchauffement d'air et à la chaleur étouffante de l'été qui est liée directement au facteur de l'inertie thermique. Il est à signaler, que les données montrent que les durées les plus élevées s'étalent du mois de Mai jusqu'au mois d'Aout sous une plage supérieure à **300 heures** par mois.

IV.2.5. Les Vents

La région est caractérisée par un printemps venteux avec des vitesses relativement importantes qui s'étalent de février à Mai, et dont le mois d'Avril constitue l'apogée annuelle, avec 5,1 m/s, celle-ci fait référence à la période spécifique à la **fécondation** des palmiers, qui se fait durant cette période.

La moyenne annuelle de la vitesse des vents est de 3,9 m/s ; on enregistre les plus faibles écoulements au mois d'Aout et octobre avec 3,3 m/s. (Figure IV.5)

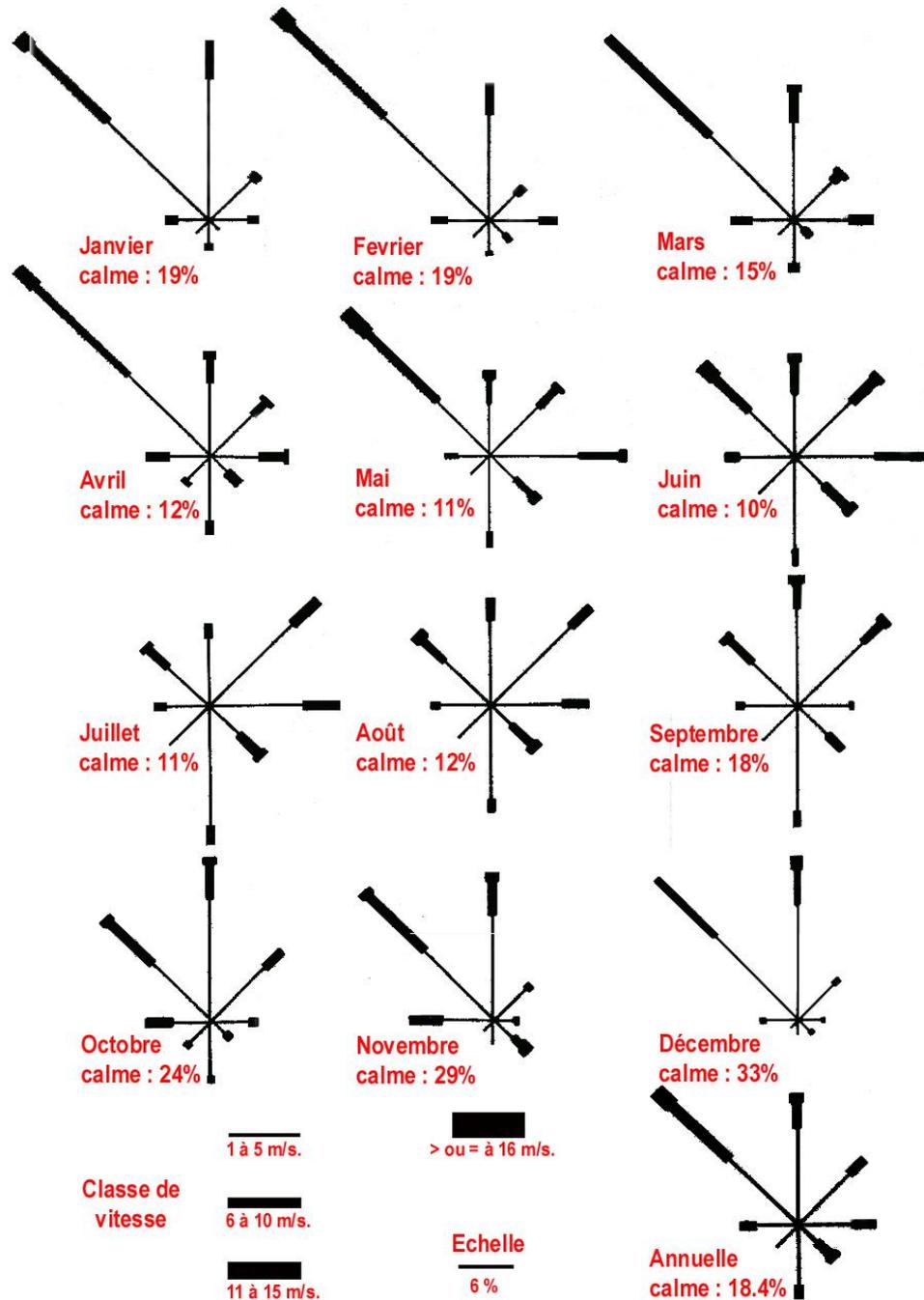
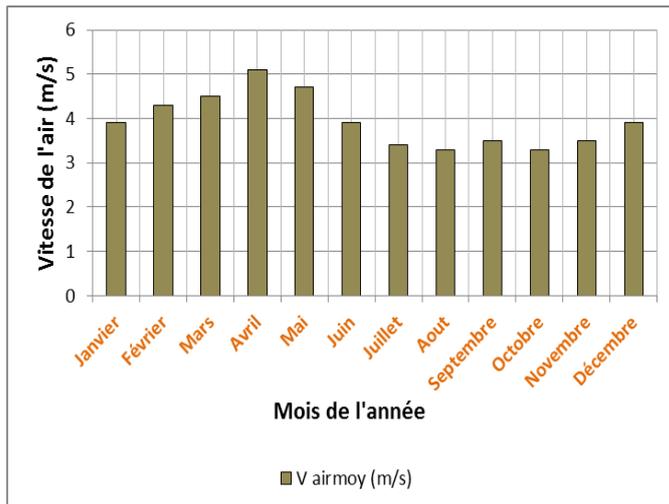


Figure IV.5. Direction et valeurs mensuelles et annuelles des vitesses du vent (1975- 1984)
 Source : Boutabba S.D., 2007.

De l'analyse approfondie des vitesses des vents, on déduit que les périodes de vents de sable (Mars, Avril, et Mai) ont des vitesses très élevées, pouvant atteindre 8,1 m/s (mai 1984) et amassant à leur passage les grains de poussière et créant des tourbillons massifs de sable, offrant ainsi, un temps particulier au cours de cette période, (le tableau IV.5) et le graphique (IV.5) , en font une synthèse

Vitesse d'air	Jan	Févr	Mar	Avril	Ma	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct.	Nov	Déc.
V air moy (m/s)	3,9	4,3	4,5	5,1	4,7	3,9	3,4	3,3	3,5	3,3	3,5	3,9

Tableau IV.5. Moyennes mensuelles des vitesses de l'air pendant la décennie (2005-2015)
Source. (Station météorologique de Biskra, 2015)



Graph IV.5 Moyennes mensuelles des vitesses de l'air pendant la décennie (2005-2015)
Source : Auteur 2017, établi sur la base des données obtenues de la station météorologique de Biskra.

IV.3. La végétation dans la ville de Biskra

Avec l'urbanisation accélérée dans les villes algériennes et plus particulièrement dans la ville de Biskra, l'état général des espaces verts a été considérablement diminué, certains sont totalement abandonnés et sont devenus des lieux de décharges publiques. La majorité de ceux qui perdurent connaissent une uniformité du type de végétation. Autrefois, ces espaces se présentaient comme des places publiques bien entretenues et entourées de grilles pour leur protection. Aujourd'hui, on constate leur dégradation, ce qui justifie d'ailleurs leur fréquentation réduite, ainsi, on déduit leur bas niveau de gestion et le peu d'intérêt qui leur est accordé par la communauté, les techniciens et les responsables gestionnaires des espaces urbains de la ville de Biskra. (Figure. IV.6)

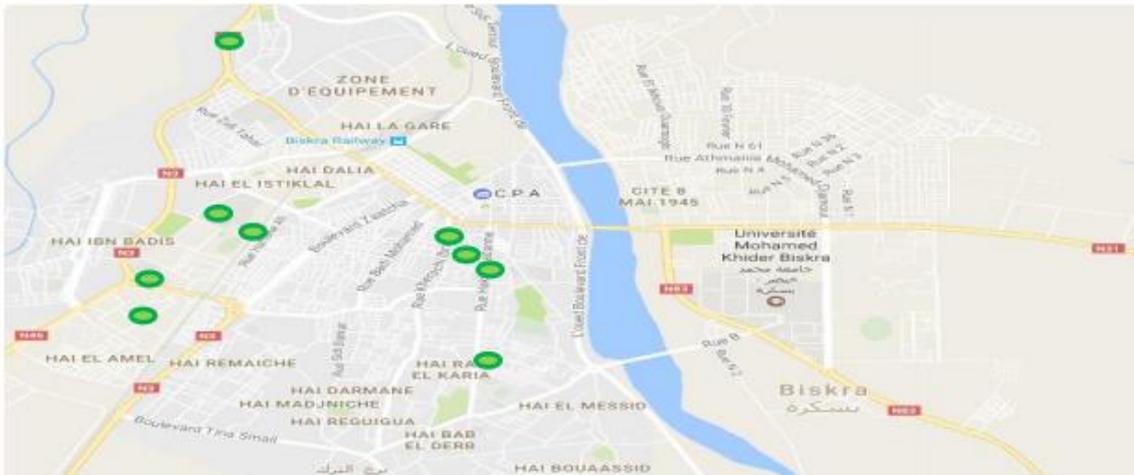


Figure IV.6 : Répartition des principaux espaces verts de la ville de Biskra. **Source**: Google Earth, 2016. Municipalité.

Selon, la recherche menée par (Maaoui Moufida. 2014) sur les plantes ornementales, la région de Biskra dispose naturellement d'espèces ornementales citées dans plusieurs travaux de botanistes réputés, P. Ozanda (1991), Quezel et Santa (1963), Maire (1940 - 1949). Ces espèces, bien que peu nombreuses enrichissent notre patrimoine horticole, Par ailleurs dans l'Atlas des plantes ornementales du Ziban, cette chercheuse dénombre 110 espèces réparties entre arbres, arbustes et plantes grimpante.

On ne va pas parler ici du palmier et de ses types dans la ville de Biskra vu qu'elle est connue par sa meilleure qualité de dattes, mais il est évidant de savoir les autres types de végétaux existant dans cette ville. Donc il à noter que les espaces verts de la ville de Biskra abritaient de multiples plantes, provenant des quatre coins du monde.

« Des yuccas du Brésil (*Yucca Boscii*), de la Caroline (*Yucca brevifolia*) et du Texas (*yucca (rigida)*), des mimosas, des acacias de Farnèse (*Acacia farnesiana*), des lataniers (*Latania lontaroides*), des gommiers odoriférants, des faux poivriers (*Schinus molle*) et plusieurs variétés de palmiers dont le royal (*Roystonea regia*), celui de Java (*Corypha elata*), des cocotiers (*Cocos nucifera*) aux régimes mortnés, des rosiers, des oeoeillets, des lilas sahariens, les oranges sanguines, des mandariniers, des figuiers d'Inde (*Ficus Benghalensis* ou *Opuntia ficus-indica*) et des pagodes (*Ficus Religiosa*), des cyprès, des tamaris, des hibiscus rouges, des Belombras (*Phytolacca dioica*), des bananiers, des cactus, des bordures graciles de bambous et des éclaircies de pelouses, des lianes mauves de bougainvilliers, une chaussée bordée de cassis-gommiers». (Maaoui, M. 2014)

Notre objectif de recherche, dans ce cas-ci, est basé sur l'impact de la végétation, plus spécialement l'arbre ficus retusa sur le microclimat et par conséquent, le confort thermique dans les espaces extérieurs de la ville de Biskra, connue avec son climat chaud et aride.

IV.3. 1. L'Arbre Ficus Retusa

C'est l'arbre le plus connu à Biskra presque au niveau du palmier, qu'on plante partout, aux jardins, au sein de nos maisons, par alignement dans les voies de circulations, on peut même dire qu'il n'existe pas une rue à Biskra qui ne contient pas un arbre de type ficus. (Tableau IV.6). Vu son rôle climatique, esthétique, ornemental ...etc. ce dernier s'adapte facilement à la région de Biskra et à son climat. La présence de ce type d'arbre à Biskra remonte à la période coloniale, les arbres adultes remontent à l'avant indépendance et embellissent la ville à ce jour. Cet arbre se trouve sous plusieurs espèces et qualités; le tableau ci-dessous, nous illustre les quatre espèces qui existent à Biskra ville, avec leurs caractéristiques.

Ordre	Famille	Espèce	Nom commun	Photos	Détails
Malviflores	Moraceae	Ficus Elastica (Ficus robusta)	Caoutchouc		Catégorie arbre, origine Asie tropicale, hauteur 30 m, type persistant, forme Irrégulière, et croissance rapide
		Ficus Religiosa	Figuier des pagodes		Catégorie arbre, origine Inde et Asie du Sud-est, hauteur 30 m, type Caduc, forme cime ouverte, et croissance rapide
		Ficus Retusa	Ficus		Catégorie arbre, origine tropicale, hauteur 30 m et 6 m de large, type persistant, forme Port dense et érigé, longévité très longue Et croissance Rapide
		Ficus sycomorus	Figuier Sycomore		Catégorie arbre, origine Afrique centrale, hauteur jusqu'à 20 m de haut et 6 m de large, type persistant, forme couronne assez dense, port étalé et croissance rapide

Tableau IV. 06 : l'arbre ficus et ses types à Biskra. **Source:** (Maaoui, M. 2014)

Rappelons que notre étude vise à produire de l'ombre par l'insertion du végétal urbain (l'arbre urbain). L'arbre choisi, bien entendu est le « ficus ». Espèce, *Ficus retusa*; famille, moraceae. Son nom commun est ficus, il est d'origine tropicale comme catégorie d'arbres, du type persistant et de forme port dense érigé, à croissance rapide, en plus il s'adapte facilement dans la ville de Biskra en produisant des ombrages consistants et denses tout en résistant à son climat chaud et aride. (Maaoui, M. 2014)

IV.4. L'indice d'aridité

L'aridité est un phénomène climatique impliquant une pluviométrie faible. L'indice d'aridité de Martonne, permet de déterminer le degré d'aridité d'une région.

Pour le calculer, on utilise la formule :

$$I = \frac{P}{T + 10} \dots\dots\dots IV.(1)$$

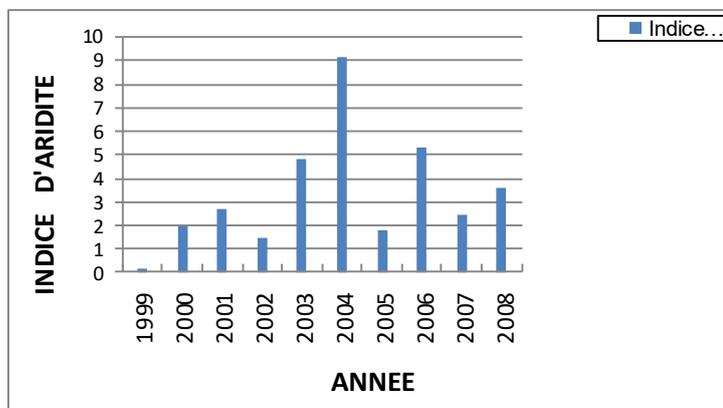
P : désigne les précipitations totales annuelles.

T : la température moyenne annuelle.

La lecture de cet indice se fait comme suit :

- $I < 5$: c'est l'indice d'aridité absolue ou hyper aridité.
- $5 < I < 10$: c'est l'indice d'aridité ;
- $10 < I < 20$: c'est l'indice de semi aridité.
- $I > 20$: c'est l'indice d'humidité.

Selon les données climatiques des dix ans (1999–2008) de la ville de Biskra, obtenues de l'Office National de la Météorologie, on peut réaliser un histogramme déterminant la valeur de l'indice d'aridité de la ville de Biskra durant cette période, selon le (graphique. IV.6)



Graphe IV.6 : Indice d'aridité de la ville de Biskra durant la décennie (2005-2015). **Source:** Auteure

IV.4.1. Détermination des isothermes de la ville de Biskra

La matrice des isothermes démontre une variété de zones dans laquelle on obtient trois périodes. (Tableau. IV.7)

0.00	5.4	6.7	10.6	13.9	18.9	21.9	31.4	29.6	26.4	21.4	18.3	8.0
2.00	4.2	5.5	8.9	12.4	17.5	22.5	30	28	25.2	20.2	17.1	6.0
4.00	3.1	4.3	7.1	11.4	16.9	21.1	29.1	26.9	24.2	19.5	16.7	5.9
6.00	5.0	6.0	10.0	13.1	15.0	23.8	30.7	23.0	25.9	20.9	17.7	6.6
8.00	13.2	14.9	19.7	21.5	26.0	35.6	39.0	38.4	32.2	27.4	23.5	13.0
10.00	17.4	19.3	21	26.1	28.8	42.4	43.8	42.6	35.8	31.0	28.5	16.5
12.00	19.7	21.9	24.9	26.9	30.6	45.8	46.1	46.0	37.9	32.9	28.1	18.2
14.00	18.4	20.8	26.1	27.3	29.6	43.8	45.0	45.2	36.6	31.8	27.2	17.2
16.00	14.8	16.5	21.8	27.4	26.5	38.2	41.0	40.5	33.8	28.9	24.7	14.4
18.00	10.8	12.2	16.6	19.0	23.0	32.0	36.4	35.5	30.2	25.4	21.6	10.1
20.00	8.8	10.1	14.9	16.9	21.1	29.1	34.5	33.0	28.8	23.7	20.6	9.6
22.00	6.8	8.7	12.2	15.0	19.8	26.6	32.8	31.0	25.4	22.4	19.0	8.5
	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec

Tableau IV.7. Isothermes déterminant les différentes zones thermiques de l'année

Source : Auteure.

Z

Zone de surchauffe : celle qui s'étale du mois de juin, juillet, aout, et septembre, comme elle comporte une petite durée du mois de mai et d'octobre. Cette zone est bien déterminée par la grande hausse des températures en dépassant le seuil du confort, ce qui nécessite des occultations solaire et une climatisation artificielle.

Zone de confort : délimitée par les mois de mars, avril et novembre, ainsi qu'une partie du mois de mai et d'octobre. Cependant, la zone offre une période du bien-être ou l'individu est thermiquement satisfait, c'est-à-dire sans avoir besoin d'un dispositif de réchauffement ou de refroidissement. A vrai dire, durant les dernières décennies cette zone est soumise d'une façon remarquable causée aux perturbations climatiques mondiales.

Zone de sous-chauffe : la troisième qui englobe les mois de janvier, février, et aussi le mois de décembre, comprend la période la plus froide de l'année, dans laquelle les températures sont souvent sous la limite du confort thermique, ce qui implique un usage des moyens de chauffage d'appoint

A la lumière de cette analyse, nous affirmons que notre travail s'intéressera à la zone de surchauffe, au cours du mois de juillet, celui qui préfigure la période la plus chaude dans la ville de Biskra

D'après la matrice des isothermes on confirme que le mois de juillet est le mois le plus chaud de l'année dans la ville de Biskra.

On peut obtenir les mêmes résultats des différentes zones (sous chauffe, confort, surchauffe) on appliquant le diagramme de Givoni. (Figure. IV.7) et le diagramme d'Olgay. (Figure. IV.8).

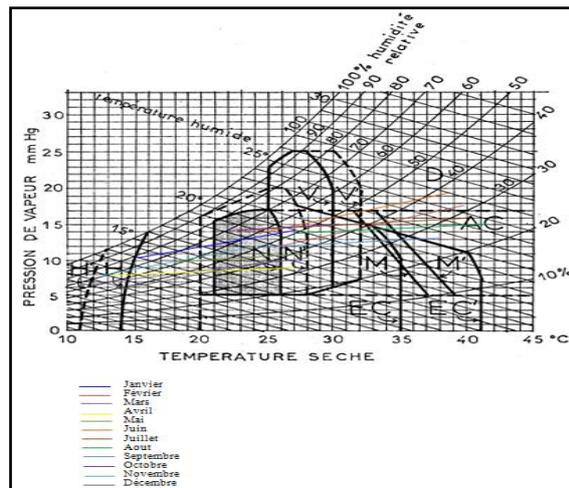


Figure. IV.7 : diagramme de Givoni

Source : EVANS Martin, Housing, climate and confort, (reproduit par l'auteure)

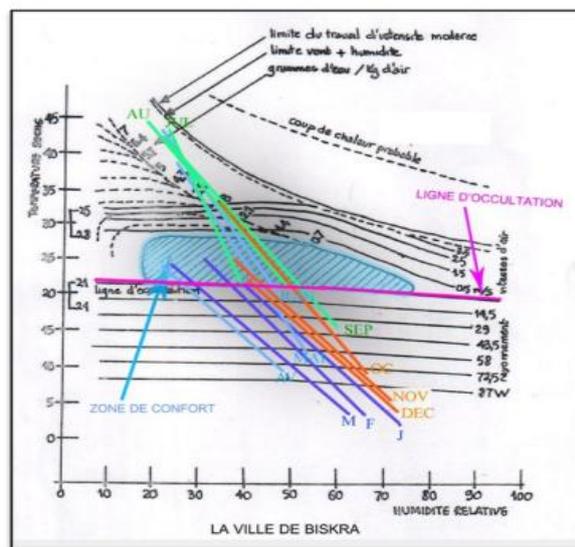


Figure. IV.8 : Diagramme d'Olgay.

Source : EVANS Martin, Housing, climate and confort, (reproduit par l'auteure).

On pourra alors reporter les résultats de la matrice des isothermes sur un diagramme solaire, correspondant à la latitude de la ville de Biskra, pour faire ressortir la zone de surchauffe de la région, qui est présenté par la (figure. IV. 9).

Le diagramme solaire, montre que la trajectoire solaire est plus importante en été (21 Juin jour le plus long de l'année) qu'en hiver (20 décembre, jour le plus court de l'année).

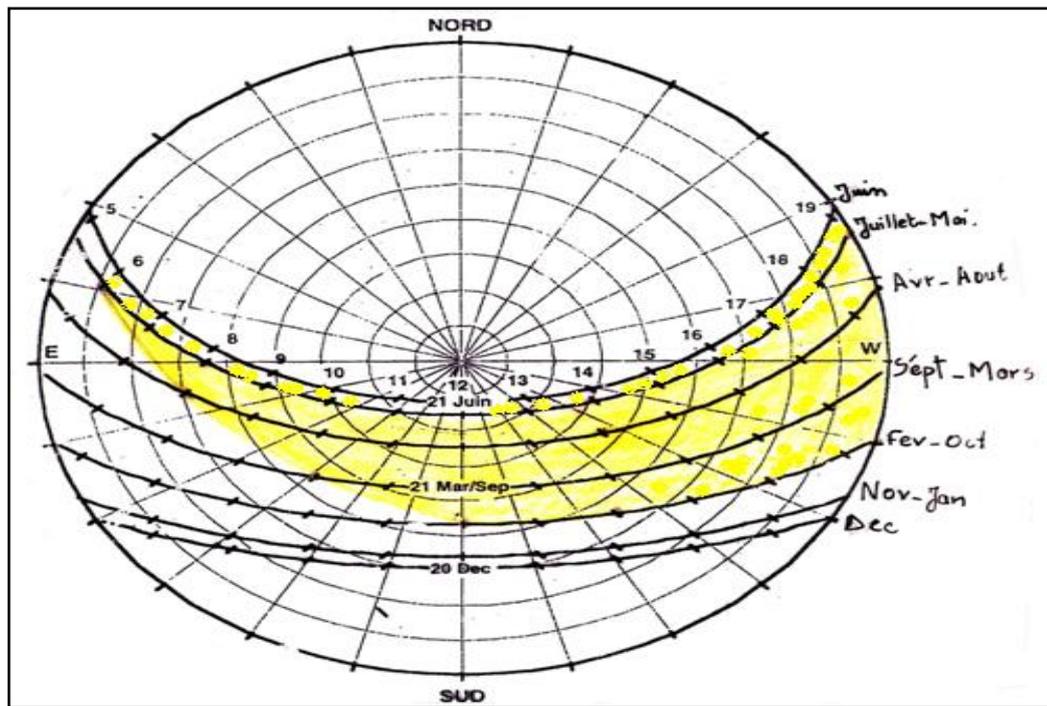


Figure. IV. 9 : Diagramme solaire indiquant la trajectoire solaire, et la zone de surchauffe pour la ville de Biskra – latitude 34°48'. Source : Atlas solaire.

IV.5. Motivation du choix du site :

Pour retenir un site représentatif et significatif, il fallait choisir un environnement végétalisé et le plus significatif serait le jardin public de Biskra, connu pour sa végétalisation réputée, malheureusement il présente une superficie assez importante et le choix d'un quelconque échantillon dans ce vaste espace restera toujours subjectif donc, il a fallu recourir à un espace réduit végétalisé et lors de nos prospection, on a remarqué un espace au sein même de l'université, pole principal, située dans le développement Est de la ville de Biskra, sur la route menant à Sidi Okba. (Figure. IV.9) et par-dessus tout, ayant les caractéristiques de végétations qu'on recherche. (Figure. IV. 10).



Figure. IV. 9 : la situation du pôle universitaire central, Université Mohamed Kheider, Biskra [Google Earth]



Figure. IV. 10 : la situation du cas d'étude au sein du pôle université central, Biskra [Google Earth]

Celui-ci représente un lieu d'attraction pour des foules d'étudiants sous l'ombrage de ses arbres durant les journées chaudes de la fin du printemps et début d'automne, comme le remarque tout passant à proximité de cet espace. (Figure. IV.11)



Figure. IV.11: Attractivité de la placette retenue pendant la période estivale. (Source: Auteure, 2017).



IV.5.1. Présentation de la placette retenue

Situé dans le pôle universitaire, de forme rectangulaire, délimitée par quelques blocs pédagogiques, elle est composée de deux parties, nord et sud, bien distincts l'une de l'autre par leurs composantes (Figure. IV.12). On remarque que la partie sud de la placette, la plus occupée, est celle qui se trouve à l'abri des radiations solaires directes, grâce à un grand nombre d'arbres de ficus, en général, en forme de parasol avec d'autres arbre , entre autre, du Faux-acacia et quelques palmiers et aussi, délimitée de constructions qui projettent leurs ombres sur une grande surface de la dite placette, cette partie comprend les stations choisies 3, 4 et 5.

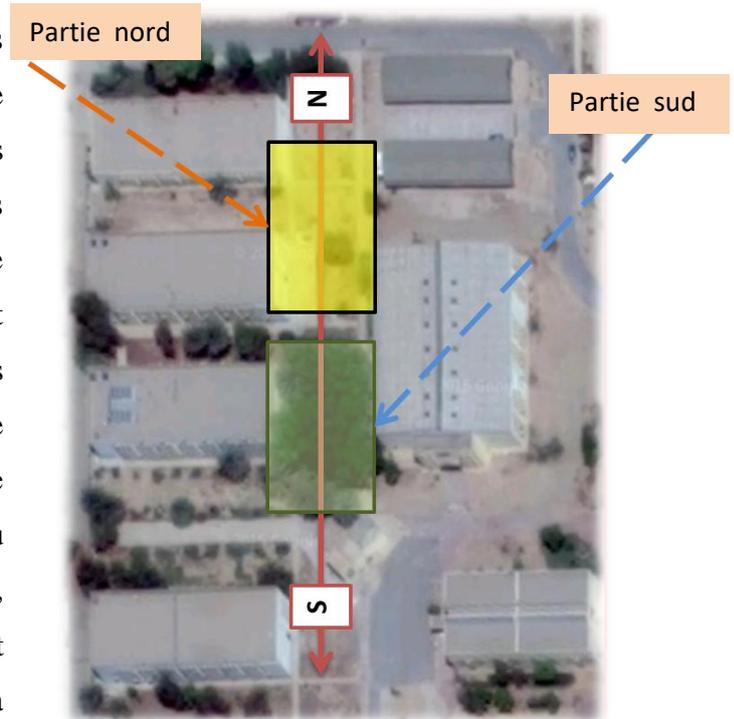


Figure. IV .12 : zoning de la placette (Google Earth) (Exploitation par l'auteur, 2017).

La partie nord présente une très faible densité d'occupation et comporte les Stations 1 et 2, cette dernière est entourée de constructions et quelques arbres, alors que la station 1 est complètement découverte.

La partie sud de la placette est moyennement occupé durant la matinée elle présente une occupation très dense pendant l'après-midi. (Voir figure. IV.12).

Toutes ces observations ont démontré que les variantes climatiques sont un facteur déterminant de la fréquentation des espaces urbains et publics.

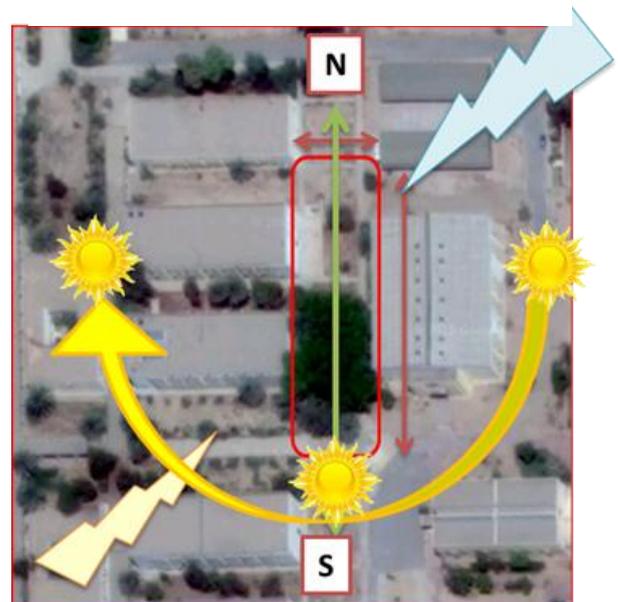
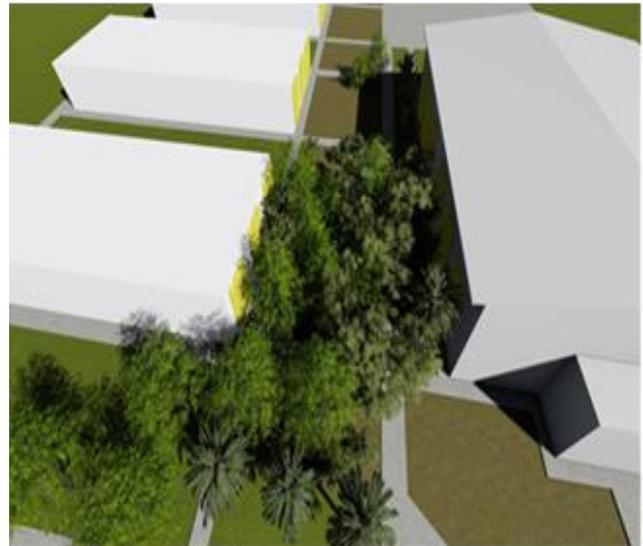
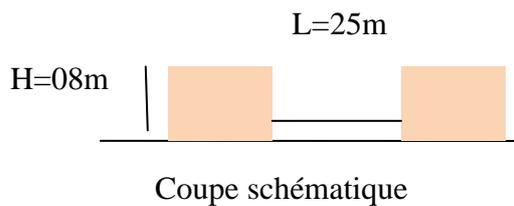


Figure IV.13. Morphologie et effets climatiques sur la placette, (traitement de l'auteur,2017) .

IV.5.2. Structure morphologique de la placette : Composantes de la placette

La géométrie de notre cas d'étude est rectangulaire élancé, de dimension 25m*100 m, c'est un espace dégagé avec $H/L < 0,25$, selon la coupe schématique ci dessous

L'orientation dominante est Nord - Sud. L'écoulement de l'air est de type rugosité isolée, (Figure IV.13).



(Figure IV.13) : L'aspect physique de la placette. (Source: Auteure, 2017)

IV. 5. 3. Les matériaux

Comme tout espace urbain, notre placette est définie selon deux plans: Figure IV. 14

➤ **Les murs de façades :**

Les murs de façades des blocs pédagogiques qui la délimitent, ont une hauteur uniforme de 08 m, teintés en blanc dans la majorité. Figure IV. 14, a et b.



(Figure IV.14, a) : partie nord de la placette nue entourée des blocs pédagogiques (Source : Auteure, 2017).



(Figure IV.14, b) : partie sud de la placette, végétalisée entourée des blocs pédagogiques. (Source: Auteure, 2017).

- **Type de sol** : Dans sa majorité est naturel avec un cheminement d'une largeur d'un mètre environ de rive, le long du grand coté et y pavé de dalle en béton.

Sur les deux côtés latéraux, soubassement et protection des constructions limitrophes sous forme de dalle en béton ayant comme largeur un mètre aussi, albédo =10 - 35 % émissivité = 71-90 %.

Le reste du terrain est naturel, nu au Nord, et au fur et à mesure qu'on avance vers le sud, la végétation se densifie, rappelons qu'il s'agit d'une végétation mixte, composée de trois pieds de figuiers, de quelques palmiers et faux acacia et des ficus en majorité, on a les cas suivants :

(Figure IV. 15)



Cheminement bétonné

Sol végétalisé et irrigué

Sol nu, partialement bétonné

Figure IV.15. Les types de sol de la placette pendant la période estival.(**Source:** Auteure , 2017).

Cette composition génère un microclimat qui varie d'une partie à une autre de la placette, selon, généralement, la densité du couvert végétal, ce qui impacte les activités qui se déroulent dans chacune de ces parties et par conséquent la fréquentation de cet espace urbain.

IV. 6. Typologie végétale

La place comprend quatre espèces d'arbres

IV. 6. 1. Le Ficus, estimé à 90%

Le Ficus est un arbre originaire d'Asie tropicale (Inde, Sri Lanka). Il appartient à la famille des Moracées, comme les autres ficus (Ficus benjamina, Ficus elastica.) feuilles,



Figure. IV.6. Arbre et feuilles du Ficus Retusa. (Source Auteure, 2017).

persistantes, sont arrondies, épaisses et vernissées, d'un beau vert franc. Figure IV, 16

IV. 6. 2. Le Palmier, environ 1%

Arbre ayant une morphologie singulière, il n'a pas de branches mais des palmes, il peut s'adapter à des conditions climatiques très diversifiées, le Palmier dattier est un grand palmier de 10 à 13 m de haut, au stipe (simili-tronc) cylindrique, portant une couronne de feuilles (les palmes), Les feuilles sont pennées, finement divisées et longues de 4 à 7 mètres. Figure IV.17.



Figure IV. 17. le palmier
(source : Auteure)

IV. 6. 3. Figuier, environ 1%

Le nom générique Ficus est le nom latin du figuier. L'adjectif spécifique carica signifie originaire de la Carie, ancienne province d'Asie mineure d'où le figuier est supposé provenir.

Le figuier est un petit arbre, le plus souvent de trois à quatre mètres de haut - certaines variétés peuvent cependant atteindre 8 mètres de hauteur pour dix mètres de périmètre, en conditions favorables, les feuilles sont caduques, rugueuses et finement velues, assez grandes (jusqu'à 25 cm de long), elles sont munies d'un long pétiole et d'un limbe palmatilobé. Figure IV, 18



Figure .IV.18. Figuier
(source : Auteure)

IV. 6. 4. le Faux-acacia 1%

Acacia leucocephala est originaire du Mexique petit arbre, sa hauteur ne dépasse pas les 4 à 5m, le faux mimosa a un feuillage persistant de couleur vert.

Les feuilles sont alternées pétiolées et bipennées, elles sont composées de paires de folioles (5 - 10) ayant une quinzaine de paires de foliolules linéaire. Figure IV, 19



Figure. IV.19. le Faux acacia
(Source : Auteure)

IV.7. Les caractéristiques morphologiques de la placette

- Les caractéristiques morphologiques de la placette la quelle sont résumées dans (le tableau IV .8) ci-dessous, sachant que:

Les points de mesure	Photo de point de mesure	Fiche-eye
<p>Point N : 1 H/L=0 SVF=0.918 Albedo =0.25 Orientation :N/S Végétation : GCR= 0%</p>		
<p>Point N : 2 H/L= 0.24 SVF=0.771 Albedo=0.25 Orientation : Nord/Sud Végétation : GCR=3</p>		
<p>Point N : 3 H/L= 0.24 SVF=0.126 Albedo=0.05 Orientation : N/S Végétation : Très dense GCR= 90% FOP=1</p>		
<p>Point N : 4 H/L = 0 SVF=0.353 Albedo=0.05 Orientation :N/S Végétation : Très dense GCR= 100% FOP=1</p>		
<p>Point N : 5 H/L= 0 SVF= 0.833 Albedo= 0.3 Orientation : N-S Végétation : / GCR= 0%</p>		

Tableau. IV. 8 : Les caractéristiques morphologiques de la placette. Source: Auteure, 2017.

Les indicateurs morphologiques choisis pour cette étude sont calculés en fonction du processus mathématique, ils sont très adaptés pour déterminer les échanges radiatifs et thermiques dans la parcelle:

V.7. 1. La perspective du ratio H / L.

Selon (F, Fouad. Ahmed. Ouameur, 2007). Le calcul mathématique du rapport H / L dépend des dimensions horizontales et verticales de l'espace, le ratio H/L peut ainsi être obtenu à partir de l'équation suivante :

$$H/L = H_m / L_p \dots\dots\dots IV. (2)$$

(Formule IV-2) Ou : H_m : hauteur moyenne de l'espace. L_p : la plus petite largeur de l'espace.

IV.7.2. Albédo moyen des surfaces (a.) :

Nous avons le calculer selon le procédés mathématique Ahmed, Ouameur. F (2007) a évalué l'albédo moyen des surfaces en analysant visuellement le pourcentage d'occupation des matériaux dans la façade et le revêtement de sol. (Analyse visuel de l'albédo).

IV.7. 3 Facteur d'ouverture vers le ciel (SVF)

Le facteur de vision du ciel (SVF) permet aux chercheurs d'évaluer l'échange de chaleur par rayonnement entre l'espace étudié et le ciel. Cette dernière peut être obtenue par calcul (formule) ou par simulation. Sa valeur est comprise entre 0 et 1. Si la valeur de la SVF = 1, alors l'espace étudié est isolé; Cela signifie que la vue du ciel est libre de toute obstruction (bâtiment, arbre, mobilier urbain ... etc.) aucun obstacle n'empêche la vue et si la valeur du SVF <1, signifie que l'espace est obstrué. En revanche, une SVF de 0 indique que la vue du ciel est complètement obstruée.

Ce facteur est considéré comme un facteur morphologique important et essentiel de l'impact sur le microclimat. Nous avons le calculer selon le procédés mathématique : D'après, Parmentier, A (2010), le facteur de vue de ciel d'un point au centre du sol d'une rue canyon s'exprime par la relation mathématique suivante (voir figure IV-20), qui considère une symétrie parfaite du canyon :

$$\Psi_{\text{ciel}} = \cos B \dots\dots\dots IV. (3)$$

Le facteur de vue du ciel, est une expression simplifiée du facteur d'ouverture de ciel, pour l'angle solide de vue d'une rue canyon asymétrique, celui-ci est égale à $1800 - O1-O2$. Oke. 1981. Figure IV. 20

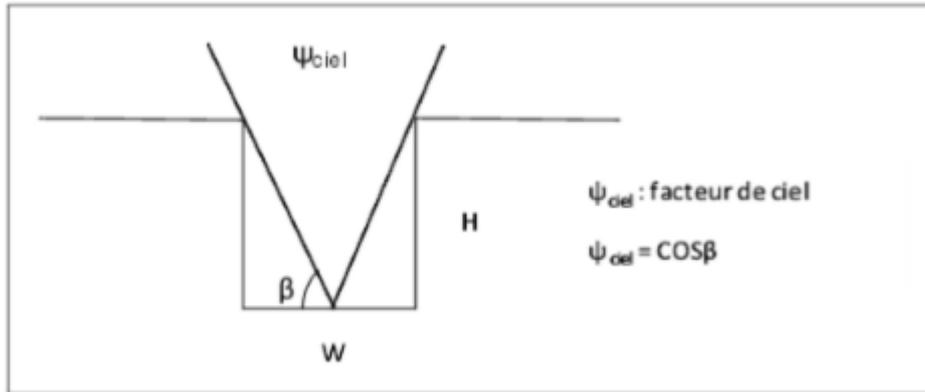


Figure IV.20 : Angle solide de vue d'une rue canyon asymétrique l'angle solide égale à $1800 - O1-O2$. (Source : Oke 1981)

IV.7. 4. Ratio de couverture verte

C'est le rapport de la somme des superficies de tous les arbres, arbustes, plantes et mauvaises herbes de l'aire générale GCR, est évalué selon la formule suivante: Où: GS: est l'aire générale, Gi: est l'aire du champ vert et son numéro n: (Gcr) (Arboit et. 2017).

$$GCR = \sum_{i=1}^n G_i / GS \dots\dots\dots IV. (4).$$

IV.8. Choix des stations de mesure : Parcours de mesures

Le choix des points de mesure dans la placette à l'université Mohamed Khider s'est effectué selon une certaine logique, et cela dans le but de répondre aux hypothèses, et donc au sujet de la problématique.

Pour cela les mesures ont été effectuées en cinq (05) points repartis sur un axe le long de la placette. Figure IV. 21.

***Station S1** : (partie nord de la place) : pas de masque solaire des constructions, pas de masque de la végétation, couloir de vent dans toutes directions, important.

***Station S2** : (partie nord de la place) présence les masques solaires des constructions, présence d'une faible végétation

***Station S3** : (partie centrale de la place) présence des masques solaires des constructions alentours, la végétation est très dense.

***Station S4** : (partie sud de la place) : inexistence du masque solaire (construction) des couloirs de vent importants, une végétation dense.

***Station S5** : (partie sud de la place) : inexistante du masque solaire, (végétation important) couloirs de vent assez importants

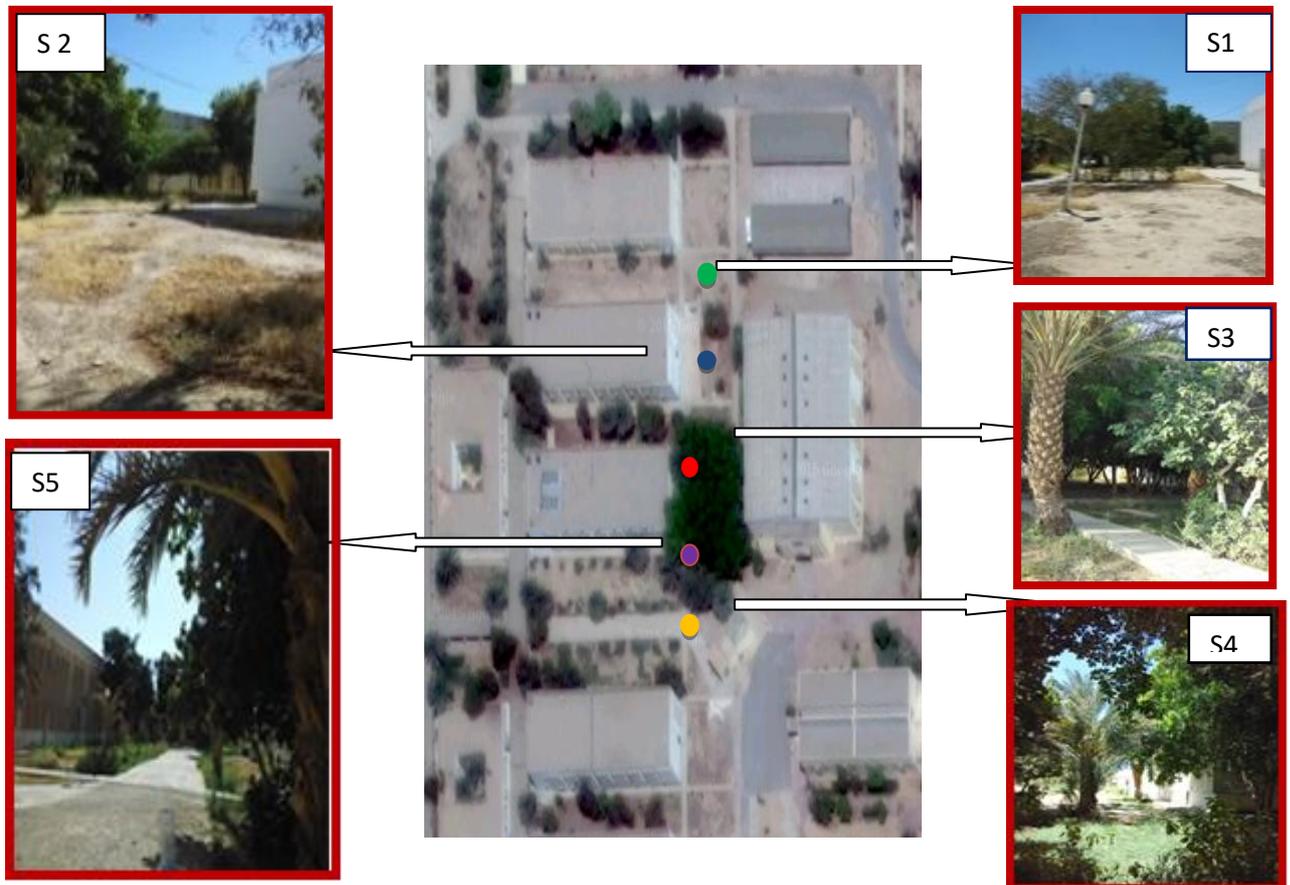


Figure. IV.21. Répartition des stations de mesures sur la placette retenue, pendant la période estival.
(Source : Auteure, 2017)

IV.9. Méthodologie et déroulement des campagnes de mesures

Après la prise des mesures de la température de l'air, l'humidité relative, de la vitesse de l'air et de la température globe, pendant le mois de juillet, le plus représentatif de la période estivale, et respectivement des années 2017, 2018 et 2019, les facteurs climatiques mesurés dans toutes les stations sont enregistrés sur des bordereaux, et après dépouillement, seules les mesures de la journée qui présente des valeurs élevées, parmi les trois années, sont retenues et analysées.

IV 9. 1. Protocole de la prise de mesures

Sur la base des données météorologique de la ville en question, il a été possible de déterminer la semaine type "design week" et par la suite la journée type "design day" durant laquelle se feront les prises de mesures pour la saison chaude afin de justifier la période de l'étude. Cette journée est déterminée à partir du calcul de la température moyenne journalière pendant la période considérée (Hong et al. 1999). Le calcul a été effectué pendant une période de 15 ans (entre 2003 et 2018). Les journées sélectionnées pour la prise de mesures sont respectivement ; le **03, 04 et 05 Juillet 2019** pour la saison chaude. La détermination des journées types a été effectuée durant la semaine type "design week". Des mesures bi-horaires ont été faites de 08. 00 h à 16. 00 h, période relative au fonctionnement de d'université et pendant laquelle les gens passent plus de temps. Les paramètres mesurés sont ; la température de l'air, la température moyenne radiante, l'humidité relative et la vitesse de l'air. Les mesures ont été faites à l'ombre à une hauteur de 1,2 m.

IV 9. 2. L'analyse des mesures In-situ

Ce qui suit, concerne les mesures climatiques in situ des paramètres climatiques retenus, et qui se sont déroulées pendant les trois années successifs déjà mentionnées (2017, 2018 et 2019) voir les résultats des paramètres climatique (**T air (°C), HR%, V vent (m /s)**) reportés sur les (tableaux 1.1,1.2,1.3,1) , en annexe 1,les page (313,314,315).

IV 9. 2. 1. La campagne de mesures

Les trois campagnes de mesures ont été effectuées dans des journées à conditions **Météorologiques typiques de la saison estival (03, 04 et 05 du moi de Juillet)** afin d'éviter toute fluctuation journalière ; temps ensoleillé, peu venté et ciel dégagé

Les mesures sont effectuées à intervalle de deux heures, à partir de **08h00 du matin jusqu'à 16h00** du soir, et cela pour tous les paramètres climatiques considérés ; **T_{air} (°C), HR %, V_{vent} m/c), T_g (°C)** au sein de l'espace considéré, en plus de ceux enregistrés par la station météo de Biskra. Ceci permettra de comparer les mesures des cinq stations entres elles et par rapport à la station 1 d'une part et la station météo d'autre part. Chaque mesure durait entre 2 et 5 minutes, ce qui est favorable à la stabilité des paramètres climatiques et cela grâce à la proximité des 5 points de mesures les uns des autres, ce qui est aussi favorable à la stabilité des paramètres météorologiques (Bennadji, 1999).

Les sondes qu'on place à chaque station se fait sous ombre à une hauteur de 1,20m du sol, en évitant tout obstacle, comme le recommande la norme EN 7726 ISO, I (1998).

IV.10. Les instruments de mesure (Les appareils de mesure)

Le **Testo 480** est un appareil multifonctionnel grâce a ses sondes variées, il est très fiable et d'une haute précision, en plus des mesures de l'éclairage, il mesure tous les paramètres importants du climat. (Température de l'air ambiant, humidité relative, vitesse de l'air. Etc...) Le testo 480 convient particulièrement pour les mesures de confort pour l'évaluation du poste de travail et les mesures de courant dans les installations de climatisation. Un large choix de sondes de qualité (en option) permet également de procéder aux mesures suivantes :

Débit et débit volumique (également pour les mesures sur les hottes de laboratoire), Température, Humidité relative, Pression (pression différentielle et pression absolue), CO2 Intensité lumineuse, PMV/PPD (Predicted Mean Vote/pourcentages prévisibles d'insatisfaits) Chaleur rayonnante, Degré de turbulence, Indice WBGT/ une moyenne de 3 températures : Température sèche DB (Dry Bulb), Température humide WB (Wet Bulb), Température globe noir G (Globe)

Tout le travail est exécuté à l'aide du Testo data logger 480, il nous a permet de faire des mesures efficaces en changeant deux sondes. (Figure .IV.8).

Type d'appareil	Vue sur l'appareil	Fonctions
<p><i>Testo 480</i></p> 		<p>Permet de mesurer :</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ La température de l'air ✓ L'humidité relative de l'air ✓ La vitesse de l'air

Figurte. IV. 8 : Matériel utilisé dans les campagnes de mesures ; **Testo 480** (Source : Auteure)

- Sonde pour mesurer la température, son indicateur en (°C) et l'humidité relative en %
- Sonde pour mesurer la vitesse de l'air, en m /s.
- Sonde pour mesurer la température globe en (°C)

A la hauteur de 1,20 m, retenue comme la hauteur du centre de gravité du corps humain, selon les normes européennes. Nous avons également utilisé le même moyen «Testo data logger 480» inséré dans une boule noircie de 5 cm de diamètre pour la mesure de la température globe. (Tableau .IV.8) et (Figure IV.22).

IV.7.1.2.2. Canon EOS 6D

Les images fish-eye sont sélectionnées à l'aide d'un appareil photo Canon EOS 6D (tableau. IV.9) à chaque station de mesures (Figure. IV.22).

Les images fish-eye ont pris en considération le degré d'ouverture au ciel à l'intérieur de la placette. La caméra était orientée vers le ciel pour calculer SVF dans RayMan, les images ont été traitées par le logiciel. Voir les résultats dans le (tableau. IV.9) et (cf.chap.V, section V.4, tableau. V.2).en page 217.

Meteorological Data Parameters				
Variable Method of Storage	Device	Probe Reference	Unit	Accuracy
Air temperature (T _a) Automatic	Testo 480 0563 4800	12 Φ 0636 9743	°C	±0.5 °
Relative humidity (R _H) Automatic	-	12 Φ 0636 9743	%	±1.0%
Wind velocity (V _a) Automatic	-	Helix 100 Φ mm 0635 9343	m/s	±0.1 m/s
GlobeTemperature (T _g) Automatic	-	12 Φ (200 mm) 0635 1543	°C	±0.5 °C
Fish-eye images parameters				
Camera Colors representation	Focal length	Resolution	Dimensions	
Canon EOS 6D	8 mm8 mm	72 ppp	5472 × 3648 sRGB	

Tableau.IV. 9: Instruments utilisés pour la mesure des données (Source: Auteure)

IV.7.2. Les facteurs climatiques mesurés :

Les variables environnementales qui sont importantes pour le confort thermique humain englobent le rayonnement solaire, les températures moyenne radiante, de la température de l'air, et de la vitesse du vent et de l'humidité relative de l'air, il s'agit de mesurer des facteurs climatiques ayant une incidence sur le confort thermique, à savoir : (Herrington, 1978 ; Akbari 1992). Le tableau suivant résume quelques méthodes des mesures employées dans des études antécédentes sur les espaces urbains.

Auteurs années	Situation	Procédures de mesures	Comportement des mesures	Paramètres météorologiques
Zakaris et al 2001	Sept espaces extérieurs, Montréal (Canada)	Mesures en rotation entre 04 places au milieu de la journée	Utilisation de l'espace (nombre des gens présents et leurs activités)	Ta ; W ; Ws
Givoni et al 2003	Yokohama (japon) Tel Avive (Palestine)	Sujets qui se déplacent entre espace ombré et espace ensoleillé	Sensation thermique	Ta ; W ; Ws
Sasaki et al	Quatre cités au Japon	Questionnaires journaliers. Répondeurs qui vivent à côté de la station météorologique.	Sensation thermique	Ta ; W ; RH ; G ; Ts
De Dear et Drager 2001	Etats unis	Station minimet portable à côté des sujets	Sensation thermique	Ta ; W ; RH ; G ; Tg
Nikolopoulo et al 2001	Quatre places de repos, Cambridge (Grande Bretagne)	Station minimet portable à côté des interviewés utilisé pendant le milieu de la journée	Sensation thermique ; utilisation de l'espace (nombre des gens présents)	Ta ; w ; RH ; Tg
Nigara et al 1996	Espace piétonniers Osaka (Japon)	Mesures instantanées instruments déplacées entre les sujets.	Sensation thermique	Ta ; W ; RH
Thorsson et al 2003	City park Goteborq (Suede)	Interviewés et observation indiscrètes entre 13h et 15h	utilisation de l'espace (nombre des gens présents et leurs activités ; sensation thermique	Ta ; W ; RH ; G

Tableau. IV. 8 : Résumé de quelques méthodes de mesures employées dans des études concernant les l'étude de l'usage des espaces urbain et la sensation thermique. **Source :** Lindbergh 2004.

Avec : Température de l'air (Ta). Vitesse de l'air (W), Vitesse subjective du vent (W s).

Humidité relative (RH) , Température globale (Tg) , Radiation globale (G).

Température de surface (T s). , Duré de l'ensoleillement (S d).

On s'inspirant du (Tableau. IV. 8), les paramètres microclimatique qui vont faire l'objet de ce travail sont : Température de l'air (T_a), Humidité relative (RH), Température globale (T_g), Vitesse de l'air (W).

Les quatre paramètres principaux sont : la température de l'air, la température moyenne radiante, l'humidité relative, et la vitesse de l'air, ces données climatiques sont nécessaires pour la détermination des indices de confort thermique dans l'espace extérieur.

IV.7.2.1. Température de l'air

La température de l'air représente un indicateur du niveau énergétique de l'air, qui provient lui-même du bilan de tous les échanges de chaleur qui existent à l'endroit et au moment de la mesure de cette température. La température fluctue sans cesse, à toutes les échelles de temps et d'espace. La couche d'air directement en contact avec le sol chaud est échauffée par conduction, cette chaleur se transfère aux couches supérieures par convection. La température de l'air est toujours mesurée à l'ombre sous abris (Givoni B, 1978, Tableau, 2000).

IV.7.2. 2. Température moyenne radiante

La température moyenne radiante est la température moyenne des surfaces entourant l'espace, pondérée par les émissivités des diverses surfaces et de l'angle solide sous lequel les sujets les voit... La TMR d'un environnement donné est estimée à partir des mesures de vitesses d'air et de température d'un thermomètre à globe. Cet instrument est un thermomètre ordinaire introduit à l'intérieur d'une sphère de cuivre noirci d'environ 10 à 15cm de diamètre" (Givoni B., 1978, p.43). Cette grandeur thermique introduit plusieurs systèmes d'échanges : le rayonnement (infrarouge et visible), et la convection.

(Thorsson, S. et al. (2007), ont comparé trois méthodes différentes de l'obtention de la TMR en milieu urbain en plein air ; la méthode A est basée sur les mesures de rayonnement et les facteurs angulaires, la méthode B basée sur des mesures avec un thermomètre 38 mm plat Globe gris, (Figure IV. 23), et la méthode C utilise le logiciel Rayman. (Figure IV.24).



Figure. IV.23 : Thermomètre 38 mm plat globe gris. (Thorsson et al, 2007).

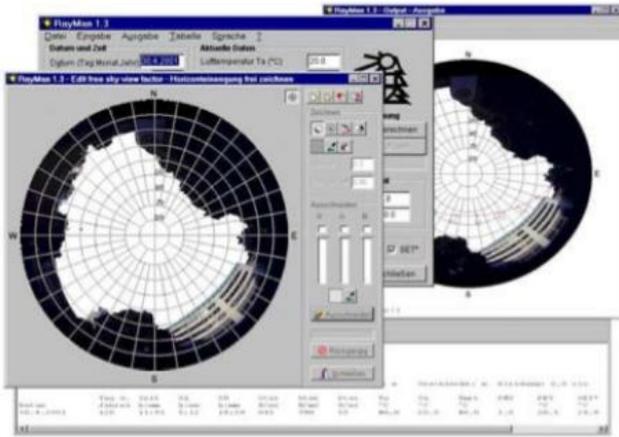


Figure IV.24 : Menus de la fenêtre de ray man 1.3 permettant l'importation et l'exportation de structures urbaines pour le calcul de la température moyenne de rayonnement TMR et indices thermiques.
Source : (Matzarakis et al, 2000).

La TMR peut être calculée en fonction de la formule et (méthode B décrite par Thorsson et al. (2007) en se basant sur les variables climatiques préalablement mesurées et la température globe, selon la formule suivante :

$$T_{mrt} = [(T_g + 273)^4 + 2,5 \times 108 \times V_a^{0,6} \times (T_g - T_a)]^{1/4} - 273 \quad \dots\dots IV. (4).$$

Avec :- T_g : Température globe en (°C). - V_a : vitesse du vent à 10 m au-dessus du sol (en m/s) - T_a : température de l'air en (°C).

Dans cette recherche on a utilisé «Le logiciel Matlab» pour le calcul de la T_{mrt} , celle-ci est définie par la formule (IV.4). (Rosso et al, 2017; Taleghani et al, 2014).

Quand les variables (T_a , V vent et T_g) sont relevées directement sur le terrain choisi, à l'aide de l'instrument de mesure Testo data logger 480, en les appliquant à la formule, les étapes du calcul et les résultats obtenus sont reportés en annexe 2, (figure 2.1 et 2.2), page (324,323).

IV.7.2.3. Humidité relative

L'humidité relative est un rapport hygrométrique, indiquant l'état de l'atmosphère vis à vis de la condensation, et c'est à sa valeur que correspond la sensation d'humidité ou de sécheresse de l'air. La quantité de vapeur d'eau que peut stocker une unité de volume d'air est limitée, sa valeur maximale s'appelle l'humidité saturante. Si l'on rapporte l'humidité absolue à l'humidité saturante, on obtient l'humidité relative exprimée en %.

IV.7.2.4. La vitesse de l'air

A vrai dire les vitesses de l'air constituent un élément essentiel pour la régularisation de l'équilibre thermique humain en rapport à l'échange énergétique entre l'air et la peau, l'étude de l'écoulement de l'air en milieu urbain est très complexes, car trois paramètres

essentiels devront être pris en compte : la vitesse moyenne de l'air, sa direction et son sens, et la proportion de temps pendant laquelle il a lieu.

IV .7. 3. Station météorologique de référence

La station météorologique se trouve au sein de l'aéroport de Biskra c'est le zone raz de compagne au Sud de la ville de Biskra et par rapport à notre placette d'étude on peut estimer une distance de 10 km entre les deux lieux. Figure. III. 17.

-  Station météorologique
-  Cas d'étude



Figure. IV. 25: Situation de la station météorologique par rapport au cas d'étude (www.flashearth.com 2017, adaptée par l'auteur)

IV.7. 3. Interprétations des données enregistrées

Pour l'interprétation des mesures, le choix se porta sur la journée du **05 juillet 2019**, vu que **cette journée est la plus représentative de la saison** car il a fait chaud avec un ciel complètement dégagé et avec peu de vent, contrairement aux deux autres années, ou on a relevé des valeurs inférieures.

Les résultats des mesures climatiques ($T_{\text{air}} \text{ } ^\circ\text{C}$, RH%, V vent m/s et $T_{\text{mrt}} \text{ } ^\circ\text{C}$) seront comparés entre eux, et avec la station S1 d'une part, et avec les résultats de la station météorologique Biskra d'autre part. Comme suivant :

- Report des différents paramètres climatiques mesurés pour chaque station.
- Comparaison des différents paramètres climatiques mesurés entre les cinq stations.

- Comparaison des différents paramètres climatiques mesurés et ceux de la station météo Biskra.
- Les différences températures de l'air entre la station de référence S1 et les autres stations.

IV.7.4. Interprétations pour chaque station

Les interprétations pour chaque station sont faites pour les quatre paramètres climatiques (**Température de l'air (T_{air} °)**, **humidité relative (RH%)**), **vitesse des vents (V_{vent} m/s)** et **la température moyenne radiante (T_{mrt} °C)**) en même temps et pour chaque station à part, afin de vérifier l'exactitude des relevés, et de déceler des anomalies qui pourraient influencer ou même fausser les interprétations lors de la comparaison des données des stations entre elles

Ces représentations graphiques ont été rendues possibles grâce au logiciel **Origine Pro 2018** qui est un programme professionnel de l'exécution de graphes, qui sont d'une qualité sans égale et d'une clarté exceptionnelle dans ce genre de représentations.

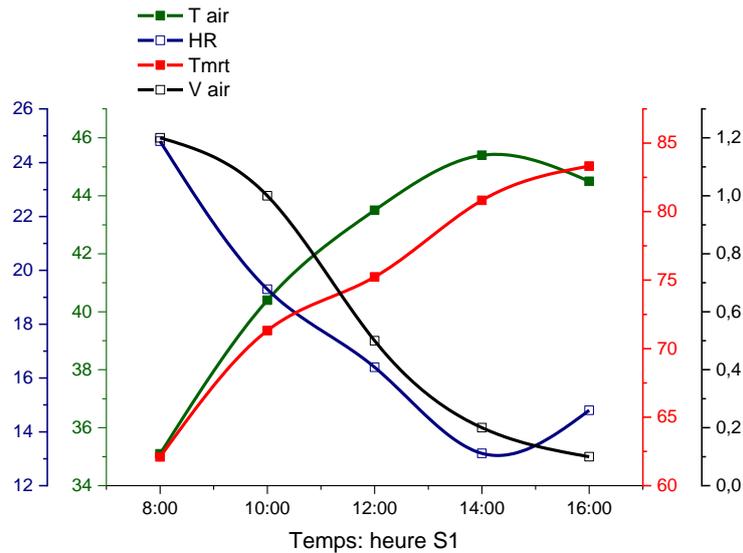
IV.7.4. 1. Station S1

Pour cette station, les courbes de températures et d'humidités suivent une logique dans leurs parcours, c'est-à-dire que la température augmente graduellement de (35.1°C) à 08h00 jusqu'à (45.4 °C) à 14.h00 pour ensuite décroître jusqu'à (44.5°C) à 16 h00.

La même chose est à noter pour l'humidité mais en relation inverse, donc elle décroît de (24.8 %) à 08 h00 jusqu'à (13.2%) à 14h00 et puis augmente jusqu'à. (14.8 %) 16 h00.

La vitesse de l'air est comprise entre 1.2 et 0.1 m /s, elle est d'une variation très légère durant toute la journée.

Pour la température moyenne radiante T_{mrt} , présente une croissance continue de 8h00, avec 62,09°C jusqu'à 16h00 avec 83,32° C. s'expliquant par une exposition continue aux rayons solaires directs. (Graphe. IV.7).



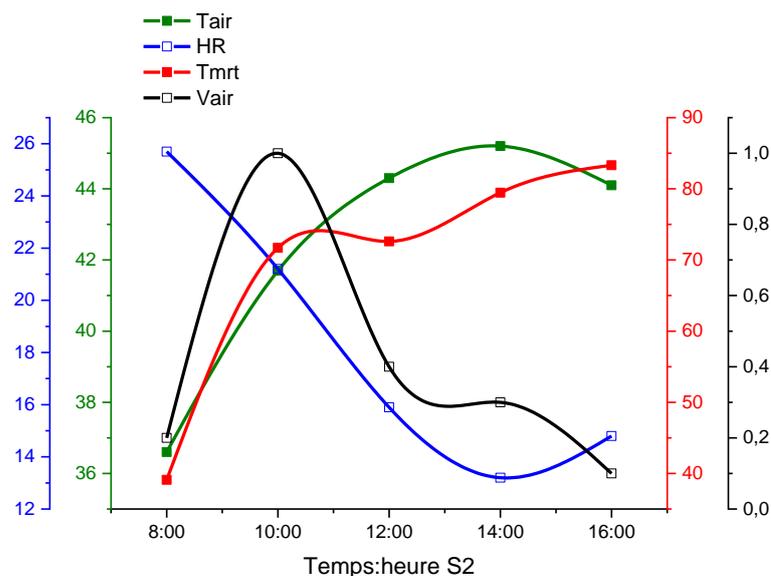
Graphe IV.7 : Les quatre paramètres enregistrés pour la station S1 pendant la période estival. (Source : auteure, 5 juillet 2019).

IV.7.4.2. Station S2

Les mêmes remarques peuvent être avancées pour la deuxième station, où la relation entre la température et l'humidité est inverse.

Les deux courbes de la température et de l'humidité sont régulières dans l'ensemble.

Les valeurs enregistrées pour la vitesse des vents sont globalement instables, avec des vitesses relativement plus importantes entre 10h00 et 12h00. La Tmrt est similaire dans son comportement à la station S1, sauf qu'elle présente une valeur assez réduite de l'ordre de 39,10°C au début de la journée, apparemment le rôle ombrageant des constructions limitrophes y est pour raison durant la matinée. (Graphe. IV.8).

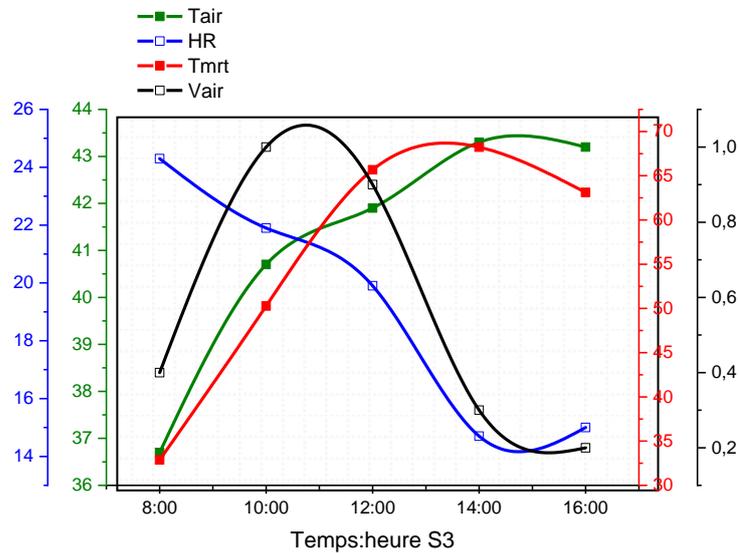


Graphe. IV. 8 : Les quatre paramètres climatique en enregistrés pour la station S2 pendant la période estival (Source : auteure, 5 juillet 2019).

IV.7.4.3. Station S3

Pour cette station, les courbes de température et d'humidité suivent une logique dans leurs parcours, c'est-à-dire que la température augmente graduellement de 08h00 jusqu'à 14h00, pour ensuite décroître.

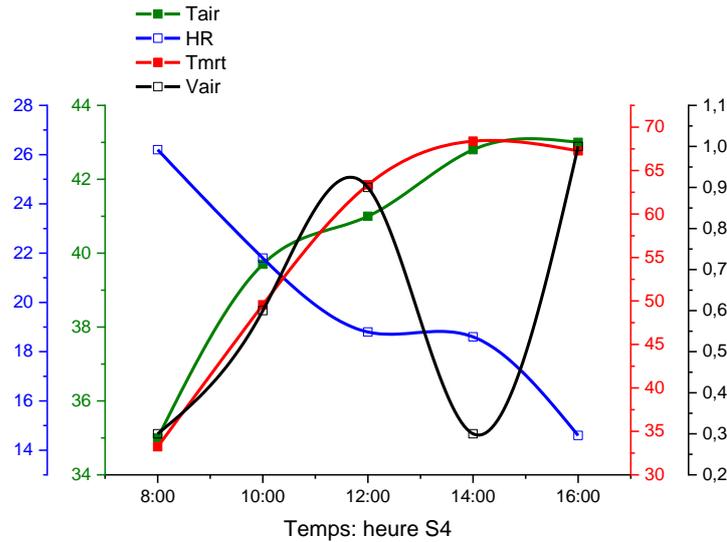
La même chose est à noter pour l'humidité mais en relation inverse, donc elle décroît de 8h00 à 14h00, et croît continuellement ensuite, pour la Tmrt une croissance continue jusqu'à 14h00 pour décroître ensuite dans ce cas, par rapport aux deux stations précédentes, avec toutefois des valeurs réduites par rapport à S1 et S2, l'ombrage du couvert végétal et les constructions en sont certainement la raison de la réduction de ces valeurs (Graphe. IV.9.)



Graphe. IV. 9 : Les quatre paramètres climatiques enregistrés pour la station S3 pendant la période estivale (Source : Auteure, 5 juillet 2019).

IV.7.4.4. Station S4

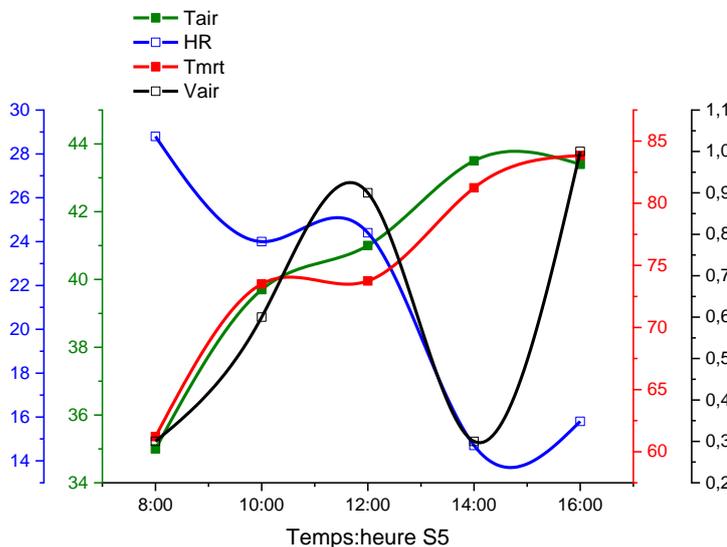
Idem que pour la station S3, où l'évolution des courbes d'humidité et de Tmrt sont similaires, ce qui veut dire qu'elles croissent jusqu'à 14h00 pour ensuite décroître, alors que la température continue sa croissance, mais très légèrement. (Graphe. IV.10.)



Graphe .IV.10 : Les Quatre paramètres climatique enregistrés pour la station S4 pendant la période estivale. (Source : Auteure, 5 juillet 2019).

IV.7.4.5-Station S5

Idem que pour la station S1, puisqu'elle ne bénéficie pas de protection où l'évolution des courbes d'humidité, de Tmrt et de température sont similaires à celles de la station S1 en apparences et en valeurs. (Graphe. IV.11).

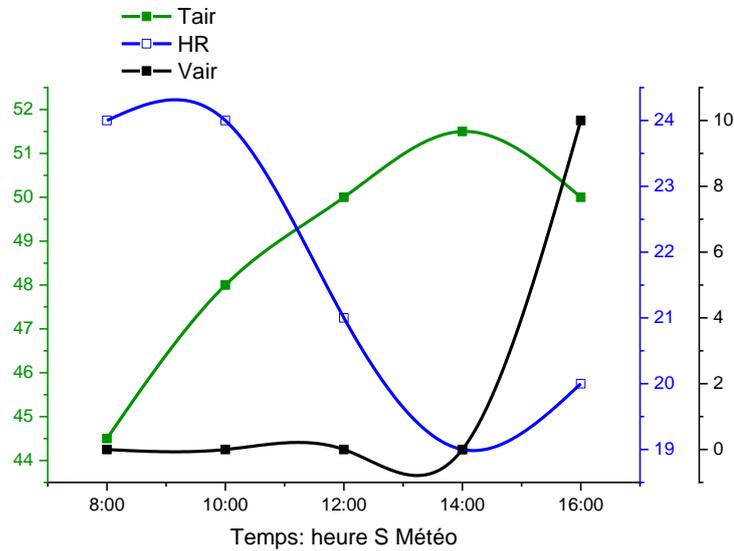


Graphe IV.11 : Les quatre paramètres climatique enregistrés pour la station S5 pendant la période estivale. (Source : Auteure, 5 juillet 2019).

IV.7.4.6. Station météo aéroport Biskra

Pour la station météo (aéroport) on remarque que les deux courbes de température et d'humidité sont inversement proportionnelles, avec une valeur Max de 51.50°C pour la

température et valeur Min de 18% pour l'humidité, contrairement à 06h00 du matin où on note une valeur Min pour la température 41°C et une valeur Max pour l'humidité de 37%. (Graphe. IV.12).



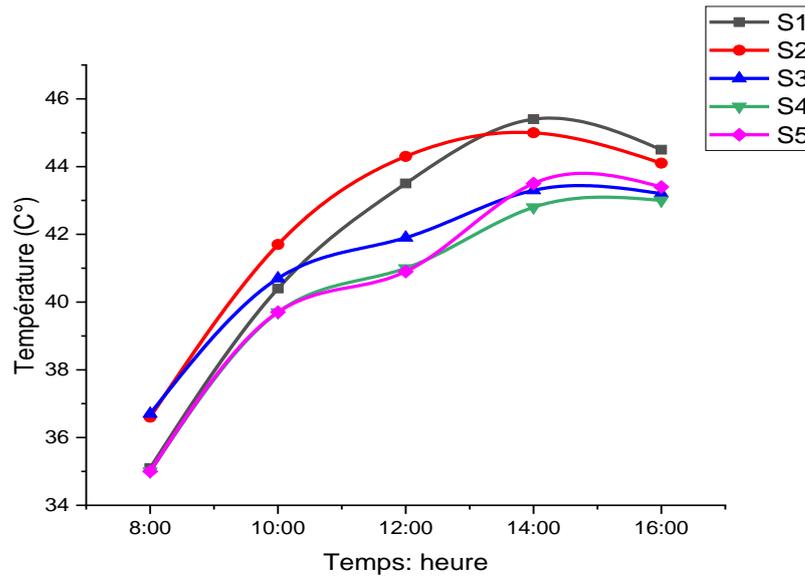
Graphe. IV.12 : Résumé des trois paramètres pour station météo aéroport Biskra. Pendant la période estivale. (Source : Station météo aéroport Biskra.)

IV.7.5. Comparaison des différents paramètres climatiques mesurés des 05 stations (1, 2, 3,4 et 5), sur terrain de la placette

Une fois l'analyse des données pour chaque station effectuée, on peut procéder à la comparaison entre les cinq stations et pour chaque paramètre enregistré ((T_{air} °C, RH%, V vent m/s et T_{mrt} °C), mais en gardant un œil sur les autres paramètres, vue leur interaction les uns avec les autres et cela pour détecter les différences microclimatiques au sein de la placette et pour chaque station.

IV.7.5.1. La température de l'air (T_{air} °C)

Tout d'abord on remarque une certaine homogénéité, pour les courbes de températures des cinq stations c'est à dire qu'elles augmentent graduellement pendant la première partie de la journée, de 08h00 à 14h00 où elles atteignent leur maximum, pour ensuite décroître jusqu'en fin de journée. Les valeurs Min sont enregistrées à 14h00 du matin pour toutes les stations). (Graphe. IV.13).



Graphique IV.13 : Comparaison entre des températures de l'air mesurées au niveau des 05 stations (1, 2, 3,4 et 5), Pendant la période estivale. (Source : Auteure, 5 juillet 2019).

IV.7. 5. 2. L'humidité relative (RH%)

La station S1 présente les valeurs les plus basses d'humidité par rapport aux autres stations, suivie de la station S2 et cela pendant toute la journée, sauf pour quelques rares périodes (vers 10h00 jusqu'à 14h00) et de (14h00 jusqu'à 16 h00) cela s'explique par les mêmes intervenant cités en haut pour la température en cette zone.

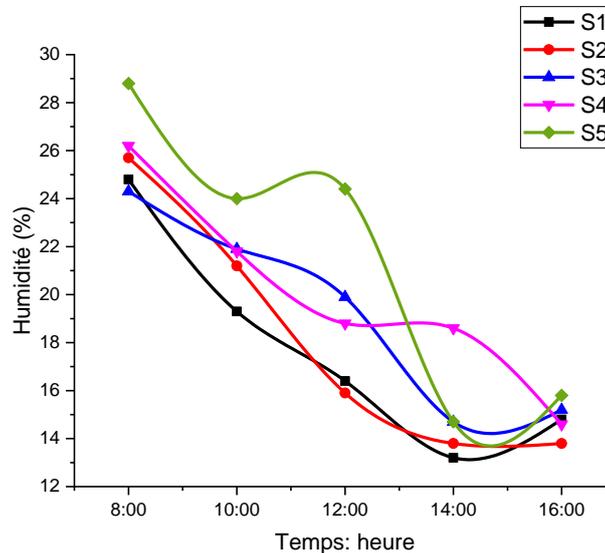
Pour la station S5 on peut distinguer deux périodes :

La première s'étale de 08h00 à 14h00, dans cette période on enregistre les humidités les plus hautes de la place, en décroissance continue jusqu'à 14h 00m, pour toutes les stations (sauf S5 qui fait défaut, entre 10h00 et 12h00), ensuite débute la deuxième période avec redressement de toutes les courbes sauf S4. Cela est dû en premier lieu à la végétation qui est plus dense qu'en S1 et S2 donc l'effet de l'évapotranspiration est plus important en ces deux stations.

Il est aussi dû à l'effet d'ombre des constructions et de la végétation, cet effet contribue à garder l'humidité contenue dans l'air tandis que les autres points (S1, S2) sont directement exposés au rayonnement solaire pendant cette période, c'est pourquoi on enregistre les valeurs les plus réduites en ces stations.

Ajouter à cela l'écoulement de l'eau en station S3, S4 tout a fait en proximité de S5, il faut dire que les déversements sur le sol sont aussi fréquents pour garder ce dernier humide aussi longtemps que possible.

- l'effet d'ombre des constructions voisines et des couronnes d'arbres contribuent à garder l'air des stations S3, S4 et S5 assez humide, avec prédominance de S4. (Graphe. IV.14.).



Graphe. IV.14 : Comparaison entre les humidités mesurées au niveau des 05 stations (1, 2, 3,4 et 5) Pendant la période estivale. (Source : Auteure, 5 juillet 2019).

IV .7. 5. 3. Vitesse des vents V_{vent} m/s

Le vent est un élément très aléatoire et ne répond à aucune logique, surtout à micro-échelle, cela se confirme pour nos relevés ou on remarque que pour une seule station la vitesse des vents oscille de manière aléatoire entre des hauts et des bas contrairement aux températures et humidités.

Malgré cela on peut distinguer quelques éléments qui peuvent nous aider pour la compréhension et l'explication de certains phénomènes microclimatiques tel les chutes brusques des températures ou des humidités en un moment bien précis.

Dans l'ensemble on remarque que la station S1 est la plus ventée pendant presque toute la journée, par rapport au reste des stations.

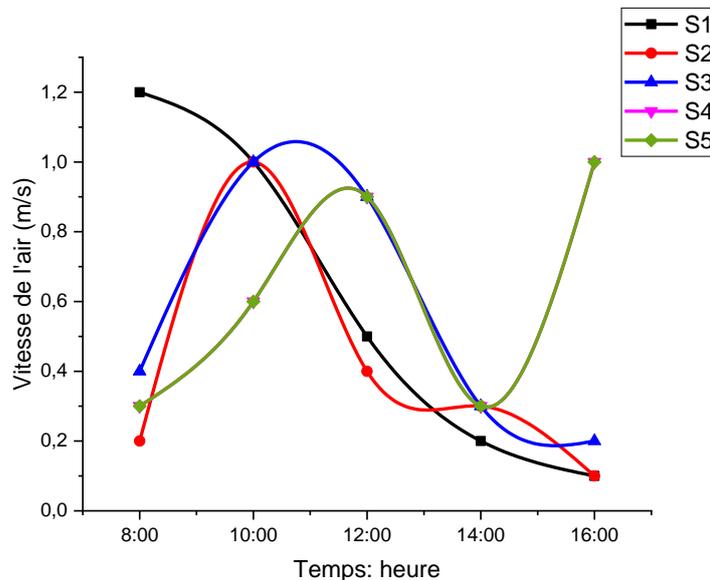
La station S3 et S5 et même S4 semblent être situées dans la zone la moins ventée du site, d'ailleurs la courbe de la station S4 et S3 sont superposées ce qui explique, qu'au niveau de ces stations, l'environnement est plus humide que les autres stations, car l'humidité produite par l'évaporation et l'évapotranspiration n'est pas transférée ailleurs par l'effet du vent.

A vrai dire la journée du 05 Juillet 2019 a été calme conséquence des faibles vitesses de l'air au niveau des cinq points, de plus ce qui confirme cet état de stabilité du mouvement d'air

sont les valeurs de la vitesse du vent remises par la météo qui démontrent que la moyenne était nulle durant toute la matinée. A l'échelle de la placette les stations 01,02, 03 et 04 présentent la même valeur vers 10h 00 alors que vers 14h 00 se sont plutôt les stations 02, 03, 04 et 05 qui présentent la même valeur, légèrement différente de celle de la station 01, les faibles résultats sont en général instantanés et cela pour des causes de variations rapides des vitesses d'air (prise de la mesure instantanément).

La vitesse maximale de l'air est prise au niveau de la première station ou $V_{air\ 01} = 1,2$ m/s vers 08 h00, tandis que la vitesse relevée de l'aéroport était nulle.

Durant la période 10h00 et 14h00, nous constatons un bilan aéraulique très calme, ce qui a contribué à l'augmentation des températures. Dès 14h00 la météo a relevé des valeurs significatives à hauteur de 10m, tandis que l'espace urbain était toujours calme. (Graphe. IV.15).

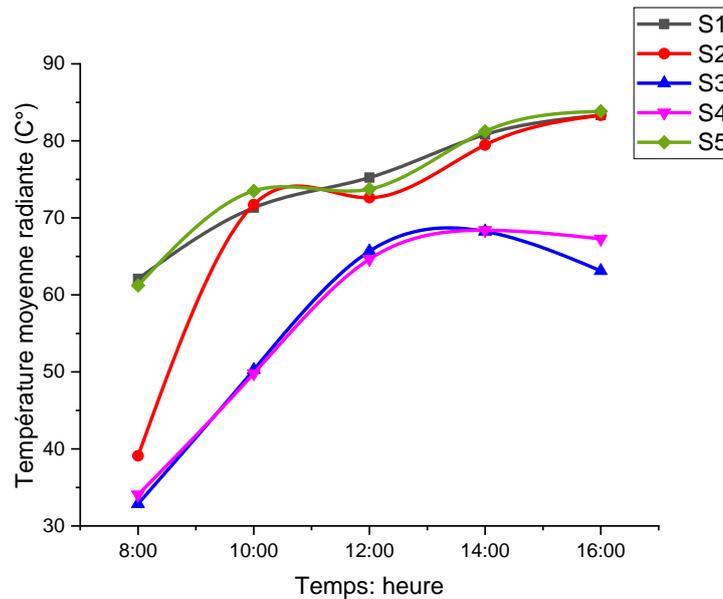


Graphe .IV . 15 : Comparaison entre des vitesses du vent mesurées au niveau des 05 stations (1, 2, 3,4 et 5) pendant la période estivale. (Source : Auteure, 5 juillet 2019).

IV. 7. 5. 4. La température moyenne radiante (T_{mrt} °C)

La température moyenne radiante (T_{mrt}) est le paramètre le plus important pour le bilan thermique, spécialement pour les journées chaudes et ensoleillées. Elle est la somme des températures totales des surfaces qui entourent le corps humain.

Le bilan radiatif est étroitement lié à l'état de la surface du sol. Il dépend en effet de son albédo, de son émissivité, de sa conductivité thermique, de son évaporation et de la vitesse du vent. Les valeurs de la température moyenne radiante (T_{mrt}) sont reportées dans le graphe IV.16, ci-contre



Grphe. IV. 16 : Comparaison de la Tmrt mesurées entre les 05 stations (1, 2, 3, 4 et 5) de la placette pendant la période estivale. (Source : Auteure, 5 juillet 2019).

Ces valeurs varient selon la particularité de chaque station et selon les périodes de la journée (matinée, midi, après midi et soirée). Pour chacune d'elle, les valeurs à l'ombre ou au soleil ont été prises en considération.

Pour l'ensemble des stations, les résultats se rapprochent selon le temps ; leur profils se coïncident au début et vers la fin de la journée c'est-à-dire à 08.00h et 16.00h. C'est pourquoi les courbes se rapprochent. Les stations S3 et S4 ont enregistré les valeurs les plus faibles au site, alors que les stations S1, S2 et S5 ont enregistré des valeurs maximales avec un écart important entre elles qui atteint 27,53°C à 08h, 21,98°C à 10h, 10,83°C à 12h, 13,88 °C à 14h et 20,78°C à 16h. Cela est fortement lié à la présence de la végétation au niveau des stations S3 et S4, et son absence au niveau des autres stations. La présence des arbres a réduit la pénétration du rayonnement solaire en ces espaces. Les arbres reçoivent une partie des radiations solaires directes et une grande quantité des irradiations à partir des surfaces environnantes : murs et sols. La dissipation de ce flux de chaleur se fait par les échanges convectifs. La répartition des gains thermiques en flux de chaleur sensible et latent dépend du bilan d'évapotranspiration et des courants d'air.

Quant aux stations S3 et S4, elles sont au milieu de la placette avec un sol naturel gazonné ayant un albédo qui varie entre 0.1 et 0.3. Elles ont enregistré des valeurs moins importantes que les autres. Sans omettre l'effet de l'ombre portée des bâtiments et l'ensemble d'arbres.

IV. 7. 6. Comparaison entre les différents paramètres climatiques mesurés et ceux de la station météo de Biskra

IV. 7. 6. 1. La température de l'air (°C)

La comparaison des températures s'est faite entre, d'une part la température enregistrée dans la station météo d'aéroport Biskra et d'autre part les températures enregistrées dans la placette et qui seront considérées comme une moyenne et on parlera alors de température moyenne de la placette. Il est clair qu'il existe une différence et des écarts entre les deux températures, cette différence évolue selon l'heure de la journée.

On remarque l'existence de deux périodes bien distinctes :

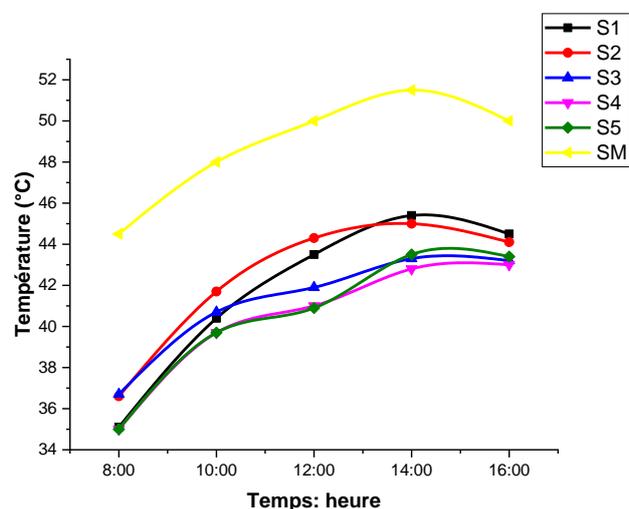
Une période croissante vers 14h00, où les deux valeurs de température atteignent leurs pics et l'autre période, à partir de 14h00 précisément pour ensuite décroître graduellement.

L'effet des radiations solaires s'intensifie de plus en plus que le soleil devient perpendiculaire sur la zone d'étude, avec l'absence de masques solaires en rase campagne (vu que le site de la station d'aéroport de Biskra est complètement dégagé) contrairement au site d'investigation qui présente beaucoup de masques solaires (constructions et végétations).

En rase campagne et avec cette augmentation continue de la température, l'effet de l'humidité contenue dans l'air s'estompe vu que cette dernière s'évapore de plus en plus, et son effet de rafraîchissement diminue lui aussi, contrairement au site d'investigation qui est certes moins humides que la rase campagne, mais il présente beaucoup de végétation qui produit de l'humidité par évapotranspiration et qui garde cette humidité prisonnière dans son environnement, et agit sur la température de l'air ambiant .

L'effet d'ombre des constructions et de la végétation permet lui aussi de préserver l'humidité de l'air, cet effet est quasiment absent en rase campagne ce qui implique que l'évaporation est plus important dans la placette et par conséquent la température est plus fraîche. (Graphe. IV.16).

Graphe : IV. 16. Comparaison entre températures de l'air au niveau de la placette avec celles de la station météo de Biskra pendant la période estival. (Source : Auteure, 5 juillet 2019)



IV. 7. 6. 2. L'humidité relative %

On remarque que l'humidité en rase campagne est nettement supérieure à celle enregistrée dans le site d'investigation aux environs de 6h00, pour devenir la minimale vers 8h00 pour s'équilibrer ensuite à 10h00 avec celle de la station S5 tout en étant supérieure aux reste des stations, ensuite , vers 12h00 elle régresse par rapport à S5, en restant toujours supérieure aux autres stations et pour rester supérieure à toutes les station de 16h00 jusqu'à 20h00.

Avec des écarts qui atteignent 11% à 06h00 dans le cas de la station S1.

Notons que durant la période où l'humidité de la place est inférieure à celle en rase campagne, L'écart est moindre avec un maximum qui peut atteindre 6,2%, vers 14h00.

Graphe. IV.17.

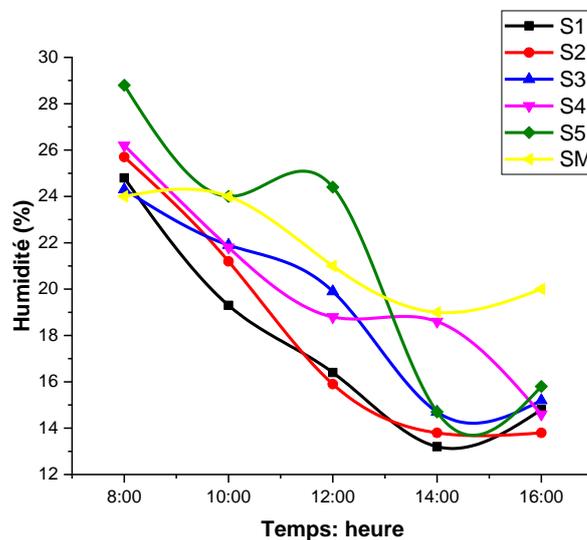
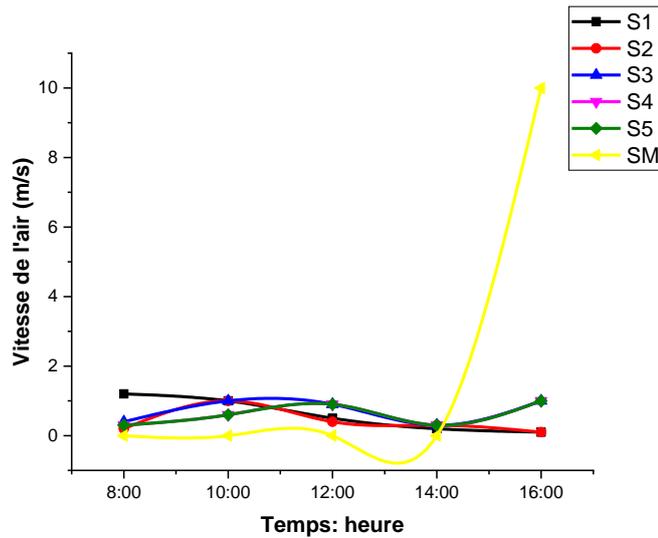


Gráfico. IV. 17 : Comparação das humidades relativas % medidas ao nível da praça com as da estação meteorológica de Biskra durante o período estival. (Fonte : Autor, 05 Julho 2019)

IV.7.6.3. Velocidade dos ventos V_{vent} m/s

Em esta data do 05 Julho 2019, As velocidades do vento são, elas também, netamente menos importantes em rase campagne que no site de investigação, com um desvio desprezível ao perfil do site de investigação e observa-se também que entre 08h00 e 14h00 a velocidade do vento em rase campagne é netamente inferior a as do site de investigação, mas quase semelhantes. Observa-se também que após 14h 00, os papéis invertem-se e a velocidade do vento em rase campagne é superior ao elevando-se subitamente para um valor também grande que 10 m/s em 16h 00. Gráfico. IV.18,

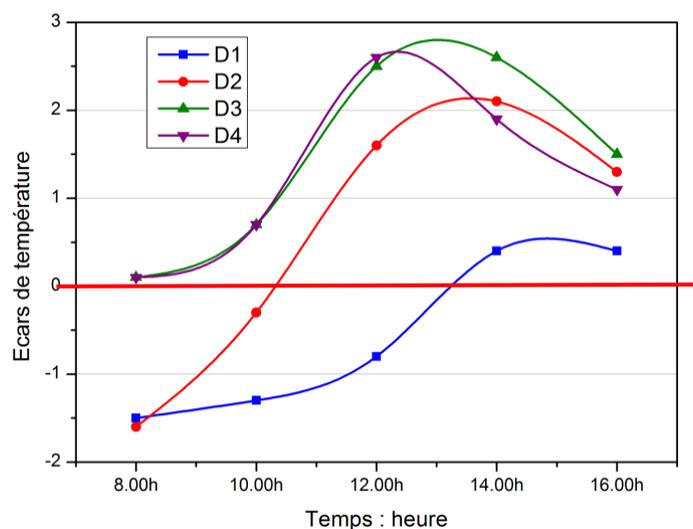


Graph IV.18 : Comparaison de la vitesse des vents mesurés au niveau de la placette et de celle de la station météo de Biskra Pendant la période estivale. (Source: Auteure, 05 Juillet 2019)

IV .7.9 : Les différences de températures de l'air entre la station de référence S1 et les autres stations (S2, S3, S4, et S5)

La fraîcheur qui se produit à l'intérieur de la végétation peut être assimilée à celle d'un parc et définie par une intensité PCI (Palm Grove Cool Island) dont l'index est calculé comme différence entre la température de l'air externe et interne du parc (Givoni, 1991 ; Spronken et Oke, 1998), le développement de PCI dépend de l'ampleur de l'irrigation et la présence des arbres (Spronken-Smith ; Oke1998).

La différence des températures entre la station S1 et la station la plus éloignée S5 (voir tableau. III.28 et 29) peut être récapitulée comme suit: l'intérieur de la végétation était plus frais pendant le matin (et la nuit), mais les différences de nuit étaient plus prononcées et prolongées pour plus longtemps. On observe l'intensité de fraîcheur diminuer selon l'éloignement par rapport au secteur vert, ce qui concorde avec l'idée d'Oke (Clothes lines effect). (Graph. IV.19).



Graph. IV. 19. Ecart de température de l'air entre les 05 stations S1 et (S2, S3, S4, S5) au niveau de la placette pendant la période estivale. (Source : Auteure, 05 Juillet 2019).

La station S1, station de référence, est la station la plus découverte et la plus exposée au soleil, et normalement elle devrait être la plus chaude, mais on a constaté qu'elle présente une période durant laquelle elle est plus fraîche que certaines des autres stations (S2 et S3). Au dessus de l'axe 00, les valeurs sont moins chaudes que la station S1, alors qu'en dessous, les valeurs sont, plus tôt, plus chaudes que la station S1.

On voit que pendant la grande majorité du temps la station S1 (station de référence) reste la plus chaude, elle est complètement découverte, sauf dans le cas de S2 et S3.

- Par rapport à la station S2 elle est moins chaude jusqu'à 13h00, ou la situation s'inverse, jusqu'à la fin du jour, avec toutefois une légère différence.

- Par rapport à S3 le même phénomène se produit mais durant un temps plus court, c'est aux environs de 10h00 que le phénomène s'inverse avec un écart maximal de 2°C, aux environs de 14h00.

Autrement dit que la durée de fraîcheur de la station S1 par rapport aux autres stations surtout S2 et S3 diminue au fur et à mesure qu'on se rapproche de la végétation ou S4 et S5 sont toujours plus fraîches que S1.

- Cette fraîcheur est à partir de 08h00 du matin, et même bien avant, jusqu'aux environs de 13h30 l'après-midi (durant 05h 30) par rapport à S2

- La fraîcheur dure 02h30 par rapport à S3, (de 08h 00 jusqu'à 10h 30 du matin)

On remarque aussi que les stations S3, S4 et S5 présentent les valeurs de température les plus fraîches pendant la période de 10h 30 à 16h 00, avec un écart maximum de presque 03°C par rapport à S1, cela est causé par deux facteurs :

- L'ombre de cet endroit

- La densité de la végétation et présence de l'eau et de terrains naturels.

À partir de 08h 00 et jusqu'à 14h00, la température enregistrée de S1 est plus fraîche que celle de la station S2 malgré son exposition directe à l'ensoleillement.

De 18h00 à 20h00, bien que sa température décroît, elle reste supérieure aux autres stations elle dépasse aussi les stations S3, S4 et S5 car la fraîcheur des zones ombrées augmente de plus en plus.

La station S2 présente les températures les plus chaudes à partir de 13h 30, cela pourrait être dû à :

- présence du bâti, qui délimite cette station de l'Est et de l'Ouest constitue un obstacle pour une bonne ventilation, contrairement à S1 qui est complètement découverte.

- D'un autre cote, les radiations des parois de constructions présentent un plus de chauffage à S2.

Conclusion :

Le chapitre, en son début est informatif sur l'état des lieux du cas d'étude au sien du campus universitaire à Biskra et sur ses différents aspects et en particuliers, l'aspect morphologique et climatique, ainsi que les types de végétations qu'elle contient avec leurs caractéristiques. Une méthodologie de travail est spécifiée avec présentation de l'outil de mesures utilisé ainsi que les facteurs climatiques retenus pour mesure.

La campagne de mesures effectuée lors de la journée du 05.07.2019. **Cette journée peut être considérée comme une journée d'été typique chaude de la ville de Biskra**, dans la dite placette, nous a permis de confirmer le caractère microclimatique de cette placette.

La végétation (spatialement les arbres persistent), dont la présence est très bénéfique sur l'amélioration des conditions de confort, cela peut être confirmé par l'écart de température qu'on a enregistré entre une zone couverte par les arbres et une autre découverte, au niveau de la même placette.

La progression linéaire des paramètres climatiques ainsi que l'évaluation de l'effet d'ombre de la végétation et des bâtiments convergent vers la démonstration que la densité des arbres dans la partie sud de la placette joue un grand rôle dans l'amélioration du microclimat, qui est aussi justifiée par la concentration des usagés.

La démarche expérimentale ne s'arrête pas seulement sur le niveau des paramètres climatiques, mais elle s'étale ainsi spécifiquement sur l'identification de la qualité du confort thermique extérieur. Le travail a eu une nécessité d'une simulation numérique ce qui nous permettra d'obtenir les indices révélateurs du confort thermique tels que la PET, l'UTCI, PMV.

Pour mettre en valeur l'organisation spatiale la plus adéquate au climat chaud et aride, et de tester d'autres paramètres et éventuellement d'autres arrangements pouvant améliorer les conditions microclimatiques, une simulation numérique à l'aide du couplage de deux logiciels ; ENVI-met version 4.4.5 et RayMan pro version 3.1, s'avère nécessaire et fera l'objet du prochain chapitre.

Chapitre V : Simulation numérique

(Couplage des logiciels ENV-met et RayMan)

Ce chapitre est consacré à l'étude et l'optimisation du confort thermique par des simulations numérique, il présente dans sa première partie les logiciels de la simulation thermique dynamique usité ; ENV-met et RayMan, et dans la seconde, il décrit les détails et le scénario exploités pour la simulation ainsi que la validation du modèle numérique. Par la suite, il analyse et interprète les résultats obtenus.

« Les approches par modélisation, simulation et expérience de pensée ont cela en commun qu'elles ouvrent un espace épistémologique nouveau. Elles agissent comme des opérateurs permettant de repenser et d'étendre l'épistémologie contemporaine, de dépasser les apories de L'épistémologie classique essentiellement théorie-centrée et de déplacer les débats sur le réalisme »

Franck Varenne.

Livre : Modéliser & simuler (2014)

Introduction

L'évaluation du confort thermique extérieur au moyen de simulations numériques est devenue un sujet d'actualité. Les programmes de simulation divers ouvrent des axes de recherches assez impressionnants et permettent de vérifier et d'évaluer les théories, les plus anciennes et celles les plus récentes, ayant trait à la bioclimatique urbaine et architecturale. Un certain nombre d'études ont été réalisées pour différents paramètres, tel que le niveau végétal ainsi que certains paramètres de l'environnement physique, comme la géométrie, et la végétation et le type de matériaux des différentes parois qui constituent l'espace urbain, ...etc. La simulation inclut les flux d'air autour des bâtiments, l'évapotranspiration des surfaces et plantes, turbulence, dispersion, etc.....

Après les mesures in situ, la simulation numérique est la deuxième approche de l'interaction entre les éléments de la forme urbaine, la densité du couvert végétal et l'atmosphère urbaine, elle permet de reproduire des phénomènes réels, elle désigne un procédé selon lequel on exécute un programme informatique sur un ordinateur en vue de simuler un phénomène physique, c'est une série de calculs effectués sur ordinateur, qui aboutit à la description du résultat d'un phénomène. Cette représentation peut être une série de données, une image voire même une animation vidéo. (Colombert, 2008). D'après Tumini et al (2016), l'approche numérique est une méthode de recherche alternative utilisée dans beaucoup d'études pour deux raisons principales :

- Le modèle numérique est particulièrement adapté pour mettre en évidence le lien entre la structure physique urbaine, le microclimat et le confort thermique en faisant la traduction des résultats pour des lignes directrices de conception pratique.

Par rapport aux mesures de terrain, il est plus rapide et moins cher, et il permet également des comparaisons entre les nombreuses études de cas et des scénarios de projets.

L'objectif de ce chapitre est d'abord de prouver et ensuite valider les résultats de la campagne de mesure, détaillés dans le chapitre précédent, puis de les compléter par l'évaluation du confort thermique au niveau de la placette retenue. La simulation était plus que nécessaire pour obtenir des paramètres nécessaires à notre étude à savoir :

- Déterminer les masques environnementaux physiques de la placette, sources des traces d'ombres et détermination du facteur de vue du ciel de la placette par le biais du logiciel Rayman
- Déterminer les répartitions des paramètres microclimatiques, à savoir, la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse du vent et la température moyenne radiante.
- Evaluer l'impact de la végétation sur le microclimat et le confort thermique.

Dans ce présent travail, les spécificités du logiciel Envi-met version 4.4.5 que nous avons utilisé ne permet que le calcul des paramètres climatiques, par conséquent, nous avons fait recours au couplage entre Envi-met et le logiciel Ray Man, qui par les valeurs climatiques obtenues par Envi-met, lorsqu'elles sont introduites dans Ray Man, cela permet l'évaluation des indices du confort thermique, qui sont dans notre cas ; PET, L'UTCI et PMV.

ENVI-met a été largement utilisé en raison de sa capacité à combiner et à considérer les variations spatiales des quatre variables météorologiques (climatiques) (température de l'air, humidité relative, vitesse du vent et température radiante moyenne) influençant le confort thermique extérieur (Ali-Toudert et Mayer, 2006 ; Yang et al., 2011, Müller et al., 2013, Acero et Herranz-Pascual, 2015, Zhixin Liu et al., 2018 (Shi Yin et al., 2019) et Suaad R et al., 2018).

D'après une vue globale sur les études qui sont effectuées dans le domaine du confort thermique en milieu urbain, on constate que les paramètres environnementaux les plus importants à étudier sont la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse du vent, et la température moyenne radiante ceux-ci sont utilisées, dans ce travail, pour l'évaluation et la comparaison des valeurs simulées avec celles mesurées in situ.

V.1. La simulation numérique

La simulation numérique représente la technique de recherche la plus exploitée par les chercheurs dans la quasi-totalité de leurs travaux, vu leurs atouts sur plusieurs plans ainsi que la précision et la fiabilité des résultats.

V. 2. Présentation des outils de simulation

Au sujet de ce travail, deux outils de simulation ont été utilisés pour atteindre les objectifs tracés préalablement en vue d'optimiser l'ambiance extérieure de notre placette, dans ce cas

précis, il s'agit d'un couplage de deux logiciels qui se complètent, à savoir ; L'Envi-met et Ray Man.

V. 2. 1. Le Logiciel de simulation (ENVI-met)

Le logiciel ENVI-MET version 4.4.5 est un Outil informatique conçu à l'origine en Allemagne par son fondateur Michael Bruse. (Bart De Maerschalek et al. 2007). Le logiciel Envi-met pro version 4.4.5 sert à la modélisation numérique du microclimat urbain. Il est parmi les premiers modèles qui cherchent à reproduire la majorité des processus atmosphériques influant sur le microclimat, en se basant sur des fondements physiques bien définies (Loi fondamentale de la thermodynamique et la dynamique des fluides, Ali Toudert F., 2005).

ENVI-met est un modèle climatique tridimensionnelle pronostique, qui calcule la dynamique du microclimat dans un cycle diurne (24 à 48 h) en utilisant les fondamentaux physiques qui sont basés sur les principes de la mécanique des fluides, thermodynamique et les lois de la physique de l'atmosphère et une résolution spatiale typique entre 0.5m et 10m et par un temps de 10s, (Figure. V.1).

ENVI-met permet la simulation d'interaction microclimatique entre surface urbaine, végétation et atmosphère, il permet l'analyse des effets à petite échelle du design urbain dans un microclimat sous différentes conditions à méso-échelle (Bruse, et al. 1998). Il a été démontré que les interactions entre surfaces, végétation et atmosphère à l'intérieur de l'environnement urbain sont complexes et produisent différents flux d'air et de champs de température (Bruse, et al, 1998). Figure V.2.

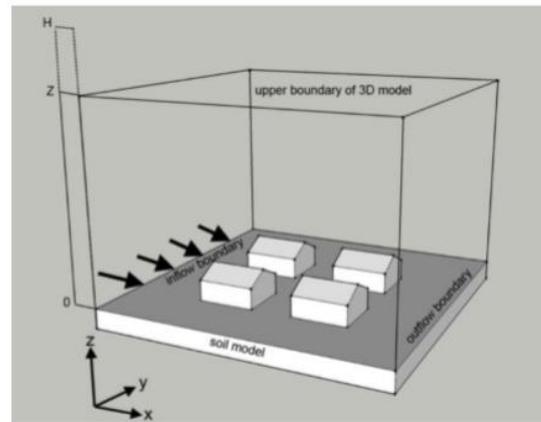


Figure. V.1. Schéma du modèle de base d'ENVI-met (Source : Huttner, 2012).

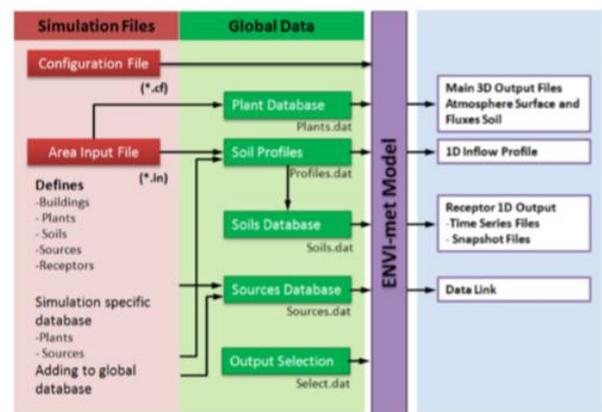


Figure V.2. Diagramme de flux des données. (Source : Knodel, 2012)

V.2.2. Précision du modèle ENVI-met

Le modèle ENVI-met est utilisé en climatologie urbaine, planification urbaine et architecture (Huttner, et al., 2009), pour des buts de prédire des scénarios de conceptions ou de réhabilitations. Pour atteindre ces fins le modèle doit avoir une certaine validation et précision très proche de la réalité. Dans une recherche menée par Bruse et Lahme, ENVI-met a reproduit les données observées avec une précision suffisante, il a été prouvé qu'il est un outil fiable pour simuler les différents scénarios urbains conçus (Bruse et Lahme, 2003).

Selon les recherches (Ali-Toudert 2005; Yu et Hien, 2006; Emmanuel, Rosenlund et Johansson 2007; Fahmy & Sharples, 2009, Zhixin Liu et al., 2018, Shi Yin et al,2019 et Suaad R et al ,2018)) les résultats du logiciel ENVI-met sont **plus précis et fiables** en comparaison avec d'autres logiciels, une autre comparaison entre les résultats simulés et mesurés montre qu'Envi-met peut prédire de raisonnables résultats (Zakhour, 2006). Pour Mg, Yingna et Yuan, un accord raisonnable entre résultats mesurés et simulés par ENVI-met avec une corrélation de $R^2=0,62$ (Ng, et al. 2012). Selon Huttner en 2012 ENVI-met simule, avec précision, le cycle diurne (jour) que le cycle nocturne (nuit), les paramètres reproduits le plus fidèlement sont ; la température de l'air, la vitesse du vent et l'humidité relative durant le jour mais avec un décalage remarquable pour la nuit (Huttner, 2012).

V. 2. 3. L'interface du logiciel ENVI-met, version 4.4.5

ENVI-met version 4.4.5 gratuite fonctionne contrairement à beaucoup d'autres simulations climatiques sur un ordinateur personnel x 86 standard avec un système d'exploitation Microsoft Windows. Une version qui fonctionne sur les systèmes d'exploitation Unix récemment est, également, devenue disponible. La nouvelle version d'Envi-met 4.4.5 est dotée d'une interface très poussée par rapport aux versions précédentes. L'interface est lancée depuis l'application Envi-met Headquarter qui est composé de quatre onglets : ENVI-met V4, Data and settings, System et Interactive.

L'interface utilisée pour entrer les paramètres de simulation comme **la géométrie**, la végétation, les sols, les sources et les récepteurs est appelé « **Spaces** ». Pour faire entrer les paramètres météorologiques initiales, les intervalles de simulations, l'onglet Config/Wizard en est responsable. Pour créer une image bmp de puis une image satellite on utilise l'EagleEye. La fenêtre Bio-Met permet de lancer le calcul des différents indices de confort thermique (PMV/PPD, PET, UTCI). L'application Leonardo est conçue pour visualiser et extraire n'importe quelle information ou paramètre microclimatique simulé.

L'interface utilisée pour entrer les paramètres de simulation comme la géométrie, la végétation, les sols, les sources et les récepteurs est appelé «

Spaces». Pour faire entrer les paramètres météorologiques initiales, les intervalles de simulations, l'onglet Config/Wizard en est responsable.

Pour créer une image bmp depuis une image satellite on utilise l'EagleEye. La fenêtre Bio-Met permet de lancer le calcul des différents indices de confort thermique (PMV/PPD, PET, UTCI). Figure. V. 3.

L'application Leonardo est conçue pour visualiser et extraire n'importe quelle information ou paramètre microclimatique simulé, avec une interface simple et intuitive. Figure. V. 4.

V.2.4. Visualisation des résultats d'ENVI-met (LEONARDO)

LEONARDO est un outil de visualisation qui permet de visualiser les résultats de la modélisation, en 2D comme en 3D (Bruse, 2004). Dans la nouvelle version d'Envi-met, LEONARDO fait partie intégrante du logiciel. Il permet la visualisation de tous les paramètres microclimatiques déjà simulés, sous forme d'une représentation planaire, avec une distribution des valeurs du paramètre simulé sur l'ensemble de la morphologie ou le tissu urbain simulé. Les modes de représentation sur LEONARDO tel que les

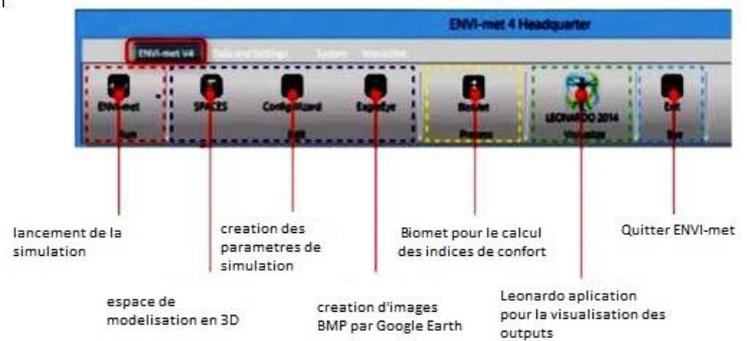


Figure V.3 : Interface ENVI-met V 4.4.5. (Source : Guide ENVI-met V 4.4.5. 2020).

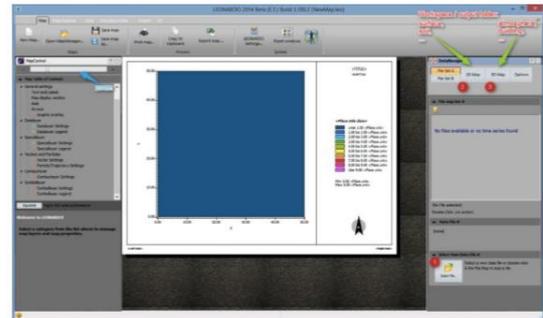


Figure V.4. Interface de LEONARDO pour ENVI-met. (Source : Guide ENVI-met V 4.4.5, 2020).

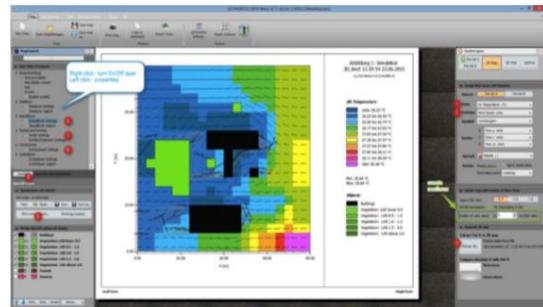


Figure V.5.a. Représentation 2D des résultats dans la fenêtre LEONARDO. (Source : Guide ENVI-met V.4.4.5, 2020)

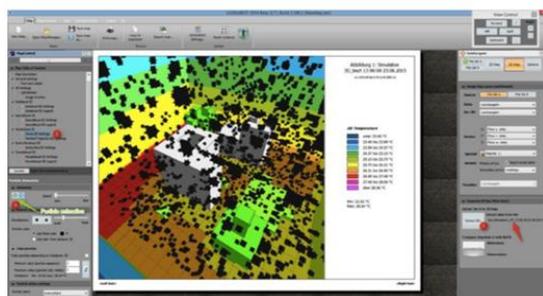


Figure V.5.b. Représentations 3D des résultats dans la fenêtre LEONARDO (Source : Guide ENVI-met.)

calques de données, les vecteurs, les contours, et les objets sont très flexibles et offrent beaucoup de fluidité dans l'extraction et l'usage des données microclimatiques obtenues. Figure V.5.a et b

Une autre option très pertinente dans l'extraction des résultats est la possibilité d'exporter tous les données sous forme de tableau Excel MS, ce qui permet d'autres alternatives de représentation graphique et de comparaison.

V.2.5. Schéma de base du logiciel et ses fonctions

Le logiciel se caractérise par deux fonctions : Figure. V. 6.

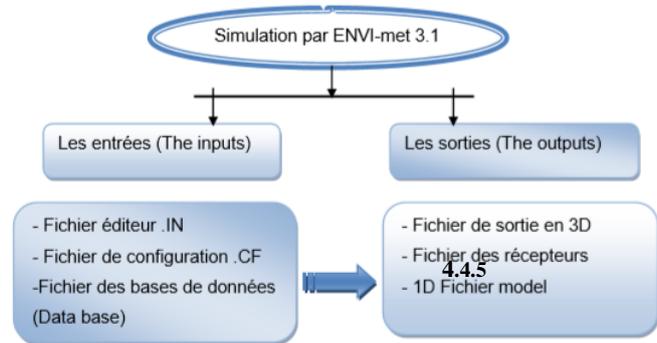


Figure V. 6 : Fichiers nécessaires pour débiter une simulation avec ENVI-met 4.4.5. (Source. Auteur 2020)

V.2.6. Les entrées (inputs)

Ce sont les données nécessaires introduites avec un niveau de définition minimum, et qui servent à déterminer le model, composant primaire.

V.2.6.1. Fichier éditeur (.inx). « Spaces »

Le fichier éditeur c'est votre surface de travail, c'est un programme qui permet d'introduire la structure urbaine dans le logiciel en la dessinant telle qu'elle est dans la réalité. Il contient ce qui suit:

a-Editeur construction/végétation

Par cet éditeur on peut projeter les constructions définies par leurs hauteurs, tous les éléments saillants, ainsi que la végétation existante avec la sélection de ses différents types.

b- Editeur sol

C'est le choix d'un sol typique à la réalité en le sélectionnant dans la liste qui défile.

c-Editeur récepteurs

Envi-met peut projeter jusqu'à 100 récepteurs, ce sont des points qui donnent les paramètres d'un point Figure. V.15 à l'intérieur du model simulé de Z=0 jusqu'à Z max

V.2.6.2. Fichier de configuration (.cf). «Envi-guide»

Ce fichier représente les distinctifs principales du projet à simuler il contient : Nom de la simulation, noms des fichiers entrées/sorties et adresse des fichiers de sorties.

La date de la simulation, le temps de son démarrage, sa durée et l'intervalle de temps lequel elle effectue des enregistrements. Les paramètres du climat: direction et vitesse du vent, température atmosphérique initiale, humidité spécifique, humidité relative.

Les données propres à l'espace à simuler à savoir: La position, Turbulence, les caractéristiques du bâtiment, les récepteurs, les caractéristiques du sol...etc.

V.2.7. Les données des sorties (Outputs)

D'une manière générale, les sorties sont définies comme l'ensemble des informations fournies par le logiciel. Dans le cas d'Envi-met, ce sont les résultats de simulation de plusieurs paramètres enregistrés dans plusieurs répertoires.

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

V.2.7. 1. Fichier de sortie en 3D

Il Contient les fichiers atmosphère, surface et sol. Les résultats sont stockés sous un format binaire. Dans ce travail ils sont visualisés grâce à un autre logiciel LEONARDO 4.4.5.

V. 2. 7. 2. Fichier des récepteurs

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

V.2.7. 3. D fichier model

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

V. 2. 8. Présentation du modèle RayMan pro (version 3.1)

RayMan pro, version 1.3 est un modèle microclimatique tridimensionnel développé par un groupe de chercheurs allemands de l'université de Feirburg, pour le calcul des radiations dans les espaces urbains simples et complexes (Matzarakis et al, 2018). Figure. V.7, ci-contre.

En ce qui concerne le climat, le modèle "RayMan pro version 3.1" en 3D estime les flux du rayonnement incident en courte et grande longueur d'onde sur le corps humain. En prenant en considération comme entrées (inputs).



Figure V. 7 : Les éléments de l'interface du modèle RayMan Pro 3.1, a gauche, La fenêtre du démarrage du modèle RayMan. A droite, La fenêtre principale de RayMan, (Source: Matzarakis et al, 2018)

V.2. 8. 1. Les données d'entrées (Inputs) :

Les données d'entrées dans le modèle RayMan sont les suivants :

(a) - La fenêtre « Edit topographie »

(b) - La fenêtre "Edit obstacles" : est conçue pour l'édition graphique et numérique des 3d-obstacles résolus. Figure. V.8. RayMan peut considérer trois types différents d'obstacles ; Les bâtiments, Les arbres à feuilles caduques, et persistants, et les conifères. Figure. V.9.

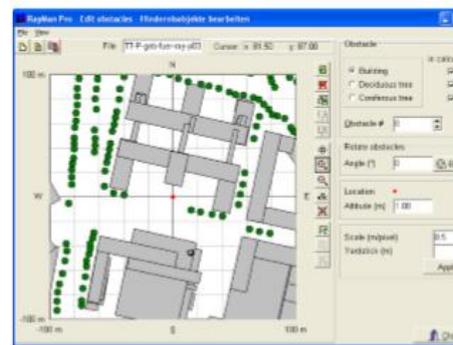


Figure. V. 8. Fenêtre d'entrée des obstacles. Source : Matzarakis et al, 2018

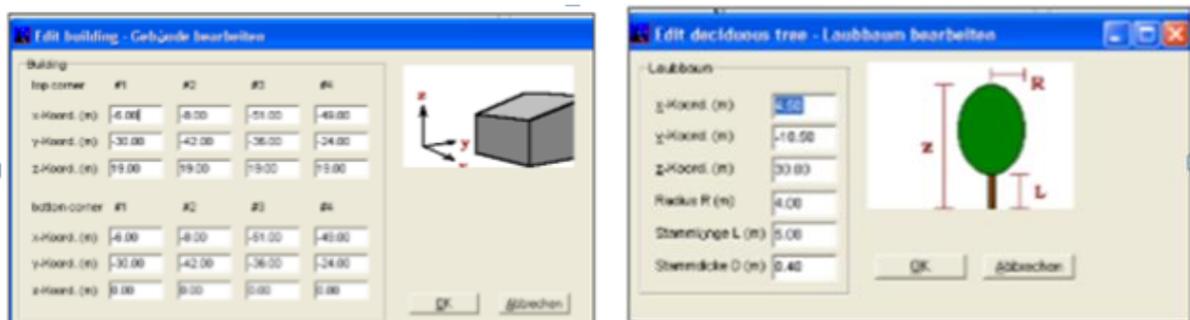


Figure V. 9: Les fenêtres « Edit obstacles», a gauche, fenêtre de modification des obstacles Bâtiments, a droite, fenêtre de modification des obstacles Arbres. Source : Matzarakis et al, 2018

-Limitation de l'horizon (Facteur de vue du ciel) : L'évaluation du facteur de vue du ciel peut être calculée soit par une photo fish-eye soit par un hémisphère dessiné librement.

V.2. 8. 2. Les données des sorties (Outputs)

RayMan peut fournir des résultats sous plusieurs formes, selon le choix de l'utilisateur. Dans la liste "Output" du menu principal, les options "Diagramme (polaire)" "Tableau des données", "Données journalières" et "Ombres" peuvent être sélectionnées.

.-**Diagramme polaire** : Cela permet de tracer la course solaire de n'importe quel jour de l'année. Figure. V. 10.

(a) -**Tableau des données quotidiennes** :

- **Les Ombres** : Le modèle RayMan permet de tracer les ombres des obstacles urbains simples ou complexes pour chaque jour de l'année et pour chaque période spécifique du jour afin de déterminer les secteurs où les ombres se produisent et où le flux solaire influe.

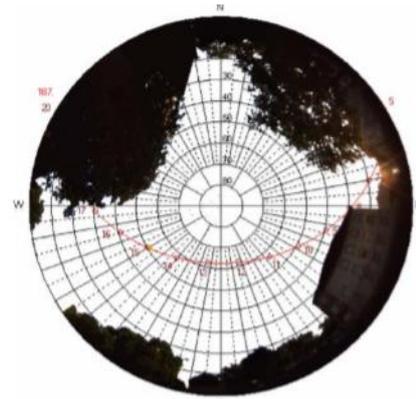


Figure. V. 10 : Fenêtre des données de sortie : Diagramme polaire. **Source** : Matzarakis et al,

Le résultat final du modèle Ray Man sont ; Les indices thermo physiologiques tels que (PMV, (PET), (SET), (UTCI), (TS), (PT) basés sur le bilan énergétique humain.

Ce ci etant validé par une recherche expérimentale établie par MATZARAKIS, A et al, (2010) par un travail sur la ville de Freiburg en Allemagne, du 16 au 19 juillet 2006, qui après la corrélation entre la température moyenne radiante (Tmrt) mesurée et celle simulée par le modèle 'RayMan' il n'y avait pas de différence entre les deux. Figure V. 11.

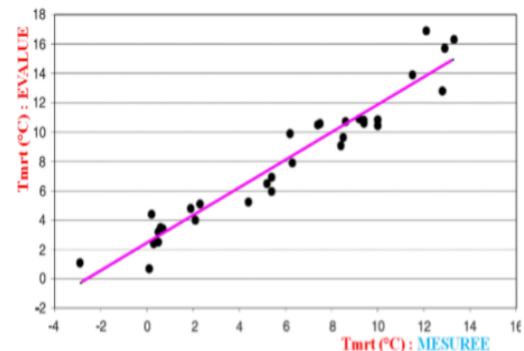


Figure V. 11 : la corrélation entre Tmrt mesurée et celle simulée par le modèle 'RayMan' **Source**: Matzarakis, A et al; (2010)

Une deuxième recherche menée par ANDRADE, H et al ;(2007) sur la ville de Lisbonne (Telheiras) en Portugal, ou ils ont validé le modèle 'RayMan' par la corrélation entre Tmrt mesuré et Tmrt évaluée par ce dernier. (Figure V.12).

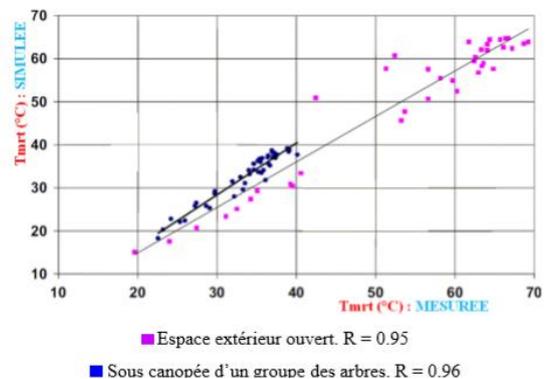
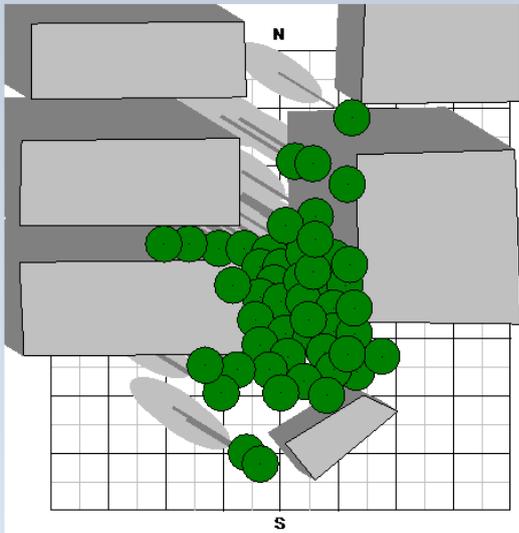
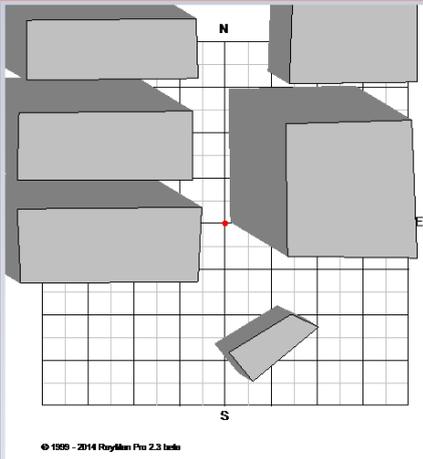
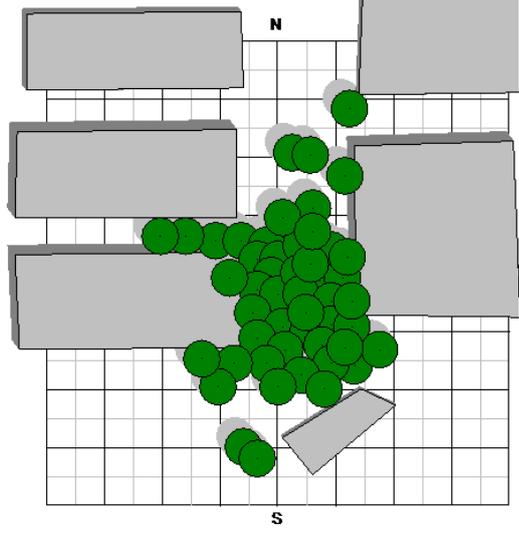
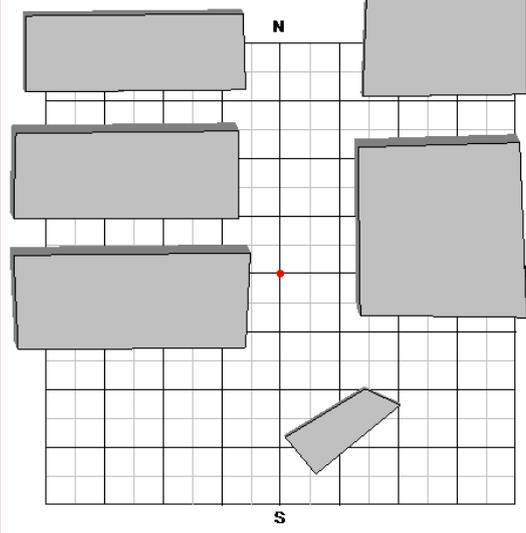


Figure V.12. Graphe de la corrélation entre Tmrt mesurée et celle évaluée par le modèle 'RayMan'. Le coefficient $r^2 = 0.9318$. **Source**: Andrade, H et al; (2007)

V.3. L'effet des masques solaires: Les masques environnementaux physiques

Le rôle des bâtiments dans le microclimat réside essentiellement dans la projection de l'ombre (en fonction de la géométrie), la réflexion du rayonnement (en fonction de la couleur), Transfert de la chaleur (Intérieur / Extérieur) selon les propriétés physique des matériaux. Pour ne pas confondre l'impact des masques solaires avec celui de la

végétation, (le tableau. V. 1), ci-dessous, montre les limites d'effet d'ombre des constructions pendant la course solaire, la trace d'ombre est établie en utilisant des diagrammes de trace d'ombre, par l'usage du logiciel Archi-CAD, et le logiciel Rayman. Par le biais du logiciel « Rayman Pro version 3.1 » on a tracé des ombres de la Surface partielle ombragée « SPO » à intervalles de deux heures à partir de 08h00 jusqu'à 16 h00, période durant laquelle les gens passent plus de temps dans la placette. Ce qui nous a permis aussi de déterminer le facteur de vue du ciel (SVF) de chaque station, (Voir le tableau V.2)

oraire	Placette à l'état actuel	La placette sans végétation
8.00	 <p>© 1999 - 2014 RayMan Pro 2.3 beta</p>	 <p>© 1999 - 2014 RayMan Pro 2.3 beta</p>
10.00	 <p>© 1999 - 2014 RayMan Pro 2.3 beta</p>	 <p>© 1999 - 2014 RayMan Pro 2.3 beta</p>

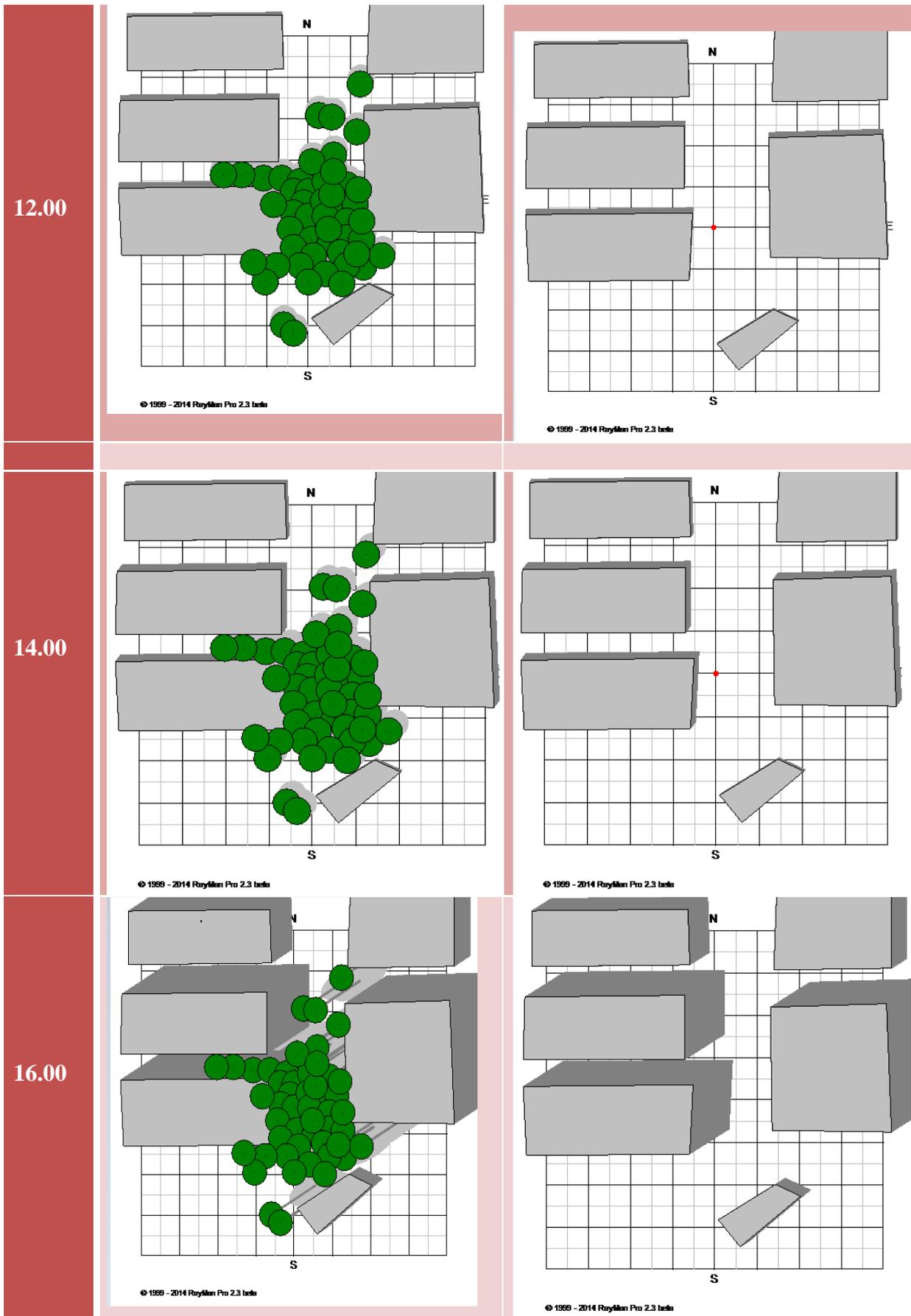
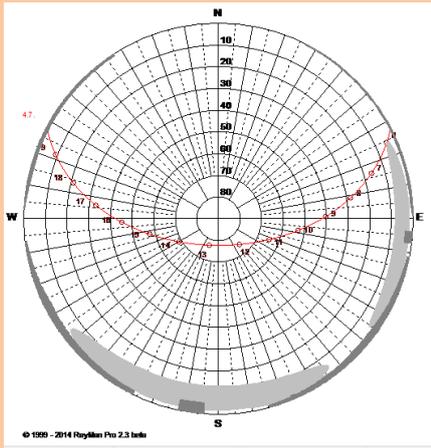
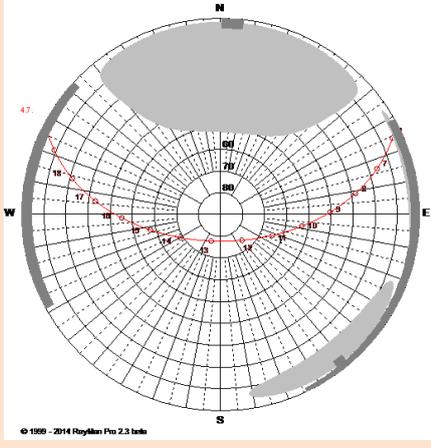


Tableau. V. 1 : La trace d'ombre « SPO » horaire projetée par les constructions et la végétation Simulées par « Rayman pro version 3.1 » (Source. Auteur 2020).

On remarque que l'ombre projeté par les masques, ne touche la placette, du côté Est, que tôt le matin, son impact ne dépasse le sillon du cheminement pendant la matinée. Au début de l'après-midi, la placette est ombrée seulement par l'effet de la végétation, qui dans ce cas, impacte le confort extérieur et par conséquent y est à l'origine de la fréquentation dense de la partie sud de la placette. Pour un tel espace dégagé, on ne peut parler de masque du bâti que si la hauteur des bâtiments est de 08 m

V.4. Le facteur d'ouverture au ciel de la placette par le biais du logiciel « Rayman»

Par le biais du logiciel 'Rayman pro version 3.1, on a déterminé le facteur d'ouverture au ciel (SVF) et (SPO) pour chaque station et diagramme solaire de la placette à l'état initial, selon le tableau. V. 2, ci-dessous.

Les stations	Diagramme solaire	FVC
S1		0.918
S2		0.771

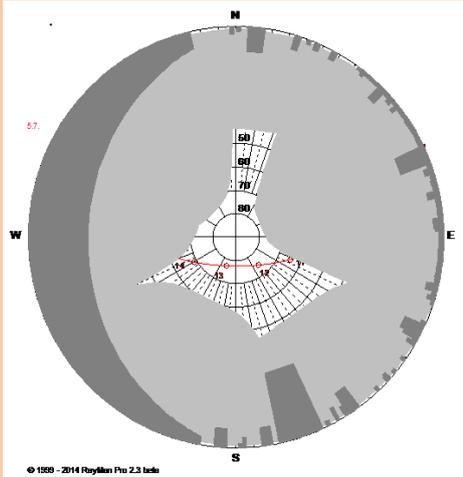
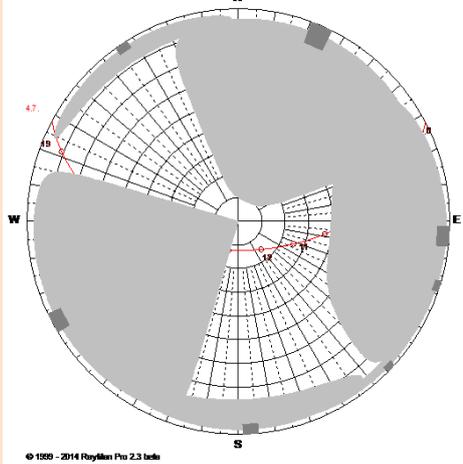
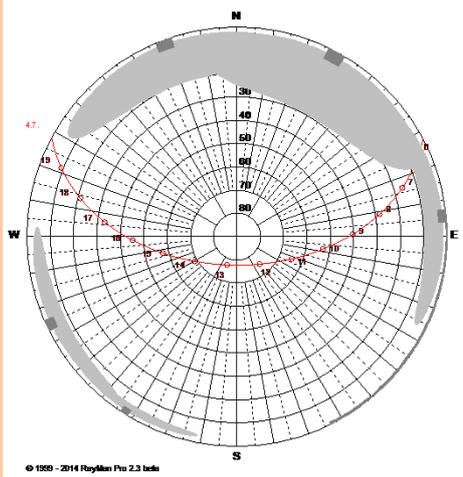
S3		0.126
S4		0.353
S5		0.833

Tableau. V. 2 : le facteur d'ouverture au ciel (SVF) et (SPO) pour chaque station de la placette par Le biais du logiciel Rayman pro version 3.1. (Source. Auteur 2020).

V. 5. Protocole de la simulation, l'aide du logiciel ENVI-met V 4.4.5

La simulation a été effectuée à l'aide du logiciel ENVI-met 4.4.5, couvrant la même période estivale choisie pour l'investigation, le cas d'étude a été soigneusement dessiné suivant une échelle convenable, les dimensions et les hauteurs des constructions ainsi que la végétation ont été reportées afin de pouvoir reproduire la réalité du terrain.

V.5. 1. Déroulement de la simulation

La période choisie pour la simulation est la même période approuvée pour les mesures in situ (05.07.2019) nous effectuerons les simulations sur la placette modèle pendant le mois de juillet (voir chapitre IV investigation). Les caractéristiques climatiques de Biskra durant cette période sont très dures. La température extérieure est souvent très élevée tout au long de la journée. L'humidité également, avec une vitesse de l'air aussi-bien constante (voir chapitre IV investigation).

Les scénarios ont été simulés pour une durée de huit heures, de 08h00 à 16h00, c'est la période pendant laquelle les gens fréquentent la placette, autrement dit ; pendant la durée du fonctionnement du campus universitaire.

Les différences entre les scénarios mentionnés pourraient indiquer l'effet de l'aménagement paysager en termes de taux de plantation d'arbres à feuilles persistantes sur la sensation thermique humaine en période estival.

V.5. 2. Définition des entrées et génération des fichiers de simulation (Inputs)

Les données adoptées pour simuler le modèle proposé ont été présentées par l'Organisation météorologique de Biskra, les caractéristiques du microclimat décrivent les conditions météorologiques du jour d'été le plus chaud de Biskra, le 05 juillet 2019. En conséquence, la direction du vent est de 180 et pour une vitesse de 1.50 m / s. Un forçage simple de l'humidité relative et de la température de l'air a été appliqué pendant une journée (24 heures), ce qui explique que la température maximale était de 45 à 16.00 h et la température minimale de l'air était de 31 à 03h 00. L'humidité relative minimale à 16h 00 était de 10 %; l'humidité relative maximale à 06h00 était de 28 %, la période de simulation est de 12 heures. La zone pour le mode a été réalisée avec une taille de grille $x = 50$ $y = 50$ et $z = 40$, cette taille de grille est représentée dans une cellule de grille, la taille de la cellule de grille est $dx = 2$ m, $dy = 2$ m et $dz = 1$ m. Le modèle a été tourné en fonction des orientations nord /sud.

V.6. Modélisation géométrique

Le travail consiste à imposer une surface de 2500 m² (100m*25m) représentant la placette dans la ville de Biskra, et afin d'améliorer le confort thermique extérieur des utilisateurs (Etudiants) lors des journées les plus chaudes de l'été, les principes adoptés pour construire le modèle proposé pour la placette sont les suivants:

- La hauteur des bâtiments est de 8 m, l'espacement entre les bâtiments délimitant la placette est de 25m, Le ratio $H / L = 0.24$, l'orientation (N / S).
- En ce qui concerne le rôle de l'albédo des composantes du sol, nous avons choisi selon les scénarios, et comme références, un sol en pavé gris et un sol naturel gazonné.
- Pour renforcer la fonction de la végétation dans le confort extérieur, nous nous concentrons sur l'utilisation des arbres et de l'herbe, surtout les arbres à feuilles persistantes à grand effet d'ombrage (arbre de ficus retusa) . Des feuilles très denses avec branches épaisses contribuant à obstruer la lumière du soleil et à en réduire son impact sur les surfaces, en agissant ainsi sur l'ambiance thermique.
- Afin de renforcer le rôle actif de l'ombrage, qui affecte principalement le confort thermique des usagés, il a été proposé de traiter l'environnement immédiat tel qu'il est. Les dimensions de la zone du modèle, en concordance avec la grille, sont $50 \times 50 \times 15$ avec une résolution horizontale de 2 m et une résolution verticale de 1 m.
- les bâtiments en majorité partagent la même hauteur de 8 m et des propriétés de réflexion identiques (Tableau V.3), avec un albédo prédéfini de 0,5. (figure, V. 16). Les chemins piétonniers dans le sens nord-sud ont une largeur de 2 m, (figure, V. 13).
- Tous les arbres partagent une densité de surface foliaire (indice de surface foliaire divisé par la hauteur moyenne des arbres) de 0,7 et les surfaces naturelles, certaines sont recouvertes d'une herbe de 25 cm de hauteur, alors que les autres sont complètement nues. (Figures, V.14, et V.17).

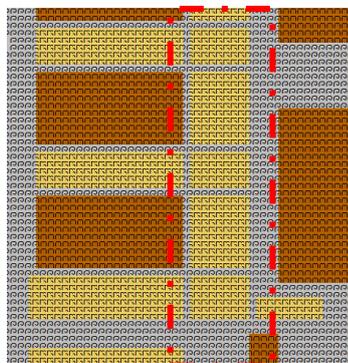


Figure. V. 13. Revêtement du sol pour Les chemins piétonniers « Sol and surface (Editeur sol) » dans la placette

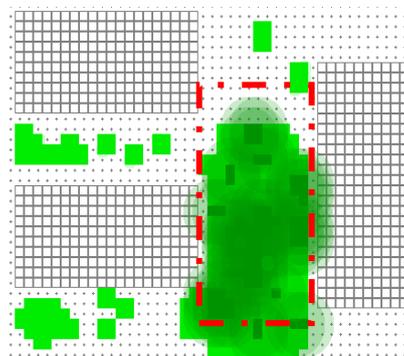


Figure. V. 14. Modèle d'herbe et d'arbres (GT) de la placette

V.7. Simulation de la placette retenue à l'aide du logiciel ENVI-met 4.4.5

Notre placette, a été développée à partir de Google earth sous format bitmap demandé par le logiciel lui-même, introduite dans **spaces** dans des proportions convenables pour arriver à son adaptation tout entière à la grille de représentation, selon une échelle appropriée et pouvoir refléter la réalité du terrain, les dimensions des différentes constructions ainsi que les hauteurs sont respectés et soigneusement reportés selon deux échelles distinctes, une planimétrique pour dessiner le plan, et l'autre altimétrique pour reporter les hauteur en élévation, on obtient alors le fichier dessin nommé pour notre cas « placette 2D», qui est le suivant (Figure V.15),et « placette 3D», (Figure V.17).

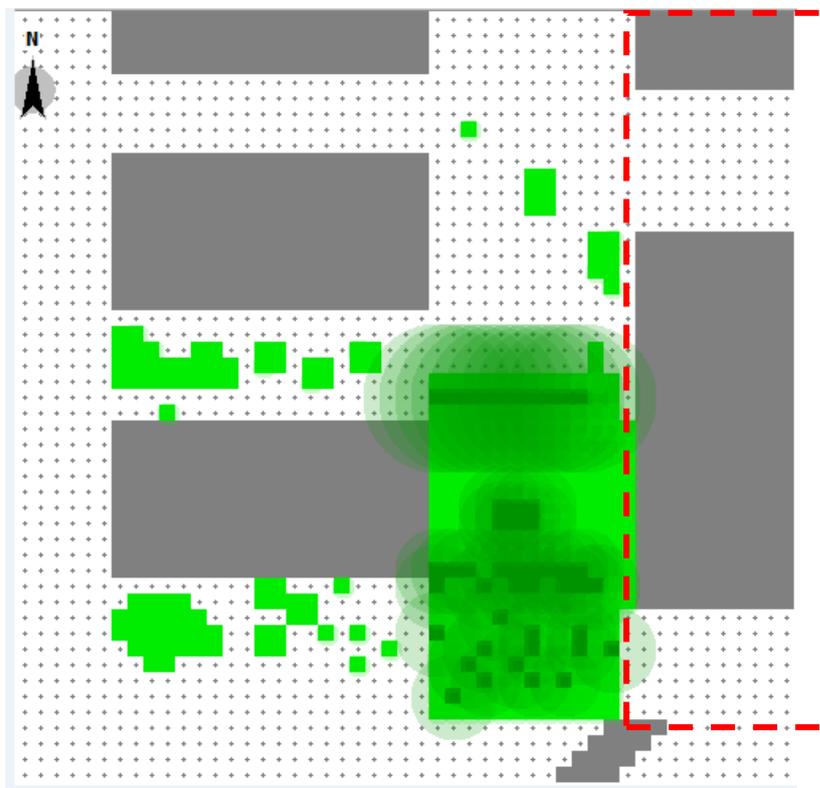


Figure V.15: Dessin de la placette étudiée (avec les récepteurs). Fichier d'entrée de la zone étudiée (.inx) pour scenario de l'état initial « model area 2D » (Source : Auteure, 2020)

Type d'objet	Type de face	Matériel
Bâtiment	(a) : Toit	Cement and concrete (Concrete slab (hollow Blok default).
	(b) : Façade	Stones (000B3) Brick Wall.
Sol	Revêtement de sol	15 % d'herbe, 25% de pavé en béton gris et 60% sol naturel

Tableau V.3 : les matériaux de la placette l'état initial. (Source : Auteure, 2020)

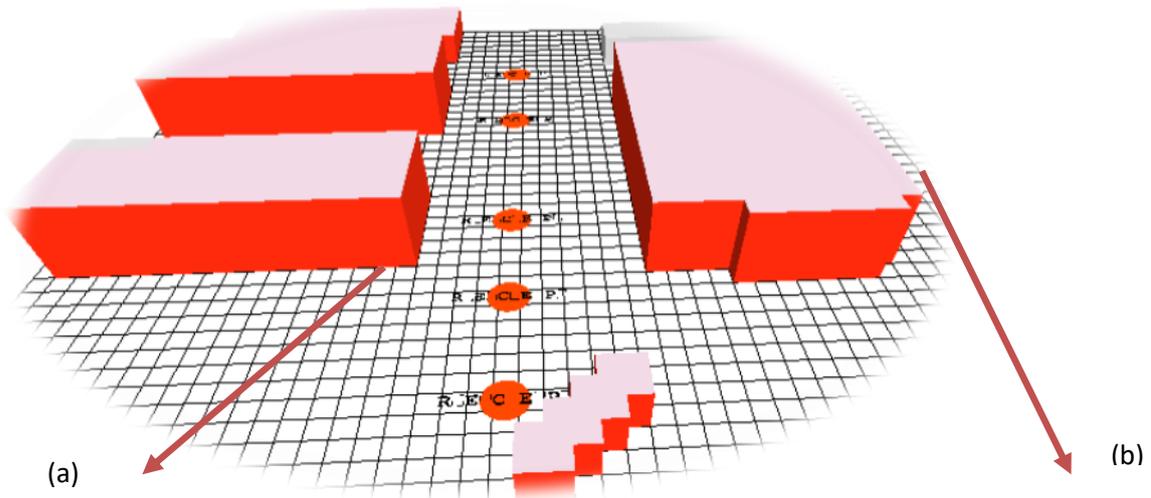


Figure V.16: Medelisation de la placette étudiée (avec les récepteurs), fichier d'entrée de la zone étudiée (.inx) pour scenario de l'état initial « model area 3D » (Source : Auteure)

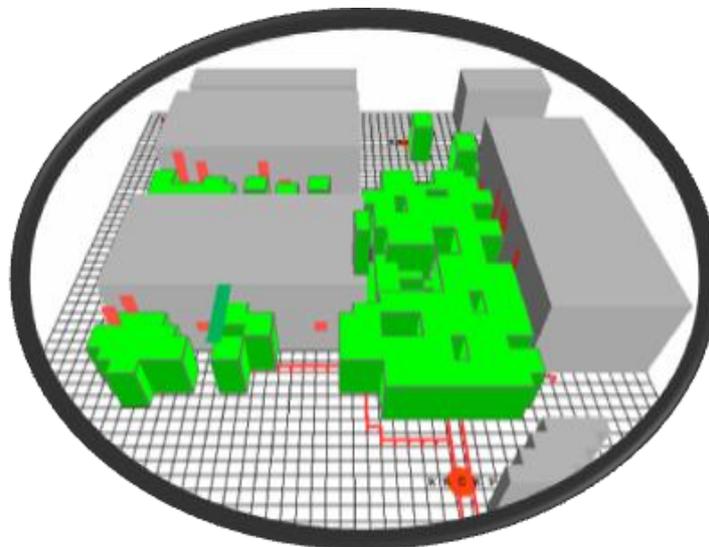


Figure V.17 : Medelisation de la placette étudiée, fichier d'entrée de la zone étudiée (.inx) pour scenario « A » l'état initial « model area 3D » avec végétation **modèle d'arbres (GT)** intégré (Source : Auteure, 2020)

Après le dessin de la placette, on procède à sa configuration dans un fichier *.cf, pour pouvoir lui attribuer les caractéristiques voulues, afin d'aboutir aux résultats qui peuvent guider cette recherche envers les objectifs visés et pouvoir confirmer ou infirmer nos hypothèses tracées. Le tableau ci-dessous (Tableau V.4), présente les principaux paramètres introduits au fichier *.cf par les données inputs, qui servent avantageusement pour pouvoir aboutir à d'autres

Paramètres visés qui nous seront utiles, afin de pouvoir expliquer les phénomènes étudiés dans notre cas, et qui seront obtenus plus tard par les outputs. Ce sont les conditions

générales dans lesquelles la simulation a été élaborée. La modélisation est résumée selon le (Tableau V.4), ci-dessous.

Cas initial – Altitude : 87 m	La placette campus université de Biskra, Algérie
Situation	Longitude : 5.73 Latitude : 34,80
Type de climat	Climat : climat semi-aride et sec en été
Journée de simulation	Journée chaude typique d’été, le 05.07.2019
Durée de simulation	De 07.00h à 18:00:(12 heures)
Paramètre :	
Vitesse du vent [m/s]	1.50 m/ s
Direction du vent	180.00 nord
Humidité relative [%]	[10 - 28]
Température	[31 - 45]
Bâtiment :	
Albédo des murs	Des valeurs de 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 et 1
Albédo du toit	0.18
Hauteur de la coupe	8 m
Végétation :	40% avec (05 % d'arbres à feuilles caduques et 35 % d'arbres à feuilles persistantes). (15 % d'herbe, 25% de pavé en béton gris et 60% sol naturel).
Sol :	

Tableau V.4. Données de configuration d'entrée appliquées dans les simulations ENVI-met. Les principaux paramètres introduits au fichier *.cf. (Source : Auteure 2020)

Après le lancement de la simulation pour des périodes qui couvrent le jour, c'est à dire 12 heures, en la démarrant à 07h 00, on a pu avoir des résultats qui pourront être lus par le programme Léonardo, en choisissant un intervalle bi-horaires, présentant notre protocole de simulation, qu'on appellera Scenario « A ».

Le scénario « A » représente l'état initial de la placette telle qu'elle est (la placette retenue pour l'étude), avec un plan de plantation comprenant le sol à 15 % d'herbe, 25% de pavé en béton gris et 60% de sol naturel, et à 40% de végétation, dont 05 % d'arbres à feuilles caduques et 35 % d'arbres à feuilles persistantes, ce qui présente approximativement la réalité de la place, c'est-à-dire qu'en termes de surface ; cela représente 40 % de la surface totale de la placette.

V. 8. Interprétation des résultats obtenus

Avant d'entamer la présentation et la discussion des résultats de la présente recherche, un rappel sur les paramètres microclimatiques simulés et comparés serait nécessaire. La température de l'air (T_a), l'humidité relative (H_r), la vitesse du vent (V_{vent}), la température moyenne radiante (T_{mrt}), (voir le chapitre II).

V.8.1. Validation du modèle numérique

Principalement le logiciel ENV-met est destiné aux acteurs de la climatologie, il a montré son efficacité et a fait l'objet de validations approfondies (Johansson, 2007), (Zakhour, 2006), et (KARIMIAN, 2018). Selon la littérature scientifique, on peut valider un modèle numérique s'il y a une correspondance et cohérence entre les valeurs mesurées et simulées (Ali-Toudert 2005; Yu et Hien, 2006; Emmanuel, Rosenlund et Johansson 2007; Fahmy & Sharples, 2009, Zhixin Liu et al., 2018, Shi Yin et al, 2019 et Suaad R et al, 2018), avec un écart maximal ne dépassant pas 10 % (Miranville 2002 ; Faure 2007 ; Daverat 2012 ; Guichard 2013).

Dans notre cas, nous avons effectué une simulation d'un modèle représentant la placette existante avec ses caractéristiques et durant la même période. Les résultats de la simulation obtenus ont été comparés avec les prises de mesures effectuées (05.07.2019) de 08h 00 à 16h 00, selon les instruments utilisés "Testo 480"

Pour valider le modèle, l'analyse s'est concentrée sur une journée chaude typique caractérisant la météo de Biskra (le 05 juillet 2019) et les valeurs mesurées expérimentalement de quatre variables microclimatiques (température de l'air, humidité relative, vitesse de l'air, et température moyenne radiante) ont été comparés aux résultats fournis par les simulations réalisées grâce au logiciel « ENVI-met ».

V. 8.2. La corrélation entre les valeurs mesurées In-situ et les valeurs simulées

Cette étude de corrélation entre valeurs mesurées et les valeurs simulées s'avère être utile dans la mesure où elle nous permet d'établir, s'il existe, une relation entre les deux types de données, mais aussi de vérifier l'existence d'anomalies dans le model simulé.

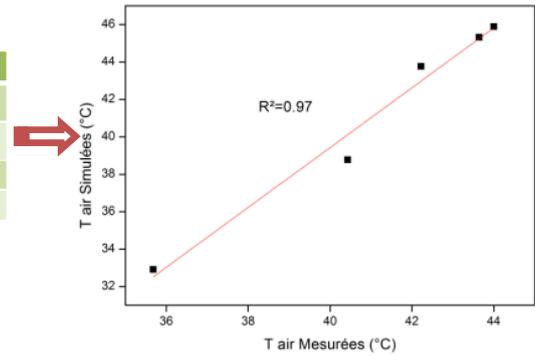
En plus, on a utilisé les moyennes des valeurs de chaque paramètre (température, humidité et vitesse des vents et température moyenne radiante) et pour les 5 stations (S1, S2, S3, S4 et S5), puisque, d'une part, nous cherchons à avoir une relation globale entre valeurs simulées et valeurs mesurées dans la placette, et d'autre part, les variations pour les cinq stations semblent suivre la même logique. Néanmoins on peut voir la comparaison de l'évolution des valeurs mesurées et simulées pour chaque station dans la partie

Les corrélations entre les valeurs moyennes mesurées et les valeurs moyennes simulées de la température de l'air, de l'humidité relative, de la vitesse du vent et de la température moyenne radiante dans la placette à l'état initial dans la période estivale allant de 08h 00 à 16h 00. Les paramètres estimés par le modèle concordent fortement avec les valeurs enregistrées de la température de l'air, de l'humidité relative et de la vitesse du vent et température moyenne radiante sont évidentes à partir des **valeurs du coefficient de Spearman (R)**, dont $R^2 = 0,97$, $R^2 = 0,99$, $R^2 = 0,78$ et $R^2 = 0,99$ respectivement pour les paramètres climatiques retenus. **Une très forte corrélation positive a été trouvée entre les valeurs des paramètres climatiques mesurés et leurs valeurs simulées et ces résultats la température de l'air**, on peut conclure que le modèle de simulation convenait à l'objectif actuel des paramètres météorologiques simulés, dans la période considérée. Voir (Figure. V. 15) et (Tableau V.5).

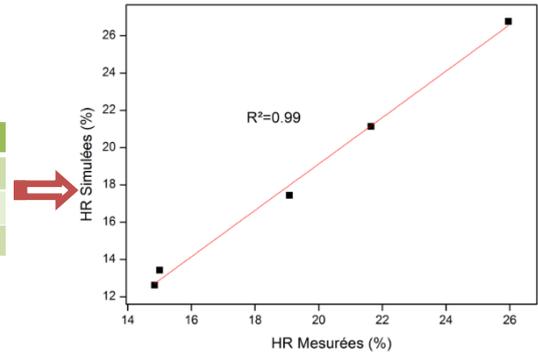
Type de relation	Valeur (Rho)
corrélation nulle	$R=0$
corrélation faible	$0 < R < 0.25$
corrélation moyenne	$0.25 < R < 0.75$
corrélation forte	$0.75 < R < 1$
corrélation totale	$R=1$

Tableau V.5 : Type de corrélation de valeur de coefficient de Spearman « R ».

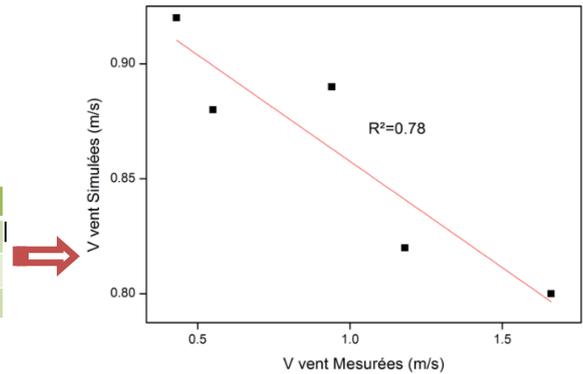
Heure	8.00h	10.00h	12.00h	14.00h	16.00h
T air (°C) Mesurées	35.68	40.43	42.22	44.00	43.64
T air (°C) Simulées	32.92	38.78	43.77	45.89	45.32
ΔT	2.76	1.65	1.55	1.89	1.68
Pourcentage (%)	06,89	04,08	03,67	04,29	03,84



Heure	8.00h	10.00h	12.00h	14.00h	16.00h
HR % Mesurées	25.96	21.64	19.08	15.00	14.84
HR % Simulées	26.77	21.14	17.44	13.43	12.38
ΔRH	0.81	0.5	1.64	1.57	2.46



Heure	8.00h	10.00h	12.00h	14.00h	16.00h
V vent m/s Mesurées	0.43	0.55	0.94	1.18	1.66
V vent m/s Simulées	0.92	0.88	0.89	0.82	0.80
ΔV	0.49	0.33	0.05	0.36	0.8



Heure	8.00h	10.00h	12.00h	14.00h	16.00h
Tmrt °C Mesurées	45.86	63.33	70.38	75.62	76.17
Tmrt °C Simulées	44.23	62.74	68.61	73.14	75.05
ΔT	1.63	0.59	1.77	2.48	1.12

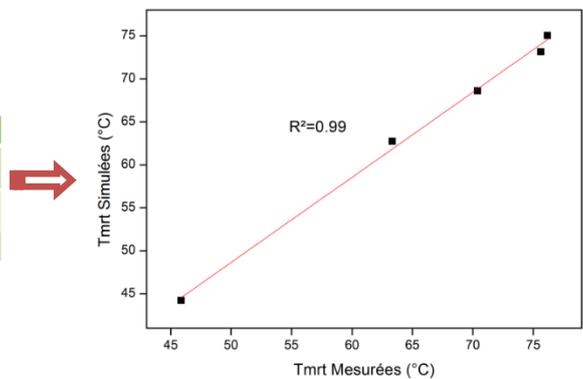


Figure V. 15. Corrélations entre des valeurs mesurées et les valeurs simulées enregistrées de température l'air moyenne, humidité relative moyen, vitesse du vent moyen et Tmrt moyenne dans la placette actuelle pendant la période estivale de 08h00 à 16h00. **Source :** Auteure. 2020.

V. 9. Impact de la végétation sur les paramètres microclimatique

Une fois l'analyse des données pour le scénario « A » effectuée, on peut procéder à la comparaison entre les valeurs des cinq stations et pour chaque paramètre enregistré (T, Hr et Vvent, Tmrt), mais en gardant un œil sur les autres paramètres, vue leur interaction les uns avec les autres afin de détecter les différences microclimatiques au sein de la placette et pour chaque station. (S1, S2, S3, S4, S5) comment suivent :

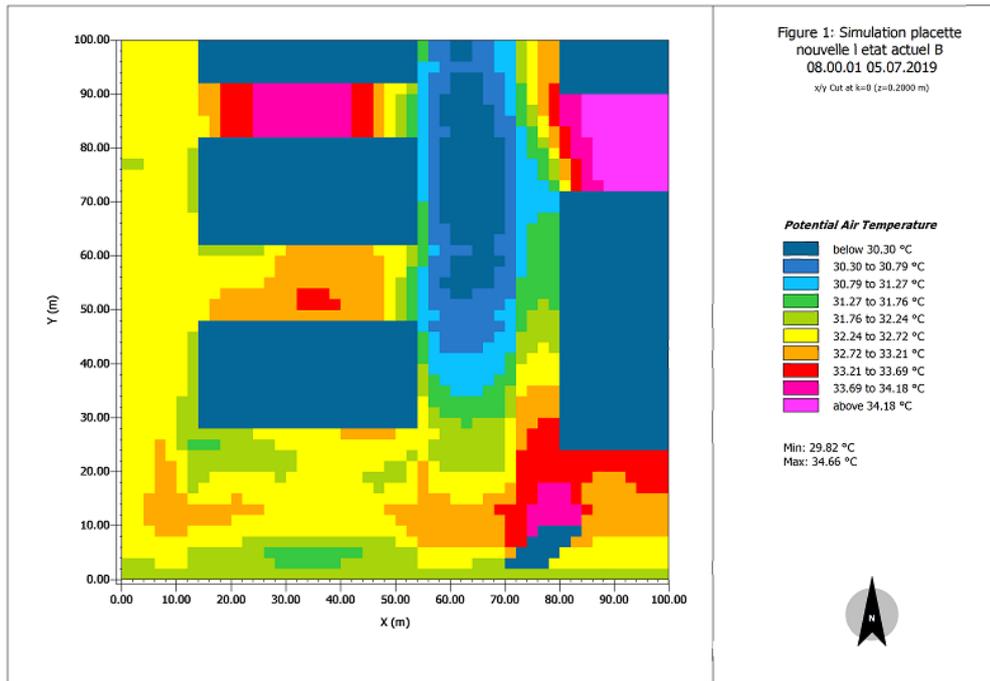
V. 9. 1. Impact de la végétation sur la température de l'air

Pour le scénario « A » (état actuel), on voit bien que les stations S3 et S4 avec végétation et sol gazonné humide), on note un écart important de végétation par rapport à S1 qui est sans végétation et sol nu, ce sont les deux stations qui présentent les températures les plus fraîches par rapport aux autres stations et cela pendant l'ensemble de la période de simulation. Cela n'est dû au fait que les stations sont à l'ombre pendant toute cette période (grâce au masque solaire des arbres denses qui ont une masse foliaire très importante avec un diamètre de plus de 10 m), et aussi à l'effet important de l'évapotranspiration de ces arbres.

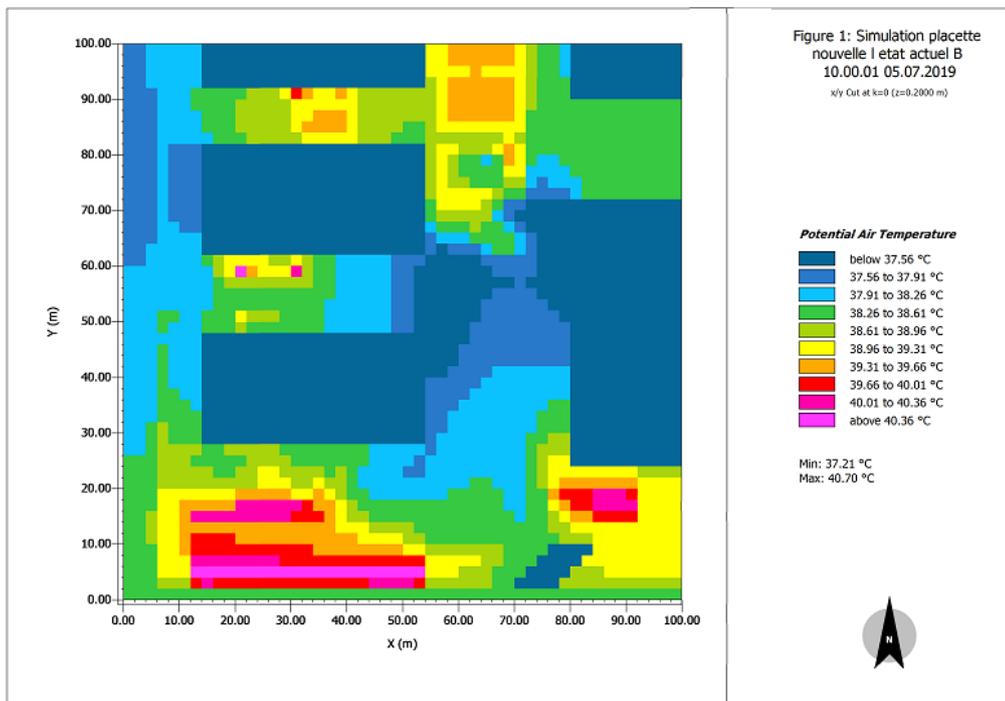
Les stations S3 et S4 (sud de la place) présentent des températures plus fraîches par rapport aux stations S1 (nord de la place) et S5 (sur la voie piétonne en béton), cela est due d'une part à l'effet bénéfique des arbres qui entourent cette zone, principalement (masques solaires et évapotranspiration), mais aussi au masques solaires des constructions au sud de la station et qui protègent cette zone pendant une bonne partie de la période de simulation, d'ailleurs ce dernier élément expliquera pourquoi la température de la station S3 devient plus fraîche que celle enregistrée dans la zone de la station S2 en fin de journée (de 14 h 00 à 16 h 00), grâce à la superposition des différentes ombres dans cette zone.

La station S1 présente les températures les plus chaudes du site n'ayant aucune source directe de fraîcheur (évapotranspiration), ni de masque solaire, en plus elle se positionne au-dessus d'une surface de béton gris contrairement aux trois autres stations, ce qui implique de fortes températures surfacique autour de cette station.

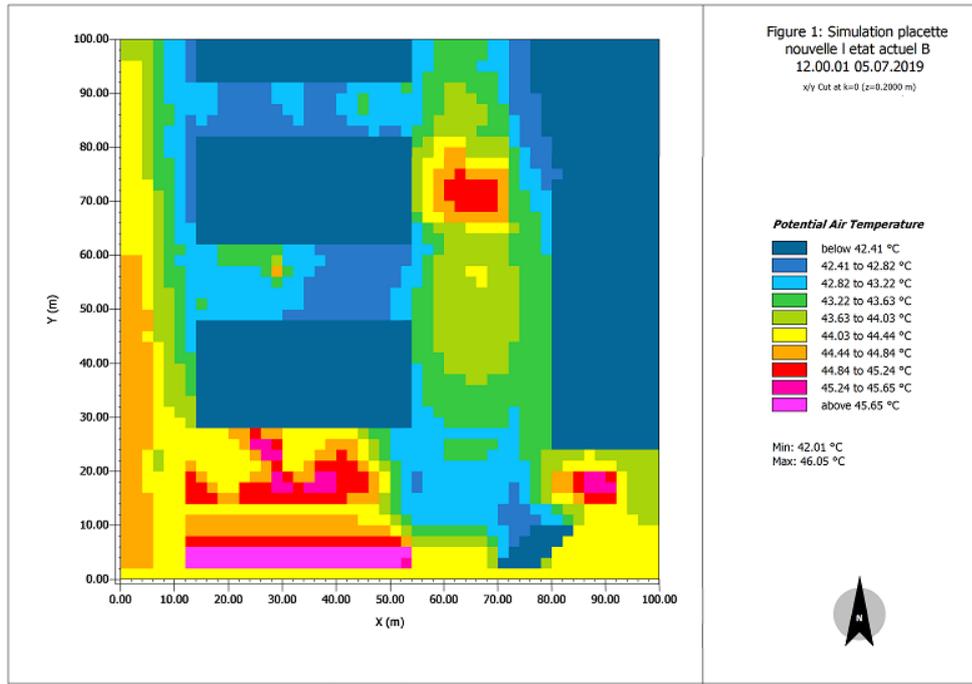
Comme on remarque qu'au début et la fin de la simulation (période où l'effet du rayonnement solaire est minimale), les écarts de température entre les différentes stations sont minimales par rapport à la période critique en milieu de journée. On prendra comme exemple l'écart entre la station S1 (la plus défavorable) et S3 (la plus favorable) qui atteint 1,61°C à 12h 00 alors qu'elle est de 0,60°C à 14h00, et devient 0,70°C à 16h00.). (Graphe V.1.), et (Figure V. 19).



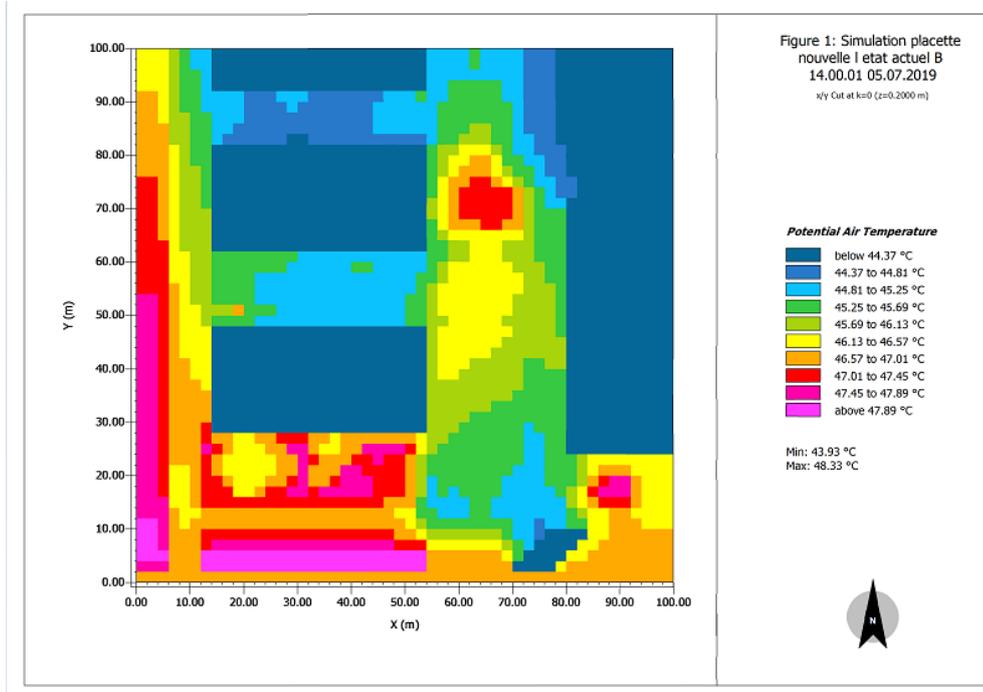
La répartition de la température à 08h 00



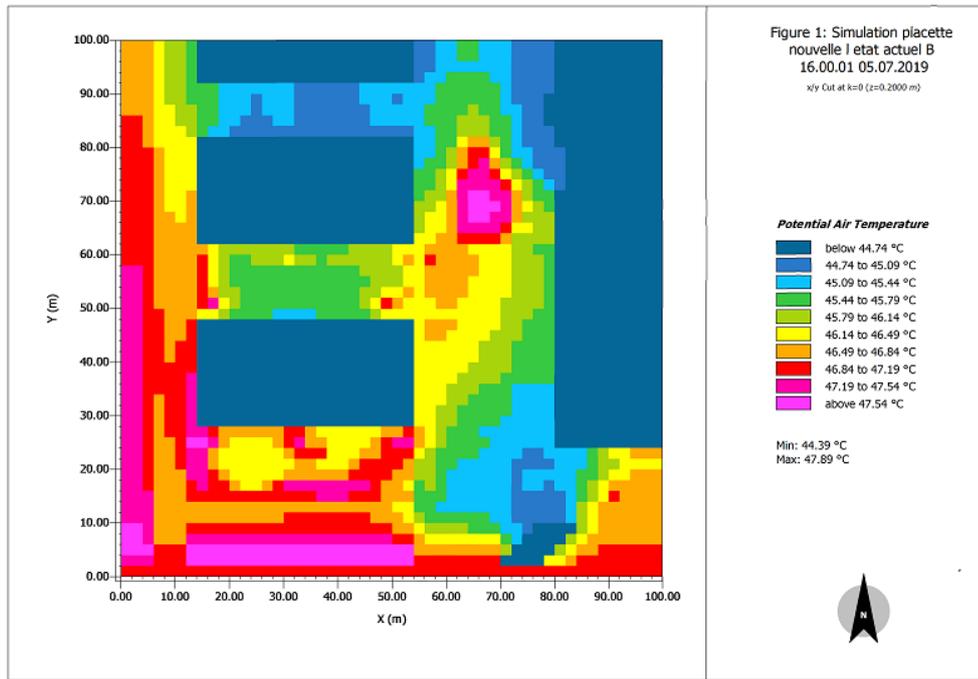
La répartition de la température à 10h 00



La répartition de la température à 12h 00

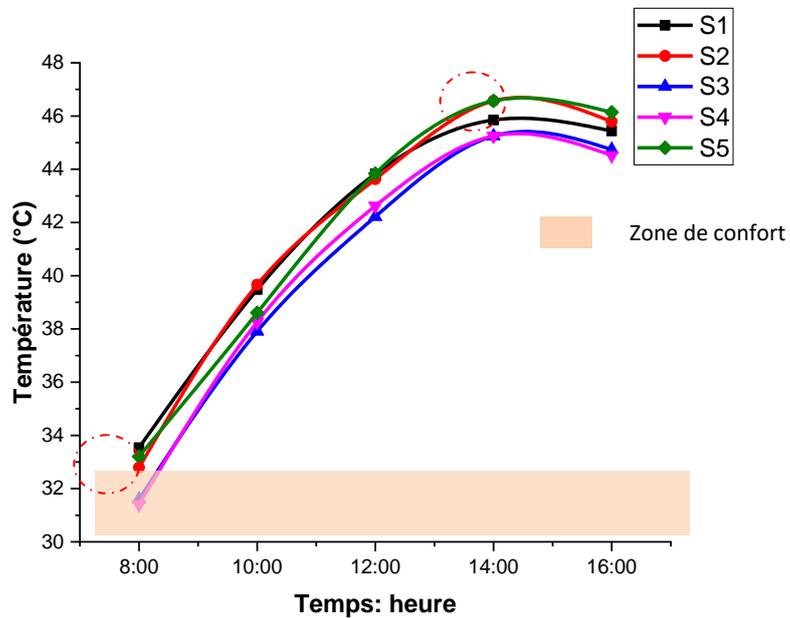


La répartition de la température à 14h 00



La répartition de la température à 16h 00

Figure V. 19: la température de l'air des 05 stations (1, 2, 3,4 et 5) scenario « A » la placette actuelle).
(Source : Auteure, 2020)



Grphe V. 1 : Comparaison entre la variation des températures de l'air au niveau des 05 stations (1, 2, 3,4 et 5) simulées, scenario « A » la placette durant la période estevale, de 08h 00 a16h 00. (Source : Auteure, 2020).

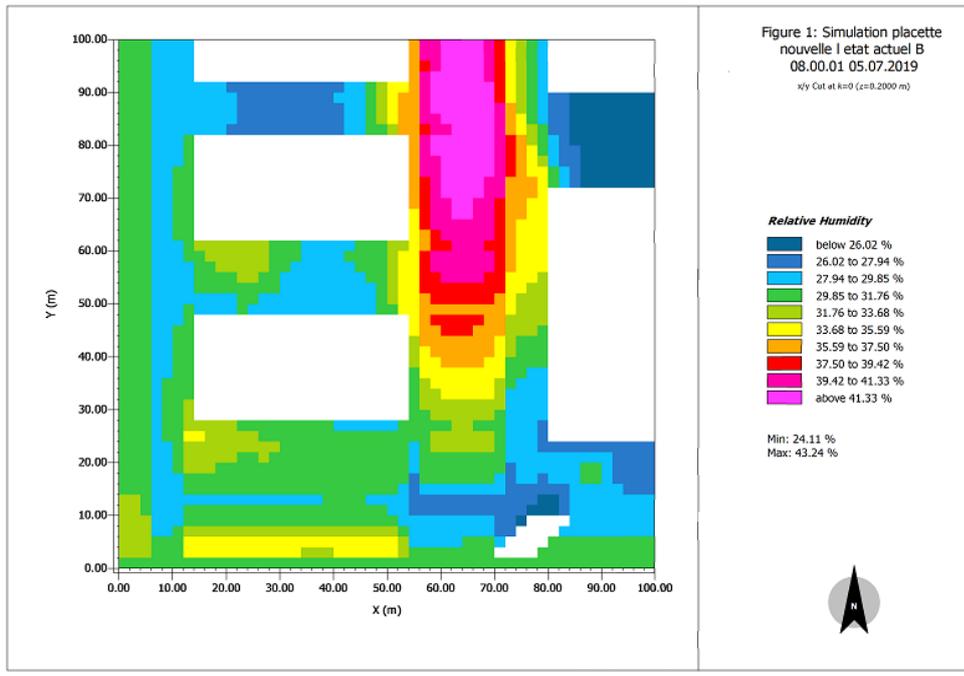
V. 9. 2. Impact de la végétation sur l'humidité relative (%)

Pour le scenario « A » (état actuel), la zone des stations S3 et S4 (sous la végétation la plus dense) semble nettement plus humide que les trois autres stations, cela est dû à l'effet de la végétation très dense en cette zone protégeant ainsi l'environnement des radiations solaires, mais aussi grâce à l'effet de l'évapotranspiration.

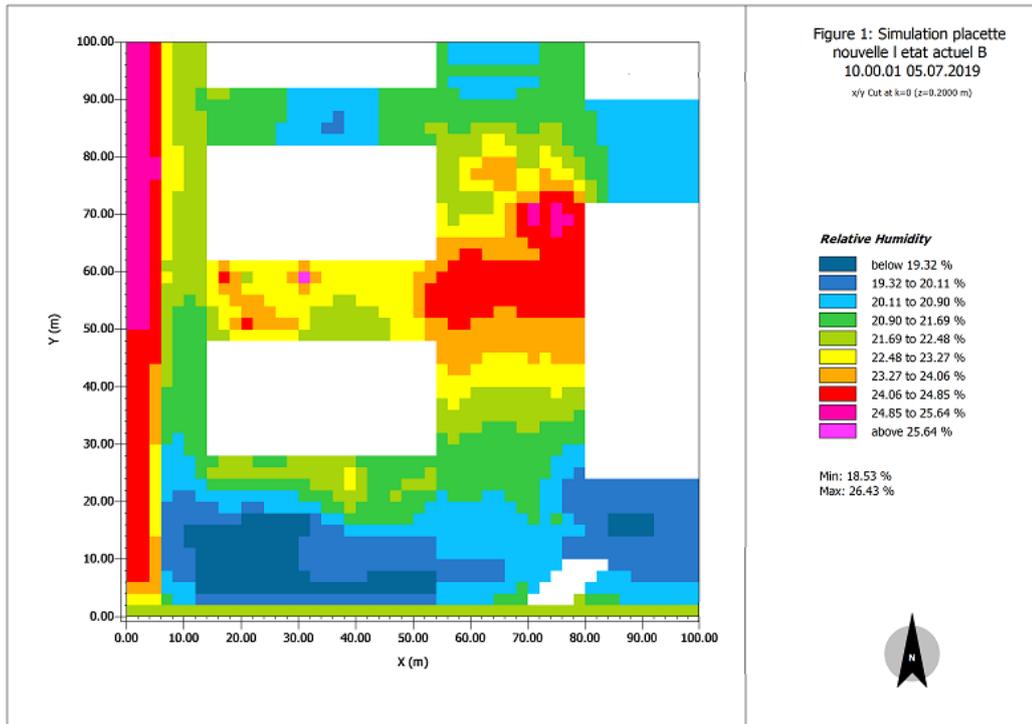
Par rapport à la station S1, on note un apport maximum de 3,83% à 08h00 par rapport à S3 et S4 et un apport moyen de 2,11% à 10h00 par rapport à S4, alors que le rapport minimal de 0,53% est enregistré à 16h00 par rapport à S4.

L'humidité relative au niveau des stations S3 (entre les deux blocs) et S4 (juste à côté mais présentant plus d'humidité grâce à son irrigation et dans ce sens, ses valeurs sont les plus élevées), suit la même logique de variation d'humidité. Il est à noter que les valeurs d'humidité relative de ces deux stations ont augmentées par rapport à celles enregistrées dans la S1, la S2 et la S5 cela est dû à l'apport d'humidité par effet d'évapotranspiration de la végétation plus évaporation dans le cas de la station S4.

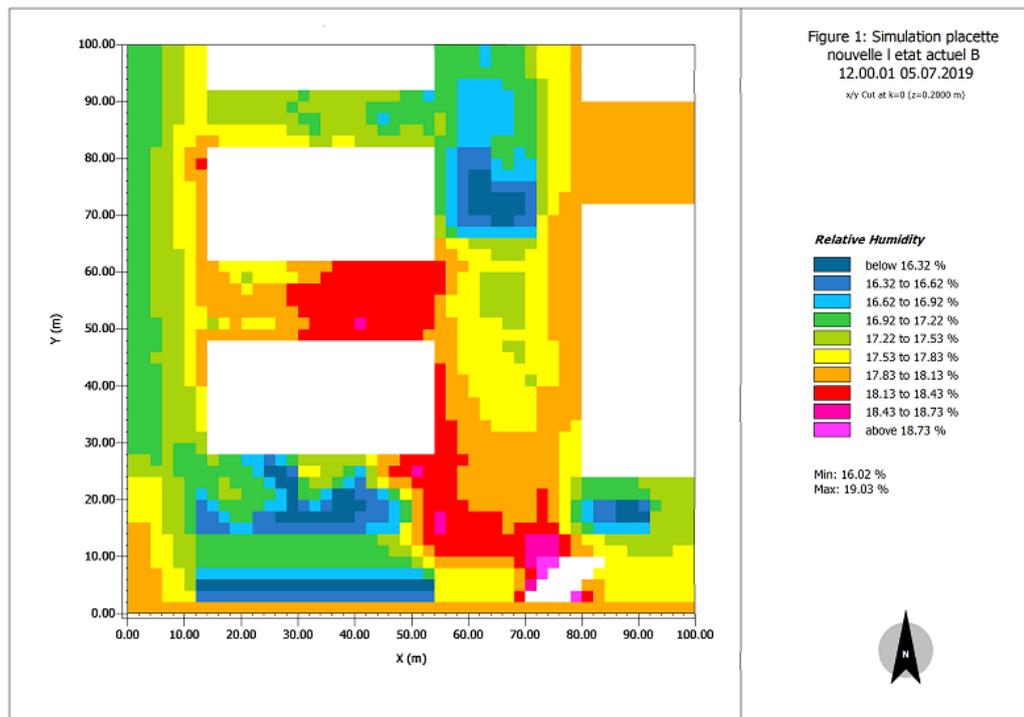
La station S1 reste toujours la station qui enregistre les valeurs d'humidité relative les plus basses n'ayant aucune source d'humidité à proximité. (On note un écart de 3,81% avec S3, S4 à 08h00, 2,12% avec S4 à 10h00, 2,11% avec S4 à 12h00, 0,94% avec S4 à 14h00 et enfin 0,75% avec S4 à 16h00. Figure. V. 17 et (Graphe. V. 20).



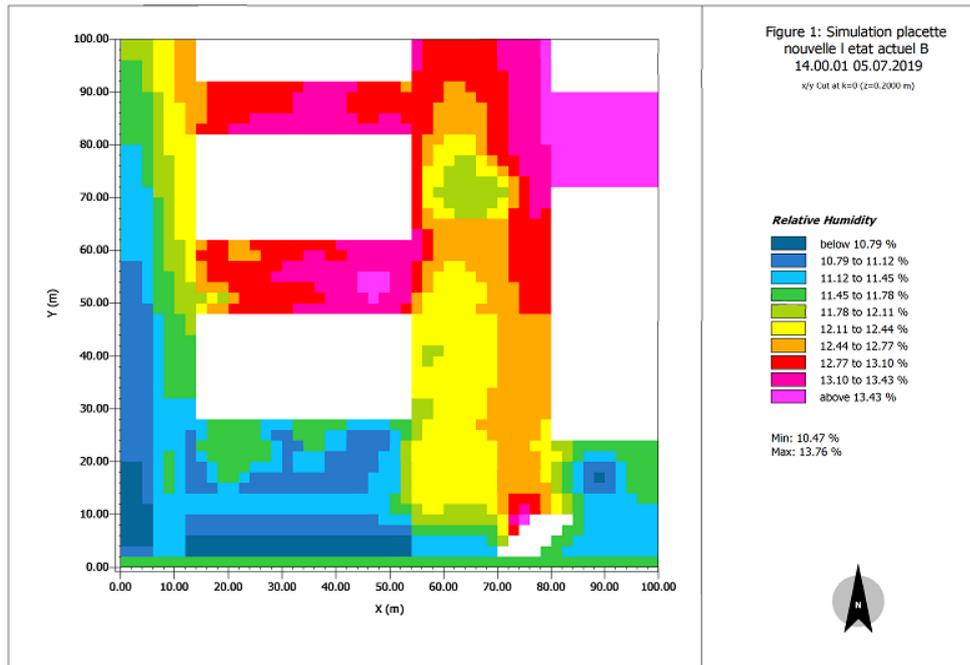
La répartition de l'humidité relative à 08h 00



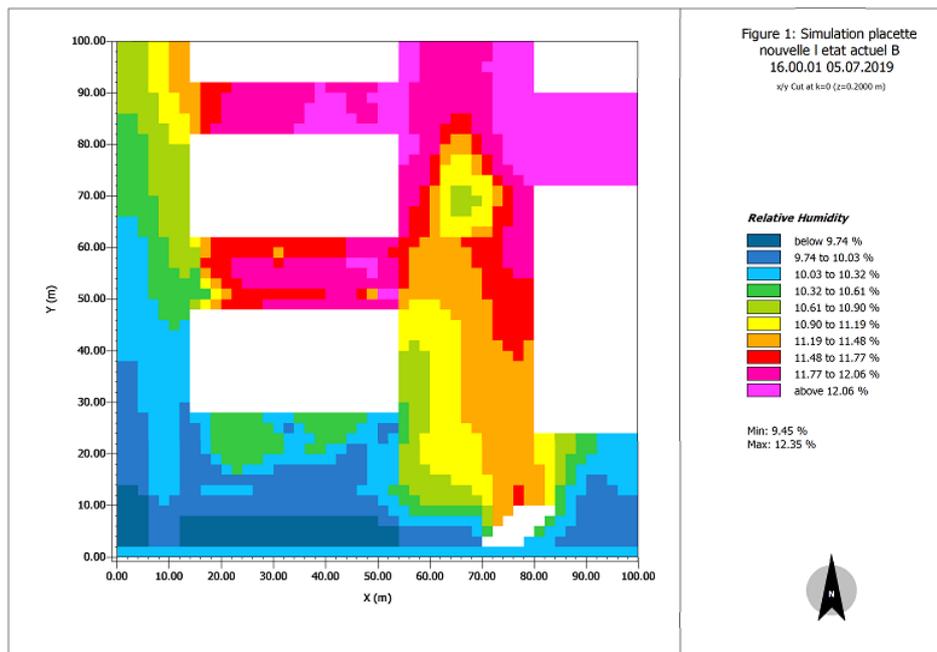
La répartition de l'humidité relative 10h 00



La répartition de l'humidité relative à 12h 00



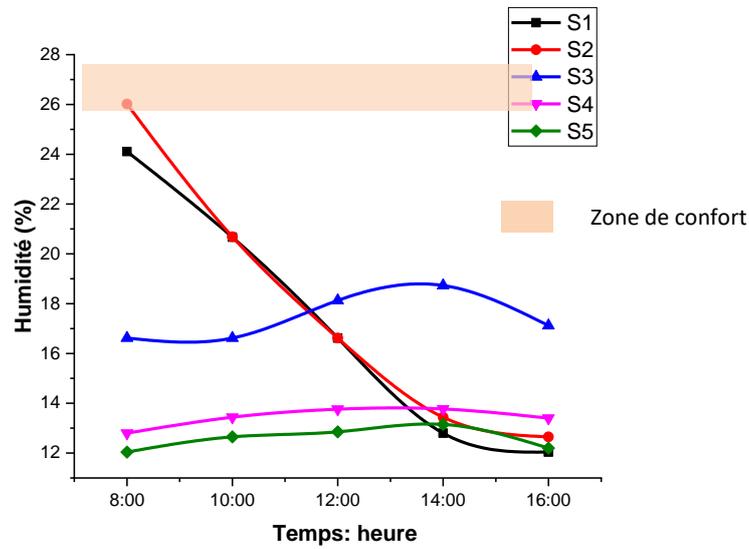
La répartition de l'humidité relative à 14h 00



La répartition de l'humidité relative à 16h 00

Figure V.20: Humidité relatives des 05 stations (1, 2, 3,4 et 5) scenario « A » la placette actuelle).

(Source : Auteure, 2020)



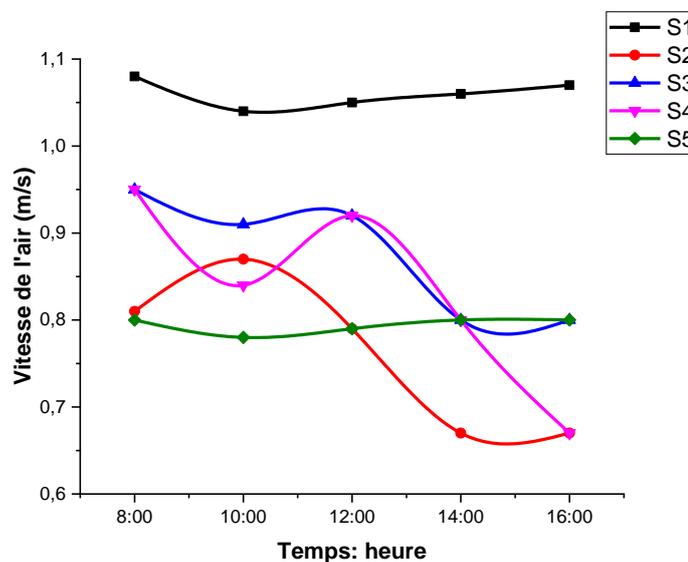
Graphe. V. 2 : Comparaison entre la variation les humidités relatives % au niveau des 05 stations (1, 2, 3,4 et 5) simulées scenario « A » la placette actuelle dans la période estevale (08.00-16.00). (Source : Auteur, 2020).

V. 9. 3. Impact de la végétation sur la Vitesse des vents :

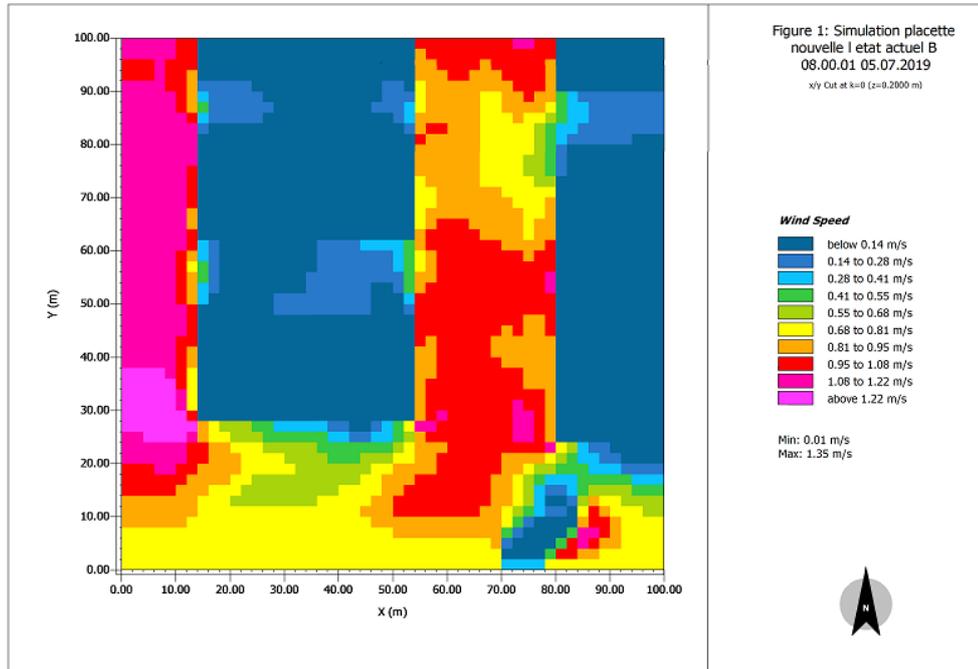
Dans le scenario « A » (état actuel), on remarque que les valeurs enregistrées pour les vitesses de vent sont réduites, malgré cela, la station S1 reste la station la plus ventée avec des valeurs oscillant entre 1,05m/s et 1,09m/s.

Le reste des stations enregistrent des valeurs très rapprochées les unes des autres allant de 0,67 m/s, comme valeur minimale à 0,95 m/s, comme valeur maximale.

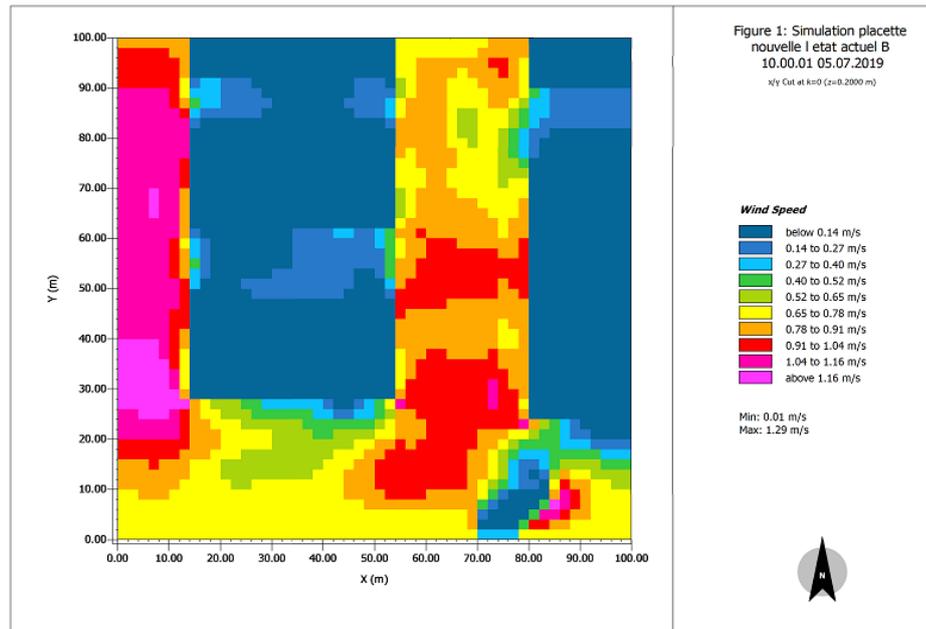
Pour cette raison, nous négligerons l'effet de la vitesse des vents dans nos futurs calculs. (Graphe. V. 3.), et (figure. V. 21).



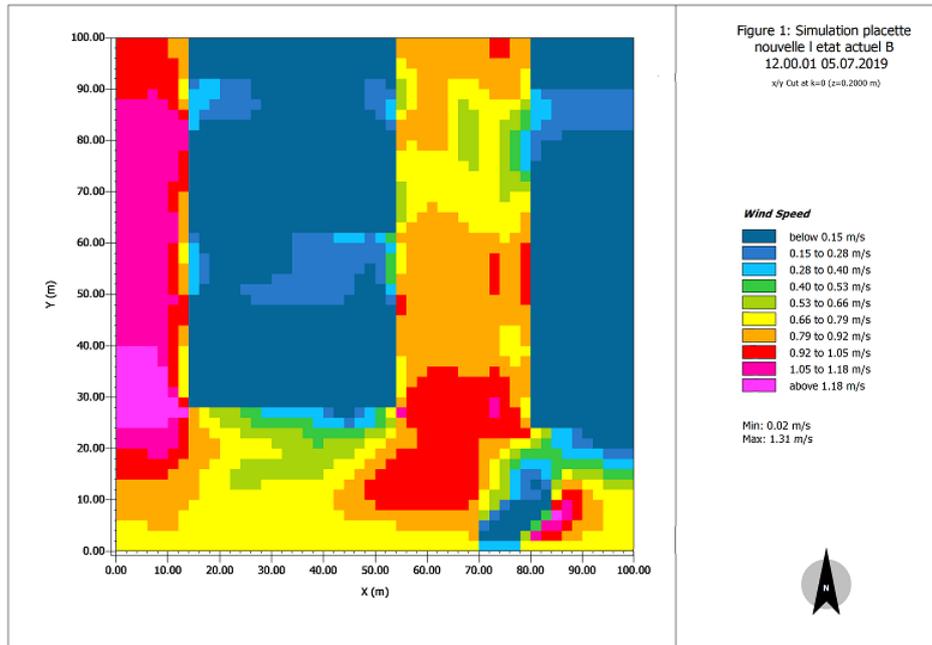
Graphe. V. 3 : Comparaison entre la variation du Vitesses des vents au niveau des 05 stations (1, 2, 3,4 et 5) scenario « A » la placette actuelle pendant la période estevale de 08h 00-16h 00) (**Source :** Auteure, 2020).



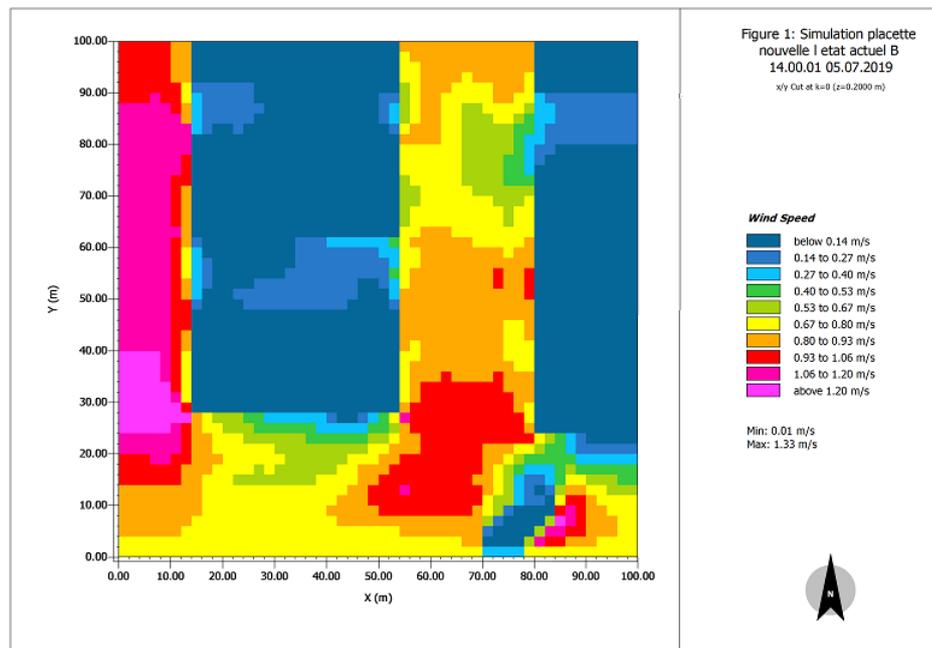
La répartition de la vitesse du vent a 08.00h



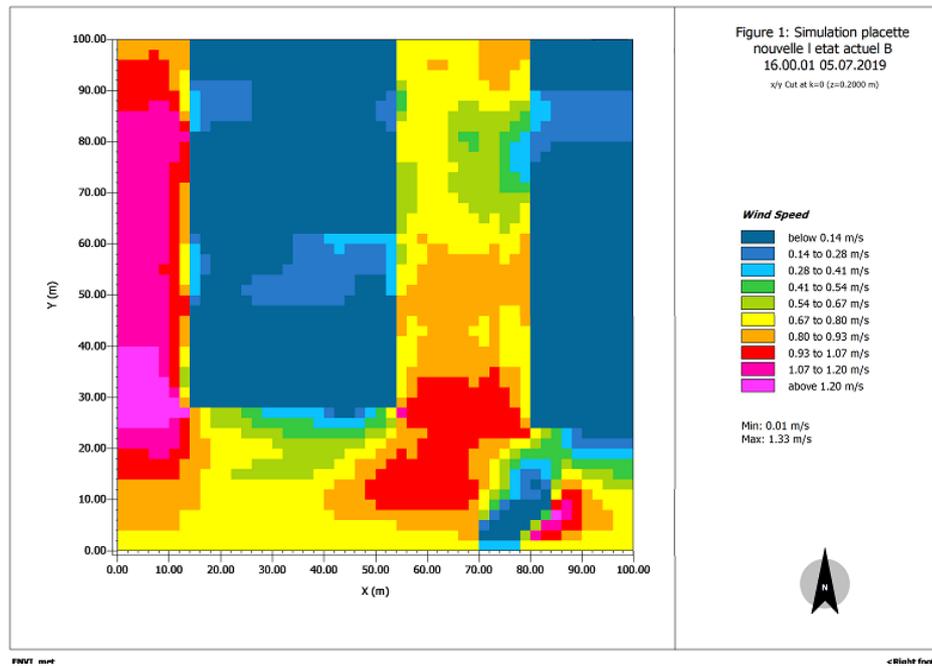
La répartition de la vitesse du vent a 10h 00



La répartition de la vitesse du vent a 12h 00



La répartition de la vitesse du vent a 14h 00



La répartition de la vitesse du vent a 16h 00

Figure. V.21: Vitesses des vents au niveau des 05 stations (1, 2, 3,4 et 5) scenario « A » la placette actuelle. (Source : Auteure, 2020)

V. 9. 4. Impact de la végétation sur la température moyenne radiante (Tmrt)

La température moyenne radiante (Tmrt) est le paramètre le plus important pour le bilan thermique, spécialement pour les journées chaudes et ensoleillées. Elle est la somme des températures totales des surfaces qui entourent le corps humain.

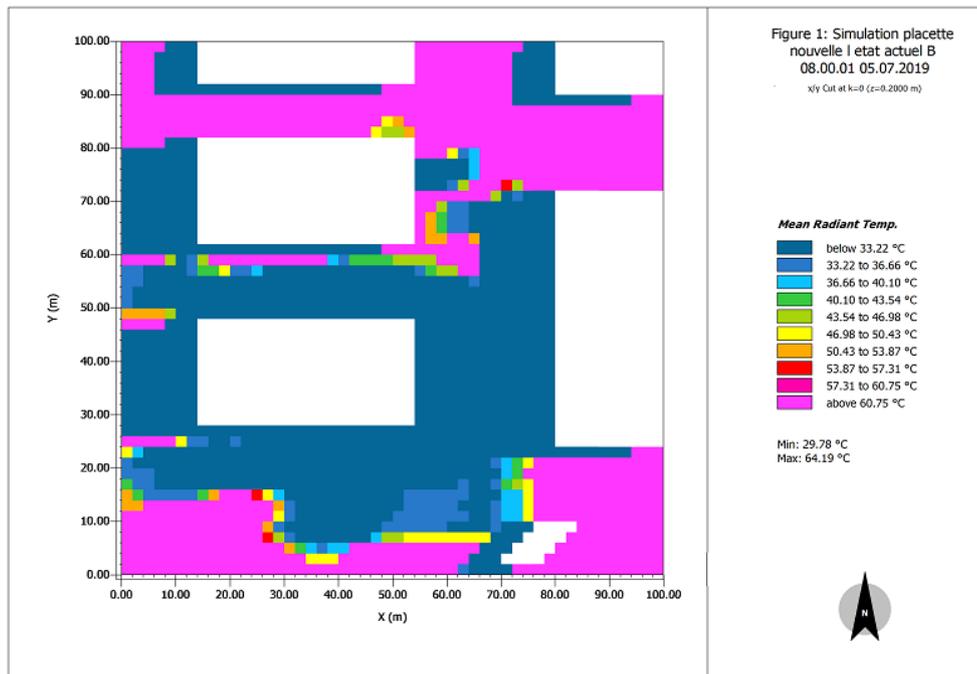
Le bilan radiatif est étroitement lié à l'état de la surface du sol. Il dépend en effet de son albédo, de son émissivité, de sa conductivité thermique, de son évaporation et de la vitesse du vent. Les valeurs de la température moyenne radiante (Tmrt) sont reportées dans la figure (V.22). Ces valeurs varient selon la particularité de chaque station et selon les périodes de la journée (matinée, midi, après midi et soirée). Pour chacune d'elle, les valeurs à l'ombre ou au soleil ont été prises en considération.

Pour l'ensemble des stations, les résultats se rapprochent selon le temps ; leur profils se coïncident au début et vers la fin de la journée c'est-à-dire à 08.00h et 16.00h. C'est pourquoi les courbes se rapprochent. Les stations S3 et S4 ont enregistré les valeurs les plus faibles au site, alors que les stations S1, S2 et S5 ont enregistré des valeurs maximales avec un écart important entre elles qui atteint 27,53°C à 08h, 21,98°C à 10h, 10,83°C à

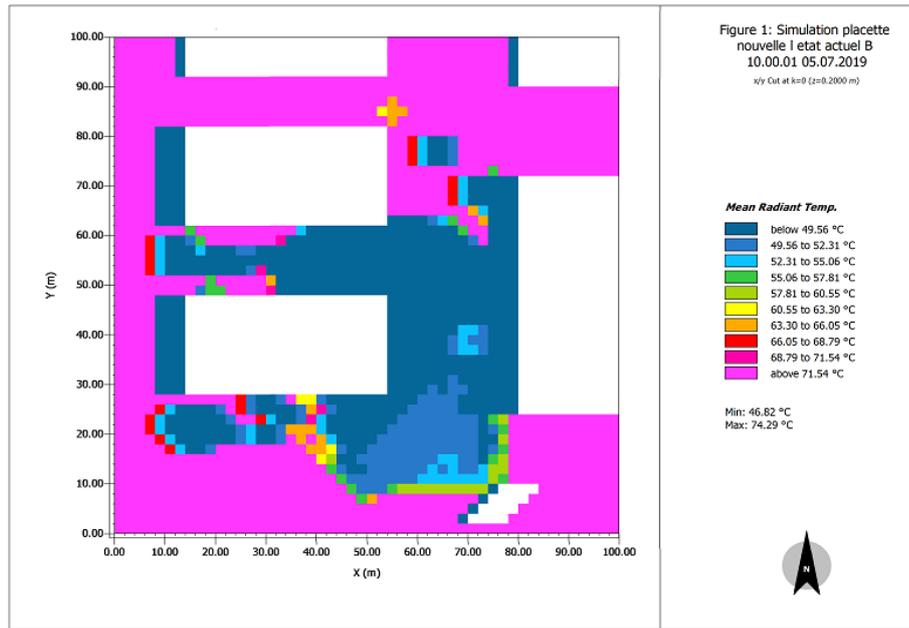
12h, 13,88 °C à 14h et 20,78°C à 16h. Cela est fortement lié à la présence de la végétation au niveau des stations S3 et S4, et son absence au niveau des autres stations.

La présence des arbres a réduit la pénétration du rayonnement solaire en ces espaces. Les arbres reçoivent une partie des radiations solaires directes et une grande quantité des irradiances à partir des surfaces environnantes : murs et sols. La dissipation de ce flux de chaleur se fait par les échanges convectifs. La répartition des gains thermiques en flux de chaleur sensible et latent dépend du bilan d'eau et le vent.

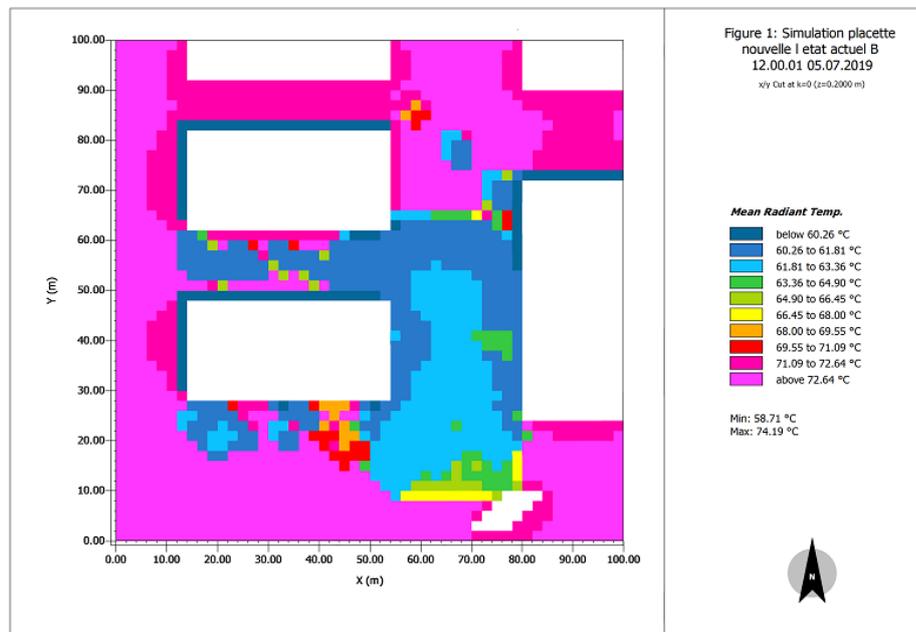
Quant aux stations S3 et S4, elles sont au milieu de la placette avec un sol naturel gazonné ayant un albédo qui varie entre 0.1 et 0.3. Elles ont enregistré des valeurs moins importantes que les autres. Sans omettre l'effet de l'ombre portée des bâtiments et l'ensemble d'arbres.). (Graphe. IV.4), (Figure V. 22).



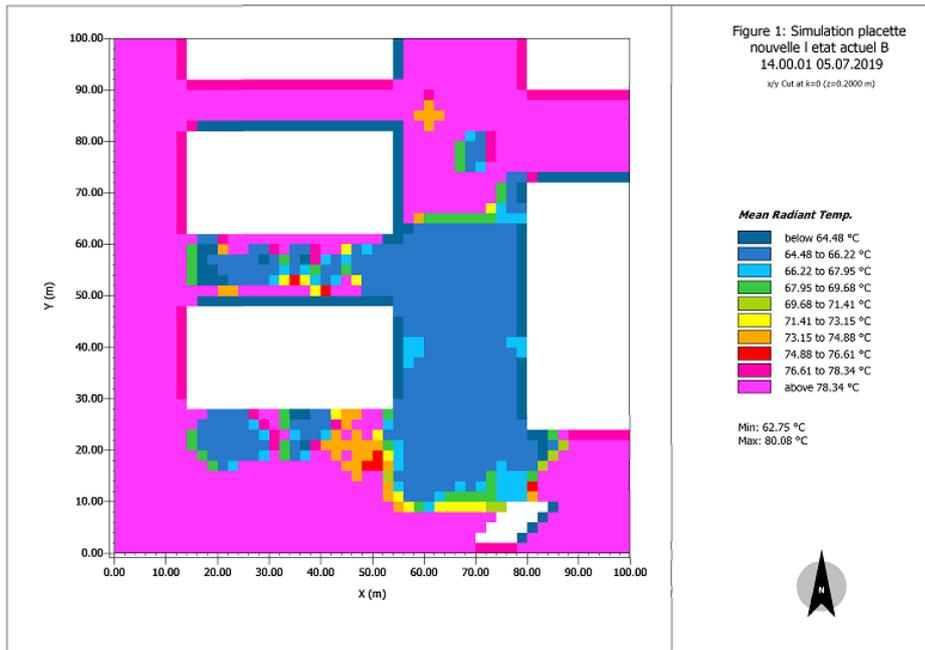
La répartition de la Tmrt à 8h 00



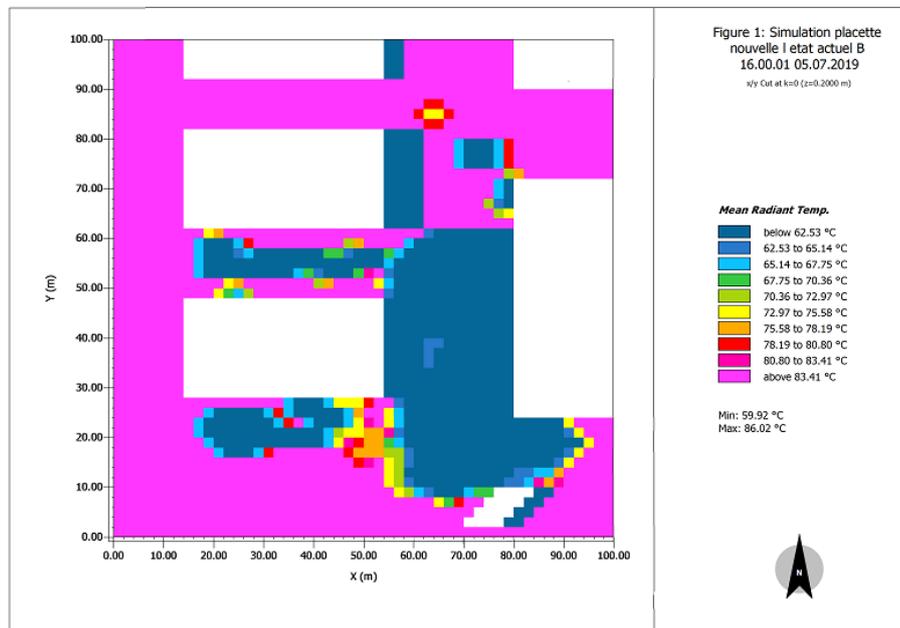
La répartition de la Tmrt à 10h 00



La répartition de la Tmrt à 12.00 h

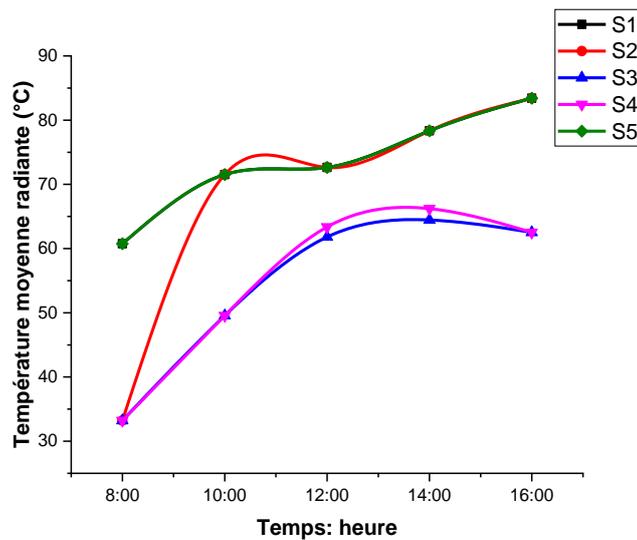


La répartition de la Tmrt à 14h 00



La répartition de la Tmrt à 16h 00

Figure. V.22 : La température moyenne radiante (Tmrt) au niveau des 05 stations (1, 2, 3, 4 et 5) scenario « A » la placette à l'état initial. (Source : Auteure, 2020)



Graphique V. 4 : Comparaison entre la variation de la température moyenne radiante (Tmrt) au niveau des 05 stations (1, 2, 3,4 et 5) scénario « A » la placette actuelle) » placette durant la période estivale, de 08h 00 à 16h 00. (Source : Auteure, 2020).

V. 10. Evaluation du confort thermique dans les stations de la placette

Les indices thermo physiologiques sont largement utilisés pour évaluer l'impact du climat sur le confort intérieur et extérieur. Ces indices combinent les différents paramètres microclimatiques avec le bilan d'énergie thermique.

Après avoir analysé les différentes interactions des géométries et végétations urbaines sur les paramètres climatiques, une estimation du confort humain issu de ces conditions microclimatiques s'avère nécessaire pour pouvoir déterminer l'effet de la végétation sur le confort thermique dans la placette, l'analyse et la discussion du confort thermique dans les stations d'études sont basées sur les valeurs de la température moyenne radiante Tmrt et l'indice thermo physiologique de confort PET UTCI et PMV. Les tableaux et graphiques issus du traitement des outputs des simulations permettent une interprétation objective des résultats, et une comparaison en termes des conditions du confort thermique entre les différentes stations pour la journée d'été retenue pour les mesures, (celle du 05.07.2019). La perception du confort thermique extérieur est influencée par plusieurs paramètres microclimatiques. La vitesse du vent, les radiations solaires et la température de l'air sont les paramètres les plus importants pour évaluer le confort thermiques pour les hautes latitudes [Zrudlo 1988 in Lindberg 2003].

Par le biais du « logiciel 'Rayman 3.1 » on a déterminé les paramètres du confort thermique dans la placette, et nous avons cherché à déterminer les niveaux de confort à l'aide des

indices présentés dans (le chapitre II) sur le confort thermique dans les espaces extérieurs. et qui sont : Le PET, l'UTCI et PMV.

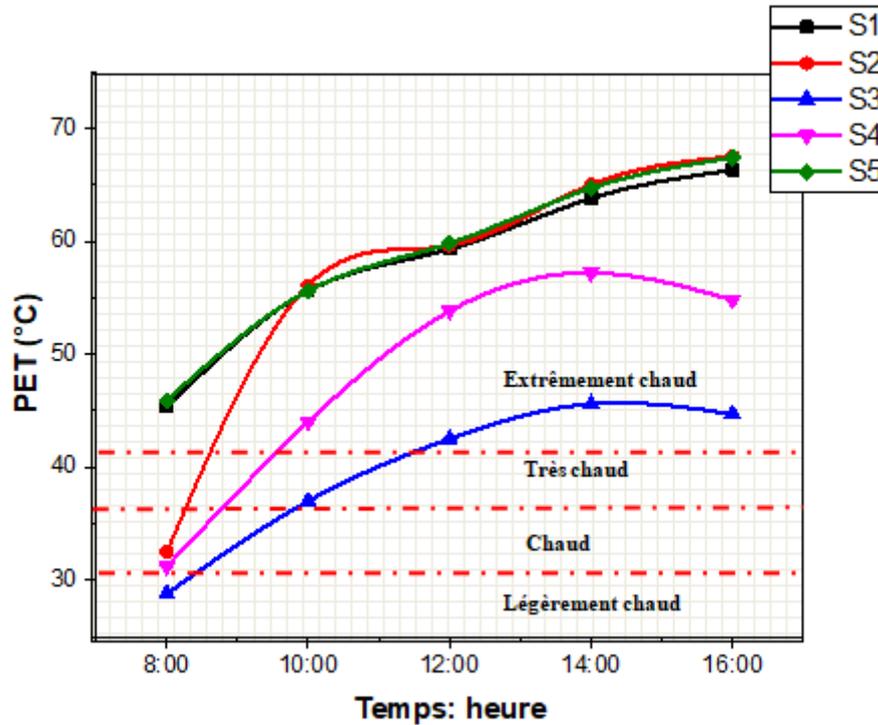
V.10.1. Impact de la végétation sur le PET (Température Effective Physiologique):

Le PET est basé sur un modèle complet du bilan thermique qui décrit en détail le processus physiologique. L'évaluation de l'impact des paramètres du climat sur le corps humain est très importante pour le confort extérieur des espaces urbains, le PET est largement utilisé pour évaluer le stress thermique (Hoppe, 1999 ; Ruiz, et al., 2014; Matzarakis, et al., 2014; Ali-Toudert, et al., 2006; Ali Toudert, 2005 ; Johansson, 2006; Mahmoud, 2011; Potchter, et al., 2013; Abdel-Ghany, et al., 2011etc). (Figure. V. 23).

PET	Perception thermique	Niveau du stress physiologique
18-23	Confortable	Aucun stress thermique
23-29	Légerement chaud	Léger stress de chaleur
29-35	chaud	Stress de chaleur modéré
35-41	Très chaud	Fort stress de chaleur
>41	Extrêmement chaud	Stress extrême de chaleur

Figure. V. 23 : Lecture du niveau de stress thermique.

Après simulations, seuls aux stations 1 et 5 que sont dépassées les limites extrêmes du PET durant toute la journée, la station 2 est classée très chaude jusqu'à 08h 30, alors que la station 4 est classée très chaude jusqu'au environs de 10h, la station 3 reste classée chaude jusqu'à 10h 00m et qui reste la minimum après 12h00, vu que toutes les stations dépassent la zone de confort, c'est la zone qui présente le plus de densité végétale en plus de l'ombrage du bâti limitrophe.



Graph. V. 5 : Variations simulées du PET au niveau des 05 stations (1, 2, 3,4 et 5) de la placette actuelle)
(Source : Auteure, 2020).

V. 10. 2. Impact de la végétation sur l'UTCI (L'indice thermique universel du climat).

En 2000, l'Universal Climate thermique Index (UTCI) a été élaboré par une commission créée par le Société internationale de biométéorologie (ISB, 2004). La commission, présidée par Jendritzky a pour objectif principal la création d'un indice qui soit exact dans tous les climats, les saisons et les échelles, et être indépendant des caractéristiques personnelles telles que l'âge, le sexe, les activités spécifiques et de l'habillement. (Walls et al, 2015) et c'est pour cette raison qu'on l'a maintenu pour usage dans ce travail.

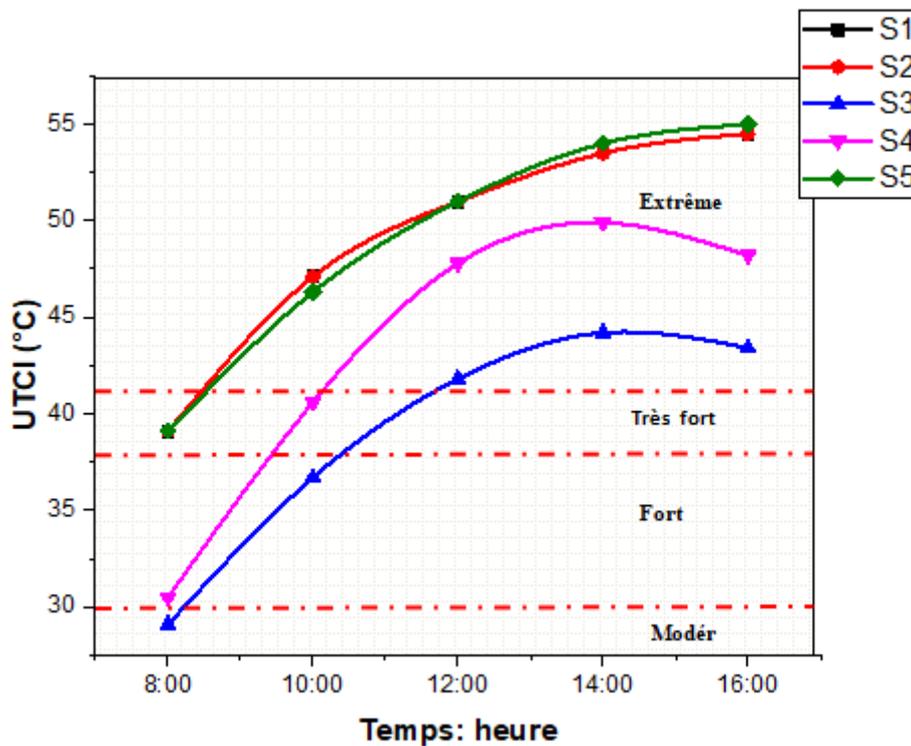
Cet indice indique la sensation thermique (stress ou confort) ressentie par l'homme du fait de la combinaison des paramètres d'ambiance : température, humidité ou pression de la vapeur de l'eau, vitesse du vent et radiation thermique, à l'aide d'un modèle physiologique (Fiala et al. 2012), un modèle d'habillement et une condition de référence (Bršde et al. 2012). Plus qu'un indice, l'UTCI représente un modèle avec des paramètres d'entrée bien repartis, exprimés en °C. Cet indice a servi à la détermination des divers types d'ambiances (confortable, froid ou chaud) (Blazejczyk et al. 2013)

L'Indice thermique universel du climat (UTCI) est exprimé en une température ambiante équivalente en ($^{\circ}$ C) d'un environnement de référence fournissant la même réponse physiologique d'une personne de référence comme l'environnement réel. (Walls et al, 2015), selon la figure. V. 21.

Pour l'évaluation du degré de confort à l'aide de l'UTCI, nous avons obtenu les valeurs de l'UTCI pour les cinq stations pendant la journée typique retenue en se basant sur les facteurs climatiques simulés à l'aide du logiciel Envi-met: la température de l'air, la température moyenne radiante, la vitesse de l'air, et l'humidité relative qui sont indispensables pour le calcul de l'UTCI, (Graphe. V. 6).

UTCI ($^{\circ}$ C)	Catégorie de stress
> +46	Extrême
+38 à +46	Très fort
+32 à +38	Fort
+26 à +32	Modéré
+9 à +26	Confortable

Figure. V. 24. Lecture du niveau de stress thermique.



Graph V. 6 : Variations simulées de l'UTCI au niveau des 05 stations (1, 2, 3,4 et 5) dans la placette actuelle (Source : Auteure, 2020).

Après simulations on remarque que les stations S1, S2 et S5 sont au niveau du stress thermique très fort jusqu'à 09h 00 ou elles passeront au stress thermique extrême alors que les stations S3 et S4 se trouvent au niveau du stress fort, jusqu'à 09h 30 pour S4 et jusqu'à

10h 30, pour S3, qui passera au stress tres fort jusqu'à 12h00, pour le reste du temps, toutes les stations dépassent les valeurs du stress thermique tres fort , mais une fois encore la station S3 s'avere la meilleur grace a sa densité vegetale et l'ombrage des constructions environnantes.

Lors d'une journée caniculaire, si un humain se situe à proximité de la couronne d'un arbre (cas d'un tilleul argenté avec un LAI de 8,5), celle-ci va lui permettre de demeurer huit heures à l'ombre et de diminuer son indice de confort thermique de 4,0 °C en moyenne. Pour cet indice, cela signifie que l'ombre de l'arbre permet de diminuer de 2h15 le temps passé en « très fort stress thermique » et de 3h15 le temps passé en « fort stress thermique ». Ce type de résultats est présenté dans les travaux de Coutts et al. (2015). L'impact des arbres sur l'indice de confort thermique est variable selon la densité du feuillage et la position des arbres par rapport à l'environnement minéral alentour.

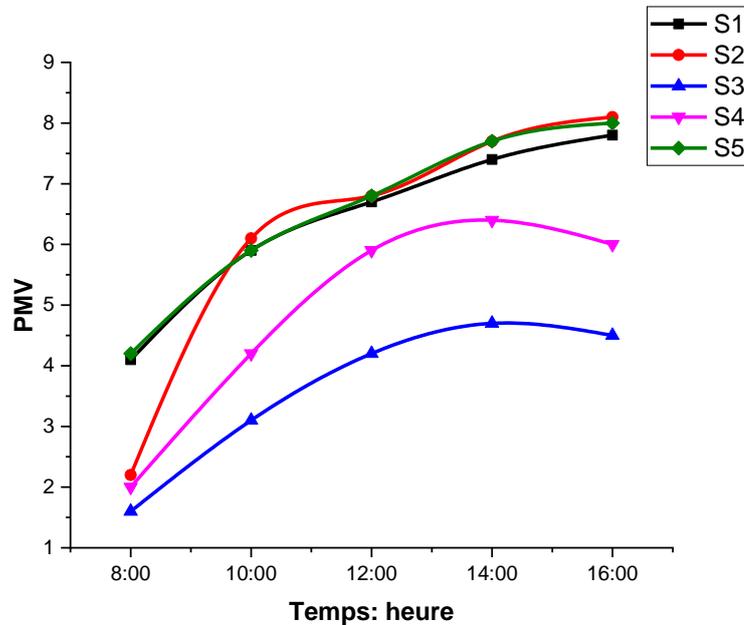
V. 10. 3. Impact de la vegetation sur le PMV (Vote Moyen Prévisible)

Le confort thermique au niveau de la placette est évalué en fonction de l'indice de confort PMV, Les valeurs du PMV sont comprises entre neuf échelles qui varient entre -4 et +4°C où -4°C est le seuil du « froid » et +4°C est celui du « chaud », le niveau « 0 » correspond à la sensation neutre, cet indice, dans notre cas, varie entre 1,6 et 8,1.. selon le tableau. V.6. ci-dessous.

Heurs	08.00h	10.00h	12.00h	14.00h	16.00h
PMV S1	4.1	5.9	6.7	7.4	7.8
État thermique	Extrêmement chaud				
PMV S2	2.2	6.1	6.8	7.7	8.1
État thermique	Chaud	Extrêmement chaud			
PMV S3	1.6	3.1	4.2	4.7	4.5
État thermique	Légèrement chaud	Très chaud	Extrêmement chaud		
PMV S4	2.0	4.2	4.2	5.9	6.4
État thermique	Chaud				
PMV S5	4.2	5.9	6.8	7.7	8.0
État thermique	Extrêmement chaud				

Tableau V.6 : Valeurs simulées du PMV au niveau des 05 stations (1, 2, 3,4 et 5) scenario « A » la placette actuelle. (Source : Auteure. 2020).

Dans notre cas d'étude, la station S3 est dans la zone de confort jusqu'à Midi, par contre S2 et S4 ne le sont que jusqu'à 10h00, le reste des stations dépassent les limites avec des valeurs variables en accordance avec le couvert vegetal et l'ombrage de l'environnement construit. D'après les valeurs du PMV, le stress thermique augmente, d'une façon générale pendant l'après midi (entre 12h et 16h). Graphe. V. 7,



Graphe. V. 7 : variations simulées du PMV au niveau des 05 stations (1, 2, 3, 4 et 5) **scenario « A »** la placette actuelle (**Source :** Auteure. 2020).

Toutefois, l'évaluation du confort ne peut être assimilée seulement à un facteur physiologique, cependant il y'a d'autres éléments qui interviennent tel que l'acclimatation. Après une longue exposition aux mêmes conditions microclimatiques, le corps humain s'adapte à son environnement thermique. Cela a été démontré par Nikolouplous, lors d'une investigation menée à Athènes pendant Juillet, Août 2001, ou il a trouvé une différence entre le PMV et l'ASV (Actual Sensation Vote).

Certes les conditions du microclimat influent sur l'utilisation de l'espace public, mais une approche purement physiologique n'est pas adéquate pour caractériser les conditions du confort thermique extérieur).

L'importance de la géométrie de la placette influence les conditions de confort, spatialement par les ombres que projettent les constructions concernant la station, S4 et S3 et S2 qui enregistrent des températures plus fraîches que celles enregistrées en S1, celle-ci n'étant pas protégée.

Dans cette partie estivale (d'été), nous venons à établir une évaluation thermique des différents stations choisis. La forte corrélation entre la TMR et la PET préfigure profondément la valeur de la qualité thermique au sein des stations. Il est à affirmer que la placette et selon les stations identifiés ne constitue guère une zone dite confortable durant la période de surchauffe. La station S3, grace a la densité de son couvert vegetal, presente relativement le meilleur confort thermiaue et affirme notre hypothèse qui prédit une relation entre la densité du couvertu vegetal et le bien-être thermique.

La progression linéaire des paramètres climatique ainsi que l'évaluation de l'effet d'ombre de la végétation et des bâtiments convergent vers la démonstration que la **densité des arbres** dans la partie sud (S3, S4) de la placette joue un grand rôle dans **l'amélioration du microclimat et le confort thermique extérieur.**

Conclusion

Dans ce chapitre une simulation a été effectuée dans le but d'analyser le microclimat urbain et le confort thermique au sein de notre placette, en tant qu'espace urbain extérieur. Ce chapitre est entamé par la présentation des deux logiciels (logiciel ENVI-met version 4.4.5 et logiciel Ray Man pro version 3.1.) en présentant les différentes étapes à suivre dans la manipulation de ces deux programmes,

Une très forte corrélation positive a été trouvée entre les valeurs des paramètres climatiques mesurés et leurs valeurs simulées ainsi on peut conclure que le modèle de simulation convenait à l'objectif actuel des paramètres météorologiques simulés, dans la période considérée.

Dans ce présent travail, les spécificités du logiciel Envi-met version4.4.5 lite que nous avons utilisé ne permet que le calcul des paramètres climatiques, par conséquence, nous avons fait recours au couplage entre Envi-met et le logiciel Ray Man, qui par les valeurs climatiques obtenues par Envi-met, lorsqu'elles sont introduites dans Ray Man, permettent l'évaluation des indices du confort thermique, qui sont dans notre cas : Le PET, L'UTCI et PMV.

Pour l'évaluation du degré de confort à l'aide des indice de confort thermique , nous avons obtenu les valeurs de PET , L'UTCI et PMV, pour les cinq stations pendant la journée typique retenue en se basant sur les facteurs climatiques simulés à l'aide du logiciel

Envi-met et qui sont indispensables pour le calcul des indices de confort thermique PET , L'UTCI et PMV à l'aide du logiciel Ray Man.

Après simulations on remarque que les stations S1, S2 et S5 sont au niveau du stress thermique très élevé jusqu'à 10h00 ou elles passeront au stress thermique extrême alors que les stations S3 et S4 se trouvent au niveau du stress élevé, durant la même période et qui dure jusqu'à 12h00 pour la station S3 ou elle passe pour le reste du temps au niveau stress thermique élevé et durant cette période tout le reste des stations dépassent les valeurs du stress thermique extrême, une fois encore la station S3 **s'avère la meilleur grâce à sa densité végétale et l'ombrage des constructions environnantes.**

Finalement, on peut confirmer que la densité de couvert végétal « GCR » influe sur le microclimat et le confort thermique extérieure dans la placette. Ce constat vient de confirmer notre première hypothèse.

Plusieurs recherches à travers le monde l'ont prouvé par les expériences sur terrain qui ont été en général suivies d'une simulation afin d'apporter des améliorations au microclimat du site d'investigation. Dans la suite de ce travail, Nous allons procéder à une éventuelle optimisation des conditions microclimatique et conséquemment le confort thermique dans notre placette, en mettant en valeur l'organisation spatiale la plus adéquate au climat chaud et aride, et de tester d'autres paramètres et éventuellement d'autres arrangements pouvant améliorer les conditions microclimatiques, et le confort thermique, cela se fera à l'aide de simulations numériques par couplage des deux logiciels ; ENVI-met 4.4.5 et RayMan 3.1, qui sera développé dans le chapitre qui suit.

Chapitre VI : Amélioration du confort thermique par simulations paramétriques

Introduction

Plusieurs recherches à travers le monde, par des expériences sur terrain qui ont été en général suivies d'une simulation afin d'apporter des améliorations au microclimat et le confort du site d'investigation ont prouvé l'efficacité de cette approche. Dans ce chapitre, nous allons procéder à une éventuelle optimisation des conditions microclimatiques et conséquemment le confort thermique dans notre placette, en mettant en valeur l'organisation spatiale la plus adéquate au climat chaud et aride, et de tester d'autres paramètres et éventuellement d'autres arrangements pouvant améliorer les conditions microclimatiques, et le confort thermique, cela se fera à l'aide de simulations numériques par couplage des deux logiciels ; ENVI-met 4.4.5 et RayMan 3.1

L'objectif de ce chapitre est l'évaluation du confort thermique au niveau de la placette retenue par un processus de changement des paramètres supposés avoir un impact considérable sur le confort thermique extérieur, en vue de son amélioration, voir même son optimisation, à savoir ; la densité du couvert végétal en premier lieu, ensuite la nature du sol et enfin la disposition des arbres ou la façon de leurs implantations au sein de la placette.

Pour l'amélioration des conditions de confort thermique au niveau de notre placette, les scénarios proposés sont sujet aux trois variables suivantes :

- Densité du couvert végétal GCR = 0%, 50% et 100%.
- Effet d'orientation et de la plantation des arbres (La distribution des arbres) ; Linéairement ou groupés.
- Effet de la nature du sol (gazon, pavé).

Dans ce but, les améliorations qu'on pourra apporter aux conditions de confort thermique dans notre placette est possible par **le couplage de deux modèles RayMan pro version 3.1 et ENVI-met version 4.4.5**

Afin de tester l'effet de densité du couvert végétal et la disposition des arbres (ficus retusa) ainsi que la nature du sol sur les paramètres microclimatiques (T_{air} , H_r , V_{air} , T_{mrt}) et par conséquent sur les paramètres du confort thermiques (PET, UTCI et PMV), les différents traitements de la placette sont opérés sur la densité du couvert végétal, la disposition des arbres et la nature du sol tout en gardant les caractéristiques morphologiques de l'environnement, dans ce contexte, **18 scénarios de plans d'aménagement** ont été développés:

- Tester l'effet de la densité de couvert végétal GCR, dans les cas : 0%, 50% et 100%.
- Tester l'effet d'un seul type d'arbres (ficus retusa), et dans deux cas de types du revêtement de sol et les différents plans d'implantation
- Quantifier la qualité du microclimat urbain dans la placette par la détermination des paramètres microclimatiques et les indices du confort thermique.

Dans chaque cas, nous simulerons le comportement climatique de la placette dans chacun des cas du pourcentage du GCR utilisé, celui-ci est déterminé avec un taux d'augmentation de 50%, on aura, conséquemment, les cas: 0%, 50% et 100%.

Pour ces trois cas de figures, deux types de sol à prendre en considération, à savoir : le sol en pavé gris et le sol naturel gazonné pour en déduire l'effet de l'herbe, aussi, sur le confort thermique.

Les résultats obtenus lors de la comparaison des différents scénarios, qui ont été prévus pour la vérification du rôle de la présence des différents niveaux du couvert végétal ; 0%, 50%, et 100% dans l'amélioration des conditions de confort thermique en milieu urbain. Ces résultats vont être comparés entre eux, et il serait intéressant de voir l'évolution des différents paramètres physiques (température de l'air, humidité relative, vitesse des vents et température moyenne radiante) et par conséquent, les paramètres physiologique (PET, UTCI et PMV) à travers les scénarios et leur valeurs respectivement simulées.

VI. 1. Amélioration des conditions de confort thermique de la placette.

Puisque les conditions microclimatiques sont une composante essentielle pour la vie ou la mort d'un espace urbain, plusieurs recherches dans le monde s'y focalisent afin de promouvoir la vie sociale, prolonger la durée de leur praticabilité, mesurer leur impact sur les conditions de confort et d'une façon générale améliorer le climat urbain.

La valorisation de tels espaces est possible par une variété d'interventions et stratégies d'améliorations en vue d'une utilisation optimale, parmi ces stratégies, des aménagements spécifiques, introduction de mobilier urbain nécessaire, aménagements des plans d'eau, introduction de la végétation notamment les arbres dont l'effet est notoire en matières d'ambiances globale et spécifiquement thermique, en agissant comme masque solaire de part la diminution du facteur d'ouverture au ciel, sans oublier l'apport de l'albédo de la couverture au sol puisque les conditions de confort thermique dans les places sont liées aux températures du sol (J.Noilhan, 1980).

VI. 1. 1. Le choix de type d'arbre urbain à introduire dans la simulation

Notre présente recherche dont l'objectif est de créer un masque contre les rayons solaires, l'introduction d'arbres en tant que masque solaire serait une solution adéquate mais quel est le type d'arbre qui est le plus efficace dans la protection sachant que cette protection est dépendante de ses caractéristiques, (Scodo ,2002), en particulier des caractéristiques formelles des arbres. Figure. VI. 1.

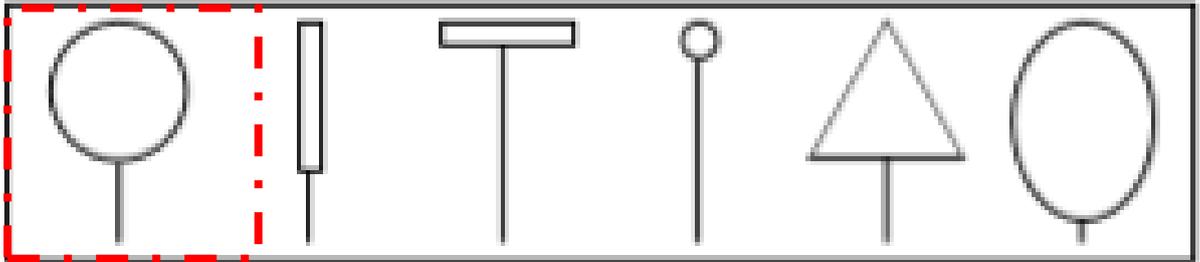


Figure. VI. 1. Les six types d'arbres selon les caractéristiques formelles

Le choix du type d'arbre utile pour cette tâche, se base sur: la maturité de l'arbre, sa hauteur, la taille de sa couronne, la densité de son feuillage et à sa capacité d'adaptation au lieu (sol, température, humidité).

Il faut noter que la grande taille de la couronne de l'arbre assure plus d'ombres, surtout à midi où le soleil est à l'azimut Kotzenn, 2003, confirme que les arbres avec une large couronne sont performants pour les zones

arides, puisqu'elle offre une grande surface ombragée

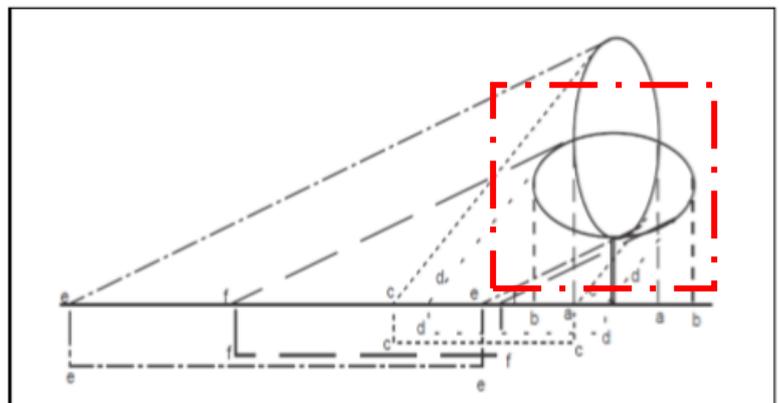


Figure. VI. 2. Comparaison de la quantité d'ombre créée par une large canopée d'arbre par opposition à une grande canopée selon les angles solaires. Source : Kotzenn. B (2003)

Dans une étude menée par B. Kotzenn, récapitulée par la (figure V.16), sur les espèces d'arbre au désert de Najaf et leur performance en été et l'hiver en fonction des angles solaires ainsi que la forme et le diamètre de la couronne, a conclu que: les arbres aux larges couronnes sont plus performants pour les climats chauds et arides vu la grande surface qu'ils masquent.

- Le soleil à une hauteur de 90° avec une large canopée, b-b, donne la meilleure longueur d'ombre.
- Le soleil à 45° avec une grande canopée, c-c, et une large canopée, d-d, donne presque la même longueur d'ombre.
- Le soleil à 20° avec une grande canopée, e-e, donne une meilleure longueur d'ombre qu'une large canopée, f-f. Figure. VI. 2.

La figure. VI. 2. et la figure. VI. 3, ci-contre indiquent généralement comment les larges couronnes créent plus d'ombre au courant de toute la journée particulièrement à midi pendant les mois d'été.

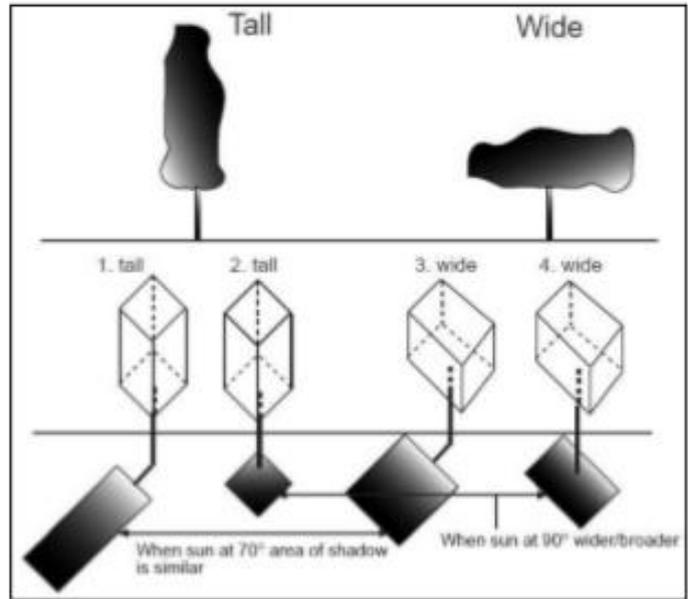


Figure. VI. 3. Comparaison de l'ombre projetée par rapport au diamètre de la couronne. (Source: Kotzenn.B (2003).

Quand le soleil est haut dans le ciel, l'ombre est concentrée directement autour de la couronne d'arbre, par conséquent non seulement un large arbre fournit sensiblement plus d'ombre toute la journée, mais aussi pendant les heures de surchauffe de la journée où elle est la plus nécessaire.

Mais si on tient compte aussi de la largeur de l'ombre, la canopée large et ronde donne une ombre meilleure.

Figure. VI.4.

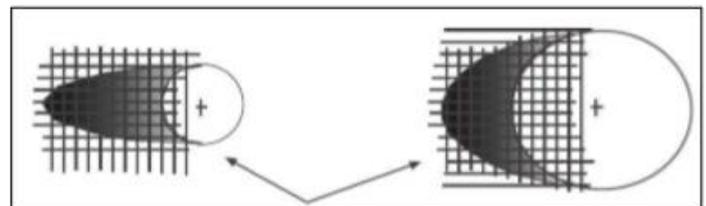


Figure. VI. 4. Diagramme illustrant que la longueur d'ombre perdue par les larges canopées rondes est compensé par leur largeur. Source : Kotzenn.B (2003).

Six formes géométriques différentes sont

les plus courantes, elles sont de gauche à droite et de haut en bas ; Les arbres en forme de vase, les arbres collonnaires, les arbres palmiers, des arbres en propagation, des arbres à tête arrondie, des arbres pyramidaux. Figure. VI. 5.



Figure VI. 5 : Les formes d'arbres les plus courantes . De gauche à droite et de haut en bas ; vasés, colonnaires, Palmiers, ouvertes, sphériques, et pyramidaux.

De cette variété d'arbres il ressort que le type qui convient dans notre cas est le type « **arbre sphérique ou arbre à tête arrondie** », étant celui qui présente le plus d'ombrage et que l'arbre ficus retusa fait partie de cette variété.

- **Placement des arbres**, la densité et l'emplacement des arbres exprime directement son positionnement, par rapport à la densité; on a trois cas de figures : 0%, 50% et 100% dans ce cas toute la placette est implantée d'arbres, alors que le 0% représente la placette nue.
- **Par rapport à l'implantation**, c'est le 50% qui présente sept cas à savoir : le groupé avec cinq cas de figure et qui sont : au Nord, Au centre, au Sud, à l'est et à l'Ouest et le linéaire avec deux cas de figures, à savoir ; selon l'axe des X et selon l'axe des Y.
- **La taille**, dans notre placette, le gazon est estimé à une hauteur de 25cm alors que les arbres sont estimés à leur âge adulte avec une hauteur de 10m avec une couronne de 5m de diamètre.
- **Verdissement saisonnier**, ce sont des arbres à feuilles persistantes, verdoyante durant toute l'année
- **Conductivité thermique**, c'est la porosité du rayonnement solaire et dépend principalement de sa valeur LAI. Trois grades, une porosité élevée, une porosité moyenne et une faible porosité et plus la porosité diminue, plus la densité des feuilles augmente. Dans

notre cas et concernant l'arbre *Ficus retusa*, celui-ci présente une grande densité de feuilles et par conséquent, une porosité minimale.

➤ **Porosité aérobie:** C'est la porosité du mouvement de l'air à travers les feuilles et dépend principalement de la valeur LAD: elle a trois degrés, une porosité élevée, une porosité moyenne et une faible porosité et plus la densité des feuilles est grande, moins la porosité est faible. Figure VI. 6.

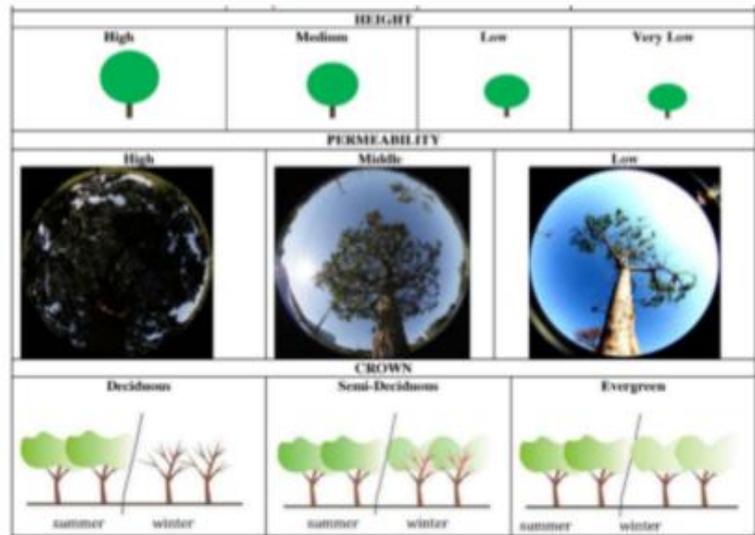


Figure VI. 6: Caractéristiques des arbres.
(Source : d'Abreu- Harbich et al(2015).

➤ **Capacité de charge thermique**

Il s'agit pour les plantes et les arbres d'être adapté au climat selon les cartes de capacités phytosanitaires. Ce qui est considéré comme une méthode moderne pour identifier et classer les différentes plantes et arbres en fonction de leur capacité à résister et à coexister avec le climat, et sont des cartes basées sur une échelle de 13 degrés, réparties selon la température hivernale moyenne (USDA, 2017). Tableau. VI. 1.

Comme c'est déjà mentionné préalablement, **l'arbre choisi**, dans notre cas est le « ficus ». (Voir paragraphe : I.9.1. L'arbre, le ficus) Espèce, *Ficus retusa* ; famille, moraceae ; son nom commun, ficus. Il est de catégorie arbre ; d'origine tropicale hauteur 30m et 6m de large, type persistant ; de forme port dense érigé ; croissance rapide. En plus il existe en quantité importante à Biskra ville et ce, depuis longtemps puisqu'il résiste à son climat. (MAAOUI, M ; 2014). Figure. VI. 7.

Zones	Min Temperature	Max Temperature
01	X	-45.6
02	-45.6	-40
03	-40	-34.4
04	-34.4	-28.9
05	-28.9	-23.3
06	-23.3	-17.8
07	-17.8	-12.2
08	-12.2	-6.7
09	-6.7	-1.1
10	-1.1	+4.4
11	+4.4	+10
12	+10	+15.6
13	+15.6	+21
14	+21	X

Tableau VI. 1. Zones de potentiel de dureté végétale.
Source. Adaptation de l'auteure à partir d'USDA (2017).

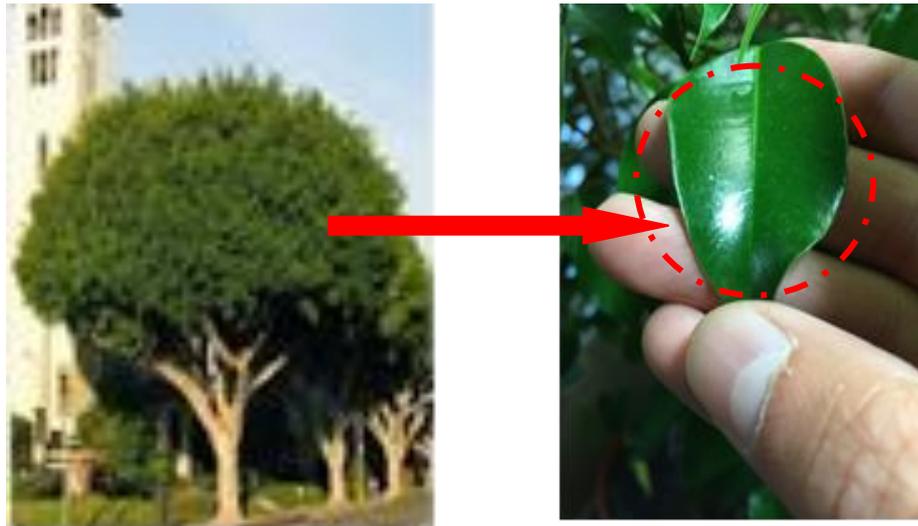


Figure. VI. 7. L'arbre ficus refusa et sa feuille. (Source : Auteure. 2019)

Donc les caractéristiques des arbres retenues de la simulation c'est l'arbre Ficus refusa un arbre feuillu, très utilisé dans le Sahara Algérien, qui résiste à l'aridité de notre région. Biskra atteste de sa présence depuis longtemps et il résiste très bien à son climat, ce type a été retenu afin de protéger les étudiants contre les rayonnements solaires d'été. Il est de toute évidence, que pour une même largeur de couronne, la hauteur de l'arbre n'a pas de signification puisque seule une différence minimale d'un maximum de 0.6°C est enregistrée à 08h 00 du matin. (kedissa chahrazed et al, 2010).

A la base de cette étude, on choisit le même type d'arbre à sa maturité avec une hauteur de 10m qu'on introduit dans les simulations

VI. 1. 2. Calcul du nombre d'arbres et du pourcentage de couvert végétal « GCR. » :

Dans le cas où il y a une seule espèce d'arbre, le processus d'évaluation du nombre maximum d'arbres possible, son statut dans la zone urbaine est évalué comme suit :

$$N_{tree} = \frac{L_{can}}{D_{tree}} \cdot 2 \quad \dots\dots\dots \text{VI.1}$$

Quant à la zone verte occupée par un seul arbre, elle est évaluée comme suit:

$$S_{tree} = \frac{\pi \cdot D_{tree}^2}{4} \quad \dots\dots\dots \text{VI.2}$$

Espace vert public occupé par le nombre maximum d'arbres proposés. GCA comme suit:

$$GCA = N_{tree} \cdot S_{tree} \quad \dots\dots\dots \text{VI.3}$$

Dans le cas où il existe un seul type d'arbre, le processus d'évaluation du nombre maximal d'arbres pouvant être placés dans la zone urbaine est évalué comme suit:

$$GCR = \frac{GCA}{L_{can} \cdot W_{can}} \quad \dots\dots\dots \text{VI.4}$$

VI. 1. 3. Caractéristiques d'ombrage de l'arbre retenu

La dimension et la forme de la plante (la hauteur maximum et sa structure) dont la couronne et les branches changent d'une espèce d'arbre à une autre, influencent fortement la forme de l'ombre projetée. Par conséquent, ils détermineront les surfaces horizontales et verticales à protéger. Figure. VI. 8.

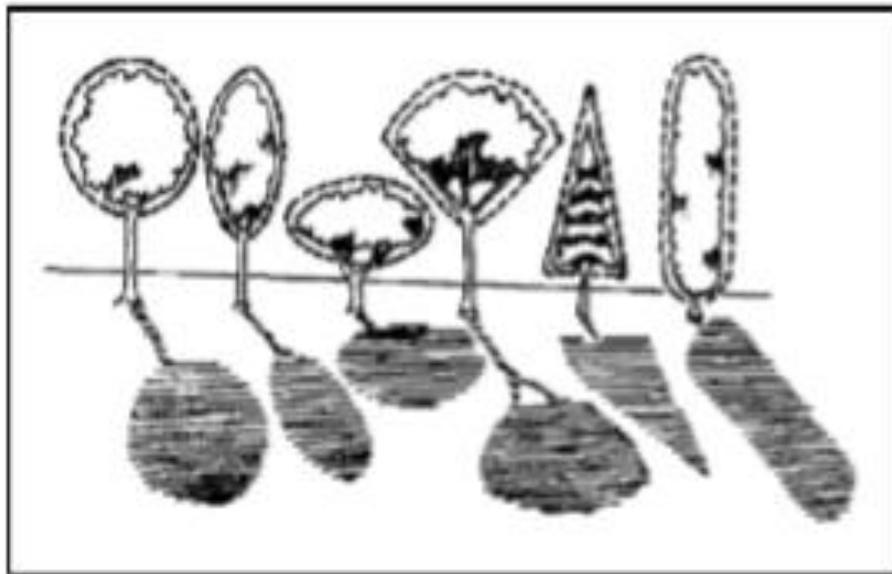


Figure VI. 8. Formes des ombres projetées selon les différentes formes d'espèces d'arbres. **Source :** Meerow et al (1991)

Rappelons que notre étude vise à produire de l'ombre par l'insertion d'une végétation sous forme d'arbres urbains, au sein de la placette université de Biskra, qui aura comme rôle principal à jouer est la protection solaire en été, en conséquence, l'arbre à couronne conifère dont l'écran est opaque sont les plus sollicités, surtout celles avec de larges couronnes qui offrent plus d'ombre surtout entre 11h 00 et 15h 00, les heures de surchauffe de la journée. Figure. VI. 9.

Ensuite, il est préconisé de procéder a une implantation selon une trame régulière, qui se détermine en fonction des caractéristiques géométriques de l'arbre.

Figure.VI. 10

VI. 1. 4. Évaluation du rapport de pourcentage d'arbres implanté par GCR et détermination du pourcentage de l'espace végétalisé GnPR.

Avant de commencer le processus de simulation, un rapport doit être déterminé le pourcentage GCR max Pour expérimenter et simuler son comportement climatique à partir du GCR avant le début du processus de simulation, un ratio doit être déterminé Sur la base de ce pourcentage, nous ferons une évaluation de la surface végétalisé total et le rapport de l'espace végétalisé GNPR.

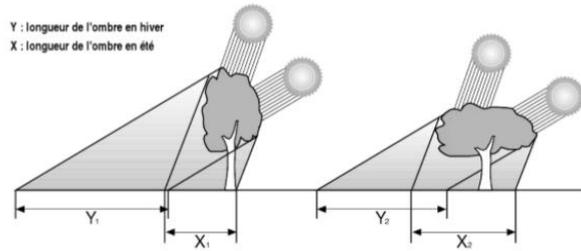


Figure.VI. 9. Influence de la hauteur et de la forme du houppier sur l'efficacité de l'ombrage, la géométrie de l'arbre de droite est plus avantageuse à la fois en hiver et en été (Y2 < Y1).

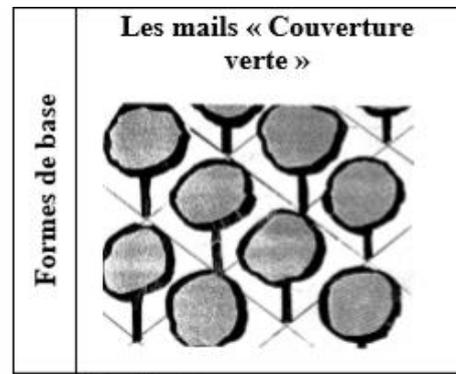


Figure. VI. 10 : Dimension nécessaires pour une idéale plantation d'arbre urbain. **Source** (SUZEL, b et al 2008)

$$GnPR_{tree} = [(Coverage shaded trees)/(Total Area Calculated)] \cdot 6$$

..... VI.5

$$GnPR_{shrubs} = [(Coverage shaded shrubs)/(Total Area Calculated)] \cdot 3$$

..... VI.6

$$GnPR_{Grass} = [(Coverage shaded Grass)/(Total Area Calculated)] \cdot 1$$

..... VI.7

$$GnPR = GnPR_{tree} + GnPR_{shrubs} + GnPR_{grass} \quad \text{..... VI.8}$$

VI. 2. Présentation du modèle simulé et du protocole de simulation pour l'optimisation

Rappelons que notre étude vise à produire de l'ombre par l'insertion du végétal urbain (l'arbre urbain) au sein de notre placette à l'université de Biskra. En effet, le rôle à jouer par ce dernier, c'est la protection solaire en été. Autrement dit ; dans cette recherche, ils seront introduits en tant que moyen de réduction du rayonnement global atteignant le sol. L'approche adoptée se résume dans la figure. VI. 11, ci-dessous

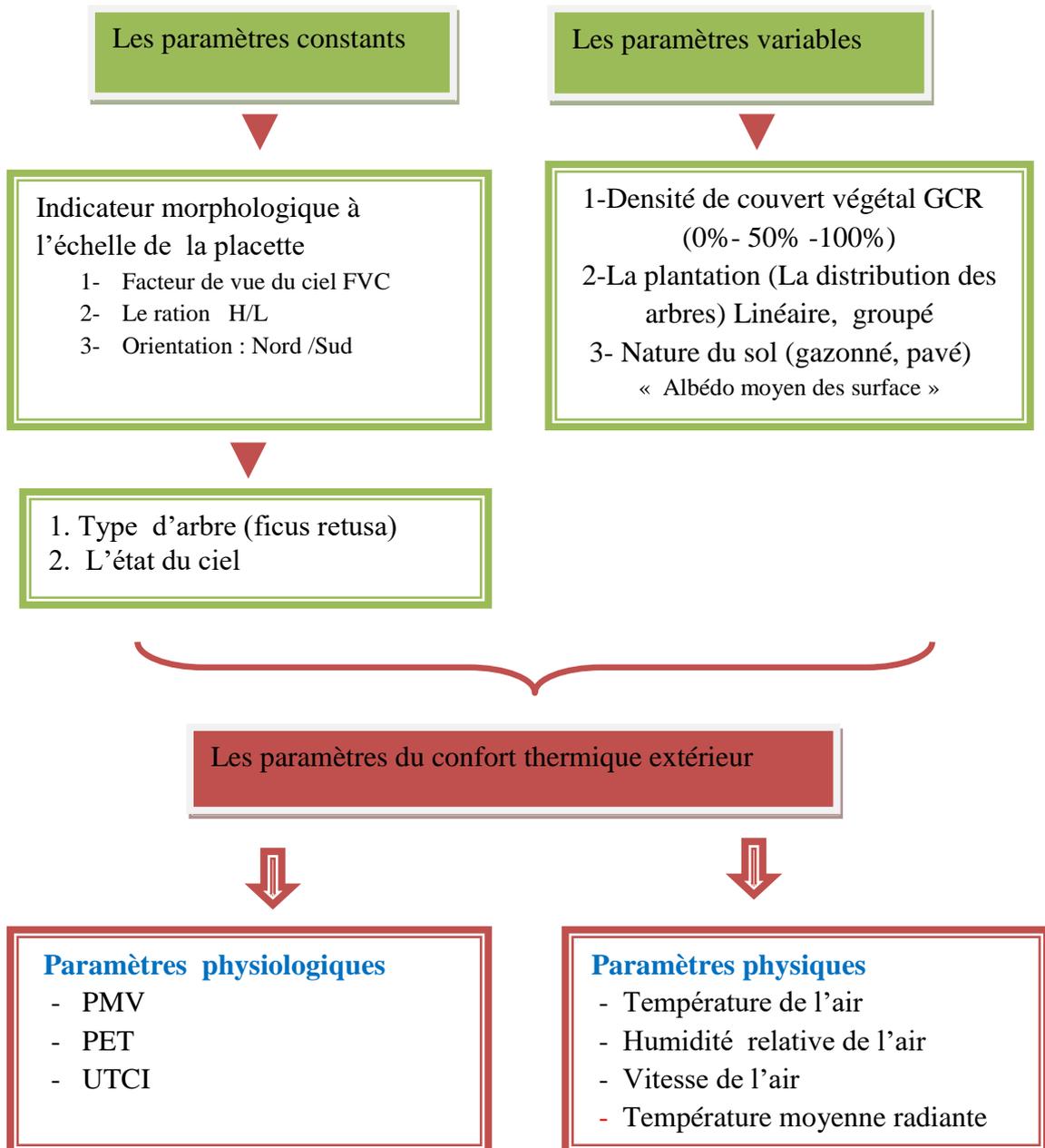


Figure V. 11. Identificatin des paramètres constants et variables. (Source : Auteure 2019)

VI. 3. Protocole de simulation pour améliorer le confort thermique extérieur au niveau de la placette .

Pour l'optimisation (l'amélioration des conditions de confort thermique au niveau de la placette urbaine). Les scénarios proposés pour améliorer le confort thermique extérieur dans la placette se fera selon les trois variables qui suivent :

- Densité du couvert végétal GCR = 0%, 50% ,100%.
- Effet d'orientation et de la plantation des arbres ; Linéaire ou groupé.
- Effet de la nature du sol (gazon, pavé).

Le protocole de simulation est synthétisé dans la figure. VI. 12, qui suivent.

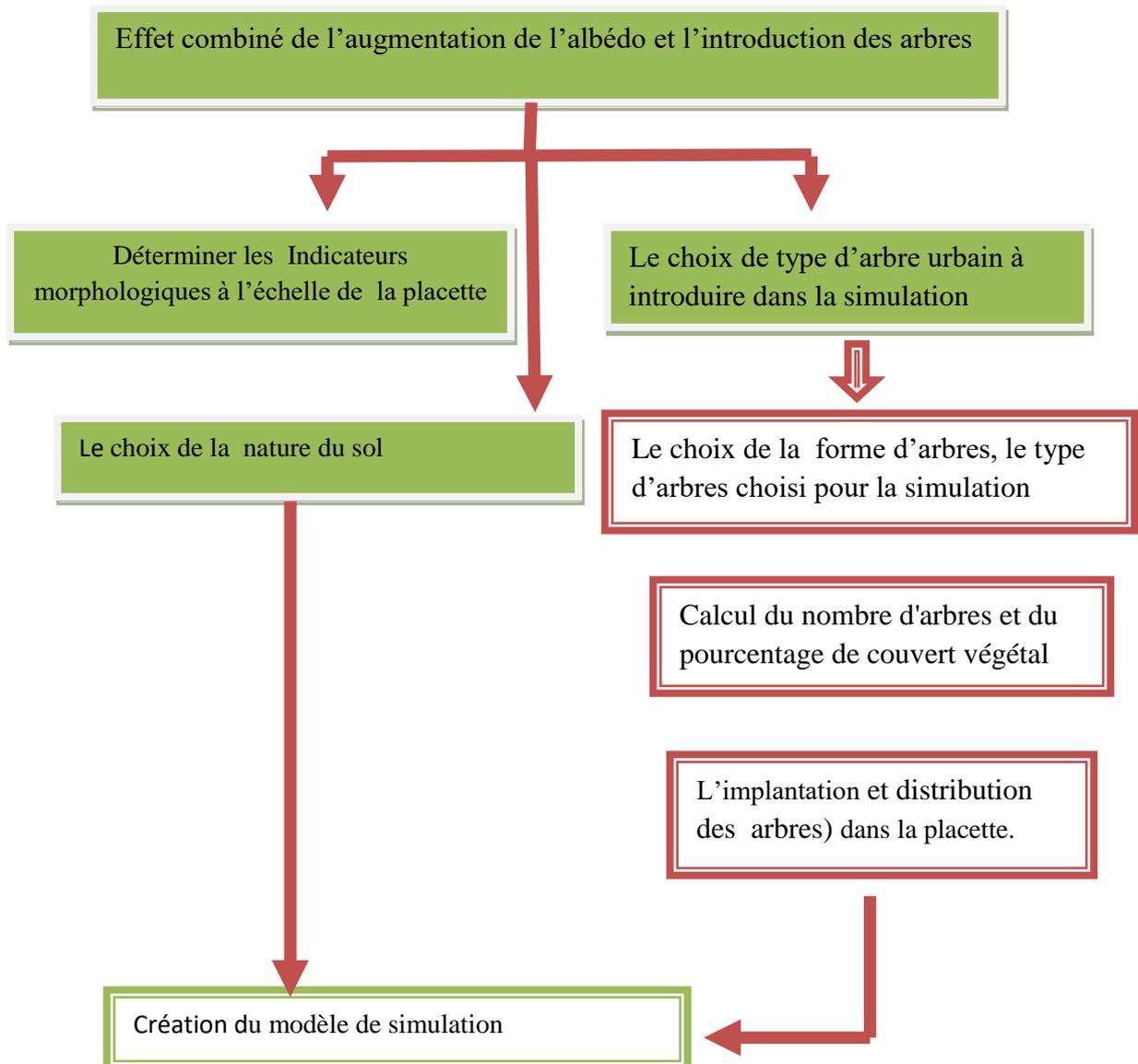


Figure V. 12. Phase de preparation des dessins pour l'optimisation du confort thermique extérieur au niveau de la placette . (Source : Auteure, 2019)

VI. 4. Simulation de l'effet de densité et disposition des arbres ficus et nature du sol sur les paramètres climatiques et les indices de confort thermique PET, UTCI et PMV.

Afin de tester l'effet de densité du couvert végétal et la disposition des arbres (ficus retusa) ainsi que la nature du sol sur les paramètres microclimatiques (T_{air} , H_r , V_{air} , T_{mrt}) et les paramètres du confort thermique (PET, UTCI et PMV) les différents traitements de la placette sont opérés sur la densité du couvert végétal, la disposition des arbres et la nature du sol tout en gardant les caractéristiques morphologiques de l'environnement, dans ce contexte, 18 scénarios de plans d'aménagements ont été développés:

Tester l'effet de la densité de couvert végétal GCR, dans les cas : 0%, 50% et 100%.

Tester l'effet d'un seul type d'arbre (ficus retusa), mais dans deux cas de types de revêtement du sol et pour les différents plans d'implantation

Quantifier la qualité du microclimat urbain dans la placette par la détermination des paramètres microclimatiques et les indices du confort thermique.

Dans chaque cas, nous simulerons le comportement climatique de la placette dans chacun des cas du pourcentage du GCR utilisé, celui-ci est déterminé avec un taux d'augmentation de 50%, on aura, conséquemment, les cas: 0%, 50% et 100%.

Pour ces trois cas de figures, deux types de sol à prendre en considération, à savoir : le sol en pavé gris et le sol naturel gazonné pour en déduire l'effet de l'herbe, aussi, sur le confort thermique.

A ce stade, quatre scénarios se dégagent pour les cas 0% et 100% du couvert végétal, avec deux scénarios chacun.

Par contre, le 50% du couvert végétal, nous donne le plus grand nombre de scénarios et ce, selon la disposition des arbres ou nous avons deux groupes de disposition ; groupées et linéaires. (Picot, 2004).

Dans le cas d'arbres groupées, on a cinq scénarios ; Disposition au Nord de la placette, au centre, au Sud, à l'est et à l'Ouest.

Dans le cas d'une disposition linéaire, deux scénarios sont prévus ; selon l'axe des X et selon l'axe des Y, aussi, dans ce cas et pour les deux cas du sol, on a les sept scénarios fois deux, un total de quatorze scénarios, dans le cas du couvert végétal à 50%.

Ce qui nous donne un global de 18 scénarios, ***ce qui veut dire un total de 18 plans d'aménagement*** différents sans compter le scénario de la placette à son état initial. Et pour maîtriser cette quantité de scénarios, on les organise dans un plan factoriel pour qu'ils soient maîtrisables, selon le tableau qui suit :

VI. 4. 1. Présentation des différents scénarios

Le scénario N°1: la placette sans végétation (0% arbres à feuilles persistants ,100% sol pavé gris)

Le scénario N°2: la placette sans végétation (0% arbres à feuilles persistants, 100% sol gazonné).

Le scénario N°3: la placette avec végétation (50% arbres à feuilles persistants, 100 % sol pavé gris, arbres groupés au Nord de la placette)

Le scénario N°4: la placette avec végétation (50% arbres à feuilles persistants, 100% sol gazonné, arbres groupés au Nord de la placette).

Le scénario N°5 : la placette avec des végétations (50% arbres à feuilles persistants, 100% sol pavé gris, les arbres groupes au centre de la placette)

Le scénario N°6: la placette avec végétation (50% arbres à feuilles persistants ,100% sol gazonné les arbres groupes au centre de la placette)

Le scénario N°7 : la placette avec végétation (50% arbres à feuilles persistants, 100% sol pavé gris, les arbres groupes au sud de la placette)

Le scénario N°8 : la placette avec végétation (50% arbres à feuilles persistants 100% sol gazonné La distribution des arbres groupe ou sud de la placette)

Le scénario N°9 : la placette avec végétation (50% arbres à feuilles persistants, 100% sol pavé gris, les arbres Linéaires selon l'axe des X, Est- Ouest de la placette)

Le scénario N°10 : la placette avec végétation (50% arbres à feuilles persistants, 100% sol gazonné, les arbres Linéaires selon l'axe des X, Est- Ouest de la placette)

Le scénario N°11: la placette avec végétation (50% arbres à feuilles persistants, 100% sol (pavé gris, La distribution des arbres Linéaires selon l'axe des Y, Nord-Sud de la placette)

Le scénario N°12 : la placette avec végétation (50% arbres à feuilles persistants, 100% sol gazonné, les arbres Linéaires selon l'axe des Y, Nord-Sud de la placette)

Le scénario N°13 : la placette avec végétation (100% arbres à feuilles persistants, 100% sol pavé gris de la placette)

Le scénario N°14 : La placette avec des végétations (100% arbres à feuilles persistants, 100% sol gazonné de la placette)

Le scénario N°15 : la placette avec des végétations (50% arbres à feuilles persistants, 100% sol pavé gris, les arbres groupes a l'est de la placette)

Le scénario N°16 : la placette avec des végétations (50% arbres à feuilles persistants 100% sol gazonné, les arbres groupes ou l'est de la placette)

Le scénario N°17 : la placette avec végétation (50% arbres à feuilles persistants, 100% sol pavé gris, les arbres groupes a l'Ouest de la placette)

Le scénario N°18 : la placette avec végétations (50% arbres à feuilles persistants, 100% sol gazonné, les arbres groupent à l'Ouest de la placette.

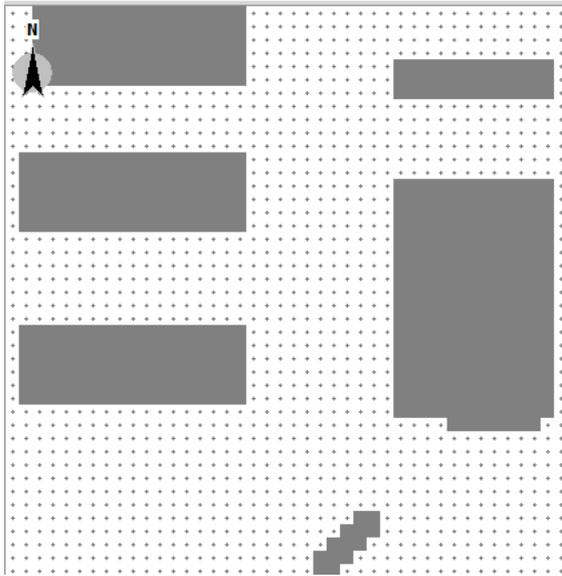
Les 18 scénarios sont décrits là-dessous avec leurs fichiers (.INX) et sont reportés dans le (Tableau VI.2) : (plan factoriel)

Les scenarios	Distribution des arbres dans la placette							Nature du sol		Densité de couvert végétal GCR (0%- 50% -100%)		
	Groupé					Linéaire		Pavé	gazonne	0%	50%	100%
Nord	Centre	Sud	Est	Ouest	Selon l'axe (X)	Selon l'axe (Y)						
01								+		+		
02									+	+		
03	+							+			+	
04	+								+		+	
05		+						+			+	
06		+							+		+	
07			+					+			+	
08			+						+		+	
09						+		+			+	
10						+			+		+	
11							+	+			+	
12							+		+		+	
13								+				+
14									+			+
15				+				+			+	
16				+					+		+	
17					+			+			+	
18					+				+		+	

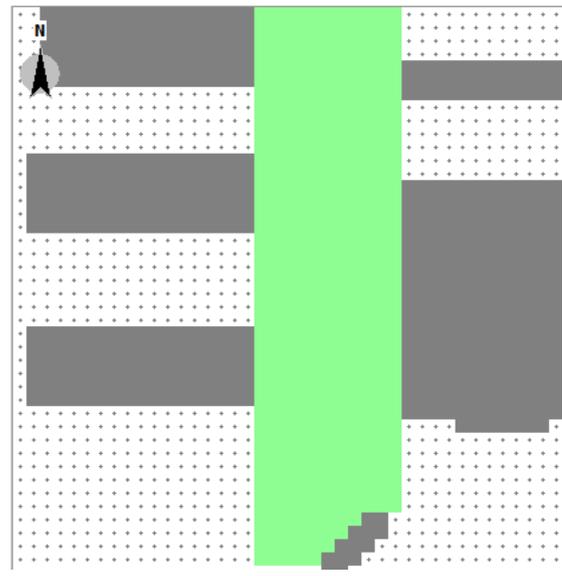
Tableau VI.2 : (Plan factoriel) Les différents scénarios de modélisation et de simulation. (Source : Auteure, 2019)

Les Résultats de la modélisation présentent **des scénarios sous format data**, ils sont reportés ci-dessous, ou chaque scénario est doté d'un **dessin en 2D fait à l'aide du Modèle spaces (Fichier éditeur (.INX) « Spaces »)**. Les plans d'aménagements, selon les scénarios, sont comme suit : Figure. VI. 13. Résumant les figures de 01 à 18.

VI. 5. Cas de la Densité du couvert végétal $GCR = 0\%$: 02 scenarios comme suit :



Plan d'aménagement en 2D Scenario n: 01

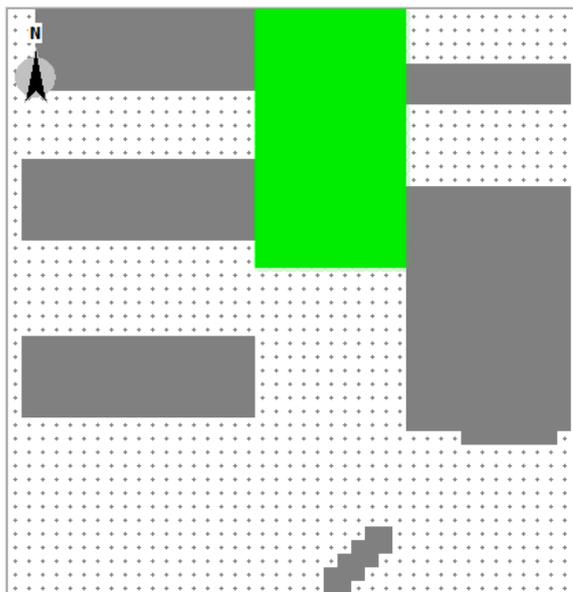


Plan d'aménagement en 2D Scenario n : 02

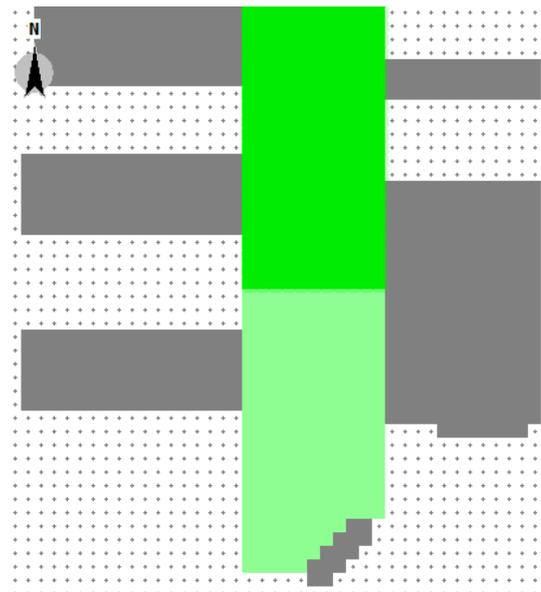
VI. 6. Cas de la Densité du couvert végétal $GCR = 50\%$

VI. 6. 1. Cas dispositifs des arbres groupés : 10 scenarios comme suit :

VI. 6. 1. 1. Orientation et disposition au Nord de la placette

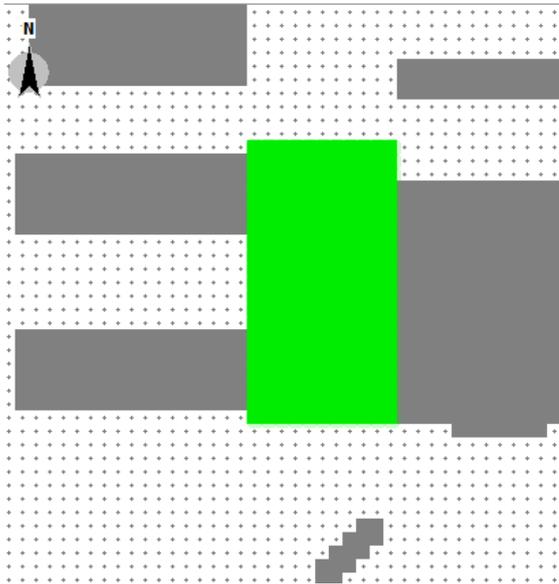


Plan d'aménagement en 2D Scenario n: 03

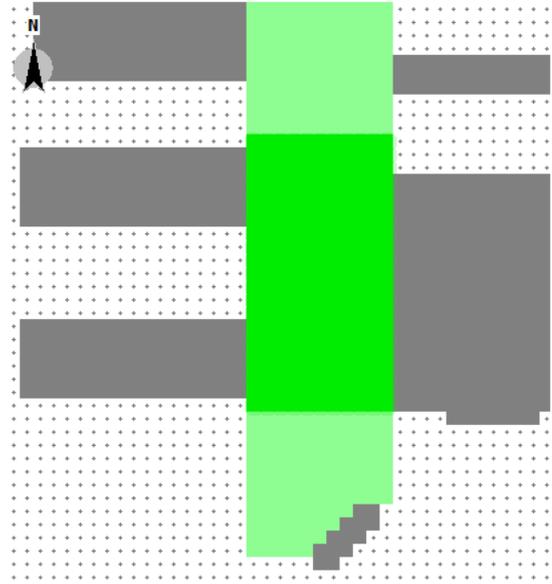


Plan d'aménagement en 2D Scenario n : 04

VI. 6. 1. 2. Orientation et disposition au Centre de la placette

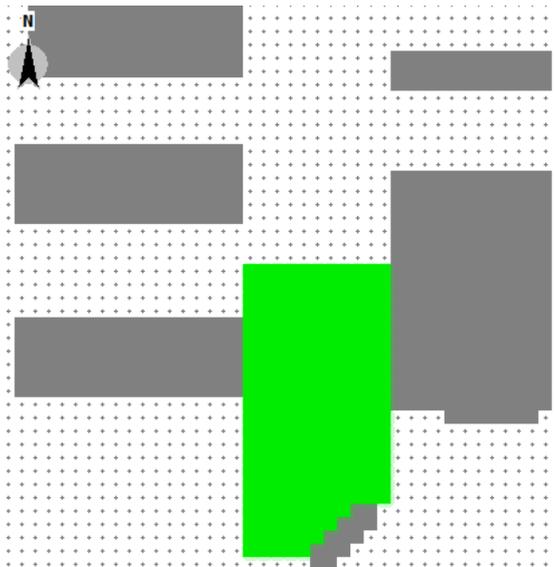


Plan d'aménagement en 2D Scenario n: 05

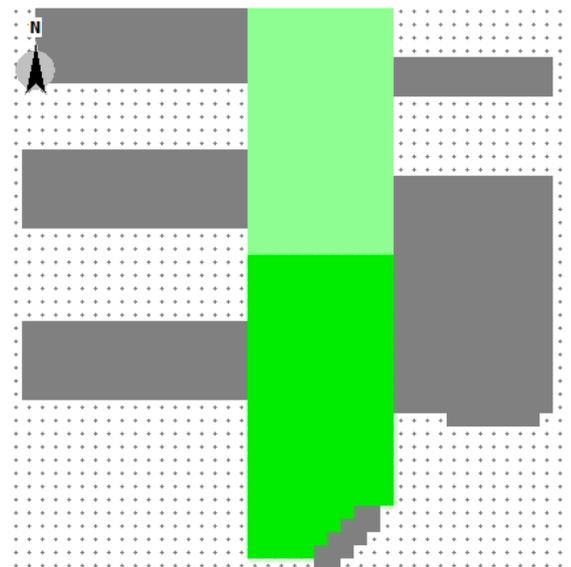


Plan d'aménagement en 2D Scenario n: 06

VI. 6. 1. 3. Orientation et disposition au Sud de la placette

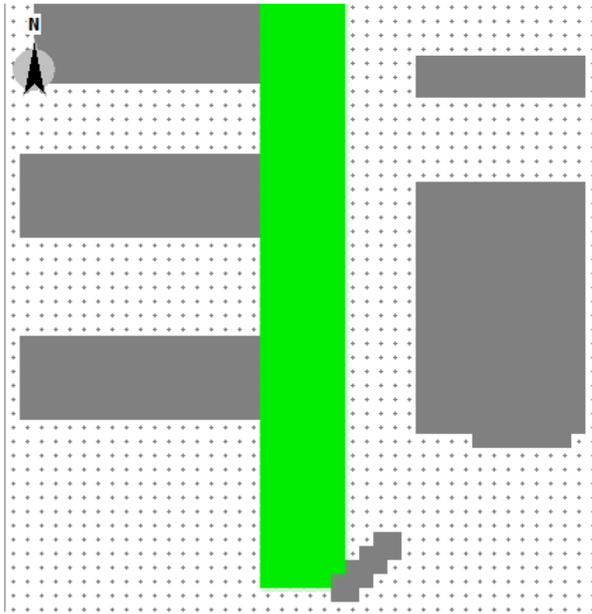


Plan d'aménagement en 2D Scenario n: 07

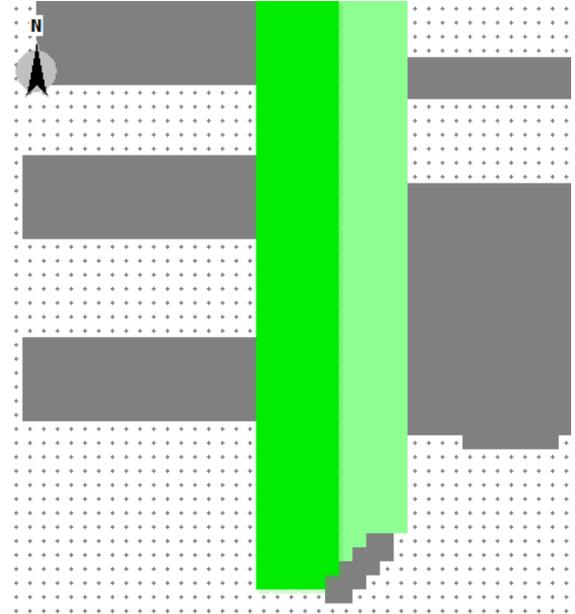


Plan d'aménagement en 2D Scenario n: 08

VI. 6. 1. 4. Orientation et disposition à l'Ouest de la placette

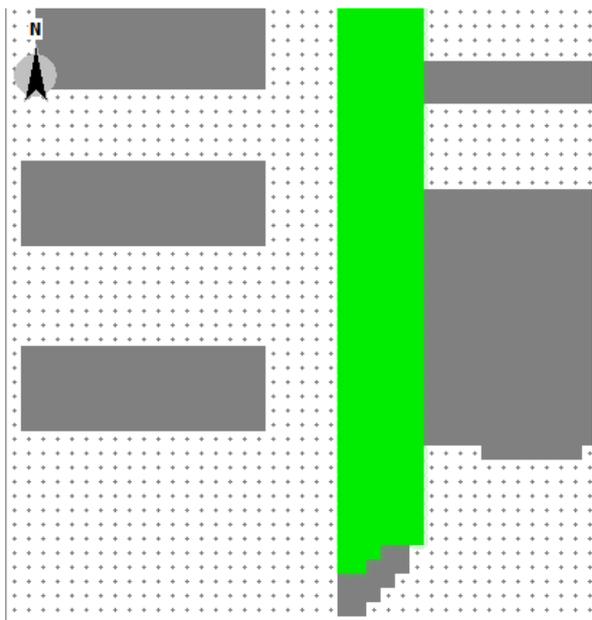


Plan d'aménagement en 2D Scenario n: 15

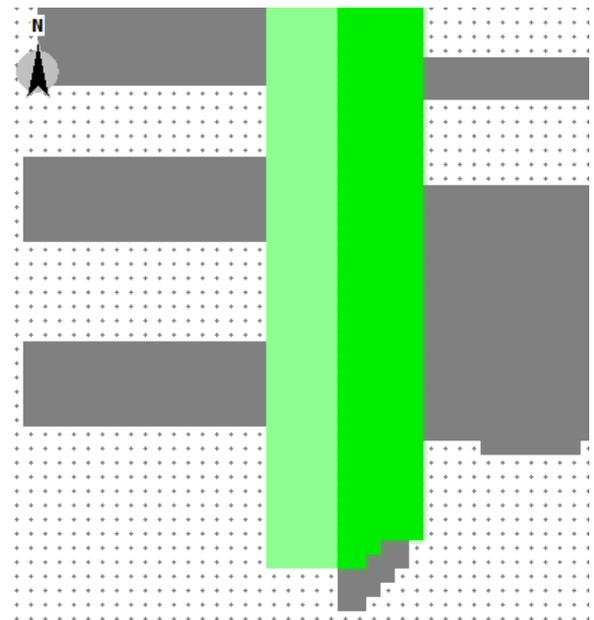


Plan d'aménagement en 2D Scenario n: 16

VI. 6. 1. 5. Orientation et disposition à l'Est de la placette



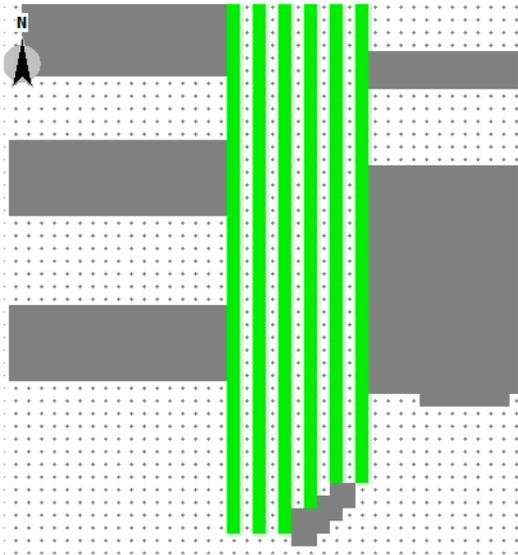
Plan d'aménagement en 2D Scenario n: 17



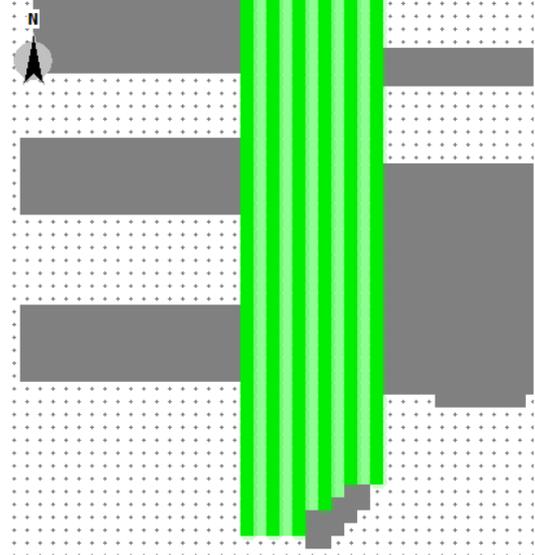
Plan d'aménagement en 2D Scenario n : 18

VI. 6. 2. Cas des dispositifs des arbres Linéaires

VI. 6. 2. 1. Dispositifs selon l'axe Y : (Nord-Sud)



Plan d'aménagement en 2D Scenario n: 09

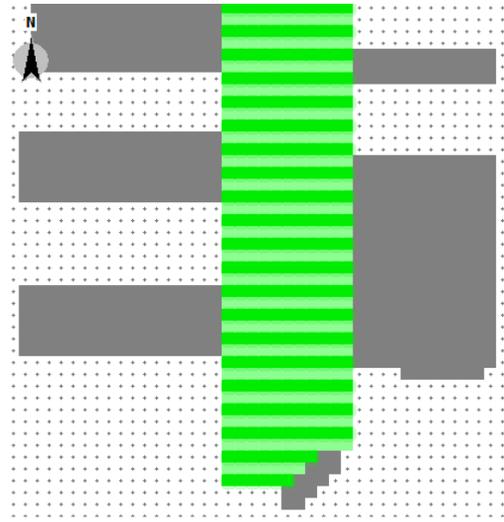


Plan d'aménagement en 2D Scenario n: 10

VI. 6. 2. 2. Dispositifs selon l'axe X : (Est-Ouest)

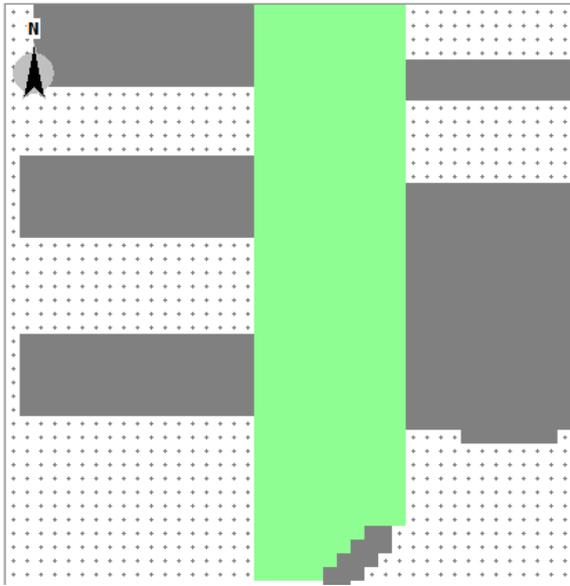


Plan d'aménagement en 2D Scenario n: 11

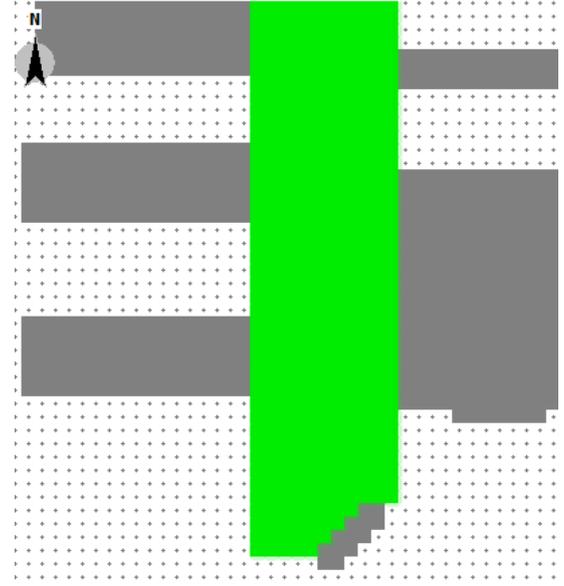


Plan d'aménagement en 2D Scenario n:12

VI. 7. Cas de la Densité du couvert végétal GCR= 100%, 02 scenarios comme suit :



Plan d'aménagement en 2D Scenario n: 13



Plan d'aménagement en 2D Scenario n: 14

Figure VI. 13 : Présentation les différents Fichiers d'entrée (.INX) de la zone étudiée pour scenarios de modélisation et simulation. (Source : Auteure, 2019).

VI. 8. Interprétation des résultats obtenus

Avant d'entamer la présentation et la discussion des résultats de la présente recherche, un rappel sur les paramètres microclimatiques simulés et à comparer serait nécessaire. Cela concerne ; la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse du vent et la température moyenne radiante (T_{mrt}), (voire le chapitre IV, section IV.7.2), et les paramètres de confort thermique extérieur. (PET, UTCI et PMV). (Voire le chapitre II. section II.7.2),

VI. 8. 1. L'effet de la densité du couvert végétal GCR simule sur le confort thermique dans la placette.

Trois cas de figures sont développés pour étudier l'effet de la densité du couvert végétale, (à savoir ; le cas 01, sans introduction d'arbres et sera de référence, le cas 02 avec une densité de végétation estimée à 50% de la surface de la placette, et cas 03 avec la placette complètement végétalisée), sur les paramètres microclimatique simulés et le confort thermique extérieur qui en résulte. On présentera la placette désormais ; placette améliorée.

V. 8. 2. Détermination des paramètres microclimatique simulés dans la placette améliorée avec GCR = 00%

Deux scénarios « plans d'aménagements », dans ce cas, suivant le revêtement du sol, on a ; le cas 1, lorsque le sol est en pavé gris 100% dans la placette alors que le deuxième cas est pris comme étant naturel avec du gazon à 100%. Comme déjà précité, que le confort

thermique dans les places est lié aux températures ambiantes qui à leur tour sont affectées par l'albedo du sol, qui dans le cas d'un sol en pavés gris présente un albedo de valeur 0,22 alors que l'albedo dans le cas du sol gazonné à 100% est de 0.27 en moyenne, ce qui montre une très légère amélioration du confort thermique par rapport au sol en pavé gris. Figure. VI. 14.

Le traitement des données microclimatiques avec les nouvelles valeurs d'albedo à donné comme résultats le graphique ; VI. 01, qui suit et le tableau VI.3, ci- dessous

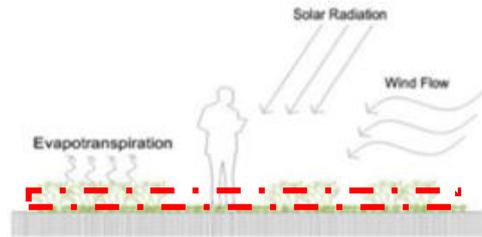


Figure.VI. 14: Impact of Herb. (Source: Tuli, 2014)

Scénario : 1-2.

ENV-met 4.4.5 © 2020

L'arbre Ficus retusa, hauteur 8 m, diamètre de la couronne 5 m « famille, moraceae »

Station météorologique de Biskra, placette campus université de Biskra,

horizon limitation: 87 % , longitude: 5°73 , latitude: 34°80' , time zone: UTC +1.0 h . La modélisation de ce cas en donne les représentations ; Figure. VI. 15

	GCR= 0% Sol pavé gris100% Albedo=0.22				GCR= 0% Sol gazonné 100% Albedo=0.27			
	T air	Hr	Vair	Tmrt	T air	Hr	Vair	Tmrt
08.00h	33.98	31.49	1.02	63,42	32.65	31.67	0.86	62,55
10.00h	38.05	25.30	1.03	72.21	37.93	25.50	0.86	72.16
12.00h	42.92	20.61	1.05	73,99	42.70	20.78	0.88	73.69
14.00h	47.85	14.45	1.05	82.20	46.15	15.46	0.89	81.98
16.00h	46.15	11.86	1.05	83.82	45.51	12.81	0.89	83,45

Tableau V. 3 : Résultats de l'effet de l'albedo dans la placette, le cas GCR = 0%. (Source : Auteure, 2020)

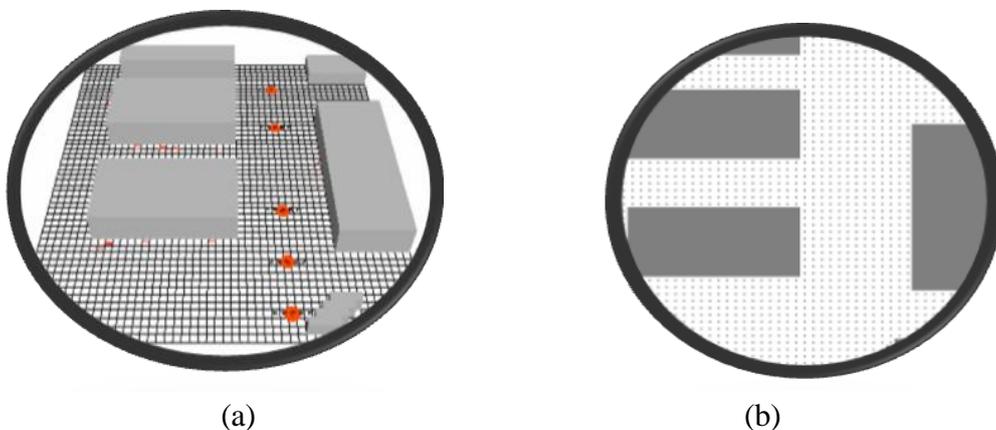
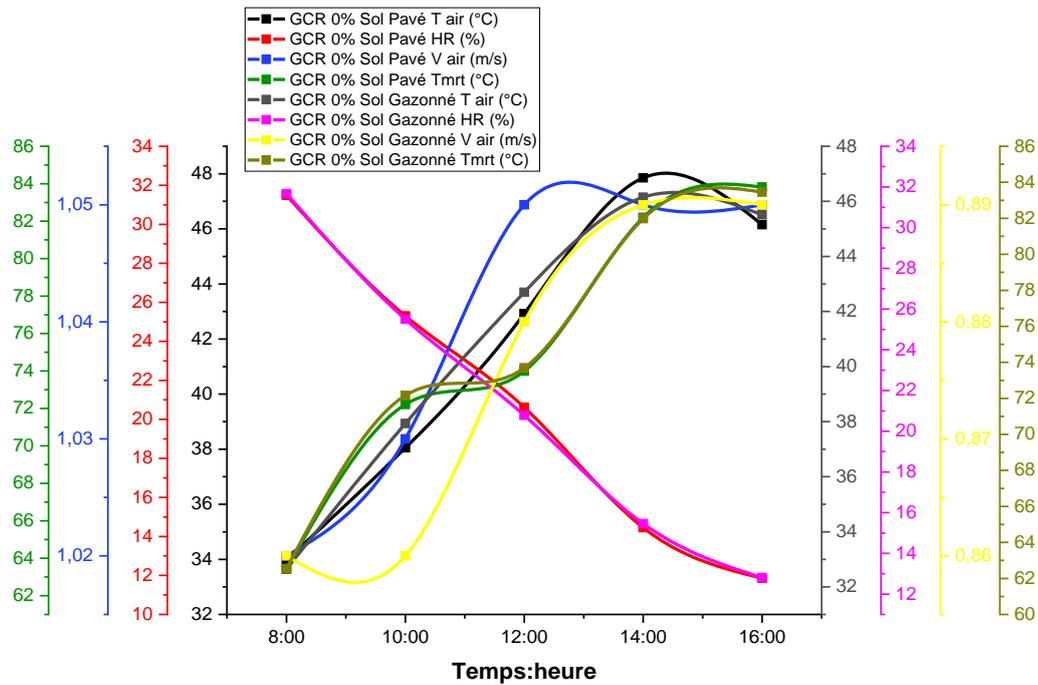


Figure. VI. 15 : Medelisation de la placette étudiée sans végétation, fichier d'entrée de la zone étudiée (.inx) pour « scenario N°1, GCR = 0% » (a) model area 3D (b) model area 2D. (Source : Auteure, 2019)



Graph. VI. 01 : Comparaison entre le sol pavé gris 100% « Albedo= 0.22 » et le sol gazonné 100% « Albedo=0.27 » dans la placette cas GCR= 0% (Source : Auteure, 2020)

VI. 8. 3. Détermination des paramètres microclimatique simulés dans la placette améliorée avec GCR = 50%

L'amélioration du microclimat par l'introduction des arbres est appréhendé dans les différentes recherches en tant que solution pour l'amélioration du microclimat par la réduction du facteur de vue du ciel, moyen de diriger où de réduire l'écoulement du vent et enfin une solution pour augmenter le flux latent par rapport au flux sensible.

Dans ce sens la densité du couvert vegetal a une influence preponderante sur l'ambiance thermique, dans cette évocation ; **quinze scenarios** ont été retenus pour mettre en evidence l'effet de cette densification, nos choix sont definis comme suit :

VI. 8. 3. 1. Echantillon d'arbres tests

Le type d'arbre choisi pour la simulation est d'espèce persistant permettant un ombrage recherché en période estivale, selon la biblitheque du logiciel Envi-met, notre arbre est obtenue a partir de 3D plant, New deciduous trees, LAD : High, Forme : Spherical, presente les caracteristiques suivantes : **Le ficus retusa « [01SSDS]: Spherical Small trunk, dense small 5 m »**, le plus résistant des arbres en milieux arides et semi-arides , qui pousse dans la région de Biskra. La modélisation de ce cas en donne les représentations ; Figure. VI. 16.

il est retenu comme le type à adopter, ayant les caractéristiques suivantes, à sa maturité : **Hauteur maximale 8 m, diamètre de la couronne 5 m.** Tableau V.5.

Les valeurs des paramètres climatiques mesurées en situation nue avec sol en pavé gris ont été utilisées afin de pouvoir établir un comparatif avec les différents scénarios.

Le sol de la placette	type	La forme	Caracteristics
Trees (3D tree)	Ficus	Spherical	[1SSDS]:Spherical Small trunk,dense small 5m
Grass	gazons		[0100XX] Grass 25cm aver.dense
Roads § pavements	pavé		[01000PG] Concrete Pavements gray

Tableau. VI. 5: Type de vegetation (type de sols et arbres) utilisés dans le modèle env-met 4.4.5. (Source : Auteure, 2020)

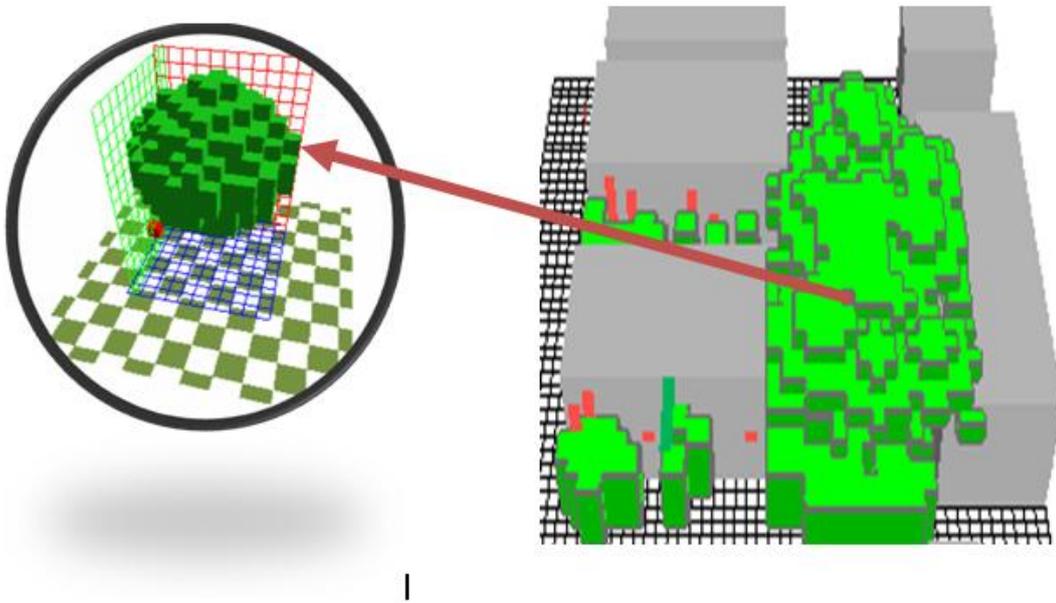


Figure VI. 16 : Medelisation de la placette étudiée, fichier d'entrée de la zone étudiée (.inx) pour scenario « A » l'état initial « model area 3D » avec végétation **modèle d'arbres (GT)** intégré (Source : Auteure, 2020)

Dans le cas d'une densité de 50%, on a les scénarios suivants, dans le cas d'un sol en pavé gris selon la bibliothèque du logiciel Envi-met est obtenue à partir de roads § pavements ,«[(01000 PG]concerte Pavements gray » et idem pour un sol gazonné , plant simple, Grass : « [0100xx] Grass 25cm aver.dense » (voir tableau VI. 5), ce qui nous donne quatorze scénarios.

En mode groupé, on a dix scénarios

- 1- Disposition des arbres groupés, au Nord. (pour sol en pavé gris et sol gazonné)
- 2- Disposition des arbres groupés, au centre. (pour sol en pavé gris et sol gazonné)
- 3- Disposition des arbres groupés, au Sud. (pour sol en pavé gris et sol gazonné)
- 4- Disposition des arbres groupés, à l'Est (pour sol en pavé gris et sol gazonné)
- 5- Disposition des arbres groupés, à l'Ouest (pour sol en pavé gris et sol gazonné)

En mode linéaire, on a deux cas, qui nous donne quatre scénarios ; Figure. VI. 17.

- 1- Disposition des arbres linéairement suivant l'axe des « X » **Est - Ouest** (pour sol en pavé gris et sol gazonné)
- 2- Disposition des arbres linéairement suivant l'axe des « Y » **Nord - Sud** (pour sol en pavé gris et sol gazonné)

Les valeurs des paramètres climatiques simulées en situation nue avec sol en pavé gris ont été utilisées comme références.

La simulation par le biais du modèle Envi-met 4.4.5 a donné des résultats selon le diagramme et les tableaux VI. 6 et VI. 7 et figure. VI. 17 qui suivent.

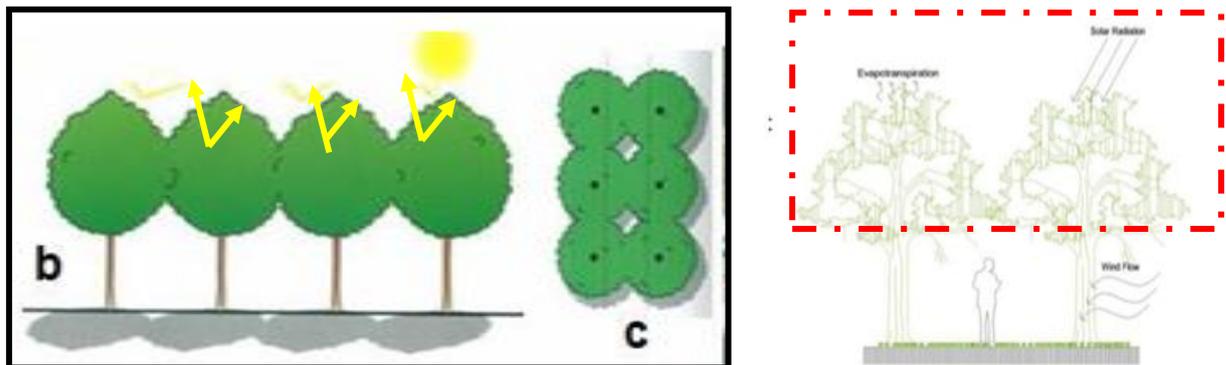


Figure. VI. 17: Impact de l'implantation linéaire des arbres qui empêche le passage des rayons solaires, (b) et (c) un vrai masque aux rayons solaires, adopté dans notre conception et présente la qualité de l'ombre. (Source: Tuli, 2014)

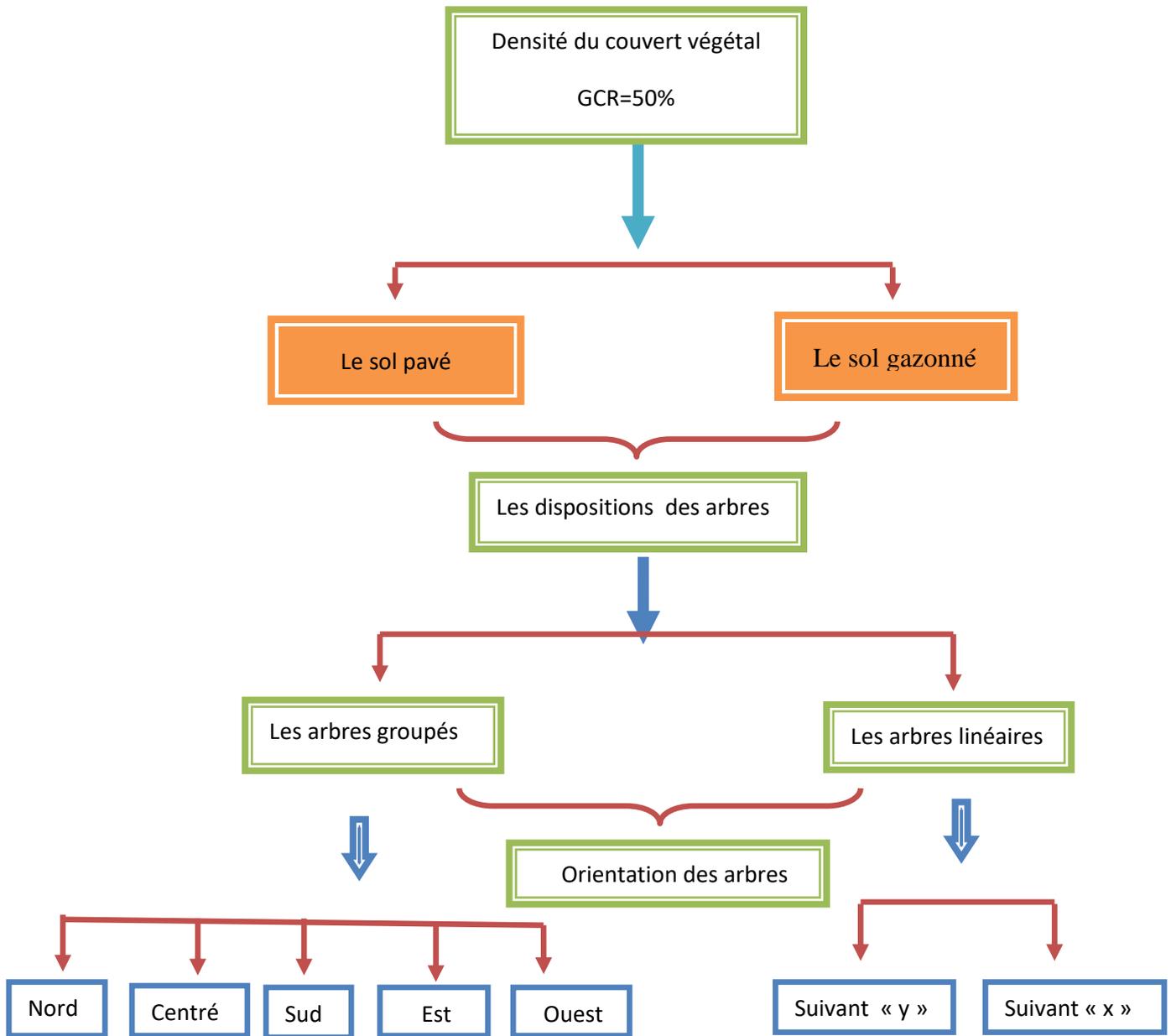


Figure. VI. 17 : Diagramme du processus de traitement du cas de la placette avec GCR = 50%, dans les deux cas de sol; sol pavé et sol gazonné. (Source : Auteure, 2020).

Scénario13-14.

L'arbre Ficus retusa, hauteur 8 m, diamètre de la couronne 5 m « famille, moraceae »

ENV-met 4.4.5 © 2020

Station météorologique de Biskra,

Placette campus université de Biskra, horizon limitation: 87 %,

Longitude: 5°73', latitude: 34°80', time zone: UTC +1.0 h.

Sol pavé 100% Albedo= 0.22																															
Implantation groupé																				Implantation linéaire											
Nord				Centre				sud				L'est				L'ouest				Selon l'axe =X				Selon l'axe =Y							
Tair	Hr	Vair	Tmrt	Tair	Hr	Vair	Tmrt	Tair	Hr	Vair	Tmrt	Tair	Hr	Vair	Tmrt	Tair	Hr	Vair	Tmrt	Tair	Hr	Vair	Tmrt	Tair	Hr	Vair	Tmrt	Tair	Hr	Vair	Tmrt
08.00h	32.5	34.2	01.	37.6	31.1	34	0.90	37.5	31.1	34	0.90	37	31	0.9	0.90	37	30	31	0.9	37	31.0	33.1	0.9	35	31.0	34	0.9	35.1			
10.00h	37.2	24.8	01	56.8	37.6	25	0.90	56.4	37.7	25	0.90	56	37	0.9	0.90	56	37	37	0.9	56	37.0	26.1	0.9	58	37.0	26	0.9	55.8			
12.00h	42.5	21.2	01	68.5	42.5	20	01	68.2	42.6	20	01.0	68	42	01	01.0	68	42	42	01	68	42.5	21.3	01.	67	42.5	21	01	67.6			
14.00h	45.8	13.8	01	75	45.7	13	01	74.5	45.7	13	01	74	45	01	01	74	45	45	01	74	45.5	13.9	01	75	45.5	13	01	73.9			
16.00h	45.7	12.8	01	71.4	46.6	12	0.8	71	46.6	12	0.8	71	46	0.8	0.8	70	46	46	0.8	70	46.4	12.9	0.8	72	46.4	12	0.8	70.7			

Tableau VI. 6 : Résultats de l'effet de la Densité du couvert végétal GCR « 50% » avec sol pavé 100%. (Source : Auteure, 2020)

Scénario13-14.

L'arbre Ficus retusa Hauteur 8 m, diamètre de la couronne 5m « famille, moraceae ».

ENV-met 4.4.5 © 2020

Station météorologique de Biskra

Placette campus université de Biskra

Horizon limitation: 87 %,

Longitude: 5°73', latitude: 34°80', time zone: UTC +1.0 h

Sol gazonné100 %, albédo = 0,27																												
Implantation groupe																	Implantation linéaire											
Suivant l'orientation																	Suivant « x »					Suivant « y »						
Nord				Centre				sud				L'est				L'ouest												
	Tair	Hr	Vair	Tmrt	Tair	Hr	Vair	Tmrt	Tair	Hr	Vair	Tmrt	Tair	Hr	Vair	Tmrt	Tair	Hr	Vair	Tmrt	Tair	Hr	Vair	Tmrt	Tair	Hr	Vair	Tmrt
08.00h	32.5	34.2	01.	37.6	31.1	34	0.9	37.5	31.1	34	0.9	37.6	31	34	0.9	37	30	31	0.9	37	31.0	33.1	0.9	35	31.0	34	0.9	35.1
10.00h	37.2	24.8	01	56.8	37.6	25	0.9	56.4	37.7	25	0.9	56.8	37	24	0.9	56	37	37	0.9	56	37.0	26.1	0.9	58.1	37.0	26	0.9	55.8
12.00h	42.5	21.2	01	68.5	42.5	20	01	68.2	42.6	20	01	68.5	42	21	01	68	42	42	01	68	42.5	21.3	01	67.2	42.5	21	01	67.6
14.00h	45.8	13.8	01	75	45.7	13	01	74.5	45.7	13	01	74.7	45	13	01	74	45	45	01	74	45.5	13.9	01	75.1	45.6	13	01	73.9
16.00h	45.2	12.8	01	71.4	46.6	12	0.8	71	46.6	12	0.8	71.2	46	12	0.8	70	46	46	0.8	70	46.4	12.9	0.8	72.7	46.5	12	0.8	70.7

Tableau. VI. 7 : Résultats de l'effet de la Densité du couvert végétal GCR « 50% » avec le sol gazonné 100 %. (Source : Auteure, 2020).

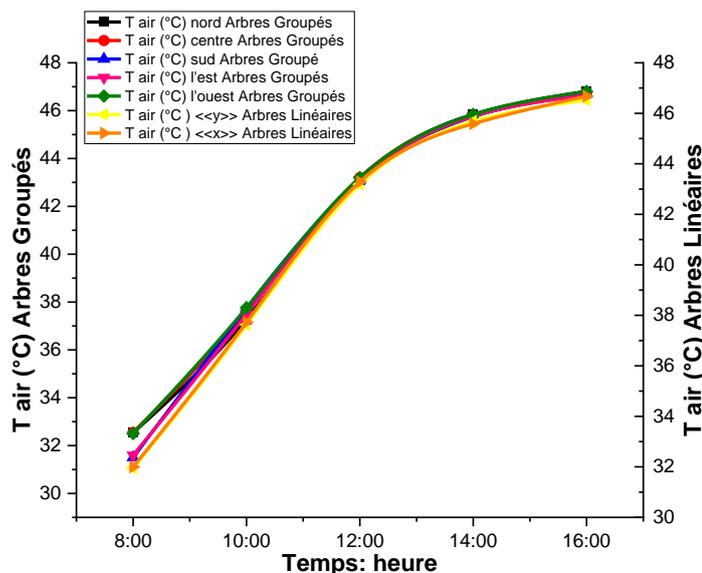
VI. 9. Effet de l'orientation et de la disposition des arbres sur les paramètres climatiques dans les deux cas du sol de la placette

Il s'agit de traiter dans cette partie l'effet de l'orientation et de la disposition des arbres au niveau de la placette sur les paramètres climatiques dans les deux cas de dispositions ; groupé et linéaire, avec la densité du couvert végétal de 50%, et aussi en considérant les deux cas de la nature du sol à savoir en premier lieu ; le sol est complètement en pavé gris et juste après , dans les cas d'un sol complètement gazonné, pour voir s'il y'a effectivement effet du gazon sur les paramètres climatiques et conséquemment sur les indices du confort thermique.

VI.9.1. Effet d'orientation et de la disposition des arbres sur la température de l'air, cas du sol en pavé gris

Dans ce cas, après simulation, on a obtenu les valeurs suivantes selon le tableau ci-dessous ou on remarque que dans le cas des arbres groupé, les valeurs de la température sont très proches les unes des autres, juste à 8h du matin que la différence est sensible au profil de la disposition à l'est. En conclusion l'effet de l'orientation des arbres dans la placette est négligeable.

Par contre dans le cas d'arbres plantés linéairement, ils présentent des résultats meilleurs que la disposition groupée et que par rapport a la température de l'air l'orientation selon « y » (Nord- Sud) s'avère légèrement meilleure que l'orientation « X » (Est-Ouest).
Graphe. VI. 02, ci-dessous

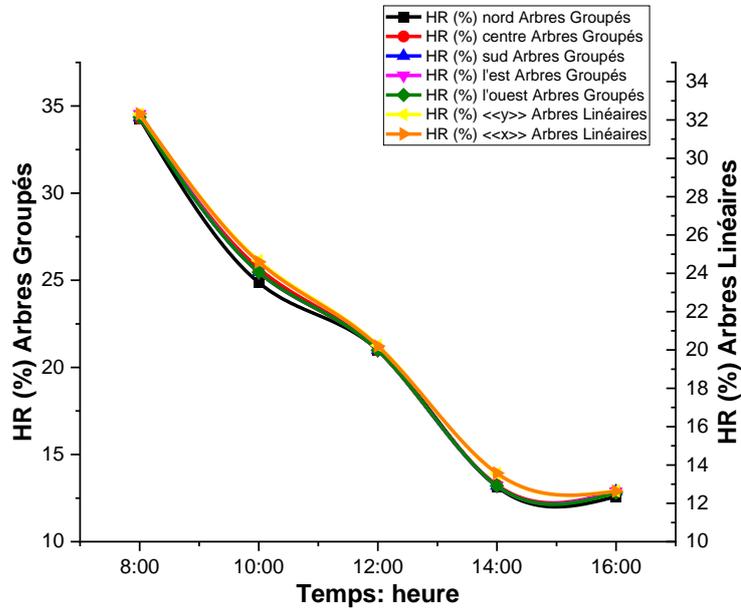


T air (°C) des Arbres Groupés et Linéaires GCR= 50% et le sol pavé gris 100%

Graphe. VI. 02 : Effet d'orientation et la disposition des arbres sur la température de l'air, cas du sol en pavé gris. (Source : Auteure, 2020).

VI. 9. 2. Effet d’orientation et de la disposition des arbres sur l’humidité relative, cas du sol en pavé gris

D’après les résultats, les écarts entre les différents cas est très minime, il s’avère que les regroupements linéaires présentent les meilleurs résultats ou l’orientation selon l’axe des (X) s’avère le plus favorable. Graphe. VI. 03, ci-dessous.

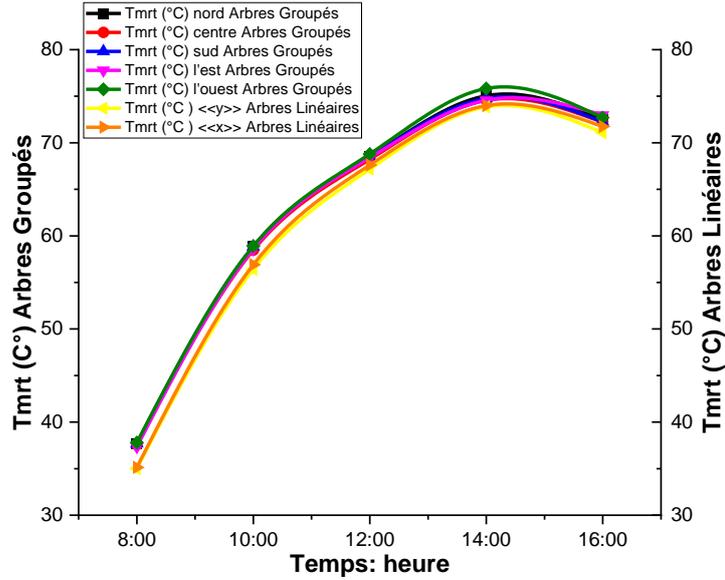


HR (%) des Arbres Groupés et Linéaires GCR= 50% et le Sol pavé gris 100%

Graphe. VI. 03 : Effet d’orientation et la disposition des arbres sur l’humidité relative de l’air, cas du sol en pavé gris. (Source : Auteure, 2020).

VI. 9. 3. Effet d’orientation et de la disposition des arbres sur la Tmrt, cas du sol en pavé gris

Se référant toujours aux résultats on remarque aussi que les cas les plus favorables ou les valeurs sont les plus réduites c’est au niveau des dispositions linéaires avec prédominance de l’orientation selon l’axe des (Y). Le cas le plus défavorable est le regroupe situe au Nord, vers 14h 00. Graphe. VI. 04, ci-dessous.

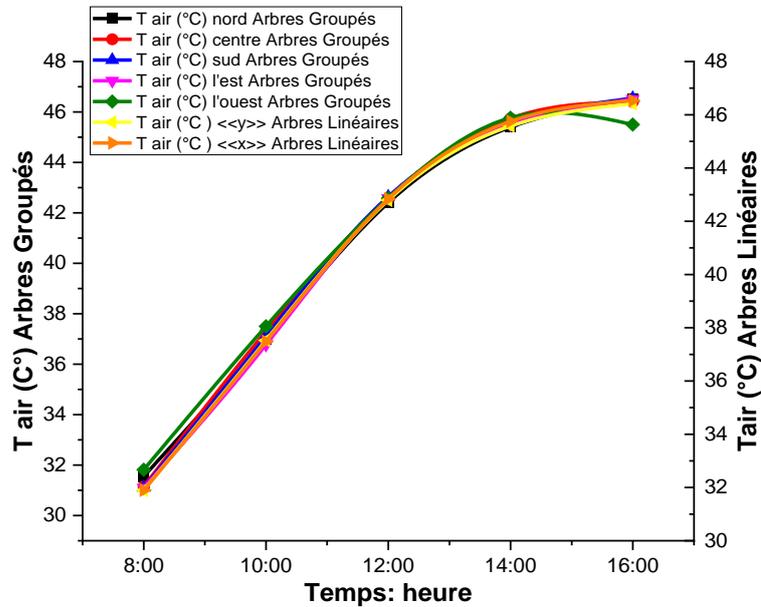


Tmrt (°C) des Arbres Groupés et Linéaires GCR= 50% et le sol pavé gris 100%

Graph. VI. 04 : Effet d'orientation et la disposition des arbres sur la Tmrt, cas du sol en pavé gris. (Source : Auteure, 2020).

VI. 9. 4. Effet d'orientation et de la disposition des arbres sur la température de l'air, cas du sol gazonné

Les écarts entre les différentes dispositions sont presque négligeable avec prédominance de la disposition a l'Est et aussi la disposition linéaire des X et Y jusqu'a 15h 00 et puis après c'est le regroupement d'Ouest qui devient le meilleure avec 45 C. Graph. VI. 05, ci-dessous.

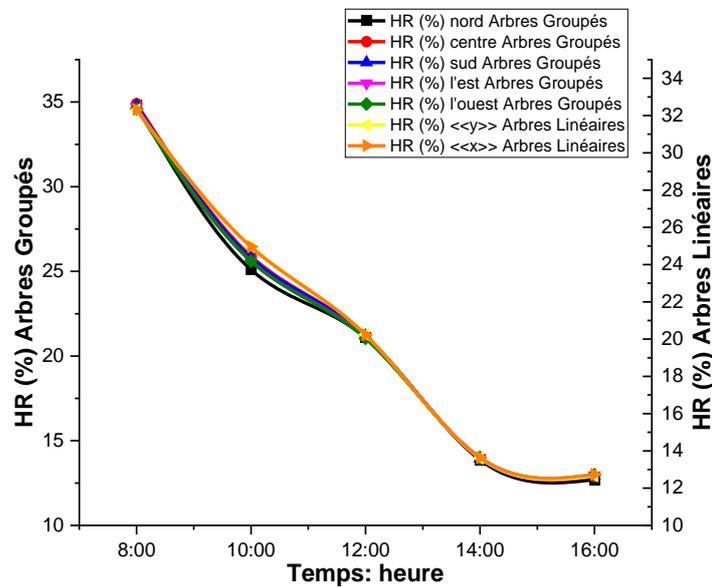


T air (°C) des Arbres Groupés et Linéaires GCR= 50% et sol gazonné 100%

Graph. VI. 05 : Effet d'orientation et de la disposition des arbres sur la température de l'air, cas du sol gazonné. (Source : Auteure, 2020).

VI. 9. 5. Effet d'orientation et de la disposition des arbres sur l'humidité relative, cas du sol gazonné

La disposition la plus avantageuse est celle qui est linéaire selon l'axe des X et Y avec des distinctions à peine remarquables entre les différents cas de disposition entre 08h 00 et 12h 00. Graphe. VI. 06, ci-dessous.

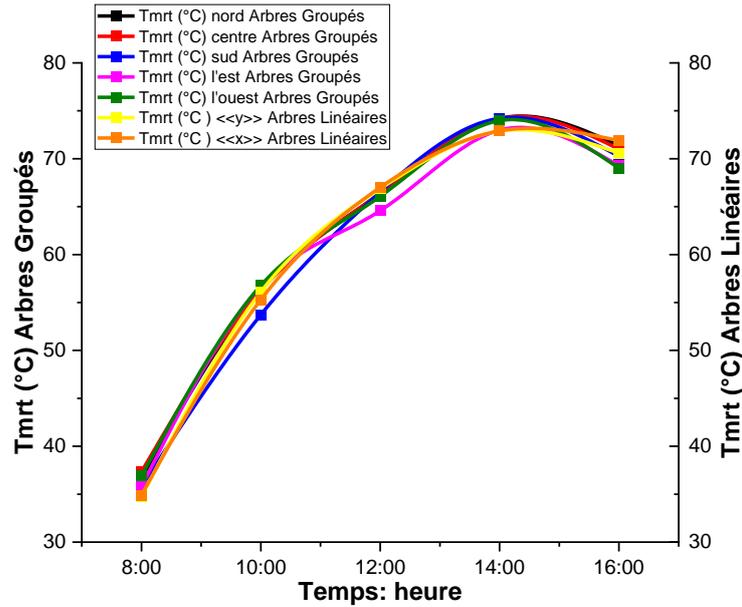


HR (%) des Arbres Groupés et Linéaires GCR= 50% et le sol Gazonné 100%

Graphe. VI. 06 : Effet d'orientation et de la disposition des arbres sur l'humidité relative de l'air, cas du sol gazonné. (Source : Auteure, 2020).

VI. 9. 6. Effet d'orientation et de la disposition des arbres sur la Tmrt, cas du sol gazonné

Dans ce cas et selon le graphe, il s'avère que la disposition groupée du Sud semble la meilleure de 08h 00 jusqu'aux environs de 11h 30, ou la disposition groupée de l'Est devient prédominante jusqu'à 14h 00 ou l'avantage revient aux deux dispositions linéaires et qui se termine en fin de journée par la dominance de la disposition groupée d'Ouest. Graphe. VI. 07, ci-dessous.



Tmrt (°C) des Arbres Groupés et Linéaires GCR= 50% et le sol gazonné 100%

Grphe. VI. 07 : Effet d'orientation et la disposition des arbres sur la Tmrt, cas du sol gazonné.
(Source : Auteure, 2020).

VI. 10. Comparaison entre les deux dispositions ; groupée et linéaire.

Quel que soit la disposition des arbres dans le cas du GCR=50%, dans les deux cas (sol en pavé gris et sol gazonné), qu'elle soit groupé ou linéaire, les paramètres climatiques présentent des valeurs rapprochées entre elles, donc les différences sont insensibles, parmi les différents cas de figures, le scénario **neuf et dix** présentent sensiblement les meilleurs résultats, il s'agit dans ce cas de la disposition linéaire selon l'axe Y. c'est la **disposition qui présente le meilleur ombrage le long de la journée** par rapport aux autres dispositions , c'est-à-dire par rapport aux treize autres scenarios. (Grphe. VI (2, 3, 4, 5, 6,7)).

Donc c'est les deux scenarios qui sont retenus en vue de leurs comparaisons avec les autres scenarios dans les cas du GCR = 0% et GCR = 100%, afin de déduire l'effet de la densité et de la disposition du couvert végétal sur les paramètres climatiques et conséquemment sur le confort thermique.

Le cas de la disposition linéaire selon l'axe « Y » représente le cas plus favorable durant la période estival.

VI. 11. Synthèse de l'effet du couvert végétal GCR = 50% dans le cas des arbres linéaires suivant l'axe « Y».

Deux scénarios « plans d'aménagements », dans ce cas, on a une densité du couvert végétale estimée a 50% de la surface totale de la placette mais répartie linéairement selon l'axe des Y, (**direction Nord – Sud**). Suivant le revêtement du sol, on a ; le cas 1, lorsque le sol est en pavé gris 100% dans la placette alors que le deuxième cas est pris comme étant naturel avec du gazon à 100%. Comme déjà précité, que le confort thermique dans les places est lié aux températures ambiantes qui à leur tour sont affectées par l'albédo du sol et le couvert végétal, ce qui montre une influence substantielle sur les paramètres climatique en améliorant nettement le confort thermique.

Le traitement des données microclimatiques avec les nouveaux aménagements a donné comme résultats, le graphique. VI. 08, qui suit et le tableau VI.08, ci- dessous

Scénario : 9.10.

ENV-met 4.4.5 © 2020.

Station météorologique de Biskra.

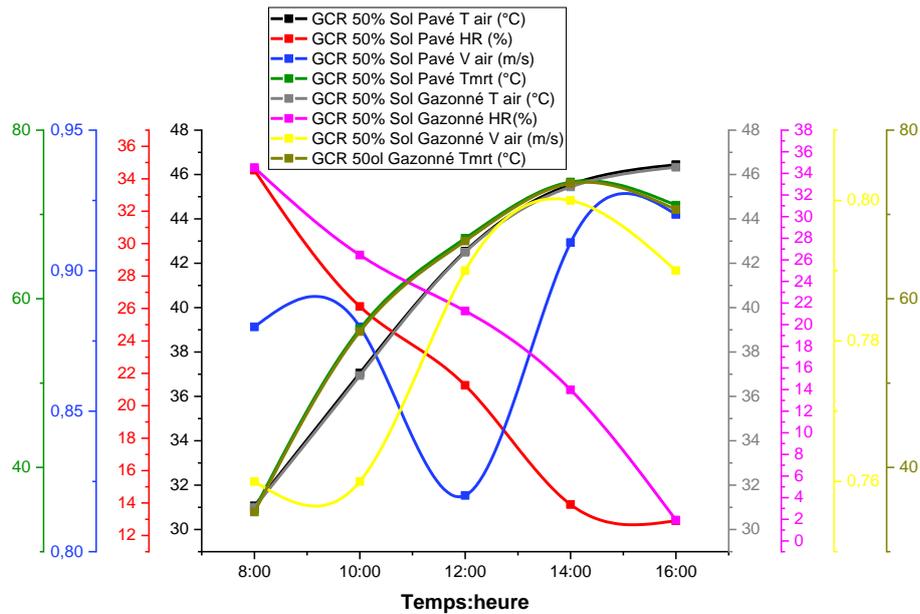
Placette université de Biskra, Horizon limitation: 87 % .

Longitude: 5°73'. Latitude: 34°80' . Time zone: UTC +1.0 h

	GCR= 50% Sol pavé gris 100%				GCR= 50% Sol gazonné 100%			
	Tair 5°C	Hr %	Vair	Tmrt	Tair	Hr %	Vair	Tmrt
08.00h	31.06	34.53	0.88	5.00	31.00	34..53	0.76	34.70.
10.00h	37.05	26,12	0.88	56.41	36.94	.26.45	0.76	56.10
12.00h	42.54	21.26	0.82	67.17	42.50	21..27	0.79	66.85
14.00h	45.55	13.91	0.91	73.85	45.44	13..97	0.80	73.67
16.00h	46.44	12.91	0.92	71.09	46.33	12..92	0.79	70.58

Tableau.VI.08 : Comparaison entre l'effet combiné de l'albédo et l'introduction des arbres dans la placette, le cas GCR = 50 %, et le cas de disposition linéaire des arbres Suivant « y ».

(Source : Auteure, 2020)



Graph. VI. 08: Comparaison entre l'effet combiné de l'albédo et l'introduction des arbres dans la placette, le cas GCR = 50 %, et le cas de disposition linéaire des arbres Suivant « y ». (Source : Auteure, 2020)

VI. 11. Synthèse de l'effet du couvert végétal GCR = 100%

E plus des deux valeurs d'albédo qui ont été retenues 0.22 et 0.27 correspondant respectivement au pavé gris et le sol naturel gazonné. « d'une pelouse ». le couvert vegetal de toute la placette c'esta dire le couvert vegetal a 100%. Suivant le revêtement du sol, on a ; le cas 1, lorsque le sol est en pavé gris 100% dans la placette alors que le deuxième cas est pris comme étant naturel avec du gazon à 100%. Comme déjà précité, que le confort thermique dans les places est lié aux températures ambiantes qui à leur tour sont affectées par l'albédo du sol et le couvert végétal, avec production d'un environnement thermique conséquent. Figure. VI. 18.

Le traitement des données microclimatiques avec les nouveaux aménagements a donné comme résultats le graphique. VI. 09, qui suit et le tableau VI.09, ci- dessous

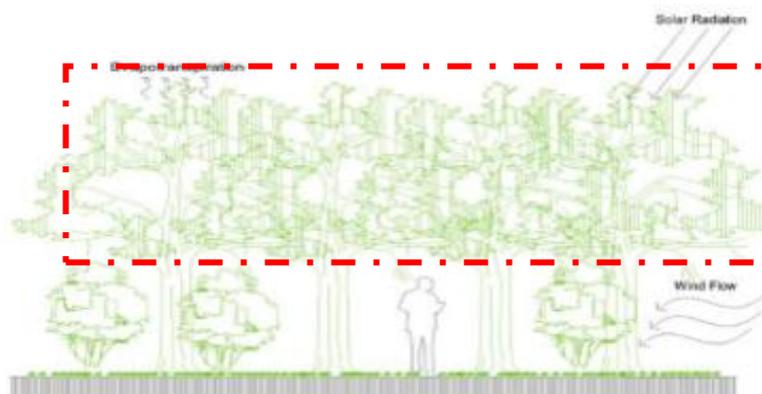


Figure. VI. 18 : Impact of High Density Green (Source: Tuli, 2014)

Scénario : 13-14.

L'arbre *Ficus retusa*, hauteur 8 m, diamètre de la couronne 5m « famille, moraceae ».

ENV-met 4.4.5 © 2020

Station météorologique de Biskra

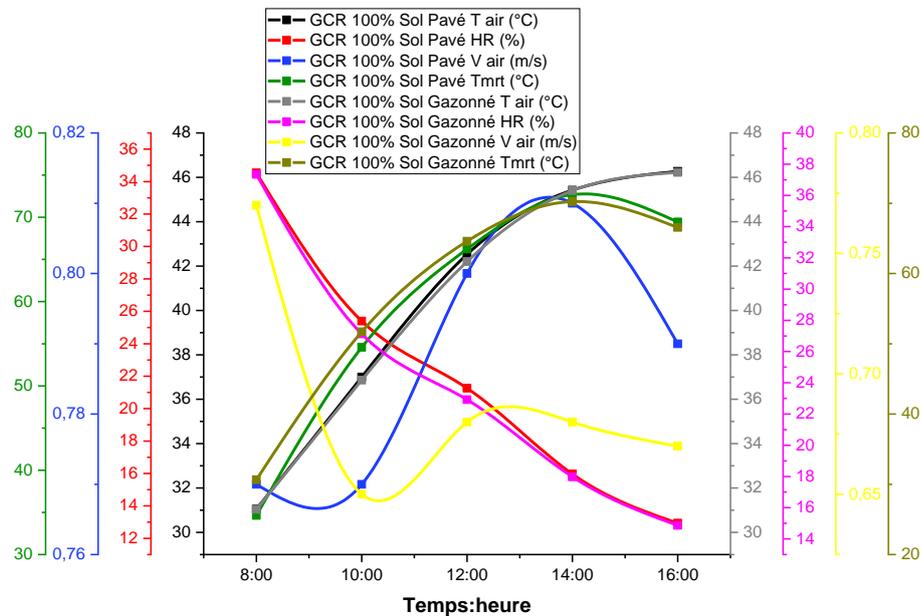
Placette campus université de Biskra

Horizon limitation: 87 %

Longitude: 5°73', latitude: 34°80', time zone: UTC +1.0 h

	GCR=100% Sol pavé gris 100%				GCR=100% Sol gazonné 100%			
	T air °C	Hr %	Vair	Tmrt	T air	Hr %	Vair	Tmrt
08.00h	31.05	4.54	0.77	34.63	31.04	37.35	0.77	30.65
10.00h	37	25.40	0.77	54.57	36.86	27.13	0.65	51.7
12.00h	42.53	21.26	0.80	66.23	42.20	22.92	0.68	64.59
14.00h	45,42	15.97	0.81	72.68	45.40	17.98	0.68	70.22
16.00h	46.27	12.94	0.79	69.44	46.22	14.87	0.67	66.56

Tableau VI. 09 : Résultats de l'effet combiné de l'albédo et l'introduction des arbres dans la placette, cas du GCR = 100%. (Source : Auteur 2020).



Graph VI. 09: Résultats de l'effet combiné de l'albédo et l'introduction des arbres dans la placette, cas du GCR = 100%. (Source : Auteur 2020).

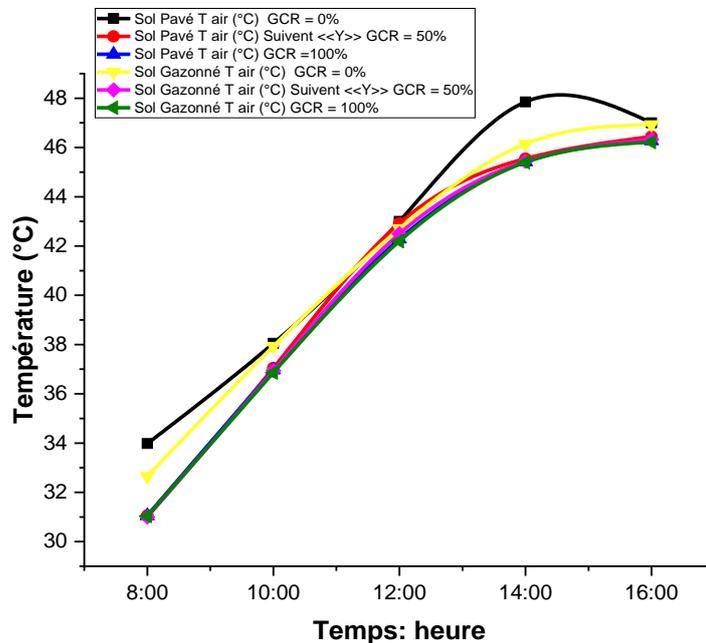
VI. 12. Comparaison entre l'effet des divers aménagements sur les paramètres microclimatiques simulés dans la placette

Une fois l'analyse des données pour chaque scénario effectué, on peut procéder à la comparaison entre les valeurs des trois scénarios pour les deux cas de figure du revêtement du sol, et pour chaque paramètre enregistré (T, Hr, Vvent et Tmrt), mais en gardant un œil sur les autres paramètres, vue leur interaction les uns avec les autres et cela pour détecter les différences microclimatiques au sein de la placette et pour les scénarios ; GCR=0. Avec les (Scenarios : 01 et 02), GCR=50%. (Scenarios 09 et 10, présentant les meilleurs résultats de cette disposition, et GCR= 100%, avec les scénarios 13, 14).

VI. 12. 1. Effets des divers aménagements sur la température de l'air (T air).

Influence de la densité du couvert végétal sur la température de l'air ambiant dans les deux cas de figure du revêtement du sol.

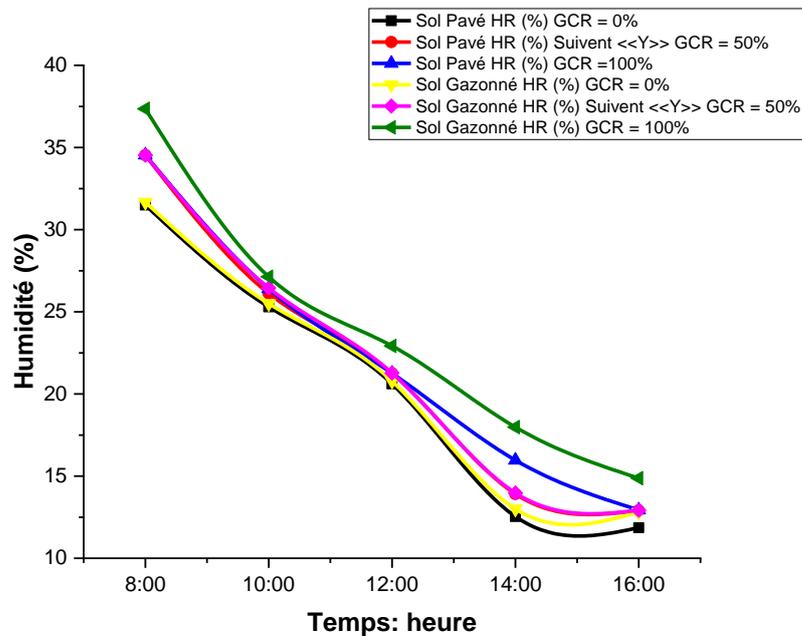
Comme cela se remarque, en plus de certaines légères distinctions, la situation la plus défavorable est le cas du sol en pave gris, alors que le plus favorable est le sol gazonne avec le GCR = 100%, comme on remarque sur ce dernier la superposition presque parfaite de la courbe représentant le cas du GCR = 50%, sauf des écarts très négligeables entre 10h 00 et 14h 00. Graphe VI. 10.



Graphe VI. 10: Comparaison entre la variation de la température de l'air au niveau des trois cas : GCR=0% et GCR=50% et 100% Pendant la période estivale. (Source : Auteur 2020).

VI. 12. 2. Effets des divers aménagements sur l'humidité relative (Hr).

Les deux cas du GCR = 100% s'avèrent les plus importants avec une nette prédominance du cas avec sol gazonne, vient en deuxième position le cas du GCR= 50% avec une légère défiance durant la période de 12h 00 à 16h 00, par rapport aux deux premiers cas, enfin les deux cas les plus défavorables sont ceux a GCR = 00%, avec une légère prédominance du cas gazonne. Graphe VI. 11.

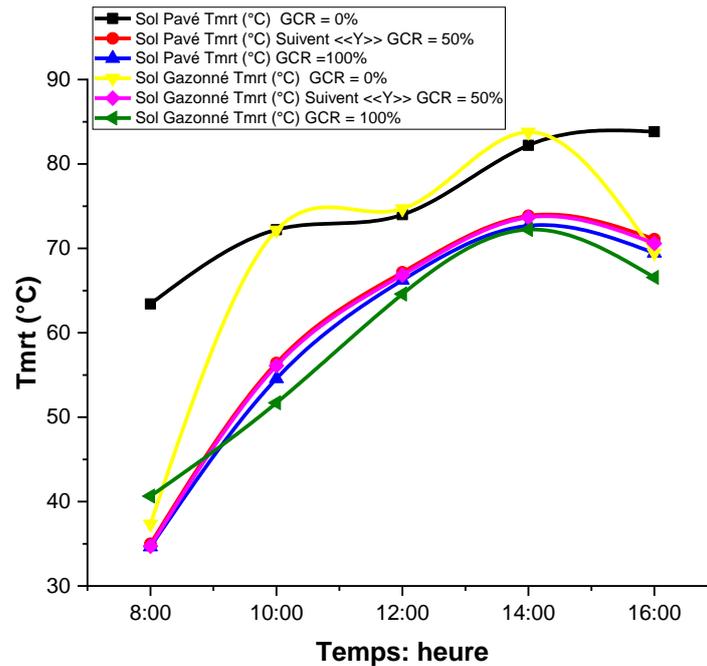


Graphe VI. 11 : Comparaison entre la variation de l'humidité relative % au niveau des trois cas : GCR=0%, GCR=50% et 100% Pendant la période estivale. (Source : Auteure, 2020).

VI. 12. 3. Effets des divers aménagements sur la température moyenne radiante (T_{mrt})

Les courbes des cas ; sol pave avec GCR =100% et sol gazonne avec GCR = 50% et dont les arbres sont disposés linéairement selon l'axe des Y sont presque identiques dans l'allure avec une très légère différence au profil du cas dont le sol est pave avec GCR = 100%. Reste toujours que le cas du sol gazonne avec GCR = 100%, est le plus rentable avec, toutefois un écart négatif par rapport aux deux premiers cas mentionnés et ce ; de 08h 00 jusqu'à 09h 00.

Le cas le plus défavorable est celui du cas du sol pave gris avec GCR = 00%, mais qui reste meilleur que le cas du sol gazonne avec GCR = 00% et ce de 10h 00 jusqu'aux environs de 14h 00, ce dernier présente une T_{mrt} qui croit brusquement de 08h 00 à 10h 00 pour presque une stabilisation de 10h 00 jusqu'aux environs de 14h 00, pour décroître ensuite brusquement. Graphe. VI. 12.



Graph VI. 12 : Comparaison entre la variation du « Tmrt » au niveau des trois cas : GCR=0% et GCR=50% et 100% Pendant la période estival. (Source : Auteure, 2020)

VI. 13. Effets des divers aménagements sur les paramètres relatifs au confort thermique dans la placette.

Le confort thermique extérieur a connu, lors de cette dernière décennie, une importance primordiale dans les recherches sur le climat et le design urbain. Le confort thermique extérieur est un facteur essentiel pour **quantifier la qualité du microclimat** urbain. Un seul paramètre microclimatique tel que la température de l'air ne peut pas décrire l'impact de l'environnement thermique sur le corps humain, parce que le corps ne possède pas des capteurs individuels pour chaque paramètre microclimatique, ce qui implique que le corps ressent l'environnement thermique dans sa globalité (Ali-Toudert, et al., 2007). C'est pour cette raison que les chercheurs ont développé des indices thermiques basés sur la même idée en combinant plusieurs paramètres (par exemple Tair, Hr, Vv, flux de rayonnement, etc.) en une seule variable qui résume leurs effets simultanés sur les réactions sensorielles et physiologiques du corps (Höppe, 1999) ,(ASHRAE, 2010).

La température physiologique équivalente (PET) est l'indice choisi pour l'évaluation quantitative du confort thermique extérieur, celui-ci est défini comme la température de l'air à laquelle le bilan thermique du corps humain est maintenu avec une température de cœur et de peau égale à celle des conditions évaluées (Höppe, 1999), il est basé sur le modèle d'équilibre énergétique de Munich pour les individus (MEMI) (Höppe,

1999). À l'extérieur, le profil du PET est très influencé par la température moyenne radiante (T_{mrt}) (Ali Toudert, 2005), et qu'on utilise largement dans le climat chaud et aride (Ruiz, et al., 2014; Matzarakis, et al., 2014; Ali-Toudert, et al., 2006; Ali Toudert, 2005 ; Johansson, 2006; Mahmoud, 2011; Potchter, et al., 2013; Abdel-Ghany, et al, 2001).

Le deuxième indice utilisé se nomme Universal Thermal Comfort Index (UTCI) (Coutts et al. 2016), c'est un indice universelle qu'on utilise un peu partout, il est valable dans les différents types de climats, alors que le troisième indice utilisé est le vote moyen prévisible (PMV), qui est en étroite relation avec les sensations du corps humain.

Par le biais « *du logiciel Rayman pro version 3.1* » en lui introduisant les paramètres climatiques obtenus par Envi-met dans les différents scénarios exécutés on a pu obtenir les trois indices du confort thermique dans les cas de figures retenus de la placette aménagée. **Ces trois indices à rappeler sont respectivement; le PET, L'UTCI et le PMV.**

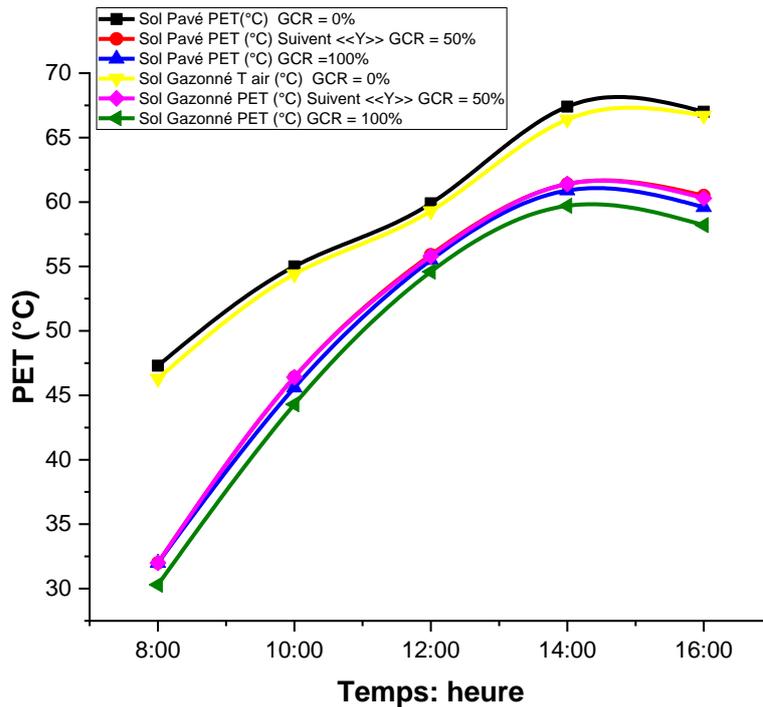
VI. 13. 1. Effets des divers aménagements sur la température physiologique équivalente (PET)

Le PET est basé sur un modèle complet du bilan thermique qui décrit en détail le processus physiologique. L'évaluation de l'impact des paramètres du climat sur le corps humain est très importante pour le confort extérieur des espaces urbains, le PET est largement utilisé pour évaluer le stress thermique (Hoppe, Matzarakis, fizia, Olsmand... etc).

Il est préférable aux autres indices parce que son unité est en degré celsius ($^{\circ}\text{C}$), pour calculer l'indice du PET, il est nécessaire de déterminer les paramètres climatiques à une hauteur biométéorologique significative pour l'homme à 1,1 m au-dessus du sol, correspondant à la hauteur moyenne d'un centre de gravité d'adultes debouts (Gulyas et al, 2006).

Pour comprendre le PET, on prend l'exemple suivant dans le cas d'une journée d'été, chaude et ensoleillée, le PET peut valoir 43°C , cela signifie qu'un individu dans une pièce avec une température d'air de 43°C atteint le même état thermique que dans les mêmes conditions à l'extérieur (Musy, 2008).

Pour le PET ; les résultats obtenus pour la situation après l'insertion des arbres, GCR = 50% et 100% optimale, montrent une atténuation significative comparée aux résultats obtenus des autres situations. Graphe. VI. 13.



Graph V. 13. Comparaison entre la variation du « PET », au niveau des différents scénarios simulés cas : GCR = 0%, GCR = 50% et 100% pendant la période estivale. (Source : Auteure, 2020).

Le PET maximum est de : 65,5°C, à 15h 00 et pendant toute la journée elle se trouve au-delà de la limite extrêmement chaud avec une sensation de stress extrême de chaleur pour les deux cas de sol à GCR = 00%, c'est-à-dire avant l'insertion des arbres, presque dès le lever du jour au coucher du soleil le PET croît sans cesse de 45,5 C à 08h 00 jusqu'à 65,5 C vers 15h 00 pour commencer à décroître. Le PET obtenu après l'insertion des arbres, proposition optimale montre une réduction significative comparée à celles obtenues aux autres situations (avant l'insertion des arbres et après l'insertion des arbres, proposition du concepteur), allant de 17 C à 08h 00, comme maximum à 05 C, comme minimum, vers 12h 00. Le PET maximum est de 54 C à midi et s'élève jusqu'à 58 C, vers 14h 00. Dans ces cas (Les trois cas, après introduction des arbres) l'allure des trois courbes sont identiques avec un optimum du cas du sol gazonne à GCR = 100%, ensuite vient en deuxième position le cas du sol pave à GCR = 100% et en troisième position, le cas des sols gazonne et en pave gris à GCR = 50% avec disposition d'arbres linéairement selon l'axe (Y), avec bien entendu des écarts entre eux insignifiants surtout entre 11h 00 et 13h 00.

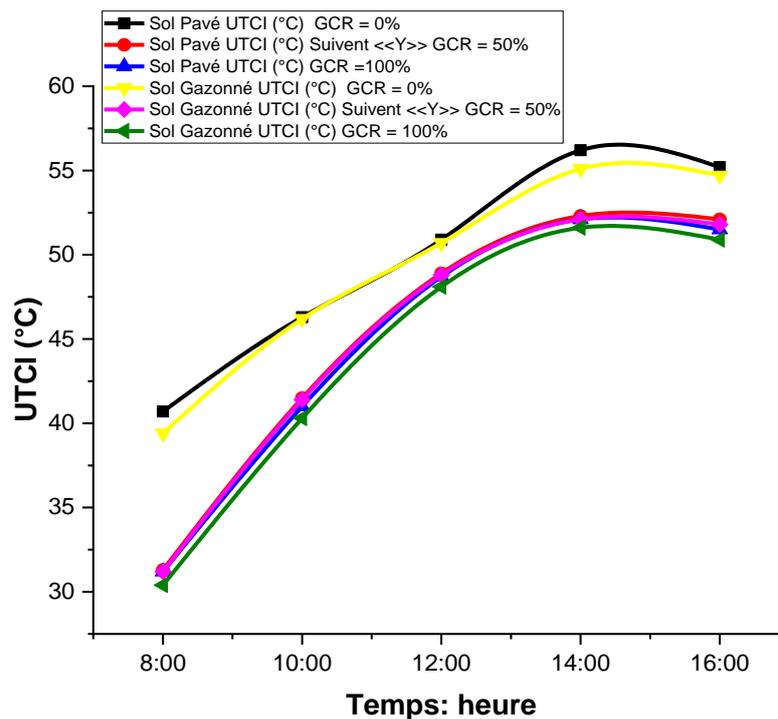
Dans ces trois cas le PET se trouve dans la zone chaude jusqu'aux environs de 08h 30 ou il passe à la zone très chaude jusqu'aux environs de 10h 00 et puis après c'est la zone extrêmement chaude jusqu'à 16h 00.

VI. 13. 2. Effets des divers aménagements sur L'UTCI

Le confort thermique, exprimée sous l'indice climatique du confort urbain (Urban thermal climate index) a été calculé sur la base de valeurs simulées de la température de l'air, l'humidité relative, la T_{mrt} et la vitesse du vent.

L'UTCI varie considérablement dans les cas des sols à $GCR = 00\%$, sans couverture végétale. L'UTCI varie à hauteur piétonne pour les trois cas ($GCR = 00\%$, $GCR = 50\%$, et couvert à haute densité $GCR=100\%$). De même que pour la T_{mrt} , L'UTCI atteint des valeurs très inconfortables entre 11h 00 et 16h 00, pour les cas de sols découverts et entre 12h 00 et 16h 00 pour le reste des cas, toutefois ce pic est considérablement réduit dans les cas des sols couverts d'arbres. Les sols a $GCR = 100\%$, dont la végétation est la plus dense sont les plus efficaces, même s'ils diminuent la vitesse du vent plus que les arbres moins denses (cas du $GCR = 50\%$).

Les réductions des valeurs de l'UTCI trouvées dans cette étude (jusqu'à $10^{\circ}C$) sont très conséquentes en matière de réduction du stress thermique. Graphe. VI. 14.



Graphe VI.14. Comparaison entre la variation du UTCI au niveau des différents scénarios simulés cas $GCR=0\%$ et $GCR=50\%$ et 100% pendant la période estival de 08h00 à 16h00 (Source : auteure, 2020)

On remarque que les sols nus se trouvent en zone extrême après 10h 00 en cette saison, alors que les autres cas se trouvent en cette zone aux environs de 12h 00.

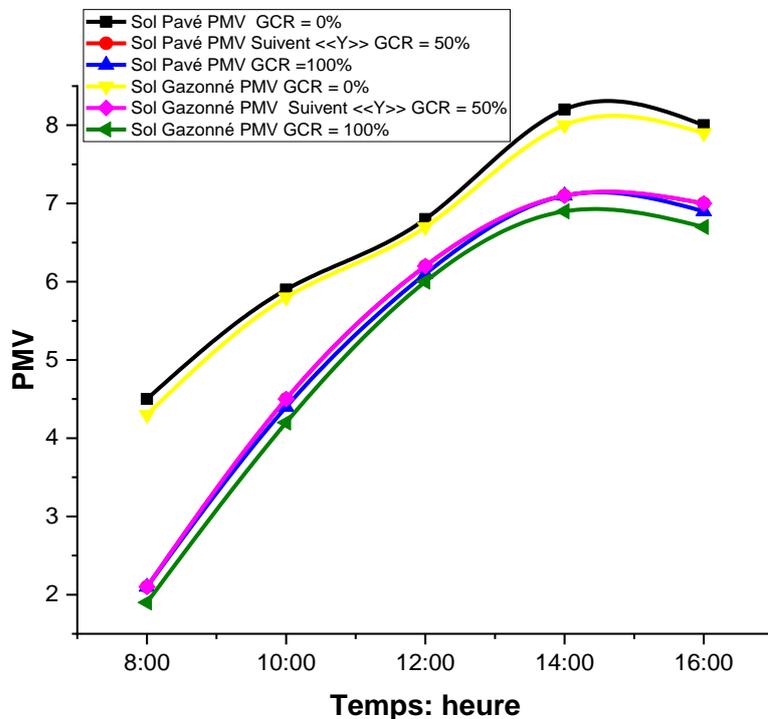
Les courbes expressives des autres cas de sols couverts sont identiques, présentant de très légers écarts avec prédominance du cas à couverture végétale optimum.

A 08h 00 Ils sont dans la zone modérée et passent à la zone forte jusqu'à 10h 00m ensuite a la zone très forte jusqu'aux environs de 12h 00 et à partir de cette heure ils seront dans la zone extrêmes jusqu'à la fin de journée.

VI.13. 3. Effets des divers aménagements sur le PMV

Cet indice remonte à l'année 1984, ou il était adopté par la norme ISO 7730-93; est révisé en 1993. Il s'appuie sur les travaux de Fanger 1970. Il a été développé autrefois par 'M. Bruse' pour qu'il soit adapté aux milieux extérieurs, lors de l'actualisation de son programme de simulation, il lui donne neuf (09) échelles de confort, propres aux espaces extérieurs, comprises entre deux valeurs du PMV, et qui sont: -4 et +4 .

Après les simulations thermo aérauliques, nous disposons des paramètres nécessaires à la détermination des conditions de confort selon le PMV, les calculs ont été effectués à 1,5 m du sol, pour un individu qui effectue une activité physique équivalente à 1 met, vêtu légèrement, c'est à dire avec une résistance vestimentaire égale à 0,5 clo.



Graphe VI.15. Comparaison entre la variation du PMV au niveau des différents scénarios simulés cas : GCR=0% et GCR=50% et 100% pendant la période estival . (Source : Auteure, 2020).

Après l'analyse des résultats de la simulation, on remarque que la plupart des valeurs du PMV étaient positives (entre 00 et +09), tandis que les heures de confort débute 16.00h. Les valeurs du PMV enregistrées au début de la journée dans les trois cas montent pour atteindre la zone moyennement chaude au niveau du cas 01 et le seuil de la zone chaude pour les cas 2 et 3 avec des valeurs supérieures à 4. Après 10h00, on remarque un décroissement des valeurs du PMV dû à l'ombrage des blocs. Après 12h00, les valeurs de PMV ré-augmentent jusqu'à atteindre des valeurs maximales (zone extrêmement chaude) de 08.21, 08.35 et 09.01 respectivement. On remarque que la plus élevée est celle du cas 01 du fait de son ouverture directe sur le ciel qui permet un accès direct des rayons solaires et l'absence d'ombrage.

Le PMV obtenu pour la troisième situation (après l'insertion des arbres, proposition optimale) montre une réduction significative comparée à celles obtenues aux autres situations (avant l'insertion des arbres et après l'insertion des arbres, proposition du concepteur). Le PMV maximum est de 3.8 à midi, le reste de la journée il n'accède pas à la limite de la sensation chaude.

Par contre les autres situations, le PMV passe de la zone chaude vers la zone très chaude de 8.00 a.m. du matin jusqu'à 16.00 p.m.

Conclusion

La conception urbaine en zones arides et semi arides a fait l'objet de diverses recherches à travers ces dernières années. Le résultat obtenu par la totalité de ces travaux est le soutien de la plantation des arbres offrant plus de confort thermique notamment en période chaude.

Ce présent chapitre a traité l'étape la plus délicate de notre recherche qui consiste en l'exploitation des paramètres environnementaux par le couplage de deux programmes de simulation assez récents ; Envi-met et Rayman.

D'après Tumini et al (2016), l'approche numérique est une méthode de recherche alternative utilisée dans beaucoup d'études pour deux raisons principales :

- 1- Le modèle numérique est particulièrement adapté pour mettre en évidence le lien entre la structure physique urbaine, le microclimat et le confort thermique en faisant la traduction des résultats pour les lignes directrices de conception pratique.
- 2- Par rapport aux mesures de terrain, il est plus rapide et moins cher, et il permet également des comparaisons entre les nombreuses études de cas et des scénarios de projet.

La présente recherche s'est basée sur les programmes de simulation ENVI-met version « 4.4.5 », et Rayman pro version .3.1 , qui sont déjà testés et exploités dans plusieurs travaux de recherche pour évaluer le confort thermique extérieur.

En outre, il a été consacré à l'étude de la relation entre la densité du couvert végétal « GCR », la disposition des arbres et le revêtement du sol d'une part, et du confort thermique dans l'espace extérieur urbain, d'autre part.

19 cas de figures ou scénarios sont étudiés, ou le premier représente la place dans son état initial (voire chapitre V) et les dix huit autres constituent des combinaisons des trois variables qui sont ; la densité de la végétation GCR, la disposition des arbres et le revêtement du sol « sol pavé gris 100% et le sol gazonné 100% ».

Selon les résultats obtenus, il s'avère que la densité du couvert végétal est à l'origine du contrôle de la génération de l'ombre sur les surfaces de la placette, Dans ce sens, les conclusions tirées de ces résultats sont les suivantes :

Par l'analyse des conditions de confort on observe que la présence des arbres modifie d'une manière significative les températures radiantes moyennes, les échanges de chaleur sensible et latente entre l'individu et l'air ambiant. Ces modifications engendrent des améliorations en termes de confort thermique.

L'ombrage par les groupements d'arbres denses dans les emplacements adéquats constitue la meilleure stratégie de par la réduction du flux thermique entrant.

Le revêtement du sol est aussi important que la végétation, le remplacement du revêtement en béton et sol nu par l'introduction de l'herbe peut augmenter les heures utiles de la fréquentation des espaces urbains d'une moyenne de 22% [Cythia et al 2004]

Cette recherche a mis en exergue l'effet positif du végétal urbain (l'arbre urbain) au sein de notre placette au campus universitaire à Biskra ville ; comme il est à noter qu'à travers notre investigation et simulations numériques, on a constaté que le végétal urbain (l'arbre urbain figuse reutsa), selon certaines dispositions apporte un apport positif amélioré dans l'amélioration du confort thermique , ce qui confirme notre seconde hypothèse.



Conclusion Générale
(Synthèses, recommandations, limites et perspectives de la recherche).



Conclusion Générale

À travers les siècles, l'architecture et l'urbanisme cherchaient, tout le temps, à satisfaire les besoins de l'humanité en matière de confort. Les grandes villes, en période estivale, développent de plus en plus fréquemment certains problèmes liés au phénomène « d'îlot de chaleur urbain ». La minéralisation des villes, en remplaçant les milieux naturels et la végétation par du béton et de l'asphalte, contribue à ces nuisances conséquentes, de ce fait l'apport de la végétation et des espaces vert dans les milieux urbains devient une préoccupation majeure.

La végétation permet la création d'un microclimat dans le milieu urbain par l'ombre et l'humidification de l'air. En effets les arbres, qu'ils soient d'alignement, groupés ou des végétaux grimpants, jouent la fonction d'enveloppe thermique, selon des recherches dans ce domaine, il s'est avéré que 80% des effets de refroidissement dans des sites urbains sont provoqués par l'ombrage des arbres, cependant et pour des besoins de ventilation, la masse végétale ne doit pas constituer un écran opaque à l'écoulement de l'air.

Les arbres améliorent l'environnement thermique urbain en été par l'ombrage des surfaces et refroidissement de l'air et malgré ce grand rôle, on la trouve généralement seulement sous forme de tâches vertes sur les espaces urbains, sa définition et son implantation non jamais eu le moindre attention et si on l'aborde, on se contente de son rôle esthétique.

Actuellement les projets de villes durables exigent la requalification de la végétation surtout au niveau des espaces publics, supports d'activités urbaines, lieux de rencontre et de sociabilité, là où se fabrique la citoyenneté, doivent être hospitaliers grâce à leur microclimat et à leur confort thermique, dépendant majoritairement de leur couvert végétal. Pour démontrer l'impact de la végétation sur la modération du microclimat urbain et le confort thermique, le présent travail, développé à partir d'un model empirique vis-à-vis de l'effet de refroidissement lié à l'ombre des arbres, a pris une des placettes sus à campus de l'université de Biskra comme cas d'étude, dans son environnement spécifique, composé principalement de deux partie, la partie Nord nue et la partie sud comportant beaucoup de végétations et un choix de cinq stations avec trois stations à l'intérieur du couvert végétal , une station dans le terrain à végétation variable, et une station complètement nu, à une distance de 70 m du bord de la végétation présente..

La partie sud est la partie la plus confortable car elle est la plus ombrée et par conséquent la plus fraîche. Dans ce cas précis, c'est l'effet de l'ombre de la végétation (surtout les arbres ficus refusa), qui est à l'origine de la fréquentation dense de la partie sud de la placette, en effet, ces arbres persistantes ont un feuillage dense, des feuilles arrondies, épaissies et vernissées, ce qui leur confère un important indice de surface foliaire (LAI) et une grande densité de surface foliaire (LAD) de la canopée, ceux-ci s'avèrent des paramètres primordiaux ayant une influence significative sur le micro climat, plus le couvert végétal est dense (LAI et LAD) importants, plus faible sont les températures de l'air et des surfaces ombragées et meilleur est le confort thermique surtout dans notre cas.

Au préalable, nos observations nous ont amenées à conclure qu'il y'a une certaine interdépendance entre les ambiances thermiques déduites et le comportement des étudiants, L'effet de refroidissement se trouve dépendant de l'étendue de la zone partielle ombragée, et le sentiment de fraîcheur exprimé par ces étudiants était un résultat d'une réduction du rayonnement reçu (R) qu'il soit direct, diffus ou réfléchi, c'est-à-dire de la réduction du sky view factor (SVF) aussi bien que les radiations en grandes longueurs d'ondes, provenant notamment des sols artificiels.

Dans notre cas la majorité du sol est naturel ou la réduction du rayonnement solaire varie entre 76,3% et 92,8%, selon la station S1. L'effet de refroidissement dans les trois stations ombragées (S3, S4 et S5) était d'environ (43.2 °C) à (14h00) heures, le maximum atteint est de (45.4 °C).

La différence moyenne entre les températures de l'air mesurées entre les zones à l'ombre et au soleil est de 2°C, avec un maximum de 4 °C pour les cinq stations.

L'évaluation du microclimat et du confort thermique de cet espace est concrétisée suite à un travail de terrain, où la température de l'air, l'humidité relative et la vitesse de l'air et la température moyenne radiante de l'air furent surveillés simultanément durant la période estivale dans les cinq stations, les mesures sont prises par instrument mobile multifonctions (Testo 480) à intervalles de deux heures, de 08.00h du matin jusqu'à 16.00h et ce, pendant trois jours successifs du mois de juillet, à partir du 05 du mois en question, pour se rendre compte de l'effet de refroidissement du aux arbres par rapport à un espace nu de référence (Station 01).

Seulement les résultats du jour le plus chaud ont été commentés la comparaison entre les données des stations situées à l'intérieur du couvert végétal et celles en dehors nous a donné, des résultats très significatifs de l'influence de la végétation sur le micro climat et

par conséquent sur le confort thermique extérieur pendant la période estivale qui est justifié par le regroupement des étudiants et la densité de ce regroupement dans cet espace ombré.

L'influence de la végétation sur le confort thermique est approchée à travers la présence quantitative de la végétation dans la placette, néanmoins d'autres paramètres concernant cet élément pourraient être étudiés tel que : le type d'arbres, la densité du couvert végétal, le positionnement de ces arbres dans la placette et la nature du sol.

La simulation numérique est la deuxième approche de l'interaction entre les éléments de la forme urbaine, la végétation et l'atmosphère urbaine, après les mesures in situ. Elle permet de reproduire des phénomènes réels, elle désigne un procédé selon lequel on exécute un programme informatique sur un ordinateur en vue de simuler un phénomène physique. C'est une série de calculs effectués sur ordinateur, qui aboutit à la description du résultat d'un phénomène. Cette représentation peut être une série de données, une image voire même une animation vidéo.

Les simulations permettent de voir le degré d'influence ; du végétal urbain sur la diminution du facteur d'ouverture au ciel (SVF), température moyenne radiante (T_{mrt}), et l'atténuation du rayonnement global reçu par le corps et le rayonnement direct et diffus reçu par l'organisme. En plus pour calculer les indices du confort thermique : (PET, UTCI, et PMV).

L'ombrage par les groupements d'arbres denses dans les emplacements adéquats constitue la meilleure stratégie de par la réduction du flux thermique entrant.

Le revêtement du sol est aussi important que la végétation, le remplacement du revêtement en béton et sol nu par l'introduction de l'herbe peut augmenter les heures utiles de la fréquentation des espaces urbains .

L'espace urbain extérieur, par la variété de ses composantes environnementales, offre un champ très vaste à la recherche. Ces derniers temps, l'espace public reçoit une attention particulière dû au souci d'améliorer sa qualité de vie et dont dépend fortement la sensation du confort et du bien-être. L'estimation du confort dans ces espaces extérieurs nécessite la connaissance de nombreux paramètres liés tant au microclimat et à l'environnement qu'à l'individu, tel que la température de l'air, l'humidité relative, le vent et le rayonnement.

Afin d'estimer l'effet de végétation sur les conditions de confort thermique au niveau de la placette, nous avons effectué des simulations par le biais de deux logiciels, (le couplage deux modèle numérique) le modèle numérique Envi-met version 4.4.5, qui a permis de

vérifier et de valider d'abord les résultats obtenus par la campagne de mesures, pour déduire les différents paramètres microclimatiques (températures de l'air, humidité relative, vitesse de vent et température moyenne radiante), mais surtout pour évaluer le confort thermique extérieur dans l'aire d'étude par le calcul les indice de confort thermique extérieur qui est la température physiologique équivalente PET (Physiological Equivalent Temperature) , l'indice universel du climat thermique UTCI (Urban thermal climate index) et vote moyen prévisible PMV (Predicted Mean Vote). A l'aide de modèle numérique Rayman pro version 3.1. La journée type choisie pour accomplir les simulations est le 05 - 07-2019, c'est une journée chaude d'été reflétant la période de surchauffe avec des températures élevées.

Après l'analyse, en vue d'optimiser le confort thermique d'un espace public (précisément la placette) il faut maîtriser les différents éléments intervenants à l'augmentation de la température de l'air et à la diminution d'humidité relative au sein de cet espace pour savoir les éviter ou bien les éliminer au maximum. A vrai dire ; l'optimisation du confort thermique des usagers de la placette de la ville de Biskra dès le départ les solutions sont très limitées, puisqu'on est devant des espaces réalisés et existants, en plus lors de la conception de ces espaces les concepteurs n'avaient pas pris au sérieux les paramètres climatiques du site. Neufs (09) propositions tournent toutes sur : la modification de la géométrie de l'espace, la modification du revêtement du sol, l'insertion de l'eau sous forme de bassin. Après une fine lecture, une critique, une analyse et étude de différentes situations, la proposition idéale c'était l'introduction du végétal urbain (l'arbre urbain), puisque « Les deux effets principaux de la végétation sont l'effet d'ombrage du rayonnement solaire (la plupart des arbres feuillus ont une transmittivité faible à l'égard du rayonnement solaire, entre 2% et 5 %) et la conservation d'une température du feuillage proche de celle de l'air, soit entre (20,35)°C inférieurs aux températures des surfaces des matériaux urbains communs, comme l'asphalte, les blocs de béton.

Comme c'est déjà mentionné préalablement, l'arbre choisi, dans notre cas est « l'arbre ficus retusa », il est de catégorie arbre ; d'origine tropicale, type persistant ; de forme port dense érigé ; croissance rapide. En plus il existe en quantité importante à Biskra ville et ce, depuis longtemps puisqu'il résiste à l'aridité de notre zone. Ce type a été choisi afin de protéger les étudiants contre les rayonnements solaires en été. Il est de toute évidence, que pour une même largeur de couronne, la hauteur de L'arbre n'a pas de

signification par conséquence cet arbre est retenu avec une hauteur de 10 m , introduite avec ces caractéristiques dans les modélisations et dans les simulations

Les Scénarios proposés pour l'amélioration du confort thermique extérieur dans la placette se sont faits selon trois variables

- Densité de couvert végétal GCR = 0%, 50% ,100%
- Effet de l'orientation et la plantation des arbres (La distribution des arbres) Linéaire ou groupée.
- Effet de la nature du sol (gazon, pavé)

Afin de tester l'effet de densité du couvert végétal et la disposition des arbres (ficus retusa) ainsi que la nature du sol sur les paramètres microclimatiques (T_{air} (°C), Hr (%), V vent (m /s) et T_{mrt} (°C)) et les paramètres du confort thermiques (PET, UTCI et PMV) les différents traitements de la placette sont opérés sur la densité du couvert végétal, l'orientation et la disposition des arbres et la nature du sol tout en gardant les caractéristiques morphologiques de l'environnement , dans ce contexte, 18 scénarios de plans d'aménagements ont été développés:

Dans chaque cas, nous avons simulé le comportement climatique de la placette dans chacun des cas du pourcentage du GCR utilisé , celui-ci est déterminé avec un taux d'augmentation de 50%, on a, conséquemment, les cas: 0%, 50% ,100%.

Pour ces trois cas de figures, deux types de sol sont pris en considération, à savoir : le sol en pavé gris et le sol naturel gazonné pour en déduire l'effet de l'herbe, aussi, sur le confort thermique.

A ce stade, quatre scénarios se dégagent pour les cas 0% et 100% du couvert végétal, avec deux scénarios chacun.

Par contre, le 50% du couvert végétal, nous donne le plus grand nombre de scénarios et ce, selon la disposition et l'orientation des arbres ou nous avons deux groupes de disposition (groupées et linéaires).

Dans le cas d'arbres groupées, on a cinq scénarios ; Disposition et orientation au Nord de la placette, au centre, au Sud, à l'est et à l'Ouest.

Dans le cas d'une disposition linéaire, deux scénarios sont prévus ; selon l'axe des X (direction Est- Ouest) et selon l'axe des Y (direction Nord- Sud), aussi, dans ce cas et pour les deux cas du sol, on a les sept scénarios fois deux, un total de quatorze scénarios, dans le cas du couvert végétal à 50%.

Ce qui nous donne un global de 18 scénarios, *ce qui veut dire un total de 18 plans d'aménagement*» différents sans compter le scenario de la placette à son état initial.

A ce niveau, c'est l'étape la plus délicate de notre recherche qui consiste en l'exploitation des paramètres environnementaux par le couplage de deux programmes de simulation assez récents ; Envi-met et Rayman.

En outre, il s'agit de mettre en évidence la relation entre la densité du couvert végétal « GCR », la disposition et l'orientation des arbres et le revêtement du sol d'une part, et du confort thermique dans l'espace extérieur urbain, d'autre part.

19 cas de figures ou scénarios sont étudiés, ou le premier représente la place dans son état initial et les dix huit autres constituent des combinaisons des trois variables qui sont ; la densité de la végétation GCR, la disposition des arbres et le revêtement du sol « sol pavé gris 100% et le sol gazonné 100% ».

Les paramètres microclimatiques choisis pour faire la comparaison sont la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse du vent et la température moyenne radiante (T_{mrt}). Ces derniers sont à la base du calcul de l'indice d'évaluation du confort thermique extérieur qui est la température physiologique équivalente (PET), UTCI et (PMV) choisies dans cette recherche.

La densité du couvert végétal est à l'origine du contrôle de la génération de l'ombre sur les surfaces de la placette, l'ombre est l'une des stratégies de la conception bioclimatique urbaine pour atténuer les effets négatifs du climat sur la sensation thermique. Dans ce sens, les conclusions tirées de ces résultats sont les suivantes :

Par l'analyse des conditions de confort on observe que la présence des arbres modifie d'une manière significative les températures radiantes moyennes, les échanges de chaleur sensible et latente entre l'individu et l'air ambiant. Ces modifications engendrent des améliorations en termes de confort thermique.

Les simulations permettent de voir le degré d'influence ; du végétal urbain sur la diminution du facteur d'ouverture au ciel (SVF), température moyenne radiante (T_{mrt}), et l'atténuation du rayonnement global reçu par le corps et le rayonnement direct et diffus reçu par le corps. En plus pour calculer les indices du confort thermique (PET, UTCI et PMV).

L'ombrage par les groupements d'arbres denses dans les emplacements adéquats constitue la meilleure stratégie de par la réduction du flux thermique entrant.

Le revêtement du sol est aussi important que la végétation, le remplacement du revêtement en béton et sol nu par l'introduction de l'herbe peut augmenter les heures utiles de la fréquentation des espaces urbains .

Cette recherche a mis en exergue l'effet positif du végétal urbain (l'arbre urbain) au sein de notre placette à Biskra ville ; comme il est à noter qu'à travers notre investigation et simulations numériques, on a constaté que le végétal urbain (l'arbre urbain), selon certaines dispositions apporte un apport positif amélioré dans l'amélioration du confort thermique.

Bien que ce travail de recherche c'est déroulé sur la ville de Biskra qui se situe dans une zone aride et à climat chaud et sec, les conclusions sont valables pour les villes dont les situations géographiques sont similaires.

Finalement, non seulement avons-nous évalué les performances climatiques positives de la végétation et sa limite d'optimisation vis-à-vis du confort thermique même avec un GCR de 100%. Notre découverte est qu'avec une densité de 50% du GCR dans le cas de disposition des arbres linéairement suivant l'axe « y » (direction Nord-Sud), le résultat de la simulation a donné des performances du confort thermique qui sont très rapprochées du cas d'un scénario de densité végétal de 100% du GCR bien entendu , avec la même nature du sol ; qui est un sol gazonné, dans ce cas , donc, économiquement parlant, avec cette disposition d'arbres avec un GCR de 50% on a presque le même effet d'optimisation du confort thermique qu'un GCR de 100%. Ce qui revient à conclure que l'efficacité de performance climatique ne réside pas dans la quantité du couvert végétal mais beaucoup plus dans la manière de disposition des arbres.

En été et en se basant sur les résultats des différentes simulations, on a pu confirmer notre hypothèse de départ, que le confort thermique peut être optimisé par une certaine combinaison du couvert végétal de la disposition des arbres et l'introduction de l'herbe au sol, ainsi et en plus des bienfaits de la végétation en matière de rafraîchissement de l'air particulièrement, et dans le confort thermique en général, les apports du couvert végétal furent une fois de plus mis en exergues.

Recommandations

La recherche suivante insiste sur les rôles que peuvent jouer les arbres en tant qu'agents réducteurs du stress urbain et l'efficacité qu'on peut en attendre sur leur effet microclimatique et le confort thermique qu'il induit par le refroidissement et humidification de l'air.

La végétation participe à la protection solaire. Elle apporte un ombrage et crée un microclimat par évapotranspiration. Le choix de l'espèce est important car la qualité de l'ombre d'un arbre dépend de sa densité. Ainsi, le feuillage d'un arbre peut filtrer de 60 à 90 % du rayonnement solaire et un tapis de végétation réduit également le rayonnement solaire réfléchi par le sol.

La végétation permet l'ombrage, filtre les poussières en suspension, fait écran aux vents tout en favorisant la ventilation, oxygène l'air et le rafraîchit par évapotranspiration. La végétation empêche le réchauffement du sol et son évaporation. Elle permet le contrôle de l'érosion du sol, atténue les bruits environnants et régule la circulation du vent autour des constructions. Les plantations créent des zones de basses et de hautes pressions favorisant l'écoulement de l'air au travers des bâtiments. Les arbres qui jouent le rôle de protection solaire doivent avoir un tronc élancé pour ne pas freiner l'écoulement du vent.

Les résultats obtenus sur terrain confirment l'effet rafraîchissant et le confort thermique de la densité végétale, ce qui nous permet de proposer quelques recommandations jugées utiles à l'intégration et l'aménagement de la masse végétale dans un climat chaud et sec en insistant sur l'exploitation de l'élément naturel et l'intégration de la végétation dans la conception architecturale et urbaine, cependant un bon rendement de la végétation exige un bon choix des espèces et des implantations stratégiques.

Pour le choix des espèces l'intention doit être portée sur plusieurs paramètres, la silhouette d'arbre à savoir: forme et hauteur du tronc, étalement et hauteur du houppier, la perméabilité, la transmission, forme et taille de la feuille. L'indice de la densité de la surface de la feuille et régime de développement... etc.

Cette recherche et celles entreprises dans ce domaine ne devraient pas rester dans un simple cadre théorique ou pédagogique, mais devraient au contraire constituer une base de travail pour les aménageurs, urbanistes et architectes qui devraient être eux aussi initiés à cet aspect de l'architecture verte qui est relativement négligée dans la formation d'architectes et urbanistes par rapport aux autres aspects, et cela dans le but d'opter pour une planification urbaine qui respecte l'environnement et qui considère le contexte de chaque zone.

Il n'y a pas que les architectes qui devront être sensibilisés aux rôles très importants des arbres dans les aménagements urbains, les politiques et décideurs eux aussi devraient l'être. Même le citoyen devrait être sujet à une éducation environnementale afin qu'il soit conscient du devenir écologique du quartier, de la ville, du pays et même de la planète.

En somme, une sensibilisation de toute la société à l'importance de la trame verte sous toutes ses formes que ce soit parcs, jardins, arbres d'alignement ou arbres d'agrément, etc.....

Les mesures sur terrain sont les plus efficaces et présentent un meilleur indicateur du microclimat et des ambiances thermiques existantes, néanmoins l'exploitation du logiciel envi-met s'avère un outil de simulation très utile pour anticiper l'intégration et l'aménagement des espaces vert dans les zones chaudes et arides

Futures axes de recherche :

Cette recherche assez approfondie reste limitée ce qui suppose une ouverture sur d'autres axes, à savoir :

- l'effet combiné de la géométrie et la végétation sur le microclimat et le confort thermique extérieur.
- l'effet du matériau sur le microclimat et le confort thermique extérieur et la consommation énergétique.
- évaluation de l'apport de refroidissement relatif à plusieurs types d'arbres et plusieurs types de revêtements.
- l'effet associé de la végétation et l'eau sur le microclimat et confort visuel et thermique extérieur.
- Quant aux ambiances extérieurs elles peuvent faire l'objet de plusieurs sujets de recherches tel que: L'éclairage, l'acoustique et la consommation énergétique
- En plus, notre travail s'est limité à la saison d'été, on a visé la période de surchauffe. Aussi, Il serait intéressant de faire une étude comparative entre les différentes saisons pour mieux voir l'effet climatique du végétal urbain.

Bibliographie

Bibliographie

Livres :

- AFME:** Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie : « Conception thermique de l'habitat guide pour la Moniteur, Paris 19.
- Alvarez S. et al.:** Green code: Reglementary frame for renewable energy use in urban site through vegetation planning and strategic surfacing. Edition: Altener, 2000.
- Augoyard J.F.:** Ambiances architecturales et urbaines. Les Cahiers de la recherche architecturale, 1998.
- B.GIVONI (1991):** Impact of planted areas on urban environmental quality: a review. Atmospheric environnement Vol n°3.
- B.GIVONI (1991):** L'homme l 'architecture et climat. traduction de J.L.Izard. Edition: Le Moniteur, 1978
- Cabanel, J., Stefulesco, C:** L'urbanisme végétal. Edition I.D.F diffusion, 1993.
- Coombes A. J.:** Les arbres. Paris : Bordas,. Collection L'oeil Nature. Traduction Isabelle Delvallée,1993.
- Escourrou G :** arbres d'alignement et deux rues sans arbres. Nathan, 1991.
- Escourrou G.:** Climat et environnement, Les facteurs locaux du climat. Edition:Masson,1981.
- Escourrou G.:** Le climat et la ville. Edition: Nathan, 1991
- GAUZIN-MÜLLER Dominique:**« L'architecture écologique, 29 exemples
- IZARD.J.L, GUYOT.A « Archi Bio » Editions Parenthèses, Roquevaire 1979.
- Jean –claude guinaudeau :** L'arbre en milieu urbain Edition: centre scientifique du bâtiment marne –la vallée/ paris 2010.
- Larousse :** Dictionnaire encyclopédique, 1970.
- Larue D.:** L'arbre dans la ville. Paris. Edition: Sang de la terre et Foncier Conseil, 1996.
- Liébard A., De Herde A.:** Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques. Edition: Le Moniteur, 2006.
- Maaoui Moufida :** ATLAS Plates ornementales, 2014.
- Mazouz S.:** L'intégration de variables environnementales dans le processus de conception architecturale, 2000.

Ministère de l'habitat (1994), "Recommandations architecturales". Ed. ENAG / édition, Alger

Thèses et mémoires :

Bedar amina : le rôle du minéral et du végétal dans la régulation des ambiances hygrothermiques extérieures. Université de Biskra, 2012 Thèse de Magistère

Abbaoui H. : L'impact de la végétation sur le climat urbain dans les milieux arides, cas de la ville de Biskra. Université de Biskra, 2006. Thèse de Magistère.

Aicha boussoualim: Incidence des caractéristiques microclimatiques sur l'usage et les activités en espace public extérieur. Etude de cas à Blagnac (Toulouse) école d'architecture de Toulouse thèse de doctorat 2002

Ballout Amor : Le rôle de-là dans la création d' végétation et l'eau dans la création d'un Microclimat urbain cas de la place' (Ain el fouara) a Sétif Thèse de Magistère 2010

Benhalilou Karima : Impact de la végétation grimpante sur le confort hygrothermique estival du bâtiment Université Constantine, Thèse de Magistère .2008

BENLATRECHE Toufik : Effets thermo-radiatifs et caractérisation microclimatique des cours intérieures dans les édifices publics Université Constantine 2006

Bennadji, A. : Adaptation climatique ou culturelles en zones arides, Cas du Sud-Est Algerien. Université de Provence Marseille, 1999.

Boucheriba fouzia : Impact de la géométrie des canyons urbains sur le confort thermique extérieur- Cas du Coudiat de Constantine Thèse de Magistère

Boudjellal lazhar : Rôle de l'oasis dans la création de l'îlot de fraîcheur dans les zones chaude et arides chaudes et arides.
« Cas de l'oasis de chetma -Biskra -Algérie » Thèse de Magistère

Boukhabla moufida: L 'influence des facteurs climatique sur la modification de l'îlot de chaleur urbain d une rue canyon , diédre et degage Thèse de doctorat, Université de biskra 2015.

Boutabba Samir Djemoui : Confort thermique urbain entre mesure et perception
Etude de cas à Sidi-Okba Thèse de Magistère Université Biskra, 2007

Hafida Arbaoui : L'impact de la végétation sur le climat urbain dans les milieux arides - cas ville biskra , Université biskra , Thèse de Magistère .2006.

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

Matallah Mohamed Elhadi : L'impact de la morphologie des tissus urbains sur le confort thermique extérieur – cas d'étude ville de Tolga. Université biskra , Thèse de Magistère .2015

Robitu, M.: Etude de l'interaction entre le bâtiment et son environnement urbain : Influence sur les conditions de confort en espaces extérieurs. Thèse de doctorat, Université de Nantes, 2005.

Tebbeni H: Impacte de la végétation sur le microclimat et le confort thermique des espaces urbains publics, cas du cours de la révolution d'Annaba. Université mentouri Constantine, Thèse de Magistère 2006.

Vinet, J.: Contribution à la modélisation thermo-aéraulique du microclimat urbain. Caractérisation de l'impact de l'eau et de la végétation sur les conditions de confort en espaces extérieurs. Thèse de doctorat, Université de Nantes, 2000

Zemoura zineddine : Impacte de la végétation sur le microclimat et le confort thermique des espaces urbains publics, cas des allées ben boulaïd à Batna . Université Constantine, Thèse de Magistère .2006

Ouameur Fouad Ahmed. 2007. Morphologie urbaine et confort thermique dans les espaces publics Etude comparative entre trois tissus urbains de la ville de Québec. Maitrise en science de l'architecture. École d'architecture faculté d'aménagement, d'architecture et des arts visuels, Université Laval, Québec : faculté d'aménagement, architecture et arts visuels université Laval QUÉBEC.

Articles:

ABC Groupe, 1997 : Morphologie, végétal et microclimats urbains. Plan urbain. Ministère de L'Équipement, 131-133

Akbari, H. (2002). Shade trees reduce building energy use and CO2 emissions from power plants. *Environmental pollution*, 116, S119-S126.

Akbari, H. and H. Taha, 1992. "The Impact of Trees and White Surfaces on Residential Heating and Cooling Energy Use in Four Canadian Cities," *Energy, the International Journal*, 17(2):141-149.

Akbari, Hashem, Dionysia, Kolokotsa, 2016. Three decades of urban heat islands and mitigation technologies research. *Energy Build.* 133 (December), 834-852. Elsevier Ltd

Ali-Toudert, F. 2005. Dependence of outdoor thermal comfort on street design in hot and dry climate: PhD thesis. University of Freiburg, Germany.

- Ali-Toudert, F.; Mayer, H. 2006. Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate, *Building and Environment* 41(2): 94–108.
- Arboit, M., & Betman, E. (2017). Evaluation of the Energy Impact of Green Area Surfaces and Vegetation Cover in Forested Urban Environments with Dry Climates. Case: Mendoza Metropolitan Area, Argentina. *Procedia Environmental Sciences*, 37, 112-130.
- Battista, Gabriele, Carnielo, Emiliano, De Lieto Vollaro, Roberto, 2016. Thermal impact of a redeveloped area on Localized urban microclimate: a case study in Rome. *Energy Build.* 133 (December), 446-454. Elsevier Ltd.
- Bernatzky, A. 1982. The contribution of trees and green spaces to a town climate. *Energy and buildings*, 5(1), 1-10.
- Bowler, Diana E., Buyung-Ali Lisette, Knight, Teri M., Pullin, Andrew S, 2010. Urban greening to Cool towns and cities: a systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*.
- Bruse, M., Fler, H. (1998). Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model, *Environ. Model. Softw.* 13, 373-384
- Chatzidimitriou, N. Chrissoumallidou and S. Yannas, 2006. 'Ground Surface Materials and Microclimates in Urban Open Spaces', PLEA, the 23rd Conference, Genève, Suisse, 6-7 Sep.
- Daniel, M., Lemonsu, A., Viguie, V., 2018. Role of watering practices in large-scale urban planning strategies to face the heat-wave risk in future climate. *Urban Climate* 23 (March), 287-308. Elsevier B.V.
- Dimoudi, A., Kantzioura, A., Zoras, S., Pallas, C., Kosmopoulos, P., 2013. Investigation of urban microclimate parameters in an urban center. *Energy Build.* 64, 1-9.
- Dimoudi, A.; Nikolopoulou, M. 2003. Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits, *Energy and Buildings* 35: 69–76.
- Gago, E.J., Roldan, J, Pacheco-Torres, R., Ordnez, J., 2013. The city and urban heat islands: a review of strategies to mitigate adverse effects. *Renewable. Sustainable. Energy Revue.* 25, 749-758.
- Givoni, B. "L'homme, l'architecture et le climat..(Trad. de l'angl.)." (1978).
- Gunawardena, K.R., Wells, M.J., Kershaw, T., 2017. Utilizing green and blue spaces to mitigate urban heat island intensity. *Science. Total Environnement.* 584-585 (April), 1040-1055. Elsevier B.V
- Huang, Y. J., Akbari, H., Taha, H., & Rosenfeld, A. H. 1987. The potential of vegetation in reducing summer cooling loads in residential buildings. *Journal of climate and Applied Meteorology*, 26(9), 1103-1116.

- Jamei, Elmira, Rajagopalan, Priyadarshini, Seyedmahmoudian, Mohammad Mehdi, Jamei, Yashar, 2016. Review on the impact of urban geometry and pedestrian level greening on outdoor thermal comfort. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 54 (February), 1002-1017. Elsevier Ltd.
- Jeong, D.; Park, K.; Song, B.; Kim, G.; Choi, C.; Moon, B. 2015. Validation of ENVI-met PMV values by in-situ measurements, in 9th International Conference on Urban Climate jointly with 12th Symposium on the Urban Environment, 20– 24 July 2015, Toulouse, France.
- Jörg Spangenberg, Paula Shinzato, 2008 simulation of the influence of vegetation on microclimate and thermal comfort in the city of São Paulo, rev. sbau, Piracicaba, v.3, n.2, jun. 2008, p. 1-19
- Kolokotroni, M., Gianni saris, I., Watkins, R., 2006. The effect of the London urban heat island on building summer cooling, demand and night ventilation strategies. *Sol. Energy* 80 (4), 383-392
- Kolokotroni, Maria, Davies, Michael, Ben, Croxford, Bhuiyan, Saiful, Anna, Mavrogianni, 2010. A validated methodology for the prediction of heating and cooling energy demand for buildings within the urban heat island: case-study of London. *Sol. Energy* 84 (12), 2246-2255.
- Li, Xiaoma, Zhou, Weiqi, Ouyang, Zhiyun, 2013. Relationship between land surface temperature and spatial pattern of greenspace: what are the effects of spatial resolution? *Landscape. Urban Planning.* 114 (June), 1-8.
- Mackey, Christopher W., Lee, Xuhui, Smith, Ronald B., 2012. Remotely sensing the cooling effects of city scale efforts to reduce urban heat island. *Build. Environnement.* 49 (1), 348-358.
- Mayer, H. (1993). Urban bioclimatology. *Experientia*, 49(11), 957-963.
- McPherson, E. G. 1994. Energy-saving potential of trees in Chi-cago. Chicago's urban forest ecosystem: Results of the Chicago urban forest climate project. USDA forest service, General Technical Report NE, 186, 95-113.
- Michael, Bruse. 2015 in [http:// www.envi-met.com/ release-envi-met-4-4-3](http://www.envi-met.com/release-envi-met-4-4-3)
- Michael, Bruse. 201 9in [http:// www.envi-met.com/ release-envi-met-4-4-3](http://www.envi-met.com/release-envi-met-4-4-3)
- Middel, A.; Häb, K.; Brazel, A. J.; Martin, C. A.; Guhathakurta, S. 2014. Impact of urban form and design on mid-afternoon microclimate in Phoenix Local Climate Zones, *Landscape and Urban Planning* 122: 16–28.

- Mirzaei, Parham A., 2015. Recent challenges in modeling of urban heat island. *Sustainable Cities and Society* 19 (December), 200-206. Elsevier Ltd.
- Moyer, Ashley N., Hawkins, Timothy W., 2017. River effects on the heat island of a small urban area. *Urban Climate* 2 (September), 262-277. Elsevier B.V.
- Ong, B. L. 2003. Green plot ratio: an ecological measure for architecture and urban planning, *Landscape and Urban Planning* 63(4): 197–211.
- Ouameur Fouad Ahmed. 2007. Morphologie urbaine et confort thermique dans les espaces publics Etude comparative entre trois tissus urbains de la ville de Québec. Maitrise en science de l'architecture. École d'architecture faculté d'aménagement, d'architecture et des arts visuels, Université Laval, Québec : faculté d'aménagement, architecture et arts visuels université Laval QUÉBEC
- Pacheco-Torgal, F., 2015. Introduction to eco-efficient materials to mitigate building cooling needs. In: *Eco-Efficient Materials for Mitigating Building Cooling Needs: Design, Properties and Applications*, pp. 1-9. Elsevier Ltd.
- Park, Jonghoon, Kim, Jun Hyun, Lee, Dong Kun, Park, Chae Yeon, Seung Gyu Jeong, 2017. The influence of small green space type and structure at the street level on urban heat island mitigation. *Urban For. Urban Green*. 21 (January), 203-212. Elsevier GmbH.
- Peng, S., Piao, S., Ciais, P., Friedlingstein, P., Oettle, C., Bréon, F. M., ... & Myneni, R. B. 2012. Surface urban heat island across 419 global big cities. *Environmental science & technology*, 46(2).
- Picot, X. 2004. Thermal Comfort in Urban Spaces: Impact of Vegetation Growth Case Study: Piazza Della Scienza, Milan, Italy. *Journal of Energy*, 36, 329-334.
- Roberts, A., & Kamal-Chaoui, Lamia. 2009. Competitive cities and climate change. *OECD Regional Working Papers*, N° 2, OECD publishing, © OECD.172pp
- Sailor, D. J. (1998) Simulations of annual degree day impacts of urban vegetative augmentation. *Atmospheric Environment*; 1998, Vol. 32, No 1, p. 43
- Santamouris, M., 2013. Using Cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island - A review of the actual developments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 224-240
- Shahidan, M. F.; Jones, P. J.; Gwilliam, J.; Salleh, E. 2012. An evaluation of outdoor and building environment cooling achieved through combination modification of trees with ground materials, *Building and Environment* 58: 245–257.

- Srivanit, M., Jareemit, D. (2016). Human thermal perception and outdoor thermal comfort under shaded conditions in summer – a field study in an institutional campus, The 6th International Conference on Sustainable Energy and Environment (Special Session: Urban Climate & Urban Air Pollution (UCUA)), 537-540.
- Taha et al., 1988; Oke, 1982. Taha, Haider, Akbari, Hashem, Rosenfeld, Arthur, Huang, Joe, 1988. Residential cooling loads and the urban heat island-the effects of albedo. *Build. Environnement*. 23(4), 271-283.
- Taha et al., 1988; Oke, 1982. Taha, Haider, Akbari, Hashem, Rosenfeld, Arthur, Huang, Joe, 1988. Residential cooling loads and the urban heat island-the effects of albedo. *Build. Environnement*. 23(4), 271-283.
- Taleghani, Mohammad, 2018. Outdoor thermal comfort by different heat mitigation strategies. *Renew. Sustain. Energy Rev. Elsevier Ltd*
- Thorsson, S., F. Lindberg, I. Eliasson, B. Holmer 2007 Different methods for estimating the mean radiant temperature in an outdoor urban setting. *International journal of climatology* 27(14): 1983-1993
- UN (United Nations), 2016. The World's Cities in 2016 e Data Booklet (ST/ESA/SER.A/392). Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 5
- Vidrih, B., Medved, S., 2013. Multiparametric model of urban park cooling island. *Urban For. Urban Green*. 12 (2), 220-229.
- Wang, Y. 2016. The effect of urban green infrastructure on local microclimate and human thermal comfort: PhD Thesis. Wage-ningen University, Netherlands
- Wang, Y.; Bakker, F.; de Groot, R.; Wortche, H.; Leemans, R. 2015. Effects of urban trees on local outdoor microclimate: synthesizing field measurements by numerical modelling, *Urban Ecosystems* 18(4): 1305–1331
- Zhang, L, Zhan, Q., Yuliang 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

Sites internet:

Gianni Scudo, 2002 in www.map211tb.com

<https://www.google.dz/search>

<http://www.u-picardie.fr>

https://fr.wikipedia.org/wiki/Arbre_d'aligneme)

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Feuille>

La Sourat al-naml (27,60). (Web 12,).

Microsoft Encarta 2007. 1993-2006 Microsoft Corporation.

www.paper.plan.fr/2012

(<https://revues.univ-ouargla.dz/index.php/volume-1-numero-2-ast-2007/207>).

Annexes

Annexe 1 : 1.1.Récapitulatif de la campagne de mesures

Toutes les mesures effectuées sont rassemblées sous forme de tableaux pour les trois années successives 2017,2018 et 2019 pour les variables retenues avec une mise en exergue du jour le plus chaud par rapport aux trois années retenus avec les valeurs maximales des paramètres mesurés. (Du tableau. 1.1 au Tableau. 1.2 et 1.3.).

Heure	6.00h	8.00h	10.00h	12.00h	14.00h	16.00h	18.00h	20.00h
T air	32.3	35.60	41.10	41.1	42.3	45.5	45.6	40.4
H air	26.3	25.20	19.3	17.8	13.2	12	12.2	14.9
V AIR	0.5	3.4	1.3	1.0	0.80	3.30	0.5	1.0

Station n : 01

Heure	6.00h	8.00h	10.00h	12.00h	14.00h	16.00h	18.00h	20.00h
T air	32.6	37.8	38.3	42.5	44.3	46.8	44.1	40.3
H air	26.7	25.5	19.4	17.2	12.8	12.2	15.6	15.9
V AIR	0.4	0.8	1.6	0.5	0.3	0.4	0.4	0.6

Station n : 02

Heure	6.00h	8.00h	10.00h	12.00h	14.00h	16.00h	18.00h	20.00h
T air	32.6	36.8	38.80	41.8	42.3	44.6	41.8	40.3
H air	30.3	26.5	22.00	18.4	16.00	13.9	15.4	17.1
V AIR	0.4	0.4	1.2	1.4	0.6	0.1	0.0	0.5

Station n : 03

Heure	6.00h	8.00h	10.00h	12.00h	14.00h	16.00h	18.00h	20.00h
T air	32.1	36.1	39.1	41.3	42.2	43.8	41.4	40.1
H air	30.1	25.8	21.5	15.5	14.5	16.10	14.8	16.8
V AIR	0.6	0.5	1.2	0.6	1.1	0.4	0.0	0.3

Station n : 04

Heure	6.00h	8.00h	10.00h	12.00h	14.00h	16.00h	18.00h	20.00h
T air	31.7	35.4	39.7	41	42.8	44.5	41.5	38.8
H air	30.9	28.8	21.8	18.8	18.6	13.4	16.5	16.5
V AIR	0.0	0.3	0.6	1.4	0.3	1.3	1.1	0.3

Station n : 05

Tableau 1.1 : les Facteurs climatiques mesurés durant la journée 22 .07.2017 (Source : Auteure) 2017).

Heure	6.00h	8.00h	10.00h	12.00h	14.00h	16.00h	18.00h	20.00h
T air	32.3	35.1	40.4	43.5	45.4	44.5	40.6	36.8
H air	26.3	24.8	19.3	16.4	13.2	14.8	17.4	20.8
V AIR	0.5	2.0	0.7	1.2	2.4	2.6	2.2	3.4

Station n : 01

Heure	6.00h	8.00h	10.00h	12.00h	14.00h	16.00h	18.00h	20.00h
T air	32.6	36.6	41.7	44.3	45.0	44.1	40.3	36.4
H air	26.7	25.7	21.2	15.9	13.2	14.8	17.3	20.5
V AIR	0.4	0.9	0.3	0.4	1.8	1.1	0.8	1.2

Station n : 02

Heure	6.00h	8.00h	10.00h	12.00h	14.00h	16.00h	18.00h	20.00h
T air	32.6	36.7	40.7	41.9	43.3	43.2	39.6	36.4
H air	30.3	24.3	21.9	19.9	14.7	15.2	17.5	20.3
V AIR	0.4	0.4	0.0	1.3	0.5	0.6	1.4	2.0

Station n : 03

Heure	6.00h	8.00h	10.00h	12.00h	14.00h	16.00h	18.00h	20.00h
T air	32.1	35.0	39.7	41	42.8	43.0	39.6	36.4
H air	30.1	26.2	21.8	18.8	18.6	14.6	17.5	20.7
V AIR	0.6	0.3	0.6	1.4	0.5	3.3	0.5	2.0

Station n : 04

Heure	6.00h	8.00h	10.00h	12.00h	14.00h	16.00h	18.00h	20.00h
T air	31.7	35.0	39.7	41	42.8	43.0	39.6	36.4
H air	30.9	28.8	24.0	24.4	14.8	15.8	17.7	20.7
V AIR	0.0	0.3	0.6	1.4	0.3	3.3	0.5	2.0

Station n : 05

Tableau 1.2 : les Facteurs climatiques mesurés durant la journée du 05.07.2019
(Source : Auteure 2019)

Station n : 01

Heure	6.00h	8.00h	10.00h	12.00h	14.00h	16.00h	18.00h	20.00h
T air	30.8	34.8	37.00	41.4	43.1	44	43	39.2
H air	32.6	24.5	23.9	18.5	14.1	10.7	12.0	13.0
V AIR	0.4	0.0	1.3	0.6	1.2	1.2	2.0	2.0

Station n : 02

Heure	6.00h	8.00h	10.00h	12.00h	14.00h	16.00h	18.00h	20.00h
T air	30.2	36.1	39.2	42.1	43.5	44.8	42.3	38.8
H air	34.6	26.9	23.3	20.2	13.6	11.8	13.3	13.6
V AIR	0.0	1.1	0.6	1.1	1.1	2.0	1.4	0.4

Station n : 03

Heure	6.00h	8.00h	10.00h	12.00h	14.00h	16.00h	18.00h	20.00h
T air	30.00	34.9	36.8	38.7	39.9	42.1	44.1	38.5
H air	34.6	33.2	27.4	23.1	19.5	13.1	12.6	14.1
V AIR	0.4	0.5	0.0	0.9	0.7	1.0	0.0	0.0

Station n : 04

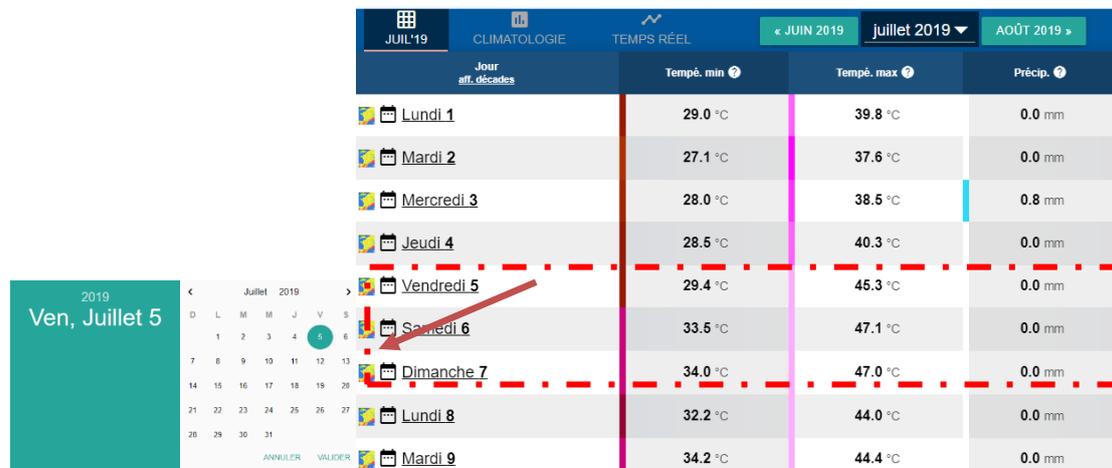
Heure	6.00h	8.00h	10.00h	12.00h	14.00h	16.00h	18.00h	20.00h
T air	29.7	34.1	36.4	38.6	39.7	42.1	40.7	38.2
H air	36.1	33.5	26.8	24.1	21.1	12.1	12.3	14.5
V AIR	.3	0.4	0.3	0.3	0.5	1.4	2.1	0.0

Station n : 05

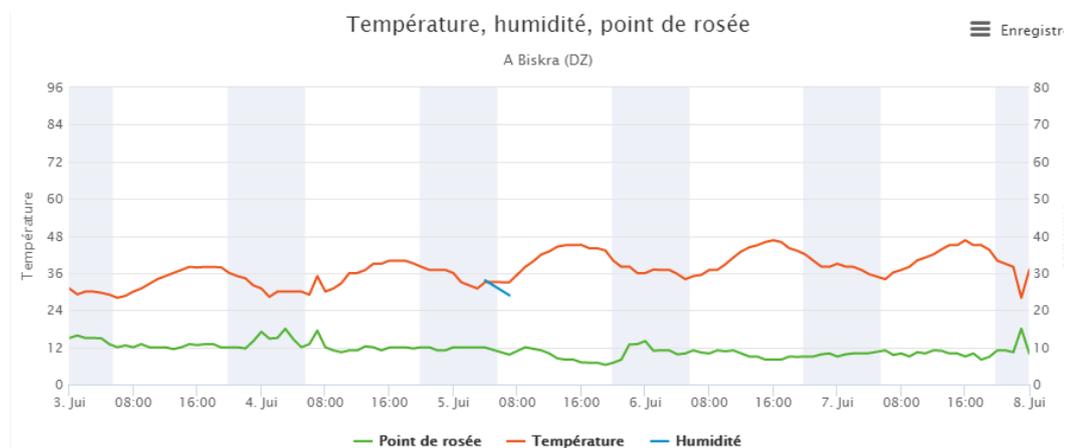
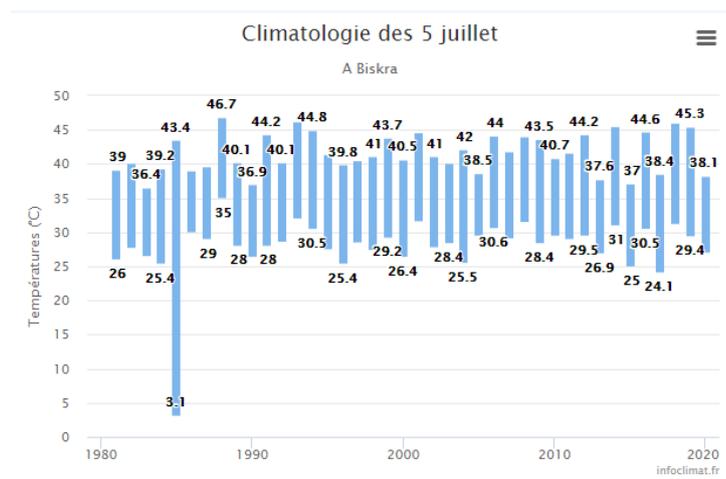
Heure	6.00h	8.00h	10.00h	12.00h	14.00h	16.00h	18.00h	20.00h
T air	29.5	33.5	36.2	38.9	40.6	41.8	40.5	39.9
H air	35.9	32.5	26.3	22.3	17.7	14.9	13.6	16.1
V AIR	0.3	0.3	1.0	1.1	0.4	0.5	0.7	0.0

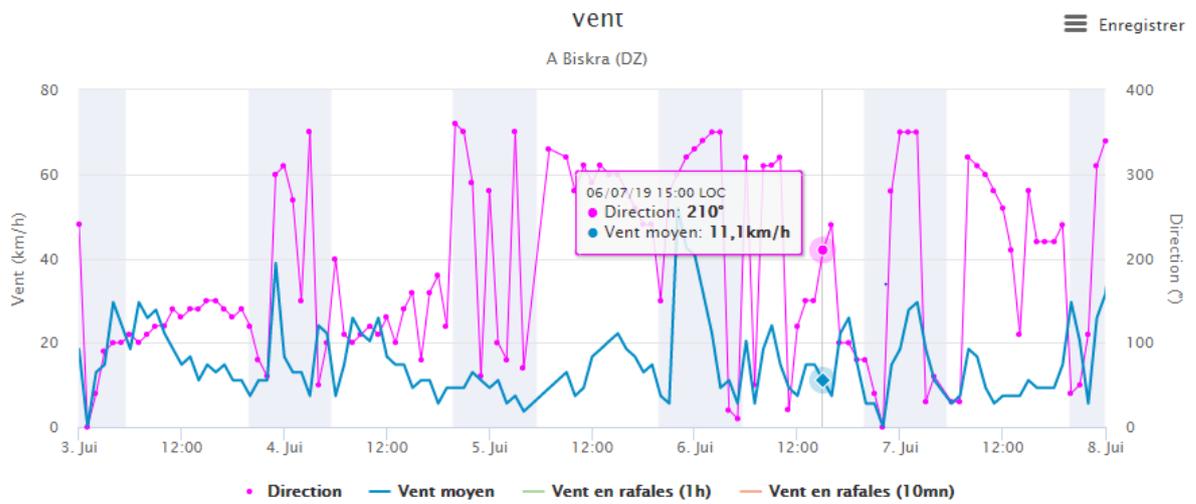
Tableau.1.3 : les Facteurs climatiques mesurés durant la journée du 06 .07.2018
(Source : Auteure 2018.)

1.14. Les données météorologiques de la journée 05. 07 .2019 de la ville de Biskra.



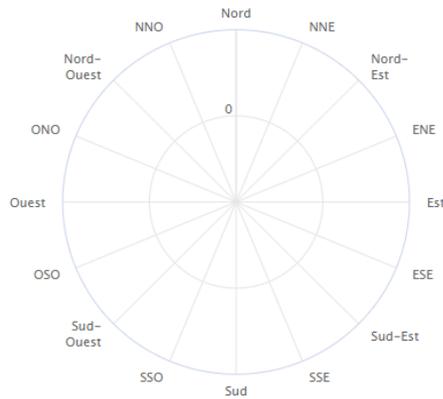
La journée 05.07.2019 typique chaude de la ville de Biskra





Rose des vents (direction d'où vient le vent)

En juillet 2019 à Biskra



Pression au niveau de la mer, précipitations, temps observé

A Biskra (DZ)

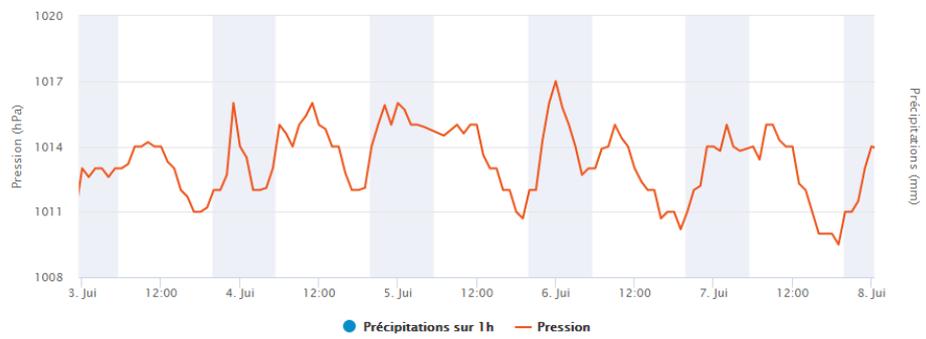
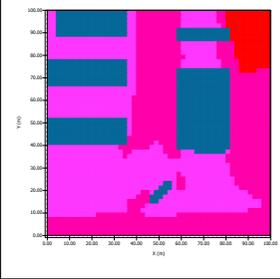
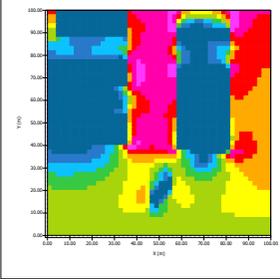
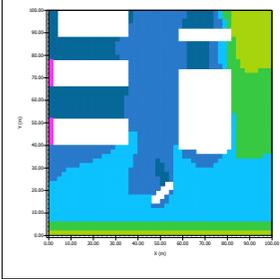
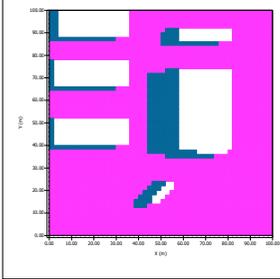
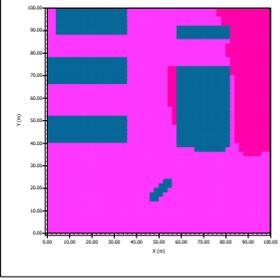
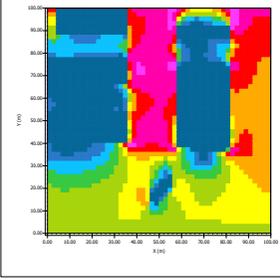
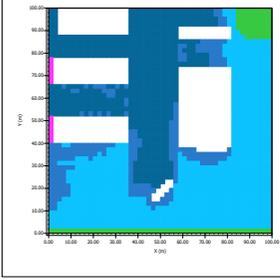
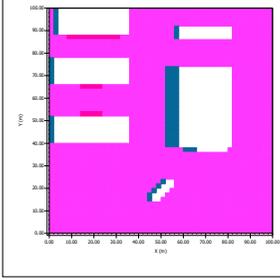
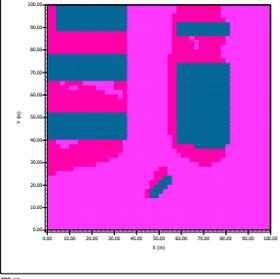
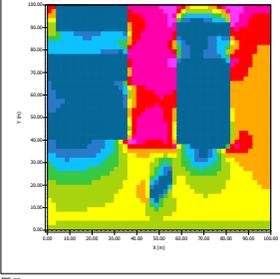
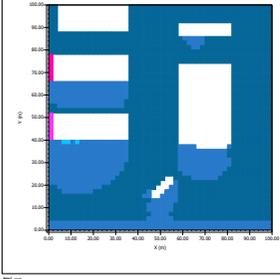
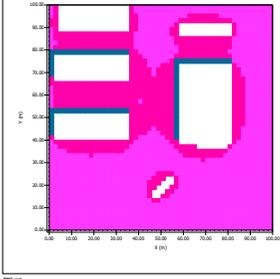
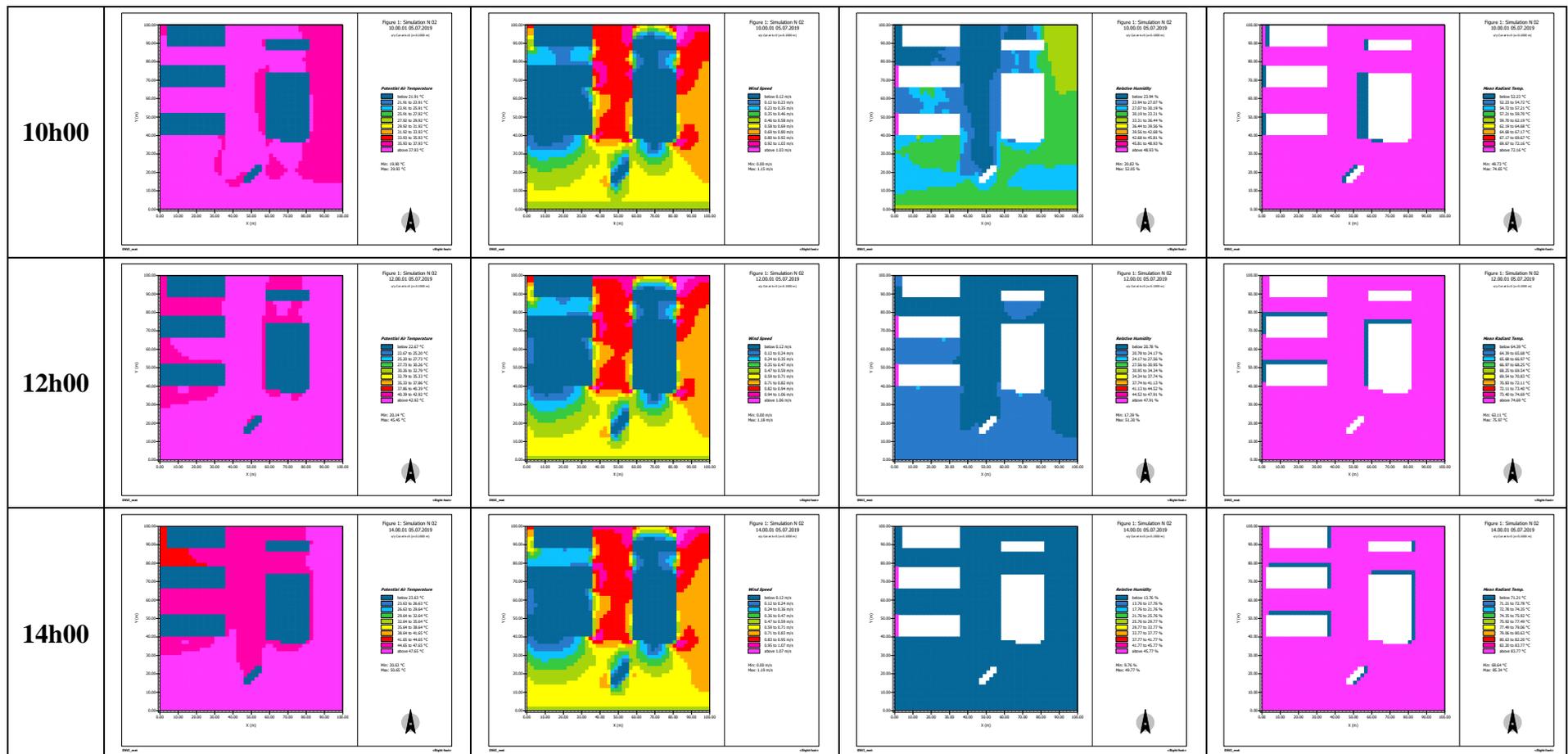
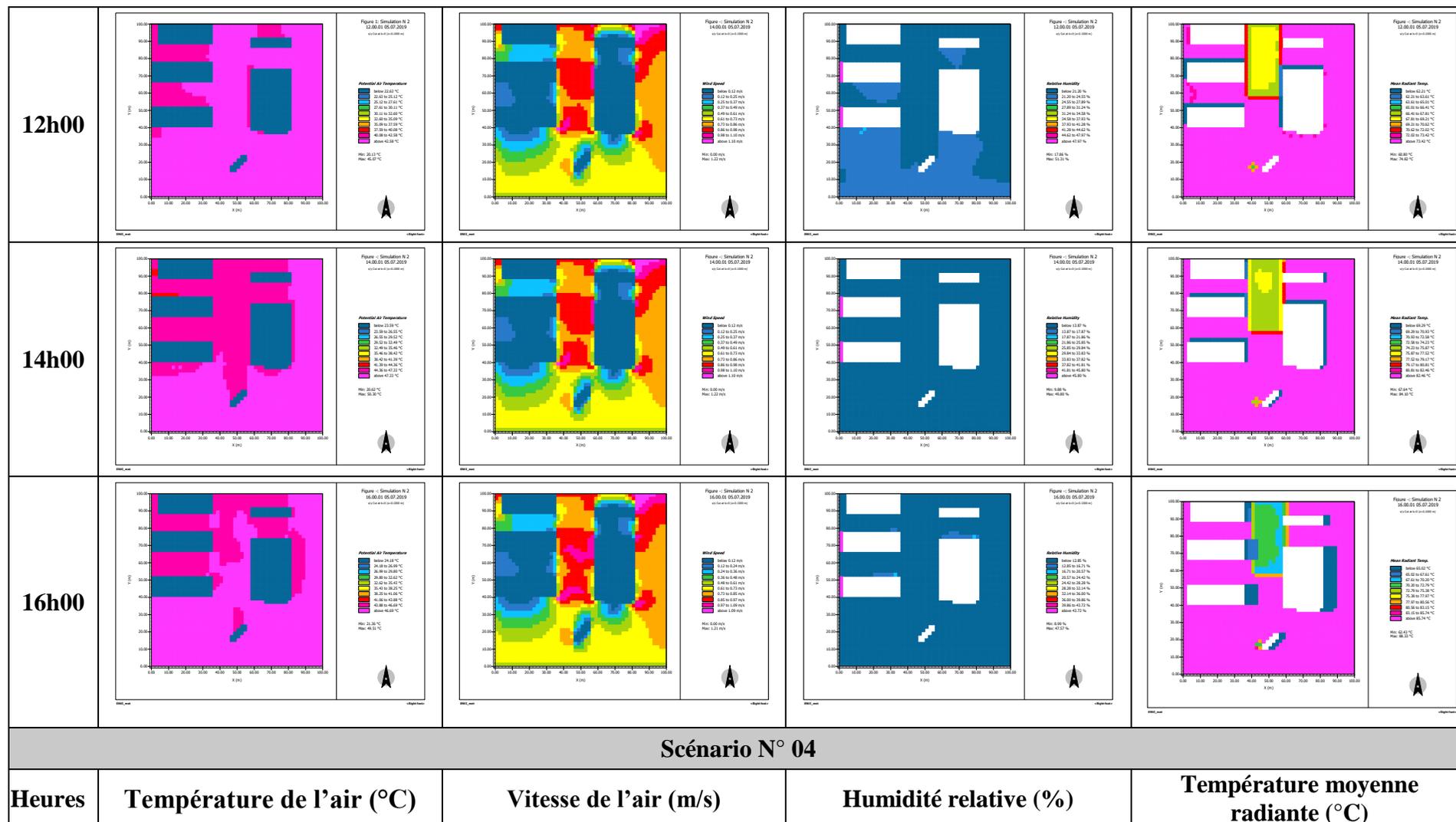


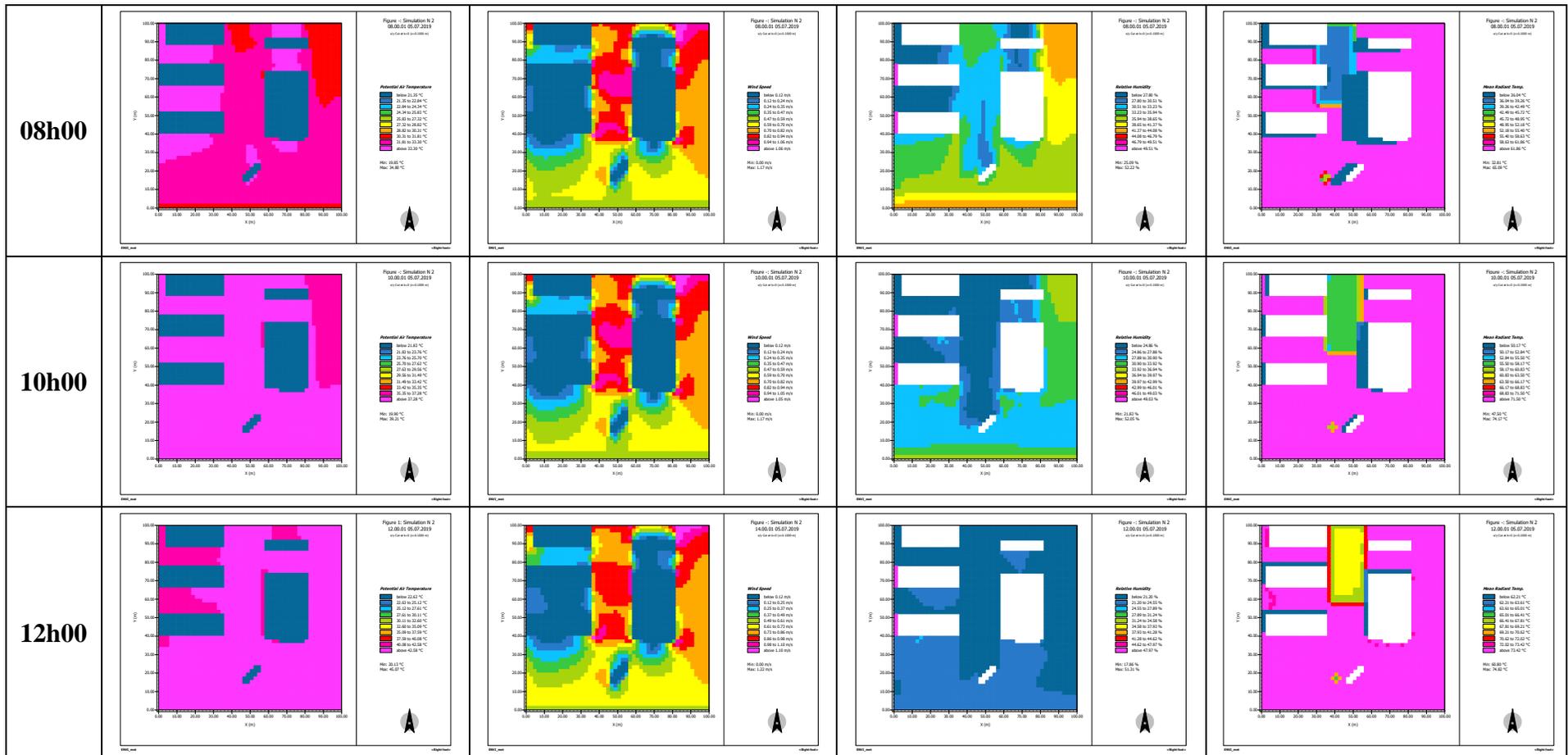
Figure 1.1 : Les paramètres climatiques pour La journée 05.07.2019 (Source : Auteurs)

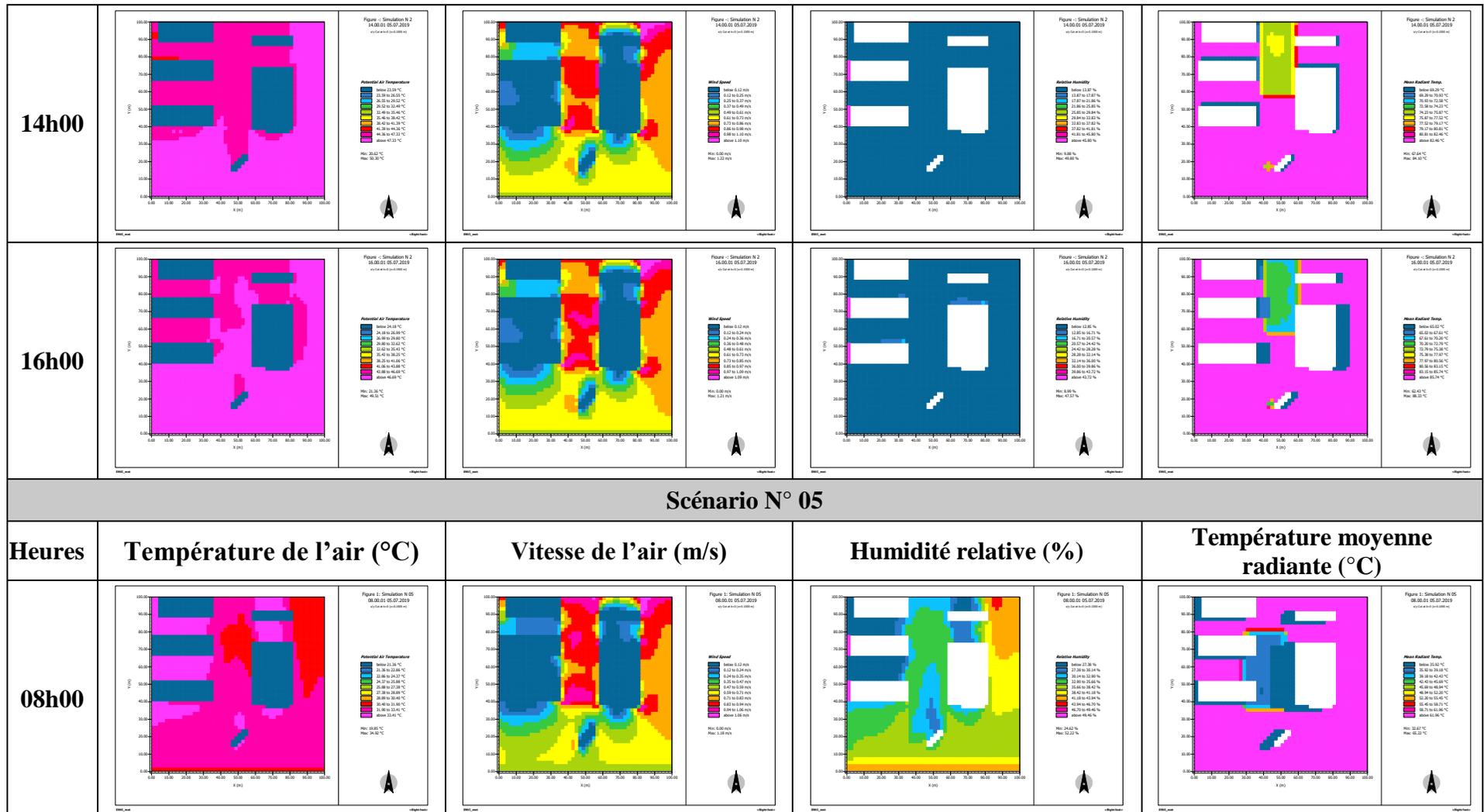
Scénario N° 01

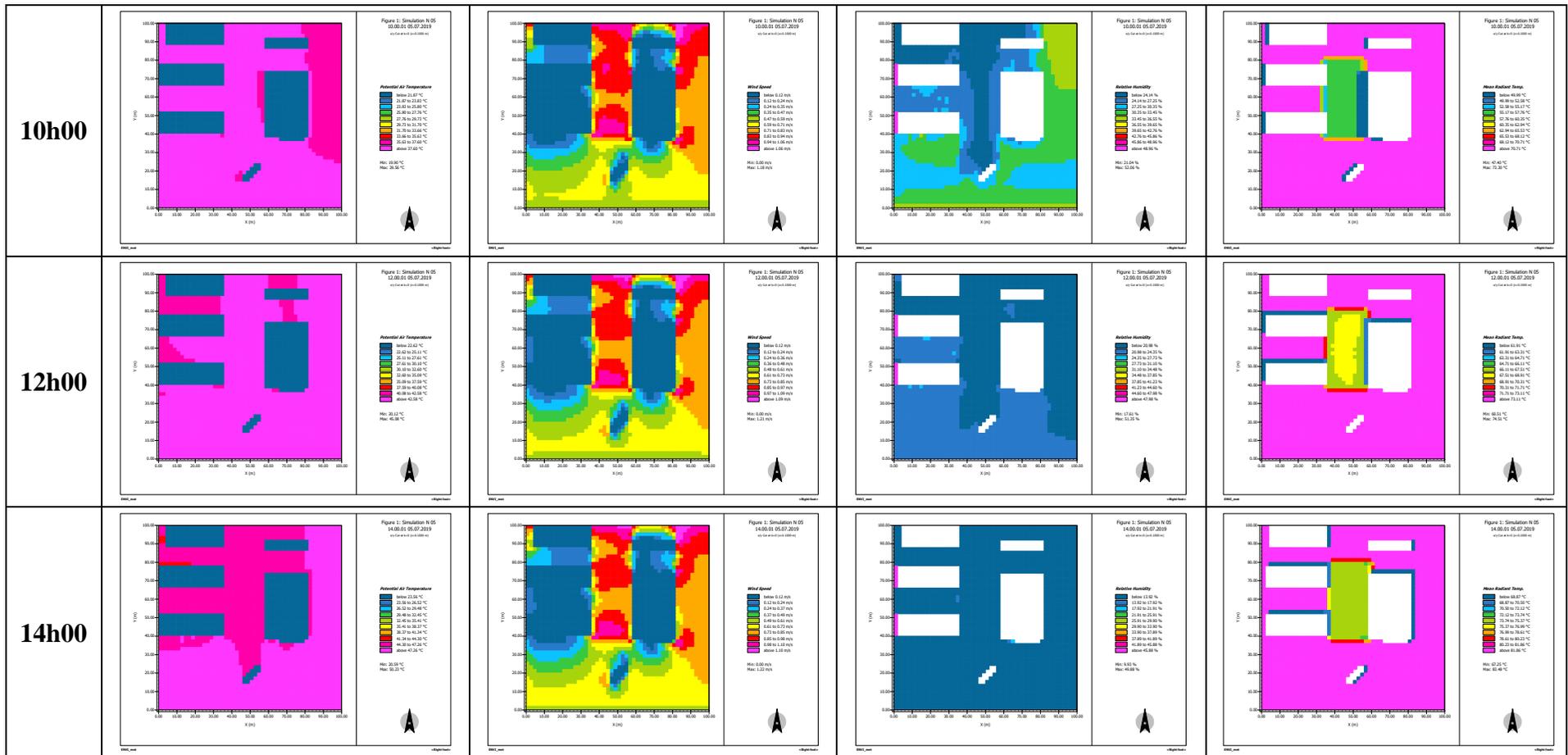
Heures	Température de l'air (°C)	Vitesse de l'air (m/s)	Humidité relative (%)	Température moyenne radiante (°C)
08h00	 <p>Figure - Simulation N 1 10.00.01 05.07.2019 v3 (M.A.S. 0.0.0.0000)</p> <p>Potential Air Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> below 21.24 °C 21.24 to 21.27 °C 21.27 to 21.48 °C 21.48 to 25.53 °C 25.53 to 26.08 °C 26.08 to 26.84 °C 26.84 to 27.07 °C 27.07 to 27.15 °C 27.15 to 27.84 °C 27.84 to 34.81 °C <p>Min: 19.98 °C Max: 34.81 °C</p>	 <p>Figure - Simulation N 1 10.00.01 05.07.2019 v3 (M.A.S. 0.0.0.0000)</p> <p>Wind Speed</p> <ul style="list-style-type: none"> below 0.12 m/s 0.12 to 0.24 m/s 0.24 to 0.36 m/s 0.36 to 0.48 m/s 0.48 to 0.60 m/s 0.60 to 0.72 m/s 0.72 to 0.84 m/s 0.84 to 0.96 m/s 0.96 to 1.08 m/s above 1.08 m/s <p>Min: 0.00 m/s Max: 1.08 m/s</p>	 <p>Figure - Simulation N 1 10.00.01 05.07.2019 v3 (M.A.S. 0.0.0.0000)</p> <p>Relative Humidity</p> <ul style="list-style-type: none"> below 25.46 % 25.46 to 25.58 % 25.58 to 27.77 % 27.77 to 44.56 % 44.56 to 45.11 % 45.11 to 45.23 % 45.23 to 45.28 % 45.28 to 45.83 % 45.83 to 46.38 % above 46.38 % <p>Min: 25.46 % Max: 46.38 %</p>	 <p>Figure - Simulation N 1 10.00.01 05.07.2019 v3 (M.A.S. 0.0.0.0000)</p> <p>Mean Radiant Temp.</p> <ul style="list-style-type: none"> below 32.41 °C 32.41 to 40.29 °C 40.29 to 41.48 °C 41.48 to 46.07 °C 46.07 to 46.52 °C 46.52 to 51.11 °C 51.11 to 51.66 °C 51.66 to 51.71 °C 51.71 to 51.76 °C above 51.76 °C <p>Min: 32.41 °C Max: 51.76 °C</p>
10h00	 <p>Figure - Simulation N 1 10.00.01 05.07.2019 v3 (M.A.S. 0.0.0.0000)</p> <p>Potential Air Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> below 21.24 °C 21.24 to 21.27 °C 21.27 to 21.48 °C 21.48 to 25.53 °C 25.53 to 26.08 °C 26.08 to 26.84 °C 26.84 to 27.07 °C 27.07 to 27.15 °C 27.15 to 27.84 °C 27.84 to 34.81 °C <p>Min: 20.98 °C Max: 34.81 °C</p>	 <p>Figure - Simulation N 1 10.00.01 05.07.2019 v3 (M.A.S. 0.0.0.0000)</p> <p>Wind Speed</p> <ul style="list-style-type: none"> below 0.12 m/s 0.12 to 0.24 m/s 0.24 to 0.36 m/s 0.36 to 0.48 m/s 0.48 to 0.60 m/s 0.60 to 0.72 m/s 0.72 to 0.84 m/s 0.84 to 0.96 m/s 0.96 to 1.08 m/s above 1.08 m/s <p>Min: 0.00 m/s Max: 1.08 m/s</p>	 <p>Figure - Simulation N 1 10.00.01 05.07.2019 v3 (M.A.S. 0.0.0.0000)</p> <p>Relative Humidity</p> <ul style="list-style-type: none"> below 25.46 % 25.46 to 25.58 % 25.58 to 27.77 % 27.77 to 44.56 % 44.56 to 45.11 % 45.11 to 45.23 % 45.23 to 45.28 % 45.28 to 45.83 % 45.83 to 46.38 % above 46.38 % <p>Min: 21.63 % Max: 46.38 %</p>	 <p>Figure - Simulation N 1 10.00.01 05.07.2019 v3 (M.A.S. 0.0.0.0000)</p> <p>Mean Radiant Temp.</p> <ul style="list-style-type: none"> below 32.41 °C 32.41 to 40.29 °C 40.29 to 41.48 °C 41.48 to 46.07 °C 46.07 to 46.52 °C 46.52 to 51.11 °C 51.11 to 51.66 °C 51.66 to 51.71 °C 51.71 to 51.76 °C above 51.76 °C <p>Min: 47.83 °C Max: 74.92 °C</p>
12h00	 <p>Figure - Simulation N 1 12.00.01 05.07.2019 v3 (M.A.S. 0.0.0.0000)</p> <p>Potential Air Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> below 21.24 °C 21.24 to 21.27 °C 21.27 to 21.48 °C 21.48 to 25.53 °C 25.53 to 26.08 °C 26.08 to 26.84 °C 26.84 to 27.07 °C 27.07 to 27.15 °C 27.15 to 27.84 °C 27.84 to 34.81 °C <p>Min: 22.00 °C Max: 44.81 °C</p>	 <p>Figure - Simulation N 1 12.00.01 05.07.2019 v3 (M.A.S. 0.0.0.0000)</p> <p>Wind Speed</p> <ul style="list-style-type: none"> below 0.12 m/s 0.12 to 0.24 m/s 0.24 to 0.36 m/s 0.36 to 0.48 m/s 0.48 to 0.60 m/s 0.60 to 0.72 m/s 0.72 to 0.84 m/s 0.84 to 0.96 m/s 0.96 to 1.08 m/s above 1.08 m/s <p>Min: 0.00 m/s Max: 1.08 m/s</p>	 <p>Figure - Simulation N 1 12.00.01 05.07.2019 v3 (M.A.S. 0.0.0.0000)</p> <p>Relative Humidity</p> <ul style="list-style-type: none"> below 25.46 % 25.46 to 25.58 % 25.58 to 27.77 % 27.77 to 44.56 % 44.56 to 45.11 % 45.11 to 45.23 % 45.23 to 45.28 % 45.28 to 45.83 % 45.83 to 46.38 % above 46.38 % <p>Min: 25.00 % Max: 54.35 %</p>	 <p>Figure - Simulation N 1 12.00.01 05.07.2019 v3 (M.A.S. 0.0.0.0000)</p> <p>Mean Radiant Temp.</p> <ul style="list-style-type: none"> below 32.41 °C 32.41 to 40.29 °C 40.29 to 41.48 °C 41.48 to 46.07 °C 46.07 to 46.52 °C 46.52 to 51.11 °C 51.11 to 51.66 °C 51.66 to 51.71 °C 51.71 to 51.76 °C above 51.76 °C <p>Min: 62.00 °C Max: 75.52 °C</p>

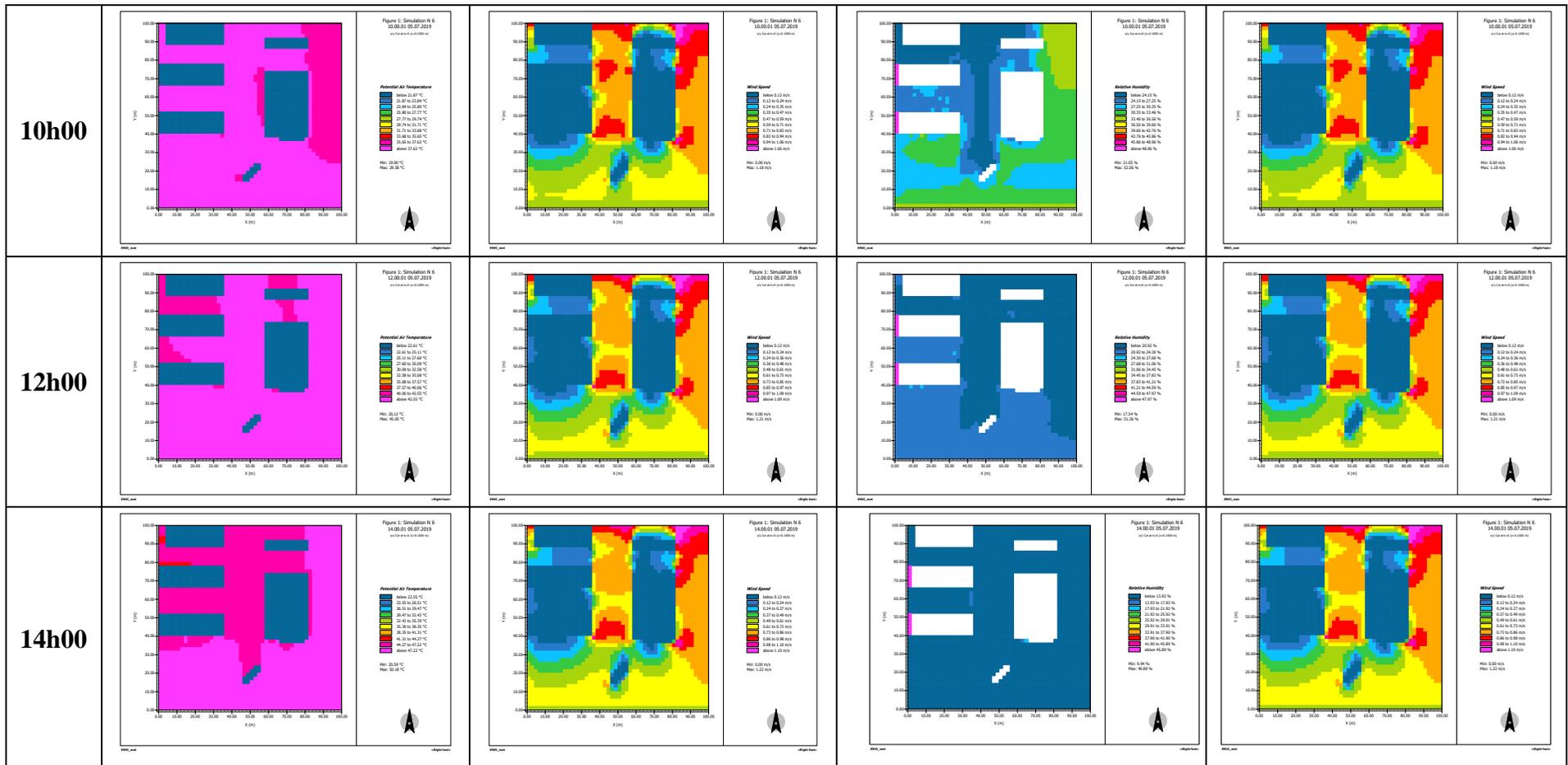


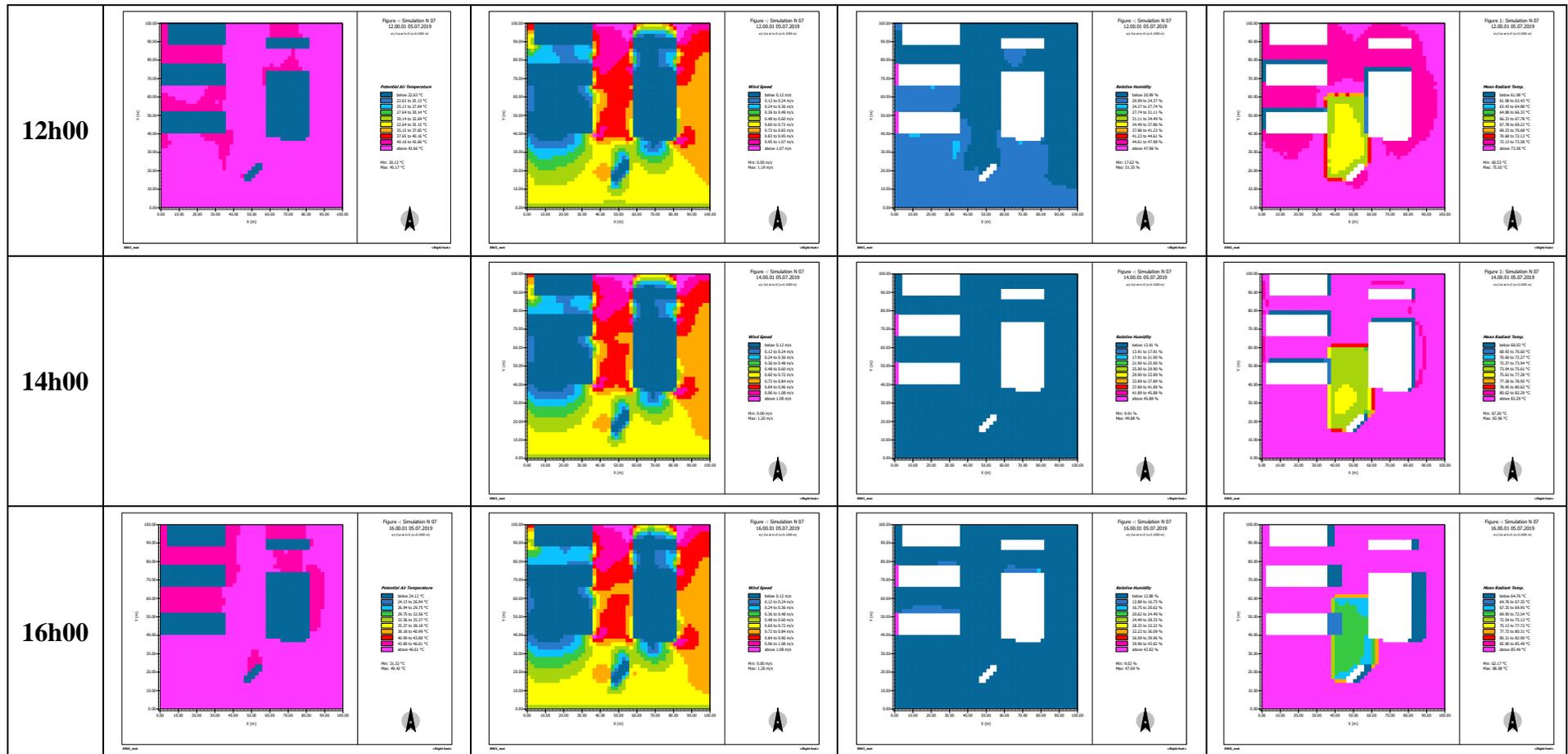


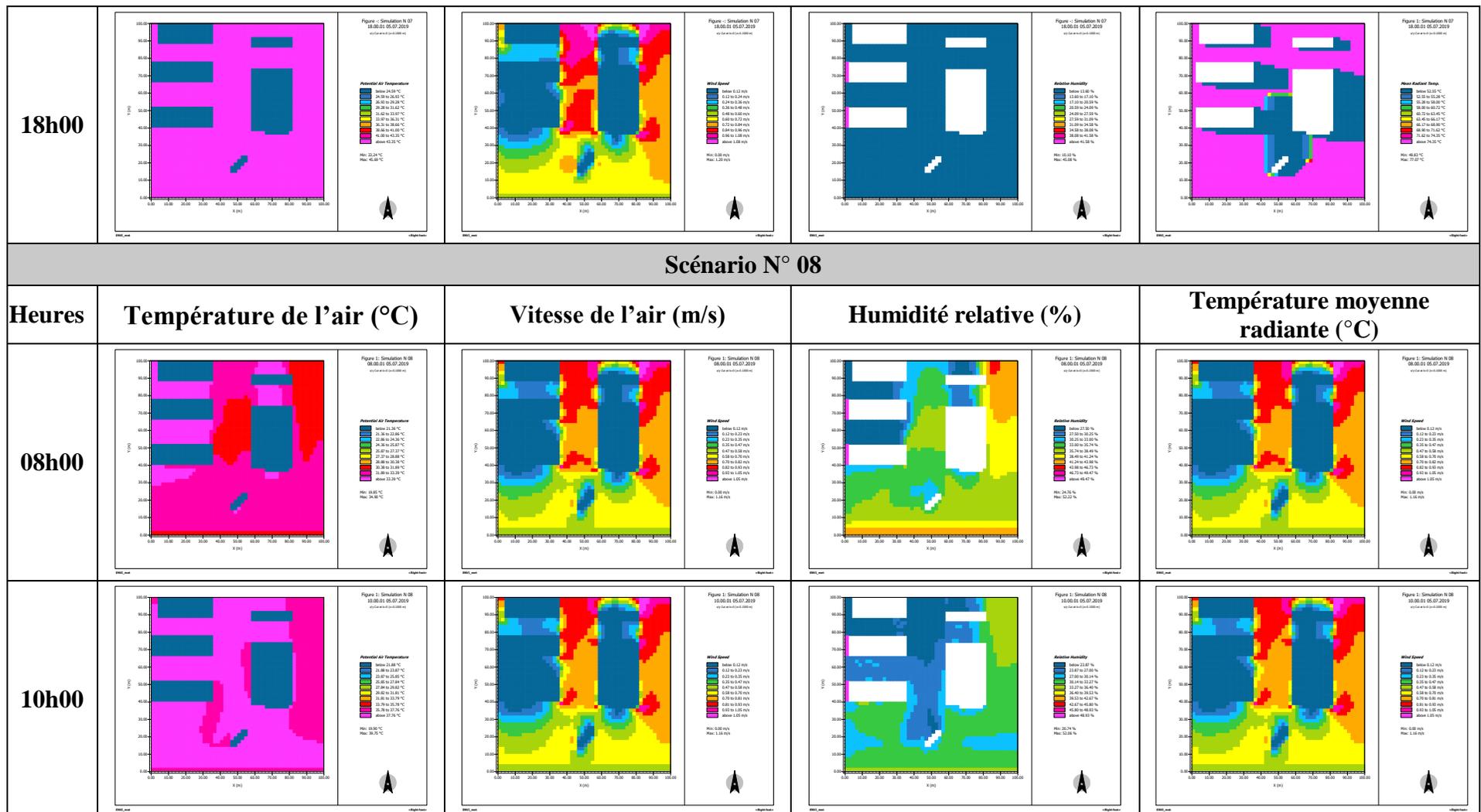


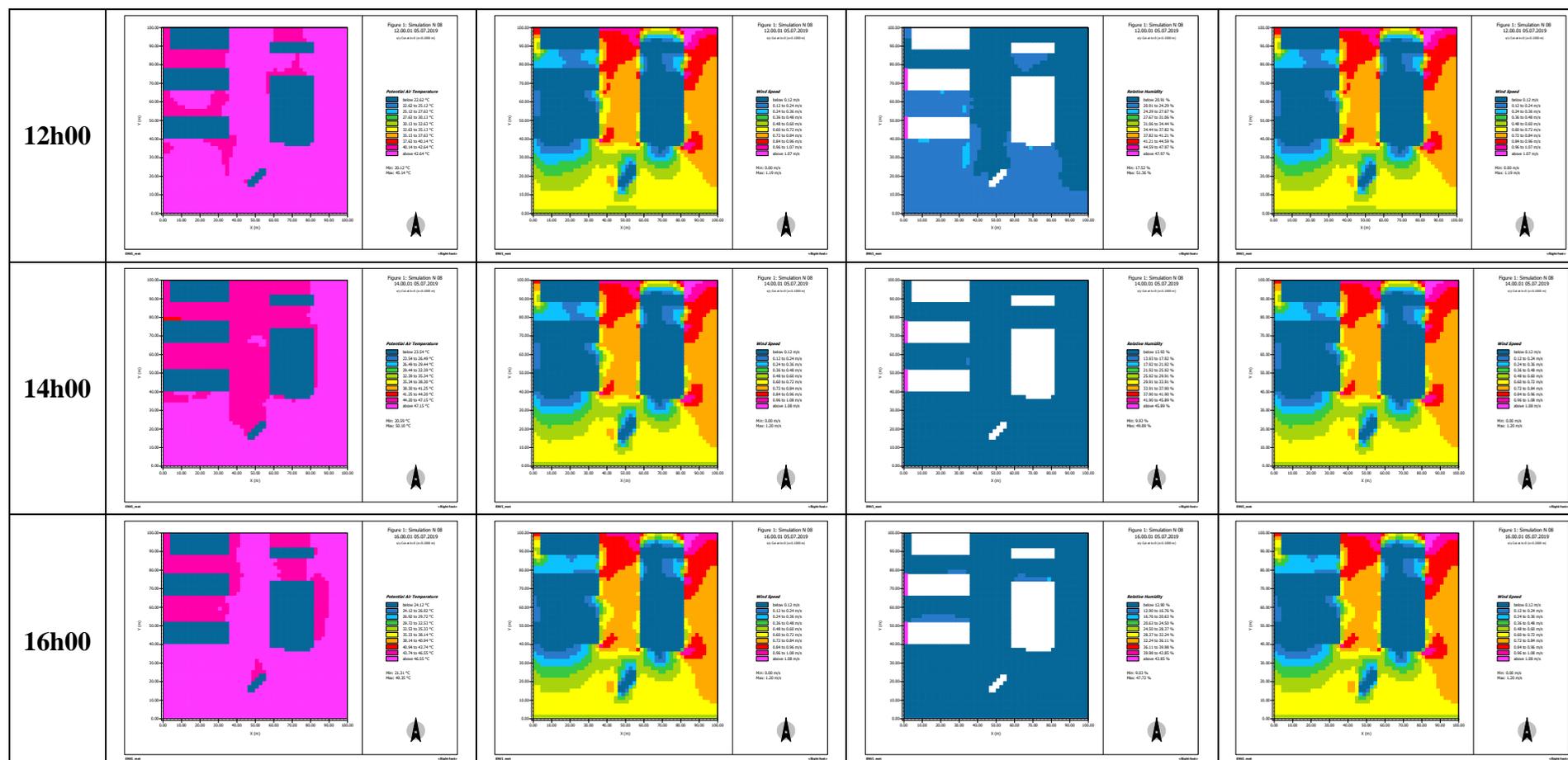






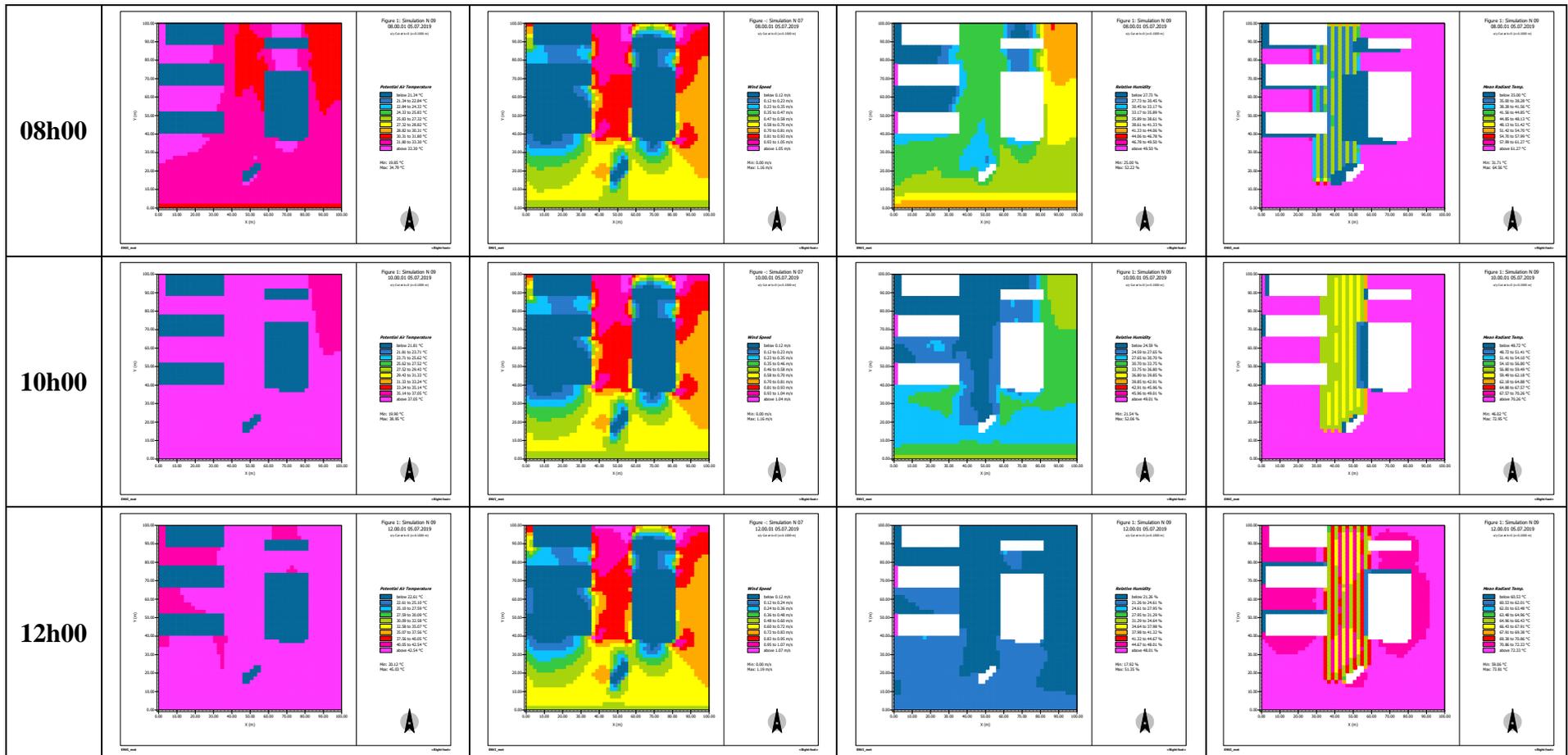


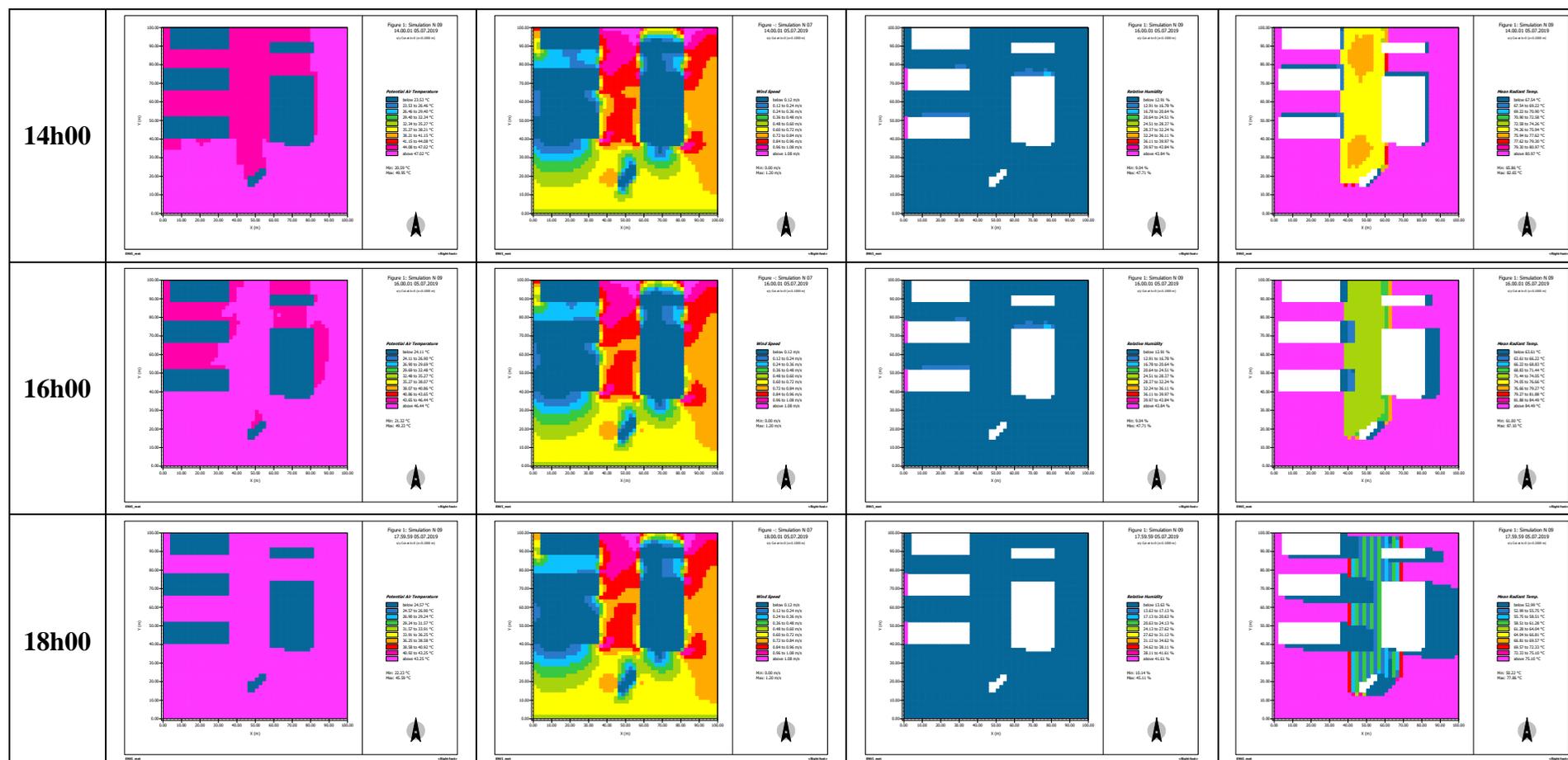




Scénario N° 09

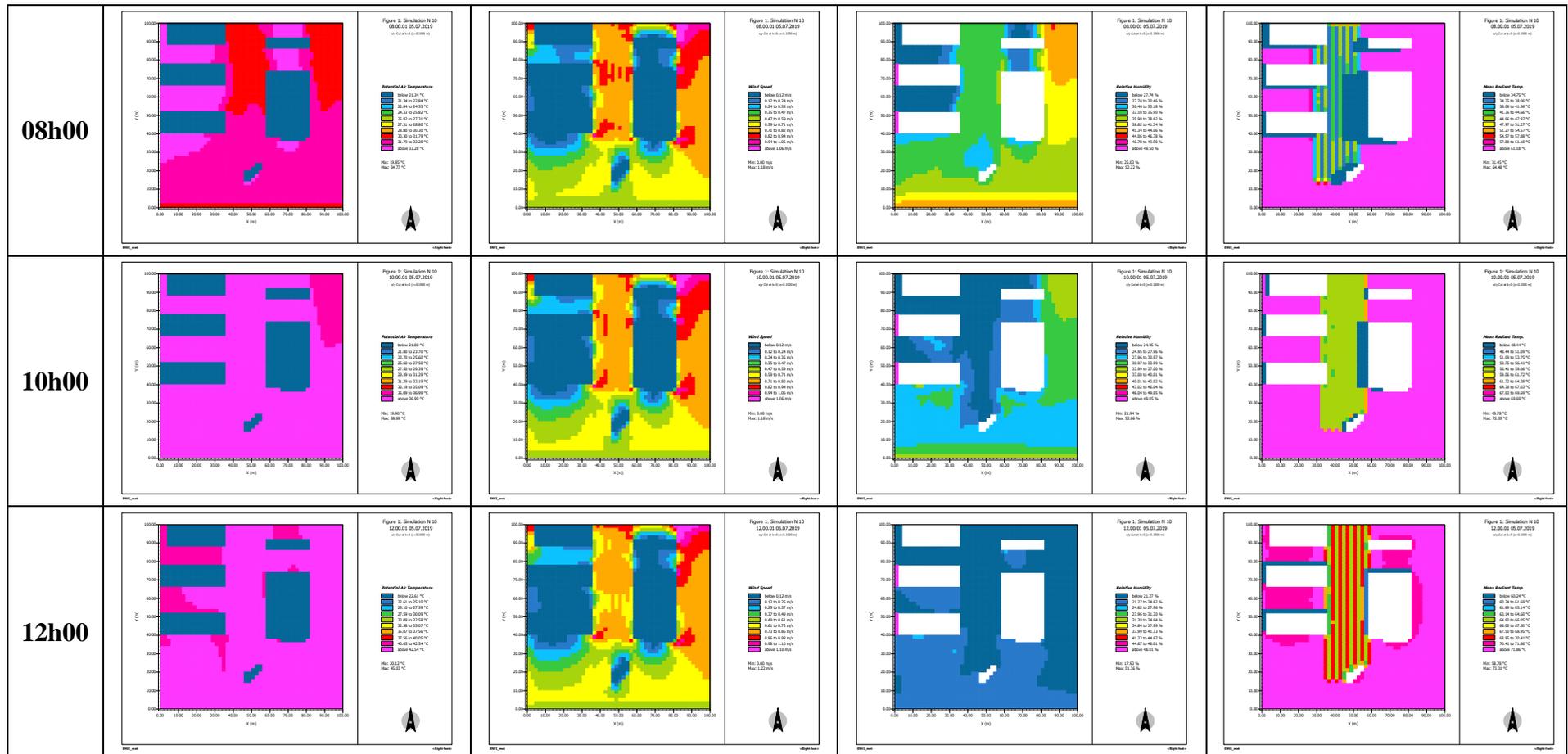
Heures	Température de l'air (°C)	Vitesse de l'air (m/s)	Humidité relative (%)	Température moyenne radiante (°C)
--------	---------------------------	------------------------	-----------------------	-----------------------------------

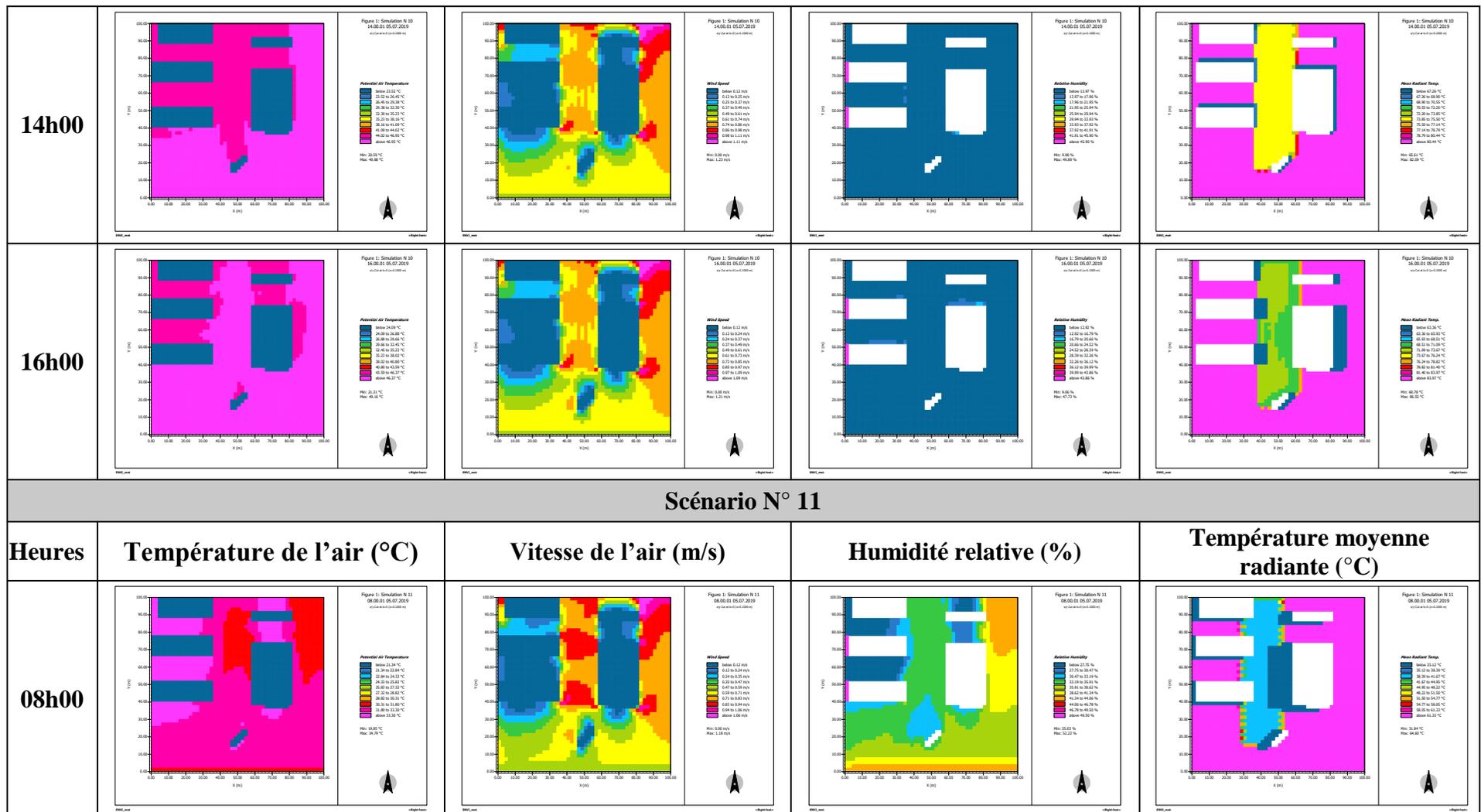


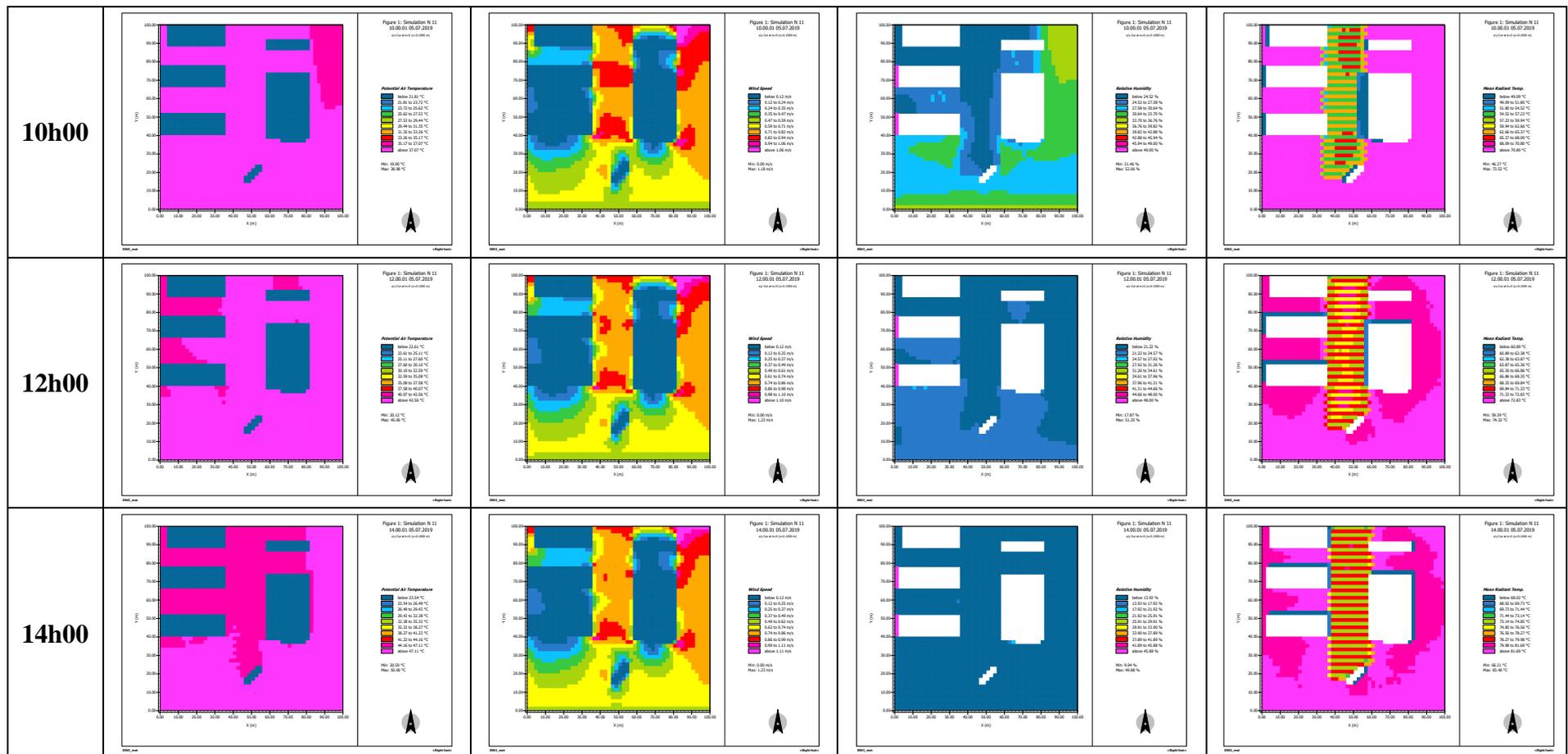


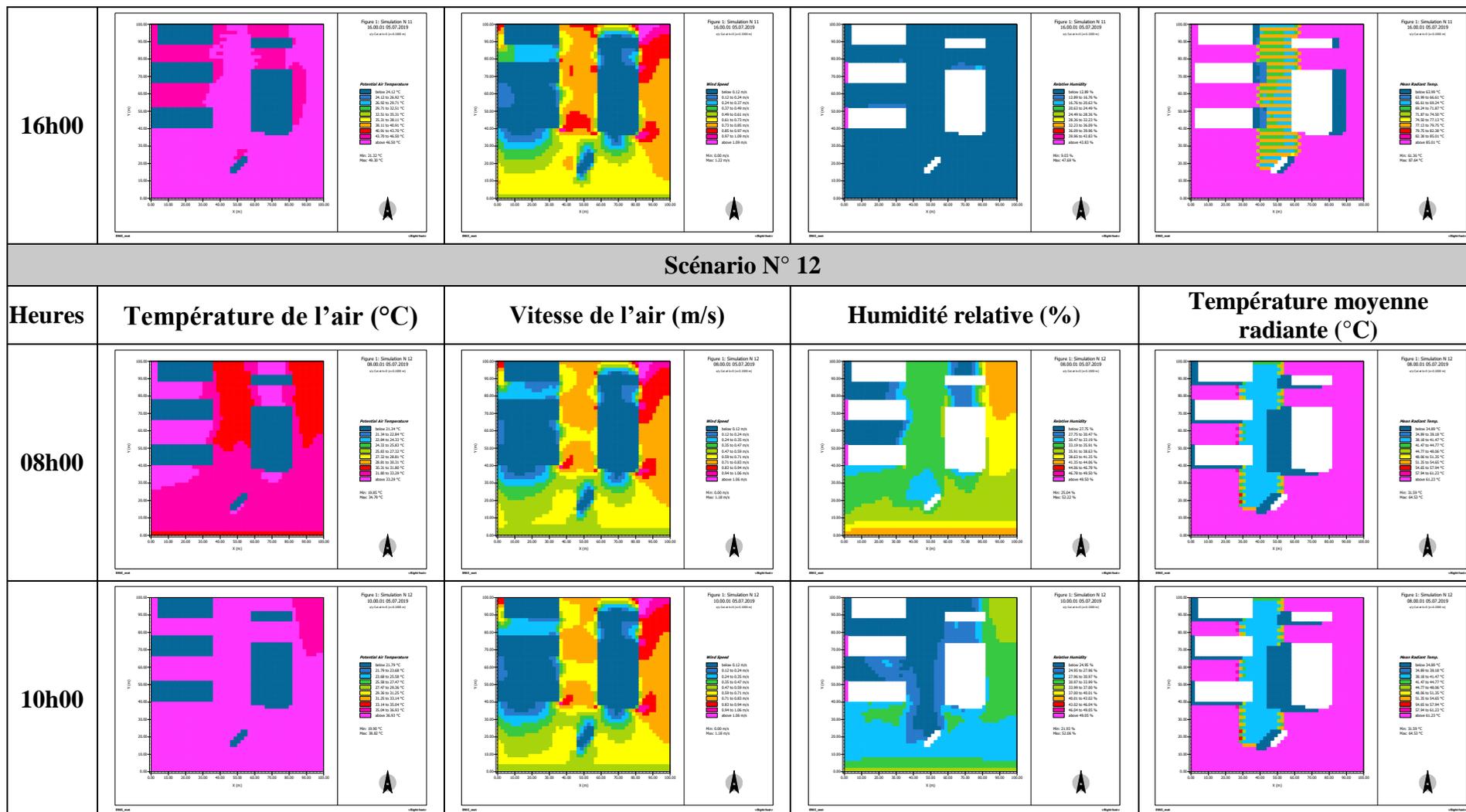
Scénario N° 10

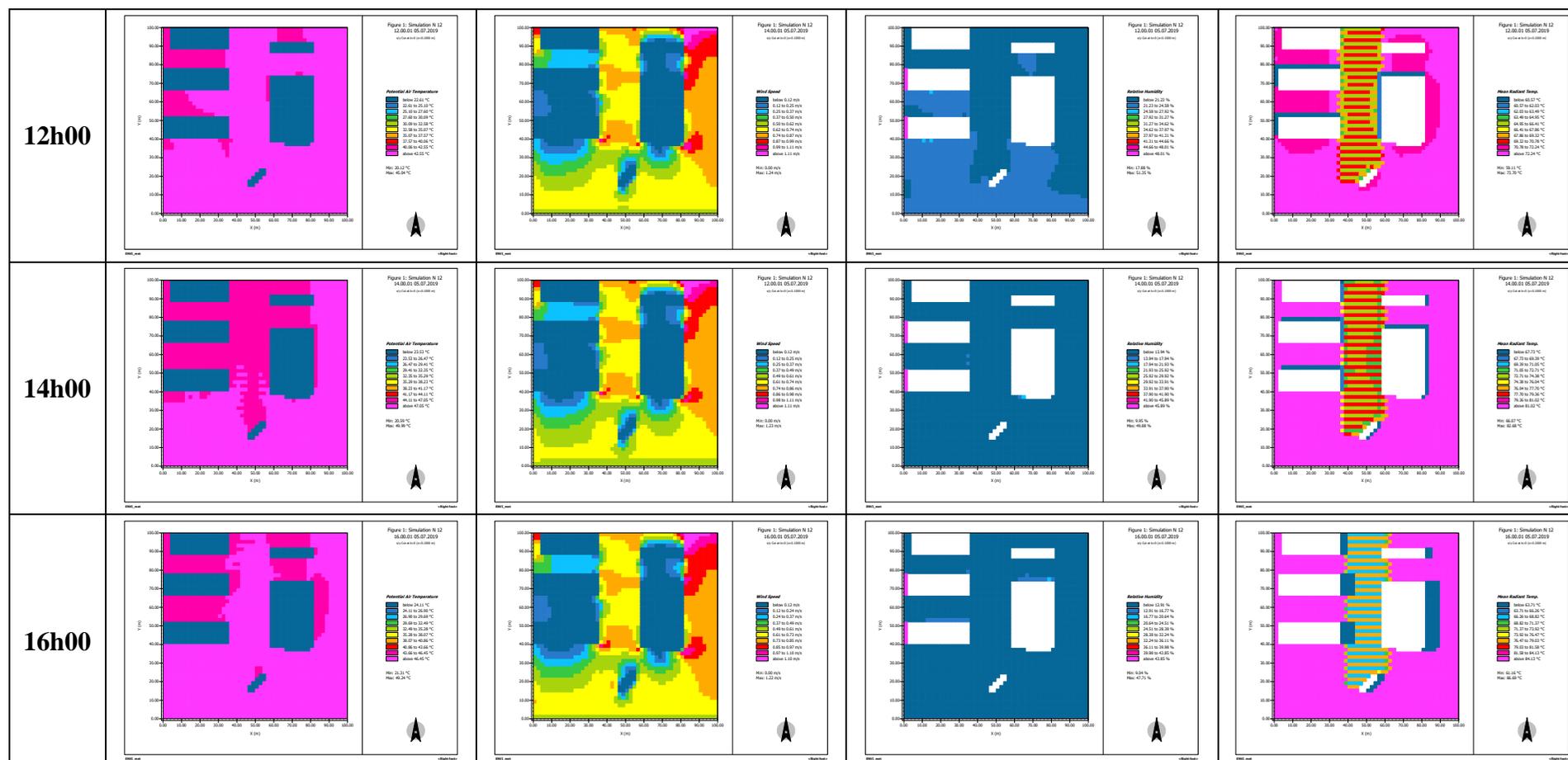
Heures	Température de l'air (°C)	Vitesse de l'air (m/s)	Humidité relative (%)	Température moyenne radiante (°C)
--------	---------------------------	------------------------	-----------------------	-----------------------------------





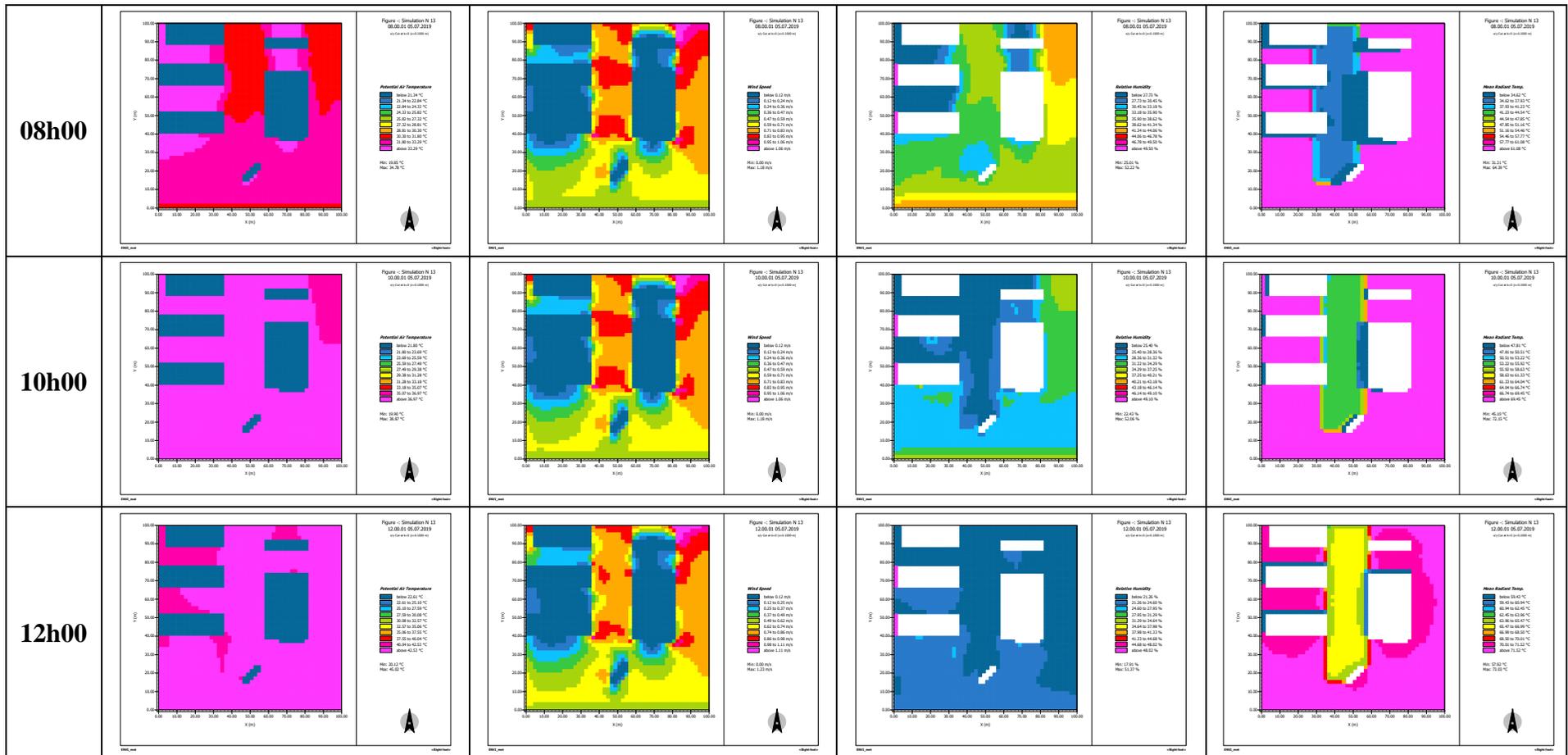


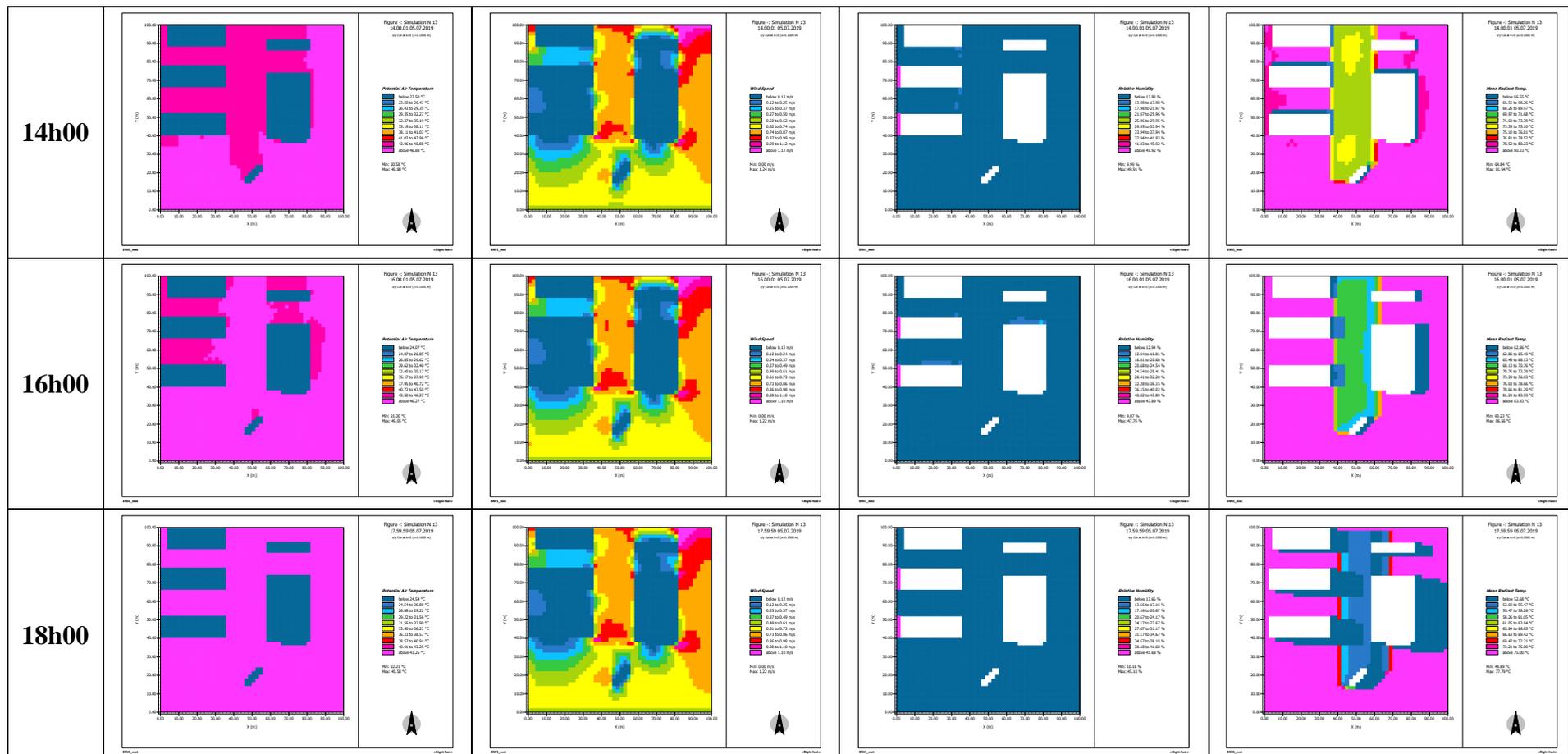




Scénario N° 13

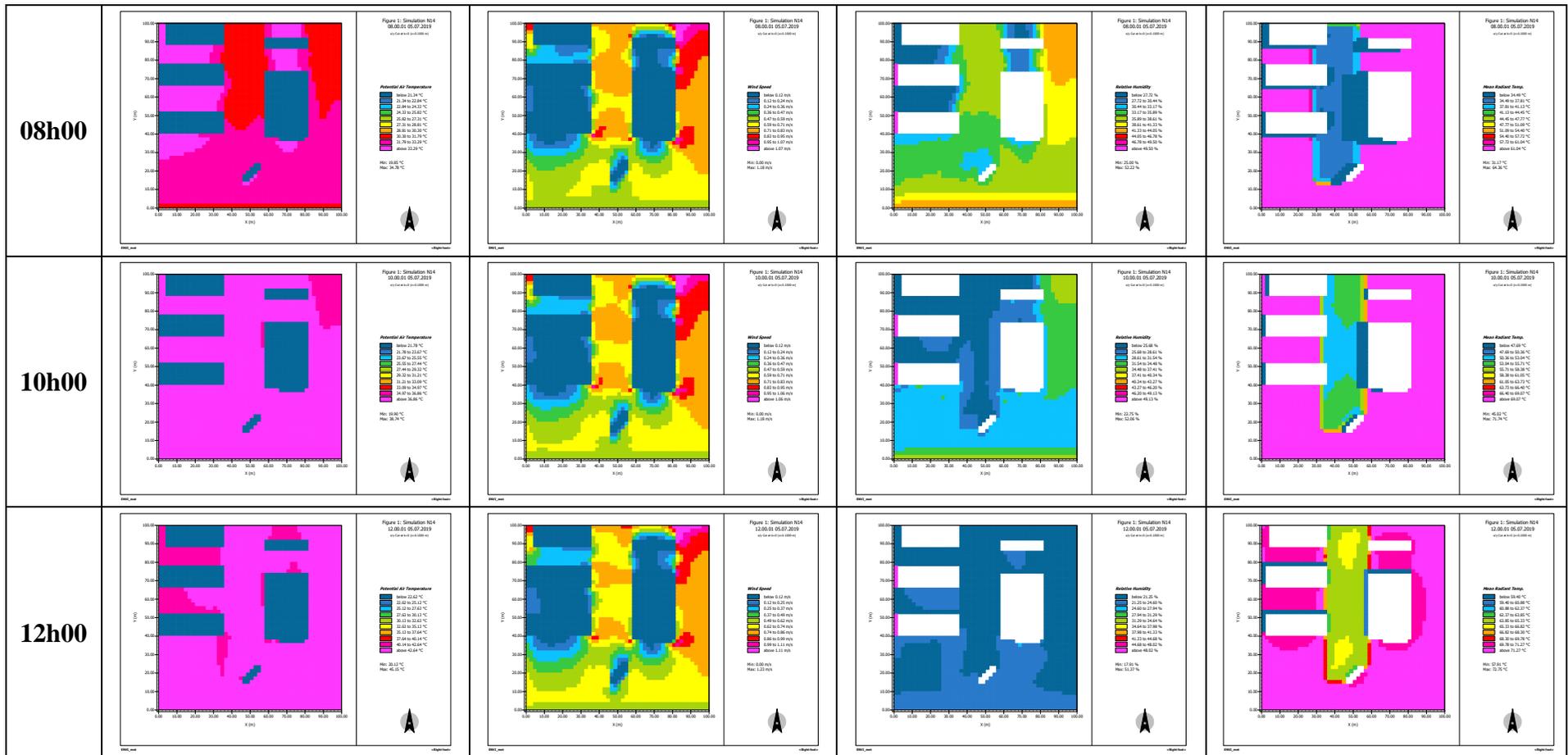
Heures	Température de l'air (°C)	Vitesse de l'air (m/s)	Humidité relative (%)	Température moyenne radiante (°C)
--------	---------------------------	------------------------	-----------------------	-----------------------------------

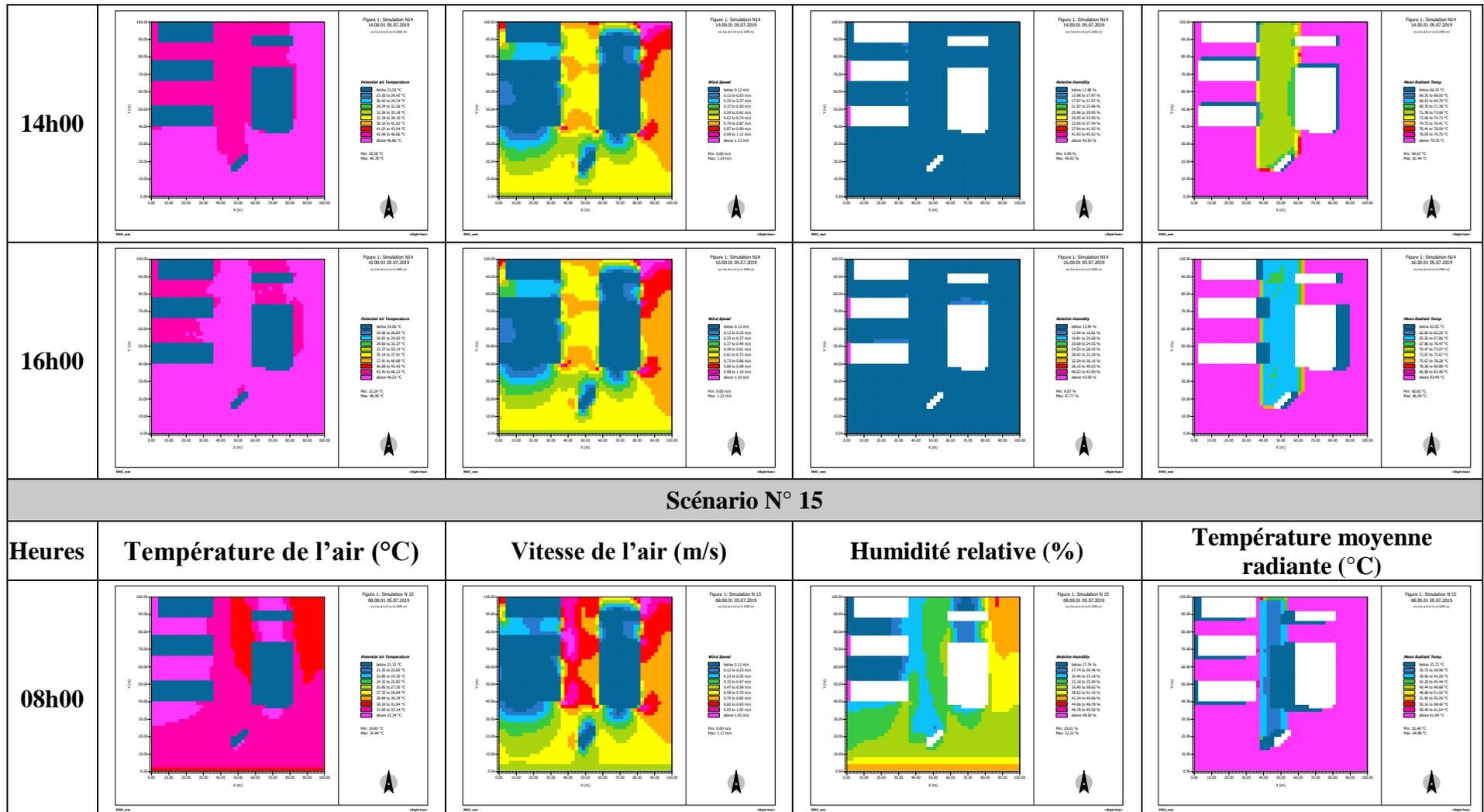


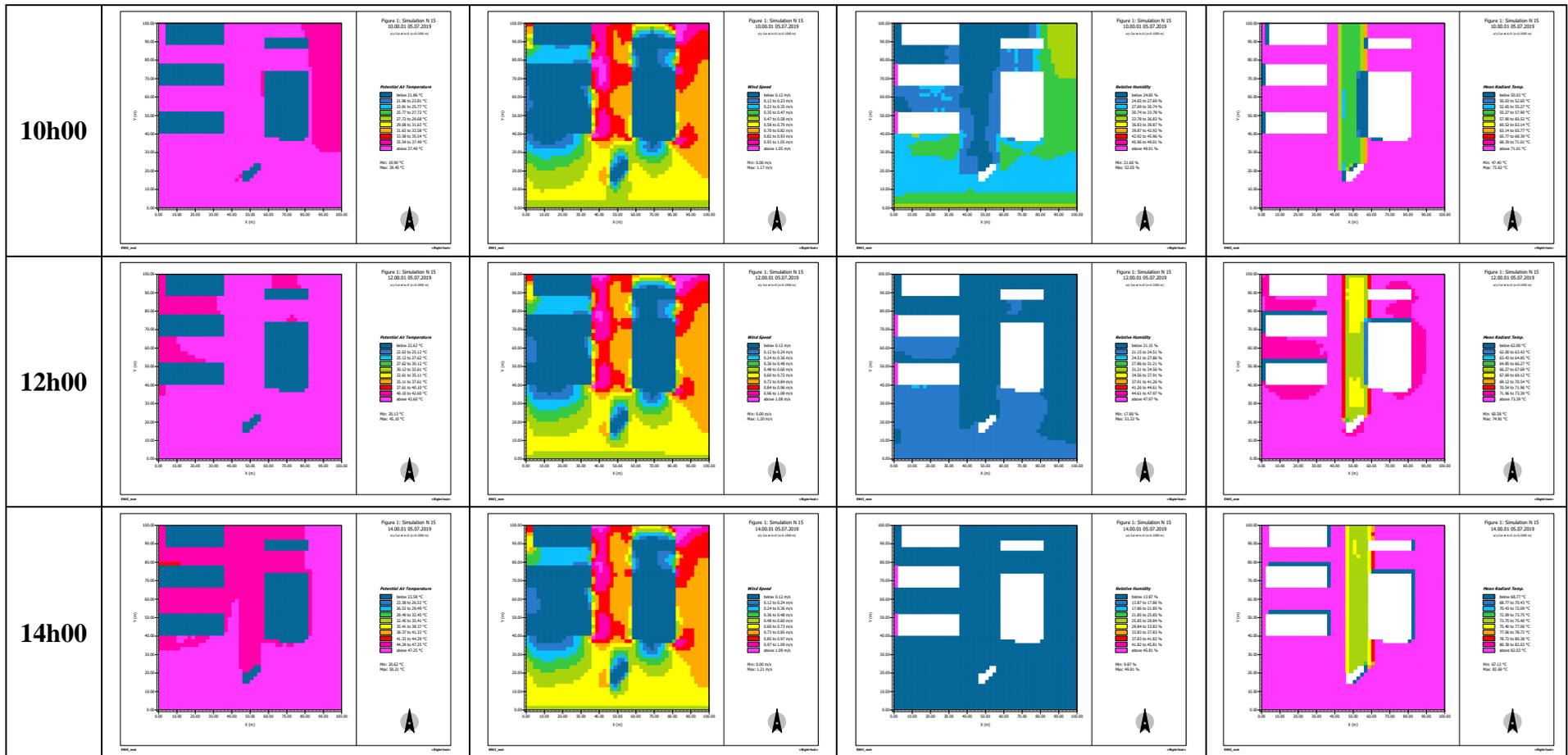


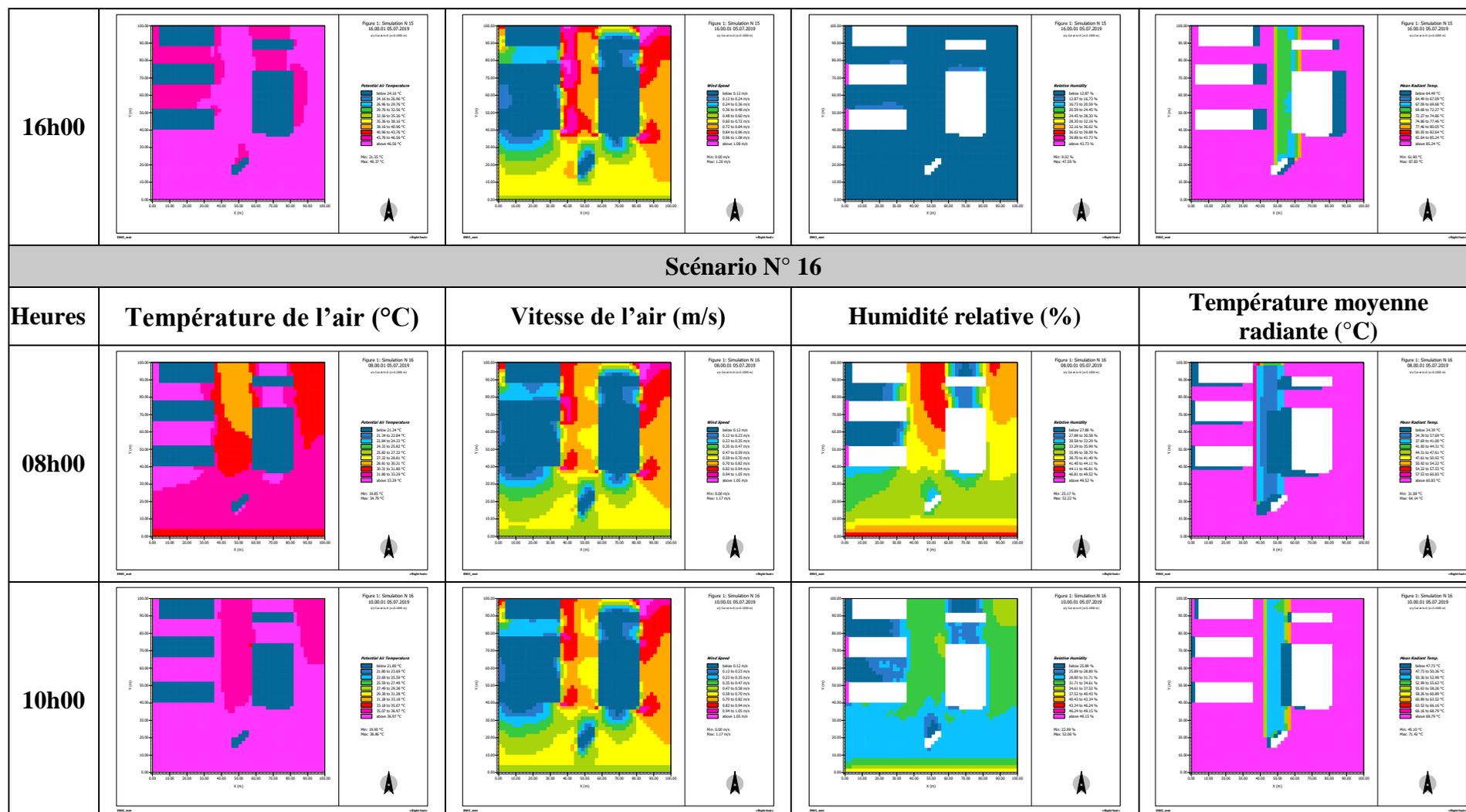
Scénario N° 14

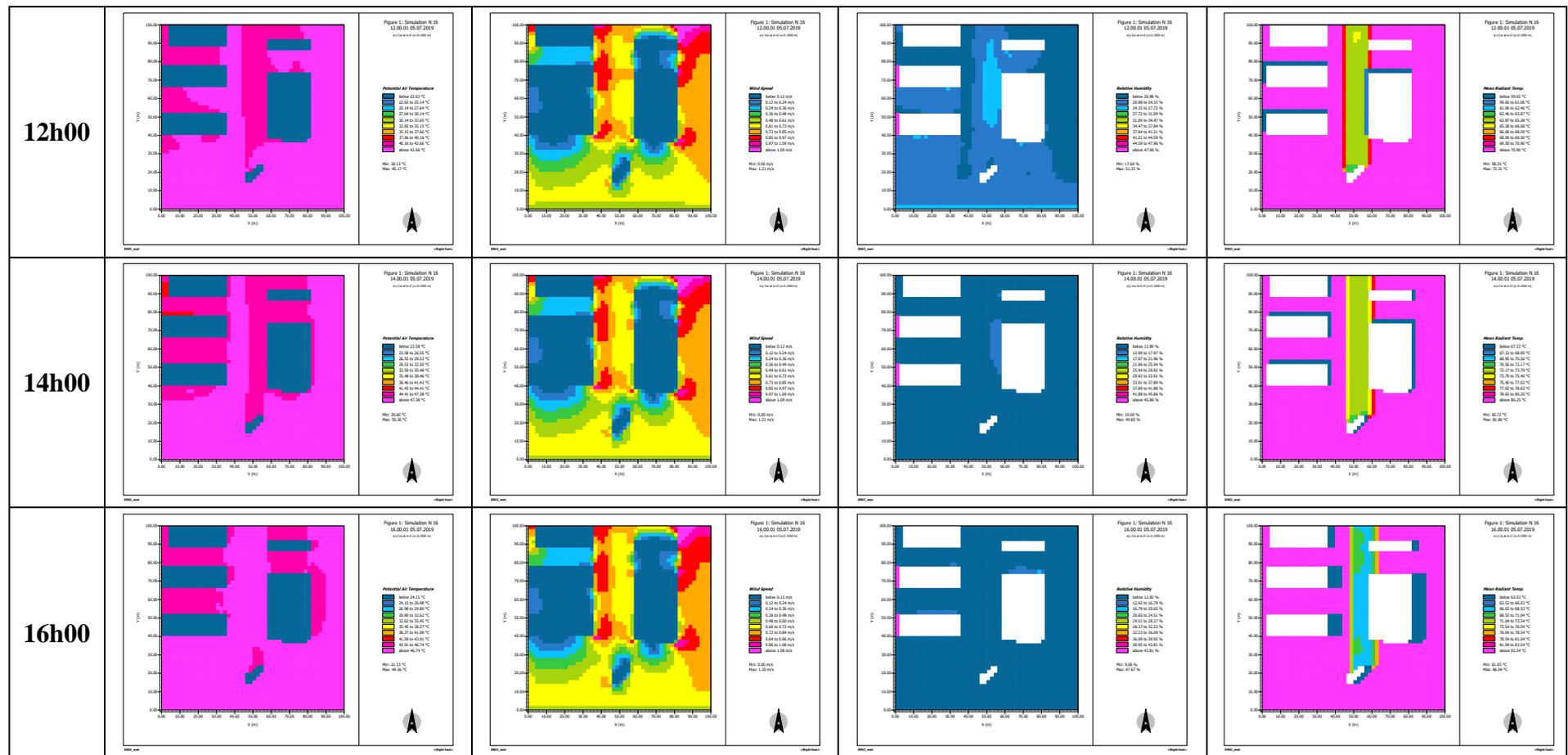
Heures	Température de l'air (°C)	Vitesse de l'air (m/s)	Humidité relative (%)	Température moyenne radiante (°C)
--------	---------------------------	------------------------	-----------------------	-----------------------------------





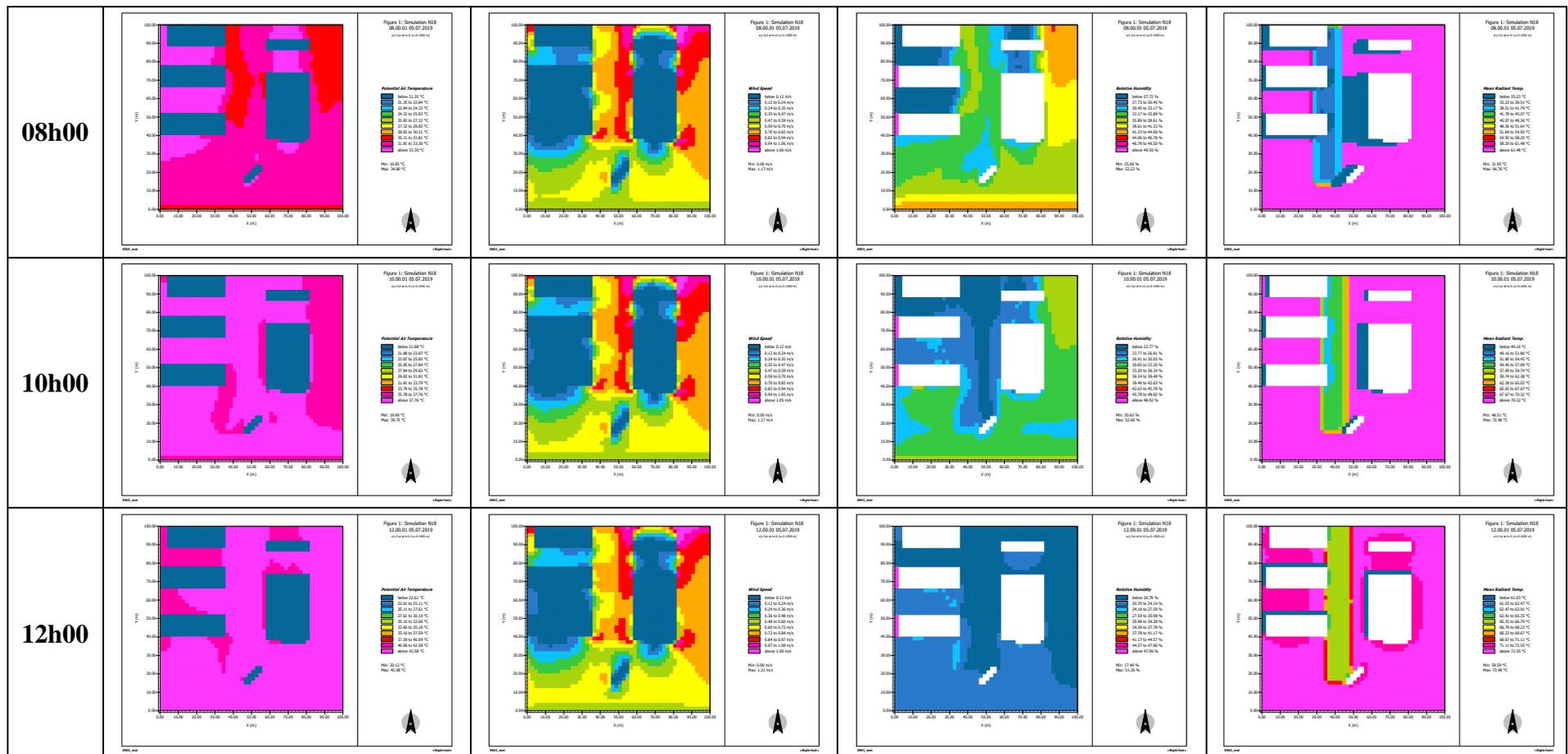


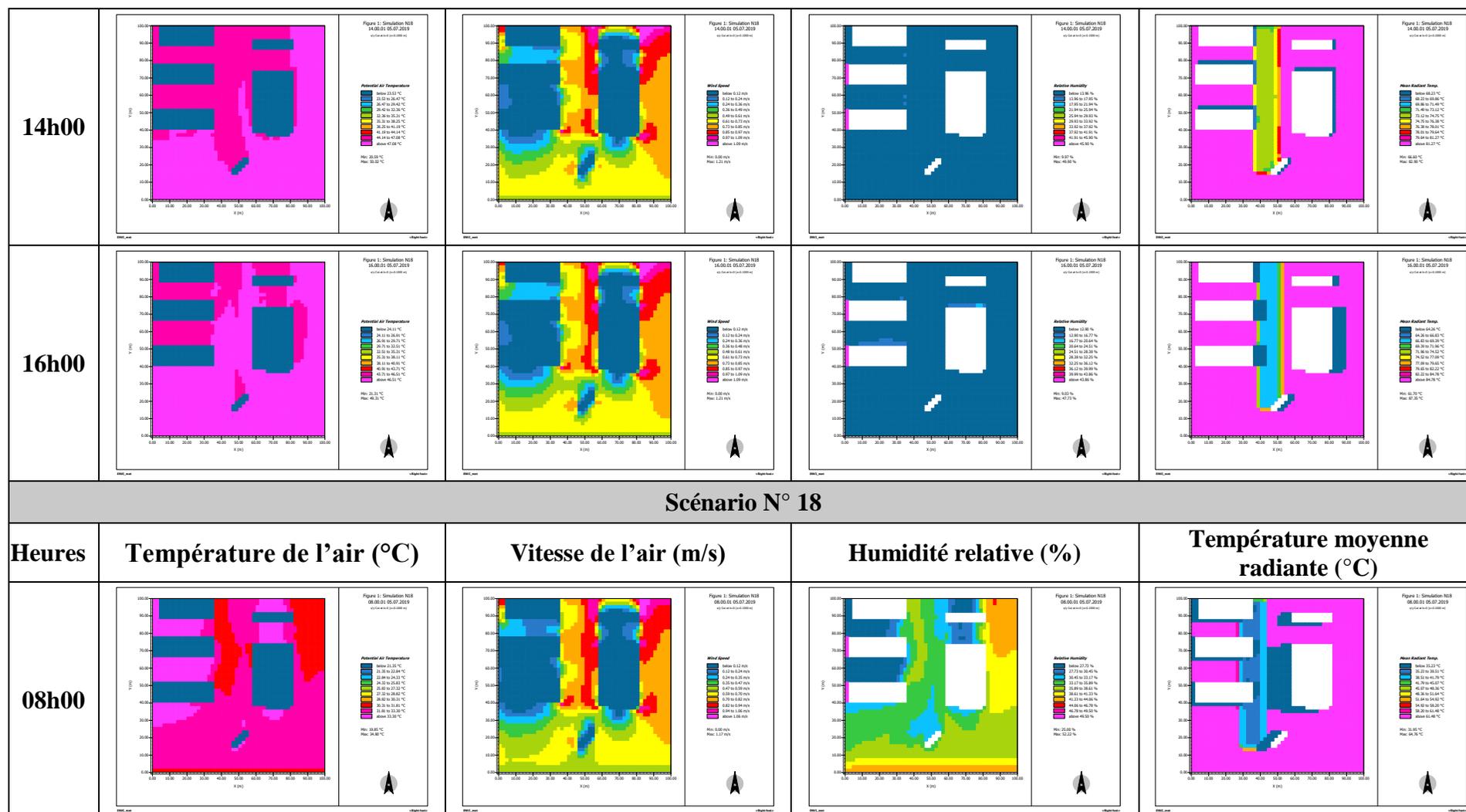


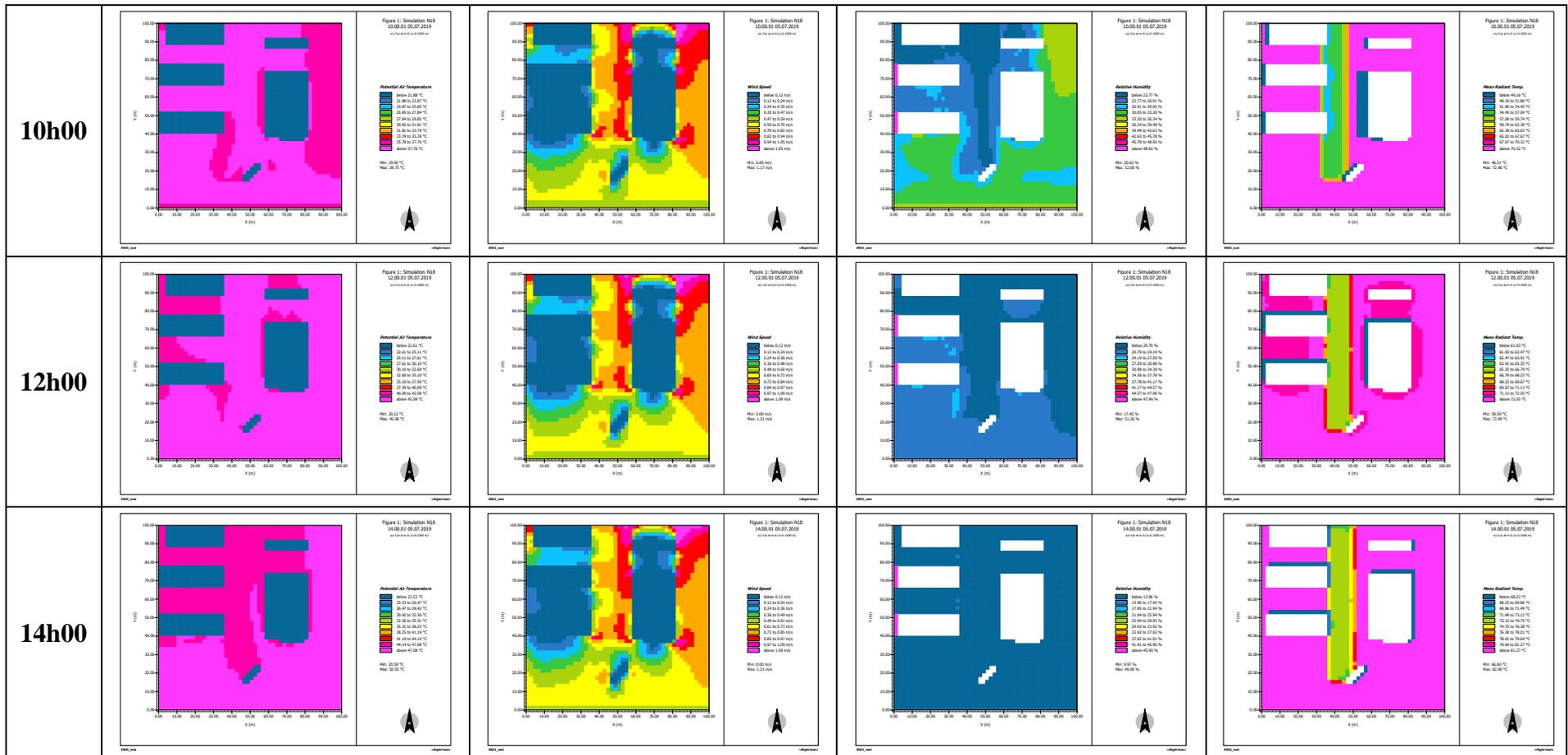


Scénario N° 17

Heures	Température de l'air (°C)	Vitesse de l'air (m/s)	Humidité relative (%)	Température moyenne radiante (°C)
--------	---------------------------	------------------------	-----------------------	-----------------------------------







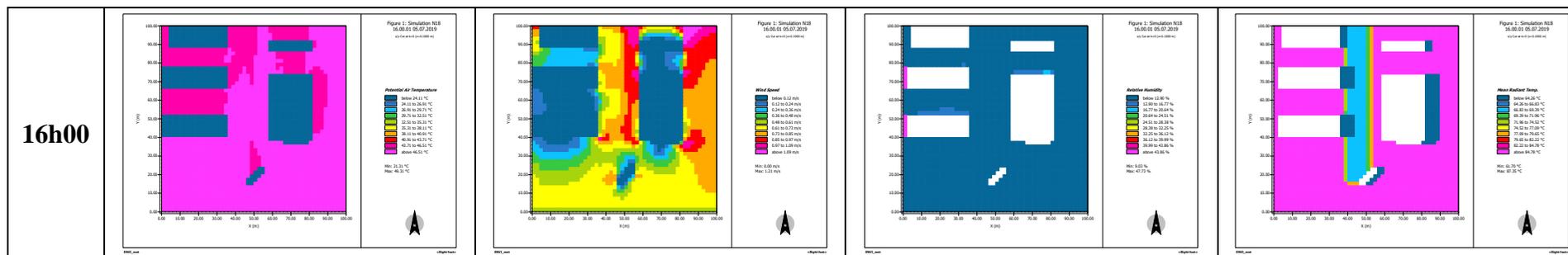


Tableau.3.1 : Les résultats (Les outputs) de simulation des paramètres climatiques pour 18 scénarios (source : Auteure 2020).

Annexe 4 : la simulation numérique à l'aide de logiciel Ray Man pro version 3.1

4.1. Interface de logiciel Ray Man pro version 3.1

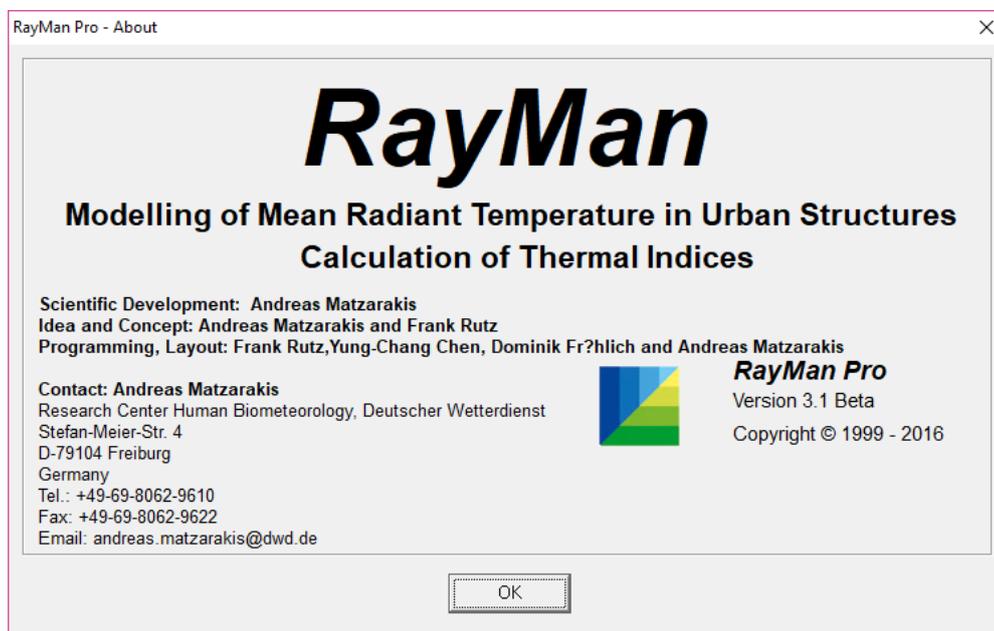


Figure 4.1 : Interface de logiciel Ray Man pro version 3.1

4.2. Les outputs de simulation à l'aide de logiciel Ray Man pro version 3.1

4.2.1. CAS 01 : GCR= 0% sol gazonne.

date	day of	time	sunr.	sunset	SDmax	SDact	SVF_Ray	Gmax	Gact	Sact	Dact	A	E	Ts
d.m.yyyy	year	h:mm	h:mm	h:mm	min	min		W/m ²	°C					
5.7.2020	187	8:00	5:26	19:53	868	866	1.000	422.4	422.4	293.0	129.4	402.4	543.1	40.7
5.7.2020	187	10:00	5:26	19:53	868	866	1.000	770.9	770.9	641.4	129.5	431.9	643.0	54.6
5.7.2020	187	12:00	5:26	19:53	868	866	1.000	951.4	951.4	834.9	116.5	459.7	713.6	63.3
5.7.2020	187	14:00	5:26	19:53	868	866	1.000	913.2	913.2	793.4	119.8	478.4	732.2	65.5
5.7.2020	187	16:00	5:26	19:53	868	866	1.000	666.7	666.7	532.9	133.8	469.9	677.0	58.7

Tableau.4.1 : Les inducteurs morphologiques de la placette

	Ta °C	VP hPa	RH %	v m/s	C octas	Tmrt °C	height m	weight kg	age a	sex	cloth. clo	activ. W	PMV	PET °C	UTCI °C
7	32.7	15.6	31.7	0.9	0.0	62.5	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	4.3	46.3	39.4
5	37.9	16.8	25.5	0.9	0.0	72.2	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	5.9	55.3	46.2
3	42.7	17.6	20.8	0.9	0.0	73.7	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	6.7	59.4	50.7
5	46.2	15.6	15.5	0.9	0.0	82.0	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	8.0	66.4	55.1
7	45.5	12.5	12.8	0.9	0.0	83.4	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	7.9	66.7	54.7

Tableau.4.2 : Les indices de confort thermique extérieur :

4.2.2. CAS 01 : GCR= 0% sol pavé gris

date	day of	time	sunr.	sunset	SDmax	SDact	SVF_Ray	Gmax	Gact	Sact	Dact	A	E	Ts
d.m.yyyy	year	h:mm	h:mm	h:mm	min	min		W/m²	W/m²	W/m²	W/m²	W/m²	W/m²	°C
5.7.2020	187	8:00	5:29	19:54	865	865	1.000	414.5	414.5	285.7	128.8	410.4	548.0	41.4
5.7.2020	187	10:00	5:29	19:54	865	865	1.000	767.1	767.1	637.4	129.7	432.6	636.5	53.7
5.7.2020	187	12:00	5:29	19:54	865	865	1.000	952.1	952.1	835.6	116.5	461.0	706.7	62.5
5.7.2020	187	14:00	5:29	19:54	865	865	1.000	917.3	917.3	797.9	119.4	488.9	738.9	66.2
5.7.2020	187	16:00	5:29	19:54	865	865	1.000	672.4	672.4	538.8	133.6	472.4	677.5	58.8

Tableau.4.3 : Les inducteurs morphologiques de la placette

	Ta °C	VP hPa	RH %	v m/s	C octas	Tmrt °C	height m	weight kg	age a	sex	cloth. clo	activ. W	PMV	PET °C	UTCI °C
4	34.0	16.7	31.5	1.0	0.0	63.4	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	4.5	47.3	40.7
7	38.0	16.7	25.3	1.0	0.0	72.2	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	5.8	55.0	46.3
5	42.9	17.7	20.6	1.0	0.0	74.0	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	6.7	59.4	50.9
2	47.8	15.9	14.4	1.0	0.0	82.2	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	8.2	67.4	56.2
3	46.2	12.0	11.9	1.0	0.0	83.8	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	8.0	67.0	55.2

Tableau.4.4 : Les indices de confort thermique extérieur

4.3. CAS 02 : GCR 50% sol gazonne arbre linéaire :

Cas 02 GCR 50% Sol Gazonné Arbre Linéaire.dat - Bloc-notes
Fichier Edition Format Affichage ?
RayMan Pro 2.3 beta © 1999 - 2014
Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

date	day of	time	sunr.	sunset	SDmax	SDact	SVF_Ray	Gmax	Gact	Sact	Dact	A	E	Ts
d.m.yyyy	year	h:mm	h:mm	h:mm	min	min		W/m ²	°C					
5.7.2020	187	8:00	5:26	19:53	868	866	1.000	422.4	422.4	293.0	129.4	393.7	534.2	39.5
5.7.2020	187	10:00	5:26	19:53	868	866	1.000	770.9	770.9	641.4	129.5	426.1	640.0	54.2
5.7.2020	187	12:00	5:26	19:53	868	866	1.000	951.4	951.4	834.9	116.5	458.6	717.1	63.8
5.7.2020	187	14:00	5:26	19:53	868	866	1.000	913.2	913.2	793.4	119.8	471.5	730.5	65.3
5.7.2020	187	16:00	5:26	19:53	868	866	1.000	666.7	666.7	532.9	133.8	476.0	687.1	60.0

Tableau.4.5 : Les inducteurs morphologiques de la placette

Cas 02 GCR 50% Sol Gazonné Arbre Linéaire.dat - Bloc-notes
Fichier Edition Format Affichage ?

	Ta	VP	RH	v	C	Tmrt	height	weight	age	sex	cloth.	activ.	PMW	PET	UTCI
	°C	hPa	%	m/s	octas	°C	m	kg	a		clo	W		°C	°C
5	31.0	15.5	34.5	0.8	0.0	34.7	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	2.1	32.0	31.2
2	36.9	16.3	26.2	0.8	0.0	56.1	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	4.5	46.4	41.4
3	42.5	17.8	21.3	0.8	0.0	66.8	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	6.2	55.8	48.8
3	45.4	13.6	14.0	0.8	0.0	73.7	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	7.1	61.4	52.1
3	46.3	13.2	12.9	0.8	0.0	70.6	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	7.0	60.3	51.8

Tableau.4.6 : Les indices de confort thermique extérieur

4.3.1. CAS 02 : GCR 50% sol pavé gris arbre linéaire :

Cas 02 GCR 50% Sol Pavé Arbre Linéaire.dat - Bloc-notes
Fichier Edition Format Affichage ?
RayMan Pro 2.3 beta © 1999 - 2014
Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

date	day of	time	sunr.	sunset	SDmax	SDact	SVF_Ray	Gmax	Gact	Sact	Dact	A	E	Ts
d.m.yyyy	year	h:mm	h:mm	h:mm	min	min		W/m ²	°C					
5.7.2020	187	8:00	5:26	19:53	868	866	1.000	422.4	422.4	293.0	129.4	394.0	532.3	39.2
5.7.2020	187	10:00	5:26	19:53	868	866	1.000	770.9	770.9	641.4	129.5	426.8	635.7	53.6
5.7.2020	187	12:00	5:26	19:53	868	866	1.000	951.4	951.4	834.9	116.5	458.9	715.7	63.6
5.7.2020	187	14:00	5:26	19:53	868	866	1.000	913.2	913.2	793.4	119.8	472.1	725.6	64.7
5.7.2020	187	16:00	5:26	19:53	868	866	1.000	666.7	666.7	532.9	133.8	476.8	683.5	59.5

Tableau.4.7 : Les inducteurs morphologiques de la placette

Cas 02 GCR 50% Sol Pavé Arbre Linéaire.dat - Bloc-notes

	Ta °C	VP hPa	RH %	v m/s	C octas	Tmrt °C	height m	weight kg	age a	sex	cloth. clo	activ. W	PMV	PET °C	UTCI °C
2	31.1	15.5	34.5	0.9	0.0	35.0	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	2.1	32.0	31.3
5	37.0	16.4	26.1	0.9	0.0	56.4	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	4.5	46.4	41.5
5	42.5	17.9	21.3	0.8	0.0	67.2	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	6.2	55.9	48.9
7	45.5	13.6	13.9	0.9	0.0	73.8	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	7.1	61.4	52.3
5	46.4	13.3	12.9	0.9	0.0	71.1	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	7.0	60.5	52.1

Tableau.4.8 : Les indices de confort thermique extérieur

4.4. CAS 03 : GCR 100% sol gazonné :

Cas03 GCR 100% Sol Gazonné.dat - Bloc-notes

RayMan Pro 2.3 beta © 1999 - 2014
Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany

date	day of	time	sunr.	sunset	SDmax	SDact	SVF_Ray	Gmax	Gact	Sact	Dact	A	E	Ts
d.m.yyyy	year	h:mm	h:mm	h:mm	min	min		W/m ²	°C					
5.7.2020	187	8:00	5:29	19:54	865	865	1.000	414.5	414.5	285.7	128.8	394.9	533.1	39.3
5.7.2020	187	10:00	5:29	19:54	865	865	1.000	767.1	767.1	637.4	129.7	426.1	643.9	54.7
5.7.2020	187	12:00	5:29	19:54	865	865	1.000	952.1	952.1	835.6	116.5	457.5	721.7	64.3
5.7.2020	187	14:00	5:29	19:54	865	865	1.000	917.3	917.3	797.9	119.4	475.5	739.2	66.3
5.7.2020	187	16:00	5:29	19:54	865	865	1.000	672.4	672.4	538.8	133.6	478.2	692.9	60.7

Tableau.4.9 : Les indicateurs morphologiques de la placette

Cas03 GCR 100% Sol Gazonné.dat - Bloc-notes

	Ta °C	VP hPa	RH %	v m/s	C octas	Tmrt °C	height m	weight kg	age a	sex	cloth. clo	activ. W	PMV	PET °C	UTCI °C
3	31.0	16.8	37.3	0.8	0.0	30.6	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	1.9	30.3	30.4
7	36.9	16.8	27.1	0.6	0.0	51.7	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	4.2	44.3	40.3
3	42.2	18.9	22.9	0.7	0.0	64.6	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	6.0	54.6	48.1
3	45.4	17.5	18.0	0.7	0.0	70.2	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	6.9	59.7	51.7
7	46.2	15.1	14.9	0.7	0.0	66.6	1.8	75.0	35	m	0.90	80.0	6.7	58.2	50.9

Tableau.4.10 : Les indices de confort thermique extérieur

Résumé

Le confort thermique était et reste une préoccupation majeure des concepteurs, cherchant à tout prix à assurer le bien-être, la bonne santé et le confort des citoyens dans les espaces extérieurs et intérieurs, malheureusement les recherches menées dans ce contexte à l'égard des villes comme Biskra sont insuffisantes, c'est pourquoi ce travail vise à concevoir les placettes des villes à climat aride et à maintenir un niveau de confort thermique convenable pour les citoyens dans ces espaces.

En ville, la végétation ou le verdissement urbain ont de nombreux rôles que les chercheurs ont classés en: rôle environnemental, rôle économique, rôle social et rôle climatique, ce dernier est au centre de ce présent travail, comme il se trouve mêlé aux différents discours autour du développement durable des localités.

Nous abordons ce composant de l'espace urbain à travers une approche environnementale en s'intéressant aux effets de la végétation sur la régulation du microclimat urbain, celle-ci a mis en exergue l'effet positif du végétal urbain (l'arbre urbain ficus retesa) au sein de notre placette sis au campus universitaire de Biskra ville, dans son état initial, et dans un souci d'optimisation de l'effet du végétal sur les conditions de confort thermique au niveau de notre espace, nous avons effectué des simulations par le biais de deux logiciels, (le couplage de deux modèles numériques) le modèle numérique Envi-met version 4.4.5, pour déduire les différents paramètres microclimatiques alors que le modèle numérique Rayman pro version 3.1 nous donne les indices de l'ambiance thermique.

Les stratégies vertes sont des facteurs essentiels que le concepteur urbain peut prendre en compte, principalement pour la conception d'une placette publique dans un climat aride, parmi les plus importantes ; la densité du couvert végétal, la disposition et l'orientation des arbres et l'albedo du sol, les trois paramètres pris en considération dans ce travail.

Dans cette logique de raisonnement, 19 scénarios ont été sélectionnés, selon les trois paramètres, et y sont simulés pour aboutir à des résultats très conséquents en matière d'optimisation du confort thermique.

***Mots clefs :** Microclimat urbain, confort thermique, couvert végétale, climat aride simulation numérique (Envi-met et Rayman).*

Abstract:

Thermal comfort was and remains a major concern for designers that are seeking, by all means, to ensure the well-being, good health and comfort of citizens, in outdoor and indoor spaces. Unfortunately the research carried out in this context, with regard to cities like Biskra, are insufficient that is why this work aims to design plots in arid climate cities and to maintain, a suitable level of thermal comfort for citizens in outdoor spaces, particularly plots.

In cities, vegetation or urban greening has many roles that researchers have classified into: environmental role, economic role, social role and climatic role, the latter is at the center of this present work, as it is involved in the various discourses around the sustainable development of localities.

We come up to this component of urban space through an environmental approach. We focus on the effects of vegetation on the regulation of the urban microclimate, which has highlighted the positive effect of urban vegetation (the urban tree) in our plot, as it is, located on the university campus in Biskra city. In order to optimize the effect of plants on the conditions of thermal comfort in our space, we carried out simulations through of two software, (the coupling of two digital models) the digital model Envi-met 4.4.5, to deduce the different micro-climatic parameters while the digital model RayMan 3.1 gives us the indices of the thermal environment.

Green strategies are essential factors that the urban designer can take into account, mainly for the design of a public plot in an arid climate, among the most important; the density of the vegetation cover, the arrangement of the trees and the albedo of the soil, the three parameters taken into consideration in this work. In this logic of reasoning, 19 scenarios were selected, according to the three parameters, and are simulated there to achieve very substantial results in terms of thermal comfort optimization.

Keywords: *Urban microclimate, thermal comfort, plant cover , arid climate , simulation numérique (Envi-met et Rayman).*

ملخص:

كانت الراحة الحرارية ولا تزال مصدر قلق كبير للمصممين ، الذين يسعون بأي ثمن لضمان الرفاهية والصحة الجيدة وراحة المواطنين في المساحات الخارجية والداخلية ، وللأسف فإن البحث الذي تم إجراؤه في هذا السياق فيما يتعلق بمدن مثل بسكرة غير كافية ، ولهذا السبب يهدف هذا العمل إلى تصميم قطع أراضي لمدن ذات مناخات قاحلة والحفاظ على مستوى مناسب من الراحة الحرارية للمواطنين في المساحات الخارجية ، وخاصة قطع الأراضي . في المدن ، يكون للنباتات أو التخضير الحضري العديد من الأدوار التي صنفها الباحثون إلى : الدور البيئي ، والدور الاقتصادي ، والدور الاجتماعي ، والدور المناخي ، والأخير هو محور هذا العمل الحالي ، حيث يشارك في الخطابات المختلفة حول التنمية المستدامة للمحليات .

نتعامل مع هذا المكون من الفضاء الحضري من خلال نهج بيئي من خلال التركيز على تأثيرات الغطاء النباتي على تنظيم المناخ المحلي الحضري ، والذي سيطر الضوء على التأثير الإيجابي للنباتات الحضرية (الشجرة الحضرية) في قطعة أرضنا الواقعة في الحرم الجامعي لمدينة بسكرة في حالتها الأولية ، ومن أجل تحسين تأثير النباتات على ظروف الراحة الحرارية في مساحتنا ، قمنا بإجراء محاكاة من خلال برنامجين ، (اقتران نموذجين رقميين) النموذج الرقمي Envi-met 4.4.5 ، لاستنتاج المعلمات المناخية المختلفة بينما يعطينا النموذج الرقمي Rayman 3.1 مؤشرات البيئة الحرارية .

تعتبر الاستراتيجيات الخضراء من العوامل الأساسية التي يمكن أن يأخذها المصمم الحضري في الحسبان ، وبشكل أساسي لتصميم قطعة أرض عامة في مناخ جاف ، من بين أهم العوامل ؛ كثافة الغطاء النباتي وترتيب الأشجار وبياض التربة ، تم أخذ العوامل الثلاثة بعين الاعتبار في هذا العمل تم اختيار 19 سيناريو ، وفقاً للمعايير الثلاثة ، وتمت محاكاة ها لتحقيق نتائج جوهريّة للغاية من حيث تحسين الراحة الحرارية.

الكلمات المفتاحية : المناخ المصغر ، الراحة الحراري ، الغطاء النباتي ، المناخ الحار ، المحاكاة

(Envi-met et Rayman)