

Université Mohamed Khider – Biskra
Faculté des Sciences et de la technologie
Département : Architecture
Ref :



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم: الهندسة المعمارية
المرجع:

Mémoire présenté en vue de l'obtention
Du diplôme de
Magister en : Architecture

Option : Etablissements humains dans les régions arides et semi arides

**L'impact de la géométrie urbaine sur le confort thermique
extérieur (Cas de la ville de Batna)**

Présenté par :
BENAMOUMA Djamila

Soutenu publiquement le : **05/03/2018**

Devant le jury :

MEMBRE DE JURY	GRADE	STATUT	AFFILIATION
Pr. BELAKEHAL Azeddine	Professeur	Président	Université de Biskra
Pr. MAZOUZ Said	Professeur	Rapporteur	Université d'Oum-el-bouaghi
Pr. BRIMA Abdelhafid	Professeur	Examineur	Université de Biskra

Dédicace :

Je dédie ce modeste travail à :

Mes parents ;

Mes frères ;

Mes sœurs.

Remerciements :

Je remercie Dieu, de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience pour élaborer ce travail.

Je remercie en premier lieu mon directeur de mémoire, Pr. MAZOUZ Said, pour ses précieux conseils, ses orientations et sa patience.

Je tiens à exprimer ma gratitude envers l'ensemble des membres de jury : Pr. BELAKEHAL Azzedine pour avoir accepté de présider le jury. Je remercie également le Pr. BRIMA Abdelhafid qui m'a fait l'honneur de participer au Jury de soutenance.

Je remercie aussi mes enseignants de la post-graduation de l'institut d'architecture de Biskra. A tous mes amis particulièrement ; BENDEKKICHE Selma, GUEDOUDJ Wided, BOUZIANE Dalal, FEKKOUS Nadia, NAIDJA Amina.

Je remercie tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin dans la réalisation de ce mémoire, particulièrement Mohamed Elhadi MAATALLAH et Amina ABDELLAOUI.

Résumé :

La qualité des espaces extérieurs présente un intérêt majeur et il est reconnu que ces espaces peuvent contribuer à une bonne qualité de vie en milieu urbain, à travers la création d'ambiances urbaines de qualité, confortables et adaptées aux conditions climatiques locale. De nombreuses études réalisées ont prouvé l'influence de la conception urbanistique sur le microclimat et le confort thermique en ville. Les configurations urbaines sont définies pour certains paramètres comme l'orientation, la géométrie, la couverture de surface, la couverture végétale, le facteur de vue du ciel et la surface bâtie.

Le confort des espaces extérieurs est tributaire de nombreux paramètres environnementaux, tels que le rayonnement solaire, le rayonnement infrarouge, la température de l'air, l'humidité et la vitesse du vent.

Depuis 1962, l'Algérie a connu une urbanisation accélérée, due à un accroissement rapide de la population. Cette situation de crise et la demande importante de logement qui ont conduit l'Etat algérien à lancer des programmes de logement de grande envergure.

Notre objectif est alors de déterminer l'impact de la géométrie urbaine sur les situations de confort thermique dans les espaces extérieurs de logement collectif.

L'évaluation du confort thermique extérieur est basée sur une utilisation de deux indices de confort thermique, le PMV (vote moyen prévisible) et l'UTCI (indice thermique universel du climat) et sera faite par le biais de la simulation numérique (logiciel ENVI-met3.1).

Les résultats présentés dans ce travail ont également montré l'impact de l'orientation, le Ratio H/L, le facteur de vue du ciel SVF sur le confort thermique extérieur.

Mots clés :

Confort Thermique extérieur, Géométrie Urbaine, Microclimat, ENVI-met3.1.

Abstract :

The outdoor spaces quality is represented a major interest and it is well-known that can contribute in a good quality of life in the urban environment, by creation of the urban ambiances of quality, comfortable and adaptable with local climatic conditions.

Many studies have proved the influence of the urban design on the microclimate and thus affects the thermal comfort of persons in cities. The urban configurations are defined for certain parameters as the orientation, the geometry, the cover of surface, the vegetable cover, the sky view factor and the built surface.

The thermal comfort outdoor spaces is affected on many environmental parameters such as solar radiation, infrared radiation, air temperature, mean radiant temperature, humidity and wind speed.

Since 1962, Algeria knew an accelerated urbanization, due to a rapid increase of population. This crisis situation and the important request for housing the Algerian to launch large scale of collective housing programs.

Our objective is to determine the impact of urban geometry on the thermal comfort in the external spaces of collective housing.

The evaluation of outdoor thermal comfort is based on the use of two indexes of thermal outdoor comfort, the PMV (Predicted Mean Vote) and the UTCI (Universal Thermal Climate Index) and will be done by means of numerical simulation (ENVI-met3.1).

The results presented in this work also showed the impact of, the sky view factor (SVF), the Ratio H/L and the orientation on the outdoor thermal comfort.

Keywords:

Outdoor Thermal Comfort, Urban Geometry, Microclimate, ENVI-met3.1.

الملخص:

نوعية المجالات الخارجية تشكل هدفا أساسيا ومن المعروف أنها تساهم في خلق نوعية حياة جيدة في الأوساط العمرانية من خلال خلق أجواء عمرانية ذات جودة مريحة وملائمة للظروف المناخية المحلية. وقد أظهرت العديد من الدراسات تأثير التصميم العمراني على المناخ المصغر وعلى الرفاهية الحرارية في المدينة. يتم تعريف التكوينات العمرانية بعدة عناصر مثل: التوجيه، الهندسة، تغطية المساحات، الغطاء النباتي، عامل انفتاح السماء والمساحة المبنية. الراحة في المجالات الخارجية خاضعة لعدة عوامل البيئية: الإشعاع الشمسي، الأشعة تحت الحمراء، درجة الحرارة، الرطوبة وسرعة الرياح. منذ 1962، شهدت الجزائر تحضرا سريعا نتيجة الزيادة السكانية السريعة، وقد أدت هذه الوضعية المتأزمة مع الطلب المتزايد على السكن الدولة الجزائرية لإطلاق برامج سكنات جماعية على نطاق واسع. - نهدف من خلال هذه الدراسة إلى تحديد تأثير الهندسة العمرانية على وضعية المناخ المصغر والراحة الحرارية في المجالات الخارجية للسكنات الجماعية. ويستند تقييم الراحة الحرارية في المجالات الخارجية على استخدام مؤشرين للراحة الحرارية الخارجية PMV و UTCI وسوف تتم عن طريق برنامج المحاكاة الرقمية (ENVI-met3.1).

تظهر النتائج المعروضة في هذا العمل تأثير عامل انفتاح السماء، النسبة H/L و التوجيه على الراحة الحرارية في المجالات الخارجية. الكلمات المفتاحية:

الراحة الحرارية الخارجية، الهندسة العمرانية، المناخ المصغر، ENVI-met3.1

Table des matières :

Résumé :	I
Table des matières :	IV
Liste des figures :	XIV
Liste des tableaux :	XIX
Liste des graphes :	XXI

INTRODUCTION GENERALE :

Introduction :	1
1- Problématique :	2
2- Hypothèses :	3
3- Objectif de la recherche :	3
4- Méthodologie :	3
5- Structure du mémoire :	4

CHAPITRE I : Architecture et Climat

I- Introduction:	5
I-1- L'Antiquité grecque et romaine :	6
I-2- Le Moyen Âge :	6
I-3- Les temps modernes	7
I-3-1- La Renaissance :	7
I-4- L'époque contemporaine :	8
I-4-1- XVIII ème Siècle :	8
I-4-2- XIX ème Siècle :	9
I-4-3- XX ème Siècle :	10
I-4-3-1- Architecture solaire et bioclimatique :	16

I-3-4-2- Du développement durable à la construction environnementale :.....	20
I- Conclusion :.....	27
CHAPITRE II : Climat et microclimat urbain	
II-Introduction :.....	28
II-1-Le climat :.....	29
II-1-1- Définition :	29
II-2- Les facteurs du climat :.....	29
II-2-1- Les facteurs cosmiques :.....	29
II-3- Les échelles spatiales et temporelles du climat :	29
II-3-1- L'échelle zonal :	29
II-3-2- L'échelle régionale :.....	30
II-3-3-L'échelle locale topoclimat :	30
II-3-4-L'échelle microclimatique :.....	30
II-4- Classification des climats mondiaux :	32
II-4-1- Les climats tropicaux :.....	32
II-4-2- Les climats secs :.....	32
II-4-3- Les climats tempérés :	33
II-4-3-1- Le climat tempéré chaud :	33
II-4-3-2-Le climat tempéré froid :.....	33
II-4-4-Les climats froids :	34
II-5- Les éléments du climat:	34
II-5-1- Le rayonnement solaire:	36
II-5-2- La nébulosité:	37

Table des matières

II-5-3- La température de l'air:	37
II-5-4- Les précipitations :	38
II-5-5- L'humidité atmosphérique:	38
II-5-6- La pression atmosphérique:	38
II-5-7- Le Vent:	39
II-5-7- 1- Les paramètres agissant sur le vent et sa vitesse :	40
II-6-1- Cause des changements climatiques :	41
II-6-1-1- Causes naturelles :	41
II-6-1-2- Causes anthropiques :	42
II-6-1-2- Les conséquences du changement climatique :	45
II-6-1-3- Les conséquences du changement climatique sur le climat urbain :	46
II-7- Îlot de chaleur urbain(ICU) :	46
II-7-1- Mesure de phénomène :	47
II-7-1-1- L'îlot de chaleur de surface :	47
II-7-1-2- L'îlot de chaleur de la canopée urbaine :	48
II-7-1-3- L'îlot de chaleur de la couche limite urbaine :	49
II-7-2- Causes de l'ICU (îlot de chaleur urbain) :	50
II-7-2-1- Morphologie urbaine et taille des villes :	50
II-7-2-2- Nature des matériaux de construction :	52
II-7-2-3- Le manque d'évapotranspiration :	53
II-7-2-4- Les émissions de chaleurs anthropiques :	54
II-7-3- Conséquences de l'îlot de chaleur urbain:	54
II-7-3-1- Impacts sur l'environnement :	54

II-7-3-2- Impacts sur la santé :	55
II- Conclusion :	56
CHAPITRE III : Le confort thermique dans les espaces publics extérieurs	
III- Introduction :	57
III-1- Confort thermique :	58
III-2- Les paramètres du confort thermique :	58
III-2-1- Paramètres relatifs à l'environnement :	59
III-2-1-1- La Température moyenne radiante (TMR) :	59
III-2-1-2- Température de l'air :	60
III-2-1-3- Humidité relative :	60
III-2-1-4- La vitesse de l'air:	60
III-2-1-5- Rayonnement solaire :	60
III-1-2- Paramètres relatifs à l'individu :	61
III-1-2-1- Mécanismes de thermorégulation :	61
III-1-2-2- Le métabolisme et les échanges thermiques:	61
III-1-2-3- les vêtements :	63
III-3- Les phénomènes d'échange de chaleur :	63
III-3-1- La conduction :	64
III-3-2- La convection :	64
III-3-3- Rayonnement :	65
III-3-4- Les échanges de chaleur latente : l'évaporation	65
III-3-5- Les échanges de chaleur par respiration :	65
III-3-6- Equation du bilan thermique :	65

Table des matières

III-4- Méthodes expérimentales d'évaluation du confort thermique :	66
III-4-1- Approche physique:	66
III-4-2- Approche physiologique :	66
III-4-3- Approche psychologique ou subjective :	67
III-5- L'évaluation du confort thermique :	67
III-5-1- Indices de l'équation du bilan thermique :	67
III-5-2- Indices de l'équation du bilan d'énergie :	67
III-5-3- des modèles graphiques :	68
III-5-4- les indices climatiques empiriques :	68
III-5-5- les indices psycho-socio-climatiques :	68
III-6- Les indices d'évaluation du confort thermique :	68
III-6-1- PMV (Vote Moyen Prévisible– Predicted Mean Vote) :	68
III-6-2- La température physiologique équivalente (PET) :	71
III-6-3- L'indice de température standard effective en espaces extérieurs (OUT_SET*) :	72
III-6-4- Le vote de sensation effective (Actual Sensation Vote) -ASV- :	73
III-6- 5- La température perçue :	74
III-6-6- L'indice de sensation thermique (TSI) :	75
III-6-7- L'Indice thermique universel du climat UTCI (Universal Thermal Climate Index) :	75
III-Conclusion :	77
 CHAPITRE IV : Impact de la géométrie urbaine sur le confort thermique extérieur	
IV- Introduction :	78
IV- 1-Forme urbaine :	79
IV-1-1- Le tissu urbain :	80

Table des matières

IV- 1-1-1- Densité du bâti :.....	80
IV- 1-1-2- Densité végétale:.....	81
IV-1-1-3- Rugosité urbaine:.....	81
IV-1-1-4- Porosité urbaine:.....	82
IV- 1-2- L'espace public :.....	82
IV-1-2-1- Facteur de Vue du Ciel (Sky View Factor) :	82
IV-1-2-1-1- Méthode de calcul :	83
IV-1-2-2- Ratio H/L :	84
IV-2- Les études de référence :	86
IV-2-1- Etude de Boucheriba et al (2010) :.....	86
IV-2-1-1- Simulation de l'axe NORD EST-SUD OUEST :	87
IV-2-1-2- Simulation des deux canyons NE/SO et NO/SE :	88
IV-2-1-2- Température moyenne radiante :	88
IV-2-1-3- Vote moyen prévisible (PMV) :	89
IV-2-2- Etude de Johannsen (2006) :.....	90
IV-2-3- Etude de Krüger et al (2011) :.....	91
IV-2-4- Etude de Toudert et Mayer (2006) :.....	94
IV-2-5- Etude de Zakhour (2015) :.....	95
IV-2-5- 1- Méthode d'investigation :.....	96
IV-2-6- Etude Matzarakis et al (2014) :.....	98
IV-2-6-1- Méthodologie :.....	100
IV- 3- Synthèse des études :.....	103
IV- Conclusion :.....	104

CHAPITRE V : Présentation de cas d'étude

V-Introduction :	105
V-1- Situation géographique :	106
V-2- Analyse des éléments du climat :	107
V-3- Les différents paramètres climatiques :	108
V-3-1-La température :	108
V-3-2-L'humidité relative :	109
V-3-3-La vitesse des vents :	110
V-3-4-Les précipitation :	111
V-4- L'évolution urbaine de la ville de Batna :	112
V-4-1- Période coloniale:	112
V-4-1-1- La période : 1844-1923	112
V-4-1-4- La période 1923-1945 : (Acquisition du rôle administratif et commercial)	112
V-4-2-1- La période 1946-1962 :	113
V-4-2-Période post coloniale (après 1962) :	113
V-4-2-1-La période 1963-1973 : (extension des quartiers traditionnels)	113
V-4-2-2-La période 1974-1984 :(éclatement de l'agglomération)	113
V-4-2-3-La période 1985- 1995 : (Saturation du tissu urbain)	114
V-4-2-4-La période 1996 - 2006 : (une expansion spatiale sans limite)	114
V-4- Analyse du tissu urbain :	116
V-5- Choix de l'échantillon:	117
V- Conclusion :	130

CHAPITRE V I : Simulation numérique

VI-Introduction :131

VI-1- Les modèles de simulation numériques :132

VI-2- Description du logiciel ENVI-met3 :132

VI-2- déroulement de la simulation :133

VI-3-Evaluation du confort thermique :134

VI-3-1- critères de choix de points de mesure :135

VI-3-2- Facteur moyen de vue du ciel :135

VI-4 - discussion et analyse des résultats de simulation :137

VI-4-1-Premier échantillon :137

VI-4-1-1-Période hivernale :140

VI-4-1-1-1-les paramètres microclimatiques simulés :140

a- La température de l'air (T air) :140

b-Température moyenne radiante (Mrt) :141

VI-4-1-1-2-Vote Moyen Prévisible (PMV) :142

VI-4-1-2-Période estivale:.....145

VI-4-1-2-1- les paramètres microclimatiques simulés :145

a- 1-La température de l'air (T air) :145

b-Température moyenne radiante (Mrt) :146

VI-4-1-2-2-Vote Moyen Prévisible (PMV) :147

VI-4-1-2-3- L'indice thermique universel du climat (UTCI) :148

VI-4-2-deuxième échantillon :150

Table des matières

VI-4-2-1-Période hivernale:	153
VI-4-2-1-1- les paramètres microclimatiques simulés :	153
a-La température de l'air (T air) :	153
b- Température moyenne radiante (Mrt) :.....	154
VI-4-2-1-2- Vote Moyen Prévisible (PMV) :	155
VI-4-2-1-3- - L'indice thermique universel du climat (UTCI) :	155
VI-4-2-2-Période estivale :.....	157
VI4-2-2-1- les paramètres microclimatiques simulés :	157
a- La température de l'air (T air) :	157
b- Température moyenne radiante (Mrt) :.....	158
VI-4-2-2-2- Vote Moyen Prévisible (PMV) :	159
VI-4-2-2-3- L'indice thermique universel du climat (UTCI) :	159
VI-4-3- Troisième échantillon :	161
VI-4-3- 1-Période hivernale :	164
VI-4-3-1-1- les paramètres microclimatiques simulés :.....	164
a-La température de l'air (T air) :	164
b-Température moyenne radiante (Mrt) :.....	165
VI-4-3-2- Vote Moyen Prévisible (PMV) :.....	166
VI-4-3-1- L'indice thermique universel du climat (UTCI) :.....	167
VI-4-3-2- Période estivale :.....	169
VI-4-3-1- les paramètres microclimatiques simulés :	169
a-La température de l'air (T air) :	169
b-Température moyenne radiante (Mrt) :.....	170
VI-4-3-2-2- Vote Moyen Prévisible (PMV) :	171

Table des matières

VI-4-3-2-3- L'indice thermique universel du climat (UTCI) :	172
VI- Conclusion :	174
Conclusion générale :	178
BIBLIOGRAPHIE :	181
ANNEXE :	189

Liste des figures :

CHAPITRE I :

Figure I.1: La Maison tournesol, Pellegrin et Petit, 1904. (Source : Siret, 2013).....	11
Figure I.2: Etude des ombres portées d'une forme en U selon différentes orientations (Atkinson, 1912) (Source : Siret, 2013)	12
Figure I.3: Coupe de l'immeuble du 13, rue des Amiraux ; réalisé entre 1922 et 1928 par H. Sauvage (Source : Siret et al ,2006).....	13
Figure I.4: A.Augustin-Rey (1928)« réorganisation scientifique selon l'axe héliothermique ». (Source : Siret et Harzallah, 2006)	14
Figure I.5: Réaménagement héliothermique d'un quartier de Paris (Rey et al, 1928) (Source :Harzallah et al, 2006).....	15
Figure I.6: Interdisciplinarité de l'approche bioclimatique selon Olgyay 1963. (Source : Boivin, 2007)	17
Figure I.7: Stratégie du chaud (source : Leroy, 2005)	18
Figure I.8: Stratégie du froid (source : (Leroy, 2005).....	18
Figure I.9: Stratégie de l'éclairage naturel (Source : Boussoulim ,2009)	19
Figure I.10: Le développement durable au niveau international. (Source : http://www.seine-et-marne.gouv.fr ,2016).....	21
Figure I.11: Les trois piliers du Développement Durable. (Source : http://www.toutallantvert.com , 2016)	22
Figure I.12: 14 cibles de la démarche HQE. (Source : Arnault et Génie, 2005).....	23
Figure I.13: Les critères d'évaluation de la méthode BREEAM (Source : Liebard et De herde, 2005).24	
Figure I.14: Les critères environnementaux du Standard MINERGIE-ECO (Source : Dias, 2010).....	25

CHAPITRE II:

Figure II.1: Les principaux climats mondiaux. (Source: http://www.jeangabrielchelala.com ,2015)	32
Figure II.2: Les différentes couches de l'atmosphère terrestre (source : www.cea.fr ,2015)	34
Figure II.3: Composantes du bilan énergétique (Source : Oliver Sonnentag, PhD: GÉO2122 – Climatologie Séance 4: 31 janvier 2012)	37
Figure II.4: Variation verticale de la pression atmosphérique. (Source : http://www.meteofrance.fr)... ..	39
Figure II.5: Vent (Source : http://tpeeolienne77.e-monsite.com , 2015)	40

Liste des figures

Figure II.6: Concentration de CO_2 dans l'atmosphère. (Source : http://www.climatechallenge.be/fr , 2015)	41
Figure II.7: Schéma du mécanisme responsable de l'effet de serre naturel (Source : Petit. M, 2013) ..	43
Figure II.8: Emissions mondiales de gaz à effet de serre anthropiques 2007 (Source : http://www.climatechallenge.be , 2015)	44
Figure II.9: Carte mondiale des conséquences des changements climatiques. (Source : © GIEC, volume 2 rapport 2014 / notre-planete.info)	45
Figure II.10: Profil d'un îlot de chaleur urbain. (Source : Anquez .Ph et Herlem .A, 2011)	46
Figure II.11: Représentation en plan des isothermes d'un îlot de chaleur urbain. (Source : Rullier, 2012).....	47
Figure II. 12: Image thermique du secteur Montréal-Est à l'hiver et à l'été 2005. (Source : Rullier, 2012).....	48
Figure II.13: Schéma représentant le canyon urbain et ses éléments. (Source : Najjar et al, 2010)	49
Figure II.14: Les deux figures classiques de couches limites urbaines. (Source : Bouyer, 2009)	49
Figure II.15: L'influence de la géométrie des rues (exprimée par le rapport H/W , H étant la hauteur moyenne des bâtiments et W la largeur de la rue) sur l'intensité maximale d'îlot de chaleur. (Source : Reiter, 2007).....	51
Figure II.16: Effet du piégeage radiatif en ville. (Source : Colombert, 2008)	51
Figure II.17: Représentation du facteur de vue du ciel dans une rue canyon décrite par sa largeur (W) et les hauteurs des bâtiments l'encadrant (H_1 et H_2). (Source : Colombert.M, 2008)	52
Figure II.18: Divers albédos de la ville. Compris entre 0 et 1. (Source : http://www.notre-planete.info , 2015).....	53
Figure II.19: Phénomène d'amplification de l'îlot de chaleur urbain et système de climatisation. (Source : Bozonnet.E, 2005)	55

CHAPITRE III:

Figure III.1: Les différents paramètres déterminant le confort thermique (Source : Perrineau, 2013)	59
Figure III.2: Homéothermie de l'homme. (Source : Szócs, 2005).....	61
Figure III.3: Isolation thermiques des vêtements (source : Mazari, 2012).....	63
Figure III.4: Les différents phénomènes d'échange de chaleur entre l'individu et son environnement (Source : Grignon-Mass, 2010).....	64
Figure III.5: Correspondance entre le PPD et le PMV (Source : http://www-energie2.arch.ucl.ac.be , 2015).....	70

Figure III.6: Classification des valeurs du PMV selon neuf échelles de confort (Source : Bruse, 2015)	71
Figure III.7: Schéma des principaux paramètres de l'UTCI (Source: Blazejczyk. K et al, 2013)	76
CHAPITRE IV:	
Figure IV.1: Taux d'ouverture de l'espace entre deux bâtiments pour différents profils de rue. (Source : Ait amour, 2002)	83
Figure IV.2: Caméra de champ de vision hémisphérique pour l'estimation du facteur de vue de ciel (source : Ben Messaoud, 2010)	83
Figure IV.3: Distribution schématique du rayonnement solaire incident dans différents scenarios. (source : Djaafri, 2002)	84
Figure IV.4: Profil de la circulation de l'air en fonction du rapport de la hauteur moyenne de la rue. (Source : Kitous, 2012)	85
Figure IV.5: Plan du 1 ^{er} axe simulé ; Nord Est -Sud Ouest comprenant 3 stations. (Source : Boucheriba et al ,2010)	86
Figure IV.6: Plan du 2 ^{ème} axe simulé ; Nord Ouest -Sud Est comprenant 1 station. (Source : Boucheriba et al ,2010)	86
Figure IV.7: Coupes schématiques déterminant la géométrie des stations 1, 2,3 et 4. (Source : Boucheriba et al ,2010)	86
Figure IV.8: Photos Fish-eye prises au niveau des quatre stations respectivement de gauche à droite : (1) espace ouvert, (2) espace semi ouvert, (3) et (4) espaces de type Canyon. (Source : Boucheriba et al ,2010)	87
Figure IV.9: Variation de la température de l'air dans les deux canyons NE-SO et NO-SE(Source : Boucheriba et al ,2010)	88
Figure IV.10: Variation de la température moyenne radiante dans les deux canyons NE-SO et NO-SE (Source : Boucheriba, 2004)	89
Figure IV.11: Variation du PMV dans les deux canyons NE-SO et NO-SE. (Source : Boucheriba et al ,2010)	89
Figure IV.12: La Nouvelle Ville avec le quartier Adarissa au sud (Source : Johannsen, 2006)	90
Figure IV. 13: Centre de la Médina avec le quartier Seffarine (Source : Johannsen ,2006)	Erreur ! Signet non défini.
Figure IV.14: Les points de mesure (Source : Johannsen, 2006)	91
Figure IV.15: Photos Fish-eye prises et les valeurs de SVF au niveau des points de mesures. (Source : Johannsen, 2006)	93
Figure IV.16: Stations de mesure à différentes Ratio H/L dans la vieille ville de Beni-Isguen.(Source : Toudert et Mayer ,2006)	94

Liste des figures

Figure IV.17: Emplacement des quartiers choisis "Al-Jdeideh" et "Engineers Society".(Source : Zakhour, 2015).....	95
Figure IV.18: Les points de mesure (1 à 4) et (A), quartier Al-Jdeideh".(Source : Zakhour, 2015).....	96
Figure IV.19: Les points de mesure (5-6) et (B), quartier "La société des ingénieurs".(Source : Zakhour, 2015).....	96
Figure IV.20: Les paramètres géométrique des points de mesures (Source : Zakhour, 2015).....	97
Figure IV.21: Corrélation des valeurs SVF et les valeurs moyennes des PET. (Source : Zakhour, 2015)	97
Figure IV.22: Les configurations urbaines de Santos, Brazil. (Source : Matzarakis et al, 2014)	99
Figure IV.23: Les configurations utilisées (Source : Matzarakis et al ,2014).....	100
Figure IV.24: La distribution d'une fréquence mensuelle de Ta de Santos pour la période d'étude (2002-2012) (Source : Matzarakis et al, 2014)	101
Figure IV.25: La distribution d'une fréquence mensuelle de PET de Santos pour la période d'étude (2002-2012) (Source : Matzarakis et al, 2014)	102
Figure IV.26: Les cours diurnes de PET (C°) pour les configurations urbaines de Santos(Source : Matzarakis et al, 2014),.....	102
CHAPITRE V:	
Figure V.1: Situation géographique de la wilaya de Batna (source :Touati, 2014)	106
Figure V.2: Zone climatique en Algérie (Source : Boussoulim, 2009).....	107
Figure V.3: Evolution de la ville de Batna. (source : Touati, 2014)	115
Figure V.4: Les Types de tissus au sein de la ville de Batna (Source : http://cybergeogeo.revues.org , 2016)	116
CHAPITRE VI:	
Figure VI.1: Diagramme de flux des données (Source : Knodel, 2012).....	133
Figure VI.2: Représentation du facteur de vue du ciel moyen pour les trois échantillons.....	136
Figure VI.3: Les points de mesure, premier échantillon (Source : Auteur, 2017)	137
Figure VI.4: Représentation les valeurs du facteur de vue du ciel SVF, premier échantillon.	138
Figure VI.5: Les points de mesure, deuxième échantillon (Source : Auteur, 2017)	150
Figure VI.6: Représentation les valeurs du facteur de vue du ciel SVF, deuxième échantillon. (Source : Leonardo, Auteur, 2017).....	151

Liste des figures

Figure VI.7: Les points de mesure, troisième échantillon (Source : Auteur, 2017).....	161
Figure VI.8: Représentation les valeurs du facteur de vue du ciel SVF, troisième échantillon.	162

Liste des tableaux :

CHAPITRE II :

Tableau II.1: Les échelles spatiales et temporelles du climat. (Source : Boussoualim, 2008).....31

Tableau II.2: Taux d'émission anthropique et bilan radiatif net annuel pour quelques villes américaines, européennes et asiatique. (Source : <http://www.inspq.qc.ca>. 2015).....54

CHAPITRE III :

Tableau III.1: Métabolisme thermique et énergie mécanique. (Source : eduscol.education.fr ,2015)...62

Tableau III.2: Valeurs du PMV selon neuf échelles de confort. (Source : Bruse, 2015).....71

Tableau III.3: Valeurs du PET selon neuf échelles de confort (Source : Athamna, 2013)72

Tableau III.4: Température perçue. (Source : Musy., 2008).....74

Tableau III.5: Grille d'appréciation de l'UTCI (Source: Boko et al, 2013).....76

CHAPITRE VI :

Tableau VI.1: Propriétés aérodynamiques typiques pour des zones urbaines homogènes. (Source: Bozonnet, 2005).....82

Tableau IV.2:Relation entre la température de l'air, la température moyenne de surface et le PMV (Source : Boucheriba et al ,2010).....87

Tableau IV.3:Les caractéristiques des points de mesure.(Source : Johannsen, 2006)92

Tableau IV.4: Classification les fréquences de PET et Ta.(Source : Matzarakis et al, 2014).....101

CHAPITRE V:

Tableau V.1: Moyennes mensuelles de la température de l'air pendant (2006-2015). (Source :infoclimat.fr, 2016).....108

Tableau V.2: Moyennes mensuelles de l'humidité de l'air pendant (2006-2015). (Source: www.wunderground.com/history, 2016)..... 109

Tableau V.3: Moyennes mensuelles des vitesses du vent pendant (2006-2015). (Source: www.wunderground.com/history, 2016).....110

Tableau V.4: Moyennes mensuelles des précipitations pendant (2006-2015) (Source :www.infoclimat.fr, 2016)111

Tableau V.5: Classification des configurations urbaines selon la période de construction. (Source : Auteur, 2016)..... 127

CHAPITRE VI :

Tableau VI.1: les principaux paramètres introduits au fichier *.cf.	134
Tableau VI.2: Facteur moyen de vue du ciel en pourcentage pour les trois échantillons.	135
Tableau VI.3: Les caractéristiques géométriques des points de mesure, premier échantillon.	139
Tableau VI.4: Les caractéristiques géométriques des points de mesure, deuxième échantillon.	152
Tableau VI.5: Les caractéristiques géométriques des points de mesure, troisième échantillon.	163

Liste des Graphes :

CHAPITRE V :

Graphe V.1: Moyennes mensuelles de la température de l'air pendant (2006-2015)	108
Graphe V.2: Moyennes mensuelles de l'humidité de l'air pendant (2006-2015)	109
Graphe V.3: Moyennes mensuelles des vitesses du vent pendant (2006-2015)	110
Graphe V.4: Moyennes mensuelles des précipitations pendant (2006-2015)	111
Graphe V.5: Emprise au sol pour les trois périodes. (Source : Auteur, 2016)	117
Graphe V.6: Emprise au sol des différentes configurations pour la période 1974-1984.	128
Graphe V.7: Emprise au sol des différentes configurations pour la période 1985-1995.	128
Graphe V.8: Emprise au sol des différentes configurations pour la période 1996-2006.	129

CHAPITRE VI :

Graphe VI.1: Variation de la température de l'air au cours d'une journée d'hiver. (Source: Auteur, 2017).....	140
Graphe VI.2: Variation de la température moyenne radiante au cours d'une journée d'hiver. (Source: Auteur, 2017)	141
Graphe VI.3: Valeur de PMV au cours d'une journée d'hiver. (Source: Auteur, 2017).....	142
Graphe VI.4: Valeur de l'UTCI au cours d'une journée d'hiver. (Source: Auteur, 2017).....	144
Graphe VI.5: Variation de la température de l'air au cours d'une journée d'été.(Source: Auteur, 2017)	145
Graphe VI.6: Variation de la température moyenne radiante au cours d'une journée d'été. (Source: Auteur, 2017).....	146
Graphe VI.7: Valeur de PMV au cours d'une journée d'été. (Source: Auteur, 2017)	147
Graphe VI.8: Valeur d'UTCI au cours d'une journée d'été. (Source: Auteur, 2017)	149
Graphe VI.9: Variation de la température de l'air au cours d'une journée d'hiver. (Source: Auteur, 2017).....	153
Graphe VI.10: Variation de la température moyenne radiante au cours d'une journée d'hiver. (Source: Auteur, 2017)	154
Graphe VI.11: Valeur de PMV au cours d'une journée d'hiver. (Source: Auteur, 2017).....	155
Graphe VI.12: Valeur de l'UTCI au cours d'une journée d'hiver. (Source: Auteur, 2017).....	156

Liste des Graphes

Graphe VI.13: Variation de la température de l'air au cours d'une journée d'été. (Source: Auteur, 2017)	157
Graphe VI.14: Variation de la température moyenne radiante au cours d'une journée d'été. (Source: Auteur, 2017)	158
Graphe VI.15: Valeur de PMV au cours d'une journée d'été. (Source: Auteur, 2017)	159
Graphe VI.16 : Valeur d'UTCI au cours d'une journée d'été. (Source: Auteur, 2017)	160
Graphe VI.17: Variation de la température de l'air au cours d'une journée d'hiver. (Source: Auteur, 2017)	164
Graphe VI.18: Variation de la température moyenne radiante au cours d'une journée d'hiver. (Source: Auteur, 2017)	165
Graphe VI.19: Valeur de PMV au cours d'une journée d'hiver. (Source: Auteur, 2017)	166
Graphe VI.20: Valeur d'UTCI au cours d'une journée d'hiver. (Source: Auteur, 2017)	168
Graphe VI.21: Variation de la température de l'air au cours d'une journée d'été. (Source: Auteur, 2017)	169
Graphe VI.22: Variation de la température moyenne radiante au cours d'une journée d'été. (Source: Auteur, 2017)	170
Graphe VI.23: Valeur de PMV au cours d'une journée d'été. (Source: Auteur, 2017)	171
Graphe VI.24: Valeur d'UTCI au cours d'une journée d'été. (Source: Auteur, 2017)	173

INTRODUCTION GENERALE

Introduction :

Actuellement, plus de la moitié de la population mondiale vit en ville. Cette proportion atteint 80% dans les pays développés. De plus, les zones urbaines concentrent la grande majorité du capital (logements, distribution d'eau, infrastructures de transport). Une telle concentration de population conduit à un accroissement des préoccupations sociales, économiques et environnementales. (Georges et al, 2010)

A ces préoccupations s'ajoutent le microclimat spécifique des villes, dont la manifestation la plus connue est « l'îlot de chaleur ». Sous l'effet du changement climatique, les climatologues s'attendent à une augmentation de la vulnérabilité des villes dans le futur, et à une aggravation d'impacts sur le confort thermique des habitants et leur santé.

La conception et la modification des formes urbaines induisent des transformations profondes et à long terme de l'environnement, dont le microclimat est l'un des aspects fondamentaux. Les villes modernes ont été fortement influencées par des intérêts économiques à court terme et des valeurs technologiques. La qualité environnementale de l'espace laissé entre les bâtiments a rarement été prise en compte, ce qui génère souvent un inconfort insupportable pour les piétons. En plus, ces espaces modernes inadaptés à notre climat créent des problèmes néfastes sur notre planète. (Reiter, 2007)

Les urbanistes, les ingénieurs et les architectes sont face à l'enjeu d'élaborer des méthodes afin de diminuer l'impact de l'urbanisation sur le microclimat et sur la sensation thermique des piétons. Cela nécessite naturellement de tenir compte de l'évolution du climat et des impacts régionaux associés,

Une bonne utilisation des éléments climatiques et leur intégration harmonieuse aux différents niveaux de la conception procurent un microclimat favorable, à la fois des espaces publics confortables et des bâtiments qui peuvent tirer profit du climat pour réduire leurs consommations pour favoriser le bien-être et la santé des citoyens.

Or, toute ville devrait placer les objectifs de santé et de qualité de vie au cœur même de son processus décisionnel et de son développement.

1- Problématique :

A travers les différents âges de l'humanité, l'homme a toujours essayé de créer des conditions favorables pour son confort et ses activités, tout en essayant de contrôler son environnement.

Après la seconde guerre mondiale, l'architecture moderne a connu une autonomie vis-à-vis du climat, du site, de la culture et de la question anthropologique. Tout cela a généré une homogénéisation du cadre bâti, une civilisation globale sans frontières, où l'industrie est le principal garant du bonheur de l'homme. (Gueliane Lahrouche, 2013)

Depuis les années 1960, les villes algériennes ont connu des changements et des mutations rapides et fondamentaux sous tous leurs aspects. On trouve notamment des transformations au niveau culturel, social, économique, urbain, et surtout architectural.

Au fil de cette transformation et modernisation qu'ont connues les villes, les modèles d'urbanisme et d'architecture locales ont été abandonnés en faveur de nouveaux concepts internationaux. Ces nouveaux modèles se sont ancrés de manière uniforme dans l'ensemble du pays sans tenir compte des:

- données climatiques spécifiques à ces régions.
- caractéristiques socioculturelles locales et les identités humaines. (Chennaoui, 2008)

L'Algérie est dotée d'une vaste surface et d'un climat diversifié allant d'un méditerranéen tempéré à un saharien sec. Les régions chaudes et arides occupant les deux tiers de cette surface.

Plusieurs recherches ont confirmés que le climat urbain influencé par la structure urbaine comprend à la fois la morphologie, la géométrie, la forme du cadre bâti, ainsi que les matériaux de construction. (Morgane, 2008) La qualité des espaces extérieurs présente un intérêt majeur, à travers la création d'ambiances urbaines de qualité, confortables et adaptées aux conditions climatiques locales.

D'après Todhunter (1990), cité par Achour-Bouakkaz (2006) « *La géométrie urbaine a été définie comme étant une source d'influence directe sur les paramètres microclimatiques urbaines d'un lieu donné* ». En effet, cette dernière intervient directement dans la détermination du microclimat urbain et du confort thermique.

Notre objectif est alors de déterminer l'impact de la géométrie urbaine sur les situations de confort thermique dans les espaces extérieurs de logement collectif.

Afin d'atteindre notre objectif d'étude, on pose les questions suivantes :

- Comment la conception de l'espace extérieur urbain peut-elle affecter le microclimat urbain et le confort thermique?

- Quel est l'impact de sa géométrie sur le confort thermique extérieur ?

2- Hypothèses :

Plusieurs variables agissent sur le microclimat urbain, Certains chercheurs pensent que ces variables et leurs combinaisons peuvent modifier le niveau de confort thermique extérieur,

Afin de répondre aux questions qui ont précédé la présente étude propose l'hypothèse suivante :

-La géométrie urbaine contribuerait directement à définir le microclimat urbain et le confort thermique.

3- Objectif de la recherche :

L'objectif de cette recherche est d'analyser la relation entre la géométrie urbaine, le microclimat et les conditions du confort thermique dans les espaces extérieurs,

Le but principal est d'identifier des paramètres importants qui peuvent être intégrés dans le processus de conception des espaces extérieurs.

- Amélioration des ambiances en relation avec le confort thermique des usagers en espaces extérieurs.

- Améliorer la manière de concevoir la ville, tout en prenant en considération les éléments climatiques.

4- Méthodologie :

Ce travail de recherche a pour objectif de contribuer à l'analyse de l'impact de la géométrie urbaine sur les conditions microclimatiques et notamment sur le confort thermique extérieur.

Notre cas d'étude s'appuie sur l'habitat collectif en fonction de l'époque de son apparition, afin d'en tirer des échantillons représentatifs sur lesquels nous allons effectuer des simulations numériques.

- Pour le choix des échantillons, on a procédé à une classification selon la période de construction et l'emprise au sol (CES).

- Les critères retenus pour choisir les points de mesure sont :

a. L'orientation.

b. La géométrie défini par le ratio H/W et la valeur du facteur d'ouverture au ciel (SVF).

- La simulation numérique par le biais du logiciel tridimensionnel (ENVI-met3.1).

5- Structure du mémoire :

Notre recherche s'organise en deux parties principales :

La première partie est consacrée à la familiarisation avec les différents concepts propres à notre objet d'étude. Cette première phase sera développée en quatre chapitres :

Le chapitre I : ville et climat

Consiste en une approche historique qui traite la présence des éléments climatiques dans la conception urbaine et architecturale.

Le chapitre II : Climat et microclimat urbain

Présente dans une première étape un aperçu sur les différents facteurs et paramètres climatiques et par la suite le microclimat urbain et ses spécificités.

Le chapitre III : Confort thermique dans les espaces extérieur

À pour objectif de définir la notion du confort thermique dans les espaces extérieurs, ses éléments et ses indices.

Le chapitre IV : Impact de la géométrie urbaine sur le confort thermique extérieur

Il traite l'interaction entre la forme urbaine et l'environnement climatique : présentation de plusieurs recherches et expériences sur l'analyse de l'impact de la géométrie sur le confort thermique dans les espaces extérieurs.

La deuxième partie sera développée en deux chapitres :

Le chapitre V : Présentation de cas d'étude

Où nous allons établir une présentation du cas d'étude et des caractéristiques climatiques de la zone d'étude.

Le chapitre VI : Simulation numérique

Nous allons faire une simulation par un logiciel «Envi-met», sur plusieurs configurations. Après les résultats et l'analyse nous pourrons ensuite donner des recommandations.

CHAPITRE I :

Ville et Climat

I- Introduction:

De tout temps, l'Homme a construit des abris pour se protéger des agressions extérieures (naturelles, ennemis).

L'architecture a souvent été le reflet des connaissances techniques d'une civilisation (les grecs, les romains, la renaissance, les modernes), à chaque époque, les savoirs acquis par les générations précédentes ont été réutilisés avec respect et améliorés. (Krummenache, 2005)

Le cadre bâti a été construit pour être le plus adapté possible aux conditions climatiques locales pour répondre aux besoins humains de sécurité et de confort vis-à-vis d'un climat pas toujours clément. Cependant, les pratiques constructives du XXème siècle sont en rupture avec cette tradition.

Dès le premier choc pétrolier de 1970 les bâtiments conçus selon le style moderne sont apparus gourmands en énergies. Cela a conduit à une reconversion profonde de notre approche de bâtir mais également au changement du regard envers l'architecture vernaculaire. Les architectes de cette époque ont modernisé les techniques existantes, grâce aux progrès de l'industrie, pour proposer des architectures confortables avec de faibles consommations d'énergies. Aujourd'hui les sociétés, au niveau mondial, ont pris conscience de l'importance de la protection de l'environnement et la nécessité de réduire les émissions de gaz à effet de serre pour limiter le réchauffement climatique.

Elles doivent assurer une diminution des impacts sur l'environnement. Les villes doivent garantir une meilleure qualité de vie en diminuant les impacts sur l'environnement tout en continuant à offrir du confort aux citoyens donc aboutir au développement d'une manière durable. Bien que les intentions pour répondre à ce constat soient partagées, l'approche mise en œuvre diffère en fonction du pays. Par exemple en Suisse on l'appelle MINERGIE, PASSIVHAUS en Allemagne et en Autriche, HQE en France.

I-1- L'Antiquité grecque et romaine :

La problématique de l'adaptation climatique de la ville est apparue dès l'antiquité et cela pour des raisons d'hygiène ou de rituels. Les Grecs accordaient une grande importance à l'aspect religieux dans l'organisation de la ville, les premiers soucis de protection contre les agressions climatiques semblaient se dessiner. Hippocrate (460-377 av. J.-c.) nota l'influence du climat sur le caractère et la santé. (Tiraoui, 2000)

Les premières indications rejetaient les orientations au sud et préféraient l'orientation au soleil levant. D'autres indications se concentrent sur l'orientation et la largeur des rues par rapport aux vents, afin de permettre le renouvellement d'air. Les villes étaient souvent construites à partir d'une trame orthogonale, mais seulement certaines d'entre elles sont orientées exactement suivant les points cardinaux. (Tiraoui, 2000)

Pendant l'Empire romain, Vitruve (1^{er} s. av. J.-C.) pour des raisons de salubrité, de santé et de commodité énonça quelques règles d'orientation et d'organisation des pièces d'habitation. Les règles d'organisation urbaine concernent principalement la protection des rues contre les vents forts et froids. Le souci d'amélioration des conditions d'ensoleillement des pièces d'habitation, en évitant les ombres portées par les façades avoisinantes apparaît également. Ces indications sont suivies par des prescriptions sur le choix du site d'implantation: choix d'un lieu salubre, aéré regardant un ciel tempéré (ni chaud, ni froid). (Tiraoui, 2000)

Les romains étaient aussi les premiers à utiliser les fenêtres en verre pour profiter de la lumière et de piégeage chaleur solaire dans leurs maisons mais aussi des serres pour créer les conditions adéquates pour la croissance des plantes exotiques ou des graines portées à Rome. (Boubekri, 2008)

I-2-Le Moyen Âge :

Après la chute de Rome, tous les savoirs sont tombés dans l'oubli s au point de vue d'architecture solaire. Pendant le moyen-âge, l'homme était plus se occupé à se réfugier dans une maison fortifiée. (Solarpedia.net, 2015)

Au Moyen Âge, l'objectif de créer une ville est avant tout une question de protection et de sécurité. Le contexte historique des villes médiévales était défini principalement par une situation de guerre permanente. Les exigences de la protection militaire des villes nécessitaient de s'entourer de Fossés très larges autour des remparts.Ce qui a créé un

microclimat très humide. Puisqu'il était obligé de s'adapter à cette nécessité de repli vers la ville intra-muros, l'ensemble des activités de productions économiques, et surtout celle du salpêtre nécessaire à la poussière des canons, devaient se développer à l'intérieur des remparts. Ces productions, dépendaient exclusivement des avancées de la chimie organique, ne pouvaient trouver dans l'air humide et statique des villes. (Benzerzour, 2004). Ce qui a créé des lieux insalubres au sein de la ville. À défaut de pouvoir supprimer les sources de pollution, l'éloignement et l'adaptation des habitants se fait lorsque cela est possible. Vu que les milieux les moins pollués sont occupés par les autorités religieuses et les riches alors que les ouvriers installent à la proximité de ces sources. Dès la disparition des causes militaires, l'amélioration des conditions économiques et l'avancée scientifique vont permettre aux villes de revaloriser leur climat et surtout d'assainir leur air. (Colombert et al, 2012)

I-3- Les temps modernes

I-3-1- La Renaissance :

Le XVe et le XVIe siècle est une période de transition entre le Moyen Âge et les Temps Modernes. Cette période est caractérisée par une série de changements politique, économique, social et intellectuel. A cette époque apparaît le mouvement humaniste : une philosophie qui se caractérise par un retour aux textes antiques, et par la modification de pensée, d'écriture et des modes de vie. (<http://www.histoire-france.net/temps/renaissance>,2016)

La Renaissance désigne la redécouverte des fondements urbanistiques de l'Antiquité. La ville est considérée comme une œuvre d'art. « *Les principes sont les tracés réguliers disciplinant un site, la composition axée, symétrique et rythmée, les voies rectilignes, encadrées d'ouvrages régulièrement ordonnés, la mise en valeur monumentale des bâtiments... Ces principes seront utilisés pour aérer les tissus urbains jusqu'au 19ème siècle* ». (Duny, 2010)

- Durant la période de la Renaissance, quand des écrits de l'antiquité ont été republiés, ces derniers sont inspirés de ceux de Vitruve, qui, dès l'époque de l'empereur Auguste, donna des instructions détaillées pour l'établissement de villes coloniales en prenant considération des aspects climatiques. (Tiraoui, 2000)

Léon Battista Alberti, suivi par Andrea Palladio ont rappelé ces principes, selon lesquelles des parties de Rome devenaient excessivement chaudes durant l'été.

Les principes signalaient ainsi que les rues élargies sous le règne de Néron étaient devenues moins saines qu'auparavant. Palladio indiquait que les rues être agréables et commodes de ce fait que ces rues seraient larges et amples dans les pays froids. Par contre, dans les pays chauds, des rues étroites seraient plus saines. (Teller, sans date)

I-4- L'époque contemporaine :

I-4-1- XVIII^{ème} Siècle :

Dès le XVIII^{ème} siècle (le Siècle des Lumières), la qualité sanitaire de l'air des villes devient un enjeu. Il y a désormais une volition de faciliter l'accès de soleil, de la lumière naturelle et de l'air et de réduire l'humidité dans les habitations et les espaces urbains ; D'où les interventions hygiénistes qui se déroulent sur plusieurs décennies et même siècles vont des transformations urbaines. Assainir des surfaces insalubres (minéralisation du sol des voies et renouvellement du enduit des murs, comblement des fossés et canalisation des rivières, et drainage en sous-sol des eaux de surface) ainsi qu'une ventilation des vides urbains (aligner les rues, élargir et percer les nouvelles rues, normaliser le prospect des rues) (Colombert et al, 2012)

C'est souvent le terme « embellissements » qui est lancé par les historiens pour traduire les différents projets de transformation de la ville à cette époque. Le processus de transformations urbaines résultant de ces « embellissements » va inclure des interventions visant la régulation de l'atmosphère urbaine.

Selon Harouel 1993 (cité par Benzerzour 2004), on peut déterminer trois catégories d'objectifs qui ont progressivement généré ces embellissements :

- **Pratique** : pour garantir de meilleures conditions de circulation et une fluidité de l'air, les rues sont redressées, alignées puis élargies et de grands boulevards sont créés dans les tissus urbains existants. Pour faciliter l'évacuation des eaux pluviales et des eaux usées et isoler l'air des odeurs malsains des sols, on insiste sur le bon pavage des rues. Les fossés sont, au même titre, comblés et les cours d'eau canalisés, pour accélérer le mouvement des eaux et canaliser toutes les évacuations hors de la ville. (Benzerzour, 2004).

- **Esthétique** : la ligne droite devient un critère de beauté des rues. En plus de l'alignement des rues existantes sous les contraintes des tracés urbains, c'est dans les nouvelles extensions urbaines ou dans la reconstruction des villes comme Rennes que le tracé linéaire des rues trouve son expression la plus aboutie. C'est le plan en damier aux îlots presque carré ou encore le tracé en étoile avec ses places circulaires qui ont le plus de succès. La façade urbaine devient tout aussi importante que celle des édifices. Elle fera l'objet de prescriptions et de concours. La façade régulière viendra même être disposée à des édifices médiévaux comme à Nantes, Orléans ou Toulouse. Les jardins et promenades qui feront la beauté des villes comme Versailles et Paris sont les témoignages de la richesse esthétique et de l'expression manifeste du pouvoir monarchique. Projetés sur les anciens remparts, les promenades font partie des arguments esthétiques des plans d'embellissement. (Benzerzour, 2004).

- **Politique** : la principale production spatiale de l'urbanisme politique, réside dans les places royales présentes dans les villes françaises les plus importantes. La création des grandes voiries qui traversent les villes sous la forme de « grandes percées » sont à leur tour considérées comme le fruit d'une décision politique relevant du pouvoir central. (Benzerzour, 2004).

I-4-2- XIX ème Siècle :

À l'époque des révolutions industrielles, entre le milieu du XVIIIe siècle et la première moitié du XIXe siècle, différents pays ont connu une accélération brutale du processus d'urbanisation, à la fois condition et conséquence d'une économie capitaliste moderne. Au XIXe siècle, la ville a été bouleversée. Certains quartiers étaient alors le siège d'une pauvreté importante, de conditions d'habitat indignes et d'épidémies meurtrières (la surpopulation, l'absence d'installations sanitaires et la malnutrition ont ainsi été à l'origine de l'épidémie de tuberculose dans les villes en Europe). (Moatti, 2012)

Au début de la Révolution industrielle, les préoccupations hygiénistes se sont développées avec plus de vigueur en Angleterre. Les industriels étaient soucieux de la conception de cités ouvrières saines, où les conditions de largeur de rue et les hauteurs de bâtiments seraient très strictes. Des cités jardins construites, sont caractérisées par des hauteurs de maison faibles et des espaces verts intégrés. (Tiraoui, 2000).

-Vu que la fin du XIXe siècle, a été marquée par la découverte des microbes en 1865 et plusieurs expériences médicales montrent le pouvoir microbicide du rayonnement solaire direct qui permet ainsi d'éradiquer des colonies de bactéries en quelques heures. (Siret, 2013). La reconnaissance de cette capacité d'asepsie change la perspective des architectes, qui doivent désormais composer avec le mouvement du soleil et La sensation du bain lumineux fait alors place à une autre sensation, celle du « jet solaire » qui prend en compte la dynamique du rayonnement direct. Cette nouvelle Compréhension modifie en profondeur les modes de conception de l'espace. Elle nécessite de se poser des questions sur l'orientation des façades, sur les ombres portées par les bâtiments à différentes heures et différentes saisons, et sur la façon d'assurer les conditions d'insolation maximale dans les villes. (Siret, 2014).

I-4-3- XX ème Siècle :

La sensibilisation environnementale actuelle a eu lieu dans la continuité des préoccupations hygiénistes du XIXe siècle et du début du XXe siècle. Il est question de nouveaux défis liés aux préoccupations environnementales et microclimat urbain et l'émergence de nouvelles propositions d'interventions sur l'environnement urbain. (Colombert et al, 2012)

Gauzin-Müller, 2001(cité par Colombert et al, 2012) : recommande trois objectifs pour que la ville ait la possibilité de répondre au critère de qualité environnementale : une ville compacte (réduire l'étalement urbain), un habitat dense (économiser l'énergie) et un verdissement des vides urbains et des toitures (humidifie l'air, fixer la poussière, Abaisser les températures, stocker le carbone et libérer l'oxygène, augmenter l'inertie thermique). (Colombert et al, 2012)

Au début du XXe siècle, ces préoccupations ont incité certains architectes de proposer des théories pour rendre la ville et l'habitat plus « hygiéniques ». Il s'agissait en particulier de favoriser l'accès au soleil et la ventilation des espaces publics et des habitations. (Harzallah. et al, 2005).

C'est en raison de cette nouvelle évidence qu'apparaissent de nouvelles architectures véritablement héliotropes, comme les structures tournantes et les maisons, capables de suivre le soleil de façon à irradier les façades en permanence. Le premier projet connu de maison tournante (Maison tournesol du Dr Pellegrin et de l'architecte Petit 1904). « Elle est bâtie sur la plateforme tournante d'un moulin de manière à suivre le soleil au fil de la journée et à « assurer aux habitants le bénéfice d'une insolation continue » ». (Figure 1) (Siret, 2013)

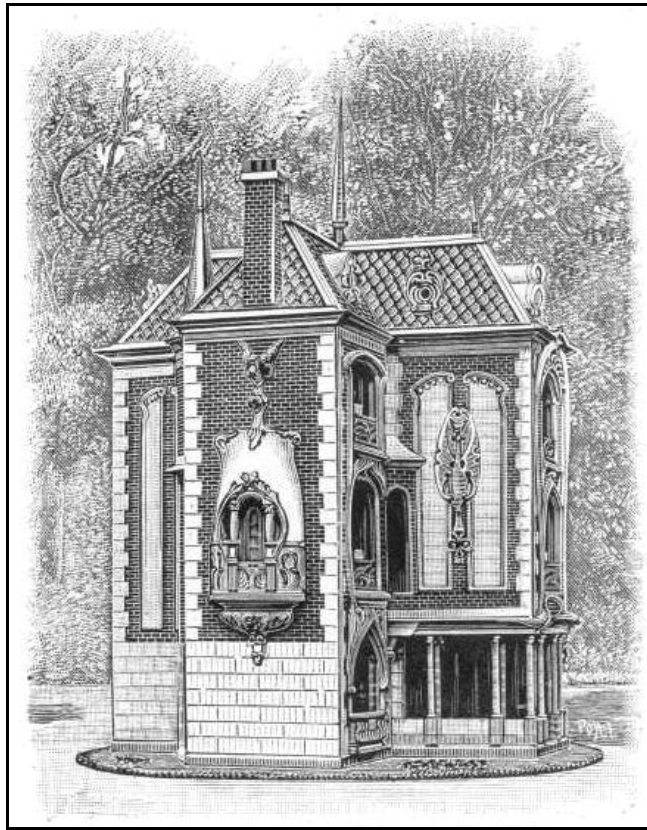


Figure I.1: La Maison tournesol, Pellegrin et Petit, 1904. (Source : Siret, 2013)

Au début des années 1900, l'orientation diagonale avait été défendue par l'architecte Américain William Atkinson, en calculant les durées d'ombrage accumulées aux sols produits par des volumes essentiels selon différentes orientations. **(Figure2)** (Siret, 2013)

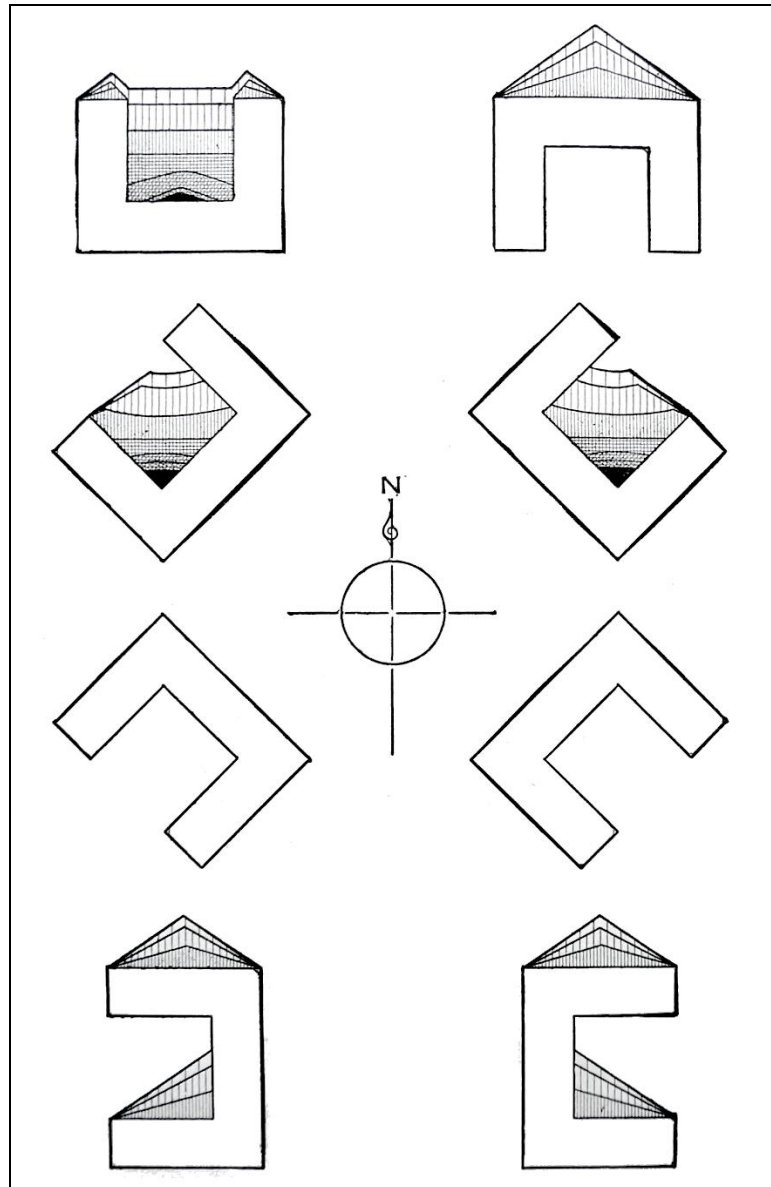


Figure I.2: Etude des ombres portées d'une forme en U selon différentes orientations (Atkinson, 1912) (Source : Siret, 2013)

Dans les années 1920, l'architecte Allemand Ludwig Hilberseimer fait avoir une réponse radicale au problème de l'orientation : il faut seulement d'orienter tous les bâtiments vers le Sud et de les organiser de façon à ce qu'ils ne s'ombrent plus. La distance est petite ou grande selon la latitude, et la forme de la ville. (Siret, 2013)

➤ **Terrasses, redents et créneaux :**

Parmi les nombreuses propositions formelles développées au début du XXe siècle pour résoudre ces problèmes d'insolation, on peut évoquer celle de Robert de Souza qui proposait d'associer une orientation des rues vers les points cardinaux à une orientation vers le sud des

façades principales des immeubles. Ainsi, l'édification d'un front bâti continu dans l'orientation est-ouest, ce qui permettait d'orienter les gabarits crénelés vers nord-sud.

Ces créneaux devaient être composés de " blocs de cinq à six étages séparés par des blocs d'un rez-de-chaussée et d'un étage permettant la continuité des boutiques.

- Même que Les projets d'immeubles à redents d'Eugène Hénard proposent d'élargir les rues Permettant l'accès solaire et ventilation des habitations. (Siret et al, 2006)

Dans la même perspective, les immeubles à gradins d'Henri Sauvage. Il s'inspire des sanatoriums Allemands où chaque appartement devait s'ouvrir sur de grandes terrasses baignées par les rayons du soleil et favorisées le renouvellement d'air. (Figure3) (Siret et al, 2006)

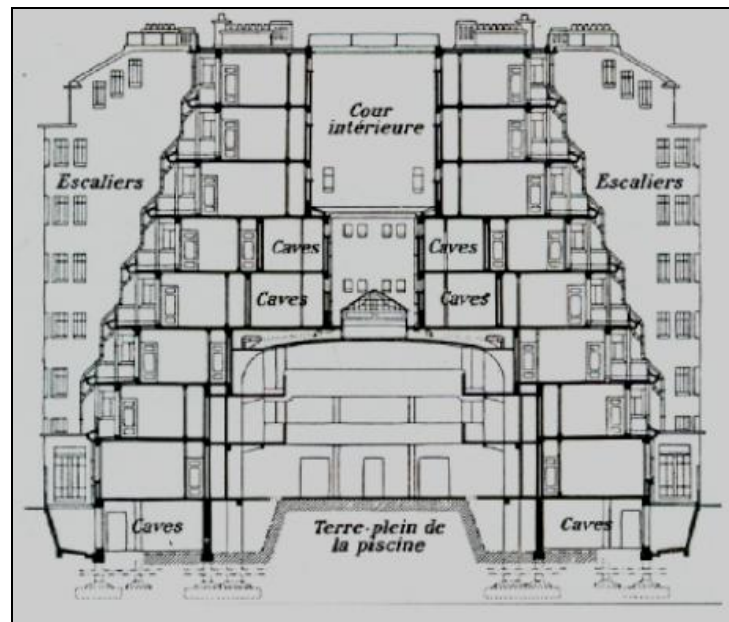


Figure I.3: Coupe de l'immeuble du 13, rue des Amiraux ; réalisé entre 1922 et 1928 par H. Sauvage
(Source : Siret et al ,2006)

En 1928, A. Rey, J. Pidoux et C. Barde publièrent un ouvrage intitulé « *La Science des plans de villes* », traité d'architecture et d'urbanisme hygiéniste. Ils proposèrent la théorie héliothermique, supposée conduire à une optimisation solaire des tracés urbains.

Elle est appuyée sur le constat que la température maximale de l'air « *la vague thermique* » n'est pas superposée au maximum des radiations solaires. Ce décalage entre insolation maximale et température maximale selon les auteurs justifie, le besoin de définir une nouvelle unité de mesure, la « valeur héliothermique », qui se traduit par la durée d'ensoleillement produite en un point par la température moyenne de l'air pendant cette durée. (Siret, 2015)

« De manière catégorique, Rey, Pidoux et Barde établissent qu'au nom de l'égalité héliothermique des façades, l'orientation optimale des bâtiments se situerait autour de 20° par rapport à l'axe nord-sud (19° à Paris), la façade est étant décalée vers le sud et la façade ouest vers le nord. ». (Siret et Harzallah, 2006)

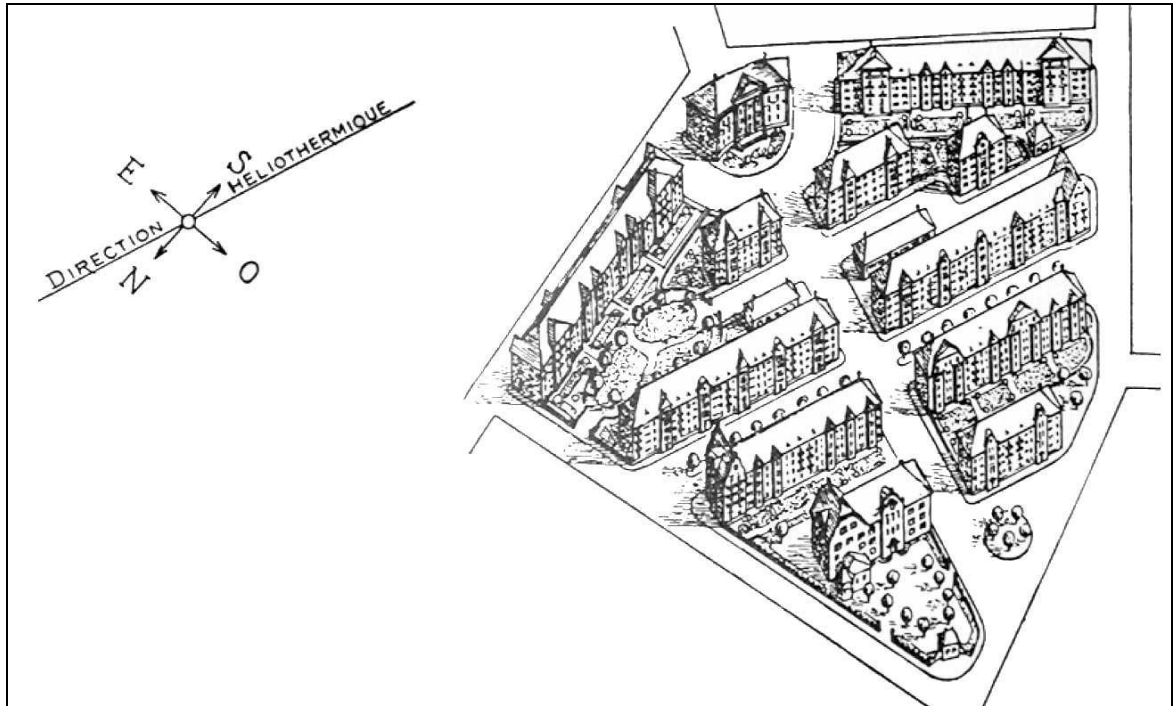


Figure I.4: A. Augustin-Rey (1928) « réorganisation scientifique selon l'axe héliothermique ». (Source : Siret et Harzallah, 2006)

L'orientation définie selon ces auteurs permettait d'éviter le surchauffement l'été et le refroidissement l'hiver de l'habitation. Les auteurs donnent des modèles d'application de réaménagement des villes, notamment Paris, en fonction de l'axe héliothermique. Ils proposent de préserver les voies principales, les places, les parcs et les édifices publics, ensuite de diviser les terrains en lot suivant des barres parallèles orientées en direction de l'axe héliothermique, en supprimant les cours fermées et en élargissant les surfaces de jardin. (Siret et Harzallah, 2006)

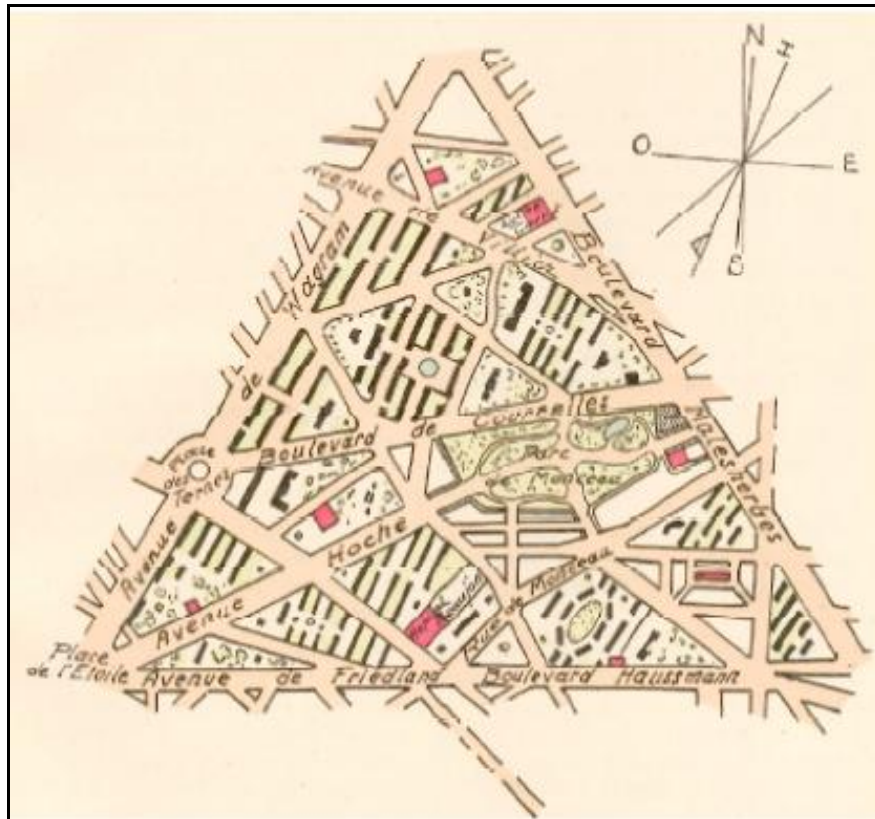


Figure I.5:Réaménagement héliothermique d'un quartier de Paris (Rey et al, 1928)

(Source : Harzallah et al, 2005)

En France et plus largement en Europe, un vaste débat va alors naître sur ce que signifie le maximum d'ensoleillement comme l'architecte Le Corbusier qui a contribué le plus à faire connaître la théorie de Rey en définissant l'axe héliothermique comme « *l'armature du tracé urbain* », et met en œuvre l'axe héliothermique comme principe fondamental pour l'orientation de la Ville radieuse dès 1930. Ce principe continue implicitement dans son œuvre jusqu'au début des années 1940. (Harzallah et al, 2005)

- Après la découverte de la pénicilline et son utilisation à grande échelle dans les années 1940, l'architecture d'héliotropisme perd son alibi hygiéniste, en l'affectant à de nouvelles formes de jouissance du soleil. Apparition de l'hédonisme solaire à travers le développement des grandes infrastructures de vacances. (Siret, 2013)

En même temps qu'améliorent les éventualités sur l'orientation solaire idéale des bâtiments et des villes, les nouvelles techniques de construction en béton, acier et verre donnent la possibilité de matérialiser les règles esthétiques de l'architecture moderne. Généralisant les baies vitrées des halles et des passages du siècle précédent, de larges façades légères vitrées vont apparaître dans les projets de (Siret, 2015)

I-4-3-1- Architecture solaire et bioclimatique :

Au milieu du XXe siècle après la seconde guerre mondiale (1944 – 1948) rupture totale de l'architecture avec le passé et oublie ainsi volontairement certaines pratiques architecturales qui pouvaient être bénéfiques. Les épidémies urbaines ont été enrayerées grâce aux progrès de la médecine et à la transformation des villes au siècle précédent. L'attention alors portée aux qualités sanitaires des bâtiments retombe donc .De plus, l'après-guerre est la grande période de reconstruction qui s'accompagne du baby-boom et de grandes vagues d'immigration. Il faut construire beaucoup de logements, très vite et à des prix modérés. La qualité des constructions n'est alors pas une priorité L'Homme veut s'affranchir des contraintes naturelles grâce aux progrès techniques et non être contraint par les éléments de son environnement. (Thibault et al, 2010)

I-4-3-1-1- L'émergence :

Dans les années soixante, la remise en cause de la société de consommation favorise l'émergence des problématiques écologiques et, notamment aux États-Unis, celle des auto-constructeurs qui, en construisant des logements du typiques, cherchent un mode de vie autonome et plus proche de nature. Parallèlement, se manifestent les premières études sur la relation entre l'architecture et le climat.

En 1963, pour la première fois, V. Olgyay dans son ouvrage "*Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*", essayait de remettre le lien important existant entre milieu bâti et l'environnement naturel. Il a défini ainsi l'approche bioclimatique comme étant l'interaction entre quatre disciplines : la climatologie, la biologie, la technologie et l'architecture. La climatologie à l'exploitation de l'énergie solaire et vent, la biologie s'en remettre à la satisfaction des nécessités physiologiques des êtres humains, la technologie par le contrôle de l'environnement à l'aide des solutions comprenant des méthodes de calcul justes. Et enfin, l'architecture qui est la représentation concrète de ces disciplines issue de l'art de bâtir et développée par une longue adaptation empirique aux contraintes environnementales, sociales et économiques locales. En ce sens, l'architecture **bioclimatique** est devenue un indice qui indique le régionalisme architectural. (Haj Hussein, 2012)

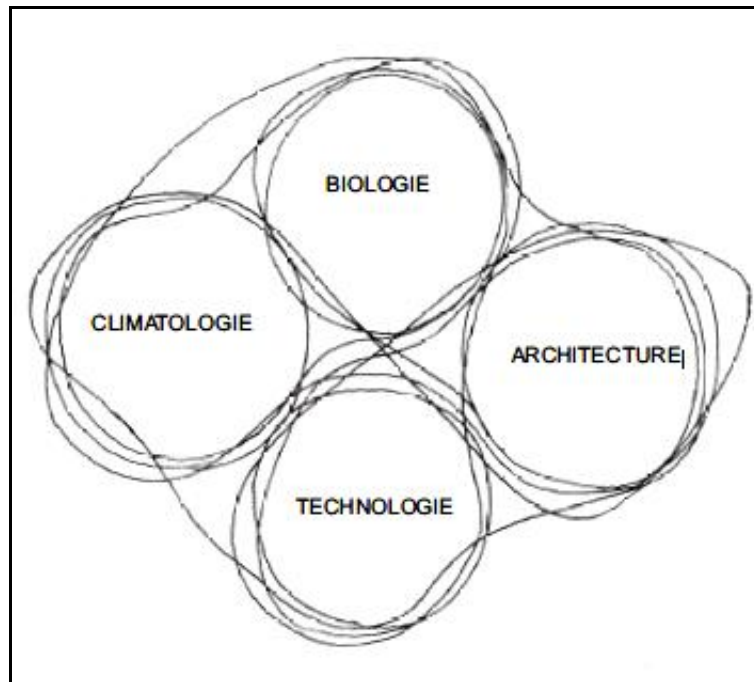


Figure I.6: Interdisciplinarité de l'approche bioclimatique selon Olgyay 1963. (Source : Boivin, 2007)

V.Olgyay et à sa suite B.Givoni proposent l'utilisation du diagramme bioclimatique pour marquer les conditions de confort dans un contexte donné. (Chalet, 1998)

Les reconstructions de l'après-guerre pays et l'avènement de la société de consommation dans l'ensemble du monde occidental ont multiplié les constructions de logements urbains uniformes .ces dernières sont apparus gourmands en énergies qu'on n'inquiétait alors pas d'économiser. (Gueliane, 2013)

Le choc pétrolier de 1973-74 fait sortir ces premières approches de la marginalité et donne naissance à l'architecture solaire passive, solaire active, bioclimatique selon le cas, et à un foisonnement d'essais et de réalisations. L'objectif fondamental est de réduire, sinon supprimer, la dépendance aux formes d'énergie non renouvelables représentées par les combustibles fossiles et l'énergie nucléaire. Les matériaux sont alors employés essentiellement en fonction de leurs caractéristiques thermiques.

I-4-3-1-2- Les stratégies d'architecture bioclimatique :

Trois stratégies résument l'approche bioclimatique

- **La stratégie du chaud :**

- Capturer les apports solaires gratuits,
Stocker dans les masses internes,
- Distribuer vers les pièces,
- Eviter les déperditions thermiques par une forte isolation et le coefficient de forme. (Arnault et Génie, 2005).

EN HIVER

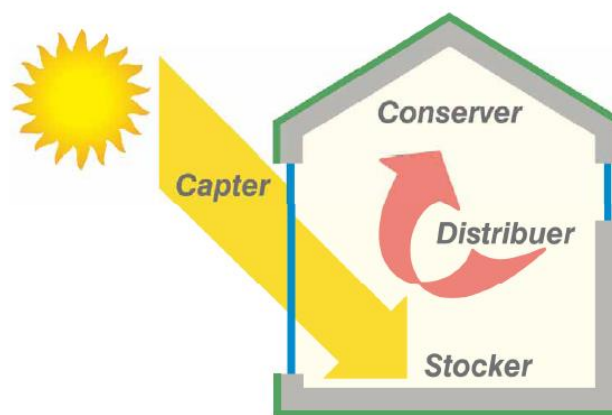


Figure I.7: Stratégie du chaud (source : Leroy, 2005)

- **La stratégie du froid :**

- minimiser les besoins de rafraîchissement en proposant des protections solaires adaptées aux différentes orientations,
- éviter les risques de surchauffe par une isolation appropriée ou par l'inertie du bâtiment,
- dissiper l'air chaud en le rafraîchissant. (Arnault et Génie, 2005).

EN ÉTÉ

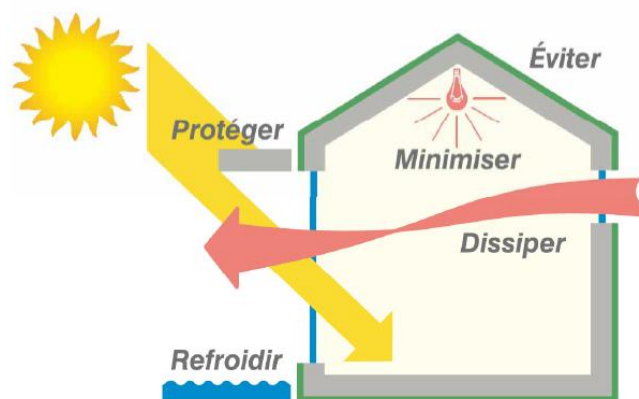


Figure I.8: Stratégie du froid (source : (Leroy, 2005)

- **La stratégie de l'éclairage naturel :**

- Capturer au maximum l'éclairage naturel,
 - Répartir dans les pièces tout en se protégeant et en contrôlant les sources d'inconfort visuel.
- (Arnault et Génie, 2005).



Figure I.9: Stratégie de l'éclairage naturel (Source : Boussoulim ,2009)

I-4-3-1-3- Les étapes de la démarche de conception climatique :

➤ **L'implantation et l'orientation :**

La maison sera orientée au Sud permet un meilleur contrôle d'ensoleillement. Les surfaces vitrées peuvent constituer une déperdition de chaleur importante.

Pour diminuer les effets du vent, il est mieux de construire plutôt derrière un talus ou un écran végétal De même, le regroupement au nord du cellier, du garage, l'atelier..... Ces pièces peuvent jouer le rôle de zones tampons isolantes. Pour les espaces de vie, Situées au sud pour bénéficier d'un bon ensoleillement. (Beguin .D et al, 2006)

➤ **Une forme compacte :**

Le bâtiment doit être compact le plus possible. En effet, pour réduire les déperditions et diminuer les besoins énergétiques, il nécessite de minimiser les surfaces en contact avec l'extérieur. (www.ecoconso.be, 2016)

➤ **Des parois performantes :**

Permettant des gains en chaleur passive et en lumière naturelle. A retenir :

- **L'inertie thermique :**

Utilisation de matériaux lourds à l'intérieur ayant la capacité de capter et emmagasiner la chaleur, et de la restituer progressivement durant la nuit (déphasage jour/nuit). (Beguin .D et al, 2006)

- **Des matériaux adéquats :**

L'utilisation de matériaux naturels (bois, pierre, terre, chaux, etc...) et respirants permet l'autorégulation de l'hygrométrie ambiante. Ils assurent la régulation de l'humidité, contribuent au confort en empêchant les problèmes liés à celle-ci (condensation, moisissure, concentration de polluants qui peuvent occasionner rhumes à répétition, asthme, allergies et de rhumatismes chroniques...). ([Www.Tourneuseul.com](http://www.Tourneuseul.com), 2016)

- **L'isolation :**

L'isolation thermique est un complément primordial au bon fonctionnement de la maison bioclimatique. Elle va permettre de limiter les déperditions thermiques des parois. ([De Meester et al, 2009](#))

- **Les ouvertures en façades :**

En exposant et ouvrant au maximum la maison au sud, on profitera des apports caloriques du soleil et de la lumière. La façade sud peut bénéficier des apports solaires gratuits par la mise en place de grandes fenêtres ou d'une serre. (www.hespul.org, 2016)

- **Les murs :**

Les murs lourds exposés au soleil de couleur sombre en béton, en pierre ou en terre. Le principe est d'absorber la chaleur du soleil par l'intermédiaire d'un mur capteur (mur "trombe"), et de la restituer. (www.ecoconso.be, 2016)

I-3-4-2- Du développement durable à la construction environnementale :

Après la période de forte croissance qui a suivi la deuxième guerre mondiale, la fin du XXe siècle fut marquée par des catastrophes environnementales au niveau de la planète (de production massive, de l'explosion démographique, de surexploitation des ressources énergétiques, de changement climatique etc.), qui avertirent l'opinion publique sur les nouveaux risques planétaires, et contribuèrent à la naissance d'une conscience humaniste et écologique.

Cette réflexion a donné lieu à la publication du rapport du Club de Rome en 1972, qui tire le premier signal d'alarme : les ressources énergétiques telles que le pétrole et le gaz ne seraient pas suffisantes pour assurer la continuité du développement. Ce rapport coïncidera avec la conférence de Stockholm en 1972, qui place pour la première fois les questions écologiques au rang des préoccupations internationales. ([Moreno Sierra, 2012](#))

Suite à cette prise de conscience mondiale apparaît le terme de développement durable ou soutenable .c'est en 1987, à partir de la publication du rapport Brundtland rédigé par « *la commission mondiale sur l'environnement et le développement* » de l'ONU qu'on en donne une première définition du développement durable : « *Le développement durable est un développement qui tient compte des besoins actuels sans compromettre les besoin des générations futures* ». (Perez et Trauchessec, 2014).

Ce rapport servira de base pour le sommet de la terre à Rio de Janeiro en 1992. La convention de Rio sera la première à mettre en place des actions importantes comme le *l'Agenda 21*. (Moreno Sierra, 2012)

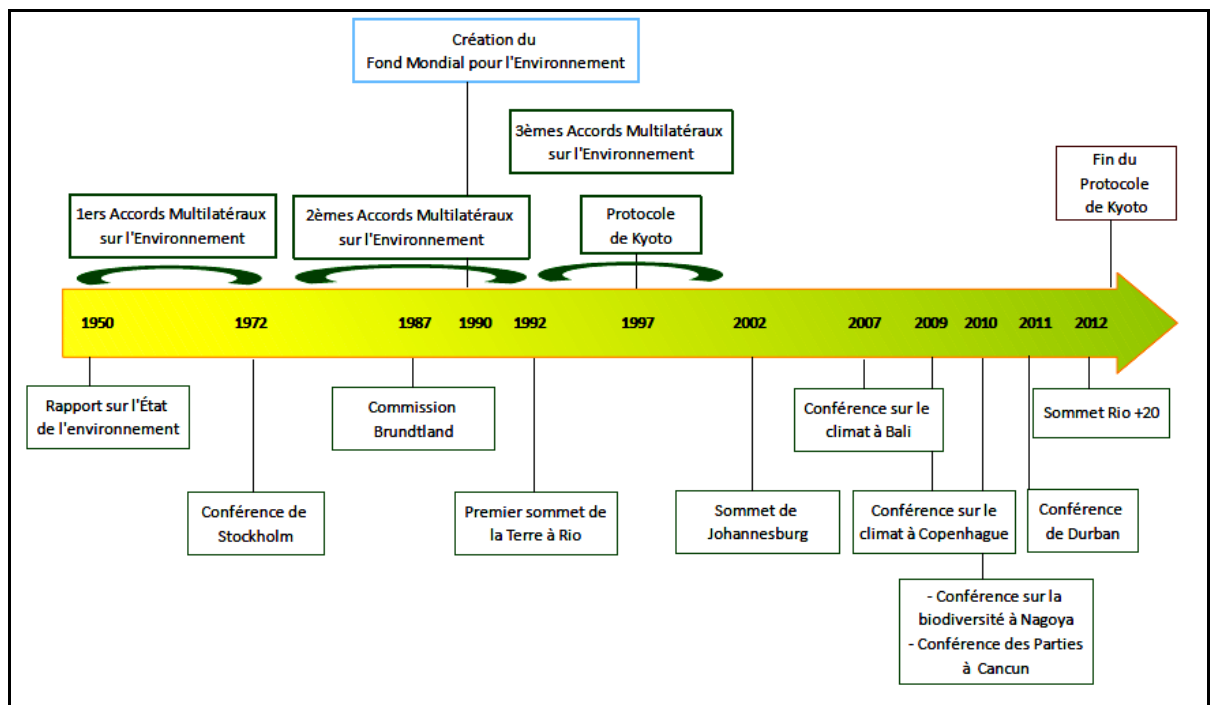


Figure I.10: Le développement durable au niveau international. (Source : <http://www.seine-et-marne.gouv.fr>,2016)

Depuis les années 1990, l'architecture se trouve au cœur des enjeux sur la durabilité, qui reposent sur trois piliers : **environnemental, social et économique**, dont l'assemblage de créer des conditions de vie durables. Les préoccupations architecturales vont se tourner vers la relation avec l'environnement, la consommation et la production d'énergie des bâtiments. (Perez et Trauchessec, 2014)

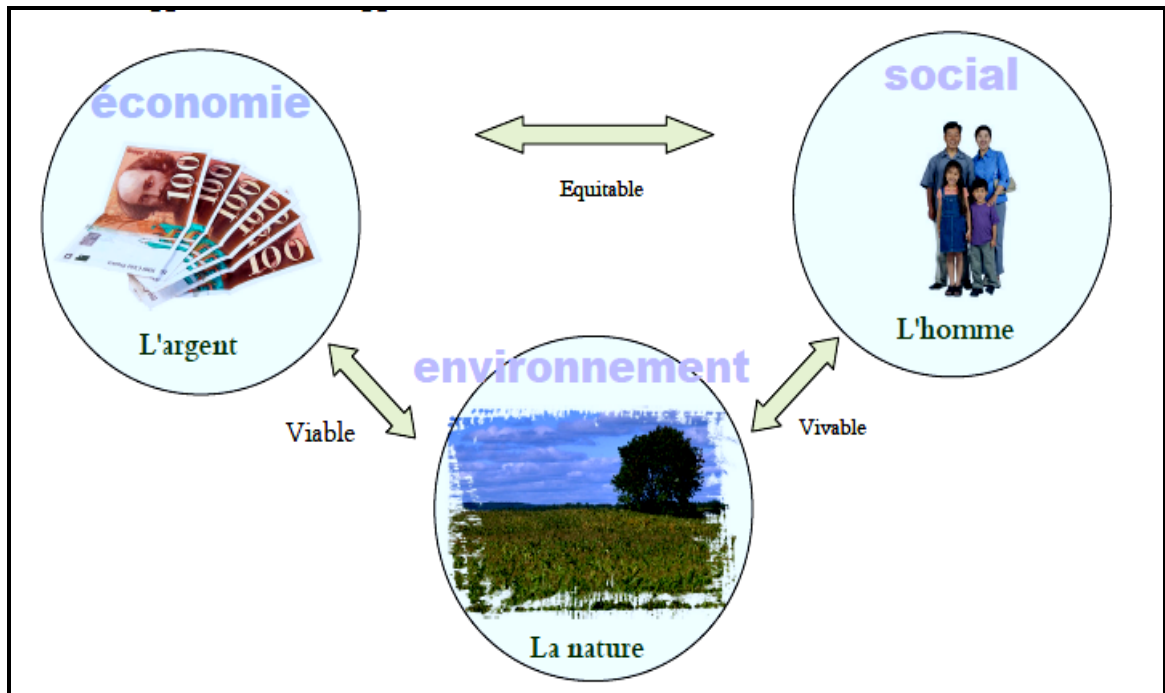


Figure I.11: Les trois piliers du Développement Durable. (Source : <http://www.toutallantvert.com>, 2016)

Elles tracent le cadre de production et d'évaluation de bâtiments respectueux de l'environnement et concernent l'économie d'énergie, la préservation des ressources naturelles, la mise en œuvre de matériaux sains selon des procédés environnementaux, la qualité de l'eau, de l'air, de la lumière, etc. Elles s'appellent BREAMM en Grande-Bretagne, Minergie en Suisse, PassivHaus en Allemagne et Autriche, Casa Clima en Italie, Leed aux Etats-Unis, Green Leaf au Canada, ou Haute Qualité Environnementale en France. (Madec et al, 2002)

I-3-4-2-1- En France La démarche HQE :

La Haute qualité environnementale est une démarche de management de projet lors d'une construction ou une réhabilitation des bâtiments. Elle vise à maîtriser les impacts environnementaux des bâtiments, tout en assurant à l'intérieur du bâtiment des conditions de confort et de santé des occupants. Cette démarche induit une prise en compte de l'environnement à toutes les étapes de l'élaboration et de la vie des bâtiments : programmation, conception, construction,, démolition. (Dias, 2009)

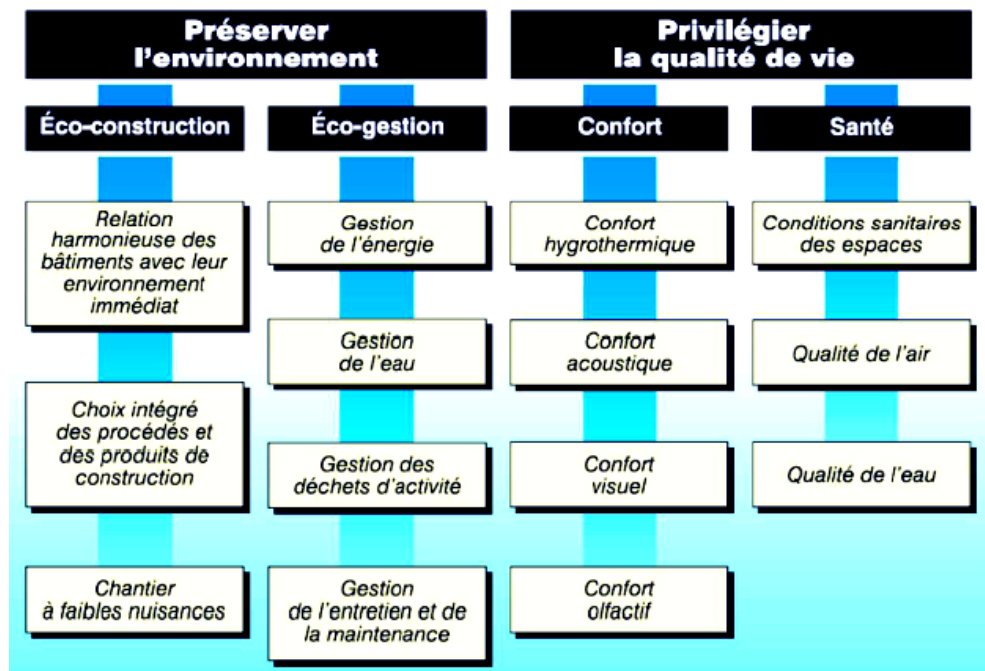


Figure I.12:14 cibles de la démarche HQE. (Source : Arnault et Génie, 2005)

- **Les cibles de la HQE et l'application de la démarche :**

La qualité environnementale d'un bâtiment se décompose en 14 exigences particulières (cibles), et organisées en deux domaines : maîtriser les impacts sur l'environnement extérieur et créer un environnement intérieur satisfaisant. (Laurent, 2006)

I-3-4-2-2- La démarche BREEAM (GB) :

BREEAM Green leaf, (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) développé depuis 1990, dont l'objectif principal est d'évaluer la qualité environnementale d'un immeuble durant toutes les phases du cycle de vie. C'est la méthode la plus répandue au niveau international. (Liébard et De Herde, 2005).

L'évaluation est fondée sur des cotations attribuées selon un ensemble de critères de performance. Les neuf critères principaux sont : La gestion, santé et confort, énergie, transport, consommation d'eau, matériaux, utilisation du sol, écologie du site et pollution. (Dias, 2009).

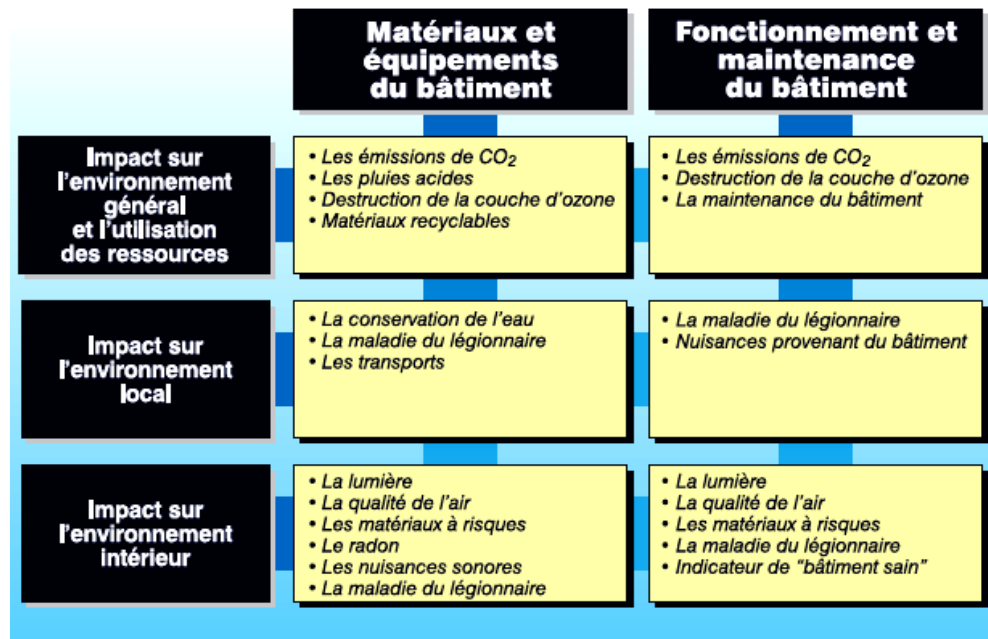


Figure I.13: Les critères d'évaluation de la méthode BREEAM (Source : Liebard et De herde, 2005).

I-3-4-2-3- La démarche PASSIVHAUS (Allemagne) :

Le standard PASSIVHAUS a été créé par Dr. Wolfgang Feist vers la fin des années quatre-vingt à l'institut « Wohnen und Umwelt » de Darmstadt (Allemagne). (Krummenache, 2005)

En vue de réduire la consommation d'énergies des bâtiments d'habitation tout en assurant l'apport en énergie solaire passive, en renforçant l'isolation des immeubles, la récupération de chaleur, l'utilisation des énergies renouvelables. La valeur cible, pour l'eau chaude sanitaire, l'électricité et le chauffage doit être inférieure à 50 kWh/m²/an. (Dias, 2009)

Les exigences de la certification PASSIV HAUS :

- La consommation énergétique pour le chauffage inférieure à 15 kWh/m²/an.
- Les besoins annuels en énergie primaire (le chauffage, la ventilation, l'électricité, l'éclairage et la production d'eau) sont inférieurs ou égaux à 120 kWh/m²/an.
- L'étanchéité de l'enveloppe du bâtiment inférieure à 0,6 vol/h (n50). (Krummenache, 2005)

I-3-4-2-4- Le PHPP, maisons passives (Belgique) :

Cette traduction littérale du Passive House Planning Package fait référence au concept de la maison passive (une maison avec tout le confort moderne n'a pas besoin de plus de 15 kWh/m²/an de chauffage). Il s'agit d'un logiciel, outil d'accompagnement à la conception passive pour les architectes. (Dias, 2009)

I-3-4-2-5- Le label MINERGIE (Suisse) :

Exploité depuis 1996 par l’association AMI sous procuration de l’Agence Fédérale du Bâtiment, participe à diffuser et transmettre les connaissances aux maîtres de l’ouvrage et aux planificateurs. Le label Minergie vise à réduire la consommation énergétique autour de cinq préférences.

- Exigences de base requises pour l’enveloppe du bâtiment.
- Valeurs limites pour l’indice de dépense d’énergie thermique.
- Renouvellement d’air mécanique.
- Exigence sur l’éclairage et la production de froid ou de chaleur.
- Surcoût d’investissement limité à 10% maximum.

Le standard MINERGIE-ECO complète l’approche avec des cibles complémentaires : matériaux, gestion de l’eau, énergies, coût de construction etc. (Dias, 2009)



Figure I.14: Les critères environnementaux du Standard MINERGIE-ECO (Source : Dias, 2010)

I-3-4-2-6- Le label LEED (USA) :

Le label LEED (Leadership in Energy and Environmental Design Green Building Rating System) créé aux Etats Unies en 1998 par un groupe d'entreprises réunies au sein d'US Green Building Council (USGBC), qui propose une certification environnementale des bâtiments d'habitation et du secteur tertiaire. Les bâtiments sont notés selon quatre niveaux de performance : Certifié:40+ / Argent: 50+ / Or: 60+ / Platine: 80+ (max. 110 points).

(Morillon, 2005)

Les critères d'évaluation incluent : aménagement durable des sites de construction, efficacité dans la gestion de l'eau, énergie et rejets atmosphériques, matériaux et ressources, qualité environnementale de l'environnement intérieur, innovation dans la conception du design des bâtiments. (Moreno Sierra, 2012

I- Conclusion :

Depuis l'Antiquité, les relations entre l'environnement bâti et le climat ont été préoccupé par les hommes de science, que ce puisse être tout d'abord dans la prise en compte des éléments climatiques d'un lieu pour l'implantation des villes et la conception architecturale ou, plus tard, dans l'influence du milieu urbain sur son environnement,

L'évolution des idées sur le climat est très liée à l'évolution des moyens techniques de construction, mais aussi et surtout aux préoccupations sociales, économiques et politiques de chaque époque qui sous-tendent en continu l'intérêt ou non des questions climatiques.

De plus, le comportement de climat compliqué a conduit de nombreux architectes modernes à ignorer les paramètres climatiques dans la conception architecturale et urbaine au bénéfice de progrès techniques plus adaptables mais peu écologiques (chauffage, éclairage artificiel, climatisation, ...), générant des problèmes globaux pour notre planète (pollution,...) et des problèmes locaux pour le bien-être et la santé des habitants. Ces espaces contemporains ne sont pas adaptés aux cycles naturels engendrent des problèmes importants à l'échelle de microclimat urbain.

CHAPITRE II :

Climat et microclimat urbain

II-Introduction :

L'homme est le constructeur et l'utilisateur de son environnement. Son savoir-faire technique est tributaire de trois milieux interactifs: l'humain, le naturel et le matériel.

La ville se développe au sein d'un environnement naturel dont elle réagit de façon permanente. Le climat représente partie de cet environnement

La recherche du bien-être dans toutes conditions climatiques pour l'homme continue d'être une constante dans les constructions humaines. A cet effet, une bonne connaissance des phénomènes climatologiques, leurs variations ainsi que leur exploitation d'une manière judicieuse, pourrait être d'un grand apport.

Les villes d'aujourd'hui sont largement concernées par les changements climatiques : l'énergie utilisée est la source principale des émissions de gaz à effet de serre anthropiques, qui sont l'origine du réchauffement climatique global ; cette évolution globale est accentuée, au niveau local, par la formation d'îlots de chaleur urbains influencés par la morphologie et la croissance des villes.

II-1-Le climat :

II-1-1- Définition :

Le terme **climat** vient du mot grec klima, qui signifie « inclinaison ». Cette inclinaison est celle de la terre par rapport au soleil, qui fait des rayons solaires tombent sur la terre avec une certaine obliquité, elle varie avec les saisons et latitude. (Günter , 2011)

Le climat d'une région donnée est déterminé par des régimes de variations de plusieurs éléments et par leurs combinaisons. Les principaux éléments climatiques sont : le rayonnement solaire, le rayonnement de grande longueur d'onde du ciel, la température d'air, l'humidité, pression atmosphérique, le vent et les précipitations ». (Givoni, 1978)

II-2- Les facteurs du climat :

Plusieurs facteurs influent le climat que soit au niveau de la planète qu'au niveau d'une localité.

Les facteurs qui influent le climat à l'échelle planétaire sont désignés facteurs cosmiques et les facteurs qui influent le climat à l'échelle local sont appelés les facteurs géographiques.

II-2-1- Les facteurs cosmiques : sont les mouvements de la terre, l'inclinaison de l'axe des pôles. (<http://www.mongosukulu.co>,2015)

II-2-2- Les facteurs géographiques : sont les reliefs, les reliefs, les volcans la végétation, etc. ([http:// la.climatologie.free.fr](http://la.climatologie.free.fr))

II-3- Les échelles spatiales et temporelles du climat :

La hiérarchisation des phénomènes atmosphériques permet l'étude climatique suivant un système d'échelles imbriquées, présenté ici en quatre grands niveaux.

II-3-1- L'échelle zonal :

L'échelle globale ou échelle « macro » (>1000ou 2000 km) : est représenté par les caractéristiques climatiques principales d'un pays ou d'une surface de grande étendue.

Les caractéristiques astronomiques de la Terre entraînent les principales variations climatiques, selon latitudes, la saison et des pondérations liées à la répartition des océans et des continents. (Vinnet, 2000)

II-3-2- L'échelle régionale : ou échelle « méso, synoptique » (100 à 1000km).

La proximité d'une zone océanique, la présence de reliefs et l'emplacement de la région par rapport aux déplacements d'air affectent le climat à ce niveau. (Vinnet, 2000)

II-3-3-L'échelle locale topoclimat : (1000m à100km).

Il est sensiblement dépendant des particularités de la topographie, c'est l'échelle des modifications du régime général des vents, des brises thermiques, des dorsales pluviométriques et effets thermiques diurnes. (Vinnet, 2000)

II-3-4-L'échelle microclimatique :

Elle s'applique à des sites peu étendus (quelques milliers de mètres carrés en moyenne, parfois beaucoup moins), situés sous la couche de surface de l'atmosphère, là où l'écoulement turbulent de l'air exerce un rôle prépondérant. Les caractéristiques spécifiques de l'environnement à cette échelle (bâtiments, couvert végétal et obstacles) modifient les caractéristiques de l'écoulement aérien, de l'ensoleillement, de la température et de l'humidité. (Bouyer, 2009)

Echelle	Caractères dimensionnels			Facteurs affectant le climat
	Horizontal (km)	Vertical (Km)	Temporel	
Global	2000	3 à 10	1 à 6 mois	Latitude Altitude Relation à la mer
Régional	500 à 1000	1 à 10	1 à 6 mois	Latitude /altitude Situation continentale Relation aux autres eaux Reliefs Relations aux régimes de vent majeurs
Local	1 à 10	0,01 à 0,1	1 à 24 H	Altitude relative Relation aux eaux Végétation Développement / densité / trafic
Microclimat	0,1	0,01	24 H	Topographie Conditions des sols Type de végétation Formes de construction Type des eaux

Tableau II.1: Les échelles spatiales et temporelles du climat. (Source : Boussoulim, 2008)

II-4- Classification des climats mondiaux :

Il existe plusieurs méthodes pour classifier les climats.

La classification climatique de Wladimir Peter Köppen, établie en 1900, modifiée en 1918 et 1936, est l'une des plus fréquemment utilisée.

La classification de Köppen prend en compte les moyennes annuelles et mensuelles de températures et de précipitations, ainsi que les variations saisonnières des précipitations.

Köppen a réussi à trouver **5 grands** types de climat (climat tropical, climat sec, climat tempéré chaud, climat tempéré froid et climat froid), et à déterminer les sous-climats.

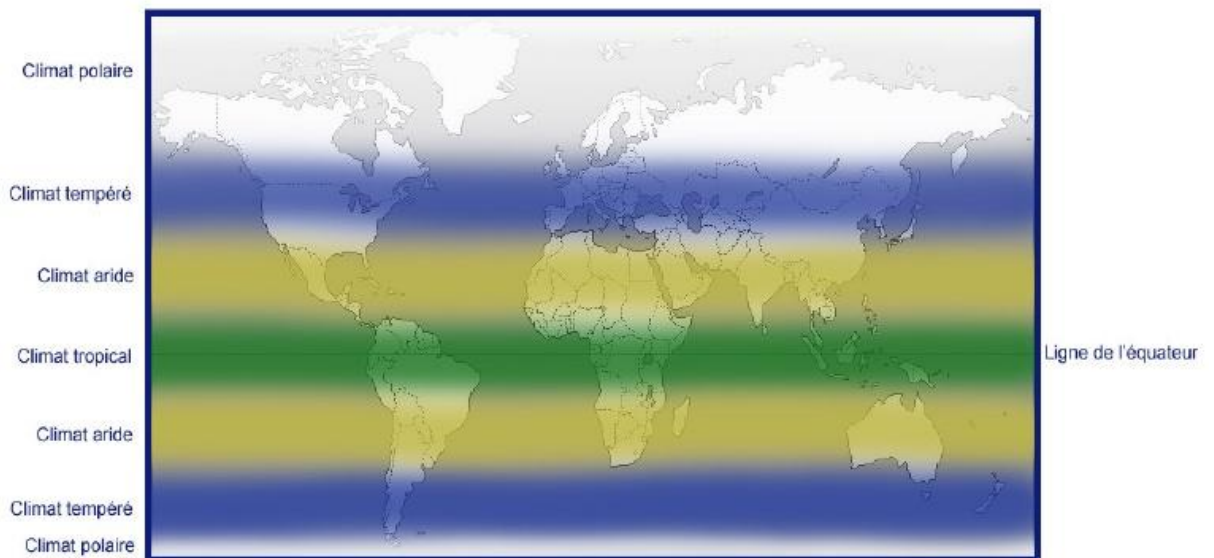


Figure II.15: Les principaux climats mondiaux. (Source: <http://www.jeangabrielchelala.com>, 2015)

II-4-1- Les climats tropicaux : Ces climats se retrouvent entre les latitudes 15°N et 15°S. Ils sont caractérisés par une faible fluctuation saisonnière. Où il en existe 2 saisons, la saison sèche et la saison humide. La température de l'air varie le plus souvent entre 27 et 32 °C le jour et entre 21 et 27 °C la nuit. L'humidité relative tourne autour de 75 % toute l'année. Le rayonnement solaire est important, le vent est faible et les précipitations sont importantes dépassent les 150 millimètres par an. (Liébard, et De Herde, 2005).

II-4-2- Les climats secs : correspondent aux zones géographiques des steppes ou aux régions désertiques, ils se rencontrent entre les latitudes 15° N et 30° S.

Ils sont caractérisés par une saison très chaude et une saison moins chaude. Pendant la saison très chaude, la température de l'air varie entre 43 et 49 °C le jour et entre 24 et 30 °C la nuit. Par ailleurs, la saison moins chaude, varie entre 27 et 32 °C le jour et entre 10 et 18 °C la nuit. Le différentiel de température entre le jour et la nuit est important; les radiations solaires sont

intense et l'humidité relative est faible (10 à 55 %); les vents sont généralement chauds et faibles précipitations (50 à 155 mm/an). (Liébard, et De Herde, 2005).

INDICE D'ARIDITÉ SELON KÖPPEN :

Il est donc possible d'établir un rapport pour déterminer s'il s'agit d'un climat non-aride, semi-aride ou aride.

	Non aride	Semi-aride	Aride
Pluies en toutes saisons	$P > 2 (T + 7)$	$P < 2 (T + 7)$ $P > (T + 7)$	$P < (T + 7)$
Pluies d'été	$P > 2 (T + 14)$	$P < 2 (T + 14)$ $P > (T + 14)$	$P < (T + 14)$
Pluies d'hiver	$P > 2 T$	$P < 2 T$ $P > T$	$P < T$

Tableau II.2:Tableau de calculs. (Source: Encyclopédie Universalis © Universalis France S. A.)

P : les précipitations moyennes annuelles en centimètres.

T : les températures moyennes annuelles en degrés Celsius.

II-4-3- Les climats tempérés :

Le climat tempéré est localisé dans l'hémisphère Nord et Sud, entre les parallèles 30° et 50° de latitude, il est caractérisé par deux saisons, la saison froide (hiver) et la saison chaude (été).

II-4-3-1- Le climat tempéré chaud : est principalement caractérisé par le fait que c'est un climat à hiver doux. La température moyenne du mois le plus froid est souvent inférieure à 18°C et supérieure à -3°C. Les régions soumises à ces climats connaissent une courte période de neige pendant l'hiver. (<http://www.mongosukulu.com>,2015)

II-4-3-2-Le climat tempéré froid : Les températures moyennes du mois le plus froid sont inférieures à -3°C et celles du mois le plus chaud sont supérieures à 10°C. Les précipitations annuelles ne sont généralement pas très abondantes. (<http://www.mongosukulu.com>, 2015)

II-4-4-Les climats froids : correspondent aux zones géographiques dont l'altitude est élevée ainsi qu'aux zones de toundra et au climat polaire. (<http://www.mongosukulu.com>, 2015)

Ce climat connaît un été très bref et humide et un hiver long, très froid, sec ou enneigé. Les températures varient en moyenne entre -33°C en janvier et 8°C en juillet. Quant aux précipitations, elles varient en moyenne entre 700 et 1700 millimètres par an. (Liébard et De Herde, 2005).

II-5- Les éléments du climat:

Le climat se définit comme l'ensemble des conditions météorologiques (température, vent, précipitation) caractérisant l'état moyen de l'atmosphère à un point de la Terre. (<http://www.meteo45.com>, 2015)

* L'atmosphère :

L'atmosphère est une couche gazeuse qui enveloppe notre planète, son rôle est de filtrer les rayons solaires. Elle est composée à 78,09% d'azote, 20,95% d'oxygène, 0,93% d'argon et d'une variété de gaz en traces. (<http://bictel.ulg.ac.be/>.2015)

Cette dernière contient plusieurs couches :

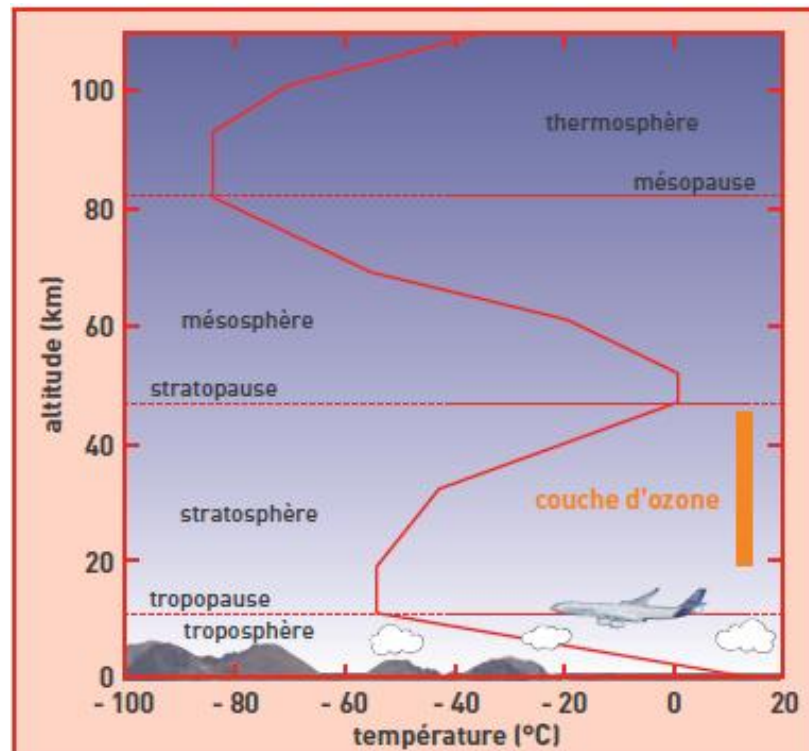


Figure II.16: Les différentes couches de l'atmosphère terrestre (source : www.cea.fr, 2015)

*1 - L'exosphère :

Est la dernière couche d'atmosphère terrestre. De 350-800 km à 50000 km), Les principaux constituants sont l'hydrogène et l'hélium. La haute atmosphère est également le siège de phénomènes d'ionisation liés aux interactions entre le champ magnétique terrestre et le flux solaire. (<http://bictel.ulg.ac.be/>,2015)

***2 - La thermosphère et l'ionosphère :**

Dans la thermosphère (de 80 km à 350- 800 km), les températures sont très élevées et peuvent atteindre plus de 1000°C. Ce réchauffement résulte de la forte absorption par l'oxygène du rayonnement ultra-violet en provenance du Soleil. Dans cette zone, la densité est extrêmement faible et il y règne une pression très faible. La limite supérieure de cette couche est nommée thermopause. (<http://www.cea.fr>, 2015)

***3 - La Mésosphère :**

- La limite de cette couche (environ 80 km), est caractérisée par une température qui diminue rapidement jusqu'à -90 °C. Couche la plus froide de l'atmosphère. La couche supérieure de la mésosphère, appelée mésopause. (<http://www.cea.fr>, 2015)

***4 - La Stratosphère :**

C'est là qu'on trouve la **couche d'ozone**. Les molécules d'ozone qui jouent un rôle essentiel en absorbant les rayons ultraviolets du Soleil en les empêchant d'atteindre la surface de la Terre. La température y reste constante jusqu'à environ 25km puis remonte jusqu'à atteindre 0°C vers une altitude de 50 kilomètres. La limite supérieure de la stratosphère s'appelle la stratopause. (<http://www.cea.fr>, 2015)

***5-La Troposphère :**

Cette couche instable d'épaisseur environ 15 et 18 km à l'équateur, et 7 et 8 km aux pôles, contient environ 90%de la masse totale de l'atmosphère. La température décroît jusqu'à atteindre un minimum de -55 °C à une hauteur d'environ 10 km. La principale source de chaleur dans la troposphère est le sol échauffé par le rayonnement solaire.

C'est là où se produisent tous les phénomènes météorologiques comme les nuages ou la pluie. La limite supérieure de la troposphère s'appelle la tropopause. Son altitude varie selon la latitude. (<http://education.meteofrance.fr>, 2015)

II-5-1- Le rayonnement solaire:

Le soleil, émet les rayonnements sous forme de radiation électromagnétique, exprimée en Wh/m². (Givoni, 1978)

Le Soleil peut être considéré comme un corps noir dont la surface atteint une température de 5800K. Il est constitué particulièrement d'**hydrogène** (78,4 % de la masse) et d'**hélium** (19,6 % de la masse), le reste est constitué substances chimiques dont les principaux sont l'oxygène et le carbone.

Le rayonnement reçu du soleil constitue un spectre continu allant des ultra-violets à l'infrarouge en passant par le visible où il émet le maximum d'énergie. En passant à travers l'atmosphère, les gaz et les molécules absorbent certaines bandes de l'infrarouge et de l'ultra-violet. Ainsi les rayons du soleil arrivant à la surface de la terre, contiennent : 55% d'infrarouge, 40% de lumière visible et 5% d'ultra-violet. (Tsoka, 2011)

La puissance transmise par ce rayonnement varie avec la longueur d'onde du rayonnement.

- L'énergie que transmet le Soleil à la surface de l'atmosphère par rayonnement est égale à 1350 Watts/m² (c'est la constante solaire) et varie de 1% suivant l'activité solaire.

A la traversée de l'atmosphère, le rayonnement solaire est soit:

- **Le rayonnement direct** : provient directement du Soleil.
- **Le rayonnement diffus** : est diffusé par les particules de l'atmosphère vers toutes les directions et il est émis par la voûte céleste.
- **Le rayonnement absorbé** : est absorbé par l'atmosphère et les nuages
- **Le rayonnement réfléchi** : est réfléchi par le milieu extérieur (la terre ou la mer) en fonction de l'albédo local. Le rayonnement terrestre total est appelé rayonnement global.

(Tsoka, 2011)

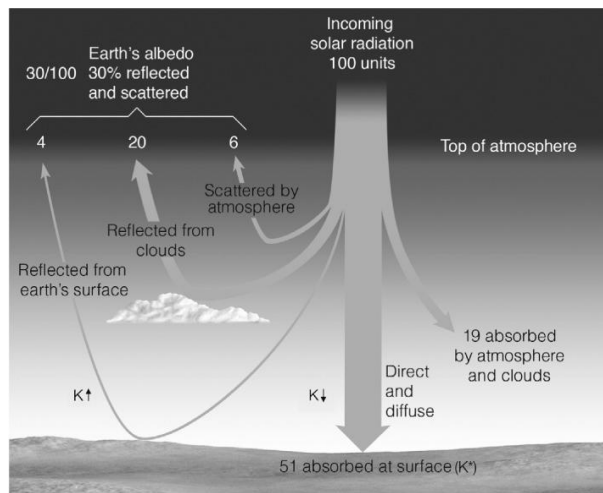


Figure II.17: Composantes du bilan énergétique (Source : Oliver Sonnentag, PhD: GÉO2122 – Climatologie Séance 4: 31 janvier 2012)

II-5-2- La nébulosité:

« La fraction de la voûte céleste masquée en un lieu et à un instant donné par les nuages ».

On exprime généralement la nébulosité en octas (ou en pourcentage).

(<http://www.meteofrance.fr>, 2015)

Trois types de ciels caractérisent le profil de nébulosité

- Un ciel clair correspond à des conditions où plus de 80% de l'ensoleillement
- Un ciel moyen représente l'intervalle de 20 à 80%
- Un ciel couvert caractérise des conditions où moins de 20% de l'ensoleillement est disponible (Liébard, et De Herde, 2005).

II-5-3- La température de l'air:

La température est le degré de chaleur ou le froid qui répend dans un lieu ou dans l'atmosphère. La température de l'air mesurée en degré Celsius à l'aide d'un thermomètre à l'ombre, dans un abri météorologique, à une altitude de 1m50. (www.mongosukulu.com, 2015)

Le principal facteur qui détermine la température de l'air est le taux d'échauffement et de refroidissement de la surface de la Terre à son contact (Givoni, 1978)

De nombreux facteurs influencent la température: la latitude, la nature du sol, l'altitude, les vents dominants, la couverture nuageuse, le relief ainsi que la couverture du sol.

(www.mongosukulu.com, 2015)

II-5-4- Les précipitations :

Les précipitations se présentent sous forme d'une chute d'un ensemble de particules qui, ayant été soumis à des processus de condensation et d'agrégation à l'intérieur des nuages.

(<http://www.astrosurf.com>,2015)

Il existe plusieurs formes de précipitations:

- La forme liquides (Pluie, Bruine, Pluie verglaçante/Bruine verglaçante)
- La forme solide (Neige roulée, Grésil, Grêle, Granule de glace, Cristal de glace, Neige en grain).
- La forme gazeuse (brouillard, rosée) (<http://www.mongosukulu.com>,2015)

II-5-5- L'humidité atmosphérique:

Est la teneur en vapeur d'eau de l'air atmosphérique ; Celle ci provient de l'évaporation des surfaces des océans, des surfaces humides, de la végétation et des petites masses d'eau. Il existe plusieurs mesures de l'humidité :

A- Humidité absolue: représente poids de vapeur d'eau contenue dans un mètre cube d'air, exprimé en g/m³.

B- Humidité spécifique: poids de vapeur d'eau en grammes par kg d'air sec. (Givoni, 1978)

C-Humidité relative: correspond à une quantité de vapeur d'eau dans l'air à la température ambiante par rapport à la capacité maximale (niveau de saturation) qu'il peut contenir à cette même température .L'humidité relative s'exprimé en pourcentage. (Reiter, 2007)

II-5-6- La pression atmosphérique:

La pression atmosphérique correspond au poids exercé par une colonne d'air sur une surface donnée. (<http://www.mongosukulu.com>,2015)

L'unité de pression utilisée en météorologie est l'hectopascal (hPa). 1 hPa = 100 Pa (100 Pascal). On utilise également le millibar (1 mbar = 1 hPa). (<http://www.meteofrance.fr>,2015)

A-Variation verticale de la pression atmosphérique :

La pression atmosphérique diminue lorsque l'altitude monte , elle diminue de 1 hPa tous les 8 mètres.

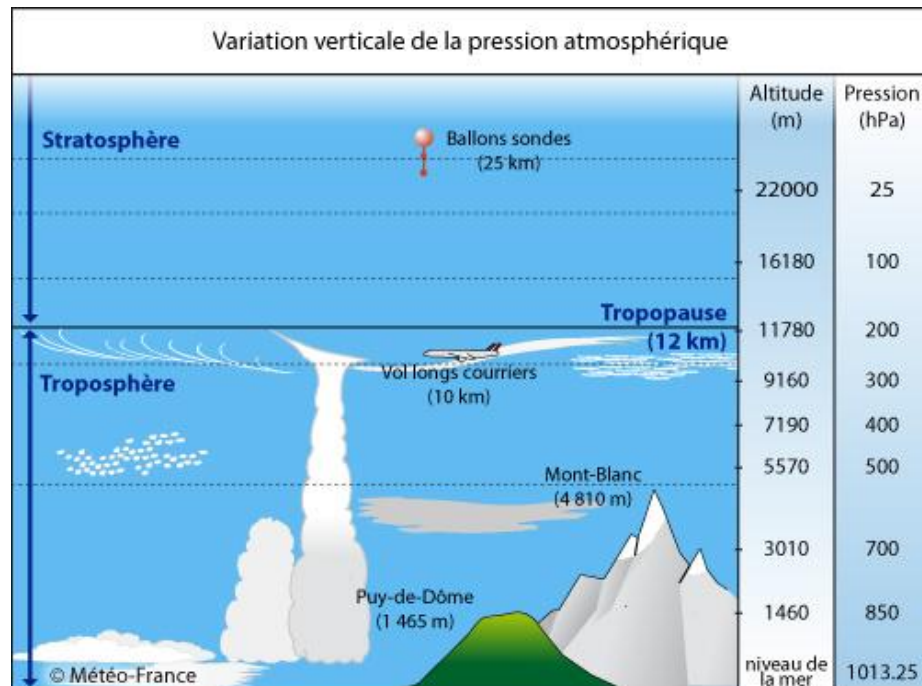


Figure II.18: Variation verticale de la pression atmosphérique.

(Source : <http://www.meteofrance.fr>,2015)

B-Variation horizontale de la pression atmosphérique :

Au niveau de la mer, la pression moyenne est de 1 013,25 hPa.

La pression ne varie pas seulement en fonction de l'altitude mais change aussi d'un lieu géographique à un autre, même s'il situe à la même altitude (variations horizontales de pression, dues aux différences de températures). (<http://www.meteofrance.fr>, 2015)

II-5-7- Le Vent:

Le vent est un déplacement d'air dans le plan horizontal, généré par des différences de pression entre des masses d'air, d'une zone de hautes pressions (anticyclone) vers les zones de basses pressions (dépression). Le vent est défini par une vitesse (km/h, m/s et en nœud) Et une direction.

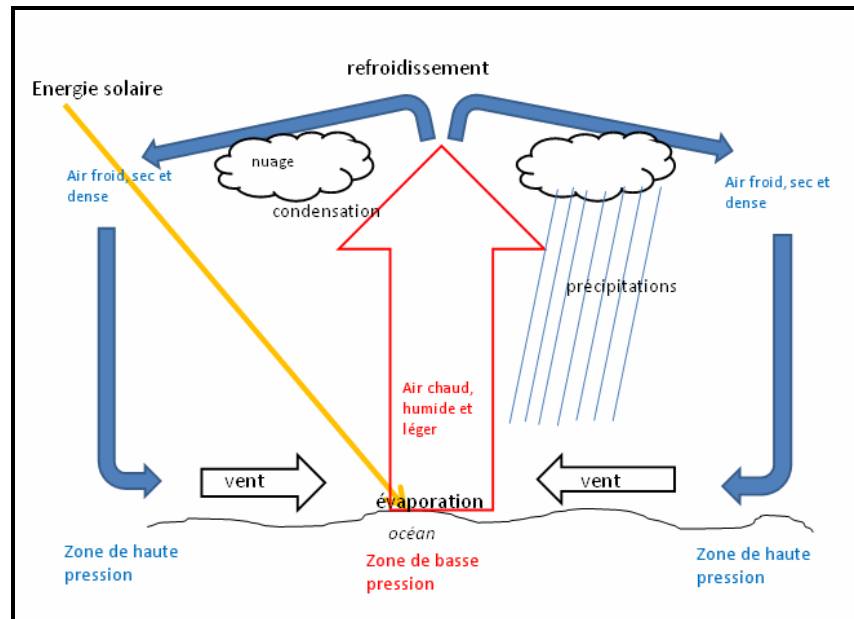


Figure II.19: Vent (Source : <http://tpeeolienne77.e-monsite.com>, 2015)

II-5-7- 1- Les paramètres agissant sur le vent et sa vitesse :

Plusieurs paramètres agissent sur le vent et sa vitesse. La vitesse du vent augmente avec l'altitude. Le régime des vents est fortement conditionné par la topographie locale (Vallées, pentes, etc.). (www-energir2.arch.ucl.ac.be, 2015)

II-6- Changement Climatique :

La réalité du changement climatique (CC) n'est plus à démontrer. La température moyenne annuelle à la surface du globe a augmenté de 0.6 °C depuis le début du 20ème siècle selon le rapport du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC) en 2007 projeté un réchauffement de 1.1 à 6.4 °C. Corrélativement, on observe la fonte accrue des neiges et des glaces, une modification des régimes de précipitations, une élévation du niveau de la mer, ainsi que l'augmentation en fréquence et en intensité des événements extrêmes. (Fedele, 2010)

Les experts scientifiques du climat ont fixé un seuil critique qui fait que l'augmentation mondiale de la température doit rester sous les 2°C pour limiter le changement climatique. (<http://www.changement-climatique.fr>, 2015)

II-6-1- Cause des changements climatiques :

Les changements de climats sont causés par des changements des quantités totales d'énergie émises par Soleil et maintenues dans l'atmosphère terrestre. Ce changement d'énergie est ensuite distribué autour du globe par les vents, les courants océaniques et d'autres mécanismes qui touchent les climats de différentes régions.

- Des processus naturels ainsi que les activités humaines peuvent changer le taux d'énergie absorbé dans l'atmosphère. (<http://votreimpact.org/changement-climatique/causes>, 2015)

Selon le rapport du GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat) de 2007, 49 milliards de tonnes équivalent CO₂ sont émises annuellement par les activités humaines.

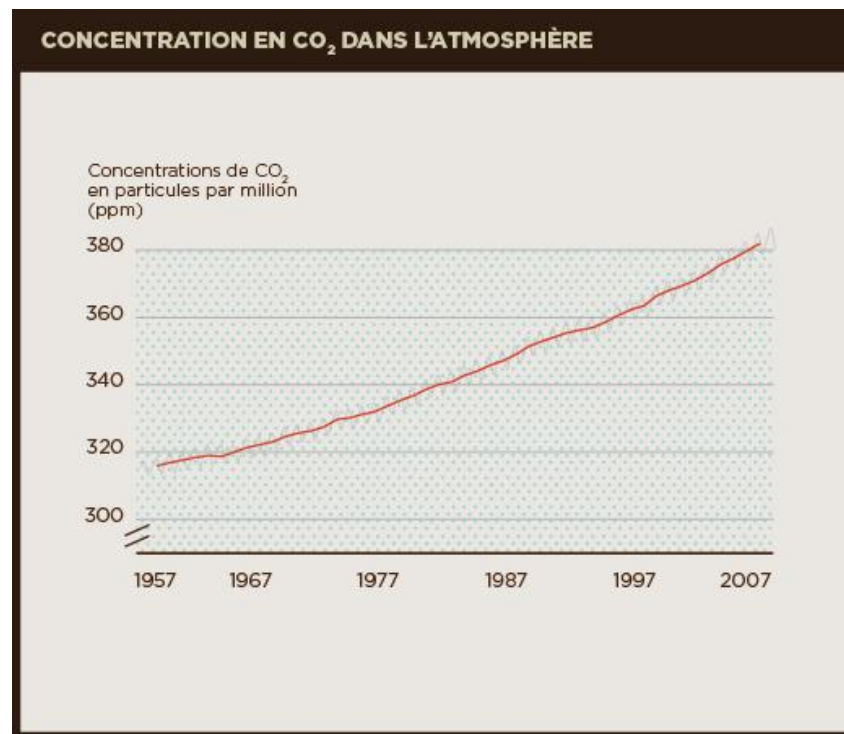


Figure II.20: Concentration de co2 dans l'atmosphère

(Source : <http://www.climatechallenge.be/fr>, 2015)

II-6-1-1- Causes naturelles :

Plusieurs causes naturelles peuvent expliquer les bouleversements climatiques constatés au cours des temps. (<http://www.climatechange.gc.ca>, 2015)

- Les variations dans les caractéristiques de l'orbite terrestre autour du Soleil accroît la quantité d'énergie solaire reçue par la terre à certains moments de l'année ;

- L'inclinaison de la Terre change légèrement (tous les 40 000 ans environ), ce qui peut modifier le contraste entre les saisons ;

- **L'intensité de l'activité solaire.** Lors de périodes de forte intensité, la Terre reçoit plus d'énergie, ce qui influence les températures sur Terre. (Ademe, 2012)

- **L'activité volcanique :** Les éruptions volcaniques provoquent des émissions de gaz et de particules dans la troposphère et stratosphère. Les gaz soufrés donnent naissance à des particules de sulfate qui peuvent rester des années dans stratosphère. L'activité volcanique accroît l'épaisseur de la stratosphère, elle a réduit de 10 % la quantité d'énergie solaire absorbée et ont des effets relativement courts sur le climat.

II-6-1-2- Causes anthropiques :

Les activités humaines comme le brûlage de combustibles fossiles tels que le charbon, le pétrole et le gaz naturel et la conversion de terres pour la foresterie et l'agriculture peuvent contribuer aux changements climatiques. (<http://www.climatechallenge.be/fr>, 2015)

II-6-1-2-1- L'effet de serre naturel :

L'effet de serre est un mécanisme physique naturel qui permet à l'atmosphère terrestre, grâce à la présence de certains gaz dans sa partie supérieure, de laisser passer l'énergie solaire et réfléchi sous forme de chaleur par la surface de la terre. Ils maintiennent ainsi la température sur Terre à une moyenne d'environ 15° C. Sans cet effet, il y ferait en moyenne de -18°C. (www.rac-f.org, 2015)

Le principal gaz à effet de serre est la vapeur d'eau qui absorbe fortement dans l'infrarouge et est responsable d'environ 60% de l'effet de serre naturel. (Dron et Hirschhorn, 2002).

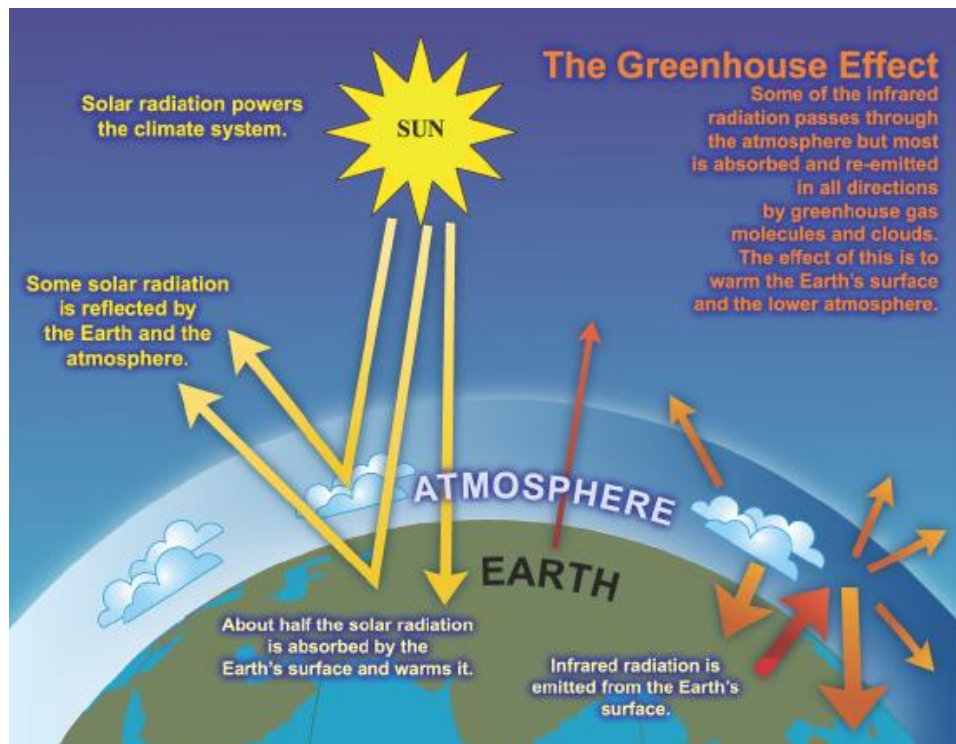


Figure II.21: Schéma du mécanisme responsable de l'effet de serre naturel (Source : Petit. M, 2013)

II-6-1-2-1- L'effet de serre additionnel :

Après la révolution industrielle, les activités humaines émettent des gaz à effet de serre (GES) supplémentaires s'accumulant dans l'atmosphère et produit un effet de serre "additionnel", entraînant une modification du système climatique et une augmentation de la température moyenne sur Terre. La plus forte hausse de ces émissions a été de 70 % entre 1970 et 2004.

- Les émissions issues d'activités liées à l'énergie sont :

- production d'énergie
- activités industrielles
- transport
- chauffage des bâtiments
- traitement des déchets.

- Les émissions qui ne sont pas liées à l'énergie sont :

- occupation du sol (déforestation, exploitation minière...)
- agriculture. (<http://www.climatechallenge.be>, 2015)

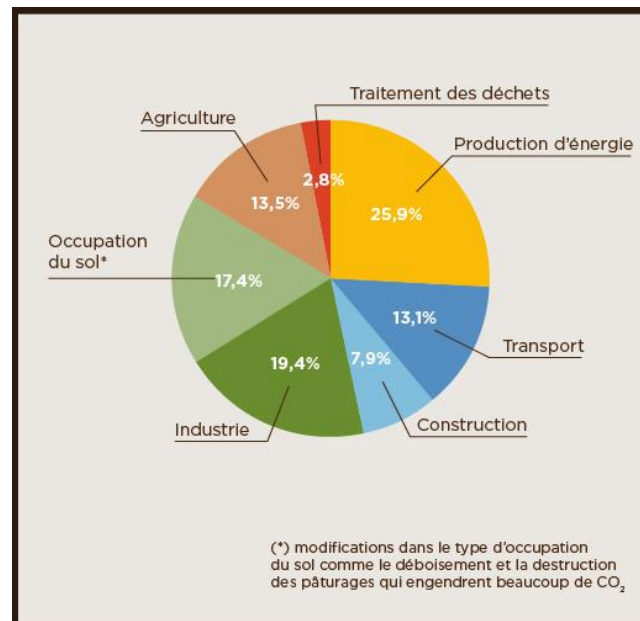


Figure II.22: Emissions mondiales de gaz à effet de serre anthropiques 2007 (Source : <http://www.climatechallenge.be>, 2015)

Les principaux gaz responsables de l'effet de serre «additionnel»

et leurs origines :

- **Le dioxyde de carbone (CO₂) :** constitue 77 % des émissions de GES d'origine humaine. Il résulte essentiellement de la combustion des énergies fossiles et du changement d'utilisation des sols (agriculture et déforestation).

- **Le méthane (CH₄) :** est provient du secteur agricole. Le reste émis par la production des énergies non renouvelable et des décharges.

- **Le protoxyde d'azote (N₂O) :** est principalement produit par le secteur agricole et certaines industries chimiques.

- **Les gaz fluorés (HFC, PFC, SF₆) :** Ils se retrouvent dans les systèmes de climatisation et de réfrigération, dans les mousses isolantes et les aérosols et dans certains modes d'industrialisation. (www.rac-f.org, 2015)

Les changements climatiques naturels se font sur de très longues périodes, ce qui implique une certaine adaptation des espèces animales et végétales, les changements anthropiques sont très rapides et par conséquent représentent un danger imminent pour les écosystèmes souvent fragiles. (Salençon et al, 2010)

II-6-1-2- Les conséquences du changement climatique :

Les impacts du changement climatique sont importants et variés. En effet, l'ensemble des systèmes naturels et des secteurs d'activités sont susceptibles d'être touchés : le secteur agricole et forestier, les écosystèmes marins et côtiers, les espèces animales et végétales, la qualité et la disponibilité de la ressource en eau, la santé humaine, les activités économiques et sociales. (Fedele, 2010)

A long terme, il pourrait être la cause de catastrophes telles que la montée du niveau des mers, les inondations, les violentes tempêtes, les famines et des pénuries d'eau dans certains pays du monde. Tous les pays seront concernés par le changement climatique, mais ce seront les pays en développement qui seront les plus vulnérables, car ils dépendent souvent d'activités qui sont affectées par les conditions météorologiques. (Gonzalez et Routier, 2014)

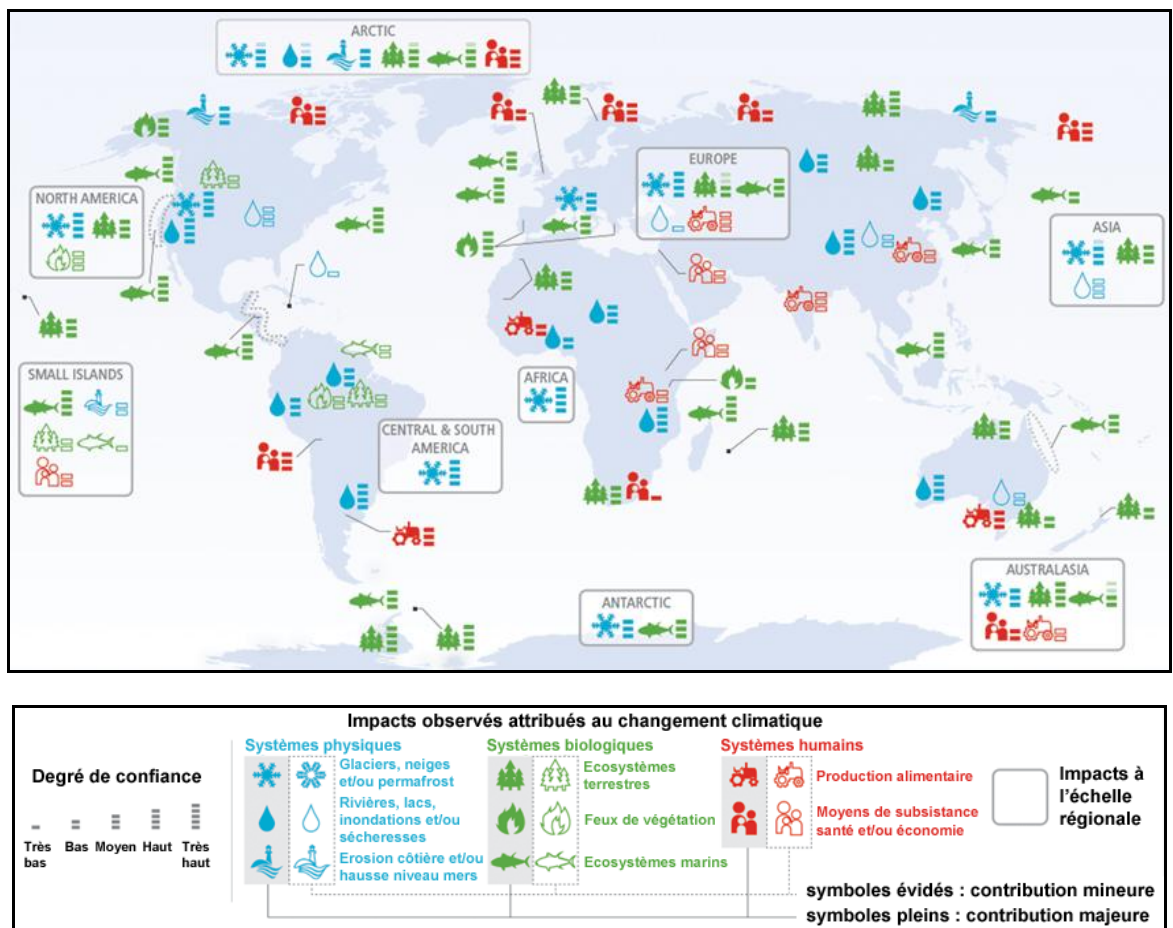


Figure II.23: Carte mondiale des conséquences des changements climatiques. (Source : © GIEC, volume 2 rapport 2014 / notre-planete.info)

II-6-1-3- Les conséquences du changement climatique sur le climat urbain :

Chacun de ces événements aura des impacts particuliers sur les villes en fonction des changements climatiques effectivement subis, variables d'un lieu à l'autre.

(www.worldbank.org/urban, 2016)

Dans ce contexte, l'un des impacts importants du réchauffement climatique sur le climat urbain accentue le phénomène d'îlot de chaleur urbain.

II-7- Îlot de chaleur urbain(ICU) :

Les îlots de chaleur urbains (ICU), est phénomène propre au microclimat urbain, sont caractérisés par une élévation localisée des températures de l'air mesurées en 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)

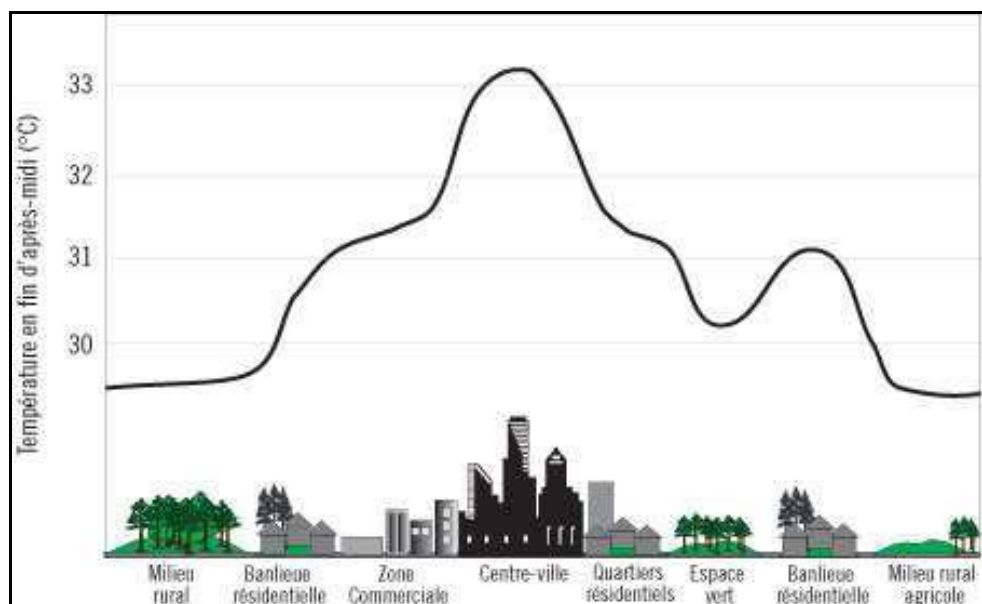


Figure II.24: Profil d'un îlot de chaleur urbain. (Source : Anquez .Ph et Herlem .A, 2011)

Les ICU, représentés horizontalement par le tracé des isothermes (figure 06) sont de forme circulaire non homogène, similaires à des tâches, les valeurs diminuant en s'éloignant du centre, par contre verticalement, on distingue des îlots de chaleur de surface, de la canopée urbaine et de la couche limite urbaine. (Fedele,2010)

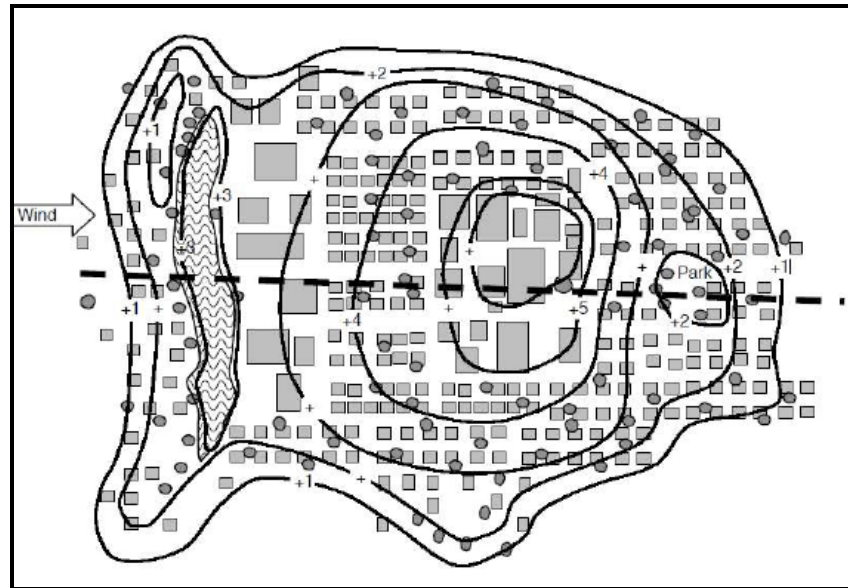


Figure II.25: Représentation en plan des isothermes d'un îlot de chaleur urbain.

(Source : Rullier, 2012)

II-7-1- Mesure de phénomène :

L'îlot de chaleur urbain peut être examiné à trois différents niveaux au sein d'une ville. Pour les trois niveaux, on a deux méthodes permettant de mesurer les impacts des îlots de chaleur urbains : directe et indirecte.

La mesure directe : mesure la température de la surface ou de l'air avec des capteurs reliés à un centre d'observation fixe ou mobile.

La mesure indirecte : est faite à distance au moyen d'appareils satellitaires et aériens pour détecter les irradiances émises par les surfaces. (Filiatreault, 2015)

II-7-1-1- L'îlot de chaleur de surface :

On peut observer et mesurer l'apparition des îlots de chaleur de surface grâce à des images satellitaires, des photographies aériennes ou bien depuis le sol au moyen de thermomètres laser à télédétection thermique (figure 12). (Rullier, 2012)

Ces capteurs détectent la radiation de rayons infrarouges émise et réfléchiée par les surfaces, il est possible de noter certaines zones de milieu urbain où les températures de surfaces sont plus élevées par rapport aux autres surfaces de la ville selon les caractéristiques morphologiques et les caractéristiques physiques des matériaux qui constituent les villes. (Tsoka, 2011)

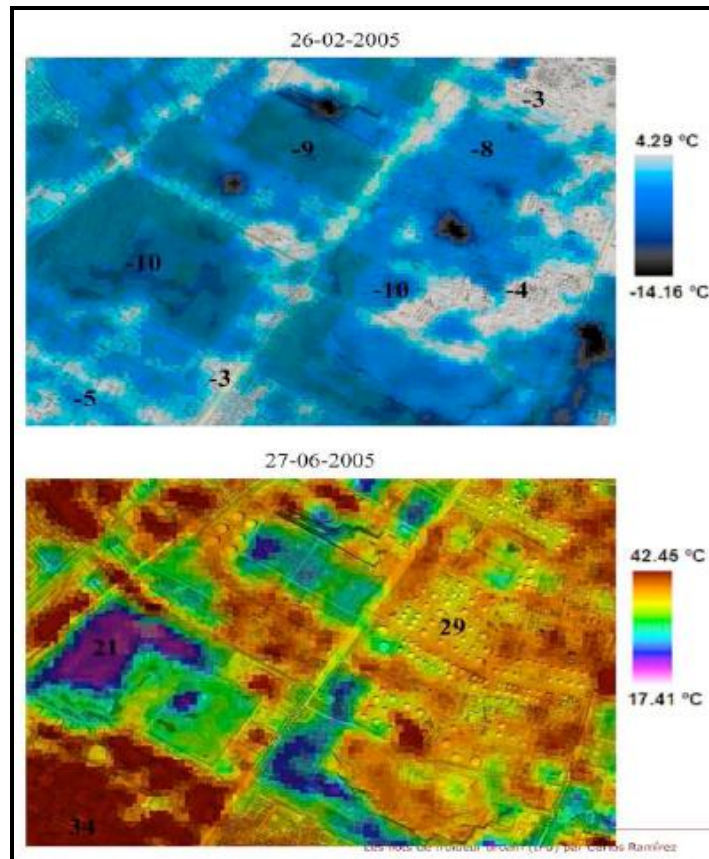


Figure II. 26: Image thermique du secteur Montréal-Est à l'hiver et à l'été 2005.

(Source : Rullier, 2012)

II-7-1-2- L'îlot de chaleur de la canopée urbaine :

Il correspond à la couche d'air inclus entre la surface du sol et les toitures des bâtiments, ou la cime des arbres qui font obstacle aux écoulements du vent, C'est la couche dans laquelle la majorité des activités humaines se déroulent. Elle est caractérisée par une très grande hétérogénéité spatiale. L'élément de base à cette couche est le canyon urbain, limitée par les rues, les murs et les toitures (**figure 10**). Elle est caractérisée par sa géométrie en fonction des paramètres telle que le rapport entre la hauteur des bâtiments et la largeur de la rue (H/W) ou le facteur de visibilité du ciel (Sky View Factor SVF) calculé pour le milieu de la rue. (Najjar et al, 2010)

La canopée urbaine est certainement la plus complexe à cause de :

- 1- la variété des matériaux de construction composant les différentes surfaces qui ont des propriétés thermiques très différentes.
- 2- la présence de sources de chaleur anthropiques. (Bouyer, 2009)

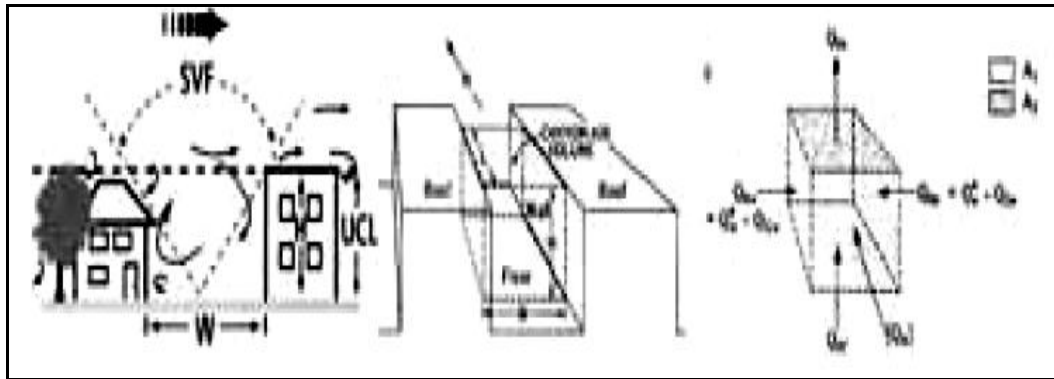


Figure II.27: Schéma représentant le canyon urbain et ses éléments. (Source : Najjar et al, 2010)

II-7-1-3- L'îlot de chaleur de la couche limite urbaine :

Elle située au-dessus de la canopée urbaine, a une épaisseur qui peut arriver à quelques centaines de mètres. La complexité de sa structure du fait de l'hétérogénéité de la rugosité des zones urbaines.

- L'échelle d'étude considérée est l'échelle locale ou méso-échelle et d'ordre de plusieurs centaines de mètres. L'observation s'effectue au niveau du quartier qui est une juxtaposition de plusieurs canyons urbains de géométries et d'orientations différentes. (Justin, 2014)

L'allure de la CLU varie entre deux configurations :

- Sous l'effet du vent faible ou du situation anticyclonique en hiver, celle d'un dôme urbain produit par les effets thermiques montants conduisant à une circulation fermée d'air (brise urbaine).
- Sous l'effet du vent fort, elle décrit un panache urbain en altitude pouvant atteindre plus de 10 km par lequel les polluants de la ville peuvent être transportés. (Bouyer, 2009)

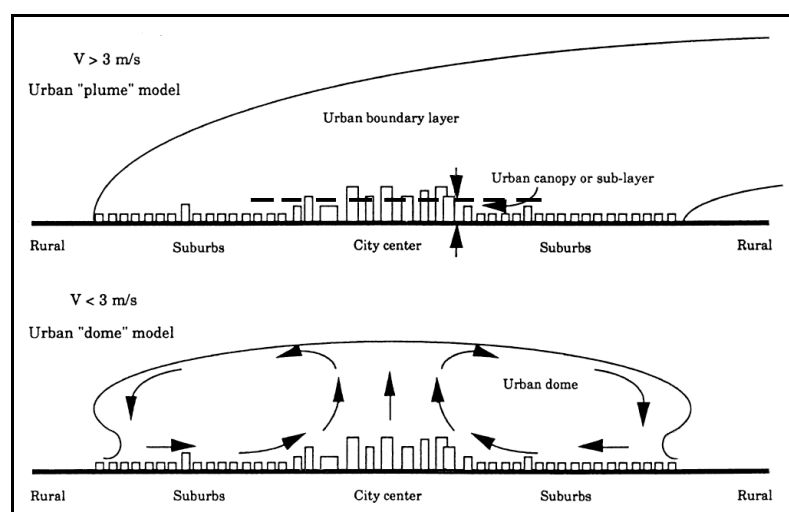


Figure II.28: Les deux figures classiques de couches limites urbaines. (Source : Bouyer, 2009)

Les ICU, sont d'intensité et de taille variant d'un jour à l'autre, horizontalement comme (Leconte, 2013) verticalement, selon des paramètres géomorphologiques, météorologiques et thermiques. (Fedele, 2010)

II-7-2- Causes de l'ICU (îlot de chaleur urbain) :

En plus des phénomènes naturels météorologiques (la température, l'humidité relative et le vent), l'urbanisation crée et favorise les ICU. On distingue 4 grandes causes de l'ICU :

- *La morphologie urbaine.*
- *Les propriétés physiques spécifiques des matériaux urbains.*
- *Le manque d'évapotranspiration.*
- *Les émissions de chaleurs anthropiques.* (Giguère et Env, 2009)

II-7-2-1- Morphologie urbaine et taille des villes :

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

En comparant 30 villes d'un million d'habitants situés à des latitudes moyennes,

À partir de ses recherches, Oke (1988) parvient à établir une relation reliant l'intensité maximale de l'îlot de chaleur urbain et la géométrie des canyons urbains, exprimée en fonction de la hauteur des bâtiments (H) et la distance entre les bâtiments (L) par le ratio H/L : **$dT_{max} = 7.54 + 3.97 \ln (H/W)$** . (Figure 10).

- On obtient donc une valeur maximale de l'effet de l'îlot de chaleur égale à 7.54°C (un profil de rue dont la hauteur et la largeur sont de même longueur).
- De 4.79°C (les rues sont deux fois plus larges que la hauteur des bâtiments).
- De 10.29°C (le canyon est deux fois plus haut que large). (Reiter, 2007)

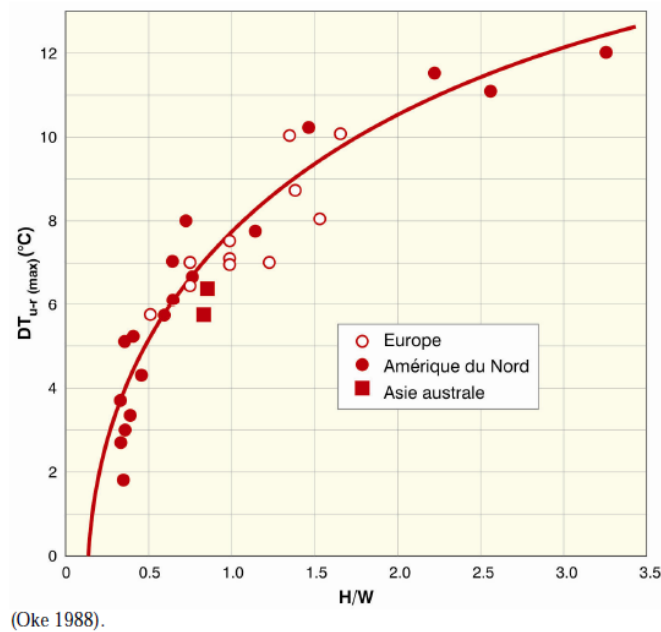


Figure II.29: L'influence de la géométrie des rues (exprimée par le rapport H/W , H étant la hauteur moyenne des bâtiments et W la largeur de la rue) sur l'intensité maximale d'îlot de chaleur.

(Source : Reiter, 2007)

Les effets des rayons infrarouges diffusés par les surfaces sont pourtant plus importants en ville. En effet, les flux radiatifs issus des multi-réflexions s'effectuant entre les différentes parois verticales et horizontales du canyon urbain ne sont pas redirigés vers le ciel systématiquement mais, absorbés par le bâti progressivement. (**Figure 16**). Ce phénomène porte le nom de piégeage radiatif. Cela se traduit donc par une augmentation globale de l'albédo des espaces urbains. (Colombert, 2008)

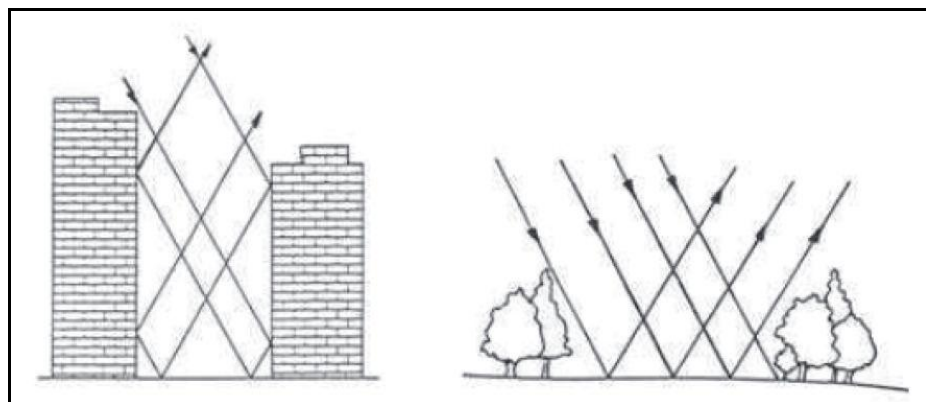


Figure II.30: Effet du piégeage radiatif en ville. (Source : Colombert, 2008)

Oke en 1988 est le premier à établir qu'il existe une relation entre la température et la géométrie du canyon urbain à travers le Facteur de Vue du Ciel (FVC). (Knodel. S.H,2012)

Les études réalisées par Oke (1991) indiquent que le facteur de vue du ciel peut, produire une (ΔT_{u-r}) intensité d'îlot de chaleur de 5 à 7°C.

$T_{\text{max urbaine rurale}} = 15,27 - 13,88 \Psi_{\text{sky}}$ (°C) (Rullier, 2012)

Ce dernier correspond à la proportion de ciel visible sur une photographie prise, selon un axe verticale, varie entre 0 (zéro) et 1. CE facteur est égal à un dans le cas d'une surface plane sans obstacle. Permet de caractériser la morphologie urbaine et les effets radiatifs et thermiques qui en résultent. (Colombert, 2008)

$\Psi_{\text{ciel}} = (1 - (\Psi_{m1} + \Psi_{m2})) = (1 - ((1 - \cos\theta_1)/2 + (1 - \cos\theta_2)/2))$

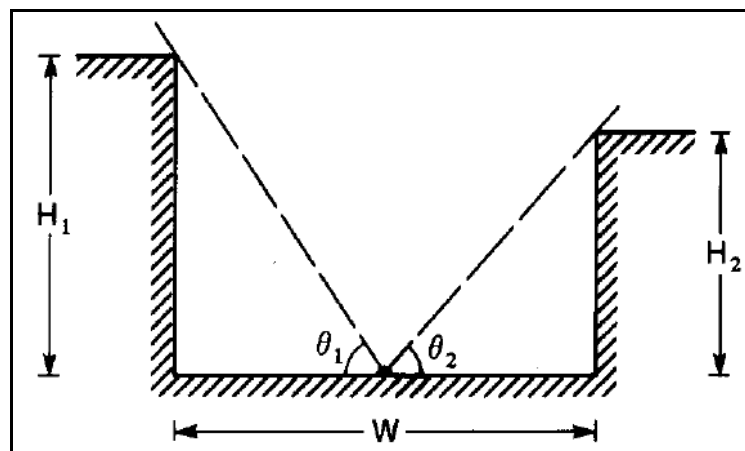


Figure II.31: Représentation du facteur de vue du ciel dans une rue canyon décrite par sa largeur (W) et les hauteurs des bâtiments l'encadrant (H1 et H2). (Source : Colombert.M, 2008)

II-7-2-2- Nature des matériaux de construction :

Les matériaux de construction sont également une cause du phénomène d'ICU. En effet, les matériaux emmagasinent la chaleur reçue pendant la journée puis la rediffusent restituent pendant la nuit sous forme de rayonnement infrarouge quand la température de l'air diminue. Contribuant ainsi à l'ICU. (Justin, 2014)

Ce phénomène s'explique par leurs propriétés radiatives et thermiques, caractérisé par l'albédo. Ceci est défini par le rapport de l'énergie solaire réfléchi par une surface par rapport à l'énergie solaire qu'elle reçoit. Selon sa couleur mais aussi de sa texture et porosité. L'albédo s'exprime sur une échelle variant de zéro à un. La valeur 0 correspond à un corps noir qui va absorber toute l'énergie reçue. A l'inverse, la valeur 1 correspond à un corps blanc qui réfléchit toute l'énergie reçue. (Knodel, 2012)

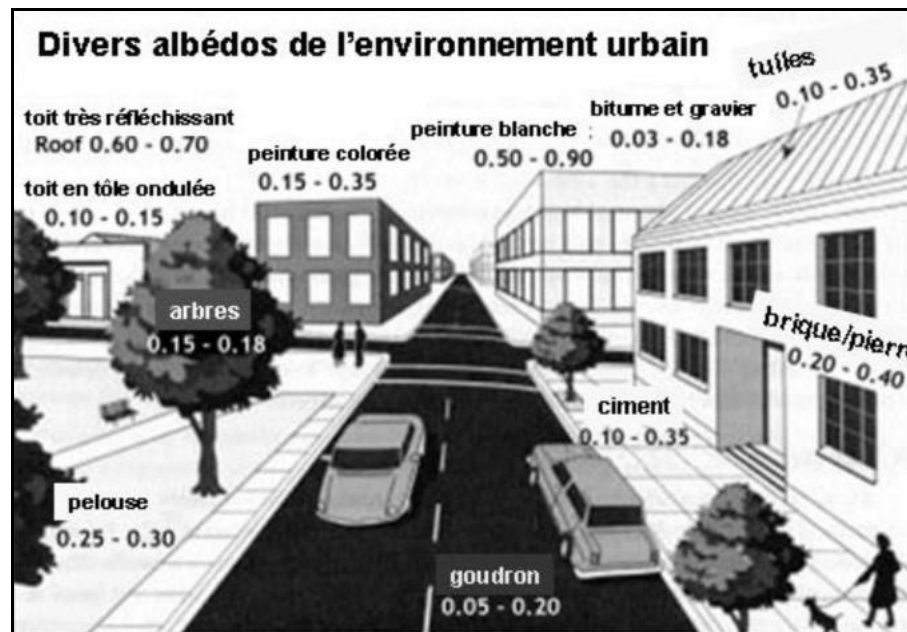


Figure II.32: Divers albédos de la ville. Compris entre 0 et 1.

(Source : <http://www.notre-planete.info>, 2015)

II-7-2-3- Le manque d'évapotranspiration :

En ville, les surfaces sont pour la plupart recouvertes de matériaux imperméables, tels que le goudron ou le bitume. Cette imperméabilisation des sols crée le ruissellement de l'eau et le séchage rapide des surfaces (Justin, 2014), diminue l'évaporation du fait d'une moindre quantité d'eau à évaporer. Or toute évaporation implique une absorption de chaleur.

Les surfaces en eau en milieu urbain entraînent un phénomène d'évaporation qui contribue au rafraîchissement de l'air ambiant. (Colombert, 2008)

Les surfaces en eau en milieu urbain entraînent un phénomène d'évaporation qui contribue à se rafraîchir l'air ambiant. (Colombert, 2008)

D'autre part, l'artificialisation de la ville réduit l'espace dédié aux milieux naturels. Cette perte de végétation conduit à la perte de fraîcheur en milieu urbain est aussi un facteur qui favorise l'apparition d'Ilot de Chaleur Urbain. En effet, la végétation joue un rôle important quant à la modification du microclimat du fait des phénomènes d'évapotranspiration et d'ombrage. La végétation participe également à une bonne gestion des eaux pluviales et à une meilleure qualité de l'air dans les villes. (Anquez et Herlem, 2011)

II-7-2-4- Les émissions de chaleurs anthropiques :

Les rejets de chaleur d'origine anthropique sont très importants en milieu urbain due à la concentration de la population et des activités du fait de chauffage, climatisation, éclairage urbain, automobiles,... Les rejets de ces gaz, dans l'atmosphère augmentent sa capacité à absorber le rayonnement infrarouge et participent ainsi à son réchauffement. (Anquez et Herlem, 2011)

Ville	Taux d'émission anthropique (W/m ²)	Flux radiatif net global (W/m ²)
Chicago	53	n.d
Cincinnati	26	n.d
Los Angeles	21	108
Fairbanks	19	18
St. Louis	16	n.d
Manhattan, New York City	117-159	93
Montréal	99	52
Moscou	127	n.d
Budapest	43	46
Osaka	26	n.d

Source : Taha et al., 1997.

Tableau II.2: Taux d'émission anthropique et bilan radiatif net annuel pour quelques villes américaines, européennes et asiatique. (Source : <http://www.inspq.qc.ca>. 2015)

II-7-3- Conséquences de l'îlot de chaleur urbain:

Les îlots de chaleur urbains ont des impacts néfastes sur l'environnement et sur la santé.

Ces impacts sont notamment accentués en période estivale.

II-7-3-1- Impacts sur l'environnement :**II-7.3.1.1 Détérioration de la qualité de l'air extérieur :**

Les îlots de chaleur urbains ont des conséquences immédiates sur la qualité de l'air dans les espaces extérieurs, car ils contribuent à la diffusion des polluants et à la formation du smog. En effet, le smog se forme lors de la réaction entre la chaleur, les rayons du soleil et les polluants. (Anquez et Herlem, 2011)

II-7.3.1.2 Détérioration de la qualité de l'air intérieur :

La chaleur contribue également à dégrader de la qualité de l'air dans les espaces intérieurs, car elle favorise la reproduction des acariens, des moisissures et des bactéries. De plus, les fortes chaleurs peuvent mener à l'émanation de substances toxiques, telles que les

formaldéhydes, qui sont contenues dans les colles utilisées dans les matériaux de construction et la fabrication des meubles. (Anquez et Herlem, 2011)

II-7.3.1.3 Hausse de la demande en énergie :

Les îlots de chaleur urbains participent à une augmentation de la consommation d'énergie lors de fortes chaleurs, les besoins de réfrigération et de rafraîchissement de l'air intérieur et peuvent engendrer une augmentation de la demande énergétique et en conséquence, des rejets de gaz à effet de serre, suivant la source d'énergie utilisée. (Ademe ,2012)

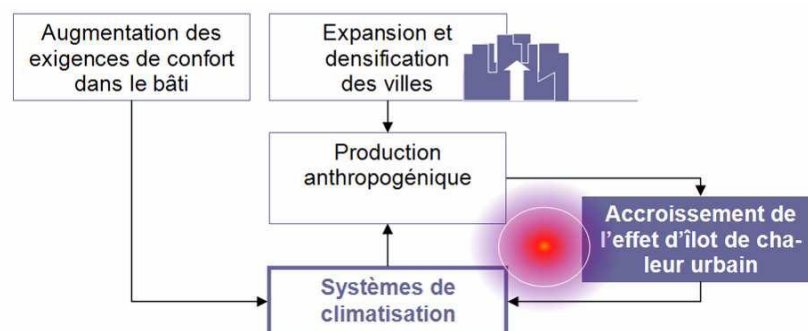


Figure II.33: Phénomène d'amplification de l'îlot de chaleur urbain et système de climatisation.
(Source : Bozonnet.E, 2005)

II-7.3.1.4 Hausse de la demande en eau potable :

Une hausse de la demande en eau potable est aussi probable, pour se rafraîchir (exemples : piscines et jeux d'eau) ou l'arrosage des zones végétalisées. (Giguère et Env, 2009)

II-7-3-2- Impacts sur la santé :

La chaleur accablante engendrée par les îlots de chaleur urbains a la possibilité créer chez certaines personnes ce que l'on appelle un **stress thermique**. Cela peut apparaître par des inconforts, des troubles de la conscience, des faiblesses des syncopes, voire augmenter les maladies chroniques comme l'insuffisance respiratoire, le diabète, les maladies cardiovasculaires,..., pouvant conduire à la mort. (Ademe ,2012)

II- Conclusion :

L'objectif de ce chapitre était d'assurer une bonne connaissance et une meilleure compréhension des paramètres climatiques afin de pouvoir évaluer leurs impacts en milieux urbains,

Les changements climatiques ne sont pas récents car les modifications de notre climat sont en effet aussi anciennes que notre planète Terre, mais avec le développement des activités humaines accroît l'effet de serre, qui engendre une augmentation de la température à la surface du globe et un risque de graves changements climatiques sur la planète.

Dans ce contexte, un des impacts importants du réchauffement climatique sur le climat urbain accentue le phénomène de l'îlot de chaleur urbain, qui provoque un inconfort thermique à la population, un surcroît des problèmes de santé et prolifération des maladies, ainsi qu'une augmentation de la consommation d'énergie par climatisation. La hausse de température dans le milieu urbain a un impact économique dramatique sur le coût de climatisation et santé.

CHAPITRE III :

Confort thermique dans les espaces publics extérieurs

III- Introduction :

Dans les milieux bâtis, Le confort thermique est un critère primordial pour la santé et le bien être des individus. Il constitue une exigence essentielle pour laquelle le concepteur doit apporter les réponses nécessaires.

La notion de confort dans l'espace extérieur diffère de celle qui prévaut dans l'espace intérieur : les conditions sont contrôlables dans l'espace intérieur, tandis que dans l'espace extérieur, ces conditions sont soit changeantes ?, soit non contrôlables. En conséquence les attentes de l'individu par rapport à l'ambiance extérieure se situent dans une gamme plus étendue que celles de l'ambiance thermique intérieure.

La notion du confort dans les espaces urbains extérieurs, est difficilement quantifiable en raison de l'interaction de plusieurs paramètres environnementaux et personnels.

Depuis les dernières décennies, de nombreux travaux de recherche ont été conduits sur les conditions de confort et plusieurs indices de confort thermique ont été établis. Ces indices ont pour but de décrire l'effet de la combinaison des différents paramètres climatiques sur la sensation de bien-être vis-à-vis au confort thermique.

Ce présent chapitre traitera des connaissances de base en matière de confort thermique, de ses critères et des méthodes d'évaluation, particulièrement sur les indices.

III-1- Confort thermique :

d'après Nicol et al (2012), cité par Musy (2014), « *Souvent l'homme est à la recherche dans son environnement, non seulement du confort mais aussi d'un agrément thermique : ce qui est particulièrement valable dans une ambiance dynamique comme par exemple des espaces urbains, ouverts ou semi-ouverts au ciel.* »

Il n'existe pas de définition universelle du confort thermique ; on trouve diverses descriptions dans la littérature, en premier lieu appliqué aux espaces intérieurs :

- Selon Ashrae (1993), cité par Musy (2014) « *le confort thermique est atteint lorsque l'individu exprime une satisfaction au sujet de son environnement.* »

- Selon Depecker (1989), cité par Musy (2014), ambiance confortable « *est une ambiance pour laquelle l'organisme humain peut maintenir constante sa température corporelle sans mettre en jeu de manière perceptible ; et donc désagréable ses mécanismes instinctifs thermorégulateurs de lutte contre le chaud et le froid.* »

- Selon Galeou et al (1989), cité par Musy (2014), le confort thermique de l'être humain correspond à « *une motivation simple mais permanente qui le pousse à chercher, voire créer, certaines situations climatiques, à en maintenir certaines d'entre elles et à les juger en terme d'agrément ou de désagrément.* »

- Selon Fanger (1972) ; le confort thermique a été défini comme étant « *l'état de l'esprit qui exprime la satisfaction avec l'environnement thermique* ».

«Le confort thermique peut être défini comme une sensation complexe produite par un système de facteurs *physiques, physiologiques et psychologiques*, conduisant l'individu à exprimer le *bien être* de son état»

III-2-Les paramètres du confort thermique :

Selon Givoni (1969) et Fanger (1970), cité par Reiter (2007), il y a six paramètres à prendre en considération lors de l'évaluation du confort thermique physiologique d'un être humain. Ces six paramètres permettent de quantifier le bilan thermique d'une personne. (Reiter, 2007)

III-2-1- Paramètres relatifs à l'environnement :

Il y a quatre paramètres microclimatiques importants :

- Température radiante moyenne
- Température de l'air
- Humidité de l'air
- Vitesse de l'air

A ces paramètres, il faut ajouter les paramètres caractérisant les espaces extérieurs:

- Les apports solaires (directs, indirects et diffus)
- La température de la voûte céleste
- Les phénomènes naturels : la pluie, la grêle, la neige, etc. (Vinet, 2010)

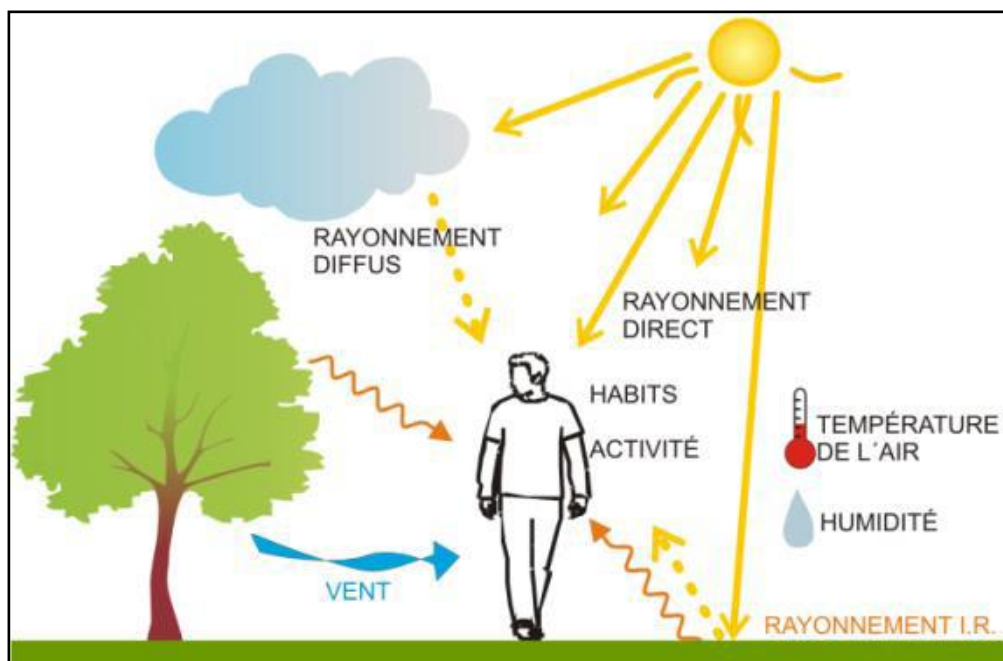


Figure III.34: Les différents paramètres déterminant le confort thermique

(Source : Perrineau, 2013)

III-2-1-1- La Température moyenne radiante (TMR) :

Est définie comme la température moyenne des surfaces environnantes, elle inclut les flux de courte et de grande longueur d'onde, influençant ainsi le bilan énergétique. Elle a un impact considérable sur la sensation du confort thermique en milieu urbain. (Tsoka, 2011)

III-2-1-2- Température de l'air :

La température de l'air, ou température ambiante, joue un rôle important sur le confort thermique. Elle affecte l'échange de chaleur entre le corps humain et son environnement par convection et rayonnement. (Haj Hussein, 2012)

III-2-1-3- Humidité relative :

Le taux d'humidité de l'air influence principalement les échanges évaporatoires entre l'individu et son environnement au niveau de la peau et de la respiration. Plus l'air n'est saturé, plus l'échange par évaporation est restreint. Haj Hussein, 2012)

L'impact de l'humidité de l'air est plus important dans les conditions où les températures sont élevées car l'évaporation représente le moyen le plus efficace de perte de chaleur au-delà d'une certaine limite proche de 37 °C. (Szócs, 2005)

III-2-1-4- La vitesse de l'air:

Elle correspond au mouvement de l'air par rapport à un Objet. La vitesse de l'air varie dans le temps et l'espace. (Hollmuller et al, 2003)

- Elle détermine l'échange de chaleur par convection et augmente l'évaporation à la surface de la peau et par conséquent agit sur la production de la sueur (Szócs, 2005)

III-2-1-5- Rayonnement solaire :

Selon Givoni (1978), cité par Ouameur (2007), Le rayonnement solaire est 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 la partie ultra violet (U.V) du spectre tandis que l'effet thermique est dû aux rayons visibles et infrarouges. Dans les espaces extérieurs, il est beaucoup plus difficile de déterminer "T_{mrt}" due aux larges variations du rayonnement de différentes sources. Le corps humain peut recevoir le rayonnement solaire, direct et diffus, aussi bien que le rayonnement réfléchi à partir des parois des bâtiments et du sol. (Kitous, 2012)

III-1-2- Paramètres relatifs à l'individu :

III-1-2-1- Mécanismes de thermorégulation :

L'homme est un homéotherme qui doit maintenir sa température centrale entre 36.8 °C et 37.2°C. Le métabolisme produit en permanence de la chaleur, de manière plus ou moins importante en fonction de son activité.

La chaleur produite dans le noyau central se transmet jusqu'à la peau par convection et conduction, où elle est dissipée par évaporation, rayonnement, conduction et convection.

L'enveloppe du corps qui comprend la peau se situe autour du noyau central du corps. Elle est plus épaisse dans une ambiance froide en créant une couche isolante importante tandis que dans une ambiance chaude elle est moins importante. (Szócs, 2005)

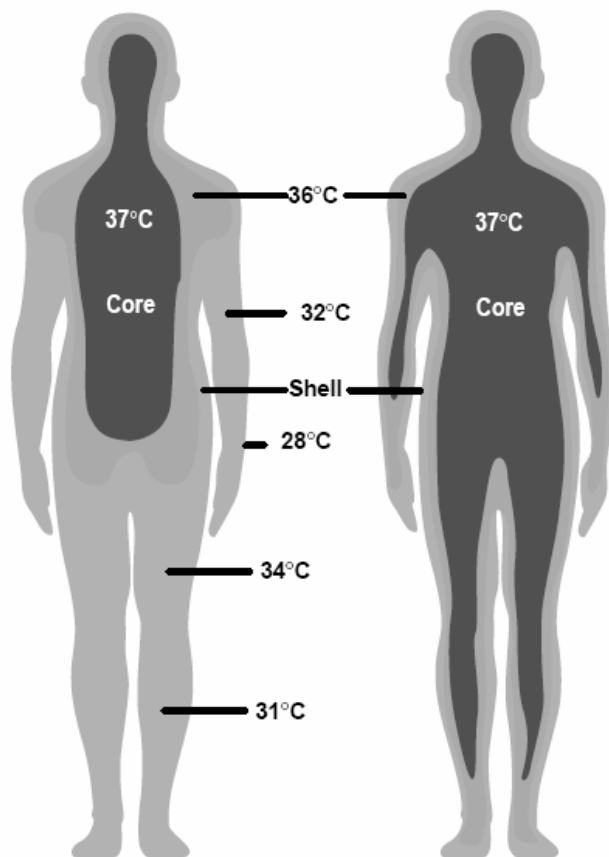


Figure III.35: Homéothermie de l'homme. (Source : Szócs, 2005)

III-1-2-2- Le métabolisme et les échanges thermiques:

La production de l'énergie métabolique de l'être humain provient principalement de la réaction d'oxydation du glucose. Cette énergie prend alors deux formes :

- **métabolisme basal** dû aux procédés biologiques continus et non conscients; pour maintenir la température du corps ;
- **métabolisme musculaire**, interne pour soutenir le squelette et externe pour transmettre des forces aux objets. (Szöcs, 2005)

Le métabolisme est évalué indirectement, il est mesuré expérimentalement à partir du volume d'oxygène consommé. Plus l'effort physique est intense et plus les muscles consomment d'oxygène apporté par la respiration.

Pour quantifier le niveau d'activité d'une personne, les spécialistes utilisent comme unité, le met (de métabolisme). 1 met est égal à 1 fois le métabolisme basal (assis, au repos). L'unité de Met est égale à **58.15 W/m²**. (Moujalled, 2007)

Activité	Niveau d'activité (nombre de fois le métabolisme basal)	Puissance pour une personne moyenne (70 kg et 1,70 m)[W]
Sommeil	0,7	74
Couché, au repos	0,8	84
Assis, au repos	1	106
Assis, travail mental	1,1	116
Debout, au repos	1,2	127
Debout, activité légère (achat, laboratoire, industrie légère)	1,6	169
Debout, activité moyenne (vente, travail ménager, travail sur machine)	2	211
Debout, activité soutenue (travail de garage)	3	317
Marche 4 km/h	2,2	232
Course 10 km/h	7,6	800
Course 25 km/h	43	4 500
Course 30 km/h	105	11 000
Football	10,3	1080
Nage 1,6 km/h	5,4	570

Tableau III.3: Métabolisme thermique et énergie mécanique. (Source : eduscol.education.fr ,2015)

III-1-2-3- les vêtements :

Le vêtement : représente une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement.

- Les transferts de chaleur à travers les tissus se font par conduction. À la surface extérieure, les échanges se font avec l'environnement par convection, rayonnement et évaporation.

La température du vêtement est calculée au moyen d'un bilan de flux thermiques qui traversent le vêtement, ce bilan est caractérisé par une résistance thermique globale I_{cl} exprimée en clo (de *clothing*). 1 clo = 0,155 [m². °C/W] désigne l'habillement intérieur d'hiver. (Zekri, 2010)

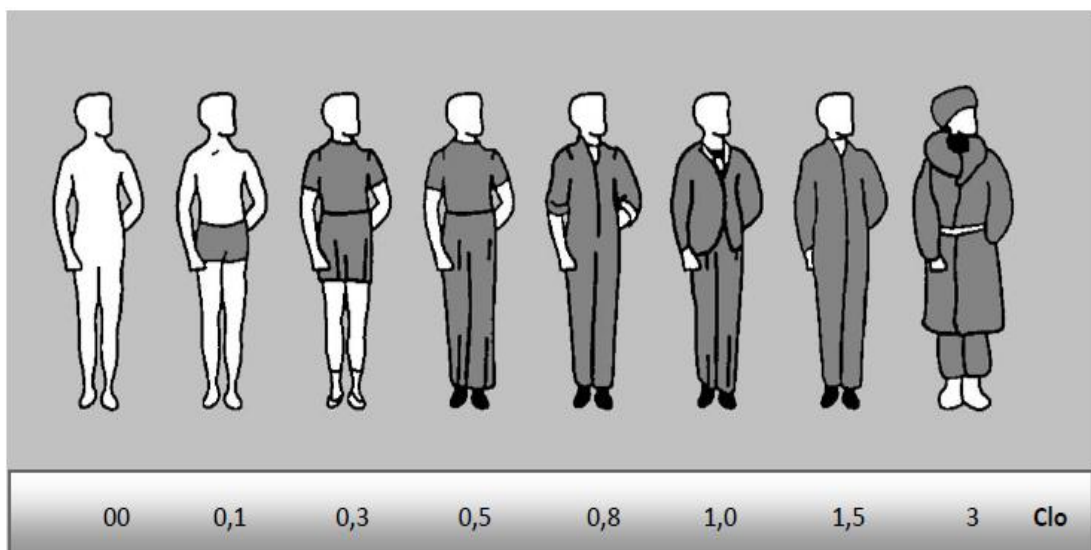


Figure III.36: Isolation thermiques des vêtements (source : Mazari, 2012)

La nature du tissu, la coupe des vêtements, l'activité et la posture du sujet influencent aussi les différents modes de transferts thermiques avec l'environnement. (Zekri, 2010)

III-3- Les phénomènes d'échange de chaleur :

L'homme échange de l'énergie avec son environnement extérieur selon quatre mécanismes : la conduction, la convection et le rayonnement, qui sont des échanges de chaleur sensible, et l'évaporation qui est un échange de chaleur latente. Les échanges respiratoires sont une association d'échanges par convection et par évaporation. (Grignon-Mass, 2010)

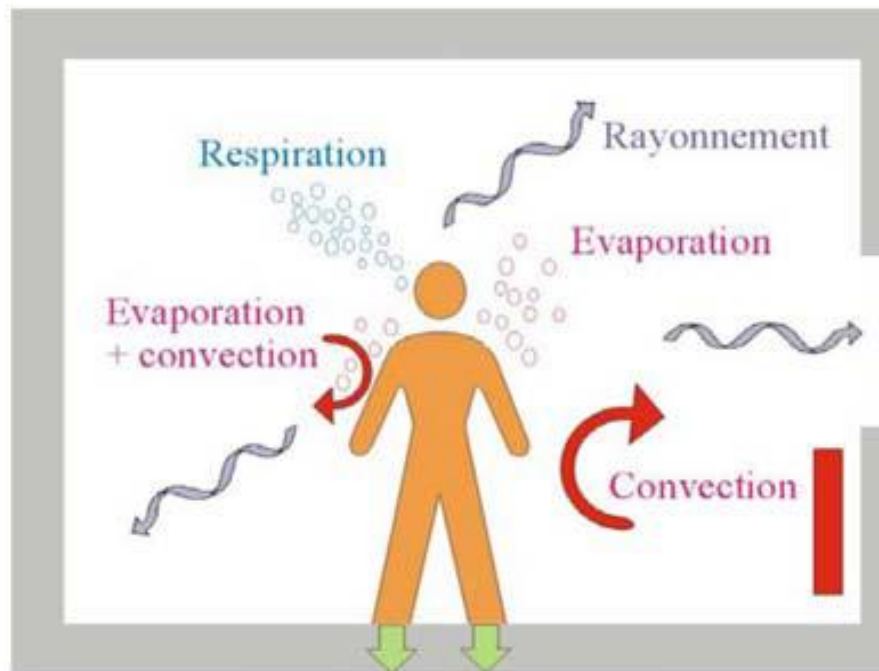


Figure III.37: Les différents phénomènes d'échange de chaleur entre l'individu et son environnement
(Source : Grignon-Mass, 2010)

III-3-1- La conduction :

Est le phénomène d'échange de chaleur par le contact entre la peau et les éléments solides elle est provoquée par la différence de température avec lesquelles la peau est en contact. Lorsque l'homme échange de la chaleur par conduction mais que seules de petites zones corporelles sont concernées (par exemple la surface inférieure du pied pour un homme debout), ces échanges sont alors négligeables. (Moujalled, 2007)

III-3-2-La convection :

Est le phénomène d'échange de chaleur entre le corps et l'air entourant. Il est lié à la différence de température entre la peau et l'air ambiant mais aussi aux vitesses de l'air au voisinage du corps. Si l'air est plus froid que la surface cutanée, il s'échauffe au contact de la peau. Il se déplace alors vers le haut car il est plus léger que l'air ambiant. (Moujalled, 2007)

Il existe deux catégories de convection :

- **Convection naturelle** : le mouvement de l'air est lié à son réchauffement à proximité du corps.
- **Convection forcée** : l'air est en mouvement sous l'action d'une force externe. (Szócs, 2005)

III-3-3- Rayonnement :

Désigne le phénomène d'émission ou de transmission d'énergie sous formes d'ondes ou de particules entre deux corps. Le corps peut également subir les effets du rayonnement solaire direct ou réfléchi de son environnement extérieur ou intérieur. (Grignon-Mass, 2010).

On distingue deux catégories selon la bande d'émission :

Rayonnement de grande longueur d'onde GLO (infrarouge) :

Provient de l'énergie absorbée et réémise par l'atmosphère et celle provenant des surfaces environnantes. Les échanges supposent l'implication de la propre émission de chaleur du corps et celle des surfaces environnantes. (Szócs, 2005)

Rayonnement de courte longueur d'onde CLO (rayonnement solaire) :

Ce flux de chaleur inclut la partie de l'énergie du rayonnement solaire incident qui est directement absorbée par la peau. (Vinet, 2000)

III-3-4- Les échanges de chaleur latente : l'évaporation

Est le phénomène d'échange de chaleur dû au changement d'état de l'eau. Elle est le moyen principal pour évacuer la chaleur dans les ambiances chaudes par évaporation de la sueur à la surface cutanée. Le système de thermorégulation détermine La quantité de sueur nécessaire pour conserver l'équilibre thermique du corps. (Moujalled, 2007)

III-3-5- Les échanges de chaleur par respiration :

Pendant la respiration, le corps échange de la chaleur avec l'air inhalé. Cette chaleur est échangée sous forme sensible de par le phénomène de convection entre l'intérieur du corps et l'air est sous forme latente par évaporation.

Ces échanges s'effectuent donc selon des différences de température et d'humidité entre l'air expiré et l'air ambiant, et du débit ventilatoire. (Moujalled, 2007)

III-3-6- Equation du bilan thermique :

La chaleur métabolique produite dans le corps peut-être dissipée dans l'environnement ambiant via les phénomènes présentés (convection, respiration...) ou stockée à l'intérieur du corps. Le bilan thermique de l'homme peut alors s'écrire sous la forme de l'équation (ASHRAE, 1997). (Moujalled, 2007)

$$M - W = (C + R + K + E_{sk}) + (E_{res} + C_{res}) + S_{sk} + S_c$$

Avec (les flux de chaleurs sont calculés par unité de surface corporelle) :

C_{res} : échanges de chaleur par convection lors de la respiration [W/m^2]

E_{res} : échanges de chaleur par évaporation lors de la respiration [W/m^2]

E_{sk} : échanges de chaleur par évaporation [W/m^2]

C : flux de chaleur convectif, en Watt par m^2 de surface d'échange [W/m^2]

K = flux de chaleur sensible échangé par conduction à la surface du peau, W/m^2

M : métabolisme [W/m^2]

W : travail extérieur [W/m^2]

R : flux de chaleur par rayonnement [W/m^2]

S_{sk} : chaleur stockée dans la peau [W/m^2]

S_c : chaleur stockée à l'intérieur du corps [W/m^2]. (Moujalled, 2007)

III-4- Méthodes expérimentales d'évaluation du confort thermique :

Du fait de la complexité de la notion de « confort thermique », son étude mobilise depuis plus d'un demi-siècle des chercheurs de différents milieux scientifiques. Les principales approches expérimentales développées pour caractériser le confort thermique sont:

III-4-1- Approche physique:

Elle est basée sur l'analyse du bilan thermique du corps humain et prend en compte les transferts de chaleur et de masse ainsi que la façon dont la thermorégulation intervient dans la modulation de ces échanges. (Musy, 2008)

- Ce modèle se concentre sur la détermination des valeurs limites de certains paramètres physiques, relatifs aux conditions ambiantes et jugées pertinentes pour la caractérisation du confort thermique : température de l'air, vitesse de l'air, hygrométrie ...

Elle prend également en compte la tenue vestimentaire et l'activité des individus placés dans ces conditions. (Petit et al, 2003)

III-4-2- Approche physiologique :

Elle se concentre sur la détermination de valeurs limites de paramètres physiologiques, notamment les températures cutanées et la température interne. Étudie les réponses subjectives à l'environnement thermique ainsi que les actions involontaires, qui se produisent

quand le corps n'est pas en état de neutralité, comme la transpiration et le frisson. (Petit et al, 2003)

III-4-3- Approche psychologique ou subjective :

Cette approche est basée sur les réponses d'individus placés dans des conditions expérimentales données. On leur fait alors remplir des grilles d'évaluation dans lesquelles on retrouve des questions relatives aux jugements perceptifs (sensation thermique), aux jugements affectifs (confort, préférence), à l'acceptabilité, à la tolérance...

(Petit et al, 2003)

III-5- L'évaluation du confort thermique :

Pour évaluer le confort thermique à l'extérieur, des indices spécifiques ont été définis. Ils intègrent les facteurs qui définissent l'environnement thermique humain et prévoient la réponse des individus. (Musy, 2008)

Sigrid Reiter dans sa thèse de doctorat (2007) a mentionné les méthodes quantitatives existantes actuellement pour évaluer le confort thermique extérieur qui peuvent être classifiées en cinq groupes :

III-5-1- Indices de l'équation du bilan thermique :

Basée sur un modèle complexe du corps humain et sur l'évaluation des paramètres climatiques, couplant une équation de bilan de chaleur avec un modèle simplifié d'évaluation de la température radiante moyenne. Ces modèles ont été élaborés pour évaluer différents scénarios climatiques pour des activités et un habillement standard. Les indices les plus fréquents sont : Physiological Equivalent Temperature PET (Höppe 1999), New Effective Temperature ET new (Gagge et al. 1971), Standard Effective Temperature SET et OUT_SET intégrés à un modèle de température rayonnante extérieure OUT_MRT (J. Pickup, R. de Dear, 2000).

III-5-2- Indices de l'équation du bilan d'énergie :

Reposée sur un modèle simplifié du corps humain : Température perçue (PT), un modèle qui correspond au modèle de Fanger associé à un modèle d'évaluation du rayonnement extérieur mais qui ne tient pas compte du vent (Vinet, Jendritzky), et aussi (COMfort Formula - COMFA (Brown et Gillespie) : est un modèle simplifié intégrant l'ensemble des paramètres

climatiques et urbains bien qu'il ait été initialement développé à partir d'interviews dans des paysages ruraux.

III-5-3- des modèles graphiques : très simplifiés mais d'usage très rapide regroupant les différents paramètres climatiques. Citons la charte bioclimatique d'Olgyay.

III-5-4- les indices climatiques empiriques : qui créent des corrélations entre quelques paramètres climatiques spécifiques. Ils sont généralement élaborés pour certains climats spécifiques. Tels que l'indice de refroidissement éolien Wind-chill index ou l'indice de l'inconfort.

III-5-5- les indices psycho-socio-climatiques :

Ils sont élaborés à partir d'interviews réalisées dans des espaces publics urbains. Ils créent une corrélation entre une perception subjective et des variables microclimatiques (par exemple, Actual Sensation Vote -ASV-, satisfaction indexes,...) ou un indice de confort (Nikolopoulou, SAGAcité).

III-6- Les indices d'évaluation du confort thermique :

III-6-1- PMV (Vote Moyen Prévisible– Predicted Mean Vote) :

Fanger a établi une méthode qui permet d'analyser et d'évaluer l'ambiance thermique pour déterminer les conditions du confort thermique.

Cette méthode est la plus utilisée pour l'évaluation du confort thermique. Ce dernier est calculé en fonction des facteurs environnementaux, ainsi que des valeurs de métabolisme et de tenues vestimentaires.

1 - Les facteurs environnementaux : la température de l'air, l'humidité de l'air, la température de l'environnement rayonnante et la vitesse de l'air.

2 - Le Métabolisme.

3 - Les propriétés thermo- hygrométriques du vêtement. (Moujalled, 2007)

Fanger a intégré les valeurs du PMV dans une échelle décrivant les sensations physiques du confort. Cette échelle de 7 degrés allant de (-3) (très froid) à (+3) (très chaud). (Vinnert, 2000)

La situation de confort est obtenue pour un PMV compris entre (-0,5) et (+0,5). Ces limites décrivent une situation définie comme neutre où l'individu ne ressent ni sensation de chaud ni sensation de froid. A partir de ces valeurs, l'échelle de Fanger représentée dans le tableau qui suit indique qu'un PMV négatif correspond à des environnements froids, et un PMV positif, à des ambiances thermiquement chaudes.



Tableau 2 : valeurs du PMV selon l'échelle de Fanger (Source :

Cet indicateur, basé sur le modèle d'équilibre énergétique, a fait l'objet de plusieurs modifications visant à l'adapter pour une utilisation dans les milieux extérieurs. Parmi ces modifications nous citons celle de Jendritzky et al (1979).

L'indice PMV a été modifié afin de pouvoir prendre en compte les apports solaires ainsi que l'hétérogénéité des conditions extérieures. Jendritzky a modifié l'indice de Fanger pour qu'il soit applicable aux conditions climatiques extérieures tout en tenant compte de l'influence du rayonnement solaire absorbé par une personne debout. Cette nouvelle approche est aussi connue comme *Klima Michel Model*. (Tsoka, 2011)

Elle permet de quantifier le confort ressenti dans un environnement extérieur par une personne standard: de sexe masculin, 35 ans, 1,75m de taille, 75 kg de poids et de 4 km / h comme vitesse de marche à (2,3 remplies). En ce qui concerne les vêtements, il est choisi de manière sélective entre 0,5 et 1,75 clo (été et hiver ensembles de vêtements allemands d'été et d'hiver respectivement). (Monteiro, 2005)

Pourcentage prévisible d'insatisfaits (Predicted Percentage Dissatisfied-PPD-) :

Donne en fonction de l'indice PMV d'une situation thermique précise, permet de prévoir le pourcentage des personnes insatisfaites par rapport à la situation. Connaissant PMV, la figure ci-après permet d'évaluer directement PPD, qui peut être calculée par:

$$PPD = 1 - 0.95 \cdot \exp(-0.03353 PMV^4 - 0.2179 PMV^2)$$

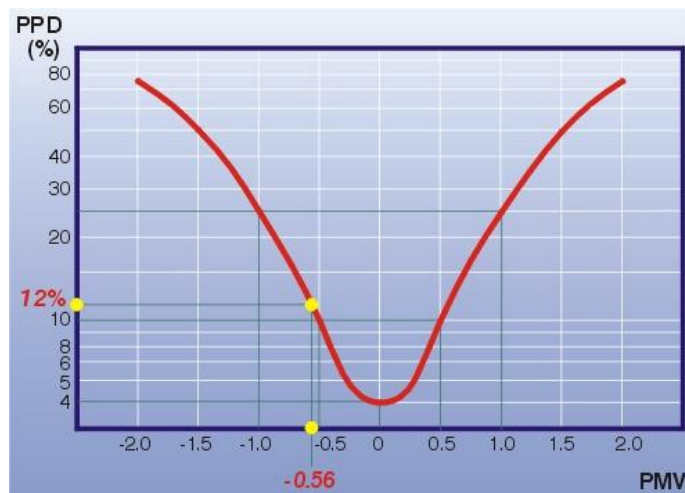


Figure III.38: Correspondance entre le PPD et le PMV

(Source : <http://www-energie2.arch.ucl.ac.be>, 2015)

A cause des différences physiologiques, il s'avère impossible de satisfaire 100% des individus en réunissant des conditions "idéales". Par contre, il est possible de créer un environnement dans lequel le pourcentage de personnes satisfaites est maximum.

Pour une valeur de PMV=0, il y a encore 5 % d'insatisfaits. Ce nombre monte à 10 % pour un PMV = ± 0.5 et 20 % pour un PMV = ± 0.84.

Michael Bruse, dans ses travaux effectués lors de l'actualisation de son programme de simulation a adopté neuf échelles de confort propres aux espaces extérieurs (figure n°6), l'échelle de PMV est définie entre -4 (très froid) et +4 (très chaud) où 0 est le (confort) Valeur thermique neutre:

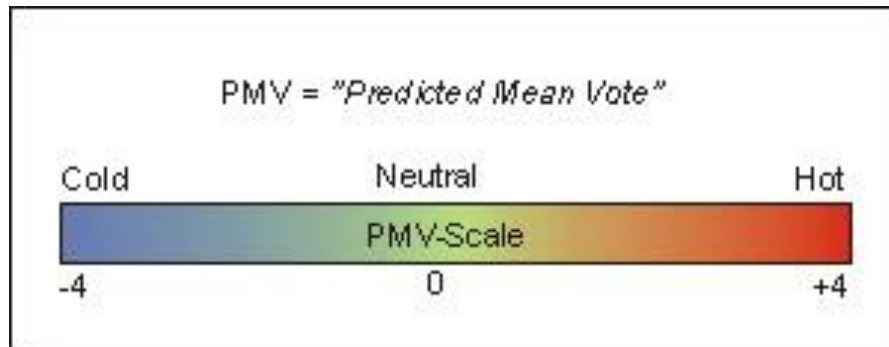


Figure III.39: Classification des valeurs du PMV selon neuf échelles de confort (Source : Bruse, 2015)

PMV	Description
Moins de -4	Extrêmement Froid
Entre -3 et -4	Moyennement Froid
Entre -2 et -3	Frais
Entre -1 et -2	Légèrement frais
Entre -1 et +1	Neutre
Entre +1 et +2	Légèrement tiède
Entre +2 et +3	Tiède
Entre +3 et +4	Moyennement chaud
Plus de +4	Extrêmement chaud

Tableau III.4: Valeurs du PMV selon neuf échelles de confort. (Source : Bruse, 2015)

III-6-2- La température physiologique équivalente (PET) :

PET est l'indice le plus utilisé pour l'évaluation du confort dans les espaces extérieurs.

L'indice PET est défini comme la température de l'air (intérieur ou extérieur), dans un local typique intérieur, sans vent et rayonnement solaire.

Dans son calcul, l'indice PET est basé sur le modèle d'énergie équilibré de Munich pour les individus MEMI (Munich Energy Balance Model for Individuals). Le climat intérieur de référence est défini par :

- la température radiante moyenne est égale à la température de l'air, ($T_{mrt} = T_a$),
- la vitesse de l'air égale à $0,1 \text{ ms}^{-1}$,

– la pression de vapeur d'eau est fixée au 12 hPa (environ une humidité relative de 50% à $T_a = 20^\circ\text{C}$). (Athamna, 2013)

Le tableau ci-dessous indique la perception thermique d'un individu "moyen" avec un métabolisme de travail de 80 W (activité légère) et une résistance de transfert thermique de vêtements de 0,9 clo. (Athamna, 2013)

Perception thermique ressentis par un individu	Valeurs PET en C°
très chaud	>41
chaud	35-41
chaud modéré	29-35
légèrement chaud	23-29
confortable	18-23
légèrement frais	13-18
froid modéré	8-13
froid	4-8
très froid	< 4

Tableau III.5: Valeurs du PET selon neuf échelles de confort (Source : Athamna, 2013)

III-6-3- L'indice de température standard effective en espaces extérieurs (OUT_SET*) :

Cet indice est basé sur l'indice SET* (température standard effective) de Gagge et al. (1971), intègre le modèle OUT_MRT de la température radiante moyenne en extérieur. (Musy, 2008)

Le calcul de l'indice SET* est effectué dans un environnement isotherme ($T_a = T_{Tmrt}$, HR=50%, $v_a = 0.15$ m/s) telle qu'une personne dans cet environnement ayant une isolation de vêtement standard (0,6clo et 1,2met) ait la même température moyenne de peau (T_p) et la même moiteur (ω) que dans l'environnement réel complexe. (Vinet, 2010)

Le modèle OUT_MRT calcule la température de la surface d'une zone hypothétique autour d'un sujet debout qui échangerait le même rayonnement infrarouge avec le sujet que le

rayonnement dans toutes les longueurs d'ondes dans l'environnement solaire et infrarouge réel. (Musy, 2008)

III-6-4- 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 réalisées 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 (Sol, 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 :

$$ASV = 0.049 T_{air} + 0.001 Sol - 0.051 V + 0.014 RH - 2.079$$

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 les cinq niveaux suivants:

-2 = très froid,

-1 = froid,

0 = neutre,

1 = chaud,

2 = très chaud. (Reiter, 2007)

III-6- 5- La température perçue :

La Température Perçue (en °C), est définie pour évaluer le stress et le confort thermique du corps humain. (Staiger et al.1997).

C'est la température de l'air dans un environnement de référence dans lequel la perception de la chaleur et/ou du froid serait la même que dans les conditions réelles (Jendritzky et Nuebler, 1981).Le modèle repose sur le bilan d'énergie du corps humain, basé sur l'équation de confort de Fanger couplé avec les flux solaires

L'environnement de référence est défini par:

- La température radiante moyenne égale à la température de l'air
- Vitesse d'air réduite ($v = 0,1 \text{ m.s}^{-1}$)
- Emissivité de la peau ou des vêtements : 0,97
- Coefficient d'absorption solaire : 0,7

L'évaluation thermo-physiologique est réalisée pour un homme « standard » dont le taux métabolique est 2,3 Met. L'homme standard utilisé peut adapter ses vêtements entre vêtements d'été (0,50 clo) et d'hiver (1,75 clo). (Musy, 2008)

Cet indice est basé sur le Predicted Mean Vote (PMV) de Fanger qui permet d'évaluer le confort thermique. C'est la norme allemande VDI 3787 qui définit la température perçue. (Perrineau ,2013)

Température perçue [°C]	Perception thermique
$PT \geq 38$	Extrêmement chaud
$32 \leq PT < 38$	Très chaud
$26 \leq PT < 32$	Chaud
$20 \leq PT < 26$	Légèrement chaud
$0 < PT < 20$	Confortable
$-13 < PT \leq 0$	Légèrement frais
$-26 < PT \leq -13$	Frais
$-39 < PT \leq -26$	Froid
$PT \leq -39$	Très froid

Tableau III.6: Température perçue. (Source : Musy., 2008)

III-6-6- L'indice de sensation thermique (TSI) :

Selon Givoni et al (2003), cité par (Zekri, 2010), (TSI) a été élaboré à partir d'une enquête menée dans la ville de Yokohama au Japon. Givoni et ses collègues ont interrogé les sujets dans différentes situations climatiques en utilisant un questionnaire sur leurs sensations thermiques (TSI). L'équation de (TSI) est donnée comme suit :

$$TSI = 1.7 + 0.1118 T_a + 0.0019 Ray - 0.322 V_a - 0.0073 RH + 0.0054 T_s$$

Où :

- Température de l'air (T_a , °C)
- Rayonnement solaire (Ray, Wm^{-2})
- Vitesse du vent (V_a , ms^{-1})
- Humidité relative (RH, %)
- Température du sol (T_s , °C)

Notons que les variables qui affirment le plus significativement la sensation thermique sont celles relatives à la température de l'air (corrélée positivement à TSI) et la vitesse du vent (corrélée négativement à TSI), les autres variables (Rayonnement solaire, température du sol et humidité relative) ayant un rôle moins important dans l'évaluation de TSI.

La sensation thermique (TS) était mesurée sur une échelle de 1 (très froid) à 7 (très chaud) où la valeur 4 représente la neutralité (Zekri, 2010)

III-6-7- L'Indice thermique universel du climat UTCI (Universal Thermal Climate Index) :

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)

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)

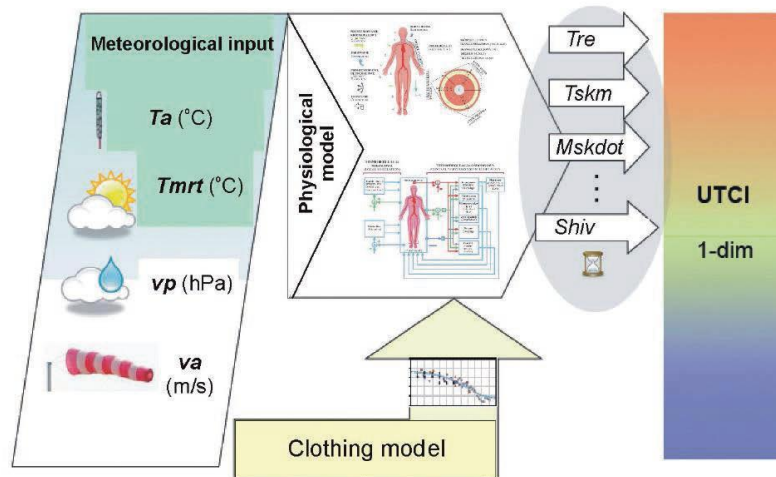


Figure III.40: Schéma des principaux paramètres de l'UTCI (Source: Blazejczyk. K et al, 2013)

Les variables d'entrées de l'UTCI sont des paramètres climatologiques (température de l'air (en °C) ; Mrt : température radiante moyenne (en °C) ; v : vitesse du vent 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).

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

$$UTCI = 3.21 + 0.872 t + 0.245 Mrt - 2.507 v - 0.0176 HR$$

Avec t : température de l'air (en °C) ; Mrt : température radiante moyenne (en °C) ; v : vitesse du vent 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)

UTCI (°C)	Niveau de stress physiologique	Sensation thermique
> 46	Stresse thermique extrême	Torride
de +38 à +46	Stress thermique très fort	Très chaud
de +32 à +38	Stress thermique fort	Fortement chaud
de +26 à +32	Stress thermique modéré	Chaud
de +9 à + 26	Pas de stress	Confortable
de 0 à +9	Léger stress dû au froid	Légèrement frais
de -13 à 0	Stress modéré dû au Froid	Frais
de -27 à -13	Fort stress dû au froid	Froid
de -40 à -27	Très fort stress dû au froid	Fortement froid
< -40	Stress extrême dû au froid	Très froid

Tableau III.7: Grille d'appréciation de l'UTCI (Source: Boko et al, 2013)

III-Conclusion :

La notion de confort urbain est relativement subjective et peut être influencée par des critères physiologiques ou culturels de chaque individu.

De nombreuses recherches ont été amenés à s'intéresser au confort thermique de l'individu vis-à-vis à son environnement pour en se rendre compte à l'importance de l'effet du confort thermique sur la santé et la productivité des hommes.

L'étude du confort dans l'espace extérieur se traduit comme l'étude des échanges thermiques qui se produisent entre le corps humain et son environnement.

L'environnement thermique est caractérisé par des paramètres physiques (la température de l'air, la température de rayonnement, l'humidité et la vitesse de l'air). Ces variables réagissent avec l'activité et le taux métabolique et l'habillement pour établir son état thermique de l'individu.

Les paramètres climatiques influent le confort thermique par l'intermédiaire des trois modes de transferts thermiques: la conduction, la convection et le rayonnement.

Le confort thermique participe au bien-être et au confort en général et se définit selon plusieurs variables : physiologiques (thermorégulation, homéothermie), physiques (création et échanges de chaleur avec l'environnement extérieur), psychologique (sensation de confort).

Pour évaluer le confort thermique à l'extérieur, des indices spécifiques ont été définis. Ils intègrent les facteurs qui définissent l'environnement thermique humain et prévoient la réponse des individus.

CHAPITRE IV :

Impact de la géométrie urbaine sur le confort thermique extérieur

IV- Introduction :

La ville est un organisme (composition dynamique en évolution permanente), elle représente un espace constitué par l'assemblage de plusieurs formes urbaines, qui reflètent chacune une vision ou une théorie de la ville à une époque donnée. Chaque grande idéologie politique ou urbaine a produit des formes urbaines originales, ([Athamena ,2012](#))

En outre, les conditions climatiques, le confort thermique et les formes urbaines sont trois domaines importants pour l'amélioration de la qualité environnementale de la ville.

La qualité des espaces publics urbains présente un intérêt majeur et il est reconnu que ces espaces peuvent contribuer à une bonne qualité de vie en milieu urbain

Les configurations urbaines sont définies pour certains paramètres comme l'orientation, la géométrie, la couverture de surface, la couverture végétale, le facteur de vue du ciel et la surface bâtie. Les méthodes comprennent la combinaison de mesures microclimatiques et les modélisations. ([Villadiego Bernal ,2014](#))

Dans ce chapitre, nous allons présenter plusieurs recherches et expériences sur l'analyse de l'impact de la géométrie sur le confort thermique dans les espaces extérieurs.

IV- 1-Forme urbaine :

La ville se définit comme une combinaison de formes pleines et concaves. Les formes pleines sont les masses construites par les bâtiments, les formes concaves sont celles des vides urbains, des espaces publics, des espaces collectifs où une coopération entre individus est nécessaire. Les typologies qui en émanent sont souvent prédéterminées par la nature du site et par son mode d'occupation (les relations internes, les voies de circulation, les îlots, le parcellaire... etc. (Ait amour, 2002)

La forme urbaine peut être définie comme une partie de la ville qui désigne un tissu particulier.

Elle peut être caractérisée par trois facteurs : *les éléments, la structure ou le tissu urbain et les logiques et les moyens.*

a- Les éléments : le parcellaire, le plan, l'îlot, l'utilisation du sol.

- **Le parcellaire :** *C'est le résultat du découpage du sol en lots et en parcelles. Il porte la marque d'une histoire souvent complexe dont l'origine est le partage agricole, mais suivi de remaniements d'autant plus nombreux qu'on se situe dans une partie anciennement urbanisée.*

- **Le plan :** *C'est la forme structurée par la trame viaire ou par le maillage. Les grands éléments du plan sont en général d'une grande stabilité (plusieurs siècles).*

- **L'îlot :** *C'est un ensemble de parcelles délimité par des voies. De taille variable, il peut être la base de la constitution d'un quartier.*

- **L'utilisation du sol :** *L'usage définit des « ensembles fonctionnels » dans la ville (espaces industriels, tertiaires, de loisirs ou résidentiels). Il détermine un parcellaire et des formes adaptées particulières ainsi que leurs évolutions.*

b- La structure : c'est le mode d'organisation des éléments entre eux en construisant un tissu urbain. Elle peut être continue, discontinue, plus ou moins dense...

c- De logiques et de moyens : le contexte social, politique, économique, technique, local et la pensée urbaine. (Duny, 2010)

Ait amour (2002) a déterminé deux échelles pour étudier la forme urbaine (l'échelle de tissu urbain, l'échelle de l'espace public).

IV-1-1- Le tissu urbain :

La forme urbaine peut être ainsi définie comme une partie de la ville qui désigne un tissu particulier.

Le tissu urbain est composé d'un système englobant des éléments bâtis et non-bâtis, distribués de façon morphologiquement homogène. Les éléments non bâtis (réseau viaire, parcellaire, espace libre, orographie, hydrographie, couverture végétale), constituent sa forme élémentaire. On distingue 04 indicateurs :

IV- 1-1-1- Densité du bâti :

Selon Stewart (2011), cité par Villadiego Bernal (2014), La densité du bâti représente l'emprise au sol donc le rapport entre la surface des toitures et la surface totale, Ce paramètre est important parce qu'il exprime la quantité de surface exposée au rayonnement solaire, qui affecte la dispersion de la chaleur sur le sol et les régimes du vent.

D'après Merlin et Choay (1988), cité par Ait amour (2007), le principe de la densité urbaine est le taux d'occupation au sol des constructions sur la surface totale. Elle prend en compte la surface utilisée par les équipements publics (écoles, locaux collectifs divers, ...etc.), les équipements privés (bureaux, entreprises,... etc.) et les logements d'habitation. Cette densité varie selon le mode d'occupation de l'espace. La densité est exprimée par l'équation suivante.

$$Ds = \sum_{i=1}^{i=n} Ap_i / As$$

Ap_i : surface de plancher du bâtiment i

As : surface totale

i : nombre de bâtiments au sol

Plusieurs coefficients caractérisent la densité urbaine, on peut citer :

- COS = surface constructible / surface de parcelle.
- L'emprise au sol ou le Coefficient d'Emprise au Sol (CES) = (surface du rez-de-chaussée / surface de l'îlot hors voirie publique.
- Densité de population = nombre d'habitants / surface (kilomètres carrés ou hectares)
- Densité résidentielle = nombre de logements / surface (hectares)
- Densité d'emplois = nombre d'emplois / surface (hectares)
- Densité d'activité humaine = (nombre d'habitants + nombre d'emplois)/surface (hectare)

(Adam. 2011)

IV- 1-1-2- Densité végétale:

La densité végétale fait référence à la distribution horizontale de tous les aménagements verts dans un espace urbain (parcs végétaux, jardins arbres) et leurs rapports avec la surface totale d'étude. Elle a des impacts essentiels sur le bilan des températures et des humidités relatives de l'air dans le tissu urbain. (Boukhelkhal, 2014)

$$D_v = A_v / A_e$$

A_v : surface totale de l'aménagement vert;

A_e : surface totale du périmètre de calcul.

IV-1-1-3- Rugosité urbaine:

La rugosité du tissu urbain est caractérisée par la hauteur moyenne de la canopée urbaine, constituée par les surfaces bâties, les surfaces végétales verticales et horizontales, et les surfaces non bâties. (Ouamer, 2007)

$$R_u = S_b / S_{cu}$$

R_u: Rugosité urbaine;

S_b : surface bâtie;

S_{cu} : Surface de la canopée urbaine;

En milieu urbain, le mouvement de l'air est fortement perturbé par la présence des obstacles (végétation, bâti, etc.) mais aussi par des phénomènes thermiques liés notamment à l'ensoleillement. (Ringebach, 2004)

Dans les basses couches (0 à 300mètres), la forte rugosité de l'aménagement urbain produit des forces de frottement qui réduisent ou accélèrent la vitesse du vent avec création de turbulence. (Athamena, 2012)

La longueur de rugosité (Z₀) est déterminée par la vitesse du vent, la hauteur et la densité du bâti. (Villadiego Bernal, 2014)

La hauteur Z_d et la rugosité Z₀ peuvent être estimées à partir de valeurs caractéristiques pour différents types de zones urbaines (Bozonnet, 2005)

Types de zones urbaines	Hauteur moyenne ZH (m)	Hauteur de déplacement Zd (m)	Longueur de rugosité Zo(m)
Densité et hauteur faibles (bâtiments à 1 ou 2 étages)	5-8	2 - 4	0,3 - 0,8
Densité et hauteur faibles (bâtiments à 2 ou 3 étages)	7-14	3,5 - 8	0,7 - 1,5
Forte densité et grande hauteur (bâtiments à 6 étages)	11-20	7 – 15	0,8 - 1,5
Immeubles de grande hauteur	>20	>12	>2,0

Tableau VI.8: Propriétés aérodynamiques typiques pour des zones urbaines homogènes. (Source: Bozonnet, 2005)

IV-1-1-4- Porosité urbaine:

La porosité urbaine est basée sur le rapport entre le volume d'air des creux urbains et le volume de la canopée urbaine. (Tsoka, 2011)

Les tissus poreux ou ouverts engendrent des perturbations aérodynamiques. En effet, la porosité horizontale ou verticale des tissus urbains (rues, squares, cours, espaces résidentiels,...) ainsi que la porosité des immeubles (pilotis, trous,) modifient l'écoulement de l'air et créent des zones à risques liées à de forts courants d'air. (Athamena, 2012)

IV- 1-2- 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.

IV-1-2-1- Facteur de Vue du Ciel (Sky View Factor) :

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. Varie entre 0 et 1 ; où un SVF égal à 1 signifie que la vue du ciel est

dépourvue de toute obstruction (champ isolé) et un SVF égal à 0 signifie que, la vue du ciel est totalement obstruée. (Athamena, 2012)

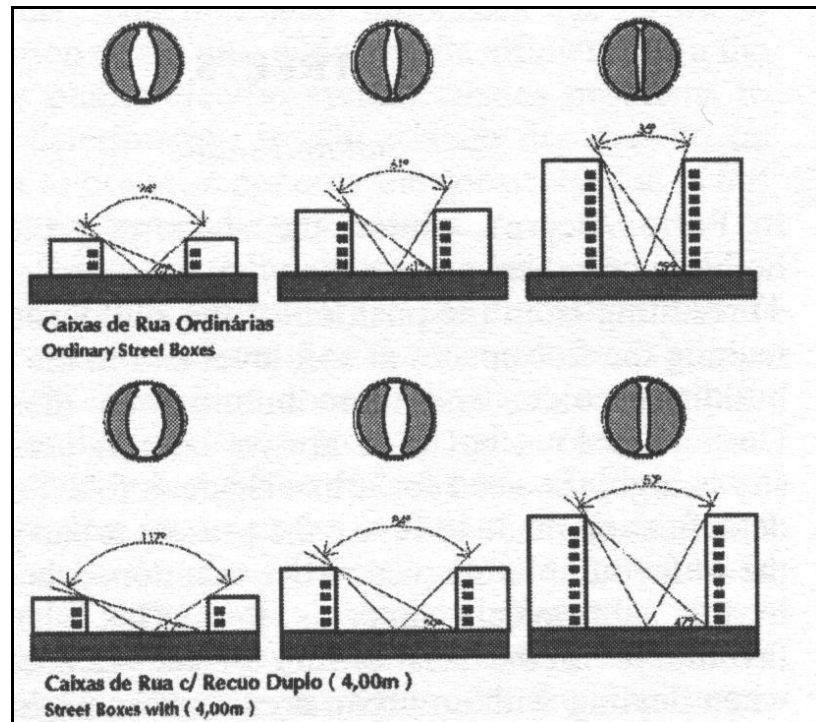


Figure IV.41: Taux d'ouverture de l'espace entre deux bâtiments pour différents profils de rue

(source : Ait amour, 2002)

IV-1-2-1-1- Méthode de calcul :

Le facteur de vue du ciel peut être évalué par un procédé photographique, le dispositif est constitué par un appareil photo numérique couplé à un objectif fish-eye. (Ben Messaoud.O,2010)



Figure IV.42: Caméra de champ de vision hémisphérique pour l'estimation du facteur de vue de ciel
(source : Ben Messaoud, 2010)

La valeur du facteur de vue du ciel peut être calculée à partir de modèles numériques, basés sur la connaissance de chaque angle constituant l'hémisphère ainsi que l'élévation qui y est associée (en rapport avec l'ombre générée) angle β et α angle d'azimut. En conséquence, le facteur de vue du ciel peut être considéré comme la somme de toutes ces informations sur les angles rapportés sur l'ensemble de l'hémisphère : Plusieurs logiciels permettent de calculer le facteur vue du ciel en se basant sur la formule précédemment citée, parmi ces nombreux programme nous citons : Solene, Ecotect Analysis, l'option «Héliodon virtuel» de AutoCAD, EnerCAD. (<http://www.guide-clea.fr>, 2015)

IV-1-2-2- Ratio H/L :

Le ratio H/L exprime le rapport entre la hauteur moyenne des constructions et sa largeur.

(Boukhelkhal, 2014)

Pour calculer le rapport H/L il suffit de diviser la moyenne des hauteurs des bâtiments par la distance moyenne entre les bâtiments. Dans l'analyse de rapport H/L il faut aussi prendre en compte l'orientation des rues, car ceci va conditionner de manière importante l'incidence solaire. (Villadiego Bernal, 2014)

Le Ratio affecte considérablement la quantité de rayonnement solaire incidente rayonnement et par rapport à l'ombre qui affecte fortement les températures de surface et par conséquent agit sur les échanges énergétiques de l'espace (**Figure 3**). (Boukhelkhal, 2014)

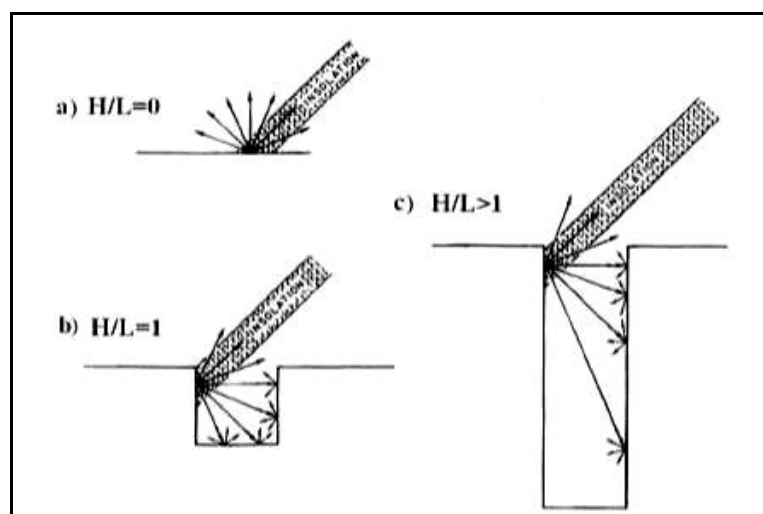


Figure IV.43: Distribution schématique du rayonnement solaire incident dans différents scenarios

de H/L (source : Djaafri, 2002)

Selon Santamouris (2001) (cité par Ouamer, 2007), Le ratio H/L peut modifier l'écoulement initial du vent, c'est-à-dire son écoulement avant d'atteindre l'espace. Une fois dans l'espace (lorsque les dimensions urbaines le permettent), les façades environnantes peuvent canaliser le vent, le freiner et entraîner des mouvements tourbillonnaires au pied des constructions

(Figure 4).

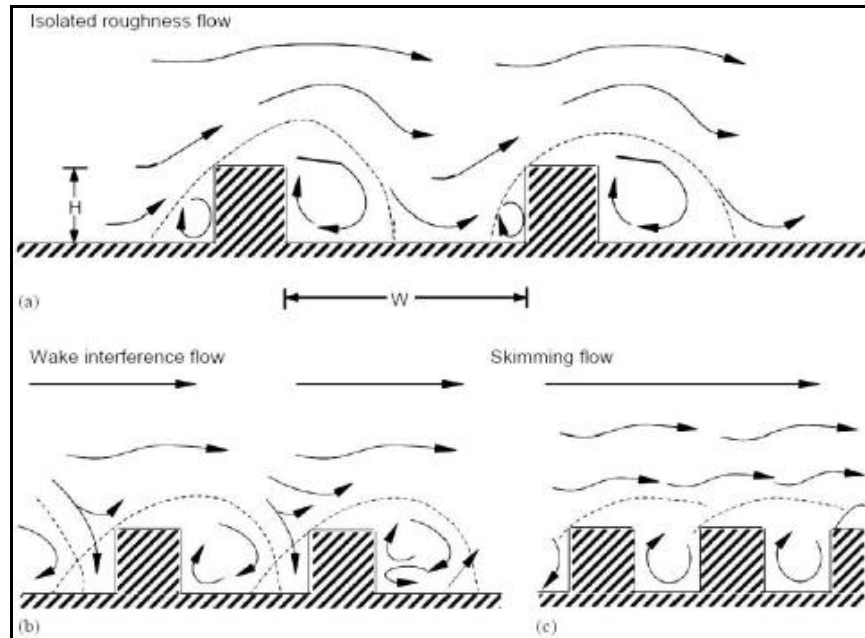


Figure IV.44: Profil de la circulation de l'air en fonction du rapport de la hauteur moyenne de la rue et sa largeur (Source : Kitous, 2012)

IV-2-Les études de référence :

IV-2-1- Etude de Boucheriba et al (2010) :

L'objectif de cette recherche est l'évaluation du confort thermique au niveau de deux axes routiers dans un site urbain colonial, situé au centre-ville de Constantine. Il s'agit du « COUDIAT », d'une altitude moyenne de 630m environ. L'occupation du sol du « Coudiat » consiste en des immeubles de 8 à 25 mètres de haut ayant une destination mixte (habitations, commerces et lieux de travail).

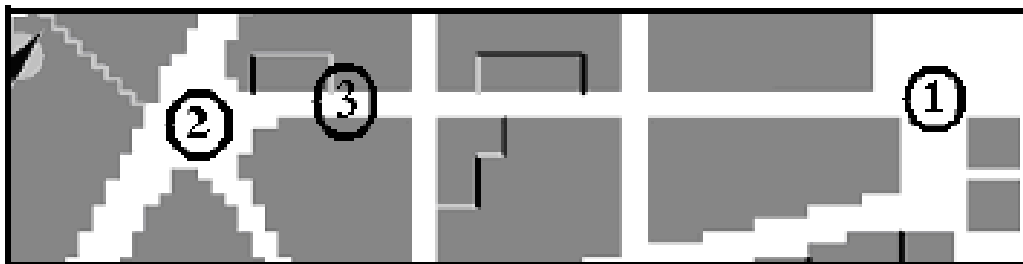


Figure IV.45: Plan du 1er axe simulé ; Nord Est -Sud Ouest comprenant 3 stations

(Source : Boucheriba et al ,2010)



Figure IV.46: Plan du 2ème axe simulé ; Nord Ouest -Sud Est comprenant 1 station

(Source : Boucheriba et al ,2010)

L'étude a procédé à l'évaluation de la température de l'air entre les trois types d'espace : ouvert, semi ouvert et canyon afin de pouvoir définir la géométrie la plus avantageuse pour un climat semi aride comme celui de la ville de Constantine.

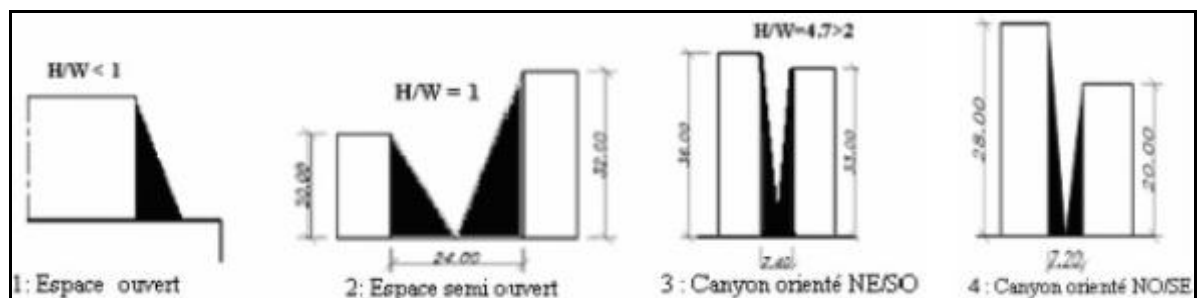


Figure IV.47: Coupes schématiques déterminant la géométrie des stations 1, 2,3 et 4

(Source : Boucheriba et al ,2010)



Figure IV.48: Photos Fish-eye prises au niveau des quatre stations respectivement de gauche à droite : (1) espace ouvert, (2) espace semi ouvert, (3) et (4) espaces de type Canyon

(Source : Boucheriba et al ,2010)

Ensuite, l'auteure a procédé à l'évaluation du confort thermique extérieur sur la base d'un indice de confort PMV (vote moyen prévisible). Cette recherche est basée sur le programme de simulation ENVI-met3 et a donné les résultats suivants :

IV-2-1- 1- Simulation de l'axe NORD EST-SUD OUEST :

IV-2-1- 1-1- Température de l'air (Tair) :

Dans l'après midi (15h00), la température de l'air des deux espaces ouvert et semi ouvert connaît une hausse importante arrivant jusqu'à 35.5°C et 35.3°C respectivement. Le canyon n°4 est légèrement moins chaud.

IV-2-1- 1-2- Vote moyen prévisible (PMV) et température moyenne de surface (MRT) :

La température de l'air connaît une grande corrélation avec l'indice de confort PMV et également avec la température moyenne de surface. Ceci est expliqué par l'impact direct des radiations provenant des différentes surfaces sur la température de l'air. L'espace canyon est nettement plus frais et plus confortable. Ce résultat est présenté par le tableau suivant :

	15h00		
	Tair (°C)	MRT (°C)	PMV
Espace dégagé	35.50	84.42	06.90
Canyon	35.00	58.00	04.90
Espace dièdre	35.30	79.00	06.50

Tableau IV.9:Relation entre la température de l'air, la température moyenne de surface et le PMV

(Source : Boucheriba et al ,2010)

IV-2-1- 2- Simulation des deux canyons NE/SO et NO/SE :**IV-2-1- 2-1- Température de l'air :**

La température de l'air au niveau du canyon NE-SO est généralement plus faible que celle du canyon NO-SE. L'écart atteint un maximum de 1.5°C pendant la journée et il résulte essentiellement de la différence de géométrie ($H/W= 4.7$ pour le canyon NE-SO et $H/W = 3.3$ pour le canyon NO-SE).

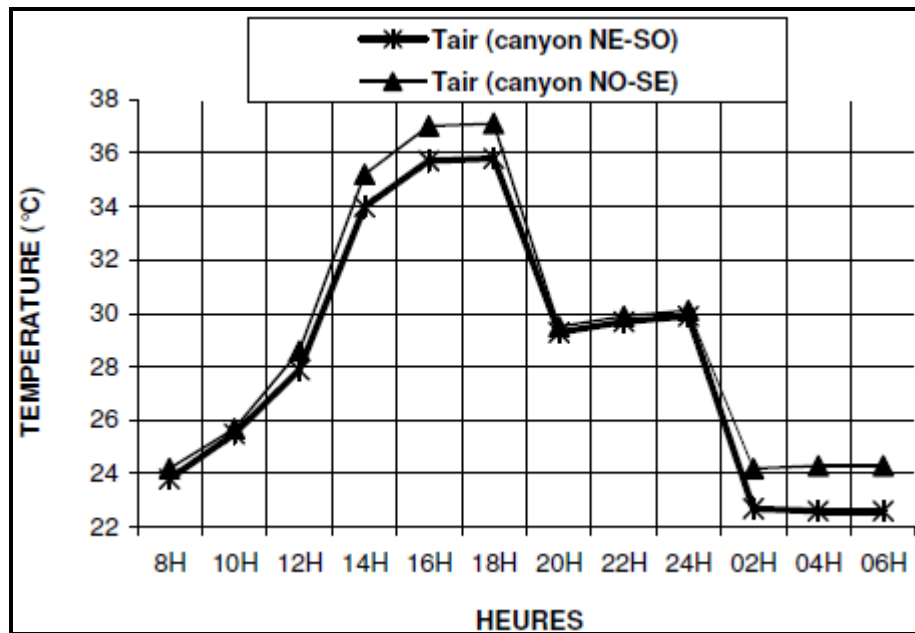


Figure IV.49: Variation de la température de l'air dans les deux canyons NE-SO et NO-SE

(Source : Boucheriba et al ,2010)

IV-2-1- 2-Température moyenne radiante :

La figure n°41 montre que le canyon NE-SO avec un ratio de 4.7 Et un SVF de 0.12 permet l'accès direct des rayons solaires d'été touchant ainsi une importante partie des surfaces (sol & façades) comparé avec le canyon NO-SE avec un ratio de 3.3 et un SVF de 0.076.

La température moyenne radiante varie en fonction de l'importance des radiations solaires reçues et réfléchies par les surfaces. Sa valeur maximale atteint 70°C pour les deux canyons, au moment où la valeur minimale enregistrée dans la nuit est de l'ordre de 14.50°C dans le canyon NE-SO et 14.7°C dans le canyon NO-SE.

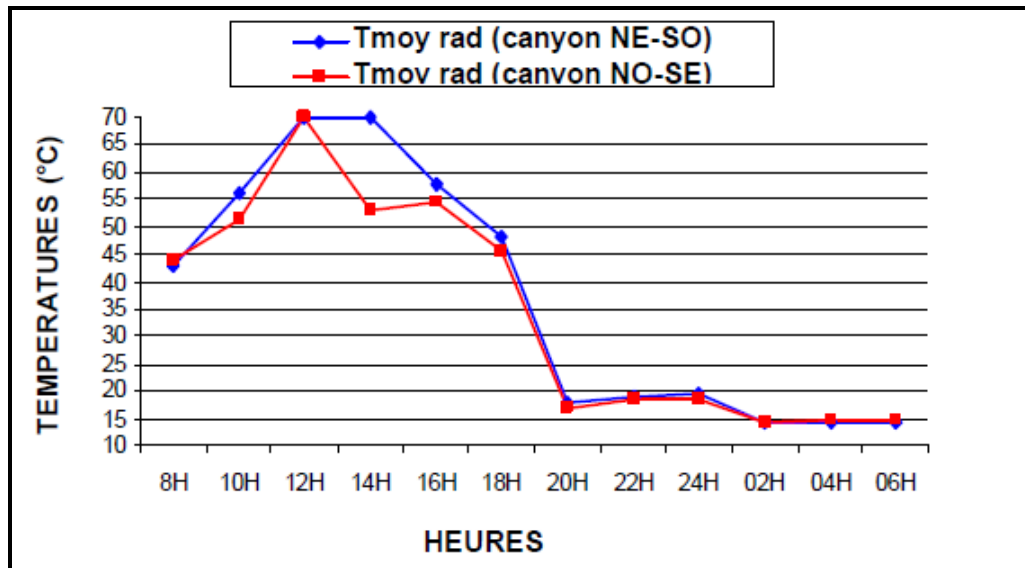


Figure IV.50: Variation de la température moyenne radiante dans les deux canyons NE-SO et NO-SE (Source : Boucheriba, 2004)

IV-2-1-3- Vote moyen prévisible (PMV) :

Le confort thermique au niveau des deux canyons simulés est évalué en fonction de l'indice de confort PMV. Les valeurs du PMV varient entre 6.4 et -0.71 dans le canyon NE-SO et entre 5.20 et -0.23 dans le canyon NO-SE. La valeur du PMV dans les deux canyons se situe dans la zone de confort entre 8h00 et 12h00, ainsi qu'entre 19h00 et 6h00, alors qu'elle se trouve dans la zone chaude entre 12h00 et 19h00. Néanmoins, l'ambiance thermique dans le canyon NE -SO reste plus proche de la température neutre que celle du canyon NO-SE

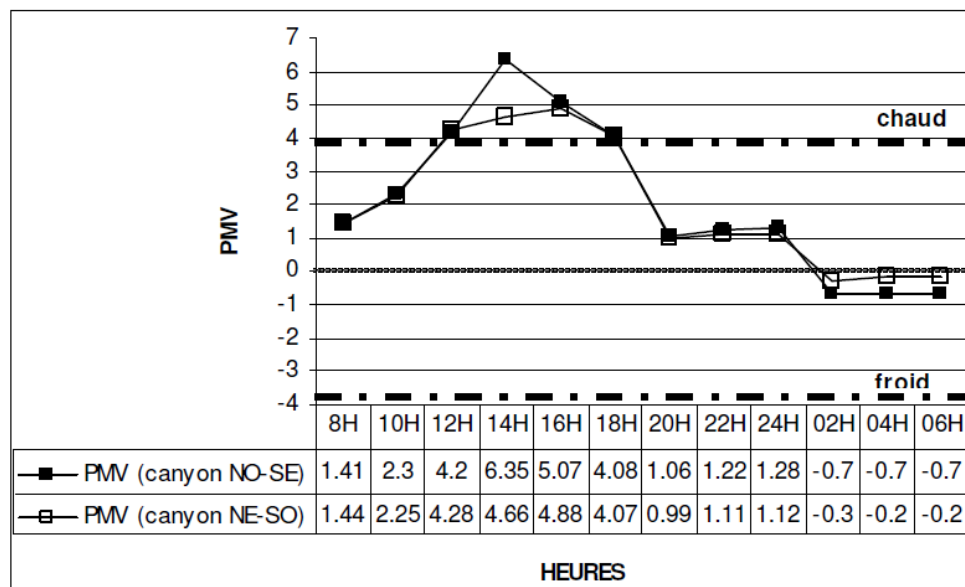


Figure IV.51: Variation du PMV dans les deux canyons NE-SO et NO-SE.

(Source : Boucheriba et al ,2010)

En conclusion, le canyon orienté NE–SO avec un rapport égal à 4.7 est le plus avantageux pour un confort thermique extérieur. Ce résultat ne peut être généralisé étant donné que le paramètre affectant réellement le confort thermique dans un canyon ne peut être distingué seulement par la simulation de ces deux canyons. Pour cela, il est indispensable de procéder au changement des deux paramètres : le rapport H/W et l'orientation avantage offerte par le programme ENVI-met3 afin d'aboutir à une géométrie et une orientation optimale propre au climat de la ville de Constantine.

IV-2-2- Etude de Johanssen (2006) :

Dans la ville de Fez au Maroc, l'étude de Johansson (2006) a traité l'influence de la géométrie sur le confort thermique, il entend par géométrie le rapport entre la hauteur des bâtiments et la largeur des rues (H/L). Donc distinction entre les rues étroites (Medina) et les rues plus larges (nouvelle ville) et essayé de comparer les effets de ces configurations sur les conditions microclimatiques et notamment sur le confort. On retrouve dans ce travail l'utilisation de l'indice de confort PET

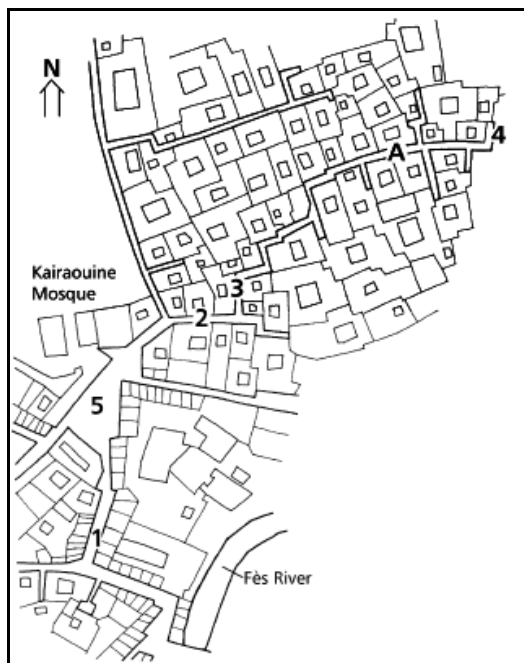


Figure IV. 52: Centre de la Médina avec le quartier Seffarine

(Source : Johanssen, 2006)

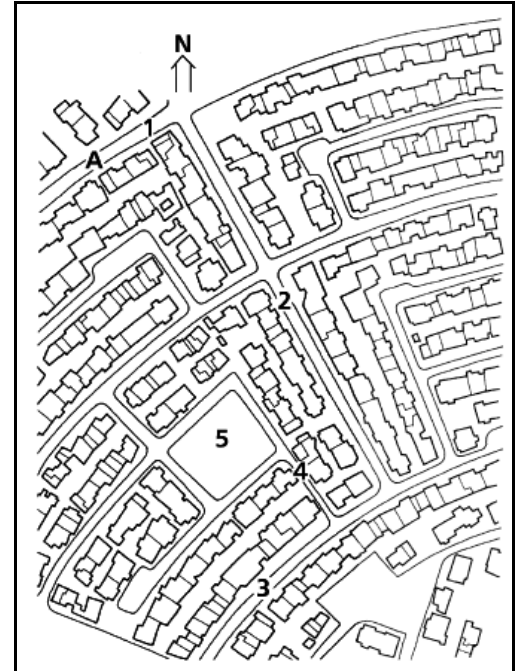


Figure IV.53: La Nouvelle Ville avec le quartier Adarissa au sud

(Source : Johanssen, 2006)

Il a conclut que durant la période estivale, les rues étroites (médina) ont été plus fraîches que les rues larges (nouvelle ville). La rue de la Médina présente un climat entièrement compris dans la zone de confort, par contre pour ce qui est du quartier moderne, les températures relevées sont supérieures à celles de la zone de confort tout au long de l'après-midi

L'effet de l'ombre sur les rues étroites fait que les surfaces reçoivent moins de rayonnement solaire, ainsi que l'air ne se réchauffe pas autant que dans une configuration de faible rapport H/L. Par contre, la restitution de la chaleur pendant la nuit est plus lente à cause du faible SVF, donc les rues étroites ont une température plus élevée la nuit que celle des rues larges.

IV-2-3- Etude de Krüger et al (2011) :

Krüger et al (2011), pour leur part, prennent en compte le SVF comme le rapport H/L pour la définition de la géométrie. Ce travail relie l'analyse de l'influence de la morphologie urbaine sur le microclimat avec l'étude du confort thermique en espaces extérieurs.

Curitiba (sud du Brésil). Situé à 25° 25' S, 49° 16' W et altitude de 934 m, dans une région de climat océanique tempéré (Cfb sous la classification de KöppeneGeiger), avec un hiver sec.

Cette étude se concentre sur le XV de Novembro Street, une rue piétonnière au centre-ville de Curitiba, C'était la première rue piétonnière établi au Brésil, pendant les années 1970

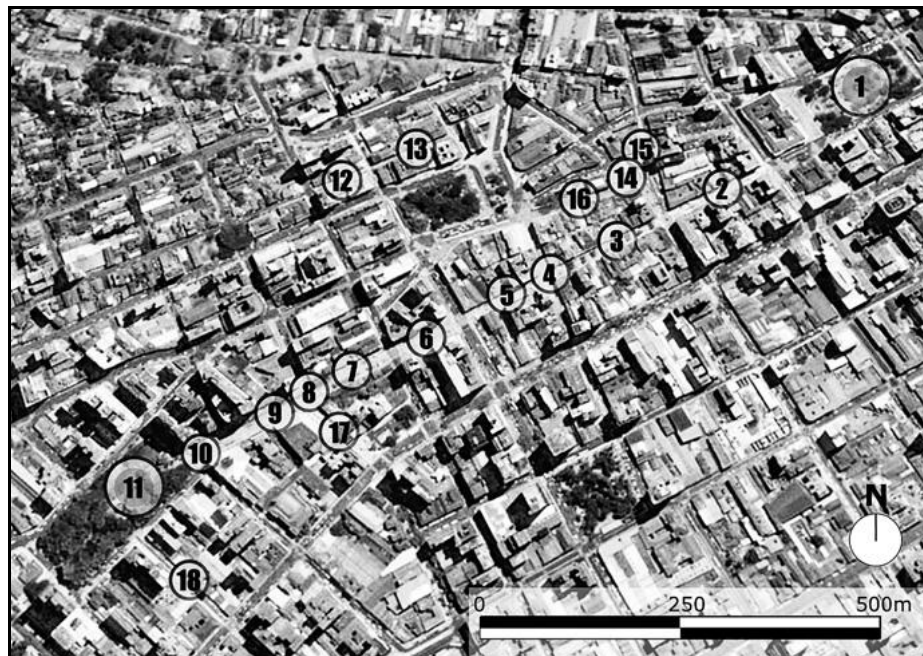


Figure IV.54: Les points de mesure (Source : Johannsen, 2006)

CHAPITRE IV Impact de la géométrie urbaine sur le confort thermique extérieur

Les bâtiments tout au long du XV de Novembro ont été construits sur plusieurs décennies : maisons en terrasse à la fin du 19ème et début du 20ème siècle, 5et 6 d'étage (art -déco) bâtiments à partir des années 1940 et 1950, et gratte-ciel depuis des années 1960 et 1970 (mouvement moderne)

Des mesures ont été prises entre janvier et août 2009, plus de 14 jours

Point	SVF	H ^a	W	H/W
2	0.2	30	18	1.7
3	0.32	19	18	1.1
4	0.34	b	b	—
5	0.22	28	18	1.6
6a	0.26	32	25	1.3
6b	0.27	32	25	1.3
7	0.39	20	25	0.8
8	0.37	b	b	—
9	0.29	33	30	1.1
10	0.30	32	30	1.1
13	0.21	21	9	2.3
14	0.55	c	c	—
16	0.38	c	c	—
17	0.21	29	18	1.6
18	0.3	20	18	1.1

Tableau IV.10: Les caractéristiques des points de mesure (Source : Johannsen, 2006)

La première partie de l'analyse présentée dans cette étude est consacré à l'impact de la géométrie urbaine sur les températures locales et sur les niveaux de confort, en utilisant comme indicateur le Sky-view Factor (SVF) de plusieurs points de mesure, Utilisant logiciel Rayman pour calculer SVF à partir des images fisheye de chaque points de mesure. Avec des mesures microclimatiques, une enquête de confort a été effectuée avec la population locale, avec des questionnaires de confort, conçu à partir des recommandations de la norme ISO 10551.

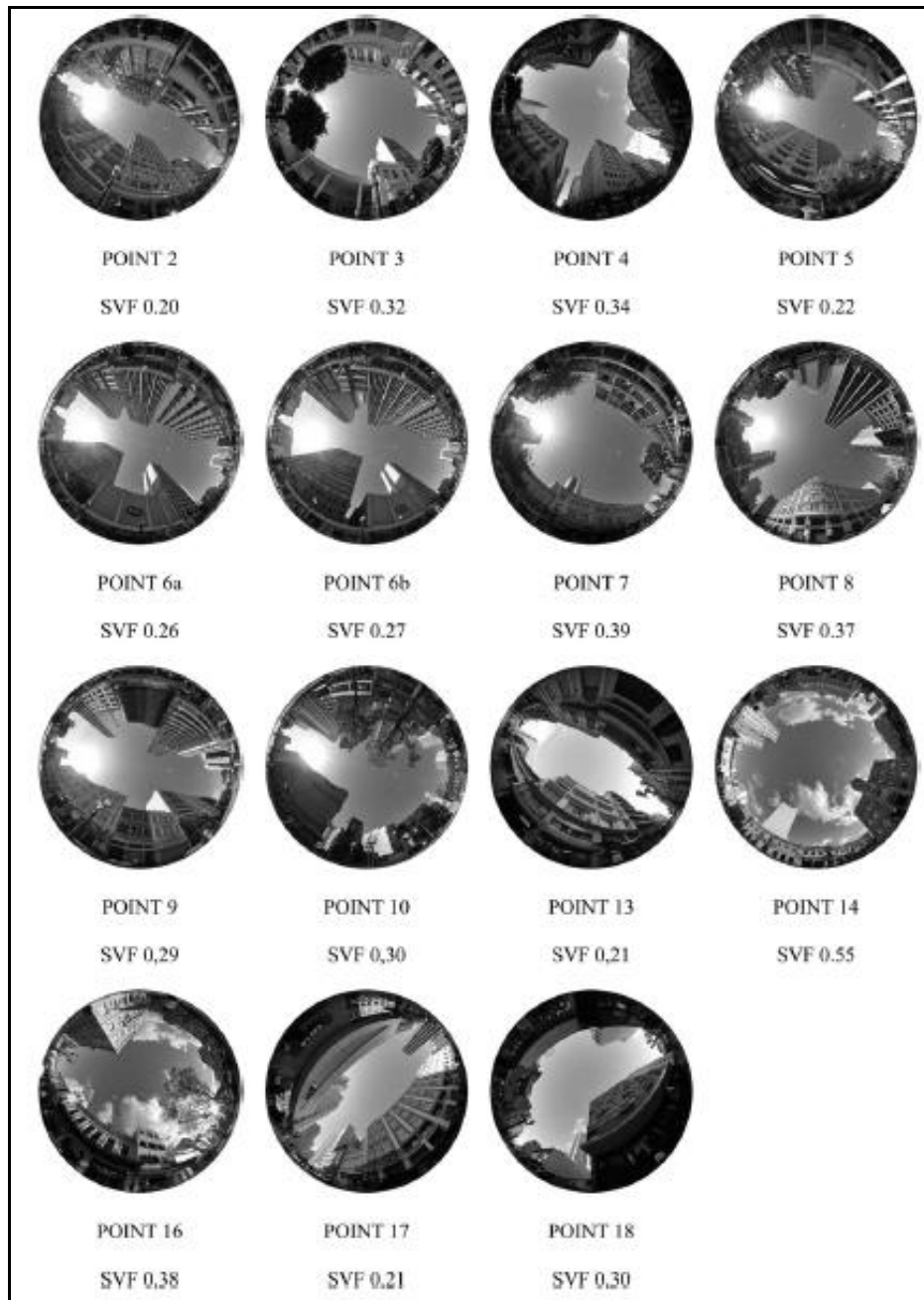


Figure IV.55: Photos Fish-eye prises et les valeurs de SVF au niveau des points de mesures.

(Source : Johannsen, 2006)

Conclusion : le facteur de vue du SVF n'est pas crucial pour expliquer le confort thermique ni les conditions thermiques des espaces extérieurs. C'est la grande quantité de variables et de propriétés urbaines qui interviennent et affectent la température, qui est la raison donnée par les auteurs de ces résultats.

IV-2-4- Etude de Toudert et Mayer (2006) :

Toudert et Mayer (2006) font appel aussi aux outils de simulation pour l'analyse de l'impact des configurations des rues sur le microclimat, notamment sur le confort des piétons dans le climat chaud et sec de Ghardaia (Algérie). Les auteurs mettent l'accent sur le rapport H/L et l'orientation comme variables principales. Les résultats donnent des indications importantes à prendre en compte dans la conception des rues. Ils ont également conclu que le confort thermique est très difficile à atteindre passivement dans des climats extrêmement chauds et secs, à cause de la difficulté à valider certains résultats.

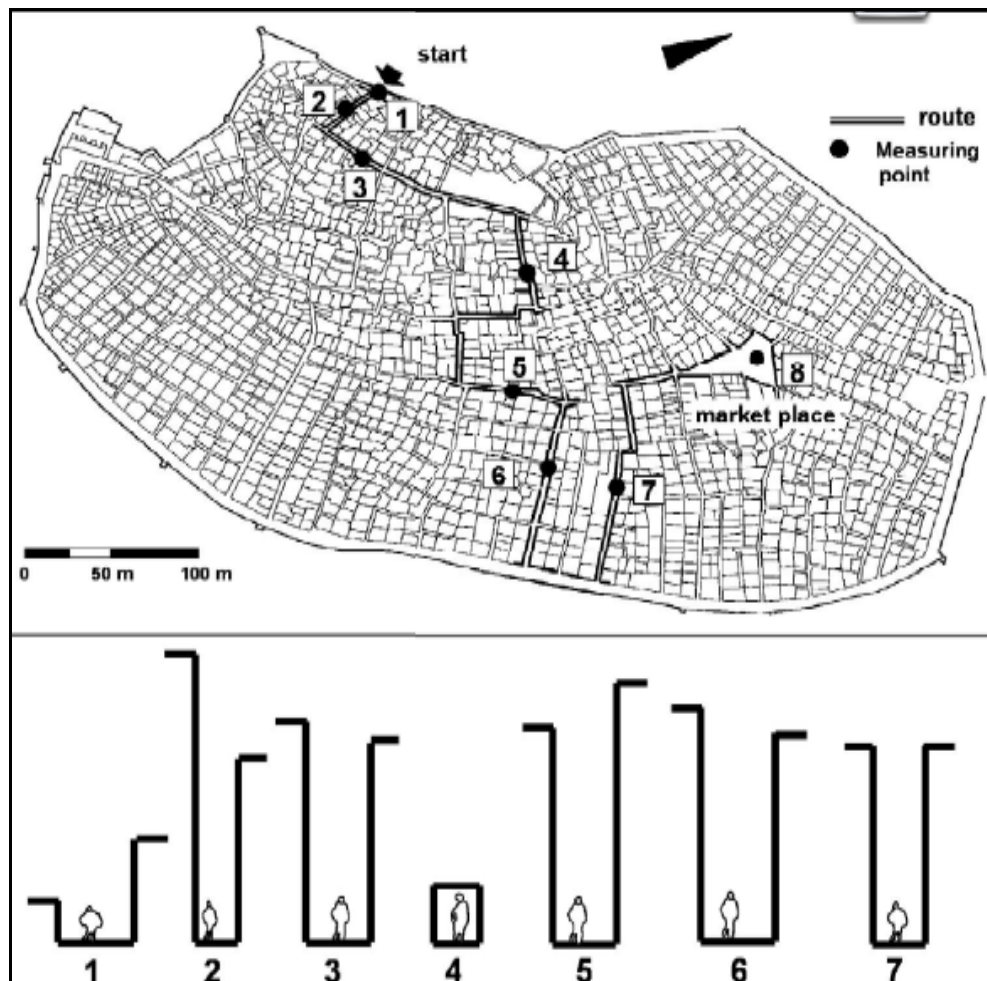


Figure IV.56: Stations de mesure à différentes Ratio H/L dans la vieille ville de Beni-Isguen

(Source : Toudert et Mayer ,2006)

IV-2-5- Etude de Zakhour (2015) :

Cette étude examine l'impact de la morphologie urbaine et de la géométrie sur le microclimat et le confort thermique en plein air dans un climat chaud-aride. Elle est basée sur une comparaison des conditions environnementales des canyons urbains traditionnels et modernes. La ville d'Alep a été choisie pour mener cette étude ; choix du à son tissu urbain unique.

La ville ancienne d'Alep, qui a été inscrite sur la Liste du patrimoine mondial par l'UNESCO depuis 1986, remonte à l'époque romaine-hellénistique, tandis que ses racines remontent encore au 3^e millénaire avant JC. Et la ville moderne d'Alep, remonte à la fin de la période de l'Empire ottoman et par ailleurs la colonisation française.

Quartier "Al-Jdeideh" a été choisi pour représenter le vieux tissu urbain d'Alep.

Quartier "La société des ingénieurs" a été choisie pour représenter le tissu urbain de la ville moderne d'Alep.

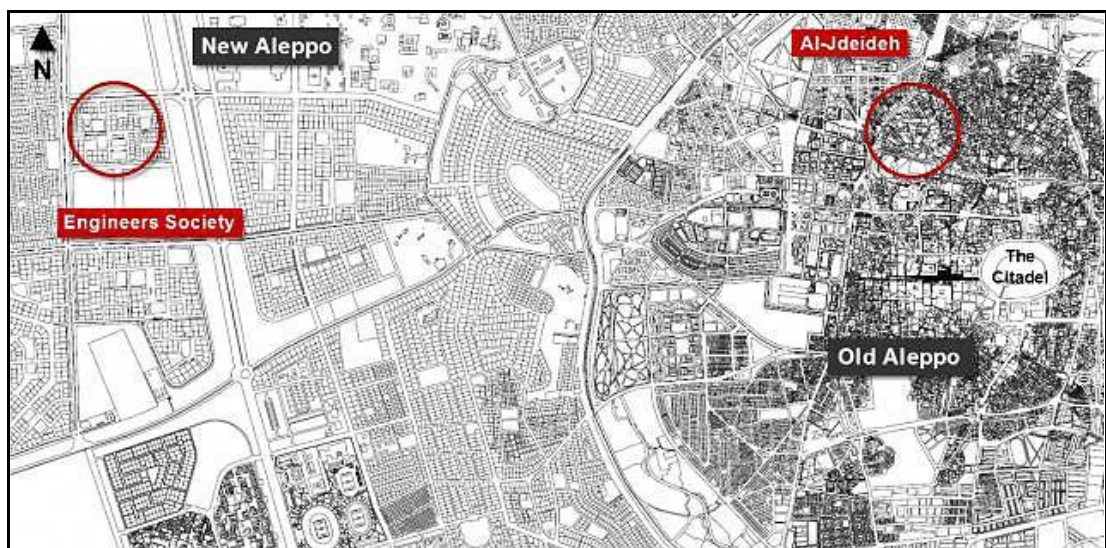


Figure IV.57: Emplacement des quartiers choisis "Al-Jdeideh" et "Engineers Society"

(Source : Zakhour, 2015)

IV-2-5- 1- Méthode d'investigation :

Les points de mesure ont été sélectionnés dans huit endroits avec diverses orientations et de plusieurs rapports d'aspect.

Points (1 à 4) et (A), dans Old Aleppo.

Points (5-6) et (B) dans New Aleppo.

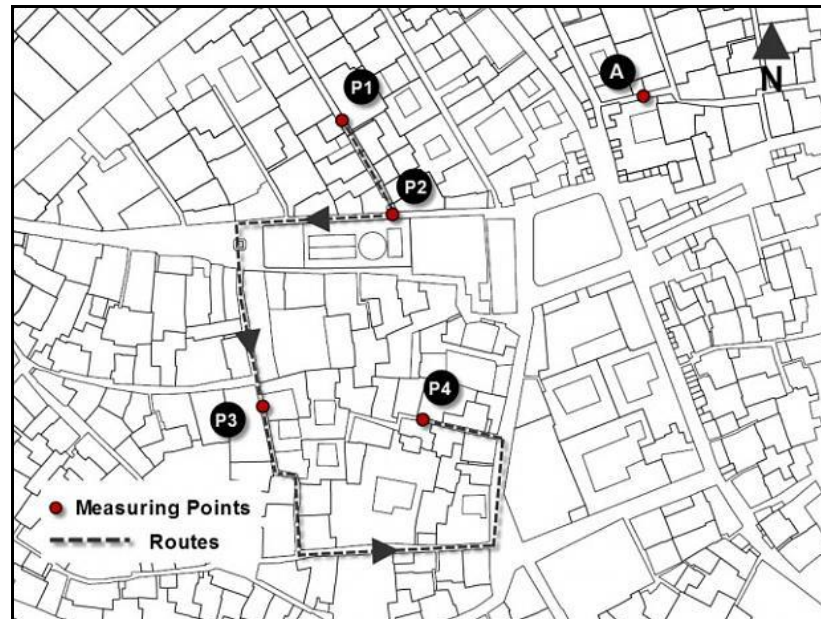


Figure IV.58: Les points de mesure (1 à 4) et (A), quartier Al-Jdeideh"(Source : Zakhour, 2015)

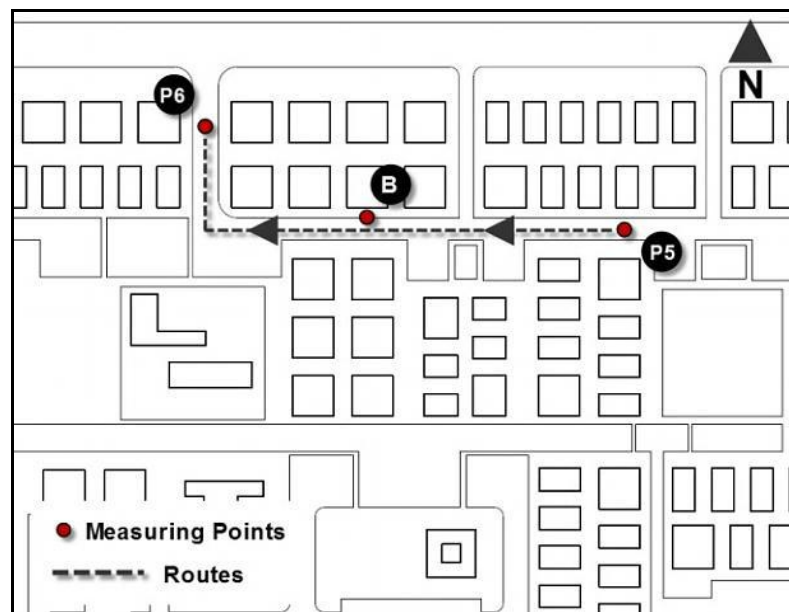


Figure IV.59: Les points de mesure (5-6) et (B), quartier "La société des ingénieurs"

(Source : Zakhour, 2015)

Les mesures instantanées pour les points (1 à 6) ont été effectuées dans un jour d'été en Juillet (19 Juillet 2012)

Les résultats de mesure sont indiqués dans le tableau ci-dessous

Area	Location	Average building height H (m)	Distance between buildings W (m)	Aspect ratio H/W	Orientation (angel from N)
Old	P1	8	2.1	3.81	SE-NW; 30
	P2	14	2.3	6.09	E-W
	P3	9	2.3	3.91	N-S
	P4	7	1.8	3.89	E-W
	A	10	3	3.33	E-W
New	P5	13	28	0.46	E-W
	P6	13	26	0.50	N-S
	B	13	28	0.46	E-W

Figure IV.60: Les paramètres géométrique des points de mesures (Source : Zakhour, 2015)

Les données de mesure enregistrées pour la journée (19 juillet 2012), ont été utilisées dans le processus d'évaluation du confort thermique (indice PET), en utilisant le logiciel Rayman. Les valeurs moyennes des PET à la période la plus chaude de la journée (midi-15 heures) montre que le PET est significativement corrélé avec le SVF ($R^2 = 0,834$), alors que le PET a augmenté avec les valeurs SVF.

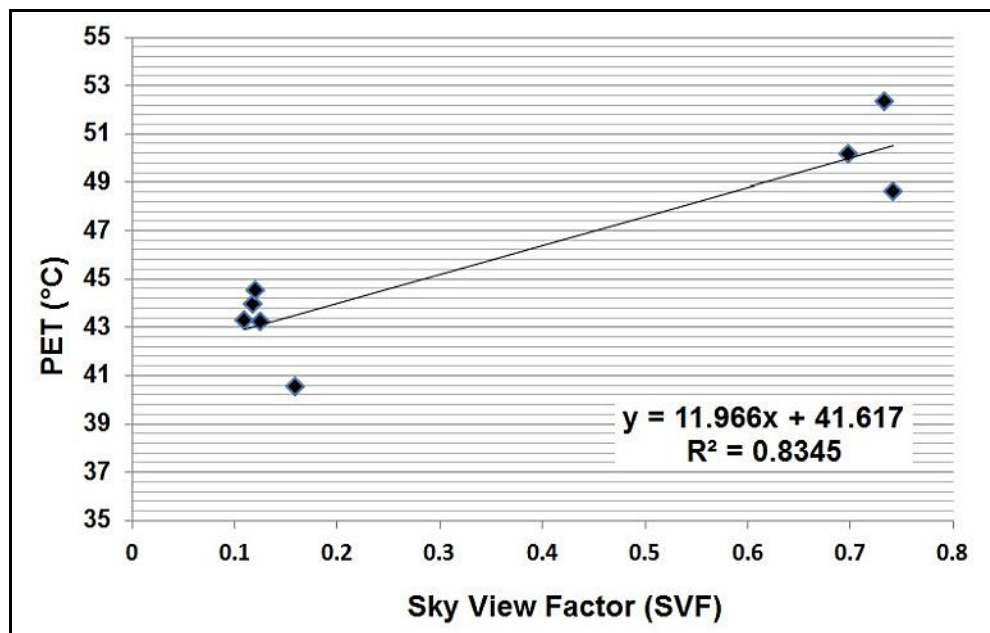


Figure IV.61: Corrélation des valeurs SVF et les valeurs moyennes des PET

(Source : Zakhour, 2015)

Cela confirme l'effet de la géométrie urbaine de la rue canyon représenté par la SVF sur le thermique extérieur. Le logiciel Envi-met a été utilisé pour évaluer le confort thermique extérieur (indice PMV). La simulation montre que les niveaux d'inconfort extérieur sont beaucoup plus élevés dans les larges rues de New Alep (PMV = 5), qu'aux canyons et les ruelles étroites urbaines dans le vieux Alep (PMV = 2,5 à 3)

IV-2-6- Etude Matzarakis et al (2014) :

Cette étude vise à quantifier l'état thermique de l'homme dans les espaces extérieurs et de développer des stratégies d'adaptation. Santos (23° 56' 15" S, 46° 19' 30" W et 2 m de l'altitude), est la ville principale dans la région métropolitaine de Baixada. Le climat de Santos est classé comme un climat tropical humide de forêt sans saison sèche.

Les configurations urbaines de Santos étaient représentées par les typiques rues selon le rapport (H/L. le rapport H/W des rues varie entre 0,5 à 5, avec ou sans arbres. La hauteur des bâtiments fondés à Santos sont: 10 m (jusqu'à 3 étages, 12 à 22 étages s), 150 m (entre 22 à 40 étages) avec une largeur de 20 m et 50 m, mais la distance entre le bâtiment aller jusqu'à 8m. (Figure22)































H/W	FEATURES	STREET VIEW	SVF
 0,5	Building Height: 1-2 floors Street: 20 m		 SVF=0.6
 1,0	Building Height: 6-12 floors Street /Canal: 50 m		 SVF=0.5
 1,5	Building Height: 3-6 floors Street: 20 m		 SVF=0.34
 2,0	Building Height: 12-22 floors Street/Canal: 50 m		 SVF=0.08
 2,5	Building Height: 6-12 floors Street: 20 m		 SVF=0.26
 3,0	Building Height: 22-35 floors Street/Canal: 50 m	Future Modifications due to new Urban Planning	 SVF=0.26
 5,0	Building Height: 12-22 floors Street: 20 m		 SVF=0.21
 7,5	Building Height: 22-35 floors Street: 20 m	Future Modifications due to new Urban Planning	 FVC=0.07
 5,0	Building Height: 12-22 floors Street: 20 m		 SVF=0.16
 5,0	Building Height: 22-35 floors Street: 20 m		 SVF=0.17
 5,0	Building Height: 12-22 floors Street: 20 m		 SVF=0.85

Figure IV.62: Les configurations urbaines de Santos, Brazil. (Source : Matzarakis et al, 2014)

IV-2-6-1- Méthodologie :

L'objectif de cette recherche a analysé l'influence des configurations urbaines sur les modifications du climat urbain, notamment sur le confort thermique.

L'analyse s'appuie sur le calcul de l'indice de confort PET, par un programme numérique « RayMan ». Pour cet objectif, des mesures horaires des paramètres microclimatique (la température de l'air, l'humidité de l'air, la vitesse du vent et le rayonnement solaire) ont été prises sur une période de sept ans.

Les configurations utilisées sont : canyon de 500 m de longueur, et 10m, 30 m, 50 m, 100 m, 150 m pour la largeur et sa hauteur était adopté 20 (rue) et 50 m (canyon) sont analysés dans l'orientation Nord-Sud et Est-Ouest (fig.).

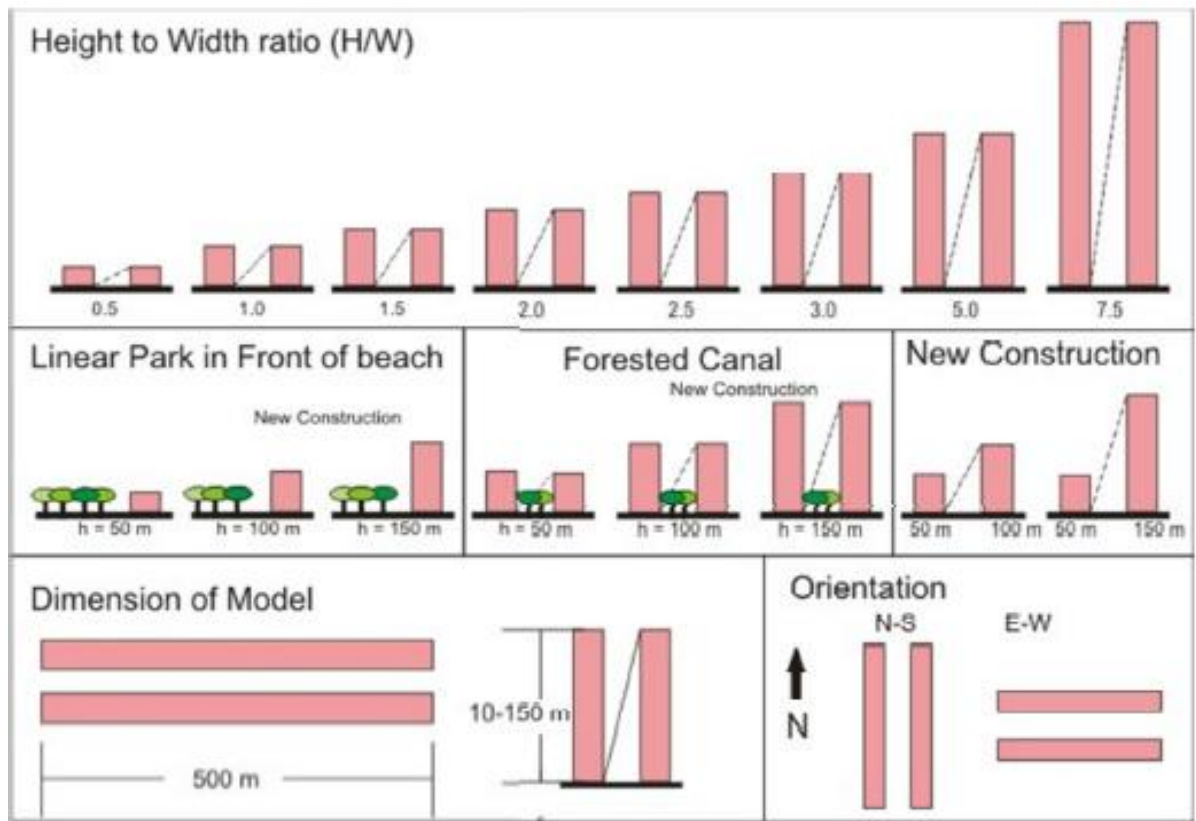


Figure IV.63: Les configurations utilisées (Source : Matzarakis et al ,2014).

La distribution d'une fréquence sur une base mensuelle pour la période d'étude (2002-2012) a été produite pour quantifier les conditions climatiques de Santos en termes de T_a et PET.

Les valeurs **inférieures à 13 ° C** représentent des conditions **froides**,

Les valeurs **comprises entre 13 et 29 ° C** sont conditions **confortables**,

Les valeurs **supérieures à 29 ° C** sont des conditions **chaudes**,

Les valeurs **supérieures à 35 ° C** représentent conditions de **stress thermique**.

	Ta	PET
hiver	23% froid	30% froid
	04% chaud	09% chaud
	72 %neutre	48% neutre
		07% stress
été	01% froid	04%froid
	17%chaud	10%chaud
	83%neutre	49%neutre

Tableau IV.11: Classification les fréquences de PET et Ta(Source : Matzarakis et al, 2014)

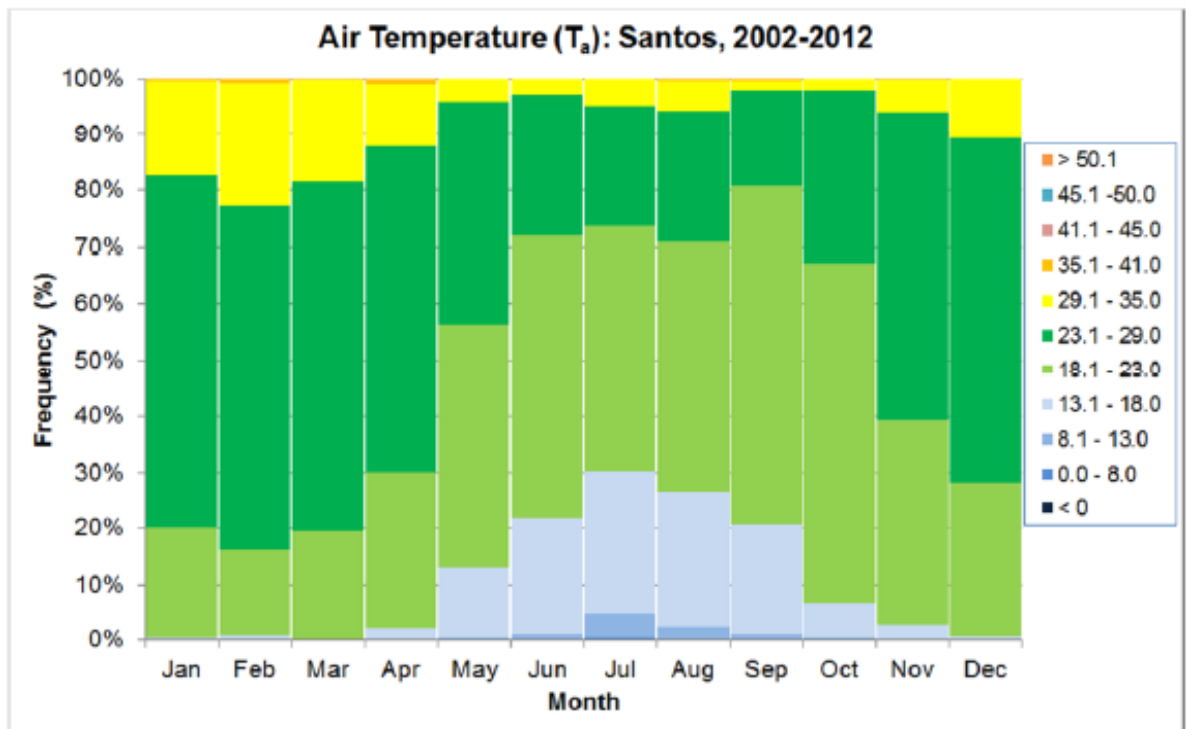


Figure IV.64: La distribution d'une fréquence mensuelle de Ta de Santos pour la période d'étude (2002-2012) (Source : Matzarakis et al, 2014)

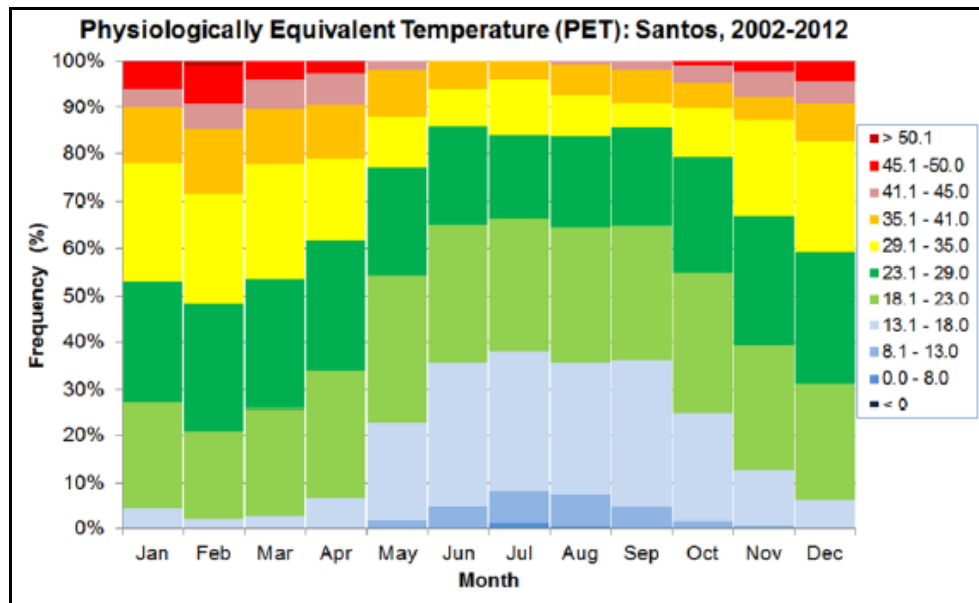


Figure IV.65: La distribution d'une fréquence mensuelle de PET de Santos pour la période d'étude (2002-2012) (Source : Matzarakis et al, 2014)

Les valeurs les plus élevées de PET pour l'orientation Nord-Sud et les valeurs les plus bas pour l'orientation est-ouest à midi.

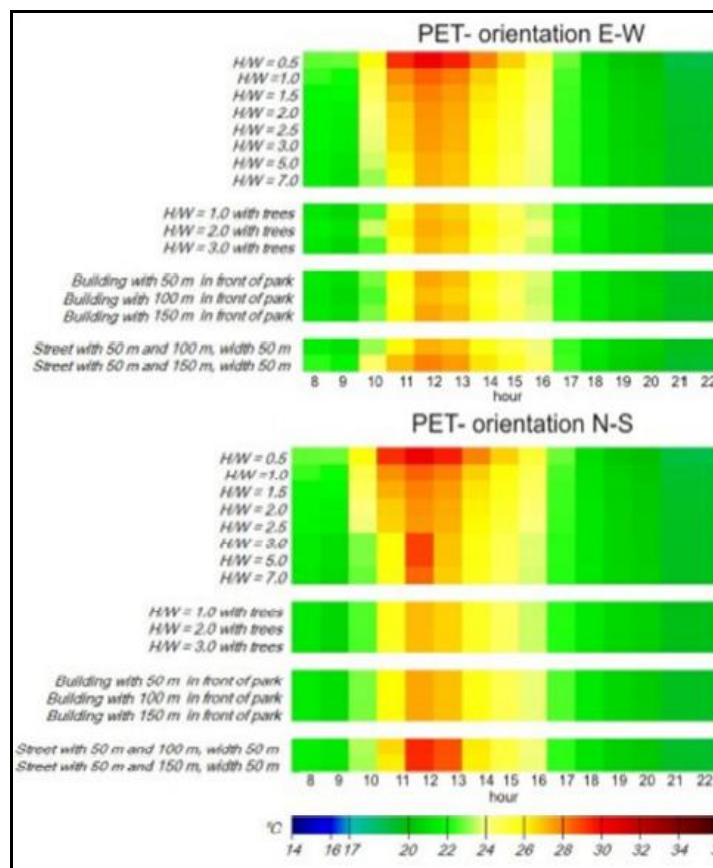


Figure IV.66: Les cours diurnes de PET (C°) pour les configurations urbaines de Santos,

période (2002-2012) (Source : Matzarakis et al, 2014)

Les résultats de simulation montrent que la hauteur, la largeur et l'orientation de canyon urbain sont des paramètres importants pour l'évaluation du confort thermique de Santos. Les résultats de simulations basées sur données à long terme sont importants pour les questions de planification. Les résultats montrent que l'orientation est-ouest et le rapport H / W entre 2,0 et 3,0 peut améliorer le confort thermique, mais le rapport H / W supérieure à 3,0 nécessite plus des mesures telles que la plantation de jardins verticaux pour contrôler les flux de chaleur dans le canyon de la rue.

IV- 3- Synthèse des études :

Les résultats des études développées ci-dessus indiquent clairement que, les caractéristiques de la conception urbaine influence directement sur le confort thermique.

Les expériences analysées confirment que les éléments de la géométrie urbaine (SVF, le Ratio H/L et l'orientation), ont une influence directe sur les paramètres microclimatiques et par conséquent, sur le confort thermique à l'échelle de l'espace public extérieur.

Ces études permettent de présenter les méthodes et les variables à prendre en compte pour l'étude du confort.

IV- Conclusion :

La géométrie urbaine et les activités humaines réalisées dans le milieu urbain interagissent avec les paramètres microclimatiques (rayonnement solaire, écoulements du vent, température de l'air et de surface), transformant ainsi le climat des villes. Les bilans thermiques et énergétiques des surfaces urbaines sont aussi modifiés entraînant ainsi un impact direct sur le confort des piétons en espaces extérieurs.

Dans ce présent chapitre, la lumière a été jetée sur quelques études analytiques et expérimentales récentes réalisées à travers le monde, comprenant l'interaction entre les paramètres climatiques et la configuration et l'aménagement urbain de l'espace en termes des conditions microclimatique et du confort thermique des piétons aux espaces extérieurs.

Certaines 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.

CHAPITRE V :

Présentation de cas d'étude

V-Introduction :

Dans ce chapitre, nous ferons une présentation de la ville de Batna sous un contexte dans lequel, nous allons effectuer notre recherche (situation, évolution historique de la ville, climat,).

À l'instar des autres villes algériennes, la ville de Batna a connu une urbanisation rapide. Les politiques urbaines en Algérie au cours de ces dernières années ont beaucoup évolué par des investissements importants au niveau des villes et des réalisations de programme de logements collectifs. La production de ce type de logement de masse et par des extensions selon des modèles urbains nouveaux sans répondre au mode de vie algérien.

Après la présentation de la ville, notre cas d'étude s'appuie sur l'habitat collectif en fonction de l'époque de son apparition, afin d'en tirer des échantillons représentatifs sur lesquels nous allons effectuer des simulations numériques.

V-1- Situation géographique :

La wilaya de Batna se trouve localisée dans la partie orientale de l'Algérie entre les " 4° et 7° " de longitude Est et " 35° et 36° " de latitude Nord. La ville est située en altitude (1 058 m). D'une Superficie de 12.038,76 kms², le territoire de la Wilaya de Batna s'inscrit presque entièrement dans l'ensemble physique constitué par la jonction de deux Atlas (Tellien et Saharien)

Elle est limitée :

- Au **Nord**, par la wilaya de Mila.
- Au **Nord-est**, par la wilaya d'Oum-El-Bouaghi.
- A l'**Est**, par la wilaya de Khenchela.
- Au **Sud**, par la wilaya de Biskra.
- A l'**Ouest**, par la wilaya de M'Sila.
- Au **Nord-Ouest**, par la wilaya de Sétif.

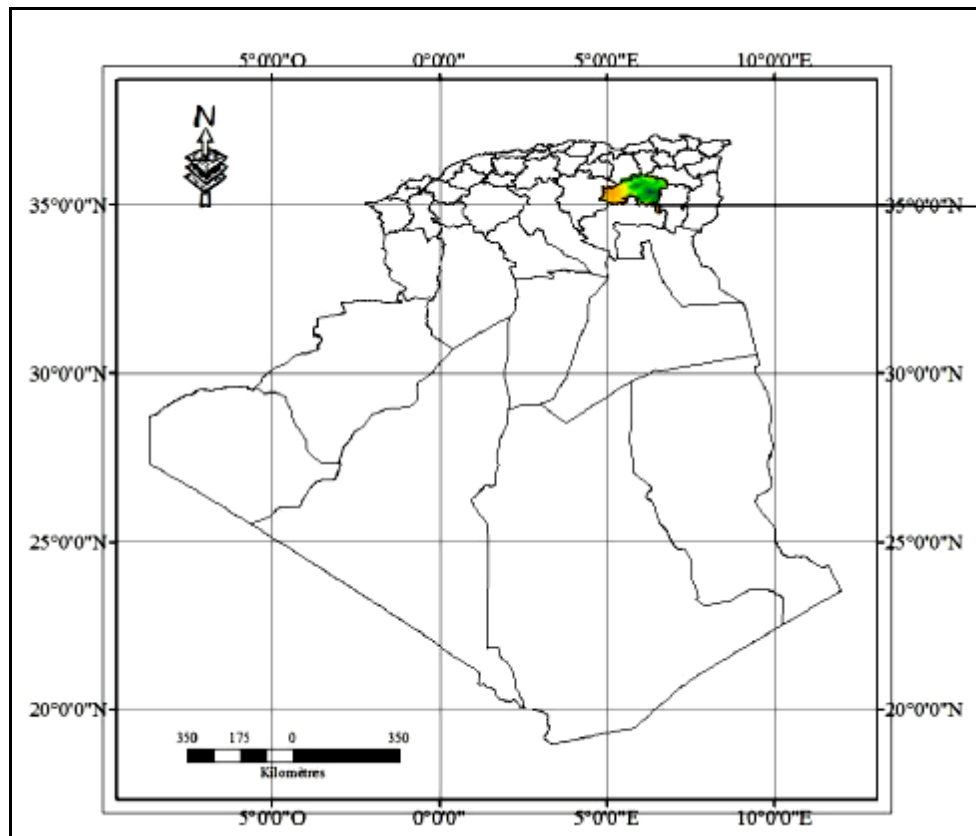


Figure V.67: Situation géographique de la wilaya de Batna (source :Touati, 2014)

V-2- Analyse des éléments du climat :

Le zonage climatique établie par *Borel* a défini pour l'Algérie les quatre zones climatiques suivantes :

- 4 zones climatiques et une sous zone au Nord (A, B, B' et C).
- 3 zones climatiques au Sud (D1, D2, D3). (*Mecheri et Al, 2003*)

La wilaya de Batna se situe dans la zone C, appelée zone **Semi-aride**. Les quatre saisons sont bien distinctes dans cette zone.

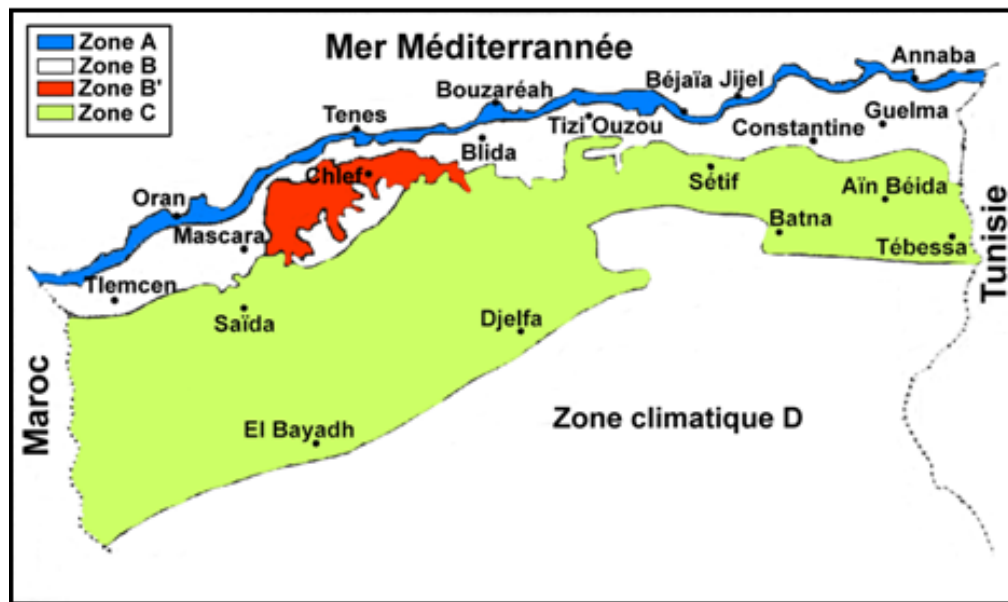


Figure V.68: Zone climatique en Algérie (Source : Boussoualim, 2009)

V-3- Les différents paramètres climatiques :

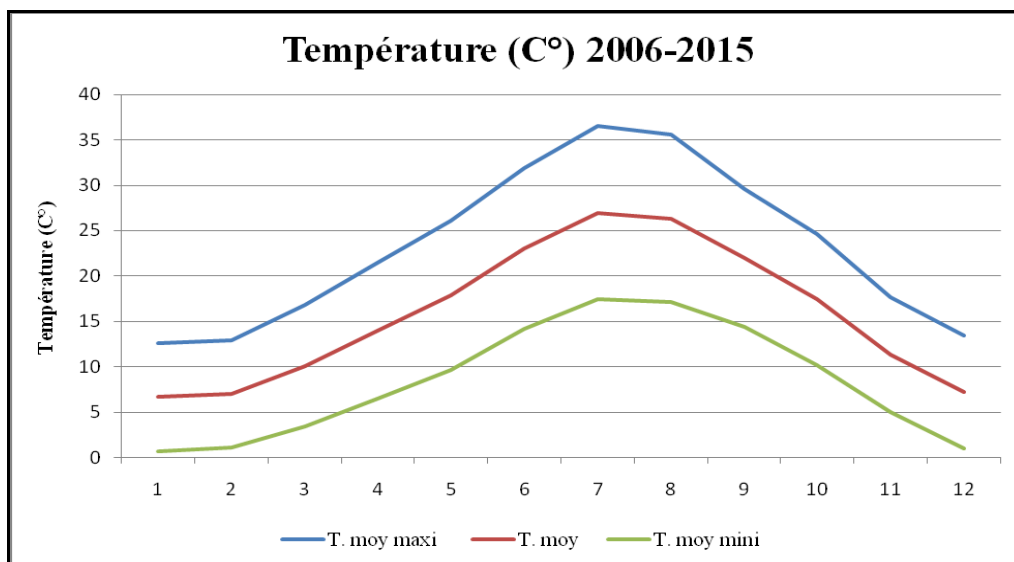
V-3-1-La température :

La température moyenne annuelle est de 15,80°C, avec un maximum de 36,50°C en juillet et un minimum de 0,70°C en janvier. Au mois de juillet, la température moyenne est de 26,9°C. Juillet est de ce fait le mois le plus chaud de l'année. Janvier est le mois le plus froid de l'année. La température moyenne est de 6,7°C à cette période.

	janv.	fev.	mars	avr.	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	dec.
T. moy maxi	12,6	12,9	16,8	21,4	26,1	31,9	36,5	35,5	29,6	24,6	17,7	13,4
T. moy	6,7	7,0	10,1	14,0	17,9	23,0	26,9	26,3	22,0	17,4	11,3	7,2
T. moy mini	0,7	1,1	3,4	6,5	9,6	14,1	17,4	17,1	14,4	10,2	5,0	1,0

Tableau V.12: Moyennes mensuelles de la température de l'air pendant (2006-2015)

(Source : infoclimat.fr, 2016)



Graph V.1: Moyennes mensuelles de la température de l'air pendant (2006-2015)

(Source : infoclimat.fr, 2016)

V-3-2-L'humidité relative :

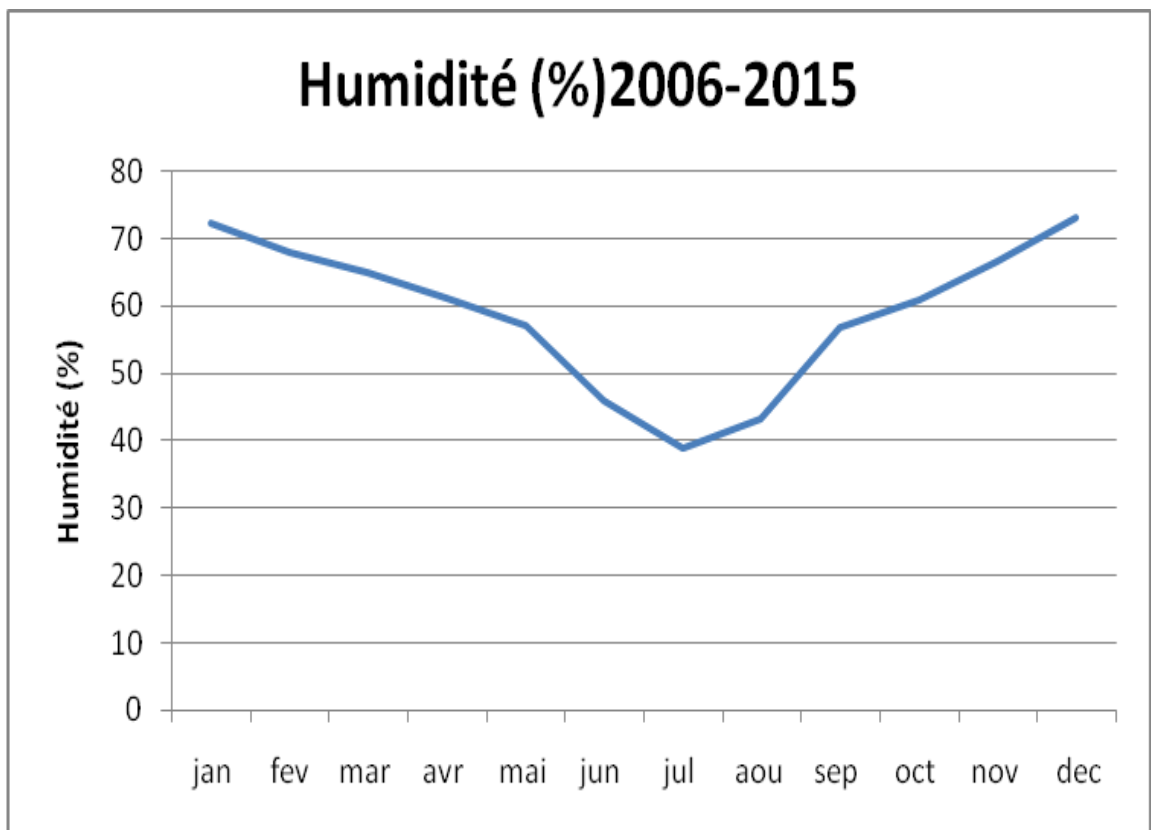
La moyenne annuelle de l'humidité relative est de 59.05 %

Le taux de l'humidité le plus élevé correspond aux mois les plus froids et vice versa; le taux le plus élevé est enregistré durant le mois de décembre avec une moyenne de 73,30% et avec une moyenne de 38,80 % pour le mois de juillet.

	jan	fev	mar	avr	mai	jun	jul	aou	sep	oct	nov	dec
Humidité (%)	72,3	68,0	64,8	61,1	57,1	45,9	38,8	43,3	56,6	60,7	66,6	73,0

Tableau V.13: Moyennes mensuelles de l'humidité de l'air pendant (2006-2015)

(Source: www.wunderground.com/history, 2016)



Graphe V.2: Moyennes mensuelles de l'humidité de l'air pendant (2006-2015)

(Source: www.wunderground.com/history, 2016)

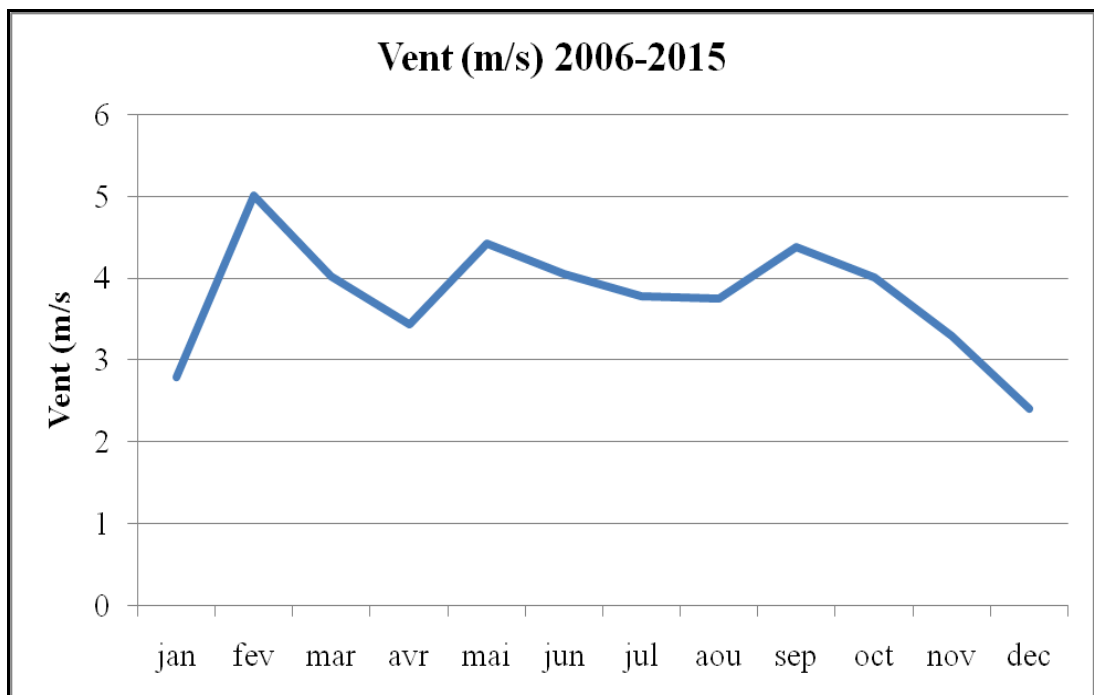
V-3-3-La vitesse des vents :

La vitesse du vent est maximale au mois de décembre atteignant 2,41 m/s et une valeur maximale de 5,01 m/s enregistrée aux mois de février.

	jan	fev	mar	avr	mai	jun	jul	aou	sep	oct	nov	dec
Vent (m/s)	2,79	5,01	4,02	3,44	4,43	4,05	3,78	3,75	4,38	4,01	3,30	2,41

Tableau V.14: Moyennes mensuelles des vitesses du vent pendant (2006-2015)

(Source: www.wunderground.com/history, 2016)



Graphe V.3: Moyennes mensuelles des vitesses du vent pendant (2006-2015)

(Source: www.wunderground.com/history, 2016)

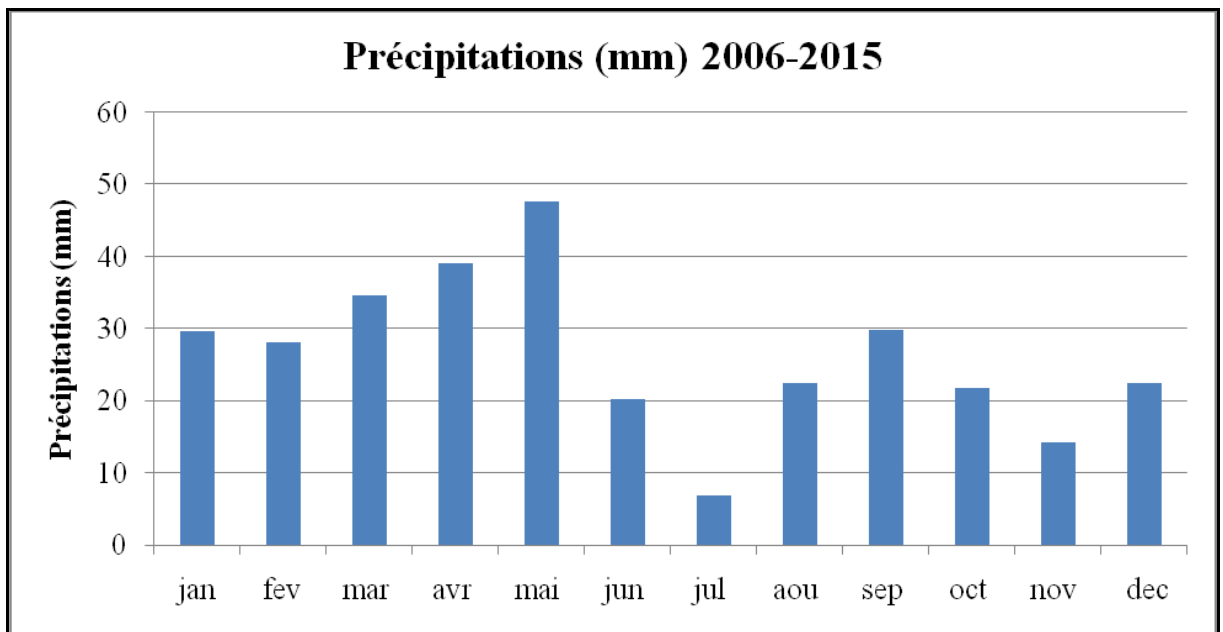
)

V-3-4-Les précipitation :

Batna est située dans une région qui reçoit entre 300 et 400 mm de pluie par an. Avril et Mai sont les mois les plus arrosés qui reçoivent respectivement 39.0 et 47.7 mm de moyenne de pluie. Le mois de Juillet est le plus sec avec une moyenne de 6.9mm

	janv.	fev.	mars	avr.	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	dec.
Précips (mm)	29,7	28,1	34,7	39,0	47,7	20,3	6,9	22,4	29,8	21,8	14,3	22,5

Tableau V.15: Moyennes mensuelles des précipitations pendant (2006-2015)
(Source : www.infoclimat.fr, 2016)



Graphe V.4: Moyennes mensuelles des précipitations pendant (2006-2015)

(Source : www.infoclimat.fr, 2016)

V-4- L'évolution urbaine de la ville de Batna :

V-4-1- Période coloniale:

V-4-1-1- La période : 1844-1923

La ville de Batna fut fondée sous forme de camp militaire au tracé rectangulaire, et qui est entourée par un mur d'enceinte percé de quatre portes. Le tracé de ce camp est marqué par l'intersection de deux axes perpendiculaires (rue de la république et rue de France) reliant les quatre portes de l'enceinte, c'était l'origine de la ville mère à Batna. Un décret exécutif a été promulgué en date du 12/09/1844 portant la promotion de la ville de Batna au rang d'un centre urbain avec une superficie de 12 hectares. En 1860 la ville a connu une extension lente et l'amorce du premier quartier Z'mala au Sud Est se fut en 1970 et c'est le plus ancien quartier. (PDAU-Batna, 2009)

En 1850, première extension du camp en direction Nord-Ouest donnant naissance au premier noyau colonial. Cette extension est suivie par la réalisation de différents équipements de la ville notamment : Deux écoles, l'église, le marché, le théâtre, la mosquée du camp, la mairie le tribunal, et le cimetière chrétien. Ce noyau est organisé de part et d'autre des deux axes structurant (France) et (mously). La ville fût divisé en deux parties par l'oued.

- Noyau colonial au Nord.
- Z'Mala, quartier traditionnel au Sud. (PDAU-Batna, 2009)

V-4-1-4- La période 1923-1945 : (Acquisition du rôle administratif et commercial

Batna a acquis un rôle administratif et commercial à cause du niveau d'équipement ce qui a attiré un nouvel apport de colons, le noyau éclata alors en trois parties :

- Nord -Est, par le quartier Stand : qui a repris une trame orthogonale le long de la rue Mously.
- Nord-Ouest par le quartier Fourrière près de la gare.
- Sud-Est, et Sud-Ouest par les premières constructions de deux futurs quartiers de l'agglomération « Chikhi et Bouakal » (SCU-Batna, 2010)

V-4-2-1- La période 1946-1962 :

Cette période a coïncidé avec le déclenchement de la guerre de libération nationale, ce qui a engendré un exode rural massif. En 1958 il y'avait le lancement du plan de Constantine avec son programme :

- Au Nord les quartiers européens : immeubles collectifs « HLM », le renforcement du potentiel militaire par la construction des casernes au Nord – Est du noyau colonial et le camp (rue de France);
- Au Sud les quartiers traditionnels : cités de recasement :
- Cité Chikhi 252 logements;
- Cité évolutive 192 logements;
- Kéchida avec 260 logements.

Il y'a eu aussi l'apparition de nouveaux quartiers tels que Kéchida, Parc à Fourrages à l'Est et l'extension des quartiers traditionnels. Les deux parties Nord et Sud sont séparées par le quartier de la verdure. La ville a continué à se structurer autour du noyau militaire jusqu'à 1962. (PDAU-Batna, 2011)

V-4-2-Période post coloniale (après 1962) :**V-4-2-1-La période 1963-1973 : (extension des quartiers traditionnels)**

Après l'indépendance, Batna n'a pas connu de développement spectaculaire, l'extension et apparue uniquement aux quartiers traditionnels, Bouakal, chikhi et Parc àfourrage.

Le lancement du programme spécial **Aurès 1968**à impulsé une dynamique nouvelle et ce dans tous les secteurs notamment dans le secteur d'habitat et le secteur socio-économique. Cette dynamique s'est traduite par de nombreuses réalisations de logements et d'équipements d'accompagnement. Les réalisations les plus importantes étaient : 150 logts ruraux, 375 logts urbains, cité 150 logts, cité 20 Aout 114 logts, cité Gruyère 27 logts, cité 84 logts. (PDAU-Batna, 2011)

V-4-2-2-La période 1974-1984 :(éclatement de l'agglomération)

Le deuxième fait marquant a été l'élaboration du premier plan d'urbanisme (P.U.D) en1978 dont l'objectif est de définir les zones d'extension de la ville. Un flux important à la recherche d'emplois, de scolarisation, de services en était la cause. Pour faire face à cette situation, de larges programmes de logements, coopératives, lotissements, ZHUN, ont été lancés.

Habitats collectifs :

L'habitat collectif est concentré au niveau ZHUN et les terrains encore disponible à l'intérieure de l'agglomération : le centre ville, et la cité des 742 logts, cité Gruyère 220 logt cité Fourrière 64 logts, CNEP et 30 logts Wilaya, cité des fonctionnaires 92 logts, cité 41 logtsCamp, cité 64 logts et 50 logts, et 293 logts.

ZHUN I : cité 1200 et 1000 logts, cité Sonatiba et 220 logts.

ZHUN II : cité 64 logts et 72 logtsCasorec et 32 éducation, cité police 40 logts, cité 800 logts,cité 500 logts collectif, Kchida 340 logts, 150 logts industrie. (PDAU-Batna, 2011)

V-4-2-3-La période 1985- 1995 : (Saturation du tissu urbain)

Cette période a été caractérisée par l'insécurité totale ce qui a introduit un flux migratoire important qui a engendré une crise de logement, et le rythme des constructions illicites a accéléré dans les quartiers les quartiers auto-construits spontanés. Le programme du PUD de 1978 a été freiné et, un deuxième PUD en 1985 a été élaboré pour répondre aux problèmes de la ville liés aux constructions illicites dans les quartiers Kchida, Bouzourane, Parc à fourrage, Route de Tazoult, et notamment dans la partie sud (Tamchit et Bouakal). (Kacha, 2010)

V-4-2-4-La période 1996 - 2006 : (une expansion spatiale sans limite)

Tous les quartiers ont connu une urbanisation spectaculaire, d'un côté la planification avec ses programmes d'habitat et d'équipements, de l'autre côté une progression accrue de l'habitat informel qui occupa les terrains prévus pour l'extension future de l'agglomération ce qui a engendré des quartiers sous équipés, sans liaisons aux différents réseaux, et souffrants d'enclavement ainsi que d'une qualité de vie médiocre.

En effet, pour contourner la contrainte du foncier auquel est exposée la ville de Batna, en premier lieu, l'extension s'est faite linéairement vers Tazoult puis il ya eu recours à la création de ce que l'on appelle : les nouveaux pôles urbains : sur les communes de Oued Chaaba et Fesdis.

En 2004, Batna a bénéficié d'un large programme de logements avoisinant les 10000habitations.

Le premier pôle urbain (Hamla) au sud-ouest d'environ 400 ha.Hamla 1 propose un seul type d'habitat : l'habitat collectif, logements participatifs et logements sociaux. (PDAU-Batna, 2011)

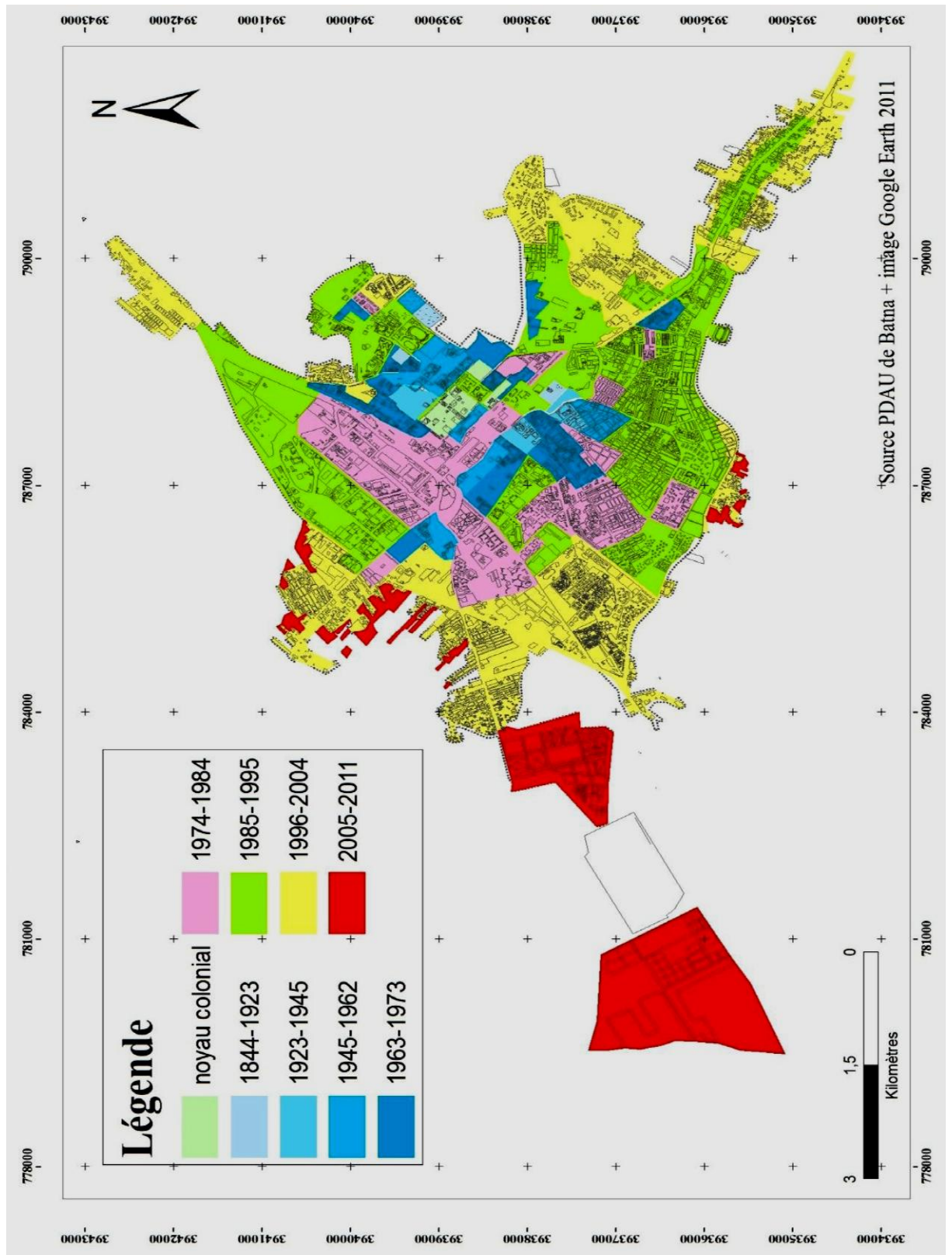


Figure V.69: Evolution de la ville de Batna. (Source : Touati, 2014)

V-4- Analyse du tissu urbain :

La ville de Batna fut réalisée suivant des étapes historiques résultantes du développement de la population et selon les différents types d'occupation des sols, regroupant des agglomérations de différents types :

- Le tissu urbain du noyau colonial.
- Les quartiers périphériques.
- L'habitat collectif.
- L'habitat précaire.
- Les lotissements.

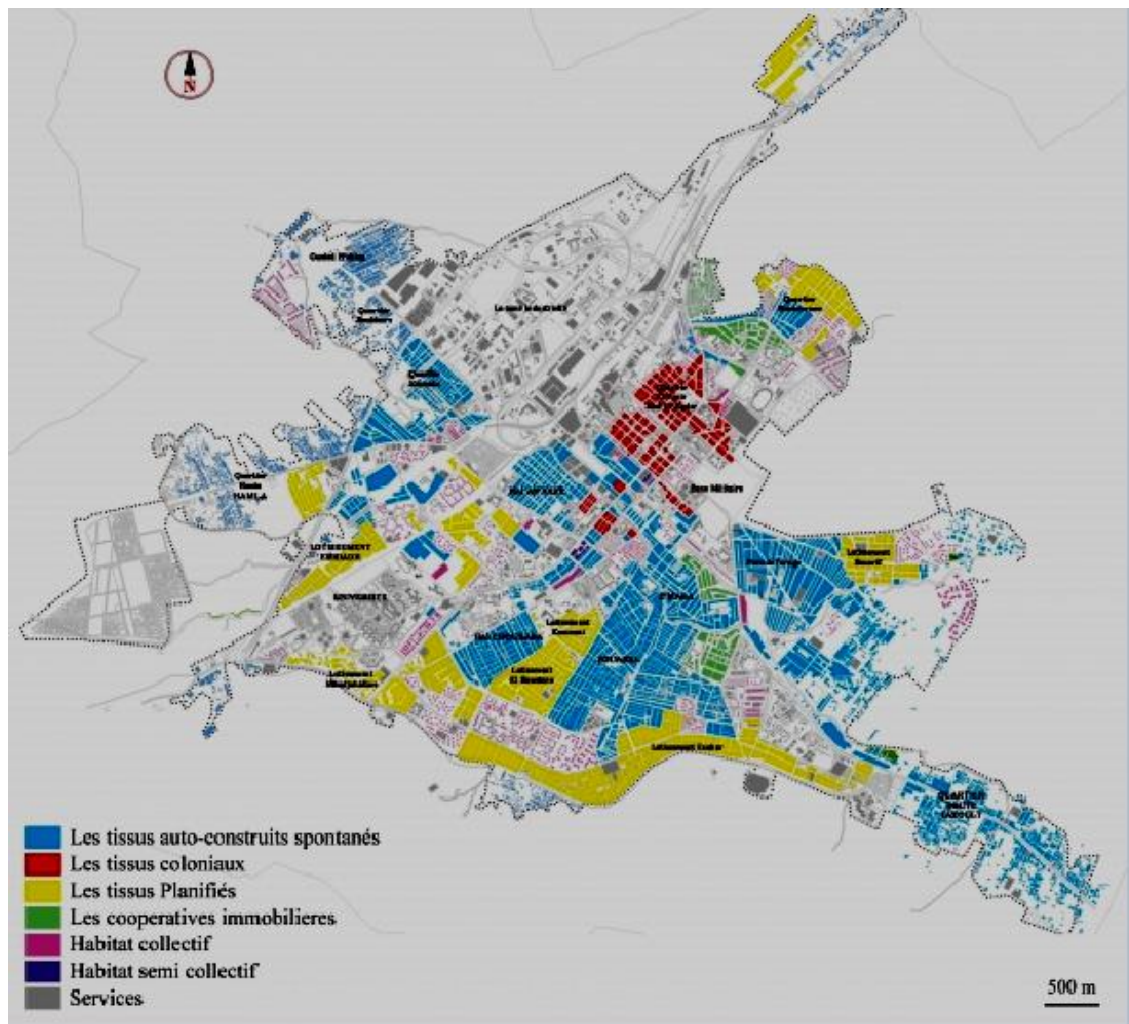


Figure 70: Les Types de tissus au sein de la ville de Batna (Source : <http://cybergeog.revues.org>, 2016)

V-5- Choix de l'échantillon:

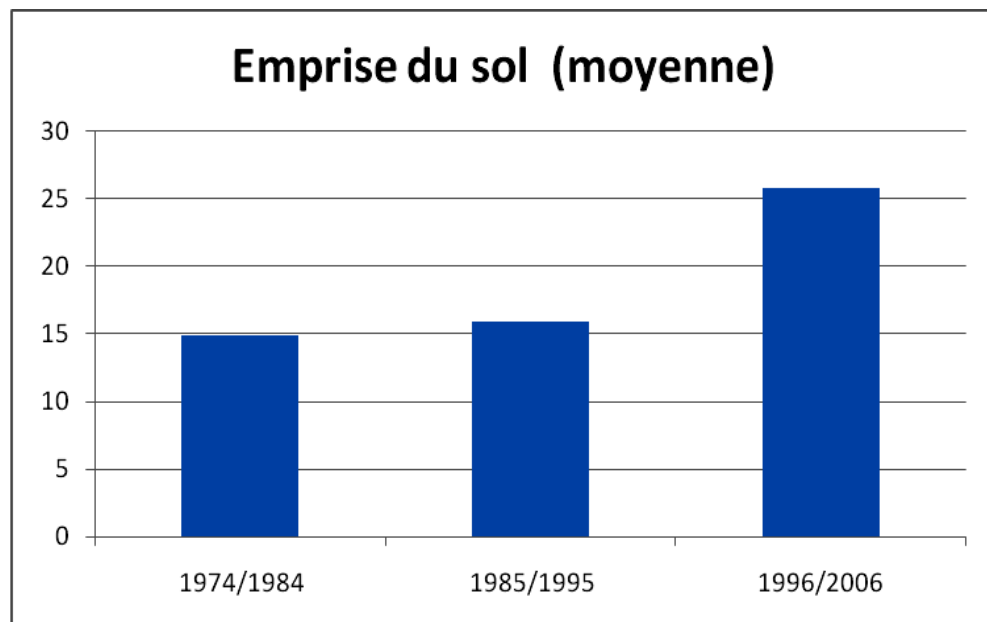
Le choix des configurations est motivé par :

Les différentes périodes de constructions des tissus urbains, ce qui y a permis de vérifier l'effet de l'évolution urbaine sur la variation des microclimats.

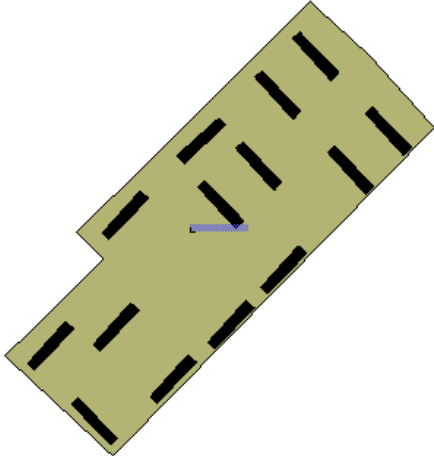
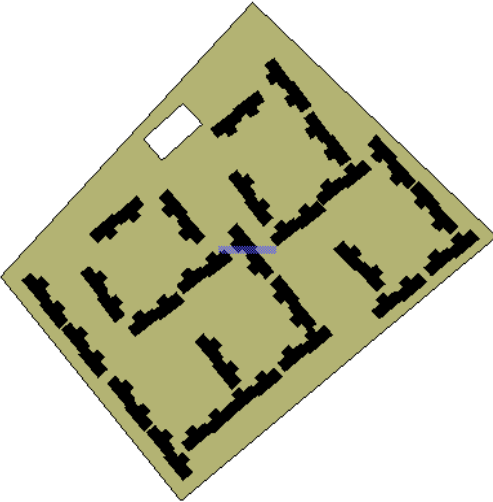
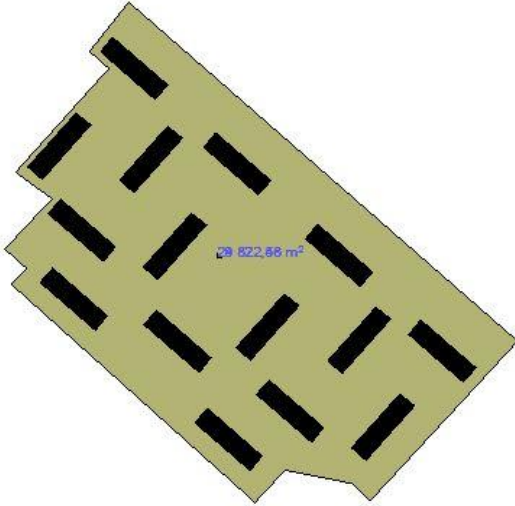
1- Classification de l'habitat collectif selon la période de construction.

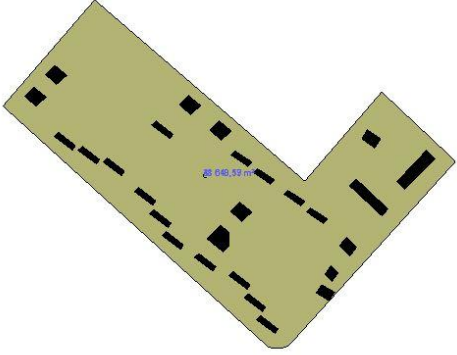
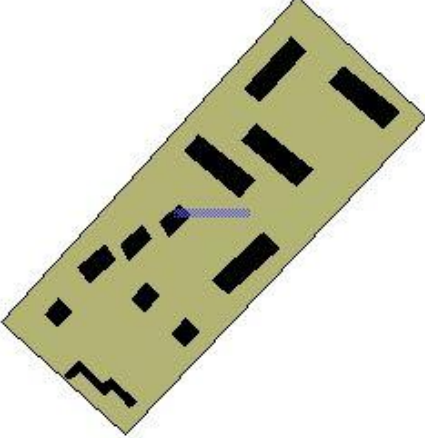
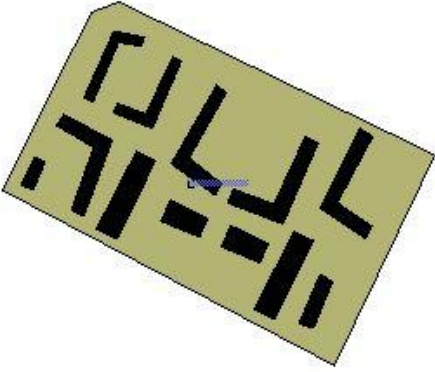
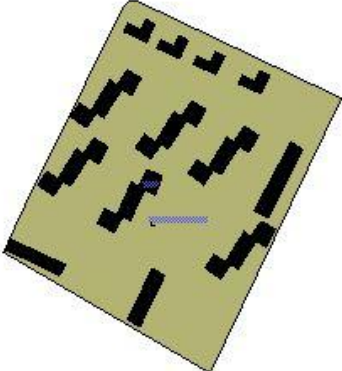
2- Calculer l'emprise au sol de l'habitat collectif pour chaque période, en outre on a calculé l'emprise au sol de chaque configuration pour la même période.

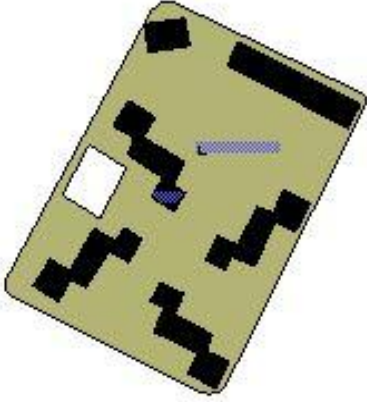
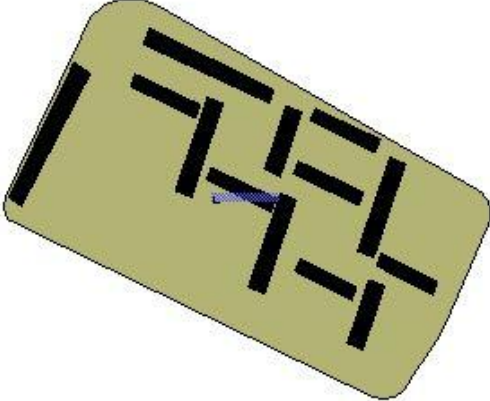
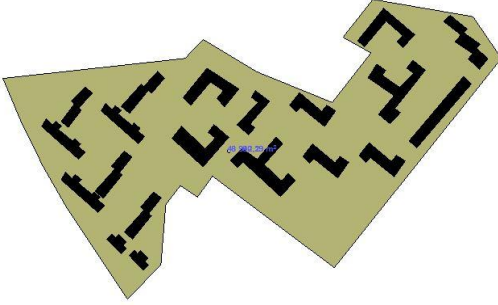
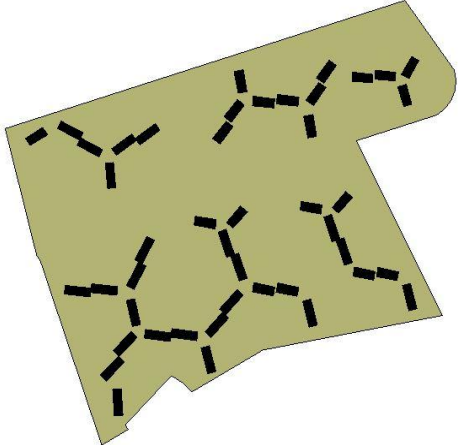
3- Le choix de l'échantillon de chaque période, correspond à la valeur de l'emprise au sol de l'ilot la plus proche à la valeur de l'emprise au sol de l'habitat collectif (la même période).

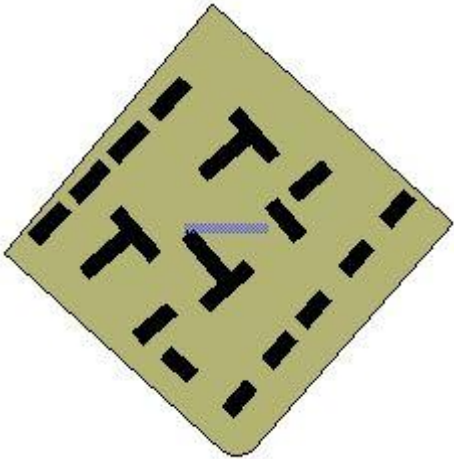
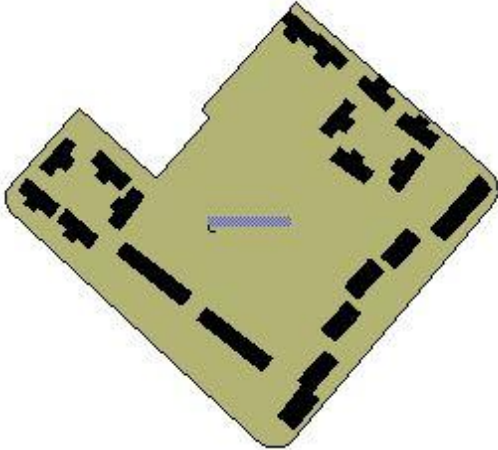
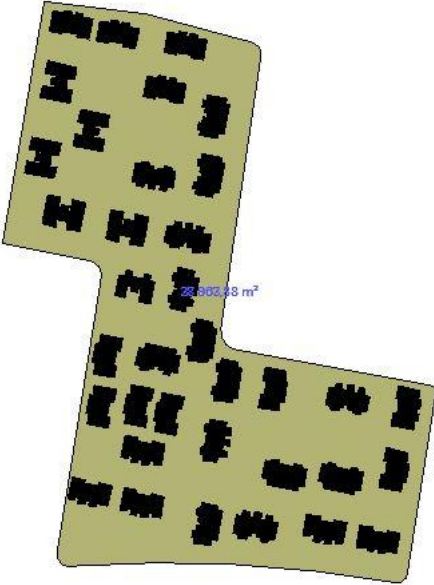


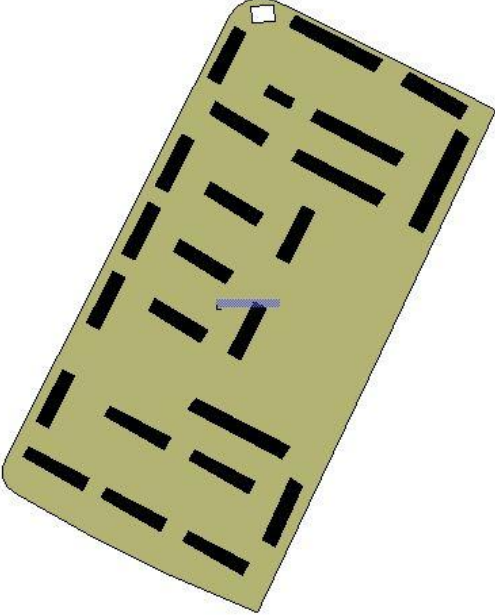
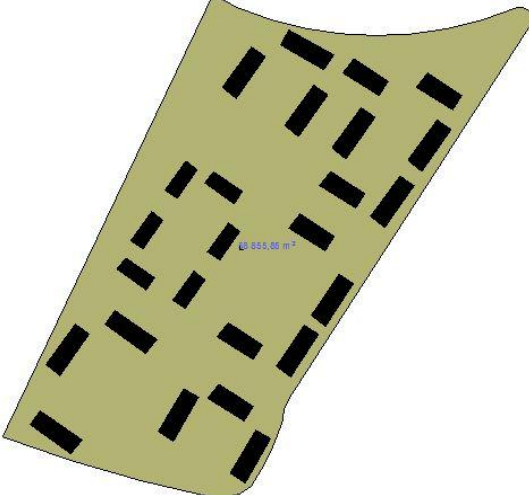
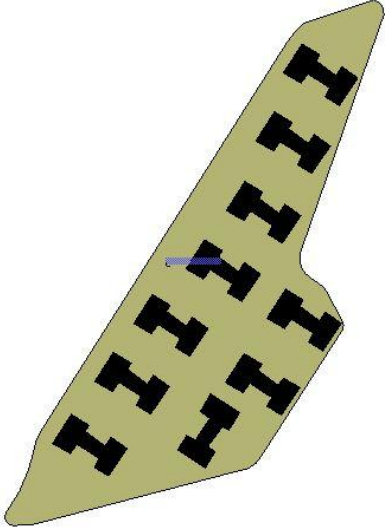
Graphe V.5: Emprise au sol pour les trois périodes. (Source : Auteur, 2016)

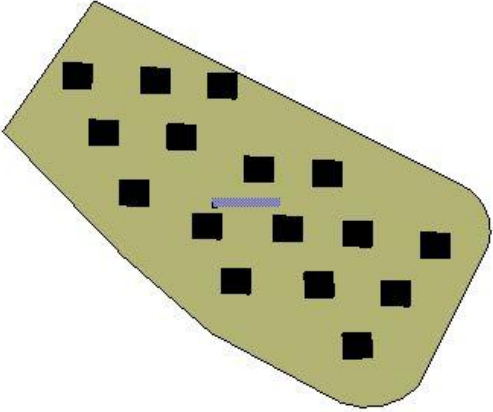
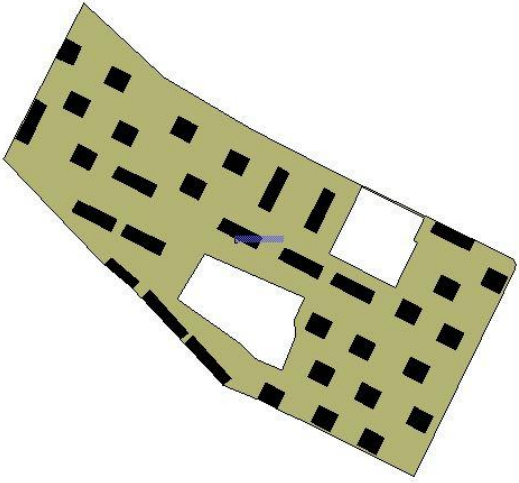
Typologie		Nmbr niveau	1974-1984	Emprise au sol = S bâti/S total
1	Discontinu (barres)	R+4		10,55
2	continu (ilots)	R+4		17,14
3	Discontinu (barres)	R+4		15,75

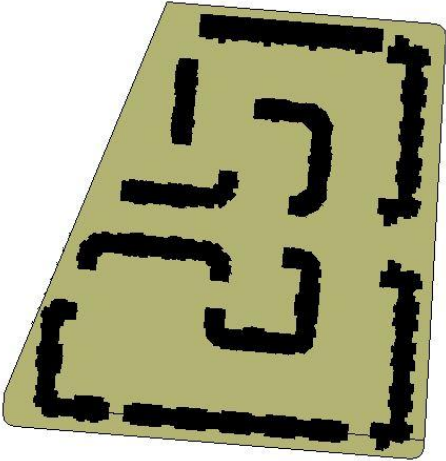
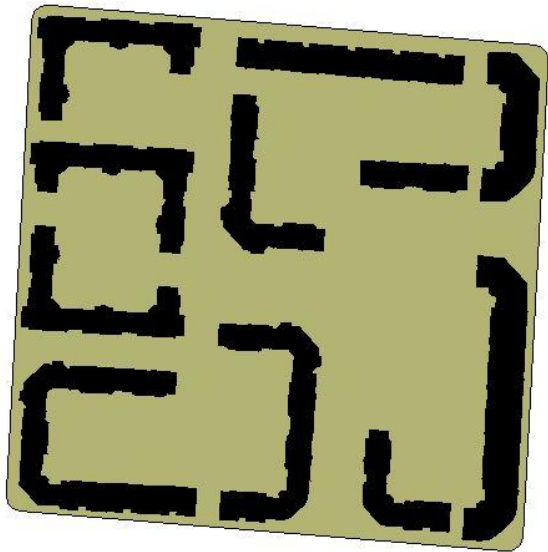
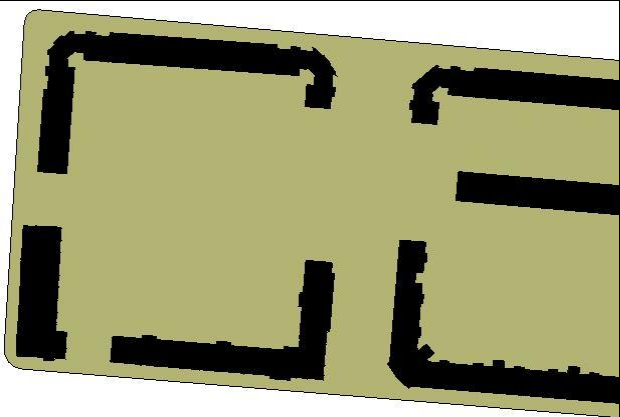
<p>3</p>	<p>Discontinu (barres)</p>	<p>R+4</p>		<p>07,27</p>
<p>4</p>	<p>Discontinu (barres)</p>	<p>R+4</p>		<p>14,53</p>
<p>5</p>	<p>Discontinu (barres)</p>	<p>R+4</p>		<p>19,46</p>
<p>6</p>	<p>Discontinu (barres)</p>	<p>R+4</p>		<p>16,22</p>

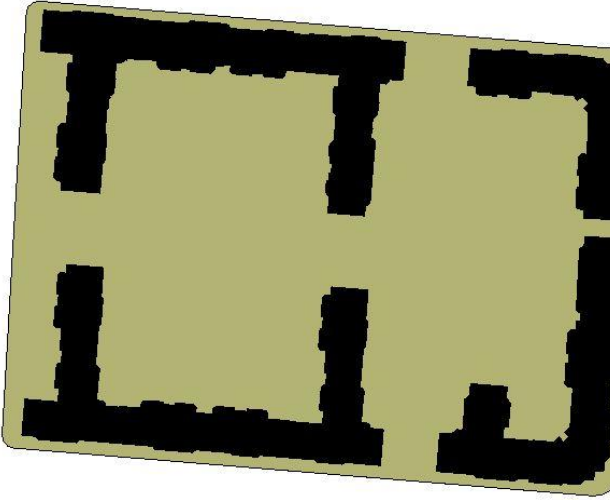
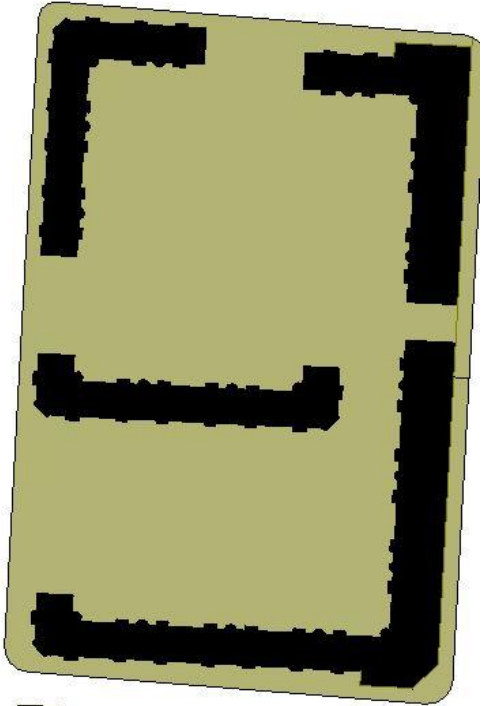
<p>7</p>	<p>Discontinuu (barres)</p>	<p>R+4</p>		<p>20,73</p>
<p>8</p>	<p>Discontinuu (barres)</p>	<p>R+4</p>		<p>16,31</p>
<p>9</p>	<p>Discontinuu (barres)</p>	<p>R+4</p>		<p>17,47</p>
<p>10</p>	<p>Discontinuu</p>	<p>R+4</p>		<p>08.54</p>

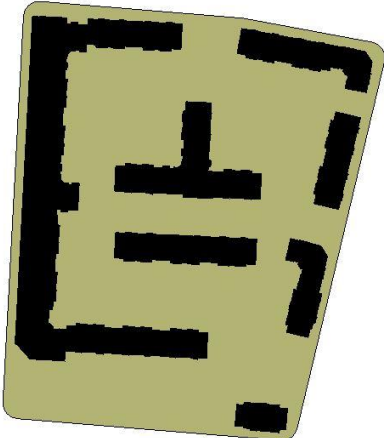
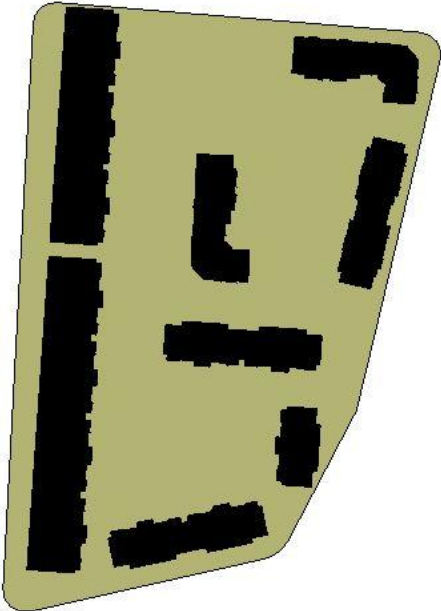
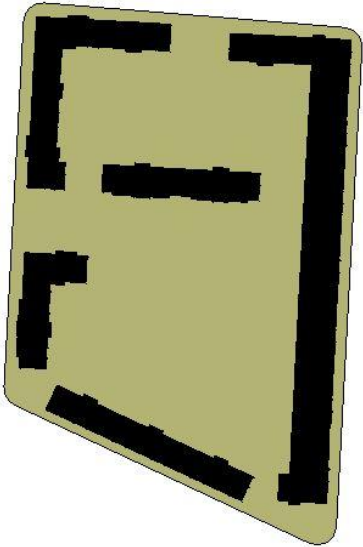
Typologie		Nmbr niveau	1985-1995	Emprise au sol = Surface bâti/S total
1	Discontinuu (barres)	R+4		13.10
2	Discontinuu (barres)	R+4		14.08
3	Discontinuu (petits collectifs)	R+4		23.37

<p>4</p>	<p>Discontin u (barres)</p>	<p>R+4</p>		<p>14.29</p>
<p>5</p>	<p>Discontin u (barres)</p>	<p>R+4</p>		<p>14,33</p>
<p>6</p>	<p>Discontin u</p>	<p>R+4</p>		<p>21.09</p>

<p>7</p>	<p>Discontin u (Plots)</p>	<p>R+4</p>		<p>11.07</p>
<p>8</p>	<p>Discontin u (barres+plots)</p>	<p>R+4</p>		<p>16.07</p>

Typologie		Nmbr niveau	1996-2005	Emprise au sol = Surface bâti/S total
1	continu (ilots)	R+4		23,22
2	continu (ilots)	R+4		26,70
3	continu (ilots)			22,58

<p>4</p>	<p>continu (ilots)</p>	<p>R+4</p>		<p>29,79</p>
<p>5</p>	<p>continu (ilots)</p>	<p>R+4</p>		<p>25,58</p>

<p>6</p>	<p>continu (ilots)</p>	<p>R+4</p>		<p>28,46</p>
<p>7</p>	<p>continu (ilots)</p>	<p>R+4</p>		<p>28,52</p>
<p>8</p>	<p>continu (ilots)</p>	<p>R+4</p>		<p>26,59</p>

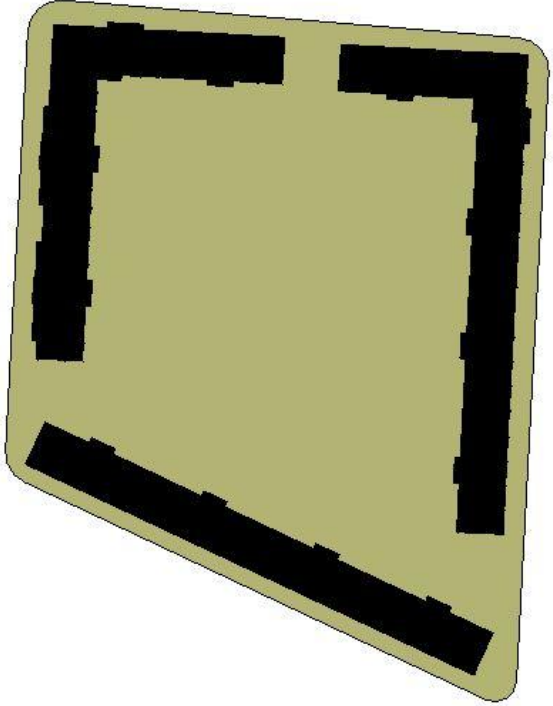
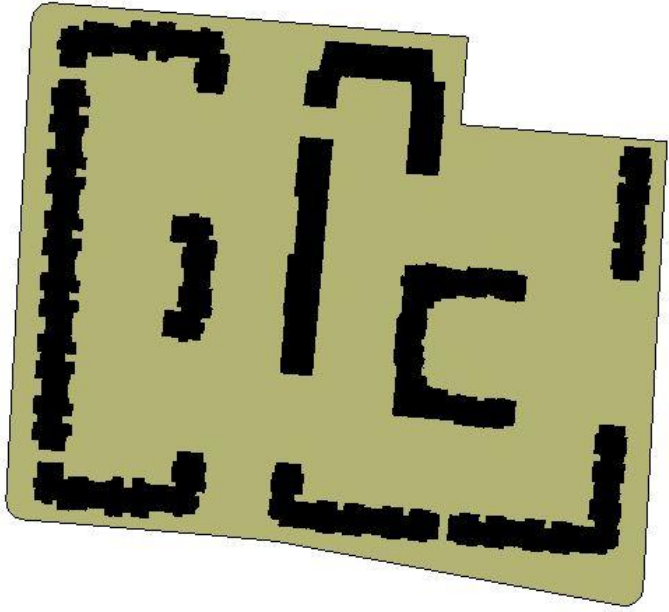
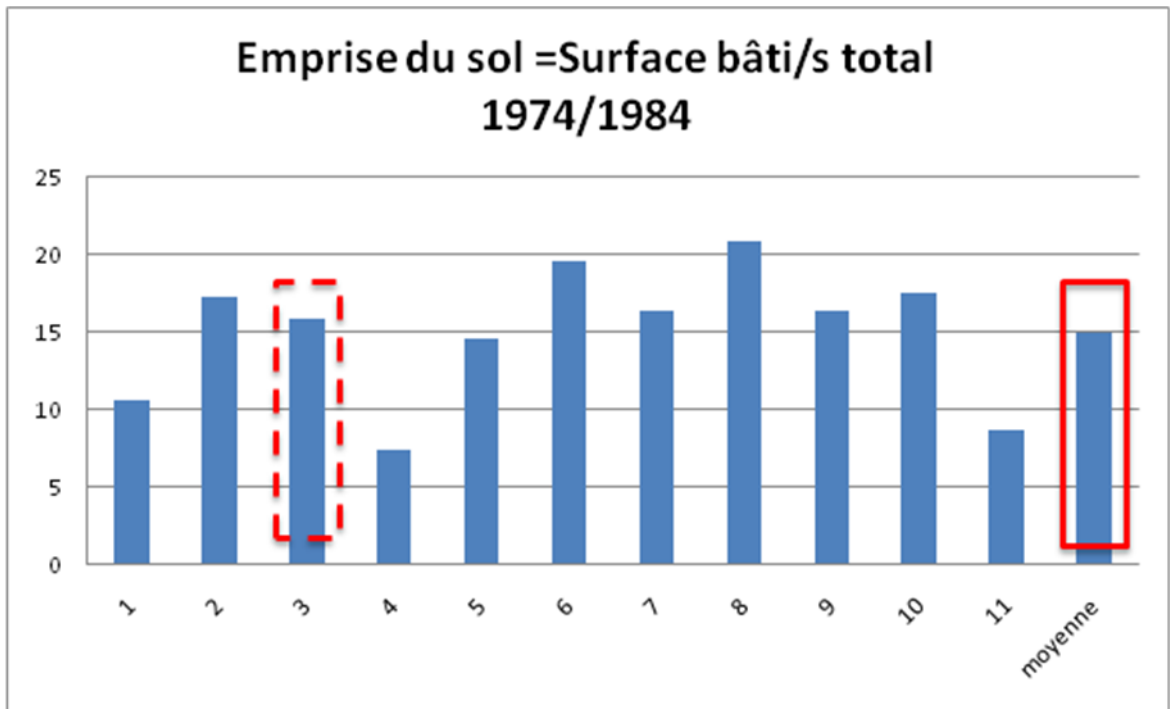
9	continu (ilots)	R+4		25,08
10	continu (ilots)	R+4		21,99

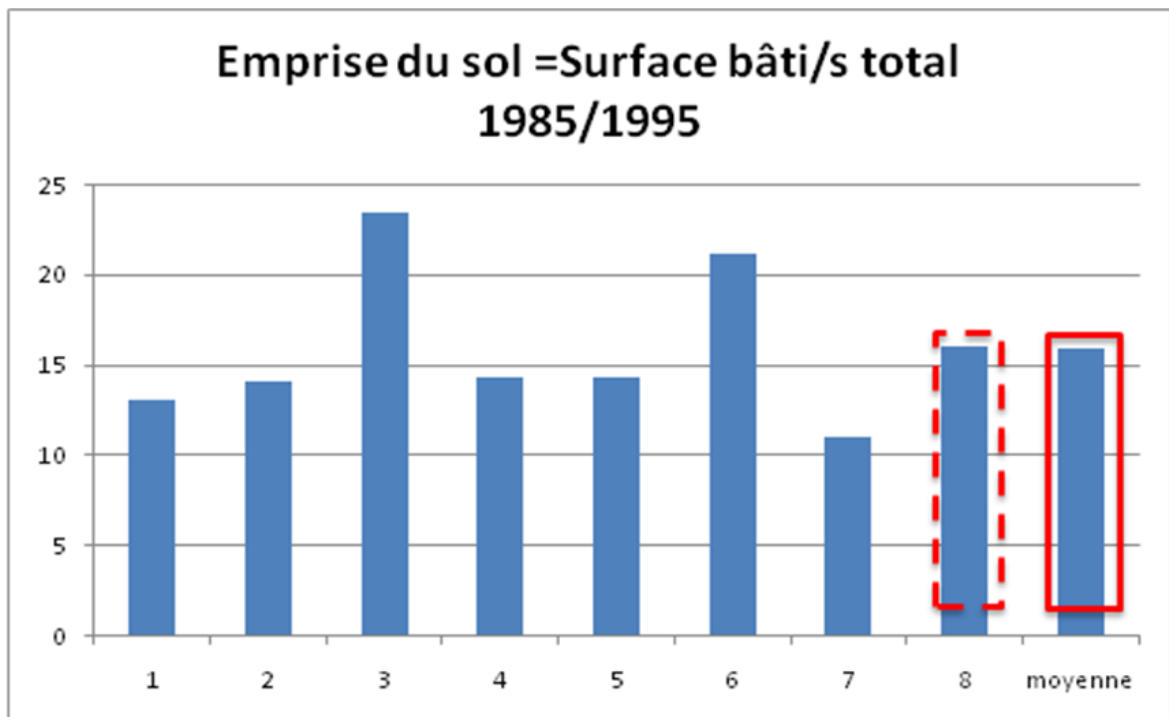
Tableau V.16: Classification des configurations urbaines selon la période de construction.

(Source : Auteur, 2016)



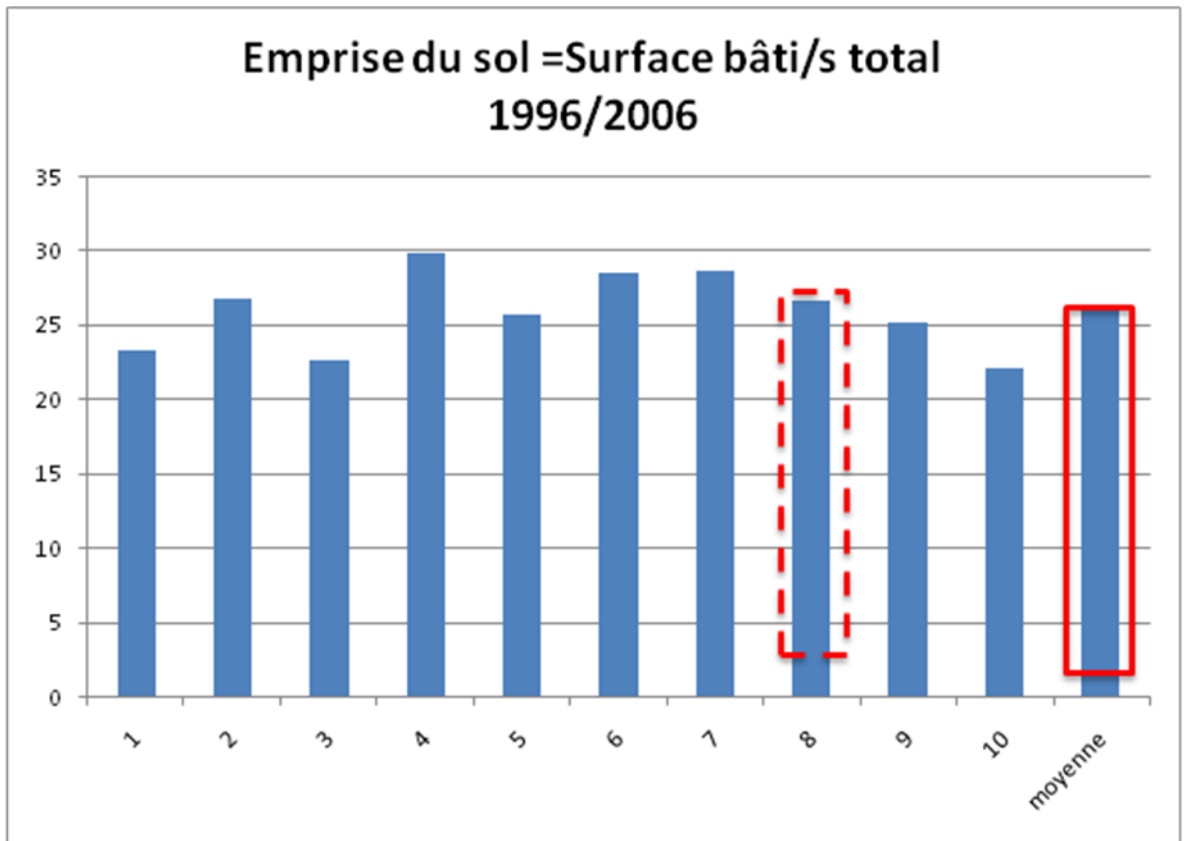
Graphe V.6: Emprise au sol des différentes configurations pour la période 1974-1984.

(Source : Auteur, 2016)



Graphe V.7: Emprise au sol des différentes configurations pour la période 1985-1995.

(Source : Auteur, 2016)



Graphe V.8: Emprise au sol des différentes configurations pour la période 1996-2006.

(Source : Auteur, 2016)

V- Conclusion :

On conclut que le climat de la ville de Batna est celui d'une région semi-aride, caractérisé par un hiver froid, et un été chaud et sec.

La ville de Batna a connu une urbanisation accélérée, et elle a bénéficié de plusieurs programmes d'habitat collectifs pour répondre au besoin en matière de logement.

La ville de Batna a évolué dans des conditions économiques, sociales et culturelles, face à la crise du logement et aux problèmes sécuritaires. Le microclimat urbain, les formes urbaines, les phénomènes climatiques,..... sont alors souvent négligés.

Une classification a été faite dans ce chapitre sur l'ensemble des habitats collectifs, qui nous permet d'avoir des échantillons représentatifs.

Notre étude vise à étudier les interactions entre les formes urbaines et les conditions microclimatiques. Nous souhaiterons également examiner l'impact de ces interactions sur le confort thermique des usagers dans les espaces extérieurs. En outre, les conditions climatiques, le confort thermique et les formes urbaines sont trois domaines importants quant à l'amélioration de la qualité environnementale de la ville.

CHAPITRE VI :

Simulation numérique

VI-Introduction :

La simulation numérique est la deuxième approche de l'interaction entre les éléments de la forme urbaine 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. (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 :

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 le programme de simulation ENVI-met3.1, un logiciel déjà testé et exploité dans plusieurs travaux de recherche pour évaluer le confort thermique extérieur.

VI-1- Les modèles de simulation numériques :

D'après Benzerzour (2004). Les modèles de simulation numériques en climatologie urbaine qui s'appliquent à l'échelle de la Canopée urbaine prennent en compte la surface urbaine selon deux méthodes :

VI-1-1- Méthode par discrétisation spatiale : C'est une méthode qui s'applique généralement à des échelles spatiales limitées qui sont plus proches de l'échelle microclimatique que de l'échelle climatique locale. Il s'agit 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. Ensuite un maillage assez fin est appliqué aux surfaces et aux éléments de la canopée urbaine pour permettre d'analyser les mécanismes de propagation des phénomènes physiques d'une maille à une autre. La finalité de ces modélisations est de quantifier les propriétés physiques des surfaces et de l'air correspondant à l'échelle de la canopée qui peut aller d'un espace urbain à un ensemble bâti (quelques centaines de mètres). (Benzerzour, 2004).

VI-1-2-Méthode Par paramétrisation : La discrétisation spatiale exige des temps de calculs trop importants qui ne permettent pas de l'appliquer à l'échelle climatique locale et encore moins à l'échelle Mésoscale. Pour pallier cela, les modèles physiques qui s'appliquent à ces échelles ont été contraints de réduire la complexité morphologique de la surface urbaine à un certain nombre de paramètres représentatifs de l'influence de cette dernière sur les échanges sol-atmosphère. Le plus connu de ces paramètres est le concept de canyon. (Benzerzour, 2004).

VI-2- Description du logiciel ENVI-met3 :

Le logiciel ENVI-met3 est un programme tridimensionnel de simulation élaboré par Michael Bruse de l'institut de géographie à l'université de Bochumen Allemagne.

Ce logiciel permet de calculer l'ensemble des variables climatiques qui permettent d'évaluer le bilan énergétique des espaces extérieurs : température et vitesse de l'air, rayons solaires de courtes et grandes longueurs d'ondes, températures des surfaces, indices de confort... etc. Il permet ainsi d'analyser l'impact des modifications de l'environnement urbain sur le microclimat à petite échelle (arbres, cours intérieures végétalisées, altérations des hauteurs des bâtiments, etc.) Le modèle est utile pour faire un pronostic des scénarios urbains appliqués à l'architecture, aménagement urbain et environnemental et climatologie. (Knodel, 2012) ENVI-met est un modèle 3D non hydrostatique qui s'appuie sur une grille géométrique.

La résolution horizontale est entre 0,5m et 5m pour une maille. Au total, la grille entière (le maillage) peut avoir une dimension de 250x250x25 mailles pour les ordinateurs récents. Cela permet de couvrir une zone de 100mx100m jusqu'à 1kmx1km. ENVI-met n'est donc pas conçu pour modéliser le climat d'une ville entière mais seulement d'un quartier.

L'exploitation du programme ENVI-met est jumelée par celle d'un autre programme appelé « Leonardo » qui permet de lire les résultats de la simulation en 2D et 3D déjà effectuée par ENVI-met. (Colombert, 2008)

Le logiciel Envi-met 3 a été utilisé pour évaluer le confort thermique extérieur sur la base de l'indice de confort thermique PMV (Vote Moyen Prévisible). Cet indice initialement développé pour les milieux Intérieurs fut adapté aux espaces extérieurs par Jendritzky en 1993.

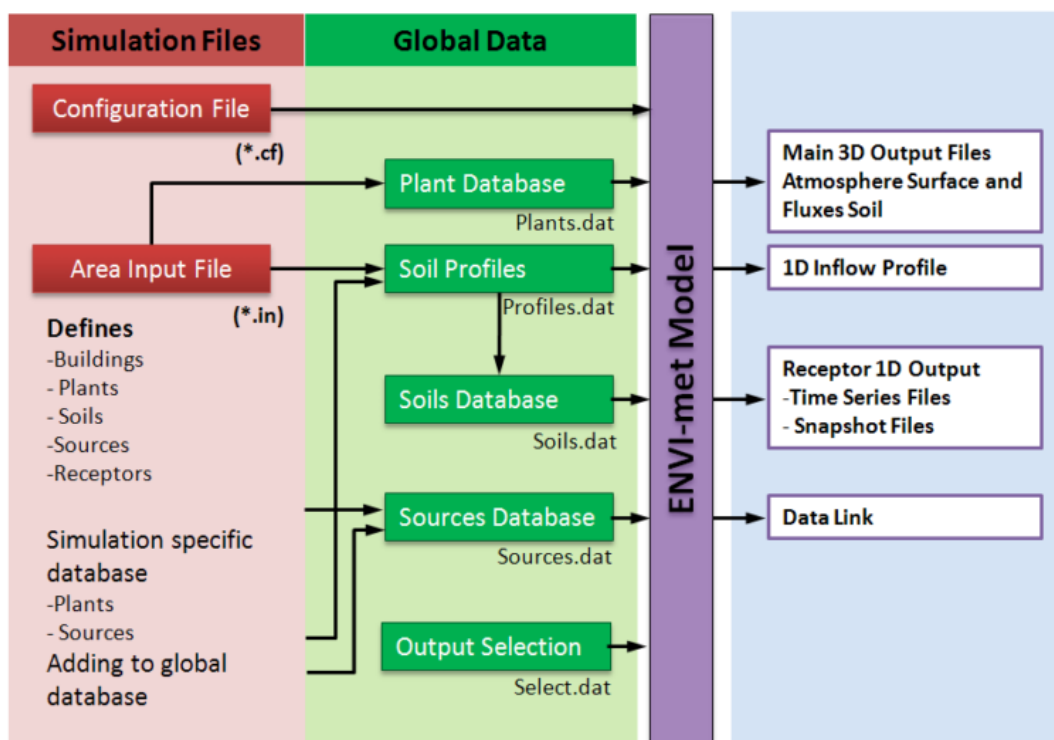


Figure VI.71: Diagramme de flux des données (Source : Knodel, 2012)

VI-2- déroulement de la simulation :

La simulation couvre les deux périodes hivernale et estivale choisies pour l'investigation. Elle s'est déroulée pendant les journées du 01/01/2015 représentative de l'hiver et celle du 31/07/2015 représentative de l'été.

Le tableau ci-dessous, présente les paramètres introduits dans le fichier de configuration INPUT *.cf.

Situation	Latitude : 33.56 N Longitude : 06.17 E Climat : semi aride Altitude : 1058	
Période de simulation	Hiver	Eté
Journée de simulation	01-01-2015	31-07-2015
Durée de simulation	08h00 à 20h00	08h00 à 20h00
Vitesse de l'air m/s	3.05	6.60
Humidité relative [%]	87	20
Température initiale de l'atmosphère [K]	272.15	305.15
Conductance thermique des murs [W/m²K]	0.90-0.92	
Conductance thermique des toitures [W/m²K]	0.92	
Albédo des murs	0.50	
Albédo des toitures	0.18	

Tableau VI.17: les principaux paramètres introduits au fichier *.cf.

VI-3-Evaluation du confort thermique :

Pour les trois cas étudiés, nous avons cherché à déterminer les niveaux de confort à l'aide d'indices présentés dans le chapitre sur le confort thermique en extérieur.

L'indice de **PMV** a déjà été utilisé par des études à l'échelle extérieure, il sera choisi dans le cas de notre étude, afin de comparer ses résultats avec les résultats du l'indice **UTCI**.

D'après Tumini et al (2016), l'UTCI est la référence plus appropriée pour l'évaluation du confort parce que :

- 1- Il peut décrire les conditions de bien-être de l'individu,
- 2- Il est facile de calculer à l'aide des paramètres climatiques qui peuvent être obtenus par la simulation,
- 3- Il fournit un large éventail de résultats afin d'établir une distinction entre les diverses solutions possibles.

VI-3-1- critères de choix de points de mesure :

Les critères qui ont été retenus pour choisir les points de mesure sont :

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

VI-3-2- Facteur moyen de vue du ciel :

Echantillons	CES (%)	SVF _{moy} (%)
Echantillon 01(1974 -1984)	15.75	63,22
Echantillon 02(1985 -1995)	16.07	66,15
Echantillon 03(1996 -2006)	26.59	50,36

Tableau VI.18: Facteur moyen de vue du ciel en pourcentage pour les trois échantillons.

(Source : Auteur, 2017)

Le facteur moyen de vue du ciel est relativement différent entre les trois échantillons (**Tableau2**).

L'échantillon 03 présente la plus faible ouverture avec en moyenne 50,36 % ciel visible.

En effet, la configuration sous forme de cour permet de réduire son ouverture au ciel.

Les échantillons 01 et 02 présentent des valeurs de SVF proches avec un SVF moyen de 63,22 pour l'échantillon 01 et 66,15 pour l'échantillon02.

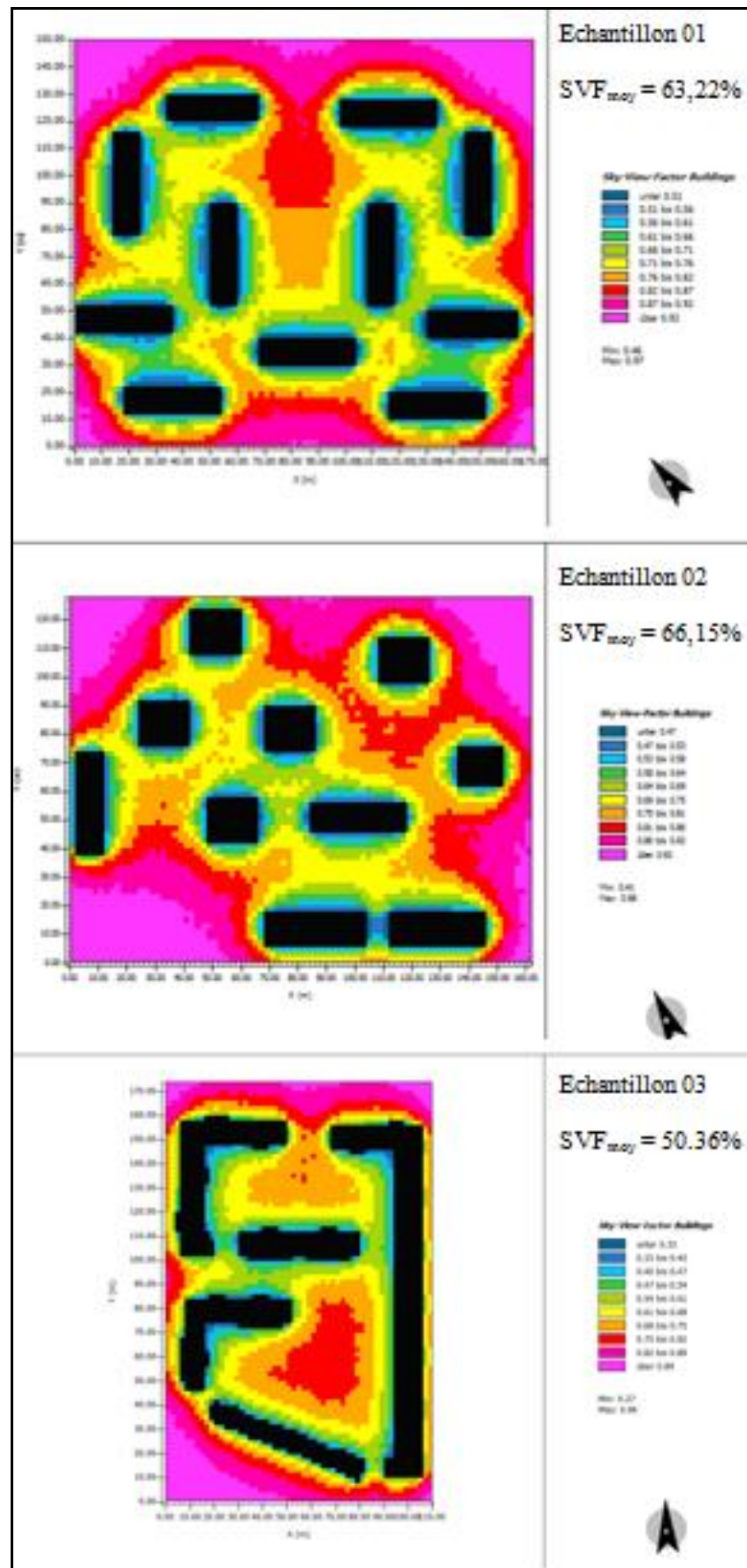


Figure VI.72: Représentation du facteur de vue du ciel moyen pour les trois échantillons.

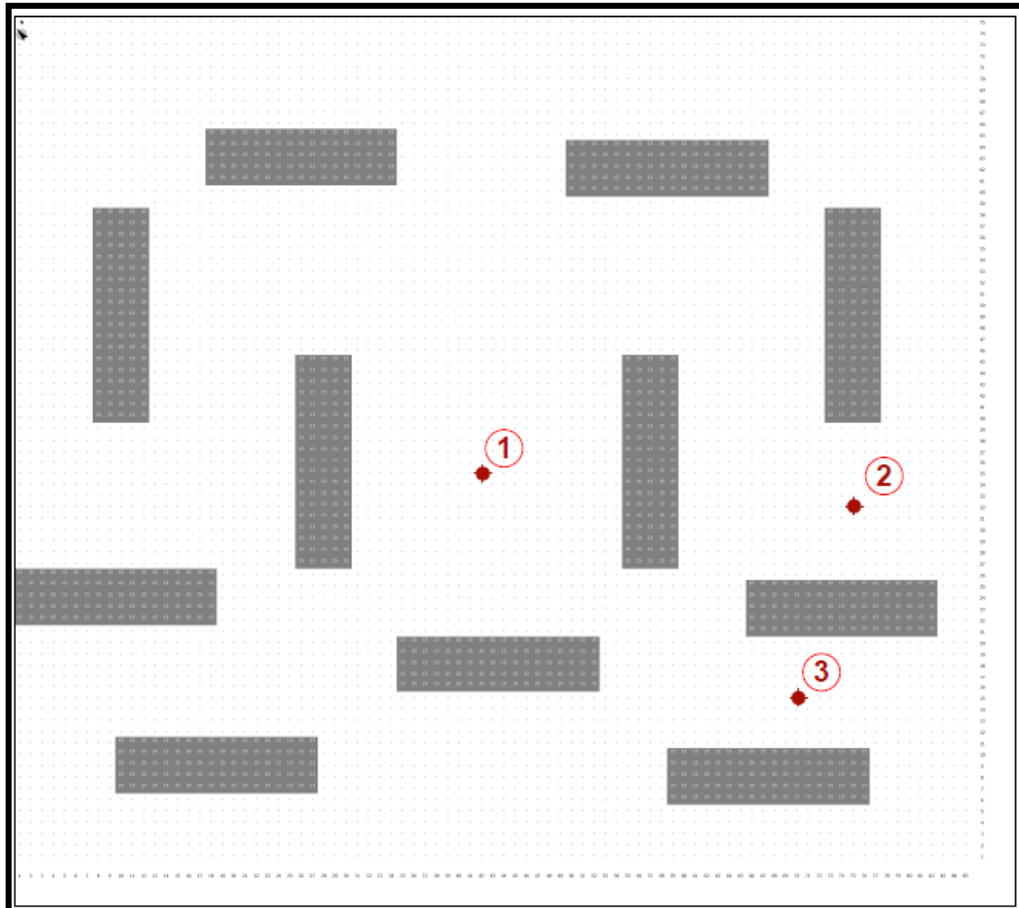
VI-4 - discussion et analyse des résultats de simulation :**VI-4-1-Premier échantillon :**

Figure VI.73: Les points de mesure, premier échantillon (Source : Auteur, 2017)

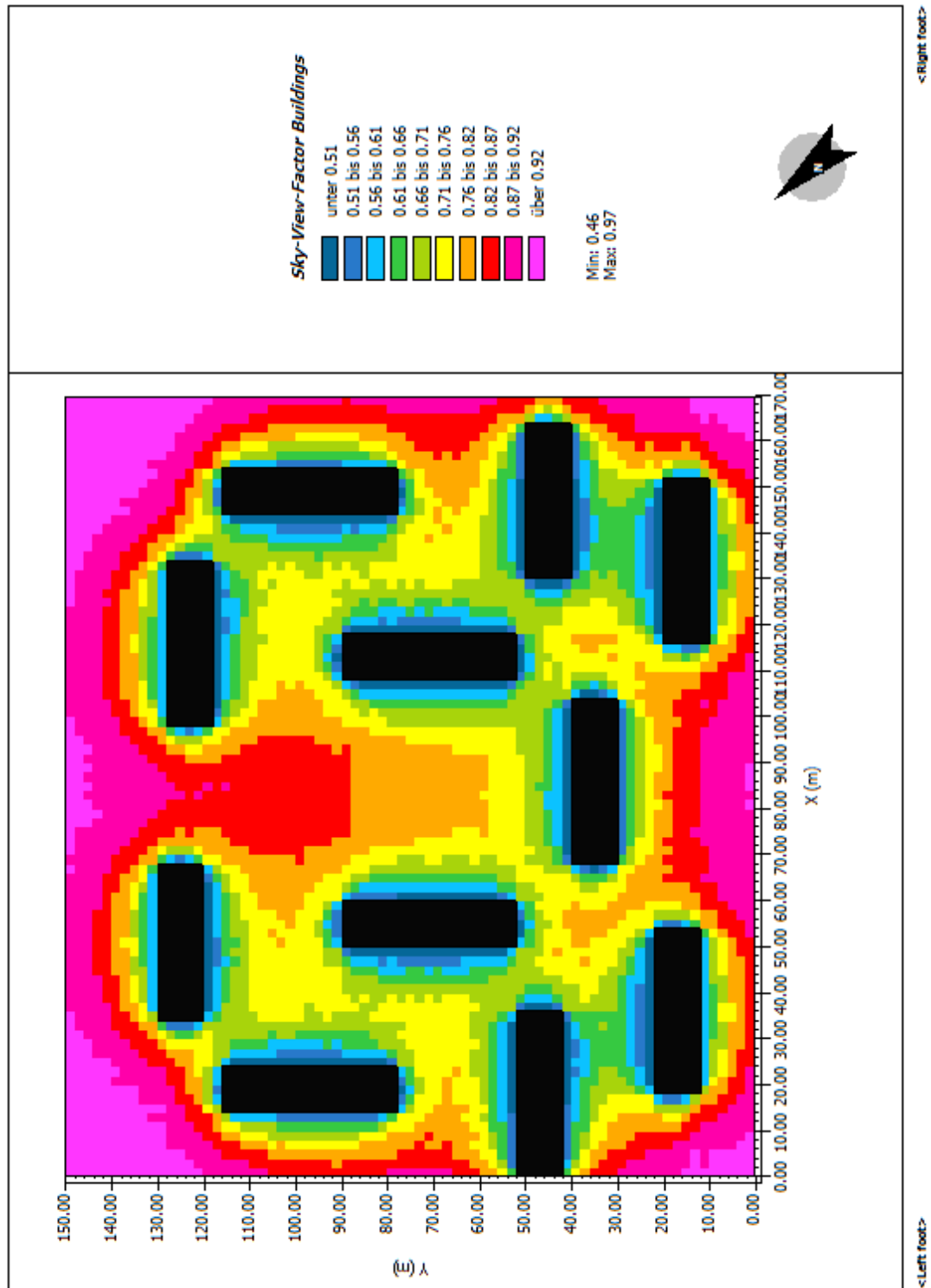


Figure VI.74: Représentation les valeurs du facteur de vue du ciel SVF, premier échantillon.

(Source : Leonardo, Auteur, 2017)

➤ Les caractéristiques géométriques des points de mesure :


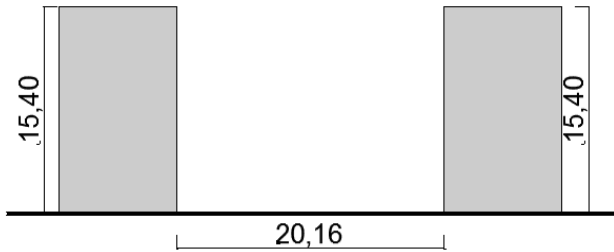
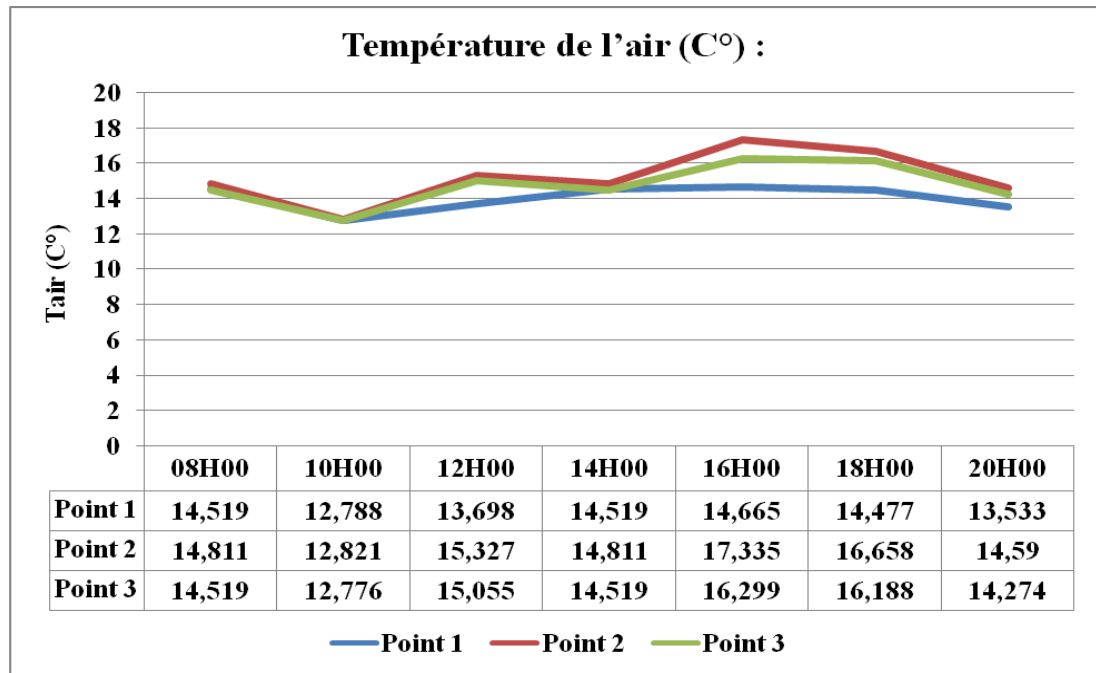
	SVF	H/L	Orientation
Point 1	0,80	/	/
Point 2	0,78	0,64	SE-NO
			
Point 3	0,64	0,76	SE-NO
			

Tableau VI.19: Les caractéristiques géométriques des points de mesure, premier échantillon.

(Source: Auteur, 2017)

VI-4-1-1-Période hivernale :

VI-4-1-1-1-les paramètres microclimatiques simulés :

a- La température de l'air (T_{air}) :

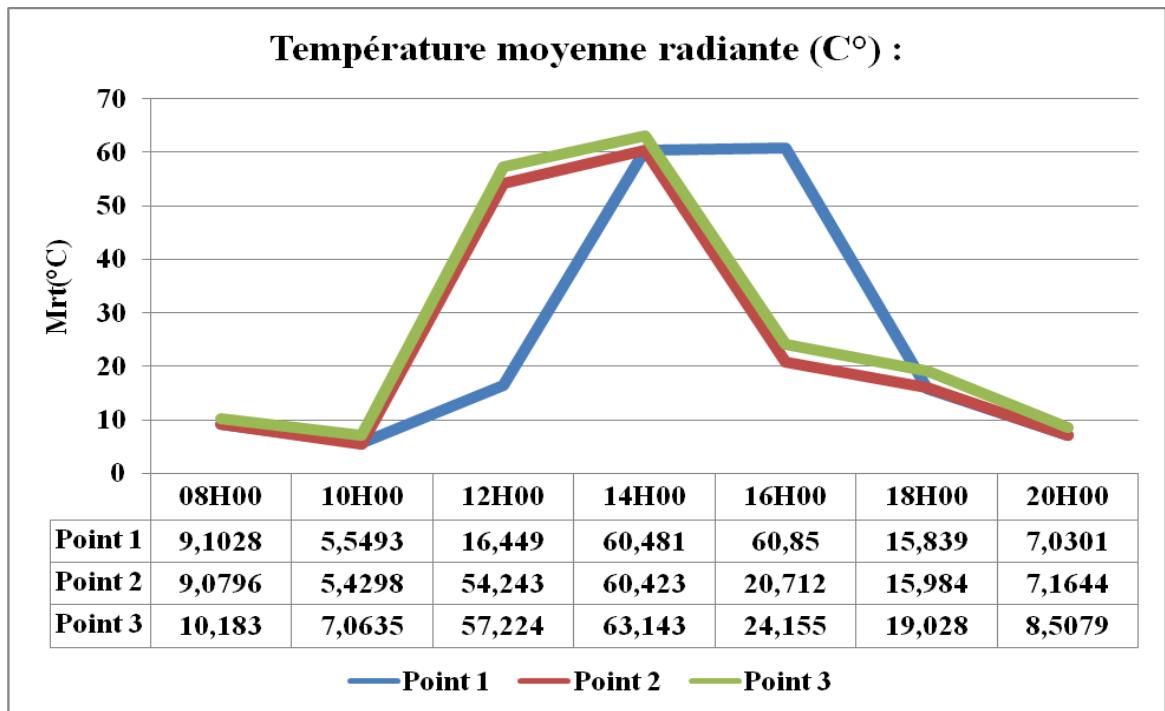
Graphe VI.9: Variation de la température de l'air au cours d'une journée d'hiver.

(Source: Auteur, 2017)

Pendant la période diurne et malgré la légère différence des températures de l'air au niveau des trois points, on remarque que les valeurs les plus élevées sont enregistrées au niveau du point 2 orienté vers NO-SE, tandis que les valeurs les moins élevées sont enregistrées au niveau du point 1.

➤ **L'effet de H/L sur la température de l'air :**

D'une manière générale, (T_{air}) tend à croître à partir de 10.00 h du matin pour atteindre une valeur maximale de 14.66-17.33°C et 16.29°C aux environs de 14h00. Au-delà, T_{air} décroît graduellement jusqu'à atteindre la valeur minimale de 13.53-14.27°C et 14.59°C à (20h00) pour les points 2 et 3. Il résulte essentiellement de la différence de la géométrie ($H/W = 0.64$ pour le point 2 et $H/W = 0.76$ pour le point 3) points 2 et 3 de même orientation NE-SO

b-Température moyenne radiante (Mrt) :

Graph VI.10: Variation de la température moyenne radiante au cours d'une journée d'hiver. (Source: Auteur, 2017)

Selon Athamna (2012), le facteur de vue de ciel affecte la quantité d'énergie solaire incidente et la température de l'air. (MRT) a un rapport direct avec la durée d'ensoleillement et la durée d'ombrage (Ali-Toudert 2005).

La température moyenne radiante (MRT) au niveau de tous les points de simulation a un rapport direct avec l'irradiation solaire provenant des différentes surfaces.

Durant la simulation, on a remarqué que les résultats du MRT sont totalement différents de ceux de la Température de l'air.

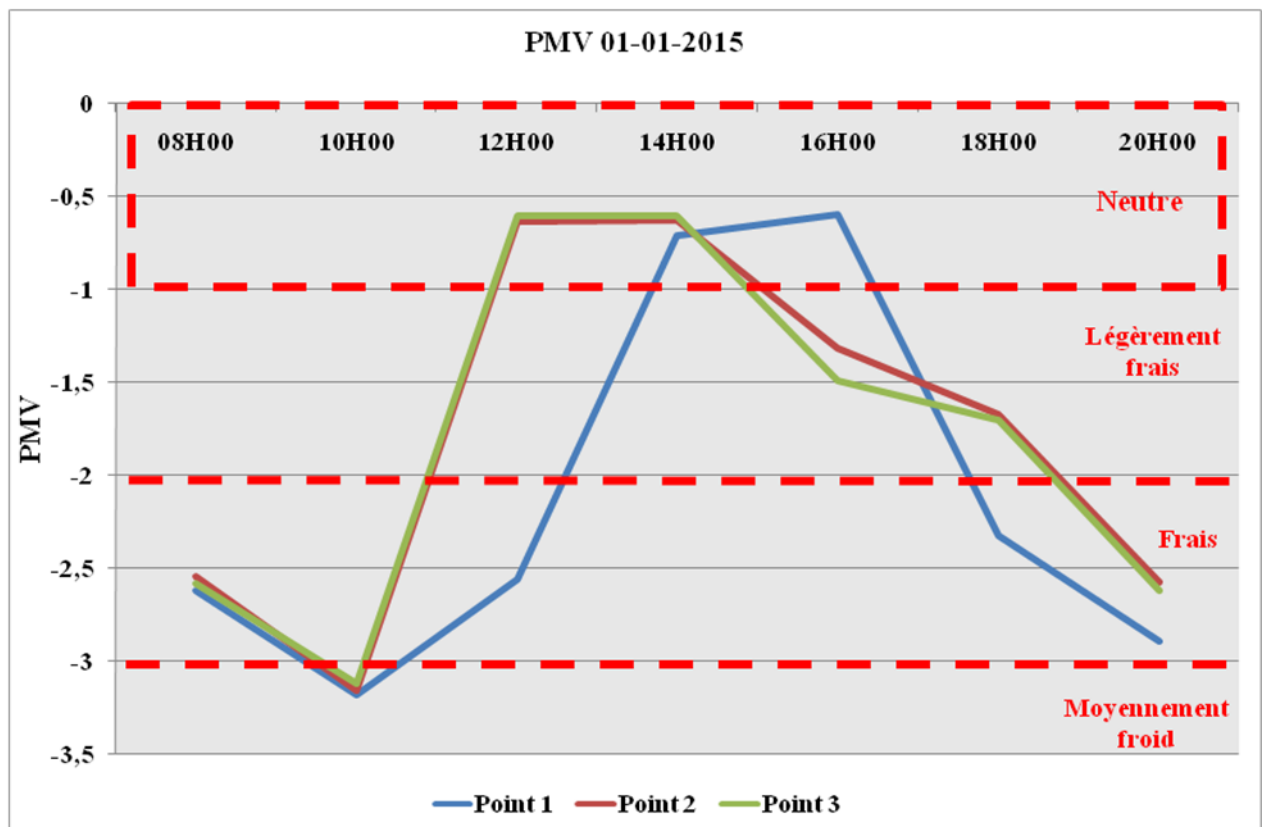
D'après les résultats de la simulation, on remarque que les points 2 et 3 marquent les valeurs les plus élevées du MRT durant la période 10h00 à 14h00, atteignant jusqu'à 60.43 et 63.14° C à 14h respectivement tandis qu'elles décroissent graduellement jusqu'à atteindre les valeurs minimales de 07.16-08.50°C à (20h00).

Au point 1 MRT atteint sa valeur maximale 60.85°C à 16h00, dû au rayonnement solaire, après 16h00 (MRT) elle décroît en raison de l'ombrage des blocs et à l'absence du rayonnement solaire.

➤ **Effet de la géométrie sur MRT:**

La figure 24 montre qu'à 14h, le point 3 (SVF = 0.64) enregistre la température moyenne radiante la plus élevée avec une maximale de 63.14° C, suivi du point 2 (SVF=0.79) avec une valeur de 60.42 C.

VI-4-1-1-2-Vote Moyen Prévisible (PMV) :



Graphique VI.11: Valeur de PMV au cours d'une journée d'hiver. (Source: Auteur, 2017)

Pour les 03 points , le PMV a diminué jusqu'à atteindre une valeur minimale à 10h00, qui explique la durée du réchauffement de l'air , après cette période on remarque une augmentation considérable du PMV à 12h00.

Pour les points 2 et 3 le PMV atteint sa valeur maximal (12h00-14h00), qui représente la période de confort, ainsi qu'entre 14h00 et 18h00 se trouve dans la zone légèrement fraîche, tandis qu'entre 18h00-20h00 les valeurs du PMV entrent dans la zone fraîche.

En outre ,on remarque que la valeur du PMV au point1 atteint sa valeur maximale (14h00-16h00), , qui représente la période de confort, ainsi qu'entre 16h00 et 18h00 qui se trouve

dans la zone légèrement fraîche, tandis qu'entre 18h00-20h00 les valeurs du PMV entrent dans la zone fraîche

VI-4-1-1-3- L'indice thermique universel du climat (UTCI) :

Pour l'évaluation du degré de confort, nous avons opté pour l'indice UTCI, nous avons calculé les valeurs de l'UTCI pour chaque échantillon pendant la journée typique choisie à partir des données obtenues au cours de la simulation numérique. Ensuite, nous avons calculé le moyen quotidien de l'UTCI pour chaque échantillon. Notre simulation est basée sur ces facteurs climatiques : la température, la température moyenne radiante, la vitesse de l'air, et l'humidité relative qui sont indispensables pour le calcul de l'UTCI. En utilisant l'Excel de Microsoft comme outil de calcul selon l'équation suivante :

$$UTCI = 3.21 + 0.872 T + 0.245 Mrt - 2.507 V - 0.0176 HR$$

➤ **Au niveau du point 1 :**

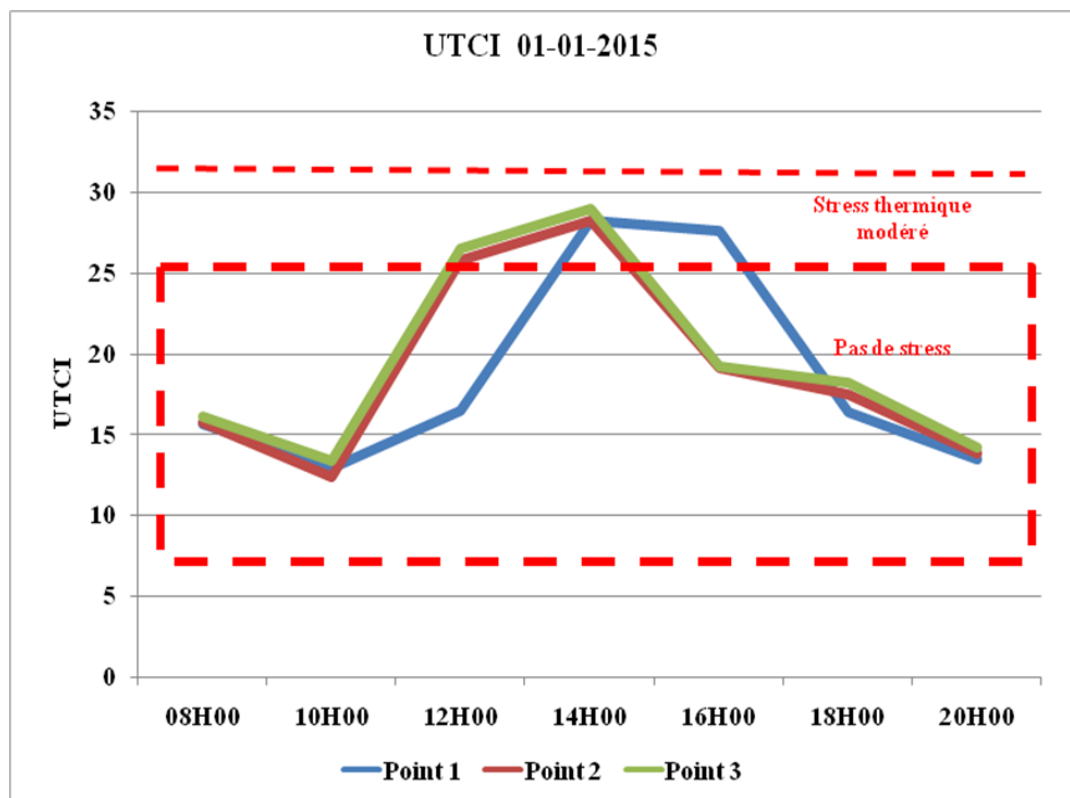
	08H00	10H00	12H00	14H00	16H00	18H00	20H00
Tair (°C)	14,519	12,788	13,698	14,519	14,665	14,477	13,533
Mrt (°C)	9,102	5,549	16,449	60,481	60,85	15,839	7,030
V (m/s)	0,377	0,406	0,39354	0,377	0,57894	0,545	0,504
HR (%)	48,522	68,278	64,796	48,522	68,635	75,569	77,972
UTCI 1	15,645	12,925	16,441	28,233	27,586	16,364	13,486

➤ **Au niveau du point 2 :**

	08H00	10H00	12H00	14H00	16H00	18H00	20H00
Tair (°C)	14,81	12,821	15,327	14,811	17,335	16,658	14,590
Mrt (°C)	9,079	5,429	54,243	60,423	20,712	15,984	7,164
V (m/s)	0,464	0,591	0,838	0,464	0,857	0,796	0,692
HR (%)	46,935	74,452	73,037	46,935	78,382	82,941	83,145
UTCI 2	15,691	12,348	25,787	28,270	19,090	17,445	13,832

➤ Au niveau du point 3 :

	08H00	10H00	12H00	14H00	16H00	18H00	20H00
Tair (°C)	14,519	12,776	15,055	14,519	16,299	16,188	14,274
Mrt (°C)	10,183	7,063	57,224	63,143	24,155	19,028	8,507
V (m/s)	0,322	0,350	0,745	0,322	0,827	0,677	0,610
HR (%)	48,543	73,116	69,616	48,543	74,943	79,738	81,97
UTCI 3	16,050	13,341	26,585	29,025	19,212	18,158	14,126



Graph VI.12: Valeur de l’UTCI au cours d'une journée d'hiver. (Source: Auteur, 2017)

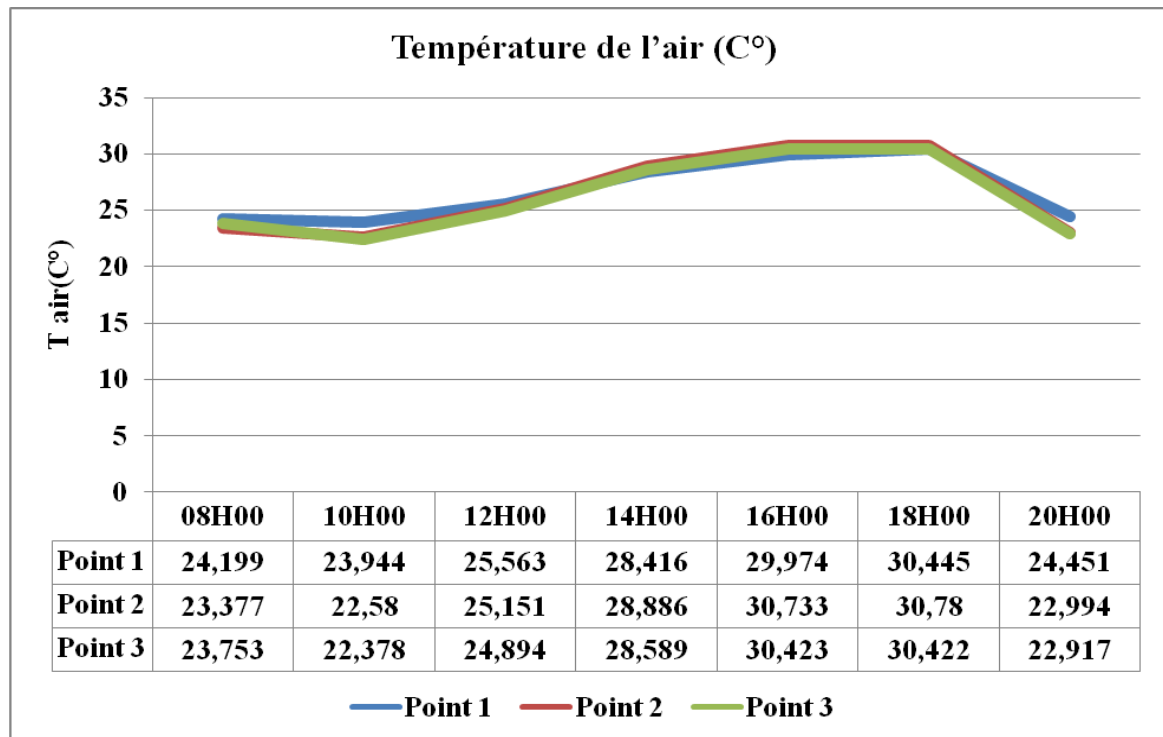
Nous notons que le point 3 présente les valeurs les plus élevées de l’UTCI sur tout le long de la journée, suivie le point 2, sont assez proches à ressembler, se trouvent dans la zone pas de stress thermique durant la période de 08h00 à 12h00 et de 14h00 à 20h00 , elles dépassent cette zone à la zone de stress thermique modéré durant la période de 12h00 à 14h00

Le point 1, se trouve dans la zone pas de stress thermique presque durant toute la période diurne sauf la période de 12h00 à 14h00 situé dans la zone de stress thermique modéré

VI-4-1-2-Période estivale:

VI-4-1-2-1- les paramètres microclimatiques simulés :

a- 1-La température de l'air (T air) :



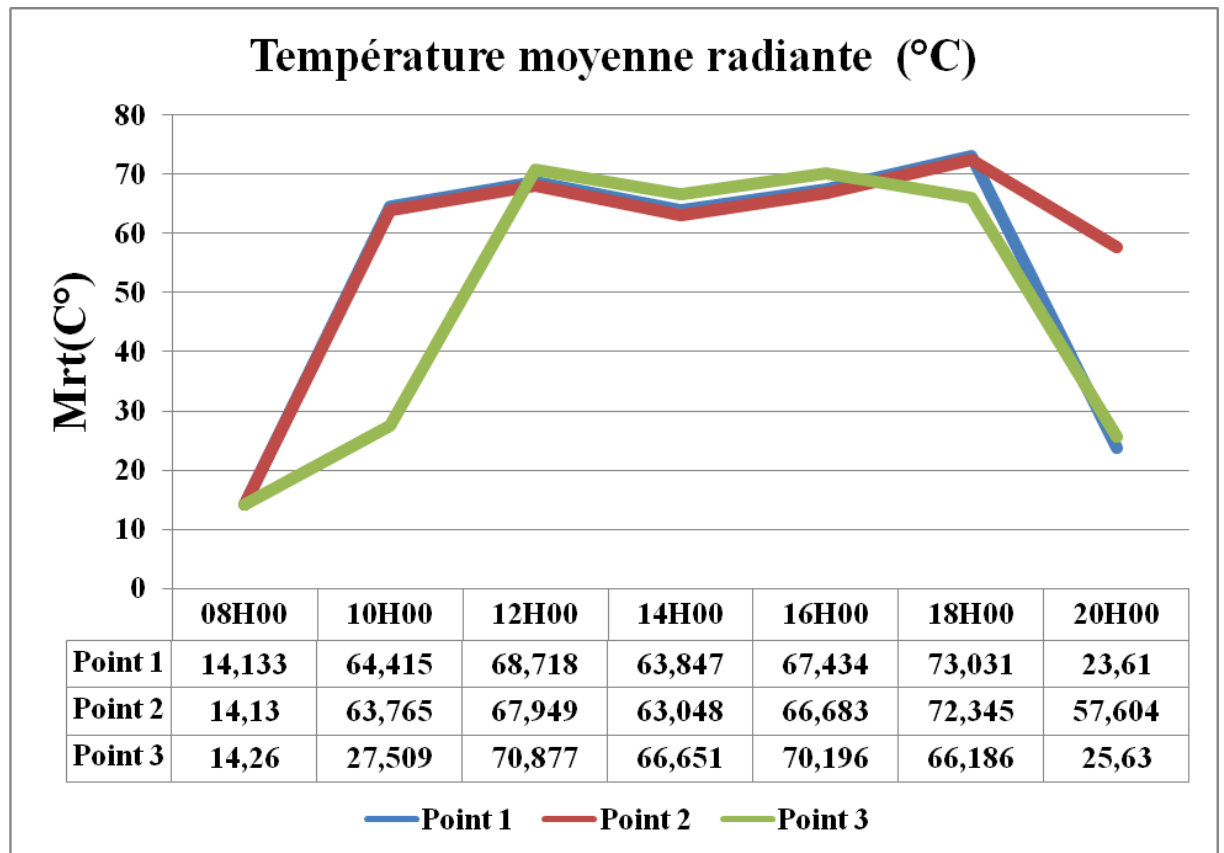
Graphe VI.13: Variation de la température de l'air au cours d'une journée d'été.(Source: Auteur, 2017)

Concernant la température de l'air, on remarque que le logiciel de simulation enregistre une très légère différence au niveau des trois points. Au début de la journée (08 heures), la température de l'air la plus élevée est au niveau du point03 (23.75° C).

La température de l'air au niveau des trois points, tend à s'accroître à partir de 10.00 h du matin pour atteindre une valeur maximale de 30.44-30.78°C et 30.42°C à 18.00h

➤ L'effet de H/L sur la température de l'air :

D'une manière générale, Tair tend à s'accroître à partir de 10.00 h du matin pour atteindre une valeur maximale de 30.78 et 30.42°C aux environs de 18h00 pour les points 2et3. Cet accroissement résulte essentiellement de la différence de géométrie (H/W= 0.64 pour le point 2 et H/W = 0.76 pour le point 3, de même orientation).

b-Température moyenne radiante (Mrt) :

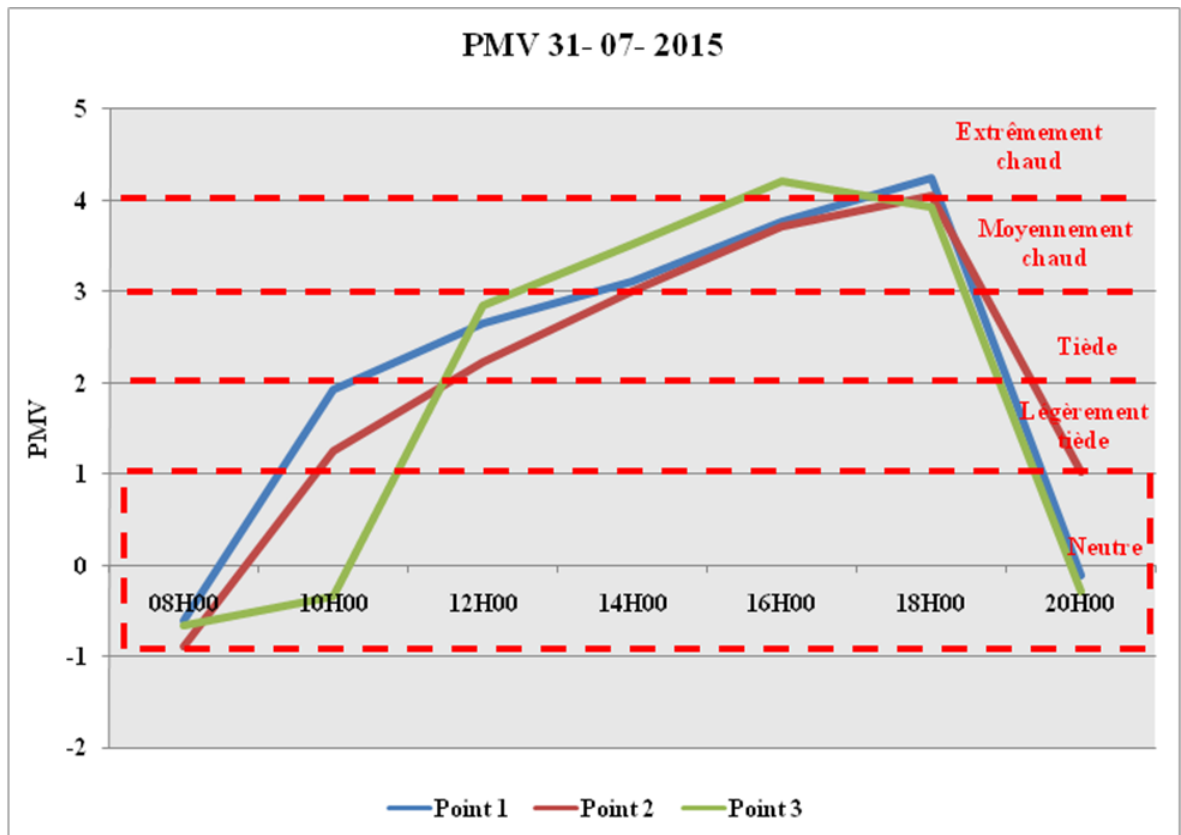
Graphe VI.14: Variation de la température moyenne radiante au cours d'une journée d'été.
(Source: Auteur, 2017)

La figure montre un accroissement de MRT durant 08h00 à 12h00 , Les valeurs du MRT atteignant jusqu'à 70.87° C au niveau de point 3, cela est dû essentiellement à l'orientation SE-NO qui permet un accès direct des rayons solaires d'été avec une importante durée d'insolation sur les surfaces directement exposées au soleil.

➤ **Effet de la géométrie sur MRT:**

À 18h00, le point 1 (SVF = 0.80) enregistre la température moyenne radiante la plus élevée avec une maximale de 73.03° C, suivi de le point 2, 3 (SVF=0.79, 0.4) avec les valeurs de 72.34, 66.18 °C.

VI-4-1-2-2-Vote Moyen Prévisible (PMV) :



Graph VI.15: Valeur de PMV au cours d'une journée d'été. (Source: Auteur, 2017)

Après l'analyse des résultats de la simulation, on remarque que la majorité des valeurs enregistrées du PMV étaient positives (entre 0 et +5) sauf entre 08h00 et 10h00 du matin où on a enregistré des valeurs négatives entre -1 et 0.

Les valeurs minimales du PMV ont été enregistrées au début de la journée (zone de confort) dans les trois points. Elles montent pour atteindre le seuil de la zone chaude à 16h00, avec des valeurs supérieures à 4.

On remarque que les heures les plus critiques (de 12h00 à 18h00) sont enregistrées au niveau des point 1 et 3, se trouvent dans la zone de stress thermique, et (de 16h00 à 18h00) pour le point 2.

Au début de la journée, le point 1 (de 08h00 à 10h00) se trouve dans la zone de non stress thermiques et (de 08h00 à 12h00) pour les points 2 et 3.

VI-4-1-2-3- L'indice thermique universel du climat (UTCI) :**➤ Au niveau du point 1 :**

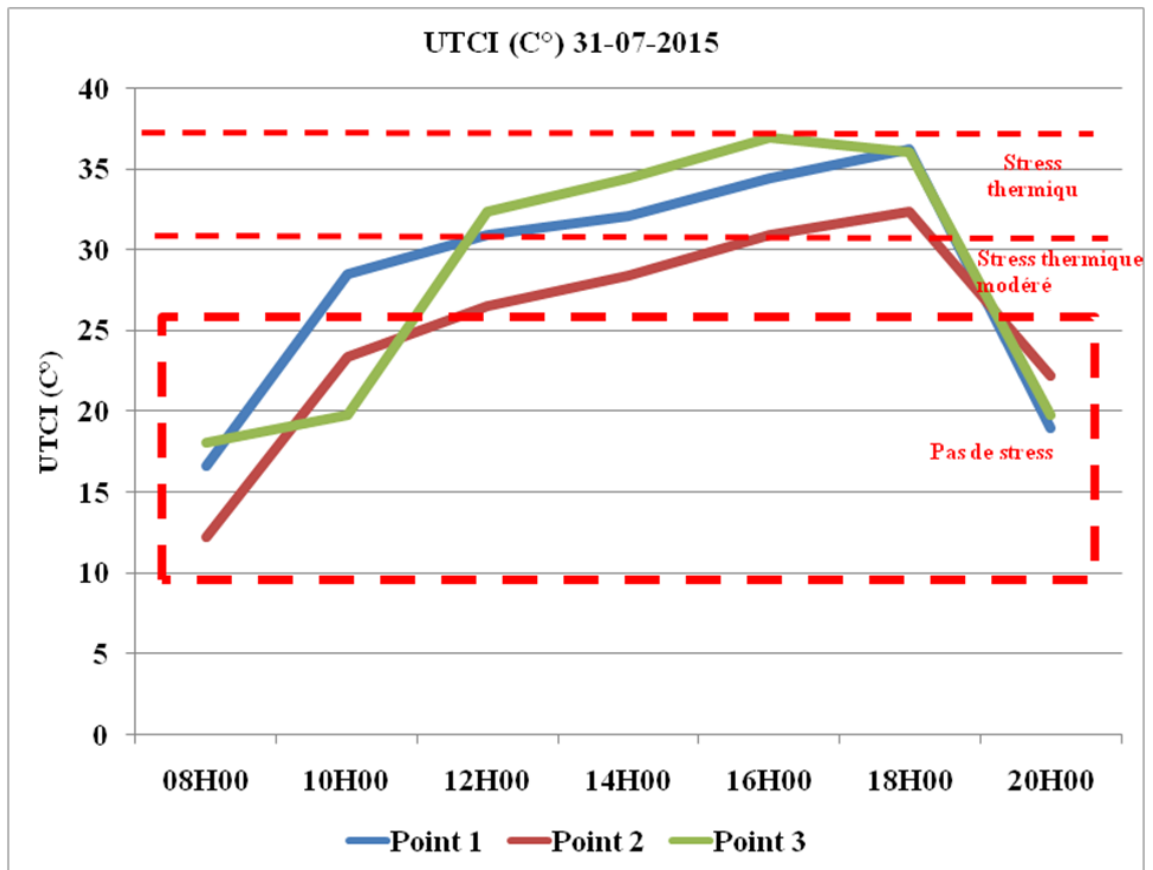
	08H00	10H00	12H00	14H00	16H00	18H00	20H00
Tair (°C)	24,199	23,944	25,563	28,416	29,974	30,445	24,451
Mrt (°C)	14,133	64,415	68,718	63,847	67,434	73,031	23,61
V (m/s)	3,7894	3,7801	3,7453	3,704	3,676	3,680	3,7894
HR (%)	33,634	44,802	48,872	51,934	49,269	45,255	44,302
UTCI 1	16,593	28,528	30,936	32,150	34,434	36,256	18,935

➤ Au niveau du point 2 :

	08H00	10H00	12H00	14H00	16H00	18H00	20H00
Tair (°C)	23,377	22,580	25,151	28,886	30,733	30,780	22,994
Mrt (°C)	14,13	63,765	67,949	63,048	66,683	72,345	57,604
V (m/s)	5,250	5,253	5,2406	5,221	5,216	5,2452	5,254
HR (%)	34,956	53,762	56,865	58,217	52,698	47,832	54,283
UTCI 2	12,226	23,388	26,518	28,429	30,959	32,398	22,211

➤ Au niveau du point 3 :

	08H00	10H00	12H00	14H00	16H00	18H00	20H00
Tair (°C)	23,753	22,378	24,894	28,589	30,423	30,422	22,917
Mrt (°C)	14,260	27,509	70,877	66,651	70,196	66,186	25,630
V (m/s)	3,074	3,102	3,101	3,088	3,077	3,084	3,0929
HR (%)	34,284	54,069	57,300	58,557	52,990	48,187	54,025
UTCI 3	18,035	19,726	32,378	34,409	36,920	36,004	19,736



Graphe VI.16: Valeur d'UTCI au cours d'une journée d'été. (Source: Auteur, 2017)

On remarque que les heures les plus critiques (de 12h00 à 18h00) sont enregistrées au niveau des point 1 et 3, se trouvent dans la zone de stress thermique, et (de 16h00 à 18h00) pour le point 2.

Au début de la journée, le point 1 (de 08h00 à 10h00) se trouve dans la zone de non stress thermique et (de 08h00 à 12h00) pour les points 2 et 3.

VI-4-2-deuxième échantillon :

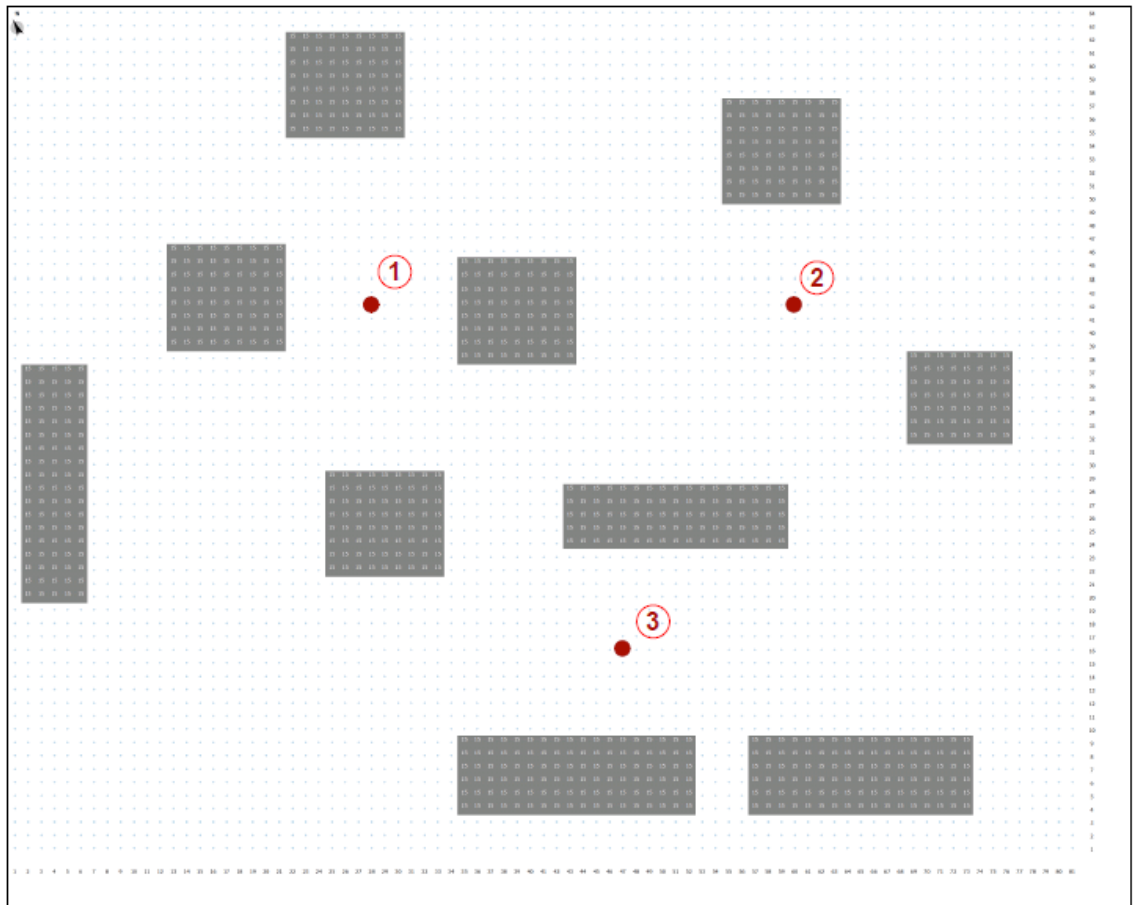


Figure VI.75: Les points de mesure, deuxième échantillon (Source : Auteur, 2017)

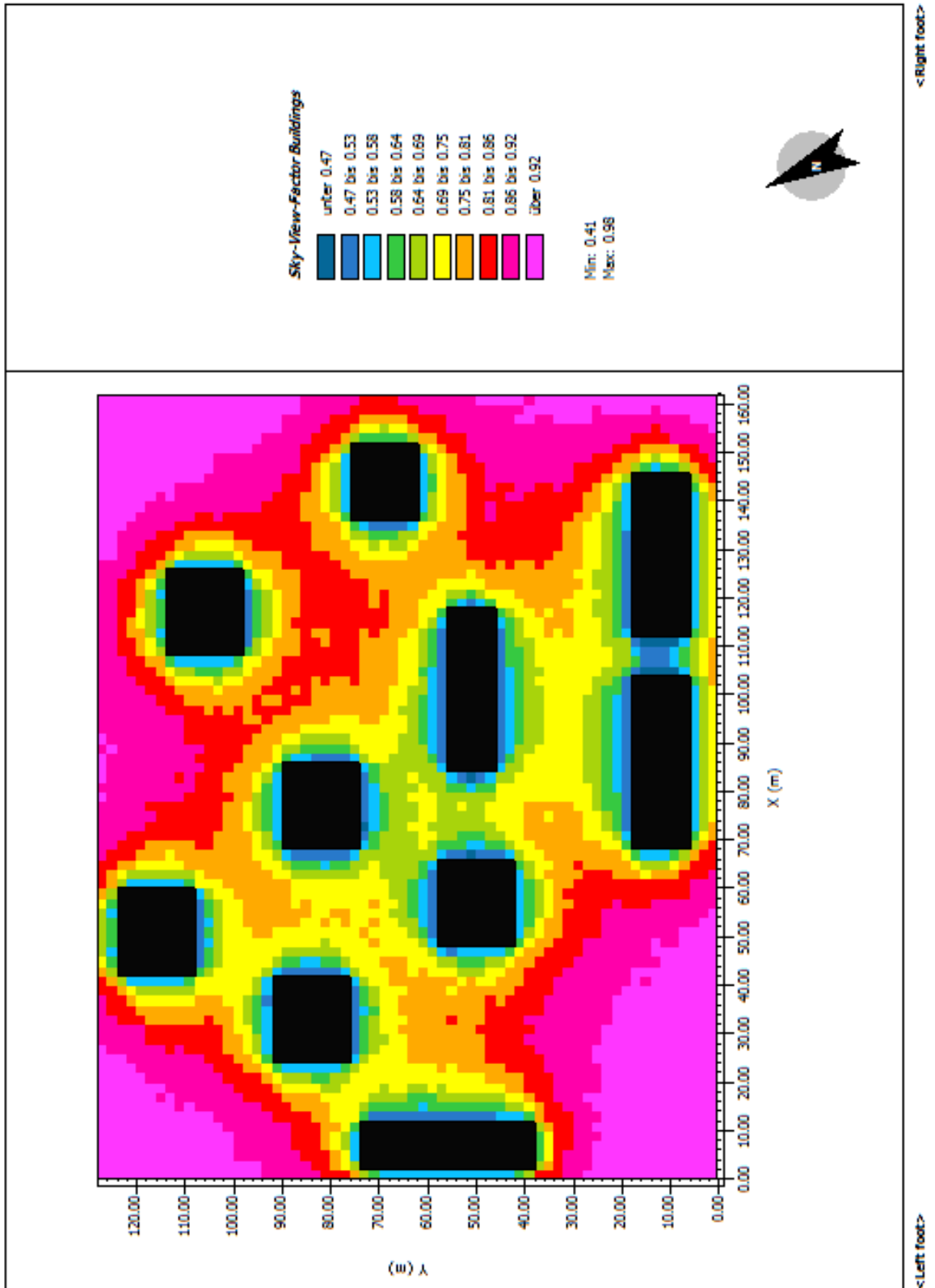


Figure VI.76: Représentation les valeurs du facteur de vue du ciel SVF, deuxième échantillon.
(Source : Leonardo, Auteur, 2017)

➤ Les caractéristiques géométriques des points de mesure :

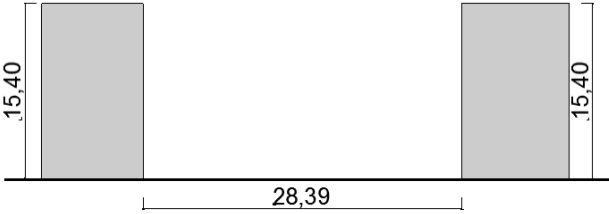
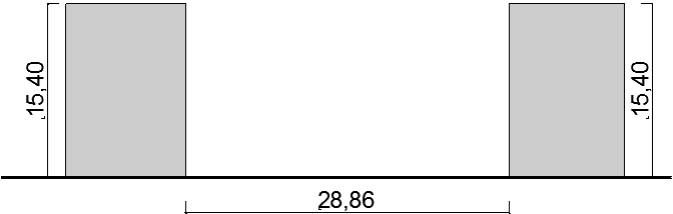
	SVF	H/L	ORIENTATION
Point 1	0,75	0,54 	NE-SO
Point 2	0,81	/	/
Point 3	0,63	0,53 	SE-NO

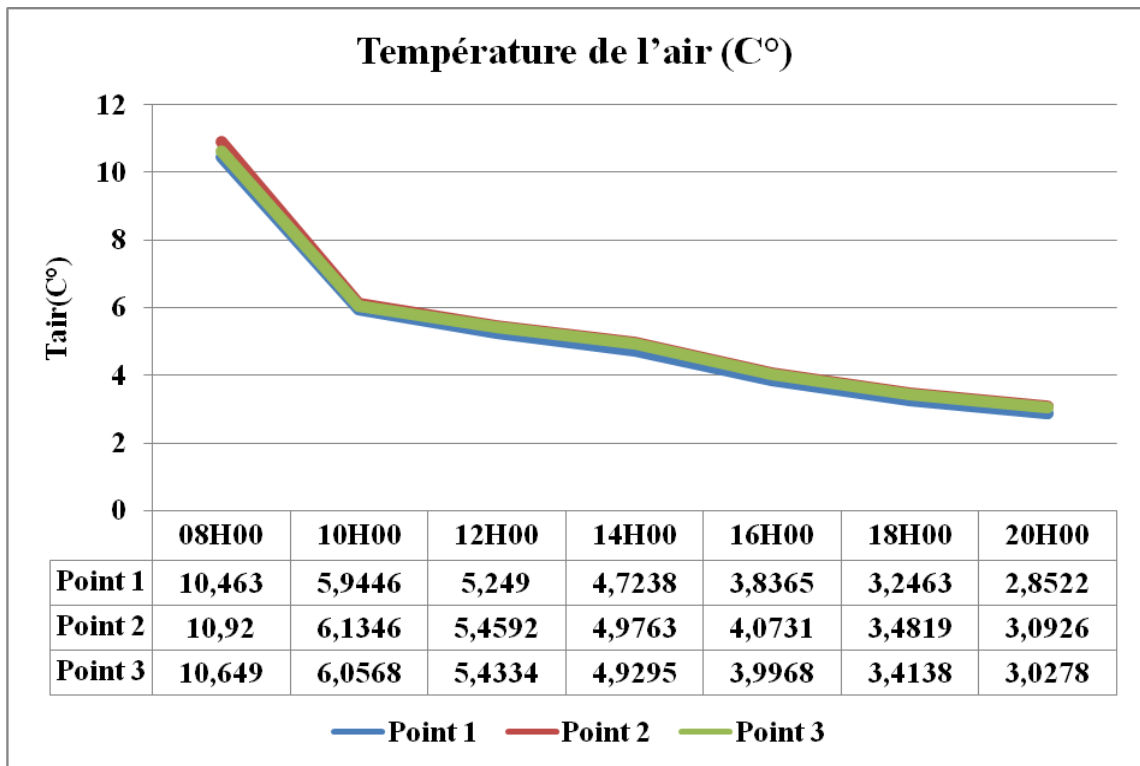
Tableau VI.20: Les caractéristiques géométriques des points de mesure, deuxième échantillon.

(Source: Auteur, 2017)

VI-4-2-1-Période hivernale :

VI-4-2-1-1- les paramètres microclimatiques simulés :

a-La température de l'air (T air) :



Graphes VI.17: Variation de la température de l'air au cours d'une journée d'hiver.
(Source: Auteur, 2017)

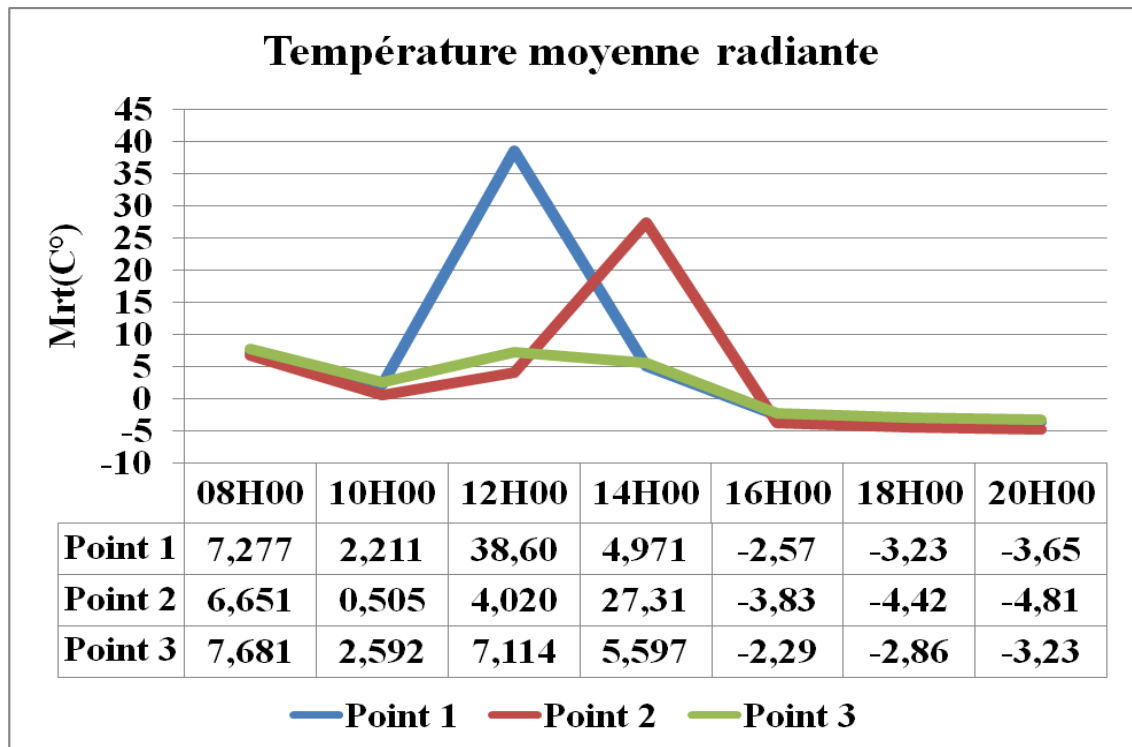
Le logiciel enregistre une légère différence entre les valeurs de température de l'air au niveau des 3 points.

Au début de la journée (08 heures), on a enregistré les valeurs les plus élevées pour les trois points et 10.46°C (point 1) 10.92°C (point2) et 10.64°C (point3), et puis Tair, décroît graduellement jusqu'à atteindre la valeur minimale à (20h00) de 2.58°C (point 1) 3.09°C (point2) et 3.02°C (point3).

➤ **L'effet de H/L sur la température de l'air :**

Durant toutes les heures de simulation, on remarque une corrélation entre la température de l'air et H/L.

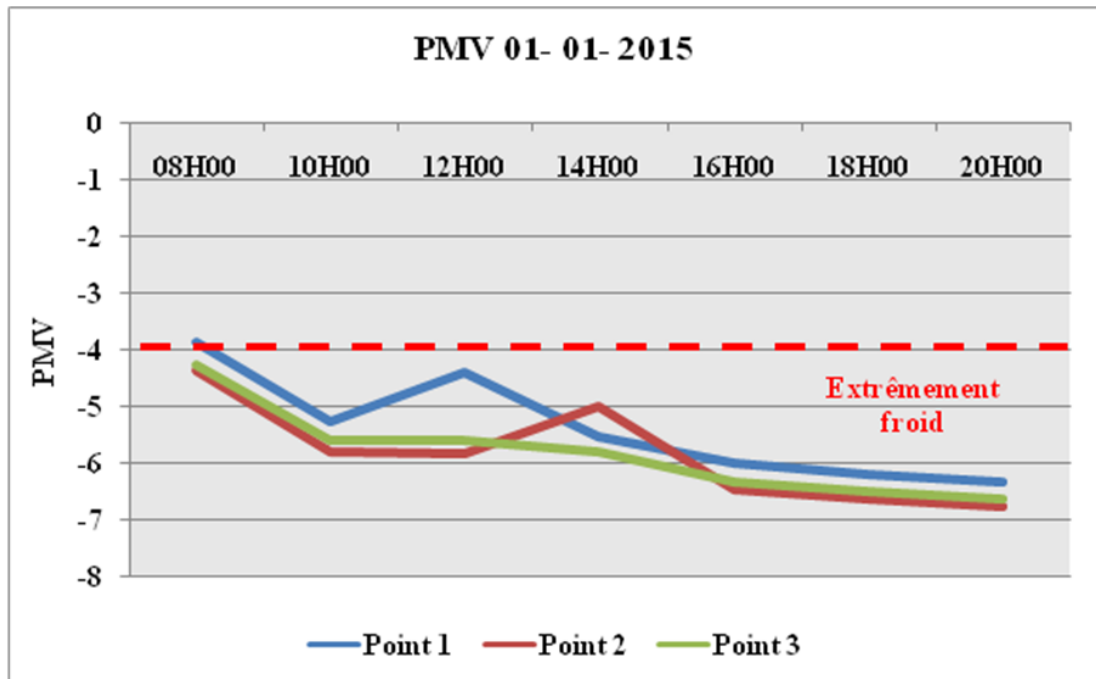
b- Température moyenne radiante (Mrt) :



Graphe VI.18: Variation de la température moyenne radiante au cours d'une journée d'hiver. (Source: Auteur, 2017)

Le graphe 10 montre un accroissement de MRT durant 10h00 à 12h00 au niveau des points 1 (SVF = 0.75) et 3 (SVF = 0.63) , avec des valeurs de MRT atteignant jusqu'à 38.60°C (point1) cela est dû essentiellement à l'orientation NE-SO qui permet un accès direct des rayons solaires et 07.11°C (point 3) dû à l'ombrage des blocs, en outre au niveau du point 2 (SVF = 0.81) , MRT accroît durant 10h00 à 14h00 enregistre une valeur de 27.31°C dû au rayonnement solaire direct.

VI-4-2-1-2- Vote Moyen Prévisible (PMV) :



Graph VI.19: Valeur de PMV au cours d'une journée d'hiver. (Source: Auteur, 2017)

Après l'analyse des résultats de simulation, on remarque que les valeurs enregistrées du PMV étaient négatives (inférieur -4), et situés dans la zone extrêmement froide.

VI-4-2-1-3- - L'indice thermique universel du climat (UTCI) :

➤ Au niveau du point 1 :

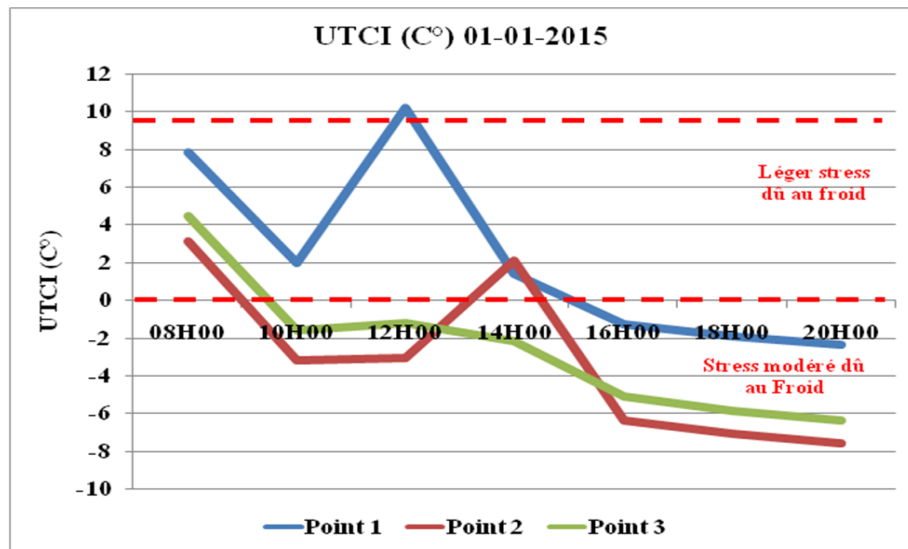
	08H00	10H00	12H00	14H00	16H00	18H00	20H00
Tair (°C)	10,463	5,944	5,249	4,723	3,836	3,246	2,852
Mrt (°C)	7,277	2,211	38,605	4,971	-2,575	-3,234	-3,651
V (m/s)	1,891	1,902	1,904	1,899	1,886	1,871	1,855
HR (%)	62,276	108,65	117,100	123,530	129,920	133,710	136,420
UTCI 1	7,808	1,985	10,173	1,399	-1,2650	-1,9425	-2,377

➤ Au niveau du point 2 :

	08H00	10H00	12H00	14H00	16H00	18H00	20H00
Tair (°C)	10,920	6,134	5,459	4,976	4,073	3,481	3,092
Mrt (°C)	6,651	0,505	4,020	27,316	-3,839	-4,426	-4,814
V (m/s)	3,865	3,878	3,885	3,899	3,911	3,922	3,933
HR (%)	59,201	107,390	115,400	121,040	126,530	129,770	132,080
UTCI2	3,137	-3,205	-3,062	2,111	-6,395	-7,112	-7,596

➤ Au niveau du point 3 :

	08H00	10H00	12H00	14H00	16H00	18H00	20H00
Tair (°C)	10,649	6,056	5,433	4,929	3,996	3,413	3,027
Mrt (°C)	7,681	2,592	7,114	5,597	-2,297	-2,863	-3,232
V (m/s)	3,342	3,404	3,437	3,467	3,497	3,528	3,562
HR (%)	60,924	108,030	115,860	121,660	127,480	130,860	133,250
UTCI3	4,446	-1,581	-1,209	-2,175	-5,058	-5,818	-6,353



Graph VI.20: Valeur de l’UTCI au cours d’une journée d’hiver. (Source: Auteur, 2017)

On remarque que les trois points se trouvent dans les zones de léger stress

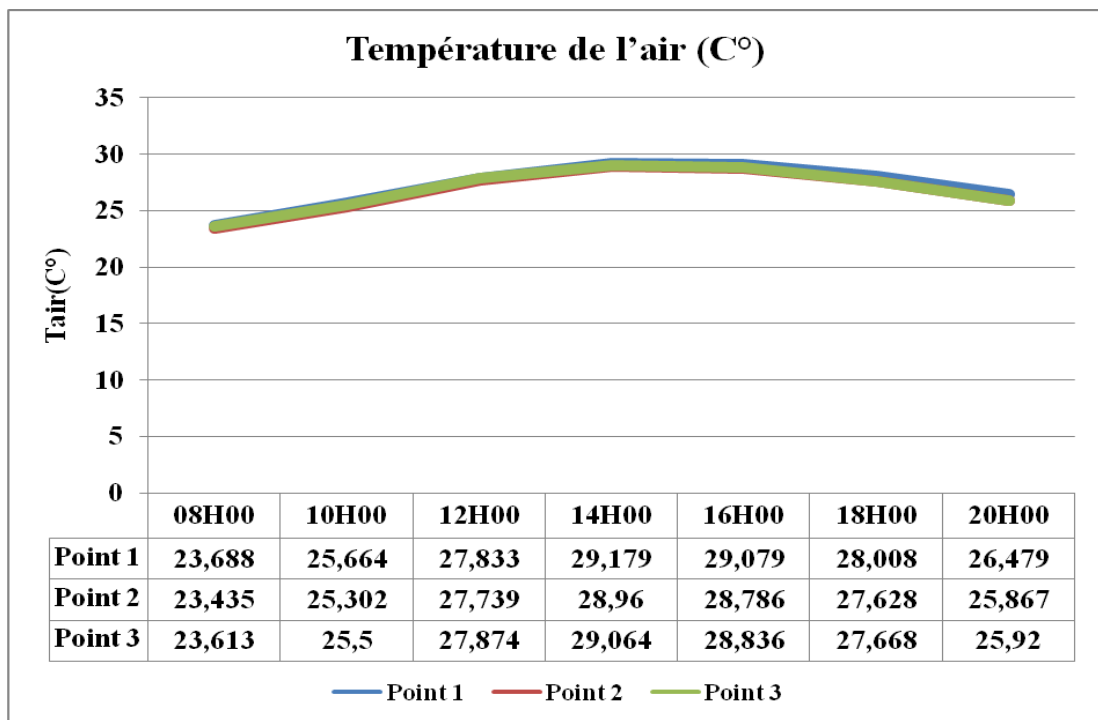
Après l’analyse des résultats de la simulation, On remarque l’absence totale de la zone de « pas de stress thermique » en cette saison.

Les heures les plus critiques (de 10h00 à 20h00) sont enregistrées au niveau des point 2 et 3, se trouvent dans la zone de stress modéré dû au froid, et (de 16h00 à 20h00) pour le point 1.

VI-4-2-2-Période estivale :

VI4-2-2-1- les paramètres microclimatiques simulés :

a- La température de l’air (T air) :

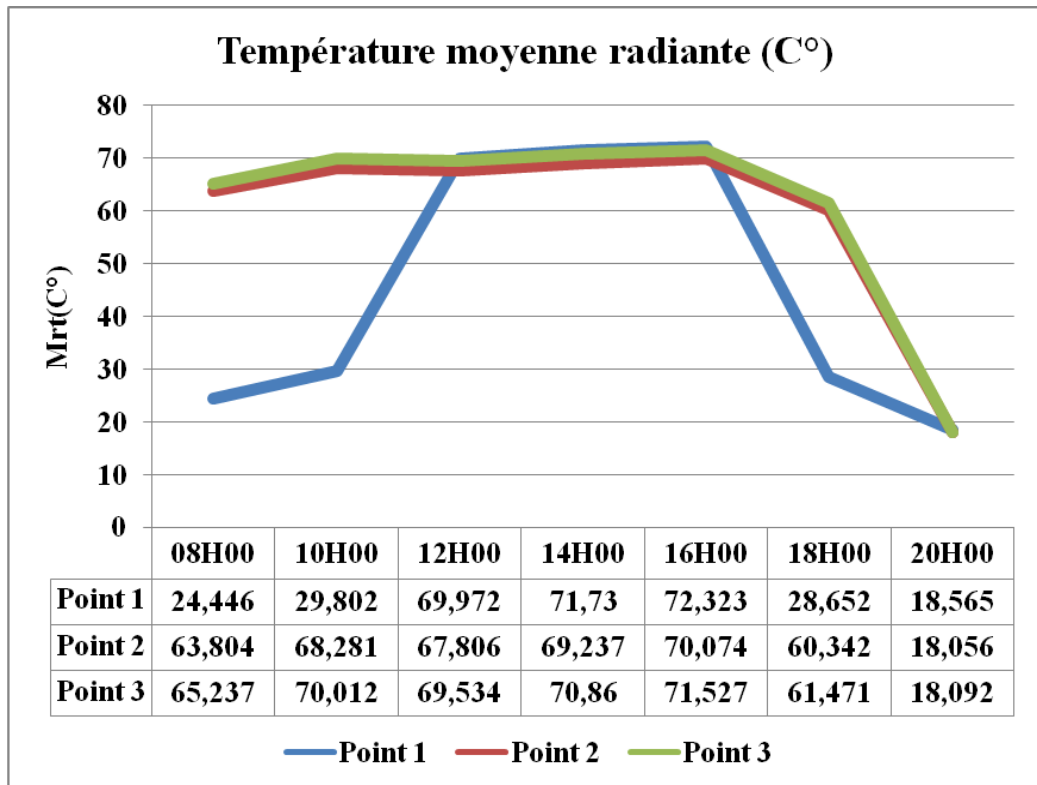


Graphe VI.21: Variation de la température de l'air au cours d'une journée d'été. (Source: Auteur, 2017)

Le logiciel enregistre une légère déffirece entre les valeurs de temparature de l’air au niveau des 3 points.

Au niveau des 03 points, l’augmentation de la température de l’air est observée de 8h00 à 14h00, jusqu’à atteindre la valeur maximale 29.17°C (point 1, H/L=0.54), 28.96°C (point 2) et 29.06°C (point 3, H/L=0.53). Après 14h00, les valeurs de Tair décroissent graduellement.

b- Température moyenne radiante (Mrt) :



Graphe VI.22: Variation de la température moyenne radiante au cours d'une journée d'été. (Source: Auteur, 2017)

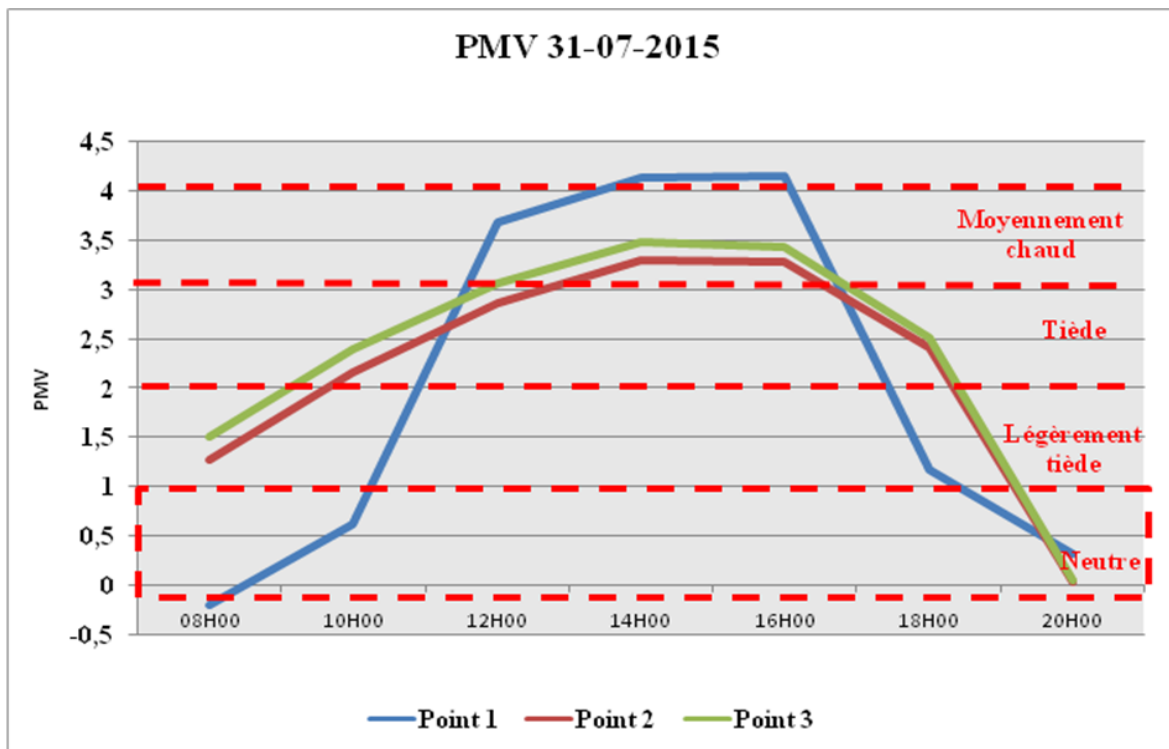
La figure montre qu'au niveau des point 2 et 3 une légère déffirence entre les valeurs de MRT, on remarque que les valeurs les plus élevées sont enregistrées au niveau du point 3.

Effet de la géométrie sur MRT:

Pour les point 2(SVF=0.81) et 3(SVF=0.63), marquent les valeurs les plus élevées du MRT durant 10h00 à 14h00, atteignant jusqu'à 70.07 et 71.52° C à 16h00 respectivement tandis qu'elles décroissent graduellement jusqu'à atteindre les valeurs minimales de 18.05 - 18.09°C à (20h00).

Pour le point 1(SVF=0.75), les valeurs les plus élevées du MRT enregistrée à 16h00, atteignant jusqu'à 72.32° C, tandis qu'elle décroît jusqu'à atteindre la valeur minimale de 18.56°C à (20h00).

VI-4-2-2-2- Vote Moyen Prévisible (PMV) :



Graph VI.23: Valeur de PMV au cours d'une journée d'été. (Source: Auteur, 2017)

Après l'analyse des résultats de la simulation, on remarque que la majorité des valeurs enregistrées du PMV étaient positives (entre 0 et +4.5).

Les valeurs minimales du PMV ont été enregistrées au début de la journée (zone de confort) dans le point1. Par contre les points 2 et 3 se situent dans la zone légèrement tiède.

Les valeurs les plus élevées du PMV ont été enregistrées entre 14h00 à 16h00, atteignant 3.29 pour le point 2 et 3.47 pour le point 3 dont la zone moyennement chaude, en outre le point1 se situe dans la zone « extrêmement chaud » avec une valeur de PMV=4.14.

VI-4-2-2-3- L'indice thermique universel du climat (UTCI) :

➤ Au niveau du point 1 :

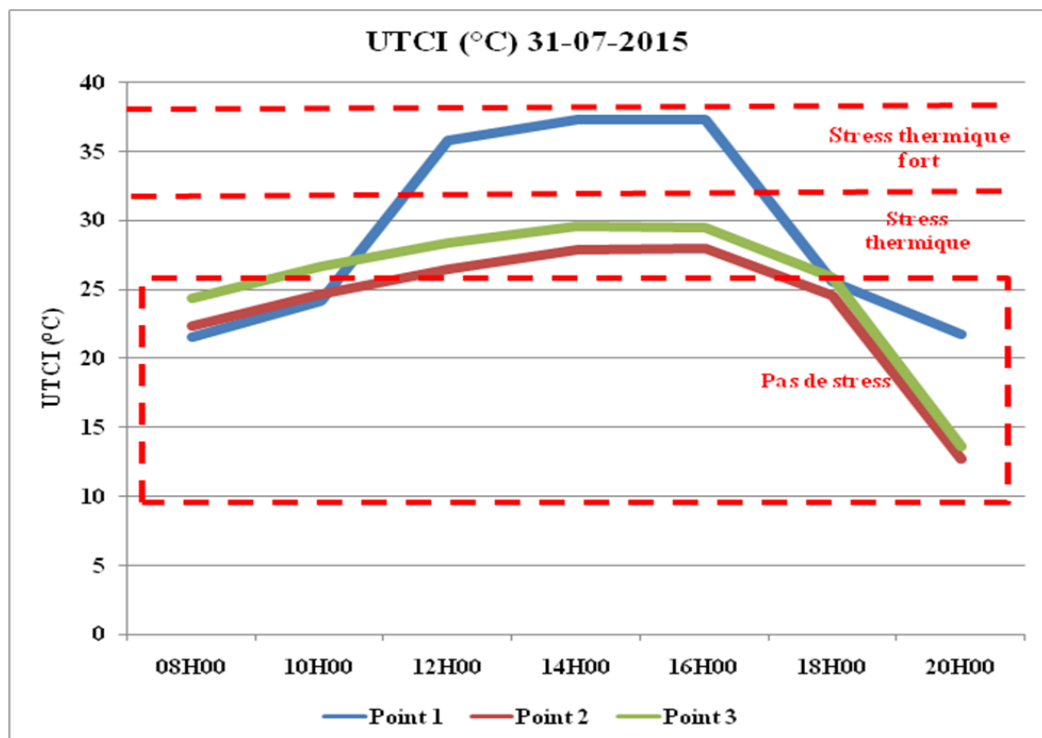
	08H00	10H00	12H00	14H00	16H00	18H00	20H00
Tair (°C)	23,688	25,664	27,833	29,179	29,079	28,008	26,479
Mrt (°C)	24,446	29,802	69,972	71,730	72,323	28,652	18,565
V (m/s)	2,642	2,667	2,688	2,711	2,733	2,754	2,770
HR (%)	34,557	48,188	51,229	50,148	49,410	50,857	53,196
UTCI 1	21,555	24,200	35,730	37,235	37,254	25,591	21,774

➤ Au niveau du point 2:

	08H00	10H00	12H00	14H00	16H00	18H00	20H00
Tair (°C)	23,435	25,302	27,739	28,960	28,786	27,628	25,867
Mrt (°C)	63,804	68,281	67,806	69,237	70,074	60,342	18,056
V (m/s)	6,076	6,092	6,0853	6,083	6,0875	6,097	6,110
HR (%)	34,937	52,588	55,109	53,963	52,697	53,967	56,789
UTCI 2	22,373	24,664	26,536	27,923	27,995	24,606	12,706

➤ Au niveau du point 3 :

	08H00	10H00	12H00	14H00	16H00	18H00	20H00
Tair (°C)	23,613	25,500	27,874	29,064	28,836	27,668	25,920
Mrt (°C)	65,237	70,012	69,534	70,860	71,527	61,471	18,092
V (m/s)	5,464	5,520	5,562	5,613	5,670	5,7304	5,787
HR (%)	34,651	51,795	54,123	53,072	52,003	53,289	56,104
UTCI 3	24,410	26,698	28,400	29,600	29,449	25,847	13,580



Graph VI.24 : Valeur d'UTCI au cours d'une journée d'été. (Source: Auteur, 2017)

On remarque que les heures les plus critiques (de 12h00 à 16h00) sont enregistrées au niveau des trois points, se trouvent dans la zone de stress thermique.

Les trois points (de 08h00 à 10h00) et (de 18h00 à 20h00) se trouvent dans la zone de « non stress thermique ».

VI-4-3- Troisième échantillon :

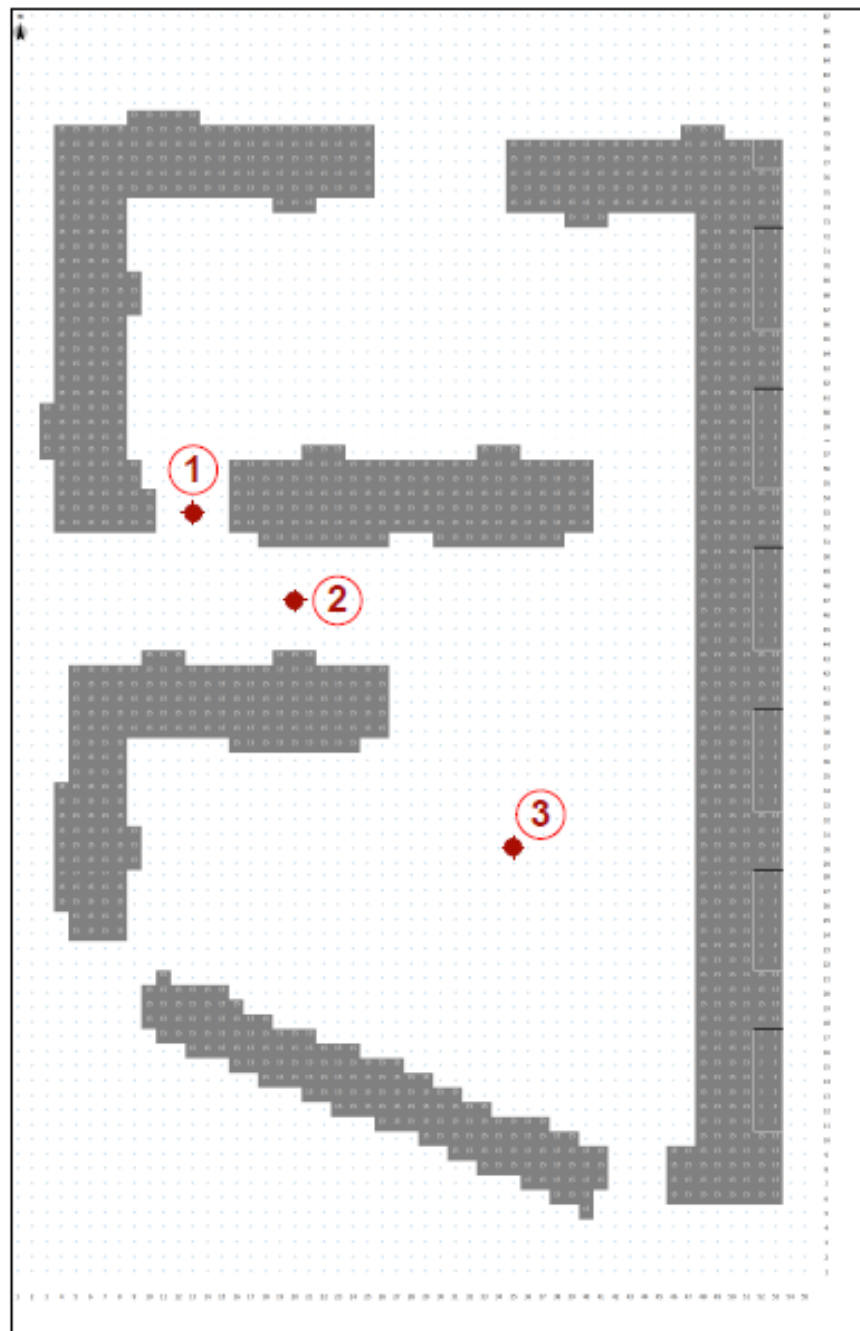


Figure VI.77: Les points de mesure, troisième échantillon (Source : Auteur, 2017)

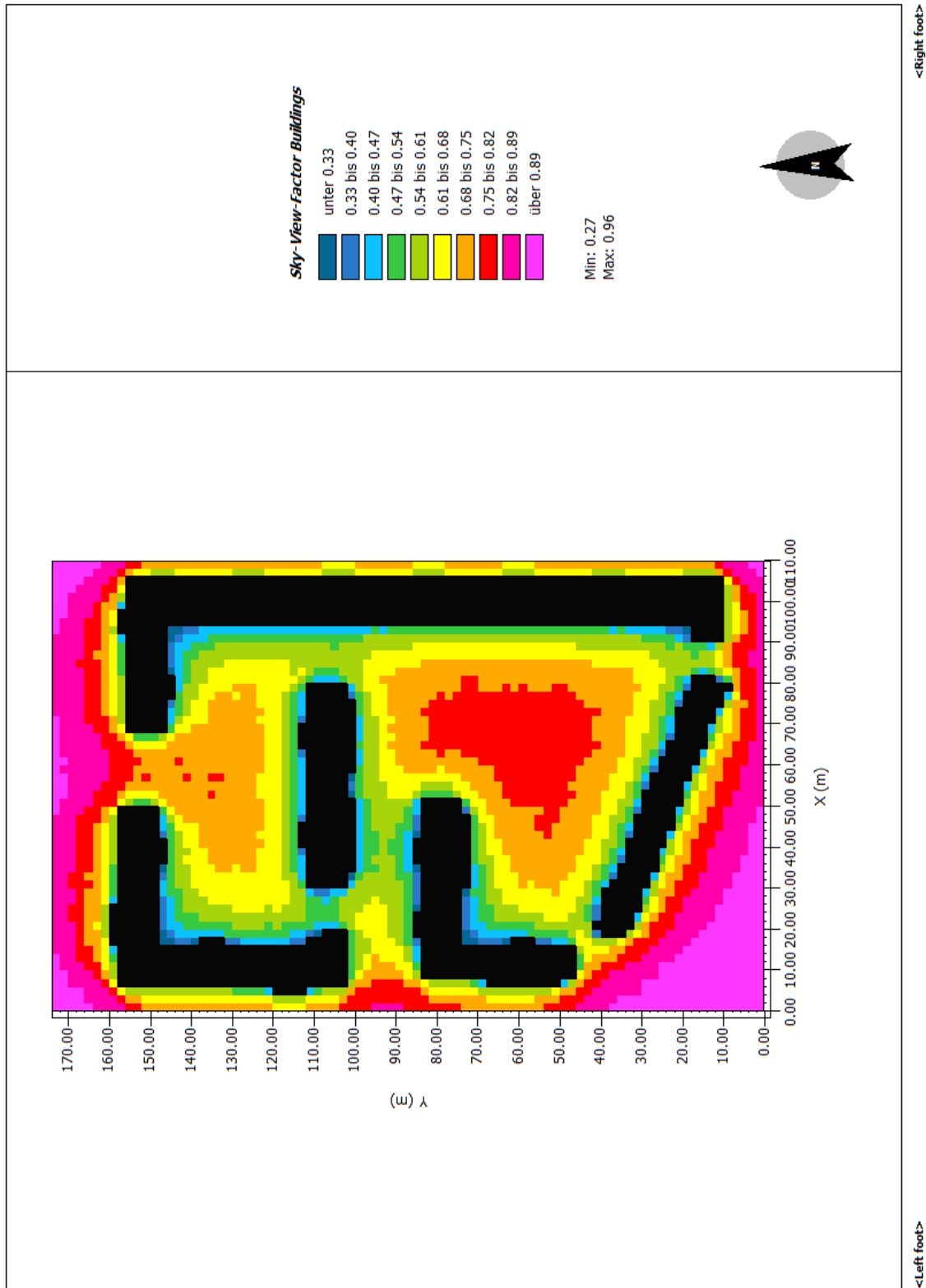


Figure VI.78: Représentation les valeurs du facteur de vue du ciel SVF, troisième échantillon.

(Source : Leonardo, Auteur, 2017)

➤ Les caractéristiques géométriques des points de mesure :

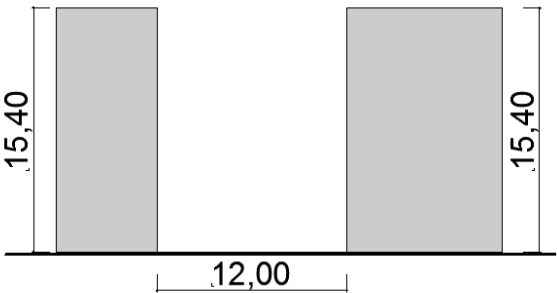
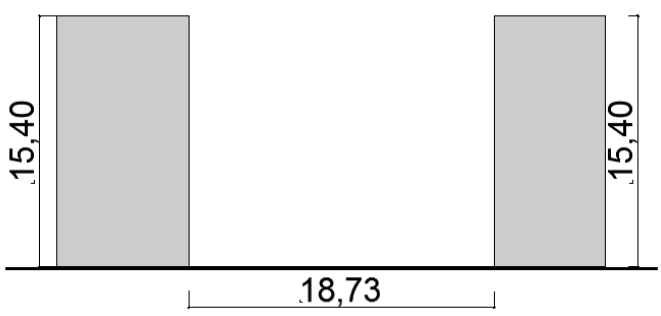
	SVF	H/L	ORIENTATION
Point 1	0,46	<p>1.28</p> 	N-S
Point 2	0,53	<p>0.82</p> 	E-O
Point 3	0,76	/	/

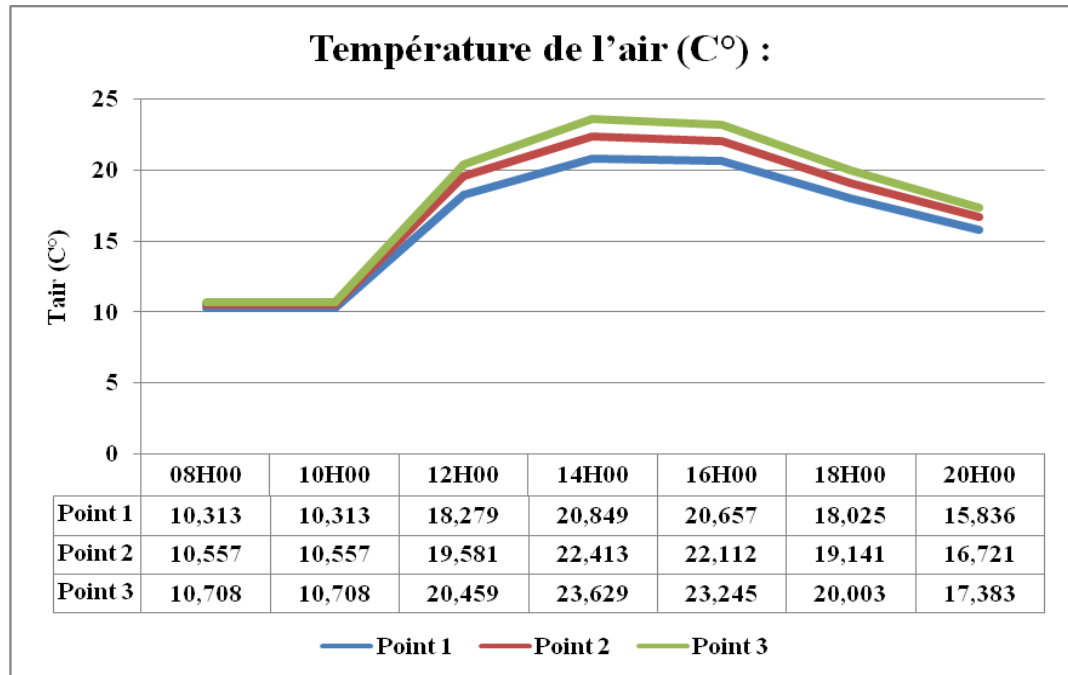
Tableau VI.21: Les caractéristiques géométriques des points de mesure, troisième échantillon.

(Source: Auteur, 2017)

VI-4-3- 1-Période hivernale :

VI-4-3-1-1- les paramètres microclimatiques simulés :

a-La température de l'air (T air) :



Graphe VI.25: Variation de la température de l'air au cours d'une journée d'hiver.
(Source: Auteur, 2017)

Concernant la température de l'air, on remarque que le logiciel de simulation enregistre une légère différence au niveau des trois points. Au début de la journée (08 heures), la température de l'air la plus élevée est au niveau du point03 (10.70° C).

La température de l'air au niveau des trois points, tend à s'accroître à partir de 10.00 h du matin pour atteindre une valeur maximale de 20.65-22.11°C et 23.24°C à 14.00h respectivement.

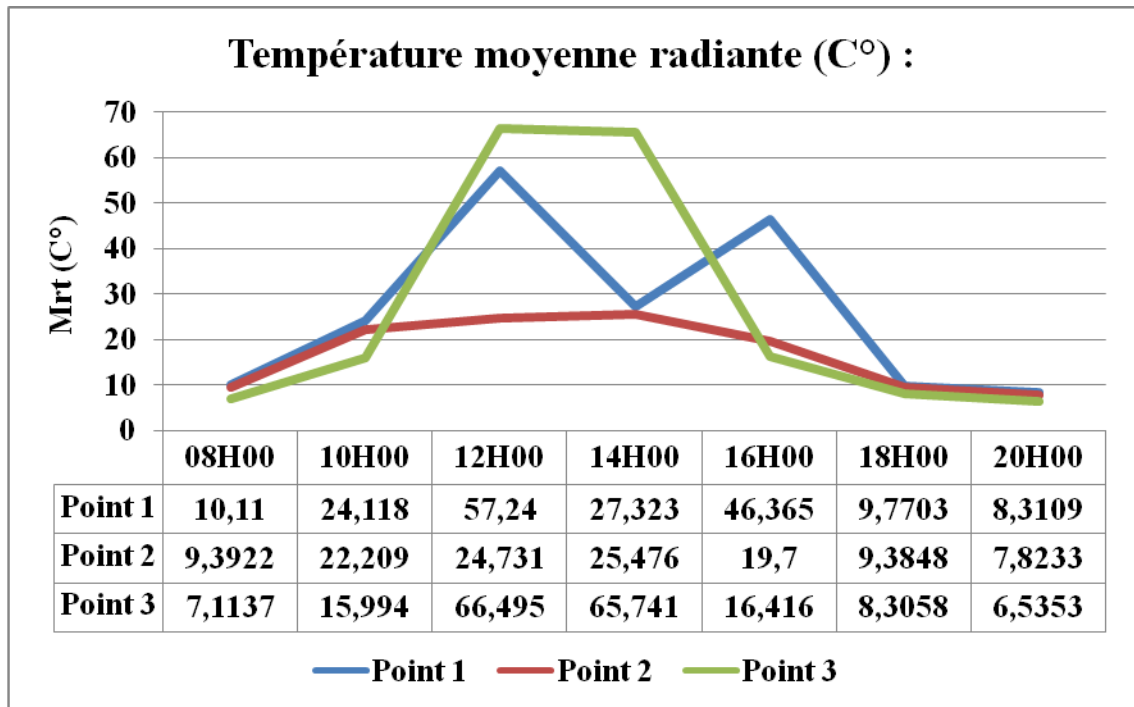
(Tair) décroît jusqu'à atteindre la valeur minimale de 15.83-16.72°C et 17.38°C à (20h00).

L'effet de H/L sur la température de l'air :

La température de l'air au niveau du point 2 E-O est généralement plus faible que celle du point 1 N-S. Qui résulte essentiellement à l'orientation.

Le point 2 orientée EST-OUEST présente des températures plus élevées que celle du point 1 orientée NORD-SUD. Il a été déduit que cette dernière présente un degré d'ombrage plus élevé que le point orientée EST-OUEST.

b-Température moyenne radiante (Mrt) :



Graph VI.26: Variation de la température moyenne radiante au cours d'une journée d'hiver. (Source: Auteur, 2017)

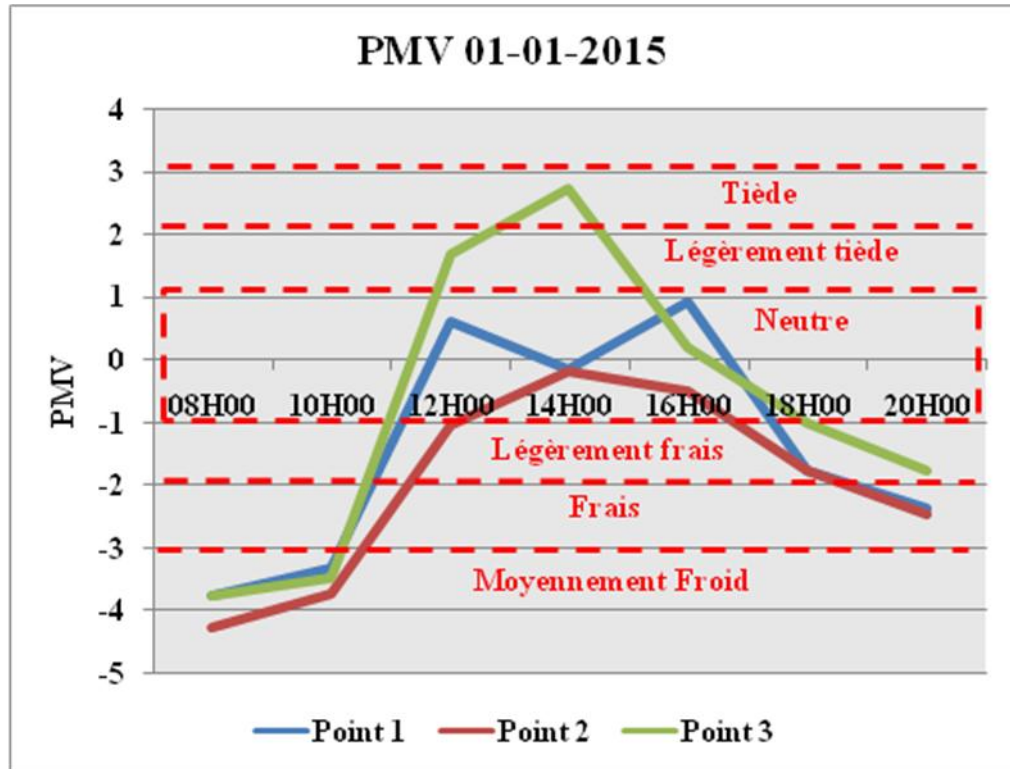
D'après les résultats de simulation, on remarque que le point 3 marque les valeurs les plus élevées du MRT durant toute la journée, atteignant jusqu'à 66.49 °C à 12h00. Tandis que la valeur la moins élevée a été enregistrée au niveau de point 3 à 20h00 avec une valeur de 06.53° C. Les valeurs les plus faibles du MRT durant 24 heures ont été enregistrées pour le point 2.

➤ **Effet de la géométrie sur MRT:**

La figure montre un accroissement de MRT durant 08h00 à 12h00, Les valeurs du MRT atteignant jusqu'à 66.49° C au niveau de point 3 à 12h00, vu sa grande ouverture au ciel (SVF=0.76), représente le plus grand accès des rayons solaires suivi par le point 1 (SVF=0.46) qui enregistre une valeur de MRT atteignant jusqu'à 57.24 °C, en dernier le point 2 (SVF=0.53) avec une valeur de 25.47°C.

Lorsque les valeurs de SVF dans les points 1et 2 sont croissantes, on remarque un décroissement du MRT, cette relation inverse dû au nombre d'heure d'ombrage.

VI-4-3-2- Vote Moyen Prévisible (PMV) :



Graphe VI.27: Valeur de PMV au cours d'une journée d'hiver. (Source: Auteur, 2017)

Après l'analyse des résultats de simulation, on remarque que les plus basses valeurs du PMV sont enregistrées au niveau du point 2 à cause de la durée de l'ombrage, par contre les valeurs les élevées sont enregistrées au niveau du point3 dû à l'ouverture sur ciel et l'absence d'ombrage.

Les trois points s'étalent entre la zone moyennement froide et légèrement fraîche, en passant par la zone fraîche de 08h00 à 12h00 dû à l'ombrage et l'absence du rayonnement solaire. Pour le point 1, il se situe dans la zone de confort entre 14h00 et 16h00, tandis que le point 2 se situe dans la zone de confort à partir de 16h00 jusqu'à 18h00, on outre pour le point3 sa zone de confort s'étale de 12h00 et 18h00.

VI-4-3-1- L'indice thermique universel du climat (UTCI) :

➤ Au niveau du point 1 :

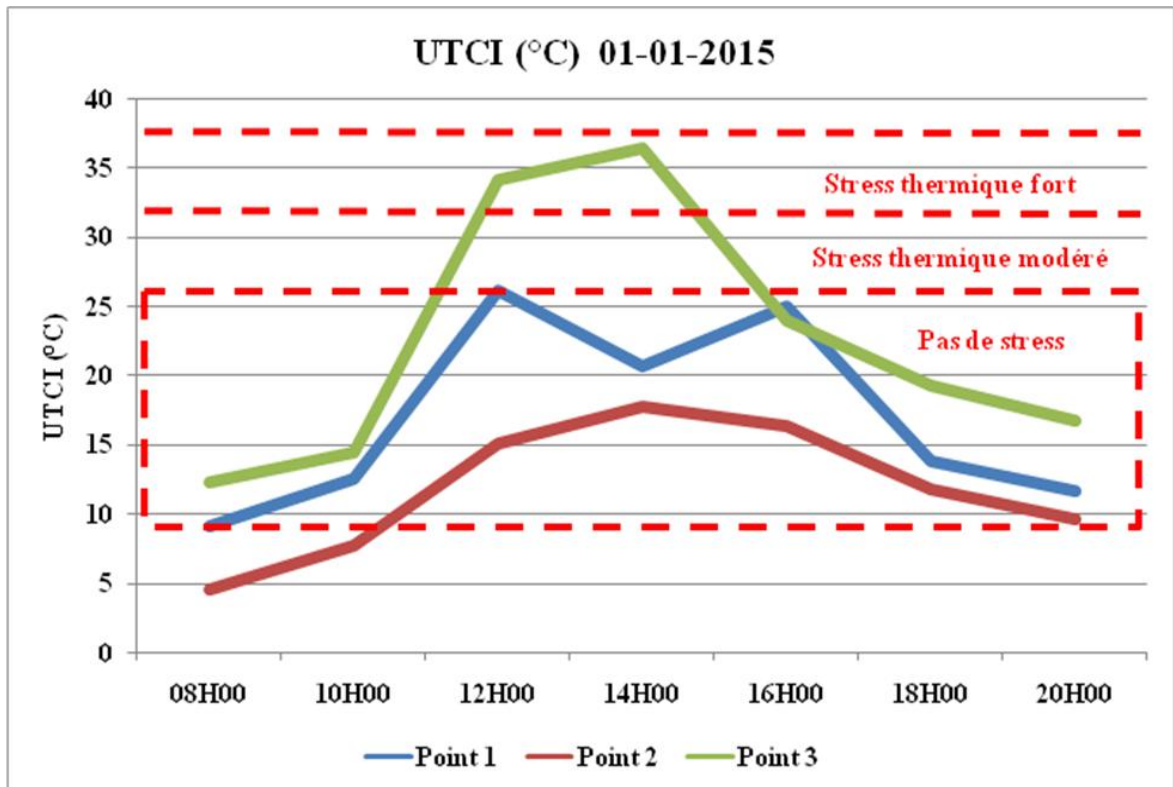
	08H00	10H00	12H00	14H00	16H00	18H00	20H00
Tair (°C)	10,313	10,313	18,279	20,849	20,657	18,025	15,836
Mrt (°C)	10,110	24,118	57,240	27,323	46,365	9,770	8,310
V (m/s)	1,592	1,592	1,683	1,748	1,801	1,839	1,867
HR (%)	63,811	63,811	112,620	120,480	121,190	117,230	114,370
UTCI 1	9,100	12,532	26,148	20,642	25,002	13,835	11,647

➤ Au niveau du point 2 :

	08H00	10H00	12H00	14H00	16H00	18H00	20H00
Tair (°C)	10,557	10,557	19,581	22,413	22,112	19,141	16,721
Mrt (°C)	9,392	22,209	24,731	25,476	19,700	9,384	7,823
V (m/s)	3,453	3,453	3,368	3,257	3,142	3,043	2,964
HR (%)	62,017	62,017	109,400	116,080	116,830	113,490	111,050
UTCI2	4,492	7,632	15,092	17,778	16,389	11,711	9,567

➤ Au niveau du point 3 :

	08H00	10H00	12H00	14H00	16H00	18H00	20H00
Tair (°C)	10,708	10,708	20,459	23,629	23,245	20,003	17,383
Mrt (°C)	7,113	15,994	66,495	65,741	16,416	8,305	6,535
V (m/s)	0,177	0,177	0,163	0,191	0,211	0,222	0,230
HR (%)	60,785	60,785	107,770	112,750	113,430	110,480	108,450
UTCI 3	12,294	14,469	34,113	36,392	23,928	19,284	16,699



Graph VI.28: Valeur d'UTCI au cours d'une journée d'hiver. (Source: Auteur, 2017)

On remarque que le point 1 se trouve dans la zone pas de stress thermiques durant toute la journée, suivie par le point 2 qui se situe dans cette zone à partir de 10h00 jusqu'à 20h00.

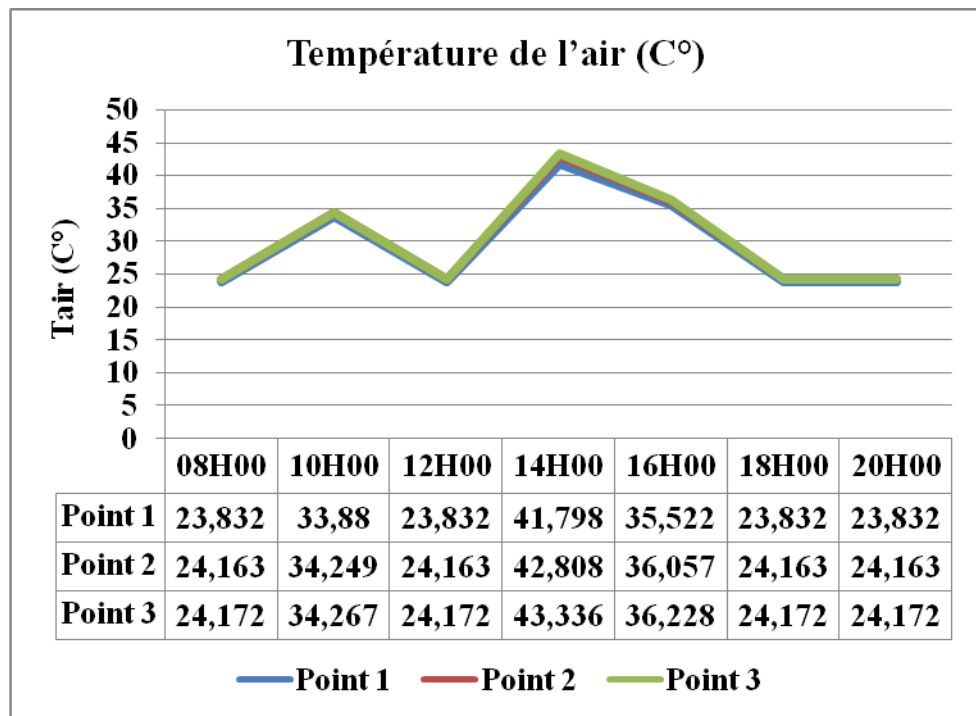
Les valeurs maximales de l'UTCI enregistrées pour les deux points sont 26.14 à 12h00 (point 1) et 17.77 à 14h00 (point 2)

Pour le point 3 représente les valeurs les plus élevées de l'UTCI, se trouvent dans la zone « pas de stress thermique » durant la période de 08h00 à 10h00 et de 16h00 à 20h00, elles dépassent cette zone à la zone de stress thermique forte durant la période de 12h00 à 14h00 avec une valeur maximale de 23.92 à 14h00.

VI-4-3-2- Période estivale :

VI-4-3-1- les paramètres microclimatiques simulés :

a-La température de l'air (T air) :



Graphe VI.29: Variation de la température de l'air au cours d'une journée d'été.
(Source: Auteur, 2017)

D'après le graphe ci-dessus , on voit que la température de l'air au niveau des trois points est similaire avec toutefois une légère différence entre elles.

Au début de la journée (à 08h00), la température de l'air au niveau des trois points augmente, puis après 10h00, la température de l'air commence à descendre.

Après 12h00, la température réaugmente en atteignant sa valeur maximale à 14h00 au niveau des trois points : 41.79°C (point 1), 42.80°C (point 2) et 43.33°C (point 3). Après 14h00, la température redescend au niveau des trois points.

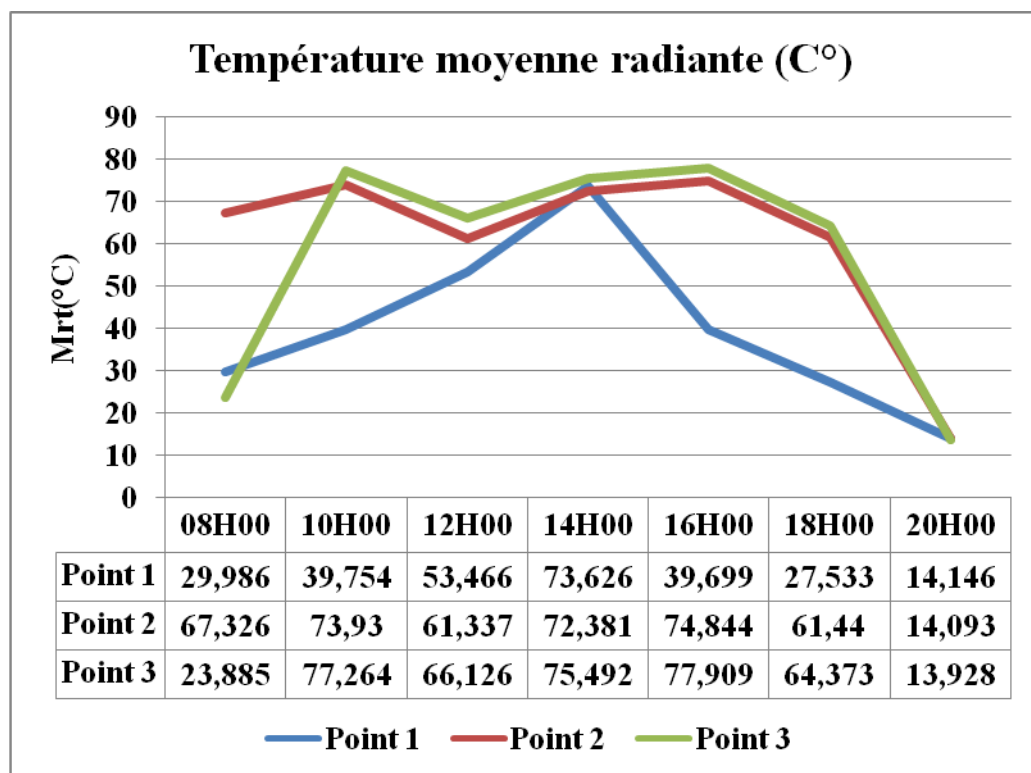
➤ **L'effet de H/L sur la température de l'air :**

La température de l'air atteint une valeur maximale de 41.97 et 42.80°C aux environs de 14h00 pour les points 1 et 2.

La température de l'air au niveau du point 2 orienté E-O est généralement plus faible que celle du point 1 N-S.

Cette augmentation de la température est due essentiellement à la différence de géométrie (H/W= 0.82), pour le point 2 E-S et (H/W = 1.28) pour le point 1 N-S.

b-Température moyenne radiante (Mrt) :



Graphe VI.30: Variation de la température moyenne radiante au cours d'une journée d'été. (Source: Auteur, 2017)

D'après, les résultats de simulation, on remarque que le point 2 enregistre les valeurs les élevés de MRT entre 08h00 et 10h00 dû à l'orientation E-O qui offre une exposition aux rayons solaire direct.

Après 10h00, les valeurs de MRT au niveau 2 et 3 se décroît contrairement au point1 ou les valeurs de MRT augmentent dû aux rayons solaire direct et aux radiations provenantes des différentes surfaces. Les valeurs de MRT ont continué à augmenter au niveau des trois

points jusqu'à atteindre une valeur maximale au niveau du point 1 (MRT=73.62°C) à 14h00, point 2 (MRT=74.84°C) et le point 3(MRT=77.90°C) à 16h00.

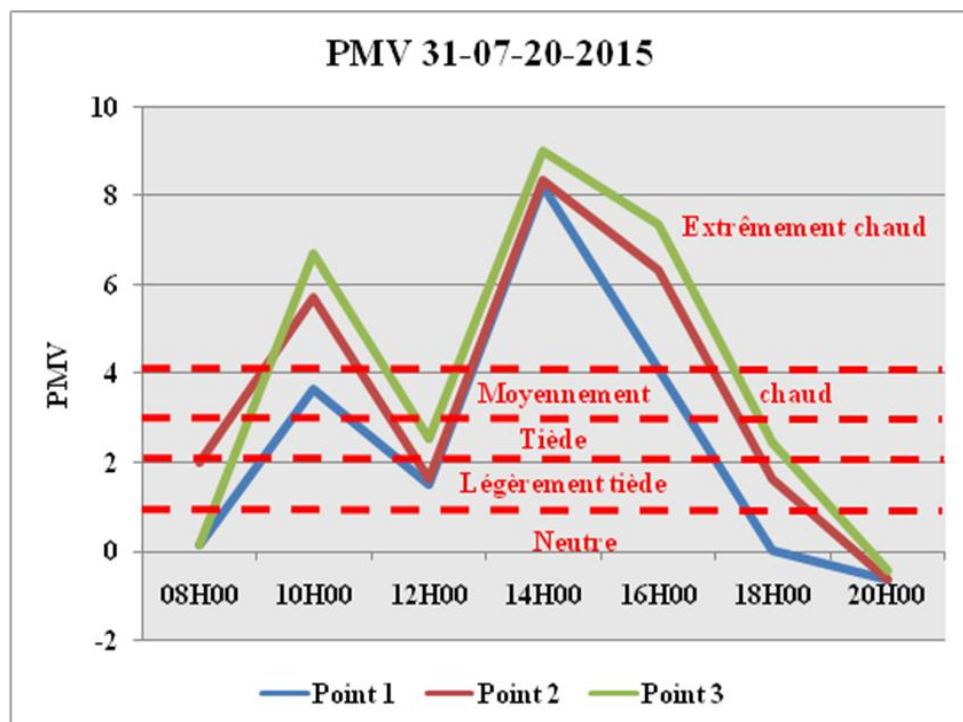
D'après, les résultats de la simulation, on remarque que le point 2 enregistre les valeurs les plus élevées de MRT entre 08h00 et 10h00 dû à l'orientation E-O qui offre une exposition aux rayons solaire direct.

Après 10h00, les valeurs de MRT au niveau 2 et 3 décroissent contrairement au point1 où les valeurs de MRT augmentent du aux rayons solaire direct et aux radiations provenant des différentes surfaces. Les valeurs de MRT ont continué à augmenter au niveau des trois points jusqu'à atteindre une valeur maximale au niveau du point 1 (MRT=73.62°C) à 14h00, point 2 (MRT=74.84°C) et le point 3(MRT=77.90°C) à 16h00.

➤ **Effet de la géométrie sur MRT:**

On remarque que le point 3 (SVF = 0.76) enregistre la température moyenne radiante la plus élevée avec un max de 77.90° C, suivi du point 2 (SVF=0.53) avec une valeur de 74.84°C, en dernier le point 1 (SVF =0.46) avec une valeur de 73.62°C

VI-4-3-2-2- Vote Moyen Prévisible (PMV) :



Graphe VI.31: Valeur de PMV au cours d'une journée d'été. (Source: Auteur, 2017)

Après l'analyse des résultats de la simulation, on remarque que la plupart des valeurs du PMV étaient positives (entre 0 et +10), tandis que les heures de confort débute à 18h00. Les valeurs du PMV enregistrées au début de la journée dans les trois points montent pour atteindre la zone moyennement chaude au niveau du point 1 et le seuil de la zone chaude pour les points 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 réaugmentent 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 point 3 de son ouverture direct sur le ciel qui permet un accès direct des rayons solaires et l'absence d'ombrage.

VI-4-3-2-3- L'indice thermique universel du climat (UTCI) :

➤ Au niveau du point 1 :

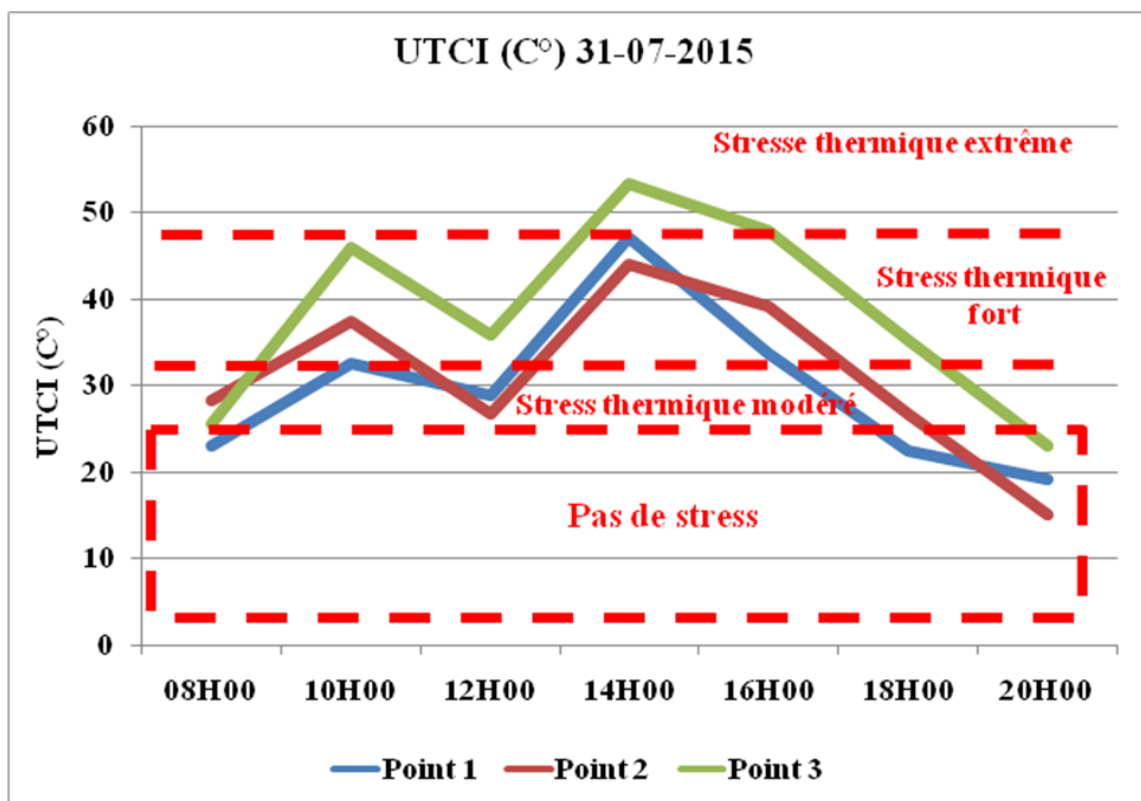
	08H00	10H00	12H00	14H00	16H00	18H00	20H00
Tair (°C)	23,832	33,880	23,832	41,798	35,522	23,832	23,832
Mrt (°C)	29,986	39,754	53,466	73,626	39,699	27,533	14,146
V (m/s)	2,626	2,704	2,626	2,750	2,707	2,6262	2,6262
HR (%)	34,322	93,965	34,322	98,185	94,835	34,322	34,322
UTCI 1	23,077	32,535	28,830	47,191	33,857	22,476	19,196

➤ Au niveau du point 2 :

	08H00	10H00	12H00	14H00	16H00	18H00	20H00
Tair (°C)	24,163	34,249	24,163	42,808	36,057	24,163	24,163
Mrt (°C)	67,326	73,930	61,337	72,381	74,844	61,440	14,093
V (m/s)	4,335	4,255	4,335	4,2607	4,258	4,335	4,335
HR (%)	33,745	94,782	33,745	98,507	95,342	33,745	33,745
UTCI 2	28,225	37,311	26,75811	43,930	39,011	26,783	15,183

➤ Au niveau du point 3 :

	08H00	10H00	12H00	14H00	16H00	18H00	20H00
Tair (°C)	24,172	34,267	24,172	43,336	36,228	24,172	24,172
Mrt (°C)	23,885	77,264	66,126	75,492	77,909	64,373	13,928
V (m/s)	1,222	1,096	1,222	0,964	1,084	1,2228	1,222
HR (%)	33,749	96,406	33,749	99,194	96,539	33,749	33,749
UTCI 2	25,392	46,033	35,741	53,380	47,841	35,312	22,953



Graph VI.32: Valeur d’UTCI au cours d’une journée d’été. (Source: Auteur, 2017)

On remarque l’absence totale de la zone de pas de stress thermique en cette saison.

Durant toute la journée, tous les points enregistrent un stress thermique, en atteignant ses valeurs maximales à la zone de stress thermique au niveau des points 1 et 2 avec des valeurs de 47,19 (point 1) et 43,93 (point 2). La valeur maximale au niveau du point 3 enregistrée à la zone de stress thermique extrême.

VI- Conclusion :

Dans cette partie du mémoire une simulation a été effectuée dans le but d'analyser le microclimat urbain et le confort thermique en espace extérieur.

Ce chapitre est entamé par la présentation du logiciel ENVI-met3, en présentant les différentes étapes à suivre, englobe trois étapes principales: définition de la maille du modèle, présentation des paramètres d'entrée (*input*) et le choix des données de sorti (*output*).

Les fichiers du ENVI-met ont format de visualisation 2D et 3D à travers du modèle LEONARDO. Il permet aussi des formats EDT et EDI qui permettent d'exporter à d'autres logiciels comme Excel.

Sur la base des résultats obtenus, on peut conclure que le pourcentage moyen du nombre d'heures de confort pour chaque saison hivernale et estivale aux niveaux des trois configurations ;

Durant la période hivernale :

Échantillons	Points	SVF	Prospect H/L	Orientation	Tair _{max} (°C)	Tmr _{max} (°C)	PMV _{max}	UTCI _{max} (°C)
Premier échantillon	Point 1	0,80	/	/	14.66	60.85	-0.59	28.23
	Point 2	0,78	0,64	SE-NO	17.33	60.42	-0.62	27.27
	Point 3	0,64	0,76	SE-NO	16.29	63.14	-0.60	29.02
Deuxième échantillon	Point 1	0,75	0,54	NE-SO	10.46	38.60	-3.85	7.80
	Point 2	0,81	/	/	10.92	27.31	-4.35	3.13
	Point 3	0,63	0,53	SE-NO	10.64	7.68	-4.26	4.44
Troisième échantillon	Point 1	0,46	1.28	N-S	20.84	57.24	0.91	25.00
	Point 2	0,53	0.82	E-O	22.41	25.47	-0.19	17.77
	Point 3	0,76	/	/	23.62	66.49	2.72	36.39

Pour l'échantillon 1 : le pourcentage moyen du nombre d'heures de confort est de 28.57% pour le PMV, tandis qu'il est de 76.19 % pour l'UTCI.

Pour l'échantillon 2 : pourcentage moyen du nombre d'heures de confort est de 0.00 % pour le PMV, tandis qu'il est de 04.76 % pour l'UTCI.

Pour l'échantillon 3 : pourcentage moyen du nombre d'heures de confort est de 28.57% pour le PMV, tandis qu'il est de 80.95% pour l'UTCI.

Le deuxième échantillon représente le cas plus défavorable pour la saison hivernale.

Durant la période estivale :

Échantillons	Points	SVF	Prospect H/L	Orientation	Tair _{max} (°C)	Tmr _{max} (°C)	PMV _{max}	UTCI _{max} (°C)
Premier échantillon	Point 1	0,80	/	/	30.44	73.03	4.24	36.26
	Point 2	0,78	0,64	SE-NO	30.73	72.34	4.05	32.39
	Point 3	0,64	0,76	SE-NO	30.42	70.87	4.20	36.92
Deuxième échantillon	Point 1	0,75	0,54	NE-SO	29.17	72.32	4.14	37.23
	Point 2	0,81	/	/	28.96	70.07	3.29	27.99
	Point 3	0,63	0,53	SE-NO	29.06	71.52	3.47	29.60
Troisième échantillon	Point 1	0,46	1.28	N-S	41.79	73.62	8.21	47.19
	Point 2	0,53	0.82	E-O	42.80	74.84	8.35	43.93
	Point 3	0,76	/	/	43.33	77.90	9.01	47.84

Pour l'échantillon 1 : le pourcentage moyen du nombre d'heures de confort est de 28.57% pour le PMV, tandis qu'il est de 38.09 % pour l'UTCI.

Pour l'échantillon 2 : pourcentage moyen du nombre d'heures de confort est de 23.80 % pour le PMV, tandis qu'il est de 42.85 % pour l'UTCI.

Pour l'échantillon 3 : pourcentage moyen du nombre d'heures de confort est de 23.80% pour le PMV, tandis qu'il est de 28.57% pour l'UTCI.

Le troisième échantillon représente le cas plus défavorable pour la saison estivale.

Nous avons constaté que les formes d'urbanisation entraînent des situations de confort thermique différentes. L'analyse comparative des trois échantillons a montré que la forme urbaine ouverte représentée par l'échantillon 2 ($SVF_{\text{moy}} = 66.15 \%$) présente les résultats de confort les plus défavorables. Cette conclusion s'explique par l'aménagement du quartier en bâtiments autonomes et à l'orientation de l'espace par rapport à la trajectoire solaire fait ainsi varier aussi bien la proportion des surfaces ombrées et des surfaces ensoleillées, que leurs heures et fréquences d'exposition. La présence d'une zone d'ombre implique souvent des températures de rayonnement plus faibles qu'un espace au soleil.

Jendritzky a modifié le PMV pour l'extérieur en introduisant le rayonnement solaire absorbé par une personne debout. Le PMV modifiée ne tient pas compte des mécanismes thermorégulateurs du corps humain.

Le calcul du PMV modifié se base sur un modèle stationnaire. En d'autres termes, l'équation PMV ne s'applique que pour les individus exposés à des conditions constantes pendant une longue période et avec une activité métabolique constante, ce qui ne correspond pas directement aux conditions thermiques réelles.

Par contre, l'indice UTCI a été développé en utilisant un modèle thermorégulateur dynamique et in stationnaire. Il s'agit d'un modèle applicable pour une longue ainsi que pour une courte période d'exposition, pour tous les climats, indépendamment des caractéristiques personnelles.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale :

Dans le contexte des changements que subissent les villes algériennes sous une politique d'urbanisation accélérée, caractérisée par une demande massive de logement sa poussé l'Etat a adopter de nouveaux modèles d'habitat collectif, sensés être plus rapides à construire et plus efficaces en termes de densité urbaine et de réponse à la crise de logement. Malheureusement, ces modèles ont généré une morosité du cadre bâti qui néglige la dimension climatique.

Sachant que cette dernière n'est vraiment efficace que si elle prise en charge au cours des études précoces (La phase avant-projet).

Les milieux urbanisés modifient le climat urbain. Ces modifications sont dues principalement à la couverture artificielle du sol, à la géométrie du cadre bâti et aux matériaux de construction. Ce qui fait du confort thermique dans les espaces extérieurs un critère primordial pour la santé et le bien être des individus. La qualité de ces espaces présente un intérêt majeur et il est reconnu qu'ils peuvent contribuer à une bonne qualité de vie en milieu urbain

Cette recherche nous a permis de mettre en exergue l'effet de la géométrie urbaine sur le confort thermique extérieur dans la ville de Batna caractérisée par un climat semi-aride. Elle a traité l'impact de la géométrie des espaces extérieurs sur le confort thermique des usagers. Les résultats de notre étude indiquent que dans un environnement semi- aride, le confort thermique d'un piéton peut être modifié de manière considérable par la géométrie urbaine, le Ratio H/L, le facteur de vue du ciel SVF et l'orientation.

Ce présent travail a été divisé en deux parties. Premièrement, une familiarisation avec les différents concepts lies au thème de recherche. Cette première phase a été développée en quatre chapitres ;

- **Le premier chapitre** a traité la problématique d'adaptation des milieux urbains aux différentes conditions climatiques à travers l'histoire.

Cette lecture historique nous a permis de définir la relation entre le climat et l'évolution de la conception architecturale et urbaine au fil du temps, que ce soit tout d'abord dans la prise en compte des conditions climatiques d'un site pour l'implantation et la conception architecturale des cités ou, plus tard, dans l'influence de la ville sur son environnement

- **Le deuxième chapitre** est consacré au climat et microclimatologie urbaine.

CONCLUSION GENERALE

En premier lieu, on a présenté un aperçu sur les facteurs qui influent le climat, les différents types de climats et les éléments du climat. Ensuite avoir dressé un inventaire des connaissances relatives au changement climatique, ses causes principales, leurs impacts sur micro climat urbain, notamment l'îlot de chaleur urbain.

- **Le troisième chapitre** a consisté en une approche théorique sur la notion du confort thermique dans les espaces extérieurs.

Plusieurs définitions de la notion du confort thermique sont proposées. Ainsi que les différents paramètres relatifs à l'environnement et à l'individu qui font intervenir différents échanges thermiques. Enfin, une présentation de différents indices de confort thermique extérieur.

- **Le quatrième chapitre** a traité l'interaction entre la forme urbaine et l'environnement Il a rassemblé une série d'études analytiques et expérimentales récentes menées par des chercheurs, comprenant l'interaction entre les paramètres climatiques et la configuration et l'aménagement urbain de l'espace en termes des conditions microclimatique et du confort thermique.

Après avoir acquis toutes les notions élémentaires au cours de la partie théorique, la deuxième partie s'est articulée autour d'aspects pratiques.

Elle a consisté en une présentation de la ville de Batna (situation, évolution historique de la ville, climat,), suivie par une classification faite sur l'ensemble des habitats collectifs selon la période de construction et leurs emprise au sol (CES), qui nous permet d'avoir des échantillons représentatifs.

La simulation numérique constitue la deuxième partie de la recherche. Elle s'est basée sur un programme tridimensionnel appelé « ENVI-met3.1 », celui qui définit les valeurs quantitatives de l'aspect microclimatique, en se basant sur deux variables principales : la température de l'air et la température moyenne radiante ainsi que sur les indices de confort thermique : le PMV et l'UTCI

Sur la base des résultats obtenus, et en fonction de résultats de la simulation, on peut conclure que la géométrie urbaine a un impact très important sur l'environnement thermique extérieur. Les résultats ont montré une forte corrélation positive entre les deux indices PMV, UTCI et la

CONCLUSION GENERALE

température moyenne radiante MRT. Cette dernière montre une forte corrélation avec le SVF à cause de la durée d'ensoleillement.

L'étude a également dévoilé que le prospect H/L joue un rôle primordial dans la régulation de la température de l'air, ce qui a démontré que le pourcentage du prospect contrôle impérativement le niveau d'ensoleillement.

Les résultats ont montré que pour un climat semi-aride comme celui de la ville de Batna, un ratio élevé H/W pourrait présenter des conditions acceptables de confort thermique en saison hivernale. En effet, nous avons remarqué que dans la plupart des ratios de H/W élevés, il y a plus de confort.

Pendant la période hivernale, la simulation montre que les niveaux d'inconfort extérieur sont beaucoup plus élevés dans le deuxième échantillon, ensuite dans le troisième échantillon et en dernier lieu dans le premier.

Pendant la période estivale, la simulation montre que les niveaux d'inconfort extérieur sont beaucoup plus élevés dans le troisième échantillon, suivis des autres échantillons avec des situations de confort similaires.

En conclusion, on peut dire que les objectifs précédemment tracés ont été atteints et l'hypothèse mise en place a été vérifiée.

D'autres axes de recherche s'ouvrent et beaucoup d'interrogations peuvent être résolues du moment que les outils numériques sont capables d'évaluer et de tester une multitude de paramètres liés au microclimat urbain. Elles peuvent constituer une aide à la décision pour la prise en compte des phénomènes physiques dans la politique d'aménagement urbain à l'intérêt de prendre en compte le climat urbain dans l'architecture, l'urbanisme et l'aménagement urbain.

Cette recherche ouvre aussi d'autres axes de recherches :

- Développement des systèmes d'aide à la décision permettant de mieux analyser et évaluer le climat urbain en tenant compte le rapport entre la morphologie urbaine et le climat.
- L'étude du rapport entre la consommation énergétique du bâtiment et le micro climat urbain, notamment la qualité de l'air.

BIBLIOGRAPHIE :

Adam Matthieu. (2011). Densité : étude transversale de l'évolution de la forme urbaine d'un quartier de grands ensembles. Entretien environnementaux et perceptions habitantes. *Mémoire de Master en Sciences et techniques des environnements urbains* . TRIBU Lyon.

Ait-Ameur Karima. (2002). "Vers une méthode multicritère de caractérisation du microclimat dans les espaces publics urbains : Validation d'un système d'indicateurs "morphoclimatique" et d'un indicateur de confort". *Thèse de doctorat* . Ecole polytechnique de l'université de Nantes.

Anquez Philippe et Herlem Alicia. (2011). Les îlots de chaleur dans la région métropolitaine de Montréal : causes , impacts et solutions.

Ali-Touder Fazia et al. (2005). Outdoor thermal comfort in the old desert city of Beni-Isguen, Algeria. *Clim Res* 28: 243–256 .

Anquez Philippe et Herlem Alicia. (2011). Les îlots de chaleur dans la région métropolitaine de Montréal : causes , impacts et solutions. *Chaire de responsabilité sociale et de développement durable ESG UQÀM* .

Ben Messaoud Ons. (2010). Approche physico-morphologique de l'albedo effectif vers une stratégie de forme et de matériaux urbains. *Thèse de master STEU* . Ecole polytechnique de l'université de Nantes.

Ben Zerzour Mohamed. (Le 15 octobre 2004). transformations urbaines et variations du microclimat : application au centre ancien de Nantes et proposition d'un indicateur « morphoclimatique ». Ecole d'Architecture de Nantes: Thèse de DOCTORAT.

.Błażejczyk Krzysztof. (2013). An introduction to the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *Geographia Polonica* 2013, 86, 1, pp. 5-10 . Institute of Geography and Spatial Organization Polish Academy of sciences.

Boivin Hugues. (2007). La ventilation naturelle. Développement d'un outil d'évaluation du potentiel de la climatisation passive et d'aide à la conception architecturale. *maitrise en science de l'architecture* . FACULTÉ D'AMÉNAGEMENT, ARCHITECTURE ET ARTS VISUELS UNIVERSITÉ LAVAL QUÉBEC.

BOKO N. P. M et al. (2013). Application de l'indice universel de charge thermique dans le contexte africain : exemple de Cotonou (République du Bénin). *XXVIème colloque de l'Association Internationale de Climatologie* .

Boubekri Mohamed . (2008). Daylighting, Architecture and Health Building Design Strategies. *Architectural Press*.

Boucheriba Fouzia. (2004). Impact de la géométrie des canyons urbains sur le confort thermique extérieur - cas du coude de Constantine -. *memoire de magistère* . département d'architecture et d'urbanisme-Université Mentouri de Constantine.

BIBLIOGRAPHIE

- Boucheriba Fouzia et al. (2010). Impact de la conception des rues sur le droit d'ensoleillement des façades et le confort thermique -cas d'un milieu semi aride-. *Vème Congrès International sur les Energies Renouvelables et l'Environnement* . Sousse ,Tunisie.
- Boukhelkhal Islam. (2014). Impact de la morphologie urbaine sur le confort thermique extérieur dans les climats chauds et arides cas de la nouvelle ville de Tafilalet à Ghardaïa. *memoire de magistere* . departement d'architecture - Université Constantine 3.
- Boussoulim Aïcha. (2002). Contribution à la caractérisation de l'impact et de l'incidence du microclimat sur l'usage et les activités en espace public extérieur - Etude de cas à Blagnac -. *these de doctorat* . Ecole d'Architecture de Toulouse.
- Boussoulim Aïcha. (2008-2009). Ambiances architecturales et urbaines? *Cours poste graduation Architecture & Environnement* . EPAU – Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme.
- Bouyer Julien . (2009). Modélisation et simulation des microclimats urbains Étude de l'impact de l'aménagement urbain sur les consommations énergétiques des bâtiments. *Thèse de doctorat* . École polytechnique de l'Université de Nantes.
- Bozonnet Emmanuel. (2005). Impact des microclimats urbains sur la demande énergétique des bâtiments - Cas de la rue canyon. *Thèse de doctorat* . UNIVERSITÉ DE LA ROCHELLE.
- Chatelet Alain. (1998). Ambiance et écologie. "Ambiances architecturales et urbaines" *Les cahiers de la recherche architecturale N°42/43 -3ème trimestre* . Éditions parenthèses, Marseille.
- Cherqui, F. (2005). Méthodologie d'évaluation d'un projet d'aménagement durable d'un quartier Méthode ADEQUA. *thèse de doctorat* . Université de La Rochelle, France.
- Christian Thibault et al. (2010). Les îlots de chaleur urbains (L'adaptation de la ville aux chaleurs urbaines).
- Colombert Morgane et al. (2012). Le climat et la ville :la nécessité d'une recherche croisant les disciplines. *Adaptation aux changements climatiques et trames vertes :quels enjeux pour la ville ?- COLLECTIF -AVEC LE SOUTIEN DE L'ADEME* . Montréal, Québec: Les éditions en environnement VertigO.
- Colombert, M. (2008). Contribution à l'analyse de la prise en compte du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville. *thèse de doctorat* . Université Paris-Est, France.
- Djaafri Mohamed. (2014). Forme urbaine, climat et énergie quels indicateurs et quels outils ? *memoire de magistere* . EPAU.
- Daviau-Pellegrin Noëlie. (2016). Modélisation fine des échanges thermiques entre les bâtiments et l'atmosphère urbaine. *these de doctorat* . UNIVERSITÉ PARIS-EST.

BIBLIOGRAPHIE

- Dias Dominique . (2009). Outils et méthodes de l'urbanisme durable. *cours MASTER II option « Projet d'urbanisme et action opérationnelle »* . Institut d'Urbanisme et d'aménagement Régional Aix-en Provence.
- Dron Dominique et Hirschhorn Carla. (2002). L'homme et le climat (1). Institut montaigne.
- Duny Patrice. (2010). Répertoire des formes urbaines. Agence d'études d'Urbanisme de Caen-Métropole ©AUCAME.
- François Leconte. (2015). Caractérisation des îlots de chaleur urbain par zonage climatique et mesures mobiles : Cas de Nancy. *Thèse de doctorat* . École Doctorale Ressources Procédés Produits Environnement Collegium Sciences et Technologies, Université de Lorraine.
- Fedele Cécile. (2010). Adaptation de la ville a l'augmentation des temperatures des temperatures etude en droit de l'urbanisme. *Master II Professionnel « Droit et métiers de l'urbanisme et de l'immobilier »* . Centre d'Etudes Juridiques en Urbanisme, UNIVERSITE PAUL CEZANNE AIX-MARSEILLE III.
- Filiatreault Ysabelle. (2015). Changements climatiques et îlots de chaleur : indicateurs de performance pour les mesures d'adaptation. *Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement et développement durable en vue* .
- Giguère Mélissa, Env.M. (2009). Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains. Direction des risques biologiques, environnementaux et occupationnels, nstitut national de santé publique du Québec.
- Givoni Baruch. (1978). L'homme, l'architecture et le climat. Édition Moniteur, Paris.
- Grignon-Masse Laurent . (2010). Développement d'une méthodologie d'analyse coût-bénéfice en vue d'évaluer le potentiel de réduction des impacts environnementaux liés au confort d'été : cas des climatiseurs individuels fixes en France métropolitaine. *these de doctorat* . Ecole nationale supérieure des mines de Paris.
- Gonzalez Marie-Gabrielle et ROUTIER Elsa. (2014). Le biomimétisme, clé de l'adaptation pour des villes durables. *mémoire ESC MASTER 2* . Kedge Business School
- Gueliane Lahrouche Nora . (2013). Le patrimoine architectural vernaculaire, levier du développement d'une architecture durable, cas du M'Zab. *mémoire de master 2 recherche* . Université de Paris Diderot.
- Grussenmeyer, G. N.-P.-P. (2010). Topographie et climatologie urbaine. *Revue XYZ • N° 123 – 2e trimestre 2010* . Université de Strasbourg.
- Günter .D.roth. (2011). Guide de la météorologie, Delachaux et Niestlé SA ;paris.Haj Hussein Muhannad (2012). Investigation sur la qualité des ambiances hygrothermiques et lumineuses des habitats palestiniens.La cour: contribution environnementale et socioculturelle. *thèse de doctorat* . L'UNIVERSITÉ BORDEAUX 1, france.

BIBLIOGRAPHIE

- Harzallah Amina et al. (2005). Controverses autour de l'axe héliothermique : l'apport de la simulation physique à l'analyse des théories urbaines. *Colloque Repenser les limites : l'architecture à travers l'espace, le temps et les disciplines*. Paris, INHA.France.
- Johansson Erik. (2006). Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco. *Building and Environment* 41 (2006) 1326–1338 .
- Kacha Lemya. (2010). Analyse morphologique des quartiers auto-construits spontanés « cas de la ville de batna ». *Mémoire de magister* . département d'architecture-Université Hadj Lakhdar Batna.
- Knodel Susan Honjo. (2012). évaluation de l'environnement thermique urbain comme outil d'aménagement du territoire. Etude de cas dans deux quartiers de la ville de São Paulo (Brésil). *Mémoire de Master en Sciences de l'Environnement* . Institut des Sciences de L'Environnement, Université de Genève.
- Krüger.E.L et al. (2011). Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil. *ARTICLE in BUILDING AND ENVIRONMENT* .
- Laurent Clémentine et SIRET Daniel. (2006). lecture parallèle de deux méthodes d'approche des ambiances dans le projet architectural (la grille climatique de Le Corbusier et la démarche de haute qualité environnementale®). *Stage de recherche Master 2 Mention Recherche* . Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes - CERMA.
- Leroy Arnault. (2005). L'architecture écologique : Développement Durable.
- Liébard .Aet De Herde. A. (2005). Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques, concevoir, édifier et aménager avec le développement durable. Editeur. Obsev'ER, Paris.
- Mecheri et Al. (2003). Etude de la Rentabilité d'une Installation Solaire de Chauffage d'Eau Collective Application à Différents Sites Algériens. *Rev. Energ. Ren. : 11èmes Journées Internationales de Thermique (2003) 53-57* .
- Medeou K.F et al. (2015). Ambiances bioclimatiques et performance des agriculteurs dans le département des collines au Bénin (Afrique de l'ouest). *XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie*.
- Michel Le Guay. (consulté en 2015). Ambiance et confort: confort thermique dans les lieux de vie. *eduscol.education.fr* .
- Monteiro Leonardo Marques . (2005). Review of numerical modelling of outdoor thermal comfort. *The 2005 World Sustainable Building Conference* . Tokyo.
- Moreno Sierra Andres. (2012). Intégration des aspects énergétiques dans la conception du projet architectural : une approche méthodologique. *Thèse de doctorat* . UNIVERSITE DE BORDEAUX 1.

- Morillon Romain. (2005). L' intégration de l' efficacité énergétique et du développement urbain durable dans les études de faisabilité. *mémoire de master* . Université de Marne-la-vallée.
- Moujalled Bassam . (2007). Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés. *these de doctorat* . Institut des Sciences Appliquées de Lyon.
- Musy Marjory. (2008). Approches physiques des ambiances urbaines caractérisation et conception. *Centre d'échanges et de ressources pour la qualité environnementale des bâtiments et des aménagements en Rhône-Alpes* .
- Musy Marjorie. (2014). Une ville verte:les roles du végétal en ville. *livre* . editions Quae.
- 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.
- Perez Patrick,Trauchessec Pierrick. (2014). L'interprétation de l'architecture vernaculaire par les les architectes. *Séminaire Architecture, Environnement, Paysage*.
- Perrineau Hélène. (2013). Développement d'un outil, basé sur le logiciel de simulations thermiques dynamiques TRNSYS, permettant de réaliser des études paramétriques pour évaluer le confort extérieur avec la température perçue.
- Petit Cécile et al. (2003). Du confort thermique à la caractérisation sensorielle des ambiances. *REVUE FRANÇAISE DU MARKETING N° 194 - 4/5*.
- Petit Michel. (2013). Le changement climatique dû aux activités humaines . *Livret sur l'environnement* . Académie des sciences, Institut de F.
- Pierre Hollmuller et al,. (2003). habitat, confort et energie. *Actes de la 13ème Journée du Cuepe Colloque du cycle de formation du Cuepe 2002-2003* . Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie (CUEPE) Université de Genève.
- Ringenbach Nicolas. (2004). Bilan radiatif et flux de chaleur en climatologie urbaine :mesures, modelisation et validation sur strasbourg. *Thèse de doctorat* . Ecole Nationale Supérieure de Physique de Strasbourg, UNIVERSITE LOUIS PASTEUR STRASBOURG I .
- Roux Justine. (2014). L'Ilot de Chaleur Urbain à Dijon Mise en place d'une campagne de mesures urbaines de la température. *Mémoire de MASTER 1 Transports Mobilité Environnement Climat* . Université de Bourgogne, UFR Sciences Humaines, Département de Géographie.
- Reiter Sigrid. (2007). Elaboration d'outils méthodologiques et techniques d'aide à la conception d'ambiances urbaines de qualité pour favoriser le développement durable des villes. *Thèse de doctorat* . UCL Université catholique de Louvain.

BIBLIOGRAPHIE

- Rullier Florent. (s.d.). La place du paysagiste en ville dans un contexte de réchauffement climatique global . La question des ilots de chaleur urbains , application à Montréal. *Mémoire de Fin d'Etudes* . Institut Supérieur des Sciences Agronomiques, Agroalimentaires, Horticoles et du Paysage.
- Salençon Jean et al. (2010). Le changement climatique. *Académie des sciences* . INSTITUT DE FRANCE.
- Siret Daniel et al. (2006). Introduction à une histoire du soleil dans la ville. *in Descat S., Monin E., Siret D. (dir), La ville durable au risque de l'histoire* . Paris, Ed. Jean-Michel Place, ENSA Lille.
- Siret Daniel et Harzallah Amina. (2006). Architecture et contrôle de l'ensoleillement. *IBPSA France 2006 à La Réunion – 2&3*.
- Siret Daniel . (2013). Rayonnement solaire et environnement urbain :de l'héliotropisme au désenchantement, histoire et enjeux d'une relation complexe. *Développement durable et territoires, Vol. 4, n°2 santé et environnement* .
- Siret Daniel . (2015). Les sensations du soleil dans les théories architecturales et urbaines. De l'hygiénisme à la ville durable.
- Susan Honjo Knodel. (2012). Evaluation de l'environnement thermique urbain comme outil d'aménagement du territoire. Etude de cas dans deux quartiers de la ville de São Paulo (Brésil). *mémoire de Master* . université de Genève.
- Tiraoui Lamia. (2000). Propositions Pour Une Analyse Radiative Thermique Des Espaces Urbains. *thèse de doctorat ambiances architecturales et urbaines* . UNIVERSITE DE NANTES.
- Tsoka Stella. (2011). Relations entre morphologie urbaine, microclimat et confort des piétons Application au cas des éco-quartiers. *Thèse de Master Sciences et Techniques des Environnements Urbains* .
- Touati Wahiba . (2014). L'incohérence de la dynamique périurbaine entre les sollicitations urbanistique et la nécessité de transition équilibrée ville campagne. -Cas de la ville de Batna-. *Mémoire Magister* . faculte des sciences departement des science de la terre et l'univers. Université de Batna.
- Villadiego Bernal Kattia. (2014). Une lecture de la forme urbaine et des microclimats Le cas de Barranquilla. *thèse de doctorat* . UNIVERSITE AIX MARSEILLE.
- Vinet Jérôme. (2000). 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* . Ecole polytechnique de l'Université de Nantes.

Walls Wendy , Parker Nicki and Walliss Jillian. (2015). Designing with thermal comfort indices in outdoor sites. *49th International Conférence of the Architectural Science Association* .

Zakhour Suhail . (2015). The Impact of Urban Geometry on Outdoor Thermal Comfort Conditions in Hot-arid Region. *Journal of Civil Engineering and Architecture Research* .

ZEKRI Elyes . (2010). Caractérisation environnementale et comportementale des parcours piétonniers en milieu urbain. *thèse de doctorat* . UNIVERSITÉ DE NANTES.

Sites Internet :

www.cea.fr

<http://www.mongosukulu.com>

<http://www.jeangabrielchelala.com>

<http://bictel.ulg.ac.be/>

<http://education.meteofrance.fr>

<https://www.u-picardie.fr/beauchamp/mbg6/radiatif.htm>

<http://www.meteofrance.fr>

www.meteonature.com

<http://www.viabilite-hivernale.equipement.gouv.fr>

www-energir2.arch.ucl.ac.be

www.meteo45.com

<http://votreimpact.org/changement-climatique/causes>

<http://www.climatechallenge.be/fr>

<http://www.climatechange.gc.ca>

www.rac-f.org

<http://www.notre-planete.info>

<http://www.inspq.qc.ca>

<http://www.mongsukulu.co>

[http://www.jeangabrielchelala.com,2015\)](http://www.jeangabrielchelala.com,2015)

[http://www.mongsukulu.com,](http://www.mongsukulu.com)

[http://bictel.ulg.ac.be/.2015\)](http://bictel.ulg.ac.be/.2015)

[http://education.meteofrance.fr, 2015\)](http://education.meteofrance.fr)

[http://www.astrosurf.com,2015\)](http://www.astrosurf.com,2015)

<http://votreimpact.org/changement-climatique/causes>

www.worldbank.org/urban

<http://www.inspq.qc.ca>

www.ecoconso.be

[Www.Tourneseul](http://www.Tourneseul)

www.hespul.org

<http://www.toutallantvert.com>

www.Solarpedia.net

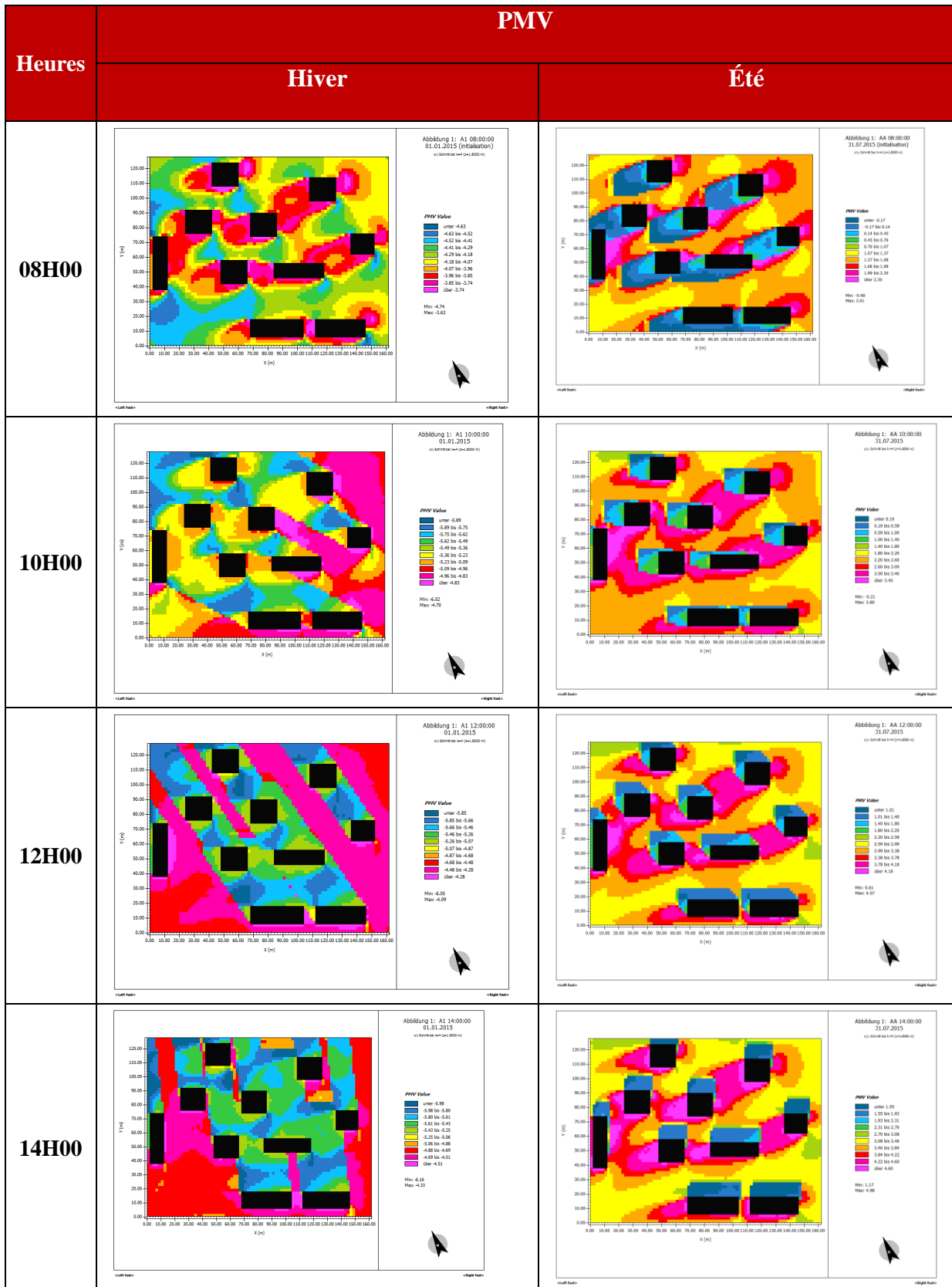
Annexe : 01

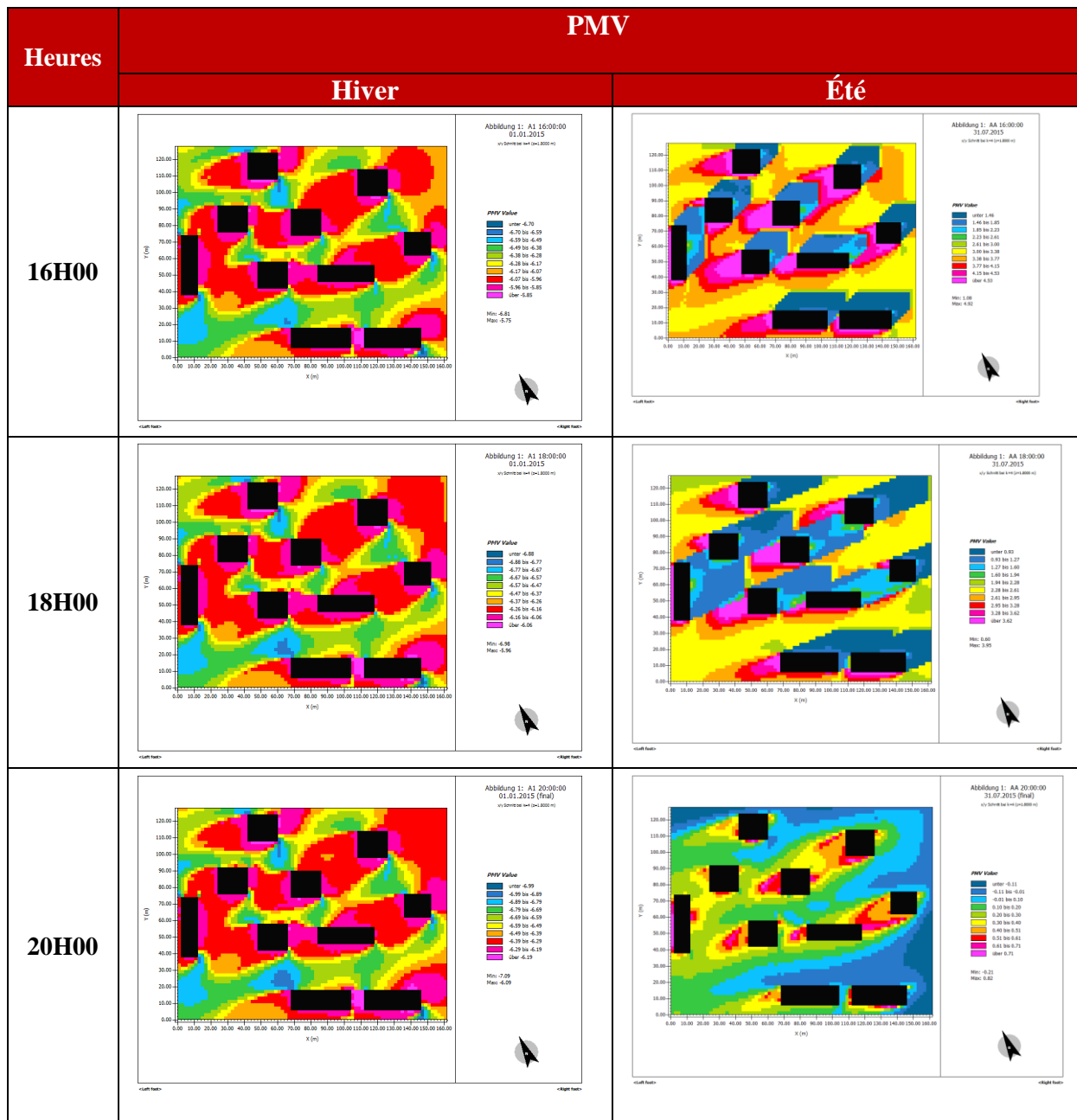
La météorologie : (science de l'atmosphère) est l'étude et la prévision des phénomènes atmosphériques sur des périodes courtes et pour des espaces géographiques limités.

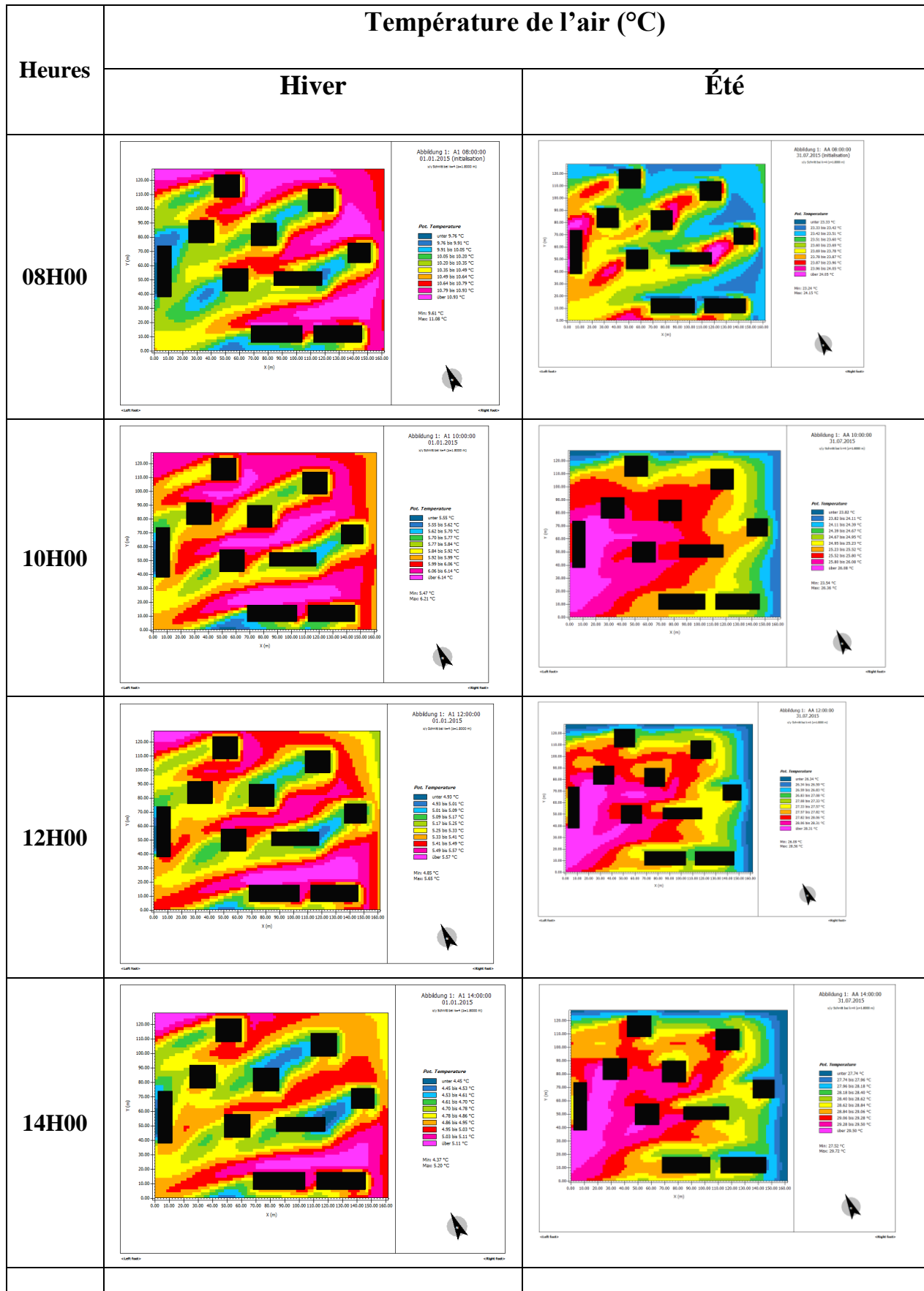
La climatologie : est la science du climat étudie les familles de conditions météorologiques susceptibles d'affecter les différentes régions sur des périodes de temps longues. Mais son domaine d'application n'est pas restreint au climat .Elle fait appel aux diverses sciences de la nature : géographie, géologie, physique, chimie...

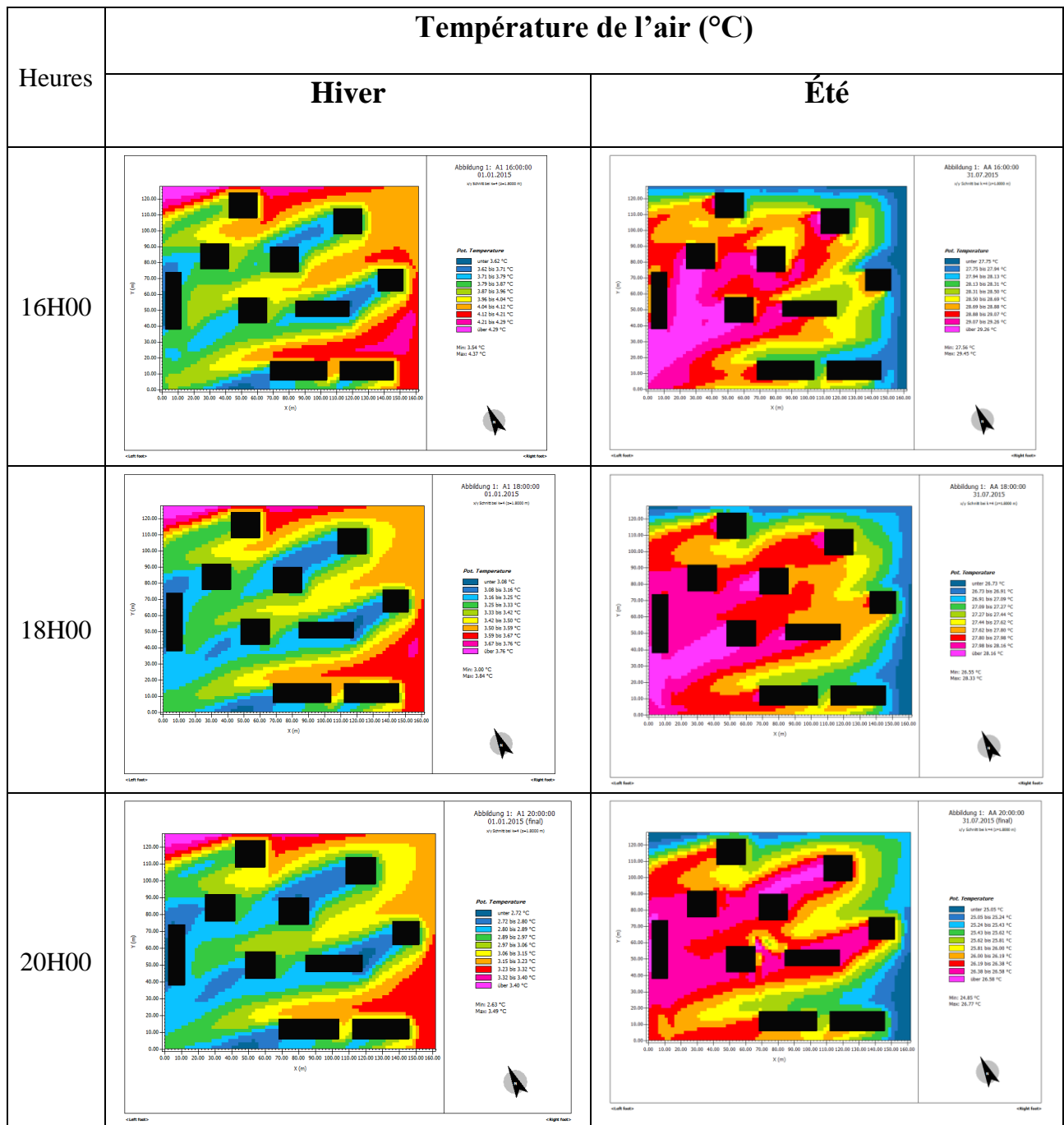
Sous le nom de climat, on distingue deux notions différentes. La plus classique, celle apprise dans les cours de géographie, résulte d'une approche spatiale : la Terre est découpée en zones climatiques en fonction des conditions météorologiques qui y règnent aux différentes saisons. L'autre acception du mot climat correspond à une approche temporelle globale : on s'intéresse aux modifications des conditions météorologiques intégrées sur l'ensemble du globe et sur le long terme (30 ans). www.cea.fr

Annexe02 : Simulation de premier échantillon









Heures	Vitesse de l'air (m/s)	
	V HIVER	V ETE
08H00	<p>Abbildung 1: A1 08:00:00 01.01.2015 (Windkation) v1 (Sommer) w4 (v4=2000 m/s)</p> <p>Wind Speed</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 0.56 m/s 0.56 bis 1.09 m/s 1.09 bis 1.63 m/s 1.63 bis 2.16 m/s 2.16 bis 2.69 m/s 2.69 bis 3.23 m/s 3.23 bis 3.76 m/s 3.76 bis 4.29 m/s 4.29 bis 4.82 m/s über 4.82 m/s <p>Min: 0.03 m/s Max: 5.36 m/s</p>	<p>Abbildung 1: AA 08:00:00 31.07.2015 (Erdbeobachtung) v1 (Sommer) w4 (v4=2000 m/s)</p> <p>Wind Speed</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 0.88 m/s 0.88 bis 1.71 m/s 1.71 bis 2.54 m/s 2.54 bis 3.37 m/s 3.37 bis 4.20 m/s 4.20 bis 5.03 m/s 5.03 bis 5.86 m/s 5.86 bis 6.69 m/s 6.69 bis 7.52 m/s über 7.52 m/s <p>Min: 0.88 m/s Max: 8.02 m/s</p>
	<p>Abbildung 1: A1 10:00:00 01.01.2015 v1 (Sommer) w4 (v4=2000 m/s)</p> <p>Wind Speed</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 0.87 m/s 0.87 bis 1.71 m/s 1.71 bis 2.54 m/s 2.54 bis 3.37 m/s 3.37 bis 4.20 m/s 4.20 bis 5.03 m/s 5.03 bis 5.86 m/s 5.86 bis 6.69 m/s 6.69 bis 7.52 m/s über 7.52 m/s <p>Min: 0.03 m/s Max: 5.40 m/s</p>	<p>Abbildung 1: AA 10:00:00 31.07.2015 v1 (Sommer) w4 (v4=2000 m/s)</p> <p>Wind Speed</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 0.88 m/s 0.88 bis 1.71 m/s 1.71 bis 2.54 m/s 2.54 bis 3.37 m/s 3.37 bis 4.20 m/s 4.20 bis 5.03 m/s 5.03 bis 5.86 m/s 5.86 bis 6.69 m/s 6.69 bis 7.52 m/s über 7.52 m/s <p>Min: 0.88 m/s Max: 8.02 m/s</p>
12H00	<p>Abbildung 1: A1 12:00:00 01.01.2015 v1 (Sommer) w4 (v4=2000 m/s)</p> <p>Wind Speed</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 0.55 m/s 0.55 bis 1.09 m/s 1.09 bis 1.63 m/s 1.63 bis 2.16 m/s 2.16 bis 2.69 m/s 2.69 bis 3.23 m/s 3.23 bis 3.76 m/s 3.76 bis 4.29 m/s 4.29 bis 4.82 m/s über 4.82 m/s <p>Min: 0.03 m/s Max: 5.41 m/s</p>	<p>Abbildung 1: AA 12:00:00 31.07.2015 v1 (Sommer) w4 (v4=2000 m/s)</p> <p>Wind Speed</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 0.88 m/s 0.88 bis 1.71 m/s 1.71 bis 2.54 m/s 2.54 bis 3.37 m/s 3.37 bis 4.20 m/s 4.20 bis 5.03 m/s 5.03 bis 5.86 m/s 5.86 bis 6.69 m/s 6.69 bis 7.52 m/s über 7.52 m/s <p>Min: 0.88 m/s Max: 8.02 m/s</p>
	<p>Abbildung 1: A1 14:00:00 01.01.2015 v1 (Sommer) w4 (v4=2000 m/s)</p> <p>Wind Speed</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 0.60 m/s 0.60 bis 1.13 m/s 1.13 bis 1.67 m/s 1.67 bis 2.21 m/s 2.21 bis 2.74 m/s 2.74 bis 3.28 m/s 3.28 bis 3.81 m/s 3.81 bis 4.35 m/s 4.35 bis 4.88 m/s über 4.88 m/s <p>Min: 0.06 m/s Max: 5.43 m/s</p>	<p>Abbildung 1: AA 14:00:00 31.07.2015 v1 (Sommer) w4 (v4=2000 m/s)</p> <p>Wind Speed</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 0.88 m/s 0.88 bis 1.71 m/s 1.71 bis 2.54 m/s 2.54 bis 3.37 m/s 3.37 bis 4.20 m/s 4.20 bis 5.03 m/s 5.03 bis 5.86 m/s 5.86 bis 6.69 m/s 6.69 bis 7.52 m/s über 7.52 m/s <p>Min: 0.88 m/s Max: 8.02 m/s</p>

Heures	Vitesse de l'air (m/s)	
	V HIVER	V ETE
16H00	<p>Abbildung 1: A1 16:00:00 01.01.2015 v1: 5000000 km (v=1000000 m/s)</p> <p>Wind Speed</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 0,55 m/s 0,55 bis 1,09 m/s 1,09 bis 1,64 m/s 1,64 bis 2,18 m/s 2,18 bis 2,72 m/s 2,72 bis 3,26 m/s 3,26 bis 3,80 m/s 3,80 bis 4,34 m/s 4,34 bis 4,88 m/s über 4,88 m/s <p>Min: 0,61 m/s Max: 5,48 m/s</p>	<p>Abbildung 1: AA 16:00:00 31.07.2015 v1: 5000000 km (v=1000000 m/s)</p> <p>Wind Speed</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 0,90 m/s 0,90 bis 1,79 m/s 1,79 bis 2,68 m/s 2,68 bis 3,57 m/s 3,57 bis 4,46 m/s 4,46 bis 5,35 m/s 5,35 bis 6,24 m/s 6,24 bis 7,13 m/s 7,13 bis 7,60 m/s über 7,60 m/s <p>Min: 0,96 m/s Max: 8,51 m/s</p>
18H00	<p>Abbildung 1: A1 18:00:00 01.01.2015 v1: 5000000 km (v=1000000 m/s)</p> <p>Wind Speed</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 0,60 m/s 0,60 bis 1,14 m/s 1,14 bis 1,68 m/s 1,68 bis 2,21 m/s 2,21 bis 2,75 m/s 2,75 bis 3,29 m/s 3,29 bis 3,83 m/s 3,83 bis 4,36 m/s 4,36 bis 4,90 m/s über 4,90 m/s <p>Min: 0,67 m/s Max: 8,43 m/s</p>	<p>Abbildung 1: AA 18:00:00 31.07.2015 v1: 5000000 km (v=1000000 m/s)</p> <p>Wind Speed</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 0,94 m/s 0,94 bis 1,79 m/s 1,79 bis 2,63 m/s 2,63 bis 3,48 m/s 3,48 bis 4,32 m/s 4,32 bis 5,17 m/s 5,17 bis 6,02 m/s 6,02 bis 6,86 m/s 6,86 bis 7,71 m/s über 7,71 m/s <p>Min: 0,99 m/s Max: 8,55 m/s</p>
20H00	<p>Abbildung 1: A1 20:00:00 01.01.2015 (Real) v1: 5000000 km (v=1000000 m/s)</p> <p>Wind Speed</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 0,61 m/s 0,61 bis 1,14 m/s 1,14 bis 1,68 m/s 1,68 bis 2,22 m/s 2,22 bis 2,76 m/s 2,76 bis 3,29 m/s 3,29 bis 3,84 m/s 3,84 bis 4,38 m/s 4,38 bis 4,92 m/s über 4,92 m/s <p>Min: 0,67 m/s Max: 5,46 m/s</p>	<p>Abbildung 1: AA 20:00:00 31.07.2015 (Real) v1: 5000000 km (v=1000000 m/s)</p> <p>Wind Speed</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 0,92 m/s 0,92 bis 1,77 m/s 1,77 bis 2,63 m/s 2,63 bis 3,48 m/s 3,48 bis 4,33 m/s 4,33 bis 5,18 m/s 5,18 bis 6,04 m/s 6,04 bis 6,89 m/s 6,89 bis 7,74 m/s über 7,74 m/s <p>Min: 0,97 m/s Max: 8,59 m/s</p>

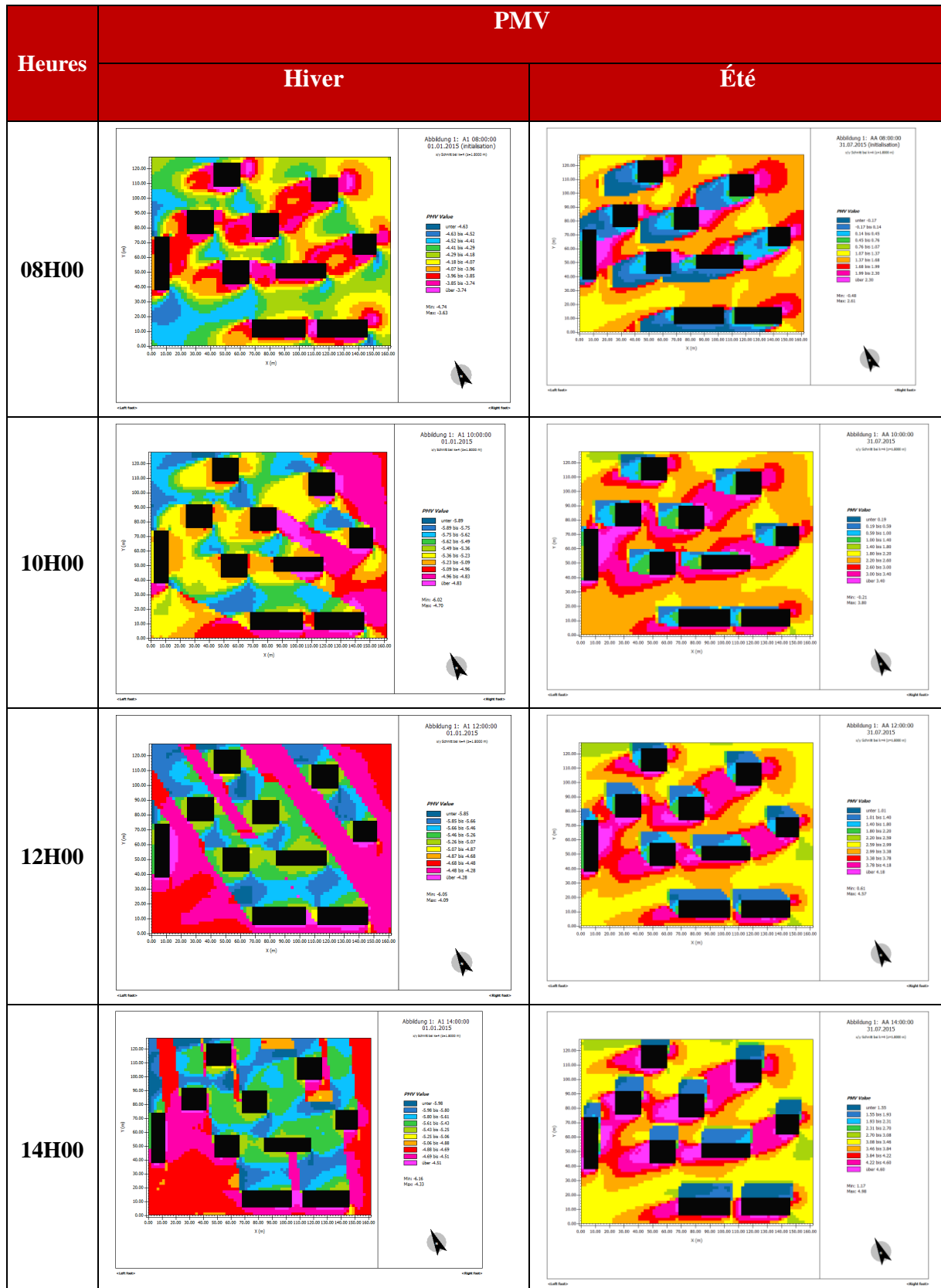
Heures	Humidité relative (%)	
	HR HIVER	HR ETE
08H00		
10H00		
12H00		
14H00		

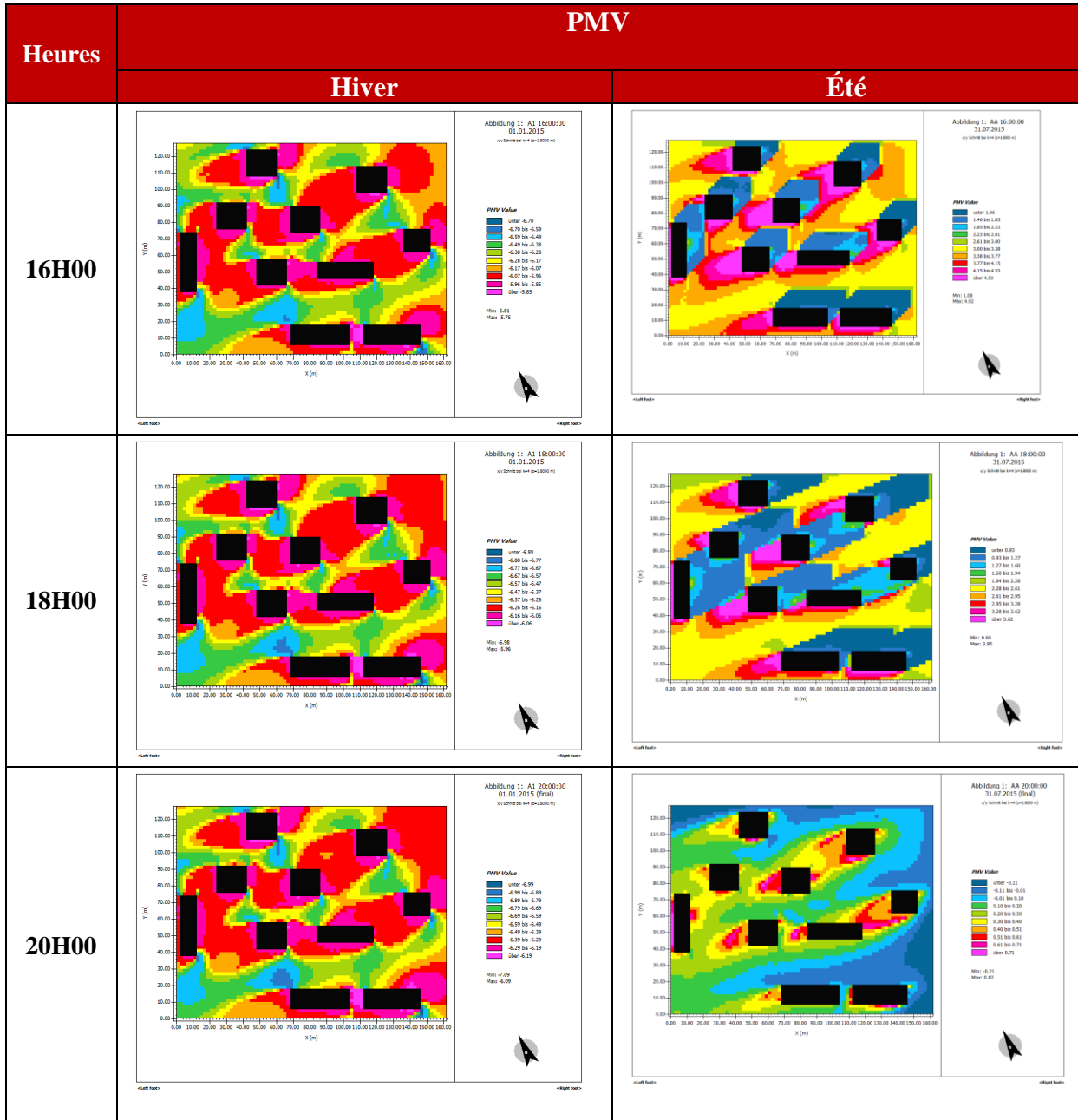
Heures	Humidité relative (%)	
	HR HIVER	HR ETE
16H00	<p>Abbildung 1: A1 16:00:00 01.01.2015 K:\Bilder\Bsp\164-8000.rtd</p> <p>Relative Humidity</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 121.41 % 122.41 bis 123.61 % 123.61 bis 124.81 % 124.81 bis 126.00 % 126.00 bis 127.20 % 127.20 bis 128.40 % 128.40 bis 129.60 % 129.60 bis 130.80 % 130.80 bis 132.00 % über 132.00 % <p>Min: 121.21 % Max: 133.20 %</p>	<p>Abbildung 1: AA 16:00:00 31.07.2015 K:\Bilder\Bsp\164-8000.rtd</p> <p>Relative Humidity</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 88.03 % 88.03 bis 90.24 % 90.24 bis 92.44 % 92.44 bis 94.64 % 94.64 bis 96.84 % 96.84 bis 99.04 % 99.04 bis 101.24 % 101.24 bis 103.44 % 103.44 bis 105.64 % über 105.64 % <p>Min: 88.03 % Max: 98.28 %</p>
18H00	<p>Abbildung 1: A1 18:00:00 01.01.2015 K:\Bilder\Bsp\164-8000.rtd</p> <p>Relative Humidity</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 124.65 % 124.65 bis 126.01 % 126.01 bis 127.37 % 127.37 bis 128.72 % 128.72 bis 130.08 % 130.08 bis 131.43 % 131.43 bis 132.79 % 132.79 bis 134.14 % 134.14 bis 135.50 % über 135.50 % <p>Min: 123.30 % Max: 136.85 %</p>	<p>Abbildung 1: AA 18:00:00 31.07.2015 K:\Bilder\Bsp\164-8000.rtd</p> <p>Relative Humidity</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 88.04 % 88.04 bis 90.24 % 90.24 bis 92.44 % 92.44 bis 94.64 % 94.64 bis 96.84 % 96.84 bis 99.04 % 99.04 bis 101.24 % 101.24 bis 103.44 % 103.44 bis 105.64 % über 105.64 % <p>Min: 88.04 % Max: 98.28 %</p>
20H00	<p>Abbildung 1: A1 20:00:00 01.01.2015 (HIV) K:\Bilder\Bsp\164-8000.rtd</p> <p>Relative Humidity</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 126.20 % 126.20 bis 127.72 % 127.72 bis 129.23 % 129.23 bis 130.75 % 130.75 bis 132.27 % 132.27 bis 133.79 % 133.79 bis 135.30 % 135.30 bis 136.82 % über 136.82 % <p>Min: 124.76 % Max: 138.41 %</p>	<p>Abbildung 1: AA 20:00:00 31.07.2015 (HIV) K:\Bilder\Bsp\164-8000.rtd</p> <p>Relative Humidity</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 81.87 % 81.87 bis 83.87 % 83.87 bis 85.87 % 85.87 bis 87.87 % 87.87 bis 89.87 % 89.87 bis 91.87 % 91.87 bis 93.87 % 93.87 bis 95.87 % über 95.87 % <p>Min: 81.87 % Max: 81.87 %</p>

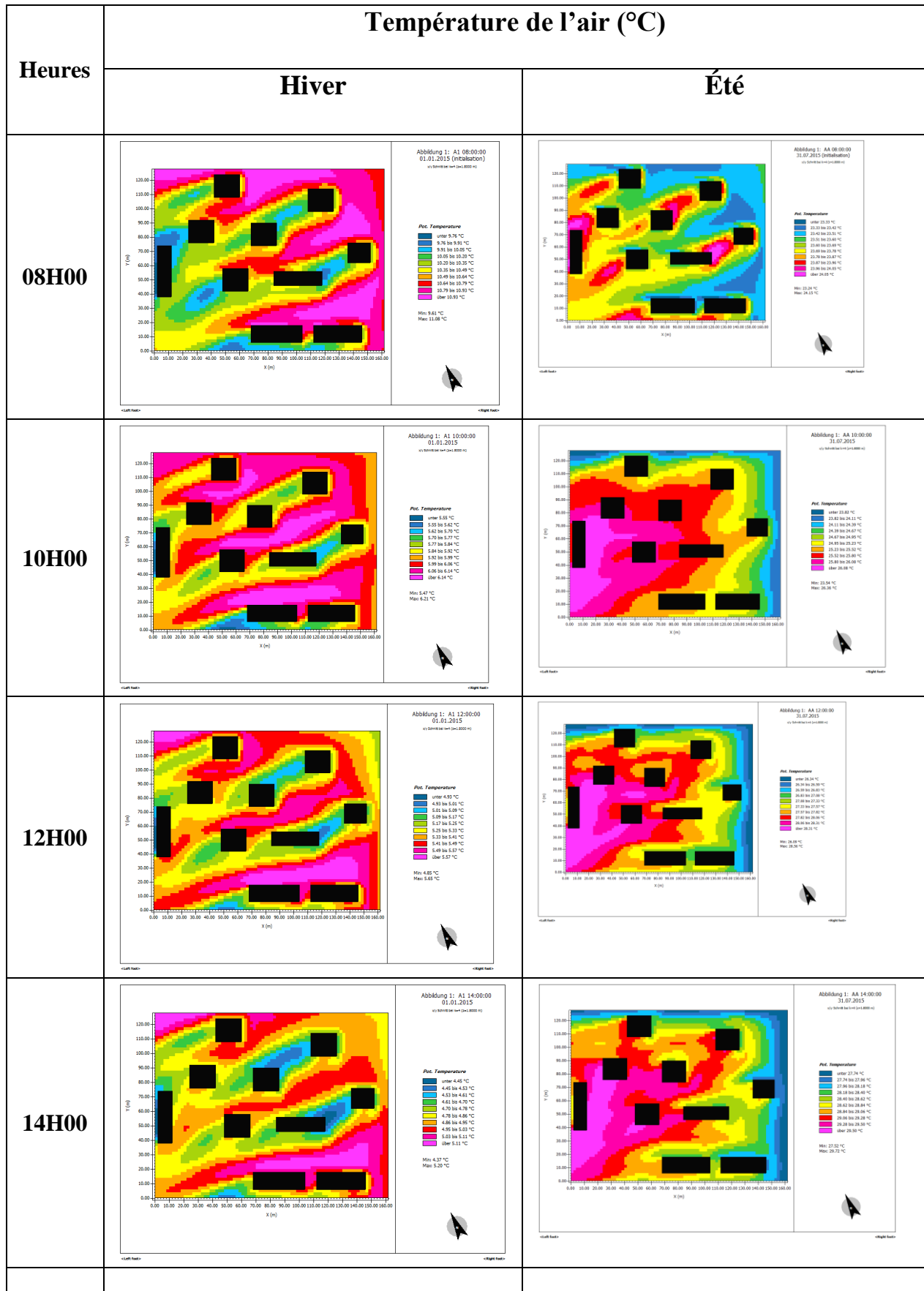
Heures	Température moyenne radiante (°C)	
	MRT HIVER	MRT ETE
08H00	<p>Abbildung 1: A1 08:00:00 01.01.2015 (Initialisation) v15 Schell bis 4m (z=10000 m)</p> <p>Mean Radiant Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 5,57 °C 5,57 bis 6,13 °C 6,13 bis 6,70 °C 6,70 bis 7,28 °C 7,28 bis 7,83 °C 7,83 bis 8,39 °C 8,39 bis 8,95 °C 8,95 bis 9,52 °C 9,52 bis 10,08 °C über 10,08 °C <p>Min: 5,00 °C Max: 10,65 °C</p>	<p>Abbildung 1: AA 08:00:00 31.07.2015 (Initialisation) v15 Schell bis 4m (z=10000 m)</p> <p>Mean Radiant Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 23,63 °C 23,63 bis 25,43 °C 25,43 bis 28,03 °C 28,03 bis 30,63 °C 30,63 bis 33,23 °C 33,23 bis 35,83 °C 35,83 bis 38,43 °C 38,43 bis 41,03 °C 41,03 bis 43,63 °C 43,63 bis 46,24 °C 46,24 bis 48,84 °C über 48,84 °C <p>Min: 20,63 °C Max: 68,84 °C</p>
	<p>Abbildung 1: A1 10:00:00 01.01.2015 v15 Schell bis 4m (z=10000 m)</p> <p>Mean Radiant Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter -0,02 °C -0,02 bis 2,40 °C 2,40 bis 4,82 °C 4,82 bis 7,23 °C 7,23 bis 9,65 °C 9,65 bis 12,07 °C 12,07 bis 14,48 °C 14,48 bis 16,90 °C 16,90 bis 19,32 °C über 19,32 °C <p>Min: -2,43 °C Max: 23,73 °C</p>	<p>Abbildung 1: AA 10:00:00 31.07.2015 v15 Schell bis 4m (z=10000 m)</p> <p>Mean Radiant Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 30,96 °C 30,96 bis 36,96 °C 36,96 bis 42,96 °C 42,96 bis 48,96 °C 48,96 bis 54,96 °C 54,96 bis 60,96 °C 60,96 bis 66,96 °C 66,96 bis 72,96 °C über 72,96 °C <p>Min: 25,72 °C Max: 77,54 °C</p>
12H00	<p>Abbildung 1: A1 12:00:00 01.01.2015 v15 Schell bis 4m (z=10000 m)</p> <p>Mean Radiant Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 4,24 °C 4,24 bis 8,49 °C 8,49 bis 12,74 °C 12,74 bis 16,98 °C 16,98 bis 21,23 °C 21,23 bis 25,48 °C 25,48 bis 29,73 °C 29,73 bis 33,97 °C 33,97 bis 38,22 °C 38,22 bis 42,47 °C über 42,47 °C <p>Min: -0,44 °C Max: 46,29 °C</p>	<p>Abbildung 1: AA 12:00:00 31.07.2015 v15 Schell bis 4m (z=10000 m)</p> <p>Mean Radiant Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 34,10 °C 34,10 bis 38,09 °C 38,09 bis 42,08 °C 42,08 bis 46,07 °C 46,07 bis 50,06 °C 50,06 bis 54,05 °C 54,05 bis 58,04 °C 58,04 bis 62,03 °C 62,03 bis 66,02 °C 66,02 bis 70,01 °C über 70,01 °C <p>Min: 28,15 °C Max: 78,63 °C</p>
	<p>Abbildung 1: A1 14:00:00 01.01.2015 v15 Schell bis 4m (z=10000 m)</p> <p>Mean Radiant Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 3,05 °C 3,05 bis 7,47 °C 7,47 bis 11,90 °C 11,90 bis 16,33 °C 16,33 bis 20,75 °C 20,75 bis 25,18 °C 25,18 bis 29,61 °C 29,61 bis 34,04 °C 34,04 bis 38,47 °C über 38,47 °C <p>Min: -1,45 °C Max: 43,15 °C</p>	<p>Abbildung 1: AA 14:00:00 31.07.2015 v15 Schell bis 4m (z=10000 m)</p> <p>Mean Radiant Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 36,07 °C 36,07 bis 40,83 °C 40,83 bis 45,59 °C 45,59 bis 50,35 °C 50,35 bis 55,11 °C 55,11 bis 59,87 °C 59,87 bis 64,63 °C 64,63 bis 69,39 °C 69,39 bis 74,15 °C über 74,15 °C <p>Min: 31,08 °C Max: 81,25 °C</p>

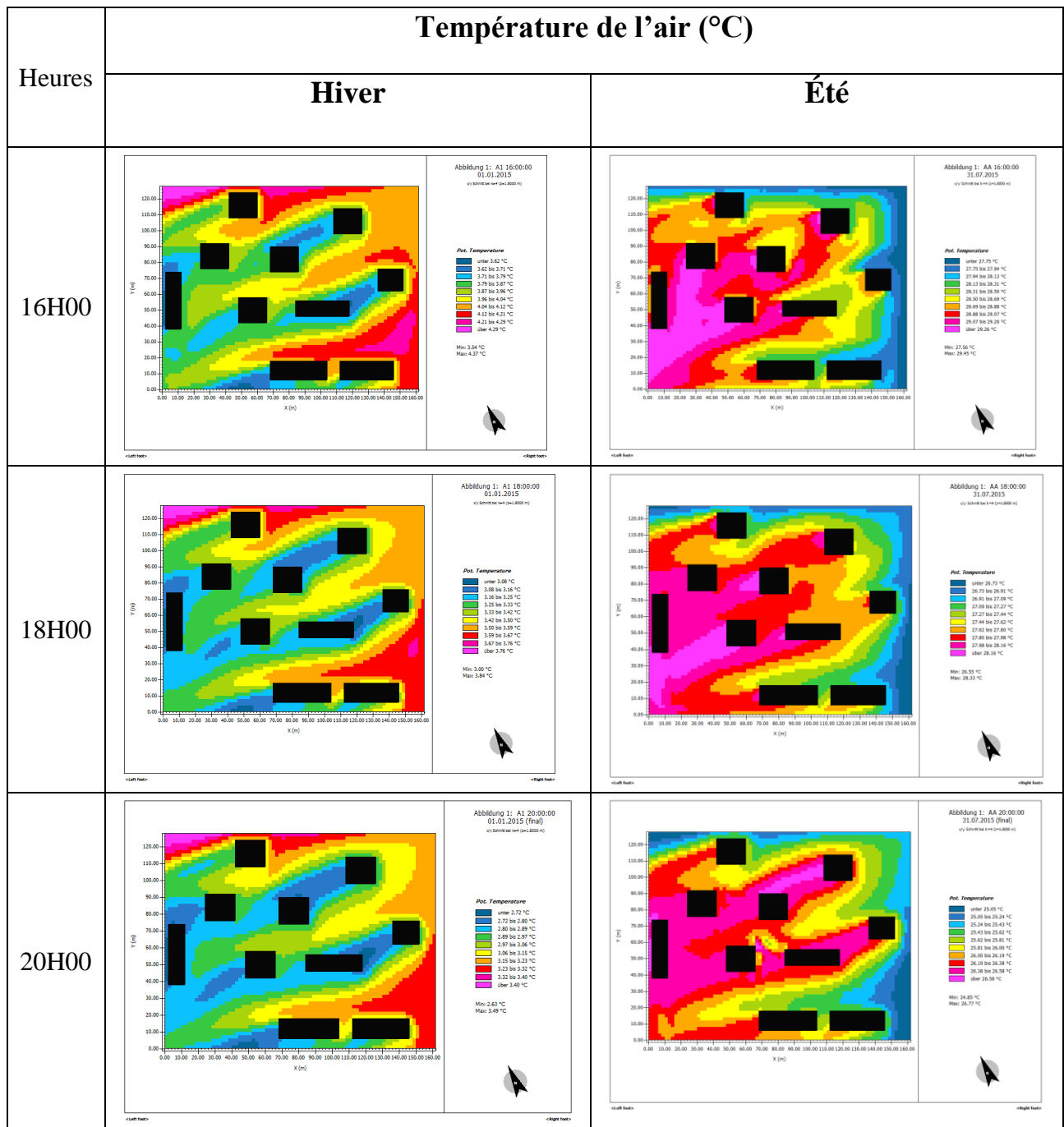
Heures	Température moyenne radiante (°C)	
	Hiver	Hiver
16H00	<p>Abbildung 1: A1 16:00:00 01.01.2015 v1: 500000 km/h (v=1,000000 m)</p> <p>Mean Radiant Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter -6.21 °C -6.21 bis -4.10 °C -4.10 bis -2.98 °C -2.98 bis -1.86 °C -1.86 bis -0.75 °C -0.75 bis 0.37 °C 0.37 bis 1.48 °C 1.48 bis 2.60 °C 2.60 bis 3.71 °C über 3.71 °C <p>Min: -6.21 °C Max: 4.82 °C</p>	<p>Abbildung 1: AA 16:00:00 31.07.2015 v1: 500000 km/h (v=1,000000 m)</p> <p>Mean Radiant Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 33.23 °C 33.23 bis 38.34 °C 38.34 bis 43.43 °C 43.43 bis 48.51 °C 48.51 bis 54.42 °C 54.42 bis 59.73 °C 59.73 bis 65.00 °C 65.00 bis 70.29 °C 70.29 bis 75.58 °C über 75.58 °C <p>Min: 27.86 °C Max: 90.88 °C</p>
18H00	<p>Abbildung 1: A1 18:00:00 01.01.2015 v1: 500000 km/h (v=1,000000 m)</p> <p>Mean Radiant Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter -5.92 °C -5.92 bis -4.84 °C -4.84 bis -3.76 °C -3.76 bis -2.67 °C -2.67 bis -1.59 °C -1.59 bis -0.51 °C -0.51 bis 0.57 °C 0.57 bis 1.65 °C 1.65 bis 2.73 °C über 2.73 °C <p>Min: -7.00 °C Max: 3.82 °C</p>	<p>Abbildung 1: AA 18:00:00 31.07.2015 v1: 500000 km/h (v=1,000000 m)</p> <p>Mean Radiant Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 28.45 °C 28.45 bis 32.89 °C 32.89 bis 37.32 °C 37.32 bis 41.76 °C 41.76 bis 46.20 °C 46.20 bis 50.64 °C 50.64 bis 55.08 °C 55.08 bis 59.52 °C 59.52 bis 63.96 °C über 63.96 °C <p>Min: 24.81 °C Max: 68.48 °C</p>
20H00	<p>Abbildung 1: A1 20:00:00 01.01.2015 (FrSa) v1: 500000 km/h (v=1,000000 m)</p> <p>Mean Radiant Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter -6.36 °C -6.36 bis -5.29 °C -5.29 bis -4.21 °C -4.21 bis -3.14 °C -3.14 bis -2.06 °C -2.06 bis -0.99 °C -0.99 bis 0.09 °C 0.09 bis 1.16 °C 1.16 bis 2.23 °C über 2.23 °C <p>Min: -7.44 °C Max: 3.31 °C</p>	<p>Abbildung 1: AA 20:00:00 31.07.2015 (FrSa) v1: 500000 km/h (v=1,000000 m)</p> <p>Mean Radiant Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 16.06 °C 16.06 bis 16.87 °C 16.87 bis 17.29 °C 17.29 bis 17.90 °C 17.90 bis 18.52 °C 18.52 bis 18.13 °C 18.13 bis 18.74 °C 18.74 bis 19.36 °C 19.36 bis 20.07 °C über 20.07 °C <p>Min: 15.44 °C Max: 21.50 °C</p>

Annexe03 : Simulation de premier échantillon





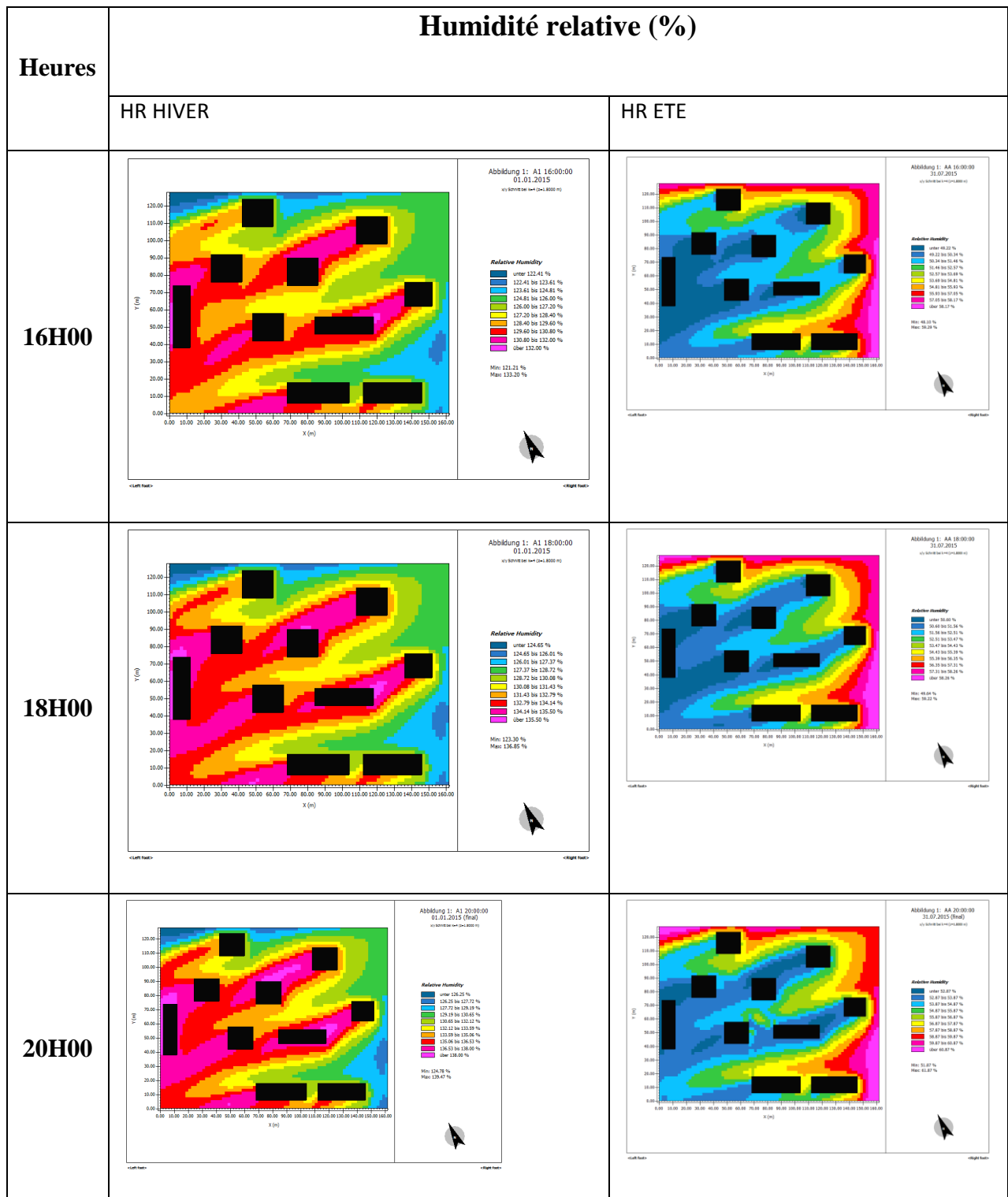




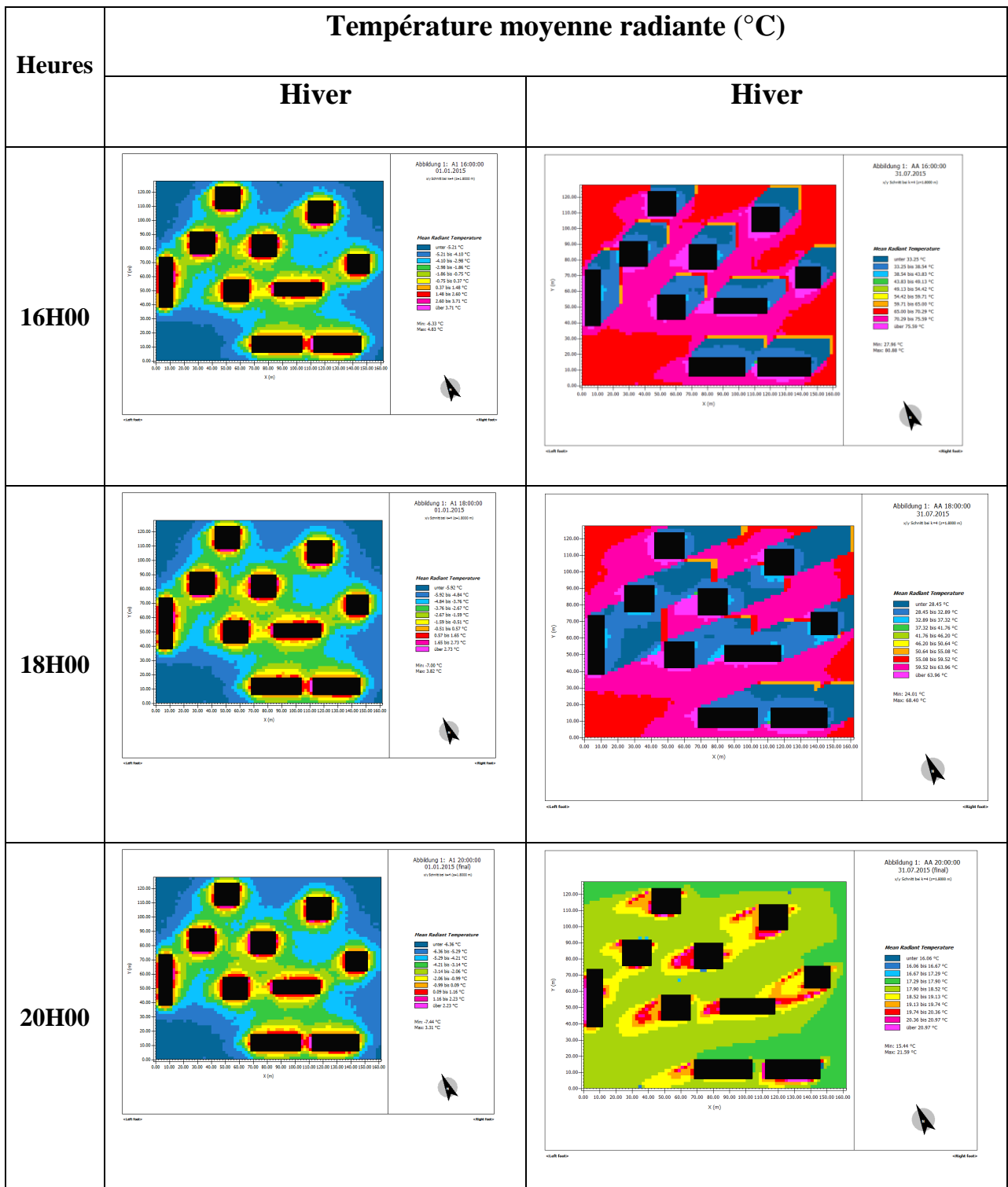
Heures	Vitesse de l'air (m/s)	
	V HIVER	V ETE
08H00	<p>Abbildung 1: A1 08:00:00 01.01.2015 (Windstation) v1 (Sommer) w4 (v4=2000 m/s)</p> <p>Wind Speed</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 0.56 m/s 0.56 bis 1.09 m/s 1.09 bis 1.63 m/s 1.63 bis 2.16 m/s 2.16 bis 2.69 m/s 2.69 bis 3.23 m/s 3.23 bis 3.76 m/s 3.76 bis 4.29 m/s 4.29 bis 4.82 m/s über 4.82 m/s <p>Min: 0.03 m/s Max: 5.36 m/s</p>	<p>Abbildung 1: AA 08:00:00 31.07.2015 (Windstation) v1 (Sommer) w4 (v4=2000 m/s)</p> <p>Wind Speed</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 0.88 m/s 0.88 bis 1.71 m/s 1.71 bis 2.54 m/s 2.52 bis 3.34 m/s 3.34 bis 4.17 m/s 4.15 bis 4.98 m/s 4.96 bis 5.79 m/s 5.78 bis 6.60 m/s 6.58 bis 7.41 m/s über 7.41 m/s <p>Min: 0.88 m/s Max: 8.02 m/s</p>
	10H00	<p>Abbildung 1: A1 10:00:00 01.01.2015 v1 (Sommer) w4 (v4=2000 m/s)</p> <p>Wind Speed</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 0.87 m/s 0.87 bis 1.11 m/s 1.11 bis 1.64 m/s 1.64 bis 2.18 m/s 2.18 bis 2.72 m/s 2.72 bis 3.25 m/s 3.25 bis 3.79 m/s 3.79 bis 4.32 m/s 4.32 bis 4.86 m/s über 4.86 m/s <p>Min: 0.03 m/s Max: 5.40 m/s</p>
12H00		<p>Abbildung 1: A1 12:00:00 01.01.2015 v1 (Sommer) w4 (v4=2000 m/s)</p> <p>Wind Speed</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 0.55 m/s 0.55 bis 1.09 m/s 1.09 bis 1.63 m/s 1.63 bis 2.17 m/s 2.17 bis 2.71 m/s 2.71 bis 3.25 m/s 3.25 bis 3.79 m/s 3.79 bis 4.33 m/s 4.33 bis 4.87 m/s über 4.87 m/s <p>Min: 0.03 m/s Max: 5.41 m/s</p>
	14H00	<p>Abbildung 1: A1 14:00:00 01.01.2015 v1 (Sommer) w4 (v4=2000 m/s)</p> <p>Wind Speed</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 0.60 m/s 0.60 bis 1.13 m/s 1.13 bis 1.67 m/s 1.67 bis 2.21 m/s 2.21 bis 2.74 m/s 2.74 bis 3.28 m/s 3.28 bis 3.81 m/s 3.81 bis 4.35 m/s 4.35 bis 4.88 m/s über 4.88 m/s <p>Min: 0.06 m/s Max: 5.41 m/s</p>

Heures	Vitesse de l'air (m/s)	
	V HIVER	V ETE
16H00	<p>Abbildung 1: A1 16:00:00 01.01.2015 v1: 5000000 km (v=1,000,000 m/s)</p> <p>Wind Speed</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 0,55 m/s 0,55 bis 1,09 m/s 1,09 bis 1,64 m/s 1,64 bis 2,18 m/s 2,18 bis 2,72 m/s 2,72 bis 3,26 m/s 3,26 bis 3,80 m/s 3,80 bis 4,34 m/s 4,34 bis 4,89 m/s über 4,89 m/s <p>Min: 0,61 m/s Max: 5,45 m/s</p>	<p>Abbildung 1: AA 16:00:00 31.07.2015 v1: 5000000 km (v=1,000,000 m/s)</p> <p>Wind Speed</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 0,90 m/s 0,90 bis 1,79 m/s 1,79 bis 2,68 m/s 2,68 bis 3,57 m/s 3,57 bis 4,46 m/s 4,46 bis 5,35 m/s 5,35 bis 6,24 m/s 6,24 bis 7,13 m/s 7,13 bis 8,02 m/s 8,02 bis 8,91 m/s über 8,91 m/s <p>Min: 0,96 m/s Max: 8,51 m/s</p>
18H00	<p>Abbildung 1: A1 18:00:00 01.01.2015 v1: 5000000 km (v=1,000,000 m/s)</p> <p>Wind Speed</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 0,60 m/s 0,60 bis 1,14 m/s 1,14 bis 1,68 m/s 1,68 bis 2,22 m/s 2,22 bis 2,76 m/s 2,76 bis 3,30 m/s 3,30 bis 3,84 m/s 3,84 bis 4,38 m/s 4,38 bis 4,92 m/s über 4,92 m/s <p>Min: 0,67 m/s Max: 8,43 m/s</p>	<p>Abbildung 1: AA 18:00:00 31.07.2015 v1: 5000000 km (v=1,000,000 m/s)</p> <p>Wind Speed</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 0,94 m/s 0,94 bis 1,79 m/s 1,79 bis 2,63 m/s 2,63 bis 3,48 m/s 3,48 bis 4,32 m/s 4,32 bis 5,17 m/s 5,17 bis 6,02 m/s 6,02 bis 6,86 m/s 6,86 bis 7,71 m/s über 7,71 m/s <p>Min: 0,99 m/s Max: 8,55 m/s</p>
20H00	<p>Abbildung 1: A1 20:00:00 01.01.2015 (Real) v1: 5000000 km (v=1,000,000 m/s)</p> <p>Wind Speed</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 0,61 m/s 0,61 bis 1,14 m/s 1,14 bis 1,68 m/s 1,68 bis 2,22 m/s 2,22 bis 2,76 m/s 2,76 bis 3,30 m/s 3,30 bis 3,84 m/s 3,84 bis 4,38 m/s 4,38 bis 4,92 m/s über 4,92 m/s <p>Min: 0,67 m/s Max: 5,46 m/s</p>	<p>Abbildung 1: AA 20:00:00 31.07.2015 (Real) v1: 5000000 km (v=1,000,000 m/s)</p> <p>Wind Speed</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 0,92 m/s 0,92 bis 1,77 m/s 1,77 bis 2,61 m/s 2,61 bis 3,45 m/s 3,45 bis 4,30 m/s 4,30 bis 5,14 m/s 5,14 bis 5,98 m/s 5,98 bis 6,82 m/s 6,82 bis 7,66 m/s über 7,66 m/s <p>Min: 0,97 m/s Max: 8,58 m/s</p>

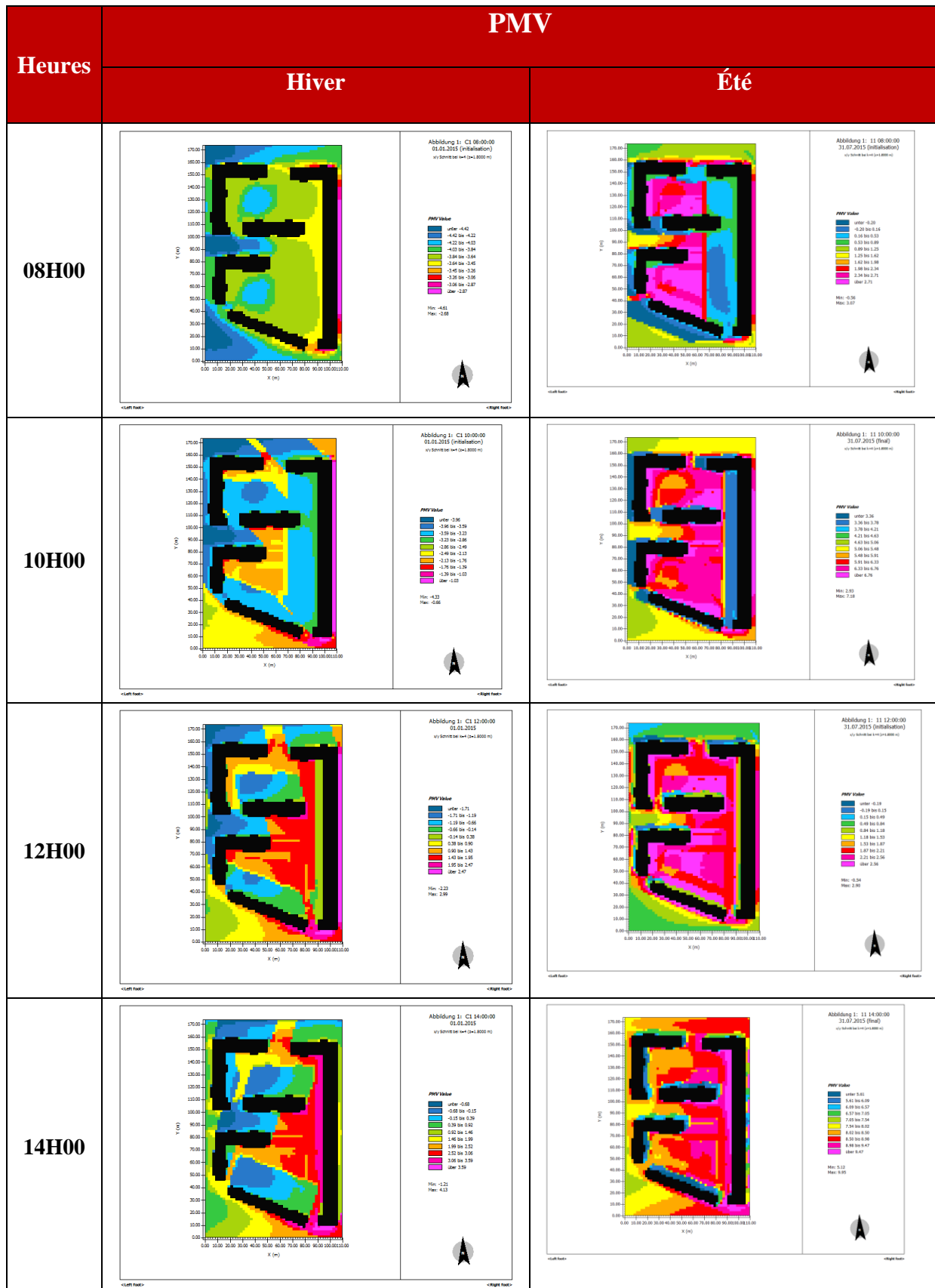
Heures	Humidité relative (%)	
	HR HIVER	HR ETE
08H00		
10H00		
12H00		
14H00		

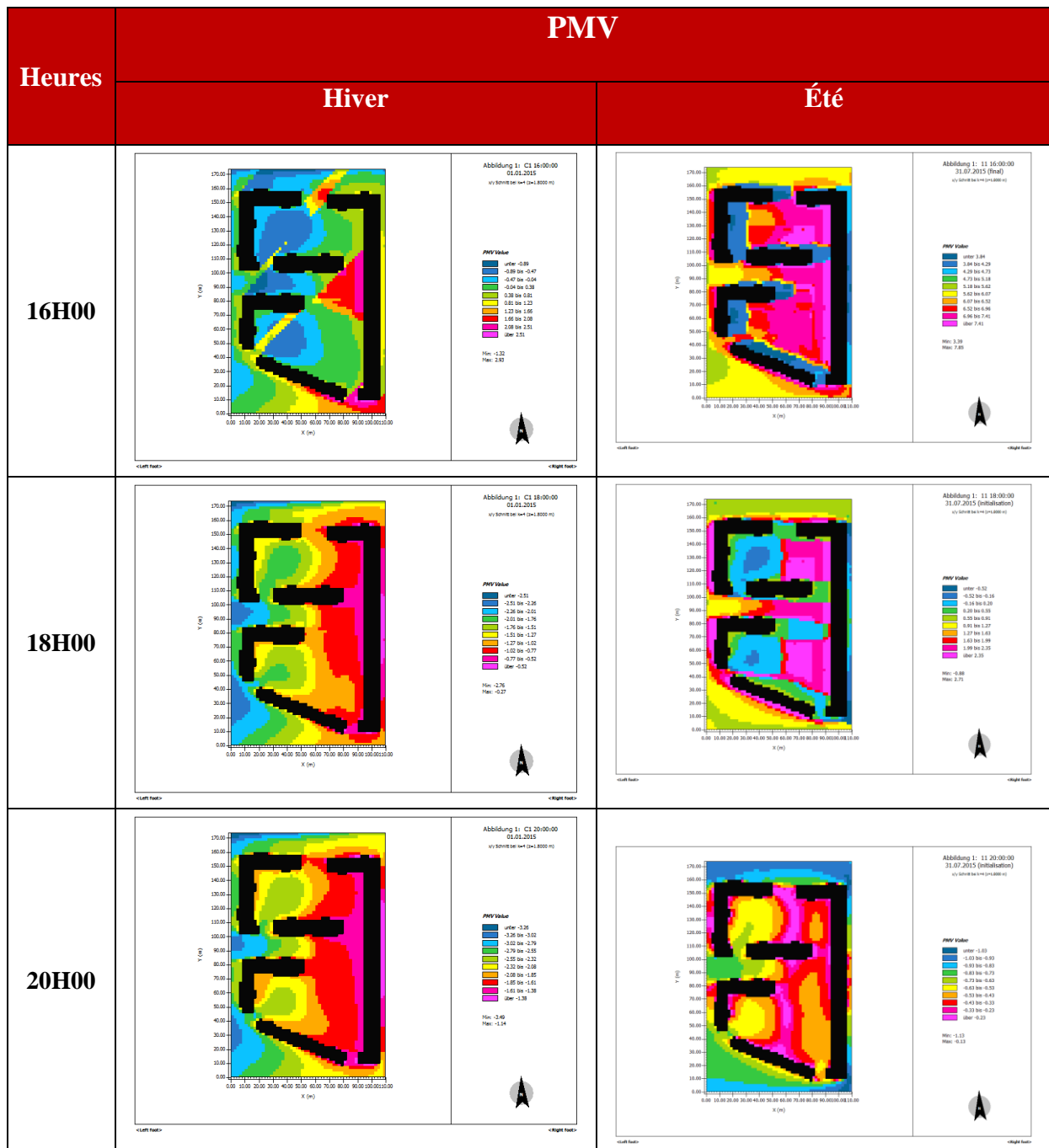


Heures	Température moyenne radiante (°C)	
	MRT HIVER	MRT ETE
08H00	<p>Abbildung 1: A1 08:00:00 01.01.2015 (Initialisation) v15 Schmitt bau 4 (v14-2008) (v)</p> <p>Mean Radiant Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 5,57 °C 5,57 bis 6,13 °C 6,13 bis 6,70 °C 6,70 bis 7,28 °C 7,28 bis 7,83 °C 7,83 bis 8,39 °C 8,39 bis 8,95 °C 8,95 bis 9,52 °C 9,52 bis 10,08 °C über 10,08 °C <p>Min: 5,00 °C Max: 10,65 °C</p>	<p>Abbildung 1: AA 08:00:00 31.07.2015 (Initialisation) v15 Schmitt bau 4 (v14-2008) (v)</p> <p>Mean Radiant Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 23,63 °C 23,63 bis 25,43 °C 25,43 bis 28,03 °C 28,03 bis 30,63 °C 30,63 bis 33,23 °C 33,23 bis 35,83 °C 35,83 bis 38,43 °C 38,43 bis 41,03 °C 41,03 bis 43,63 °C 43,63 bis 46,24 °C 46,24 bis 48,84 °C über 48,84 °C <p>Min: 20,63 °C Max: 68,84 °C</p>
	<p>Abbildung 1: A1 10:00:00 01.01.2015</p> <p>Mean Radiant Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter -0,22 °C -0,22 bis 2,40 °C 2,40 bis 4,82 °C 4,82 bis 7,23 °C 7,23 bis 9,65 °C 9,65 bis 12,07 °C 12,07 bis 14,48 °C 14,48 bis 16,90 °C 16,90 bis 19,32 °C über 19,32 °C <p>Min: -2,43 °C Max: 23,73 °C</p>	<p>Abbildung 1: AA 10:00:00 31.07.2015</p> <p>Mean Radiant Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 30,96 °C 30,96 bis 36,96 °C 36,96 bis 42,96 °C 42,96 bis 48,96 °C 48,96 bis 54,96 °C 54,96 bis 60,96 °C 60,96 bis 66,96 °C 66,96 bis 72,96 °C über 72,96 °C <p>Min: 25,72 °C Max: 77,54 °C</p>
12H00	<p>Abbildung 1: A1 12:00:00 01.01.2015</p> <p>Mean Radiant Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 4,24 °C 4,24 bis 8,49 °C 8,49 bis 12,73 °C 12,73 bis 16,98 °C 16,98 bis 21,23 °C 21,23 bis 25,48 °C 25,48 bis 29,73 °C 29,73 bis 33,98 °C 33,98 bis 38,23 °C über 38,23 °C <p>Min: -0,44 °C Max: 46,20 °C</p>	<p>Abbildung 1: AA 12:00:00 31.07.2015</p> <p>Mean Radiant Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 34,10 °C 34,10 bis 38,09 °C 38,09 bis 42,08 °C 42,08 bis 46,07 °C 46,07 bis 50,06 °C 50,06 bis 54,05 °C 54,05 bis 58,04 °C 58,04 bis 62,03 °C 62,03 bis 66,02 °C über 66,02 °C <p>Min: 28,15 °C Max: 78,63 °C</p>
	<p>Abbildung 1: A1 14:00:00 01.01.2015</p> <p>Mean Radiant Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 3,05 °C 3,05 bis 7,47 °C 7,47 bis 11,90 °C 11,90 bis 16,33 °C 16,33 bis 20,75 °C 20,75 bis 25,18 °C 25,18 bis 29,61 °C 29,61 bis 34,04 °C 34,04 bis 38,47 °C über 38,47 °C <p>Min: -1,45 °C Max: 43,15 °C</p>	<p>Abbildung 1: AA 14:00:00 31.07.2015</p> <p>Mean Radiant Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 36,07 °C 36,07 bis 40,83 °C 40,83 bis 45,59 °C 45,59 bis 50,35 °C 50,35 bis 55,11 °C 55,11 bis 59,87 °C 59,87 bis 64,63 °C 64,63 bis 69,39 °C 69,39 bis 74,15 °C über 74,15 °C <p>Min: 31,08 °C Max: 81,25 °C</p>



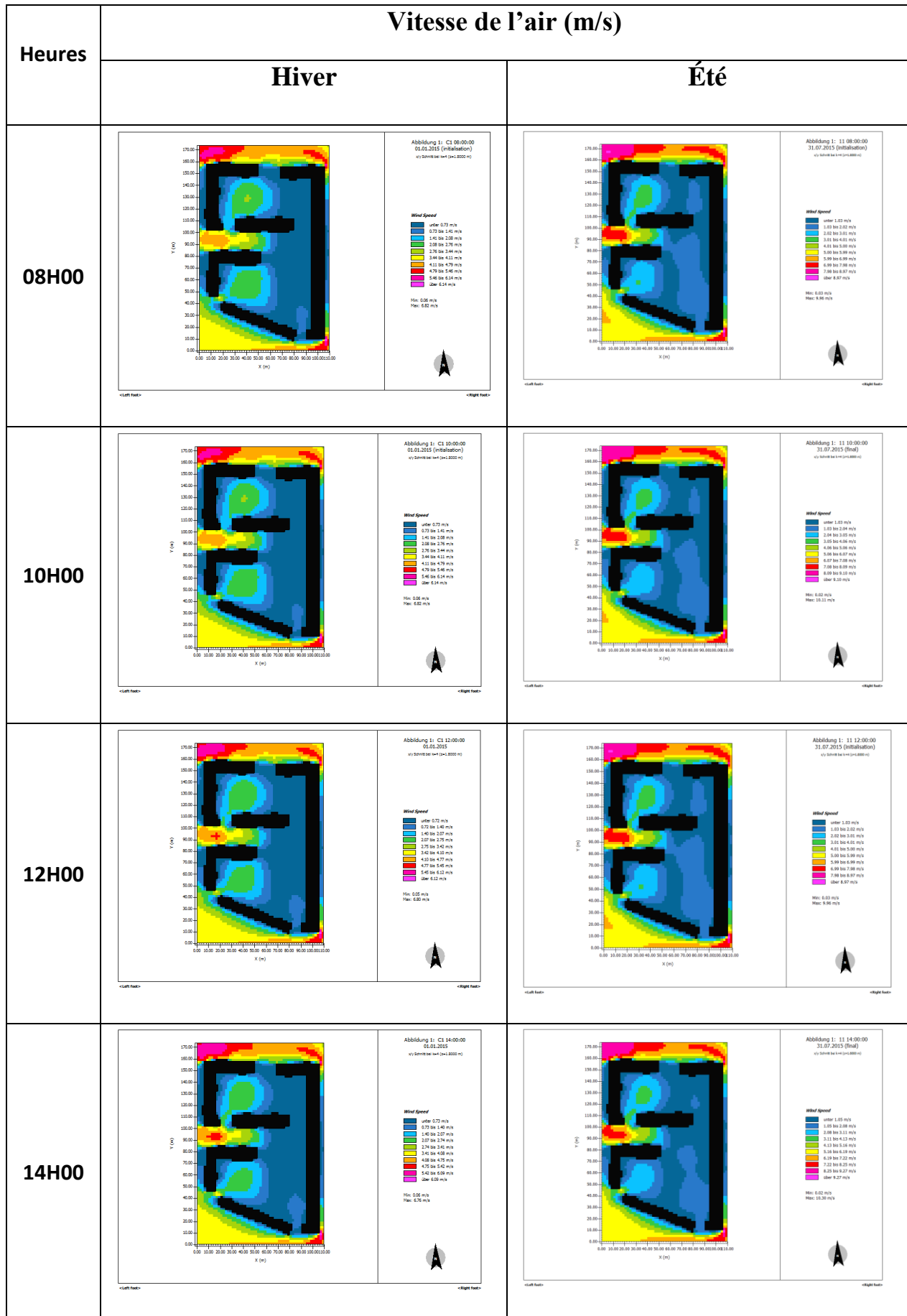
Annexe04 : Simulation de troisième échantillon

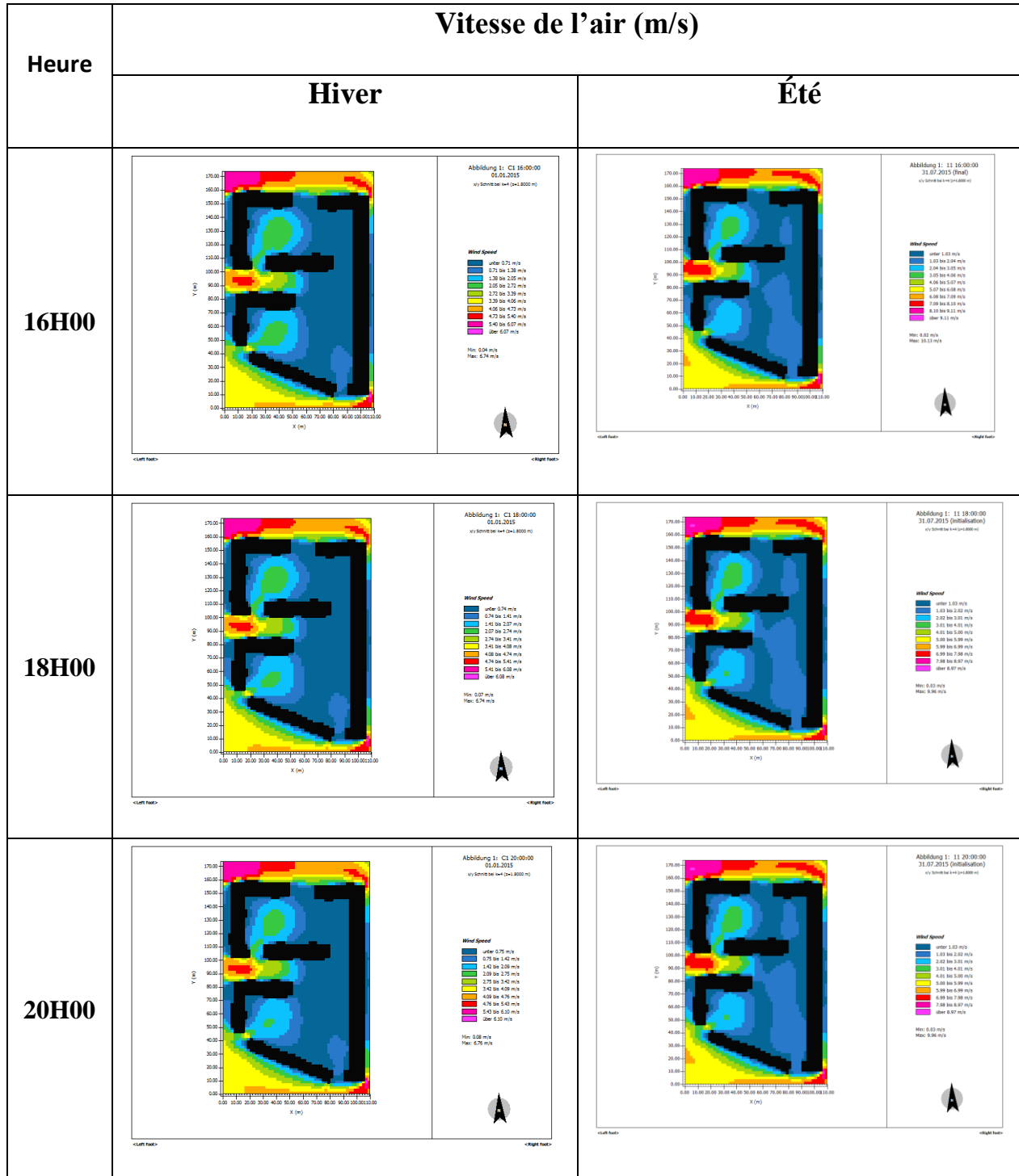




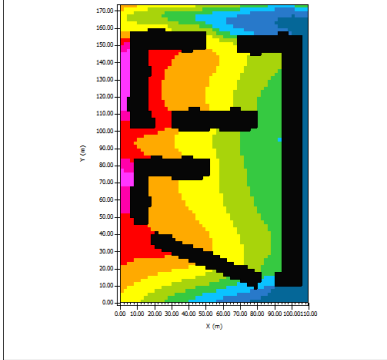
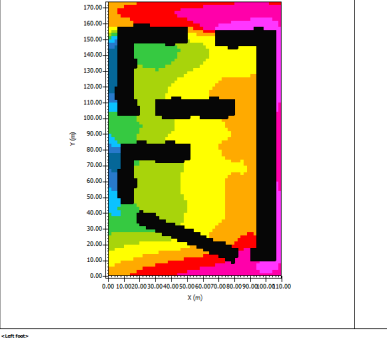
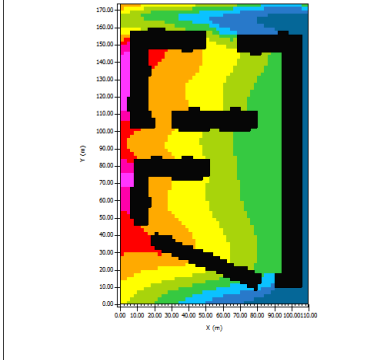
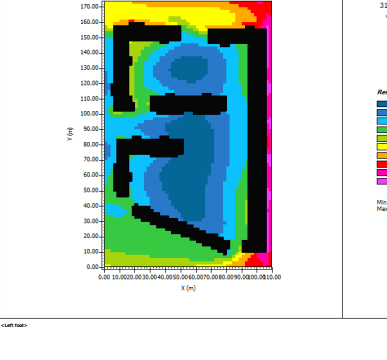
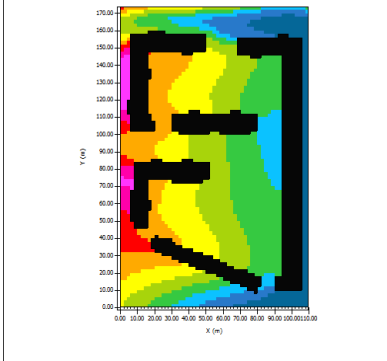
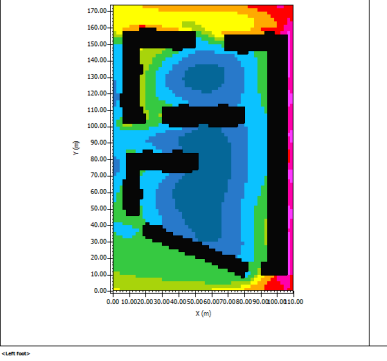
Heures	Température de l'air (°C)	
	Hiver	Été
08H00	<p>Abbildung 1: C1 08:00:00 01.01.2015 (initialisation) v.1 Sommer bei t=4 (n=1.000 m)</p> <p>Plot Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 10.12 °C 10.12 bis 10.62 °C 10.62 bis 11.11 °C 11.11 bis 11.60 °C 11.60 bis 12.09 °C 12.09 bis 12.58 °C 12.58 bis 13.07 °C 13.07 bis 13.56 °C 13.56 bis 14.05 °C über 14.05 °C <p>Min: 6.63 °C Max: 14.65 °C</p>	<p>Abbildung 1: I1 08:00:00 31.07.2015 (initialisation) v.1 Sommer bei t=4 (n=1.000 m)</p> <p>Plot Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 23.24 °C 23.24 bis 23.73 °C 23.73 bis 24.22 °C 24.22 bis 24.71 °C 24.71 bis 25.20 °C 25.20 bis 25.69 °C 25.69 bis 26.18 °C 26.18 bis 26.67 °C 26.67 bis 27.16 °C über 27.16 °C <p>Min: 23.80 °C Max: 24.35 °C</p>
10H00	<p>Abbildung 1: C1 10:00:00 01.01.2015 (initialisation) v.1 Sommer bei t=4 (n=1.000 m)</p> <p>Plot Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 10.12 °C 10.12 bis 10.62 °C 10.62 bis 11.11 °C 11.11 bis 11.60 °C 11.60 bis 12.09 °C 12.09 bis 12.58 °C 12.58 bis 13.07 °C 13.07 bis 13.56 °C 13.56 bis 14.05 °C über 14.05 °C <p>Min: 6.63 °C Max: 14.36 °C</p>	<p>Abbildung 1: I1 10:00:00 31.07.2015 (heat) v.1 Sommer bei t=4 (n=1.000 m)</p> <p>Plot Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 33.65 °C 33.65 bis 34.14 °C 34.14 bis 34.63 °C 34.63 bis 35.12 °C 35.12 bis 35.61 °C 35.61 bis 36.10 °C 36.10 bis 36.59 °C 36.59 bis 37.08 °C 37.08 bis 37.57 °C über 37.57 °C <p>Min: 32.81 °C Max: 33.28 °C</p>
12H00	<p>Abbildung 1: C1 12:00:00 01.01.2015 v.1 Sommer bei t=4 (n=1.000 m)</p> <p>Plot Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 16.46 °C 16.46 bis 17.35 °C 17.35 bis 18.24 °C 18.24 bis 19.13 °C 19.13 bis 20.02 °C 20.02 bis 20.91 °C 20.91 bis 21.80 °C 21.80 bis 22.69 °C 22.69 bis 23.58 °C über 23.58 °C <p>Min: 15.63 °C Max: 23.93 °C</p>	<p>Abbildung 1: I1 12:00:00 31.07.2015 (initialisation) v.1 Sommer bei t=4 (n=1.000 m)</p> <p>Plot Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 23.24 °C 23.24 bis 23.73 °C 23.73 bis 24.22 °C 24.22 bis 24.71 °C 24.71 bis 25.20 °C 25.20 bis 25.69 °C 25.69 bis 26.18 °C 26.18 bis 26.67 °C 26.67 bis 27.16 °C über 27.16 °C <p>Min: 23.80 °C Max: 24.35 °C</p>
14H00	<p>Abbildung 1: C1 14:00:00 01.01.2015 v.1 Sommer bei t=4 (n=1.000 m)</p> <p>Plot Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 18.67 °C 18.67 bis 19.56 °C 19.56 bis 20.45 °C 20.45 bis 21.34 °C 21.34 bis 22.23 °C 22.23 bis 23.12 °C 23.12 bis 24.01 °C 24.01 bis 24.90 °C 24.90 bis 25.79 °C 25.79 bis 26.68 °C über 26.68 °C <p>Min: 17.84 °C Max: 27.92 °C</p>	<p>Abbildung 1: I1 14:00:00 31.07.2015 (heat) v.1 Sommer bei t=4 (n=1.000 m)</p> <p>Plot Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 40.88 °C 40.88 bis 41.77 °C 41.77 bis 42.66 °C 42.66 bis 43.55 °C 43.55 bis 44.44 °C 44.44 bis 45.33 °C 45.33 bis 46.22 °C 46.22 bis 47.11 °C 47.11 bis 48.00 °C über 48.00 °C <p>Min: 39.43 °C Max: 45.37 °C</p>

Heures	Température de l'air (°C)	
	Hiver	Été
16H00	<p>Abbildung 1: C1 16:00:00 01.01.2015 v1 300000 bei h=1 (z=1-8000 m)</p> <p>Plot Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 18.28 °C 18.76 bis 19.69 °C 19.69 bis 20.62 °C 20.62 bis 21.55 °C 21.55 bis 22.47 °C 22.47 bis 23.40 °C 23.40 bis 24.33 °C 24.33 bis 25.25 °C 25.25 bis 26.18 °C über 26.18 °C <p>Min: 17.84 °C Max: 27.11 °C</p>	<p>Abbildung 1: 11 16:00:00 31.07.2015 (Inital)</p> <p>Plot Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 34.45 °C 34.45 bis 34.93 °C 34.93 bis 35.41 °C 35.41 bis 35.89 °C 35.89 bis 36.37 °C 36.37 bis 36.85 °C 36.85 bis 37.33 °C 37.33 bis 37.81 °C über 37.81 °C <p>Min: 34.37 °C Max: 37.17 °C</p>
18H00	<p>Abbildung 1: C1 18:00:00 01.01.2015 v1 300000 bei h=1 (z=1-8000 m)</p> <p>Plot Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 16.46 °C 16.46 bis 17.15 °C 17.15 bis 17.85 °C 17.85 bis 18.53 °C 18.53 bis 19.22 °C 19.22 bis 19.90 °C 19.90 bis 20.59 °C 20.59 bis 21.27 °C 21.27 bis 21.96 °C über 21.96 °C <p>Min: 15.79 °C Max: 22.64 °C</p>	<p>Abbildung 1: 11 18:00:00 31.07.2015 (Initalisation)</p> <p>Plot Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 23.14 °C 23.14 bis 23.27 °C 23.27 bis 23.41 °C 23.41 bis 23.54 °C 23.54 bis 23.68 °C 23.68 bis 23.81 °C 23.81 bis 23.95 °C 23.95 bis 24.08 °C 24.08 bis 24.22 °C über 24.22 °C <p>Min: 23.88 °C Max: 24.25 °C</p>
20H00	<p>Abbildung 1: C1 20:00:00 01.01.2015 v1 300000 bei h=1 (z=1-8000 m)</p> <p>Plot Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 14.53 °C 14.53 bis 15.06 °C 15.06 bis 15.60 °C 15.60 bis 16.13 °C 16.13 bis 16.67 °C 16.67 bis 17.21 °C 17.21 bis 17.74 °C 17.74 bis 18.28 °C 18.28 bis 18.81 °C über 18.81 °C <p>Min: 13.99 °C Max: 19.35 °C</p>	<p>Abbildung 1: 11 20:00:00 31.07.2015 (Initalisation)</p> <p>Plot Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 23.14 °C 23.14 bis 23.27 °C 23.27 bis 23.41 °C 23.41 bis 23.54 °C 23.54 bis 23.68 °C 23.68 bis 23.81 °C 23.81 bis 23.95 °C 23.95 bis 24.08 °C 24.08 bis 24.22 °C über 24.22 °C <p>Min: 23.88 °C Max: 24.25 °C</p>





Heures	Humidité relative (%)	
	Hiver	Été
08H00	<p>Abbildung 1: C1 08:00:00 01.01.2015 (Initialisation) v1 Sommer (m) (2x1.8000 m)</p> <p>Relative Humidity</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 42.69 % 42.69 bis 45.68 % 45.68 bis 48.43 % 48.43 bis 51.29 % 51.29 bis 54.27 % 54.27 bis 57.24 % 57.24 bis 59.81 % 59.81 bis 62.78 % 62.78 bis 65.65 % über 65.65 % <p>Min: 39.62 % Max: 65.53 %</p>	<p>Abbildung 1: 11 08:00:00 31.07.2015 (Start) v1 Sommer (m) (2x1.8000 m)</p> <p>Relative Humidity</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 33.71 % 33.71 bis 33.93 % 33.93 bis 34.16 % 34.16 bis 34.38 % 34.38 bis 34.60 % 34.60 bis 34.82 % 34.82 bis 35.04 % 35.04 bis 35.26 % 35.26 bis 35.48 % über 35.48 % <p>Min: 33.48 % Max: 35.78 %</p>
10H00	<p>Abbildung 1: C1 10:00:00 01.01.2015 (Initialisation) v1 Sommer (m) (2x1.8000 m)</p> <p>Relative Humidity</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 42.69 % 42.69 bis 45.68 % 45.68 bis 48.43 % 48.43 bis 51.29 % 51.29 bis 54.27 % 54.27 bis 57.24 % 57.24 bis 59.81 % 59.81 bis 62.78 % 62.78 bis 65.65 % über 65.65 % <p>Min: 39.62 % Max: 65.53 %</p>	<p>Abbildung 1: 11 10:00:00 31.07.2015 (Start) v1 Sommer (m) (2x1.8000 m)</p> <p>Relative Humidity</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 89.99 % 89.99 bis 91.08 % 91.08 bis 92.18 % 92.18 bis 93.27 % 93.27 bis 94.36 % 94.36 bis 95.45 % 95.45 bis 96.55 % 96.55 bis 97.64 % 97.64 bis 98.73 % über 98.73 % <p>Min: 89.99 % Max: 99.82 %</p>
12H00	<p>Abbildung 1: C1 12:00:00 01.01.2015 v1 Sommer (m) (2x1.8000 m)</p> <p>Relative Humidity</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 101.71 % 101.71 bis 103.91 % 103.91 bis 105.29 % 105.29 bis 107.22 % 107.22 bis 109.69 % 109.69 bis 110.99 % 110.99 bis 112.71 % 112.71 bis 114.56 % 114.56 bis 116.59 % über 116.59 % <p>Min: 88.87 % Max: 116.23 %</p>	<p>Abbildung 1: 11 12:00:00 31.07.2015 (Initialisation) v1 Sommer (m) (2x1.8000 m)</p> <p>Relative Humidity</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 33.71 % 33.71 bis 33.93 % 33.93 bis 34.16 % 34.16 bis 34.38 % 34.38 bis 34.60 % 34.60 bis 34.82 % 34.82 bis 35.04 % 35.04 bis 35.26 % 35.26 bis 35.48 % über 35.48 % <p>Min: 33.48 % Max: 35.78 %</p>
14H00	<p>Abbildung 1: C1 14:00:00 01.01.2015 v1 Sommer (m) (2x1.8000 m)</p> <p>Relative Humidity</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 104.03 % 104.03 bis 106.66 % 106.66 bis 109.29 % 109.29 bis 111.82 % 111.82 bis 114.57 % 114.57 bis 117.17 % 117.17 bis 119.88 % 119.88 bis 122.43 % 122.43 bis 125.66 % über 125.66 % <p>Min: 101.48 % Max: 127.69 %</p>	<p>Abbildung 1: 11 14:00:00 31.07.2015 (Start) v1 Sommer (m) (2x1.8000 m)</p> <p>Relative Humidity</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 96.36 % 96.36 bis 97.06 % 97.06 bis 97.75 % 97.75 bis 98.45 % 98.45 bis 99.14 % 99.14 bis 99.84 % 99.84 bis 100.53 % 100.53 bis 101.23 % 101.23 bis 101.92 % über 101.92 % <p>Min: 95.67 % Max: 102.62 %</p>

Heures	Humidité relative (%)	
	Hiver	Été
16H00	 <p>Abbildung 1: C1 16:00:00 01.01.2015 xy Schritt bei w=4 (m=1.8000 m)</p> <p>Relative Humidity</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 104,26 % 104,26 bis 107,01 % 107,01 bis 109,76 % 109,76 bis 112,51 % 112,51 bis 115,26 % 115,26 bis 117,99 % 117,99 bis 120,74 % 120,74 bis 123,49 % 123,49 bis 126,23 % über 126,23 % <p>Min: 102,52 % Max: 138,98 %</p>	 <p>Abbildung 1: 11 16:00:00 31.07.2015 (Frei) xy Schritt bei w=4 (m=1.8000 m)</p> <p>Relative Humidity</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 90,66 % 90,66 bis 91,95 % 91,95 bis 93,24 % 93,24 bis 94,54 % 94,54 bis 95,83 % 95,83 bis 97,12 % 97,12 bis 98,41 % 98,41 bis 99,70 % 99,70 bis 100,99 % über 100,99 % <p>Min: 89,47 % Max: 101,38 %</p>
18H00	 <p>Abbildung 1: C1 18:00:00 01.01.2015 xy Schritt bei w=4 (m=1.8000 m)</p> <p>Relative Humidity</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 103,38 % 103,38 bis 105,77 % 105,77 bis 108,15 % 108,15 bis 110,54 % 110,54 bis 112,92 % 112,92 bis 115,30 % 115,30 bis 117,69 % 117,69 bis 120,07 % 120,07 bis 122,45 % über 122,45 % <p>Min: 102,00 % Max: 124,98 %</p>	 <p>Abbildung 1: 11 18:00:00 31.07.2015 (Freibadstation) xy Schritt bei w=4 (m=1.8000 m)</p> <p>Relative Humidity</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 33,71 % 33,71 bis 33,93 % 33,93 bis 34,16 % 34,16 bis 34,38 % 34,38 bis 34,60 % 34,60 bis 34,82 % 34,82 bis 35,04 % 35,04 bis 35,26 % 35,26 bis 35,48 % über 35,48 % <p>Min: 33,49 % Max: 35,79 %</p>
20H00	 <p>Abbildung 1: C1 20:00:00 01.01.2015 xy Schritt bei w=4 (m=1.8000 m)</p> <p>Relative Humidity</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 102,73 % 102,73 bis 104,85 % 104,85 bis 106,97 % 106,97 bis 109,09 % 109,09 bis 111,21 % 111,21 bis 113,33 % 113,33 bis 115,45 % 115,45 bis 117,57 % 117,57 bis 119,69 % über 119,69 % <p>Min: 100,61 % Max: 121,81 %</p>	 <p>Abbildung 1: 11 20:00:00 31.07.2015 (Freibadstation) xy Schritt bei w=4 (m=1.8000 m)</p> <p>Relative Humidity</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 33,71 % 33,71 bis 33,93 % 33,93 bis 34,16 % 34,16 bis 34,38 % 34,38 bis 34,60 % 34,60 bis 34,82 % 34,82 bis 35,04 % 35,04 bis 35,26 % 35,26 bis 35,48 % über 35,48 % <p>Min: 33,49 % Max: 35,79 %</p>

Heures	Température moyenne radiante (°C)	
	Hiver	Été
08H00	<p>Abbildung 1: CI 08:00:00 01.01.2015 (Initialisation) xy: 20000,00; 104 (-14; 20000 m)</p> <p>Mean Radiant Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 5.96 °C 5.96 bis 6.87 °C 6.87 bis 7.25 °C 7.25 bis 7.93 °C 7.93 bis 8.61 °C 8.61 bis 9.29 °C 9.29 bis 9.98 °C 9.98 bis 11.04 °C 11.04 bis 11.32 °C über 11.32 °C <p>Min: 5.22 °C Max: 12.00 °C</p>	<p>Abbildung 1: 11 08:00:00 31.07.2015 (Initialisation) xy: 20000,00; 104 (-14; 20000 m)</p> <p>Mean Radiant Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 26.27 °C 26.27 bis 28.88 °C 28.88 bis 37.39 °C 37.39 bis 41.11 °C 41.11 bis 48.73 °C 48.73 bis 54.34 °C 54.34 bis 59.96 °C 59.96 bis 65.57 °C 65.57 bis 71.13 °C über 71.13 °C <p>Min: 20.66 °C Max: 76.80 °C</p>
10H00	<p>Abbildung 1: CI 10:00:00 01.01.2015 (Initialisation) xy: 20000,00; 104 (-14; 20000 m)</p> <p>Mean Radiant Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 17.03 °C 17.03 bis 22.81 °C 22.81 bis 28.59 °C 28.59 bis 34.38 °C 34.38 bis 40.14 °C 40.14 bis 46.02 °C 46.02 bis 51.89 °C 51.89 bis 57.47 °C über 57.47 °C <p>Min: 11.26 °C Max: 65.02 °C</p>	<p>Abbildung 1: 11 10:00:00 31.07.2015 (Final) xy: 20000,00; 104 (-14; 20000 m)</p> <p>Mean Radiant Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 36.36 °C 36.36 bis 42.17 °C 42.17 bis 48.08 °C 48.08 bis 53.99 °C 53.99 bis 59.89 °C 59.89 bis 65.81 °C 65.81 bis 71.72 °C 71.72 bis 78.64 °C über 78.64 °C <p>Min: 31.75 °C Max: 83.69 °C</p>
12H00	<p>Abbildung 1: CI 12:00:00 01.01.2015 xy: 20000,00; 104 (-14; 20000 m)</p> <p>Mean Radiant Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 18.70 °C 18.70 bis 25.10 °C 25.10 bis 31.49 °C 31.49 bis 37.71 °C 37.71 bis 44.02 °C 44.02 bis 50.32 °C 50.32 bis 56.61 °C 56.61 bis 62.93 °C 62.93 bis 69.23 °C über 69.23 °C <p>Min: 13.46 °C Max: 75.54 °C</p>	<p>Abbildung 1: 11 12:00:00 31.07.2015 (Initialisation) xy: 20000,00; 104 (-14; 20000 m)</p> <p>Mean Radiant Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 31.11 °C 31.11 bis 35.89 °C 35.89 bis 40.67 °C 40.67 bis 45.45 °C 45.45 bis 50.23 °C 50.23 bis 55.01 °C 55.01 bis 59.79 °C 59.79 bis 64.56 °C 64.56 bis 69.34 °C über 69.34 °C <p>Min: 26.23 °C Max: 76.12 °C</p>
14H00	<p>Abbildung 1: CI 14:00:00 01.01.2015 xy: 20000,00; 104 (-14; 20000 m)</p> <p>Mean Radiant Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 21.62 °C 21.62 bis 27.56 °C 27.56 bis 33.49 °C 33.49 bis 39.41 °C 39.41 bis 45.35 °C 45.35 bis 51.29 °C 51.29 bis 57.22 °C 57.22 bis 63.15 °C 63.15 bis 69.08 °C über 69.08 °C <p>Min: 15.69 °C Max: 75.02 °C</p>	<p>Abbildung 1: 11 14:00:00 31.07.2015 (Final) xy: 20000,00; 104 (-14; 20000 m)</p> <p>Mean Radiant Temperature</p> <ul style="list-style-type: none"> unter 40.79 °C 40.79 bis 46.32 °C 46.32 bis 48.86 °C 48.86 bis 54.40 °C 54.40 bis 59.94 °C 59.94 bis 65.48 °C 65.48 bis 71.02 °C 71.02 bis 76.56 °C 76.56 bis 77.10 °C über 77.10 °C <p>Min: 36.24 °C Max: 81.64 °C</p>

