

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

**Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme**

**epau**

**Laboratoire Architecture et Environnement**



Mémoire  
Pour l'obtention du diplôme de  
**MASTER EN ARCHITECTURE**  
Option : Architecture et Environnement

**Thème**

**ENVI-met comme outil d'aide à la caractérisation des îlots de chaleur et de  
fraîcheur urbains dans la ville d'Alger**

**Cas d'études : L'hôpital Mustapha-Sidi M'Hamed et Jardin d'Essai-Hamma.**

**Présenté par**

**TCHOKETCH KEBIR Abdelwahab**

**Mémoire dirigé par : Dr N. S. Daoudi**

**Devant le Jury composé de :**

Président de jury : Mme K. DAKHIA  
Examineur : Mme N. BALAMANE  
Examineur : Mme A. TOUIL

# Table des matières

<b>Remerciement.....</b>	<b>I</b>
<b>Résumé.....</b>	<b>II</b>
<b>Liste des figures.....</b>	<b>III</b>
<b>Liste des graphes .....</b>	<b>V</b>
<b>Liste des tableaux.....</b>	<b>VI</b>
<b>Liste des photographies .....</b>	<b>VII</b>
<b>Liste des abréviations .....</b>	<b>VIII</b>
<b>Chapitre introductif.....</b>	<b>1</b>
1. Introduction générale.....	1
2. Problématique.....	2
3. Objectifs.....	3
4. Hypothèses.....	4
5. Méthodologie.....	4
6. Structure de mémoire .....	5
<b>Chapitre premier : Etat des connaissances.....</b>	<b>6</b>
<b>I.1 Contexte général du phénomène d’îlot de chaleur urbain, ICU.....</b>	<b>6</b>
<b>I.2 Contexte général du phénomène d’îlot de fraîcheur urbain, IFU ....</b>	<b>8</b>
<b>I.3 Conclusions .....</b>	<b>8</b>
<b>I.4 Définitions des deux phénomènes d’ICU et d’IFU.....</b>	<b>8</b>
I.4.1 Îlot de chaleur urbain, ICU .....	8
I.4.2 Îlot de fraîcheur urbain, IFU .....	10
<b>I.5 Facteurs aggravants l’ICU.....</b>	<b>11</b>
I.5.1 Les facteurs naturels .....	11
I.5.1.1 Les facteurs climatiques .....	11
I.5.1.2 Les conditions géographiques.....	12
I.5.2 Les facteurs morphologiques .....	12
I.5.3 Les facteurs énergétiques.....	16
Conclusion.....	16
<b>I.6 Le micro climat urbain.....</b>	<b>16</b>
I.6.1 Paramètre climatique locaux.....	16
I.6.1.1 Le bilan radiatif ou rayonnement net .....	17
I.6.1.2 La température de l’air.....	18

I.6.1.3 L'humidité .....	18
I.6.1.4 Les vents .....	18
I.6.1.4 Conclusion.....	19
I.6.2 Paramètres morphologiques.....	20
I.6.2.1 Rapport des espaces bâtis/non bâtis .....	20
I.6.2.2 La forme urbaine .....	21
I.6.2.3 Les Canyons urbains.....	21
I.6.3 Les paramètres surfaciques.....	22
I.6.3.1 L'albédo et l'émissivité .....	22
I.6.3.2 L'ombrage .....	23
I.6.3.3 Le couvert végétal.....	23
I.6.3.4 L'eau.....	24
I.6.4 Les paramètres énergétiques de la ville .....	24
I.6.4.1 Source de chaleur anthropique (F) .....	25
I.6.4.2 Flux de chaleur dans le sol et les bâtiments (G).....	25
I.6.4.3 Flux de chaleur latente (LE).....	25
I.6.4.4 Flux de chaleur sensible (H) .....	25
<b>I.7 Impacts de l'ICU .....</b>	<b>25</b>
I.7.1 Impacts sur l'environnement .....	26
I.7.1.1 Détérioration de la qualité d'air extérieur.....	26
I.7.1.2 Détérioration de la qualité d'air intérieur .....	26
I.7.1 Impacts sur la santé.....	26
I.7.2 Impacts sur la consommation d'énergie.....	27
I.7.3.1 Hausse de la demande en énergie.....	27
I.7.3.2 Climatisation .....	28
<b>I.8 Solution d'atténuation et de mitigation.....</b>	<b>28</b>
I.8.1 Réduction des rejets de chaleur anthropique .....	28
I.8.2 Réduction des stocks de chaleur.....	29
I.8.3 Amélioration des sources de fraîcheur.....	29
I.8.3.1 La végétation en milieu urbain.....	29
I.8.3.2 La présence d'eau en milieu urbain.....	29
I.8.4 Favoriser l'écoulement de l'air .....	30
Synthèse .....	30
<b>II.9 Conclusion.....</b>	<b>30</b>

<b>Deuxième chapitre : Les outils d'évaluation, cas d'études et présentation d'ENVI-met</b> .....	<b>31</b>
<b>II.1 Introduction</b> .....	<b>31</b>
<b>II.2 Les outils d'évaluation</b> .....	<b>32</b>
II.2.1 Critères du choix d'un outil d'évaluation.....	32
II.2.2 Les mesure sur site.....	32
II.2.2.1 Prise de mesure à l'aide de stations fixes.....	32
II.2.2.1 Prise de mesure dynamique embarquée.....	32
II.2.3 Modélisation et télédétection.....	33
II.2.3.1 La télédétection.....	33
II.2.3.2 La modélisation.....	33
<b>II.3 Cas d'études</b> .....	<b>37</b>
II.3.1 Critères du choix des cas d'études.....	37
II.3.2 Climat d'Alger.....	37
II.3.3 Présentations des cas d'études.....	38
II.3.3.1 Description de l'Hôpital CHU Mustapha Bacha.....	38
II.3.3.2 Le Jardin d'Essai- Hamma.....	39
II.3.3.3 Campagne de mesure d'Aout 2013.....	40
<b>II.4 Présentation du logiciel Envi-met 3.1</b> .....	<b>41</b>
II.4.1 Avantages du logiciel Envi-met.....	42
II.4.2 Limites du logiciel Envi-met.....	42
<b>Troisième chapitre : Simulation et discussion des résultats</b> .....	<b>43</b>
<b>III.1 Introduction</b> .....	<b>43</b>
<b>III.2 Interfaces du logiciel et création du modèle</b> .....	<b>43</b>
III.2.1 Fichier éditeur (.in).....	44
III.2.1.1 Création de la zone.....	44
III.2.1.2 Modélisation de la zone.....	45
III.2.2 Fichier de configuration (.CF).....	49
<b>III.3 Exécution des simulations</b> .....	<b>54</b>
<b>III.4 Résultats et discussion</b> .....	<b>55</b>
III.4.1 Validation des résultats de la campagne de mesures.....	55
III.4.1.1 Première simulation (S1) le 30-31/07/2013.....	55
III.4.1.2 Deuxième simulation (S2) le 01-02/07/2013.....	56
III.4.1.3 Troisième simulation (S3) le 05-06/08/2013.....	57

III.4.2 Etude comparative des microclimats entre l'Hôpital Mustapha et jardin d'essai (ICU/IFU) .....	59
III.4.3 Simulation d'une période de canicule actuelle (S4) le 01-02/07/2015 .....	65
III.4.4 Etude paramétrique .....	66
III.4.4.1 Végétation.....	66
III.4.4.2 Albédo.....	67
III.4.4.3 Vent.....	67
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>69</b>
Perspectives de recherche .....	70
<b>Bibliographie.....</b>	<b>71</b>

## **Remerciement**

Avec l'aide de dieu tout puissant, on a pu accomplir ce modeste travail,

Je souhaite exprimer ici toute ma reconnaissance et mon estime à Mme N. S. Daoudi pour avoir accepté de diriger ce travail de mémoire, ainsi pour sa disponibilité et son aide.

Mes remerciements s'adressent également aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce mémoire.

Je remercie sincèrement M T. Atik pour ses conseils et son aide.

Enfin, un immense remerciement à mes parents, mon frère, ma sœur, mes amis et tous les membres de ma famille pour leur soutien, leur assistance et leur amour.

## Résumé

Ce mémoire de master consiste à caractériser le phénomène d'îlot de chaleur urbain et son corollaire l'îlot de fraîcheur urbain portant sur deux sites à Alger ; le premier est un site fortement minéralisé qui se situe au niveau de l'hôpital Mustapha Bacha-Sidi M'hamed, le deuxième est caractérisé par une dense végétation correspondant au Jardin d'Essai-Hamma. Pour cela nous avons adopté une approche qui combine les mesures sur site et la simulation numérique, cette dernière est effectuée à l'aide du logiciel ENVI-met 2004, qui permet de simuler le microclimat urbain.

Cette recherche s'inscrit aussi dans un projet PRU en cours (2014-2017) qui porte sur les effets des îlots de chaleur urbains et le rôle des îlots de fraîcheur urbains dans le rafraîchissement de la ville.

En effet, les résultats ont démontré la capacité du logiciel à simuler le microclimat local des sites d'études et de restituer les valeurs enregistrées lors de la campagne de mesures, ainsi que d'illustrer l'évolution temporelle des phénomènes d'îlots de chaleur/fraîcheur urbains.

Aussi, le logiciel nous a permis d'établir une étude paramétrique qui porte sur trois paramètres essentiels qui sont la végétation, l'albédo et le vent, dont les résultats ont illustré l'impact de ces derniers sur l'intensité des îlots de chaleur/fraîcheur urbains.

**Mots clés :** Îlot de chaleur urbain, îlot de fraîcheur urbain, hôpital Mustapha Bacha, Jardin d'Essai, simulation numérique, ENVI-met 2004, étude paramétrique.

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : L'évolution spatiale de la ville d'Alger (1962-2005), source : Tchokchek kebir, 2012. ....	3
<b>Figure 2</b> : l'ICU, un phénomène régional, Paris, .....	7
<b>Figure 3</b> : l'ICU, un phénomène localisé, .....	7
<b>Figure 4</b> : Profil de l'îlot de chaleur urbain, Lawrence Berkeley National Laboratory, 2000. ....	9
<b>Figure 5</b> : Les types d'îlot de chaleur urbain, Carpentier, (2012). ....	10
<b>Figure 6</b> : Température de surfaces de différents matériaux, Heat Island group, 2013 .....	13
<b>Figure 7</b> : Intensité d'ICU en fonction du nombre d'habitants pour des villes européennes et Nord-américaines, (Source : Oke, 1978) .....	15
<b>Figure 8</b> : Bilan radiatif au-dessus d'une ville, source : Ringenbach N, 2004. ....	17
<b>Figure 9</b> : Structure des ICU pour des vents inférieurs à $3\text{m.s}^{-1}$ , source : Ringenbach, 2004. ....	19
<b>Figure 10</b> : Les profils urbains, Allain, (2004), tiré de : (Colombert, 2008). ....	21
<b>Figure 11</b> : Effet de piégeage du rayonnement solaire, Ringenbach, (2004). ....	22
<b>Figure 12</b> : la réflexion de rayonnement dans le milieu naturel, Griffiths, (1976), tiré de : Colombert, (2008). ....	22
<b>Figure 13</b> : Les valeurs d'albédo en milieu urbain, Source : wikipedia.org. ....	23
<b>Figure 14</b> : L'impact de l'imperméabilisation sur l'évapotranspiration, le ruissellement et l'infiltration, source : wikhydro.developpement-durable.gouv.fr .....	24
<b>Figure 15</b> : Bilan d'énergie au-dessus d'une ville, source : (Ringenbach, 2004). ....	24
<b>Figure 16</b> : Humidex tiré lectures de la température et de l'humidité relative, Ringenbach, 2004. ...	27
<b>Figure 17</b> : Boucle d'amplification des îlots de chaleur urbains, source : Bozonnet, 2006.....	28
<b>Figure 18</b> : Carte de localisation des cas d'études l'Hôpital CHU Mustapha Bacha et Jardin d'Essais, Daoudi et al, 2015. ....	38
<b>Figure 19</b> : Carte de l'Hôpital CHU Mustapha Bacha, Source : web.....	39
<b>Figure 20</b> : Carte du jardin d'essai Hamma, Source : web.....	39
<b>Figure 21</b> : Les interactions calculées par Envi-met, Source : <a href="http://www.envi-met.com">http://www.envi-met.com</a> .....	41
<b>Figure 22</b> : Menu, ENVI-met, Source : Auteur. ....	43
<b>Figure 23</b> : La structure du logiciel, Envi-met (2004) tiré de : (Atik, 2011). ....	44
<b>Figure 24</b> : Création de la zone de l'hôpital Mustapha Bacha.....	44
<b>Figure 25</b> : Création de la zone du jardin d'essai. ....	45
<b>Figure 26</b> : Données de base de la végétation (PLANTS.DAT), Source : <a href="http://www.envi-met.com">http://www.envi-met.com</a> . ....	45
<b>Figure 27</b> : Editeur du bâti/végétation, Hôpital Mustapha. ....	46
<b>Figure 28</b> : Editeur du bâti/végétation, jardin d'essai. ....	47
<b>Figure 29</b> : Données de base des sols (PROFILES.DAT)Source : <a href="http://www.envi-met.com">http://www.envi-met.com</a> .....	47
<b>Figure 30</b> : Editeur des sols, Hôpital Mustapha. ....	48
<b>Figure 31</b> : Editeur des sols, jardin d'essai.....	48
<b>Figure 32</b> : Emplacement du récepteur, toit buanderie, Hôpital Mustapha.....	49
<b>Figure 33</b> : Emplacement du récepteur, jardin d'essai.....	49
<b>Figure 34</b> : Exemple d'un fichier de configuration pour l'hôpital Mustapha. ....	50
<b>Figure 35</b> : Exemple d'un fichier de configuration pour le jardin d'essai. ....	50
<b>Figure 36</b> : Données météorologique du 01/07/2015, source : <a href="http://www.ogimet.com">http://www.ogimet.com</a> . ....	52
<b>Figure 37</b> : Résistance thermique, cas de l'hôpital Mustapha, source : <a href="http://www.thermexcel.com">http://www.thermexcel.com</a> .....	52
<b>Figure 38</b> : Résistance thermique, cas du jardin d'essai, source : <a href="http://www.thermexcel.com">http://www.thermexcel.com</a> .....	53
<b>Figure 39</b> : Lecture comparative des résultats du S1 entre 7h et 11h. ....	60
<b>Figure 40</b> : Lecture comparative des résultats du S1 entre 13h et 17h. ....	61

**Figure 41:** Lecture comparative des résultats du S1 entre 19h et 22h. ....62  
**Figure 42:** Lecture comparative des résultats du S1 entre 23h et 01h. ....63  
**Figure 43:** Lecture comparative des résultats du S1 entre 02h et 06h. ....64

## Liste des graphes

<b>Graphe 1</b> : Variation des températures d'air enregistrée (S1, campagne de mesures, ONM) dans les deux sites associé à la vitesse du vent.....	55
<b>Graphe 2</b> : Variation des températures d'air enregistrée (S2, campagne de mesure, ONM) dans les deux sites associé à la vitesse du vent.....	57
<b>Graphe 3</b> :Variation des températures d'air enregistrée (S3, compagne de mesure, ONM) dans les deux sites associé à la vitesse du vent.....	58
<b>Graphe 4</b> : Variation des températures d'air enregistrée (S4, Alger port, ONM), à l'hôpital Mustapha.....	65
<b>Graphe 5</b> :Variation des températures d'air enregistrée par S5, avec une augmentation de % 10 du taux de concentration de végétation à l'hôpital Mustapha. ....	66
<b>Graphe 6</b> :Variation des températures d'air enregistrée par S6, avec des valeurs maximales d'albédo.....	67
<b>Graphe 7</b> :Variation des températures d'air enregistrée par S7, avec des vents modérés. ....	68

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b> : Détail des simulations .....	51
<b>Tableau 2</b> : Type de terrain et valeur de rugosité, source : (Beranek,1984). .....	52
<b>Tableau 3</b> : Nature des surfaces et valeur d'albédo.....	53

## Liste des photographies

<b>Photo 1</b> : Véhicule équipé pour la campagne de mesure, Claverie et al, 2011. ....	33
<b>Photo 2</b> : L'ancienne buanderie de L'hôpital Mustapha, source : Tchoketch kebir, 2015. ....	40
<b>Photo 3</b> : Ressources matérielles mis en place pour les simulations .....	54
<b>Photo 4</b> : Image aérienne à haut résolution, l'hôpital Mustapha, Source : PRU, (2014-2017).....	59
<b>Photo 5</b> : Image aérienne à haut résolution, jardin d'essai, Source : PRU, (2014-2017). ....	59

## Liste des abréviations

**ICU** : Îlot de chaleur urbain.

**IFU** : Îlot de fraîcheur urbain.

**GIEC** : Le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat.

**GES** : Gaz à effet de serre

**MODIS** : Le Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer, que l'on peut traduire en français par « Radiomètre spectral pour imagerie de résolution moyenne »

**ONM** : Office National de la Météorologie

**S1, S2, S3...**: Première simulation, deuxième simulation, troisième simulation ...

# Chapitre introductif

## 1. Introduction générale

La ville est un organisme vivant qui évolue, se modifie dans le temps en fonction des évènements historiques, sociaux, économiques et environnementaux...Cependant parfois cet organisme souffre d'anomalies qui sont représentées par des perturbations environnementales ; on cite parmi celles-là, les îlots de chaleur urbains qui nécessitent d'être identifiés.

Les îlots de chaleurs urbaines (ICU) sont des élévations de températures localisées et enregistrées en milieu urbain par rapport aux zones environnantes ou par rapport aux températures moyennes régionales, (Giguère, 2009, Greuillet et al, 2013).

Ces deux dernières décennies, ce phénomène est accentué par les changements climatiques et surtout par le réchauffement climatique. Encore plus, phénomène environnemental urbain, il est surtout ressenti dans les centres urbains des villes denses, (Daoudi et al, 2015). Les chercheurs ne cessent d'observer et projeter des hausses de températures et des vagues de chaleur sans précédent, (Giguère, 2009).

Ainsi de nombreux chercheurs remontent ces changements environnementaux à l'essor démographique et à l'urbanisation rapide de nos métropoles, (Daoudi et al, 2015). Ces paramètres affectent le microclimat urbain où l'intensité des îlots de chaleur urbains devient de plus en plus importante. De même qu'ils affectent le confort urbain et la santé humaine. Ce dernier aspect les rend indispensables à localiser, évaluer et par conséquent de proposer des stratégies nouvelles d'atténuation.

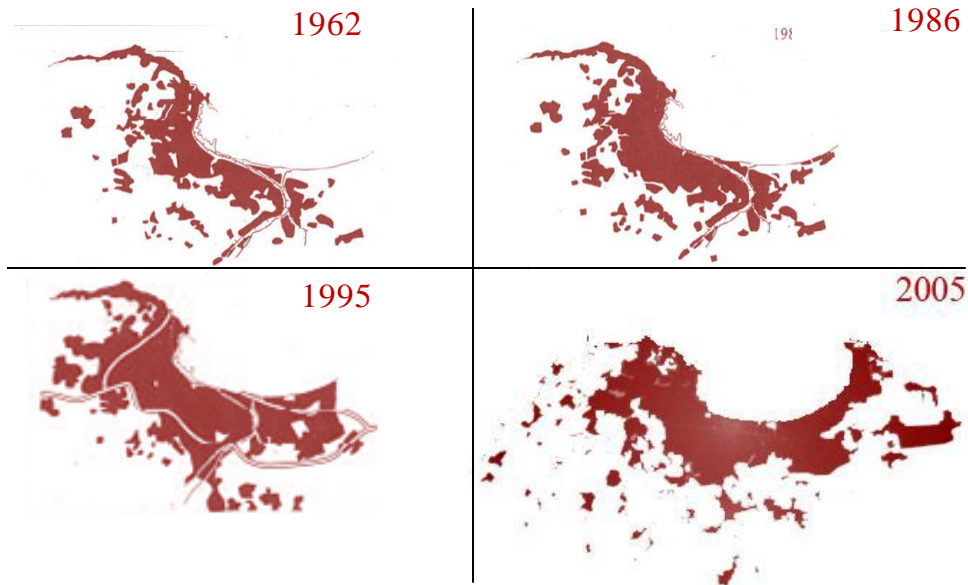
De nombreuses publications ont évoqué le phénomène d'îlot de chaleur urbain, dans lesquelles sont expérimentés différents outils d'évaluation :

1. L'analyse statistique : celle-ci se réalise en fonction du nombre de stations de mesures thermométriques existant dans la région ; elle consiste à récolter les données et les traiter sous forme de statistiques ayant trait à l'environnement thermo-aéraulique. Elle permet d'identifier l'intensité, la durée, la fréquence, la forme et l'étendue (allure) de l'îlot de chaleur urbain. Elle a été utilisée par différents chercheurs à l'instar de (Cantat, 2004), pour déterminer l'îlot de chaleur urbain parisien et établir d'éventuelles relations et interrelations avec d'autres phénomènes (types de temps).

2. L'analyse cartographique d'images : elle se développe à travers d'images thermiques infrarouges qui permettent de connaître la température de surface d'une ville ; celle-ci varie en fonction des albédos des revêtements de sols. Cet outil permet de superposer plusieurs cartes qui portent différentes données urbaines.
3. La télédétection : Elle est utilisée pour identifier l'îlot de chaleur urbain de surface. Les températures de surface sont évaluées à partir d'images satellites (MODIS, Landsat...). Ces images permettent aussi de déterminer l'indice de végétation normalisé (NDVI).
4. Les radio-sondages : Ils permettent d'appréhender les modifications des bilans radiatifs de la ville ; ils consistent essentiellement à calculer le rayonnement net. Ils peuvent être obtenus par les outils de modélisation et de simulation 3d.
5. Bilan énergétique de surface : Il dépend des caractéristiques propres à la surface ainsi que des gradients de température et d'humidité entre la surface et l'atmosphère. Il se base sur des formules mathématiques. Il a été entre autre utilisé par (Ringebach, 2004) pour une recherche de mesures, modélisation et validation sur la ville de Strasbourg.
6. La modélisation et la simulation numérique : plusieurs modèles ont été développés depuis 1976, au départ les modèles calculent des paramètres simples et bien précises. Nous pouvons citer le modèle mis au point par Arnfield (1976) ; celui-ci calcule les rayonnements solaires et infrarouges dans un canyon. Parmi ceux-là nous pouvons citer TEB (Town Energy Budget) développé par Masson (2000), SOLENE élaboré par le CERMA de Nantes et Envi-met développé par Michael Bruse (2004).

## **2. Problématique**

L'Algérie n'échappe pas aux changements climatiques accompagnés par un étalement urbain important des grandes métropoles, parmi celles-ci nous citons Alger. En effet Alger la capitale a connu depuis l'indépendance une minéralisation anarchique et accéléré au détriment des zones végétalisées, (Daoudi et al, 2015)



**Figure 1 :** L'évolution spatiale de la ville d'Alger (1962-2005), source : Tchokech kebir, 2012.

Pourtant des entités vertes ou parcs urbains, trouvés dans le centre-ville d'Alger, datant surtout pour la plupart de la période coloniale, jouent un rôle important dans le rafraîchissement de la ville d'Alger et développent ainsi un phénomène inverse à l'îlot de chaleur urbain sous la dénomination d'îlots de fraîcheur urbains, IFU.

Afin d'évaluer et contrecarrer les phénomènes d'îlots de chaleur urbains, l'Algérie adopte aujourd'hui de nombreux principes de précautions dans le cadre des changements climatiques et d'étalement urbain. Par contre, ces derniers ne cessent de s'aggraver, d'où la nécessité d'identification permanente de ces phénomènes afin de les contrôler d'où la problématique de notre présent travail de recherche.

Aussi deux questions restent à poser :

- Quel sont les outils les plus adaptés et les plus efficaces pour identifier les phénomènes avérés d'îlot de chaleur urbain et l'îlot de fraîcheur urbain à Alger ?
- Quel est le rapport entre l'îlot de chaleur urbain et l'îlot de fraîcheur urbain ? Quels sont leurs impacts sur le climat urbain d'Alger ?

### 3. Objectifs

L'îlot de chaleur urbain étant un phénomène existant à Alger, comme toute autre métropole, les objectifs de ce travail de recherche sont :

- Identifier et caractériser les phénomènes d'ICU et d'IFU sur la ville d'Alger au travers d'une simulation

- Elaborer une étude comparative entre les résultats de la simulation et ceux d'une évaluation par métrologie sur deux entités différenciées d'Alger ; la première minéralisée, le Quartier Mustapha et la seconde, végétalisée, le Jardin d'Essai
- Etudier l'évolution temporelle des phénomènes d'ICU et d'IFU
- Identifier les facteurs qui génèrent ce phénomène et proposer d'éventuelles solutions d'adaptation et d'atténuation, au travers d'études paramétriques.

#### 4. Hypothèses

La mesure des phénomènes d'ICU est relative à plusieurs paramètres (morphologique, climatique, surfacique...) qui la rendent de plus en plus délicate à réaliser. En parallèle les outils informatiques et les logiciels de simulation ont connus un développement significatif en aide à la caractérisation de ce phénomène. Aussi deux hypothèses principales se déclinent :

- La simulation du micro climat basée sur l'outil informatique peut donner des résultats très proches de l'analyse statistique basée sur une campagne de mesures. Ce qui nous donne une opportunité d'identification pertinente du phénomène.
- Encore plus, les résultats de la simulation varient selon les paramètres insérés lors de la simulation, ce qui nous permet d'élaborer une étude paramétrique, et de détecter les facteurs qui influent le plus sur le phénomène d'ICU et son corolaire l'IFU.

#### 5. Méthodologie

Cette recherche en Master va se développer en deux parties :

- La 1<sup>ère</sup> partie, théorique, dans laquelle nous essayerons de discuter le phénomène de l'îlot de chaleur/fraîcheur urbain, et les différents outils d'évaluation.
- La 2<sup>ème</sup> partie pratique, nous présenterons les cas d'études soit le Jardin d'essai, Hamma et l'entité urbaine, l'Hôpital Mustapha, Sidi M'hamed, qui font l'objet d'une simulation à l'aide d'ENVI-met.

Afin de répondre à notre problématique, notre recherche va s'articuler entre deux méthodes, la 1<sup>ère</sup> est la méthode déductive, elle nous permet d'identifier les outils d'évaluation d'ICU et de définir les plus adaptés à Alger. La 2<sup>ème</sup> est la méthode quantitative, qui se base sur la collecte des données qui aboutissent à des résultats chiffrés et numériques, à travers l'usage d'outils statistiques, ce qui nous permet d'identifier les phénomènes d'ICU et d'IFU à Alger.

## **6. Structure de mémoire**

Notre travail est structuré en quatre chapitres avec une introduction et une conclusion générale :

- Un chapitre introductif : qui comportera le contexte de la recherche, la problématique, les hypothèses, les objectifs, la méthodologie et la structure du mémoire.
- Le premier chapitre : est consacré à l'identification des phénomènes d'îlots de chaleur/fraicheur urbains ainsi que les paramètres relatifs au micro climat urbain.
- Le deuxième chapitre : sert à présenter les outils d'évaluation et de caractérisation des phénomènes d'îlots de chaleur/fraicheur urbains, à déterminer et présenter les cas d'études, et l'outil d'évaluation approprié.
- Le troisième chapitre : présente l'application de l'outil choisi, et discussions des résultats.

Suivi par un chapitre de conclusions du travail de recherche.

## Chapitre premier : Etat des connaissances

### I.1 Contexte général du phénomène d'îlot de chaleur urbain, ICU

Les villes aujourd'hui connaissent une grande pression démographique, plus de 50% de la population mondiale habite en milieu urbain. Ce qui génère une énorme pression sur l'environnement. D'où la nécessité de penser et d'agir en matière de développement durable pour améliorer la qualité de vie des citoyens, (Anquez & Herlem, 2011).

Le phénomène d'îlot de chaleur, ICU, est un des phénomènes environnementaux les plus décriés de nos jours, il existe depuis la naissance de l'urbanisation. Il se traduit par une augmentation des températures d'air en centre urbain comparées à celles relevées en périphéries, (Voogt, 2008 tiré de Natalia, 2010).

Les études sur la climatologie urbaine sont très anciennes ; plusieurs écrivains et chercheurs ont soulevé les relations entre l'aménagement des villes et les conditions climatiques, nous pouvons citer les travaux de Cotte (1774) sur le climat de Paris et de Howard sur Londres, qui a publié en 1833 un livre intitulé, « The Climate of London », où il a constaté que la température au centre-ville est considérablement plus élevée que dans les zones rurales, (cité dans Pigeon, 2007 et Colombert, 2008). La plus ancienne apparition du terme îlot de chaleur urbain remonte à Balchin et Pye, (1947), toujours cité par (Pigeon, 2007).

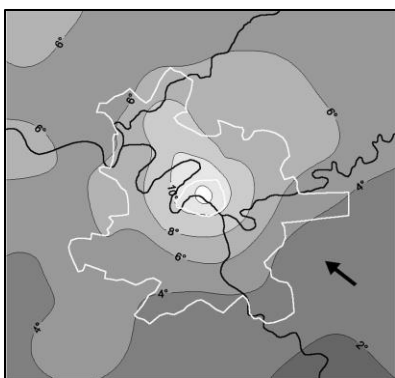
En effet, l'essor démographique et l'urbanisation rapide des métropoles sont les principales causes des changements climatiques et des problèmes qui y sont liés, à savoir les gaz à effet de serre, la déforestation, la désertification et la perte de la biodiversité (Souch et al, 2006, Grimmond, 2007, Daoudi et al, 2015). En rajoutant les rejets incontrôlés de pollution d'air, l'intensité des îlots de chaleur urbains devient de plus en plus importante, surtout dans les périodes de températures extrêmes en été, (Cantat, 2004).

Greuillet et al, (2013, p163) affirment même cette causalité « Les ICU induisent un stress thermique qui a des conséquences sanitaires ». Cette causalité a fait l'objet de nombreuses études qui ont démontré l'impact des changements climatiques sur la santé humaine (Daoudi et al, 2015). Le phénomène d'îlot de chaleur pose surtout des problèmes d'ordre sanitaire ; les populations les plus vulnérables sont recensées dans les tranches de personnes défavorisées, sur le plan socioéconomique et des individus fragiles, handicapés voire âgés, (Gendron & Bouchard, 2013).

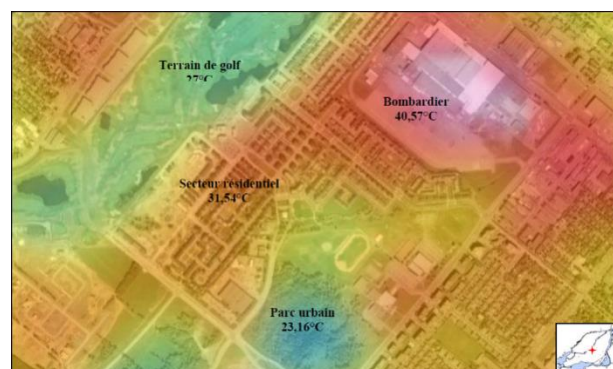
Pour valider cet aspect, la canicule d'août 2003 en Europe et particulièrement en France, est souvent citée. Lors de cet épisode climatique, il a été observé un écart de 10°C voire 16°C par rapport aux températures minimales observées en fin de nuit, (Greuillet et al, 2013). 15000 morts ont été dénombrés dans la majorité des grandes villes françaises, Besancenot, (2005). Depuis les chercheurs ne cessent d'observer et même de projeter une hausse de température moyenne sans précédent liée principalement à l'urbanisation anarchique et à l'activité anthropique, GIEC, (2010). Cet aspect rend l'adaptation des villes d'aujourd'hui aux changements climatiques devenir un enjeu principal afin d'améliorer la qualité de vie des citoyens. Ce qui inclut la caractérisation, la maîtrise et la réduction des ICU et des facteurs influents et surtout la mise en évidence des Îlots de fraîcheur urbains comme outils d'atténuation.

Les facteurs aggravants de ce phénomène dépendent des conditions naturelles liés à la météorologie mais surtout dans la réduction du rapport entre les surfaces minéralisées et les surfaces végétalisées trouvées en ville.

L'ICU est souvent qualifié comme un phénomène régional, puisqu'il se développe entre un centre-ville et sa périphérie. Au début, vu le schéma de développement du schéma concentrique des villes, son allure suit le développement concentrique des villes, (Figure 2). Aujourd'hui les villes sont devenues hétérogènes avec des limites floues, par conséquent, les limites de l'ICU sont devenues plus compliqués à identifier. L'ICU est qualifié comme un phénomène localisé (par exemple d'un stationnement par rapport à un parc urbain, (Philippe et Bouchard, 2013, Greuillet 2013) ; voir figure 3 ci-contre.



**Figure 2:** l'ICU, un phénomène régional, Paris, source : Cantat, 2004



**Figure 3:** l'ICU, un phénomène localisé, source : Cavayas et Baudouin, 2008

## **I.2 Contexte général du phénomène d'îlot de fraîcheur urbain, IFU**

La prise de conscience des changements du climat urbain a rapidement alerté les planificateurs urbains. Depuis ils intègrent des aménagements d'entités vertes à l'échelle urbaine et œuvrent pour la pérennisation des parcs urbains hérités comme outils d'atténuation et de lutte contre le phénomène d'ICU, en promouvant le phénomène d'îlot de fraîcheur, IFU. Nous pouvons citer à titre d'exemples les entités vertes datant de la période coloniale d'Alger à l'instar du Jardin d'Essai, Hyde Park à Londres, débuté en 1820, et central Park de New York, datant de 1873.

De nombreuses recherches ont démontré le rôle des espaces verts dans le refroidissement de la ville, constituant des îlots de fraîcheur urbain. On peut citer les travaux d'Oke (1978) où il explique le rôle des espaces verts dans le refroidissement des nuits chaudes d'été, ainsi que Golany (1996), quand il affirme le lien entre la fraîcheur et la chaleur produite en ville et l'aménagement urbain. Enfin nous pouvons citer l'exposition universelle de Barcelone en 1992 dans laquelle diverses surfaces végétalisées ont été développées afin de diminuer la température en ville, (Colombert, 2008).

## **I.3 Conclusions**

En référence avec ce qui a été développé ci-dessus, nous synthétisons les points suivants :

- La nécessité d'identifier et de localiser les ICU et les IFU à une échelle plus fine afin d'améliorer les systèmes de prévention et d'alerte.
- Le besoin d'identifier les différents facteurs de l'ICU et de l'IFU
- La nécessité d'identifier l'impact des ICU sur la santé et sur la consommation d'énergie et proposer des solutions d'atténuation et de mitigation.

Dans ce qui suit nous allons développer plus en détail les définitions des deux phénomènes d'ICU et d'IFU ainsi que les différents facteurs intervenant dans leur formation.

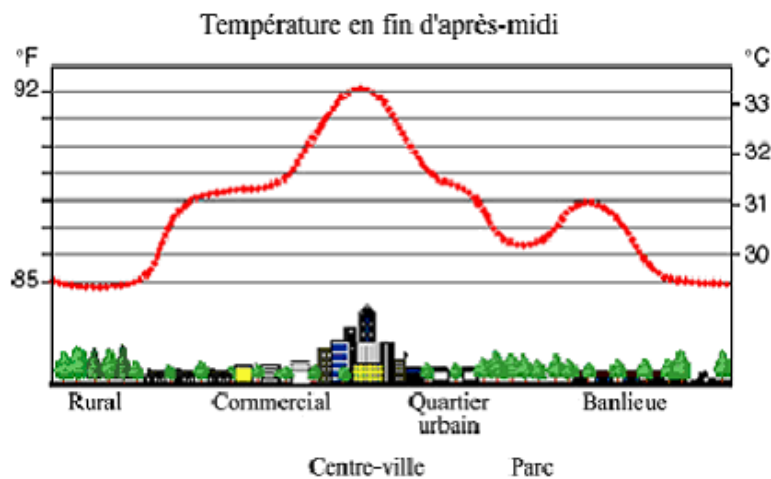
## **I.4 Définitions des deux phénomènes d'ICU et d'IFU**

### **I.4.1 Îlot de chaleur urbain, ICU**

L'îlot de chaleur urbain se développe dans une zone urbanisée caractérisée par des températures d'air plus élevées par rapport aux zones environnantes, (Mills, 2007. Grimmond et al, 2010, Natalia, 2010). Les facteurs de son apparition et de son

développement sont étroitement liés à l'urbanisation, ce qui rend l'îlot de chaleur urbain une caractéristique principale du micro climat des villes, (Pigeon et al, 2008).

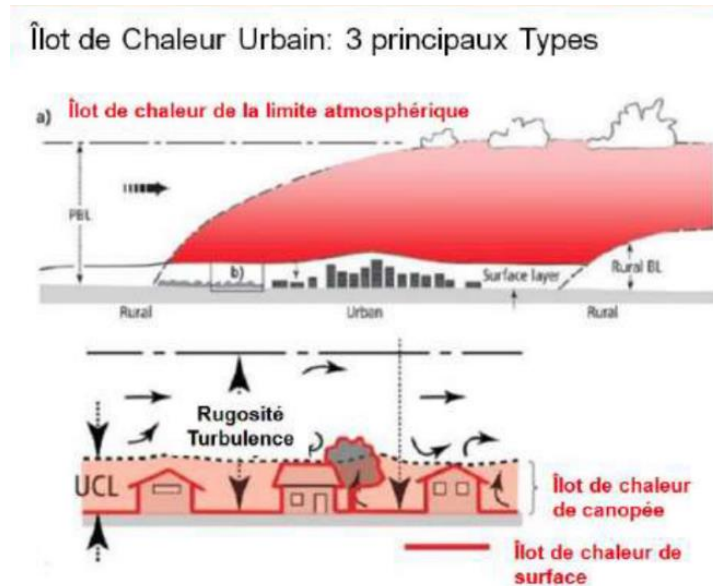
Les îlots de chaleur urbains sont des excès de température localisés et enregistrés en milieu urbain par rapport aux zones environnantes, (Figure 4). La différence de température peut varier de 2 °C jusqu'à 12 °C. (Giguère, 2009, Greuillet et al, 2013) encore plus pour citer Anquez et al, (2011, p03), « L'intensité des îlots de chaleur urbains varie sur une base journalière et saisonnière ».



**Figure 4 :** Profil de l'îlot de chaleur urbain, Lawrence Berkeley National Laboratory, 2000.

Selon (Gaguère, 2009, p05), il existe trois types d'îlots de chaleur, illustrés en figure 5 ci-contre :

1. Les îlots de chaleur à la surface du sol : en général les surfaces artificielles par leurs caractéristiques thermiques, et lors d'une journée ensoleillée sont plus chaudes que les surfaces naturellement végétalisées. Ces différences révèlent l'effet de l'îlot de fraîcheur urbain, IFU
2. Les îlots de chaleur de la canopée urbaine : c'est la couche d'air comprise entre le sol et la cime des arbres, ou des toitures des bâtiments, où l'essentiel de l'activité humaine se déroule.
3. Les îlots de chaleur de la couche limite urbaine : située au-dessus de la couche de la canopée.



**Figure 5:** Les types d'îlot de chaleur urbain, Carpentier, (2012).

L'objet de cette recherche s'intéressera au 2<sup>ème</sup> type, les îlots de chaleur de la canopée urbaine. En relation direct avec le confort, elle correspond à la chaleur ressentie par le corps humain ; celui-ci est affecté par les conditions environnementales et artificielles à proximité.

Heureusement un phénomène inverse arrive à atténuer l'îlot de chaleur urbain, soit l'îlot de fraîcheur urbain, IFU, ce que nous allons développer ci-dessous.

#### 1.4.2 Îlot de fraîcheur urbain, IFU

La présence de parcs urbains et autres espaces végétalisés comme les toitures végétalisées peuvent engendrer des chutes palpables de température, puisqu'ils jouent un rôle rafraichissants d'îlot de fraîcheur (IFU), (Ringebach, 2004). En d'autres termes ils génèrent un rafraichissement localisé de l'air ambiant extérieur par rapport aux zones urbaines minéralisées adjacentes, (Philippe et al, 2013).

L'IFU est souvent une zone d'aménagement urbaine caractérisée par une présence dense de végétation. L'ombrage et l'évapotranspiration générée par cette dernière contribuent au rafraichissement de l'air ; la présence de matériaux à haut albédo y jouent aussi un rôle certain, cet aspect sera discuté ultérieurement. « L'action rafraichissante permet de palier aux effets des îlots de chaleur de façon directe ou indirecte », par la suite « ces espaces boisés peuvent devenir des zones refuges confortables pour contrer les effets de l'îlot de chaleur urbain, surtout en périodes caniculaires », (Daoudi et al, 2015, p27).

## I.5 Facteurs aggravants l'ICU

Les facteurs de formation des ICU ainsi que leur intensité et leur variabilité spatio-temporelle varient entre des aspects naturels, morphologiques et anthropiques. Malgré l'impact important des paramètres naturels qui sont d'ordre climatiques et géographiques, les facteurs morphologiques et anthropiques constituent les principales causes de l'apparition des ICU, (Anquez et al, 2011).

### I.5.1 Les facteurs naturels

Ce sont des facteurs incontrôlables, qui sont relatifs à la situation géographique et qui sont étroitement liés à la météorologie, on distingue parmi ces derniers :

#### I.5.1.1 Les facteurs climatiques

Il existe des situations qui favorisent la formation des ICU, telles que :

- **Les situations anticycloniques :** Elles sont définies comme des situations météorologiques « qui se déroulent en condition de hautes pressions atmosphériques », (Greuillet et al, 2013, p165).
- **La variation des saisons :** Puisque l'apparition des ICU dépend des conditions météorologiques, ces phénomènes sont variables selon la période de l'année. Les ICU sont plus observés l'été dû à la durée et l'ampleur de l'insolation pendant la journée et à la faible vitesse du vent, (Greuillet et al, 2013) ; elles sont plus intenses durant les périodes de chaleur extrême. En hiver les ICU sont moins observés en ville à cause des vents forts ; dans le cas de formation des ICU, ils constituent des conditions favorables au confort pour lutter contre le froid.
- **Les différents moments de la journée :** L'écart de température entre la ville et les zones environnantes est plus important la nuit que durant la journée, à cause des propriétés de stockages de chaleur que possède la ville pendant la journée, qu'elle restitue lentement pendant la nuit, (Greuillet et al, 2013, p165), en leurs termes :

« L'ICU se forme non pas à cause d'un air réchauffé plus rapidement pendant la journée mais à cause d'un air refroidi plus lentement la nuit ».

Il est vérifié par différentes recherches que le pic d'intensité des ICU peut être observé 3 à 5 heures après le coucher de soleil, Ainsi, sous des conditions atmosphériques stables, anti cycloniques, et par ciel clair avec des vitesses d'air faibles. On peut enregistrer des différences de températures entre la périphérie et le centre allant de 5°C

à 10°C, généralement 2 à 3 h après le crépuscule, (Ringebach, 2004, Grimmond, 2007, Daoudi et al, 2015) ; après le lever du soleil l'ICU diminue rapidement, (Pigeon, 2007).

- **Couverture nuageuse et vitesse du vent** : Par un ciel clair et par vent calme où la vitesse du vent ne dépasse pas les 11.1 m.s<sup>-1</sup> se forment des conditions propices à la formation et à l'accentuation des ICU, (Greuillet et al, 2013).

### I.5.1.2 Les conditions géographiques

L'emplacement géographique de la ville définit le type de climat et de micro climat, ces aspects peuvent affecter l'intensité de l'îlot de chaleur. Parmi les facteurs aggravants nous pouvons citer :

- **L'exposition** : Il a été établi que les versants sud/nord affectent le bilan radiatif et par la suite les températures d'air et de surface.
- **Le relief** : Il a été mis en évidence comme un élément modifiant la structure d'ICU, (Pigeon, 2007), où il existe une relation entre l'intensité de l'ICU et l'altitude de la zone d'étude. La proximité de la mer ou des lacs influence aussi l'ICU surtout par l'apport rafraichissant de la brise de mer, Alger en est un exemple.

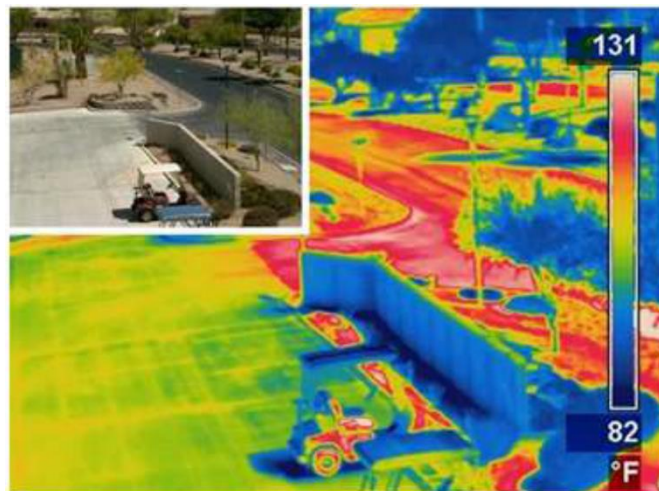
### I.5.2 Les facteurs morphologiques

Contrairement aux facteurs naturels, les facteurs morphologiques sont la résultante de l'action de l'Homme et de ses pratiques dans l'espace urbain, par conséquent ils peuvent être contrôlés si la volonté existe. La ville avec ses surfaces artificielles, morphologiques et ses différents matériaux influence largement sur le micro climat urbain et peut aider à la formation des ICU. La morphologie urbaine se « rapporte aux formes tridimensionnelles, à l'orientation et à l'espacement des bâtiments dans une ville » (EPA, 2008, tiré de Giguère, 2009, p07). Selon (Anquez et al, 2011), ils sont de différents ordres :

- **Densité des bâtiments** : L'implantation des bâtiments, l'étalement urbain, les grandes zones commerciales et industrielles, un rapport de moins de 10% entre hauteur moyenne et superficie du sol, les structures surélevées des bâtiments, la forte minéralisation de l'espace urbain et la densité du bâtiment sont hélas inversement proportionnels avec l'effet de rafraichissement ressenti, (Cavayas & Baudouin, 2008). Ces éléments contribuent à modifier la circulation et la vitesse du vent, et à augmenter la capacité de la ville à emmagasiner la chaleur. De même, en centre urbain, elles développent des canyons urbains qui sont définies comme des zones urbaines insuffisamment aérées où

s'accumule la chaleur provoquée par le rayonnement solaire et les activités anthropiques, (Ringebach,2004, Giguère, 2009).

- **Matériaux de construction utilisés :** Certaines caractéristiques thermiques des matériaux telles que l'albédo, l'émissivité, la conductivité et la capacité thermique, rendent les surfaces soit réfléchissantes soit absorbantes de la chaleur, (Greuillet al, 2013). Ces matériaux en absorbant beaucoup de chaleur durant le jour et en la rediffusant à l'atmosphère pendant la nuit influencent le microclimat et les conditions de confort thermique, (Giguère, 2009). Par exemple les toits recouverts de bardeau d'asphalte et les voies pavées de béton ainsi que l'utilisation de la couleur noire, sont souvent mis en cause, (Gendron et al, 2013). La figure 6 présente les images thermiques de différents matériaux.



**Figure 6:** Température de surfaces de différents matériaux, Heat Island group, 2013

- **L'imperméabilité des sols :** les types de recouvrements des sols utilisés ces dernier temps sont constitués de matériaux imperméables tels que l'asphalte, le béton, etc. Ces derniers sont commentés par Anquez et al, (2011, p9) comme perturbateurs de :

« L'écoulement naturel des eaux de pluie et ne remplissent pas les fonctions de filtration et d'absorption de l'eau tels que les sols naturels ».

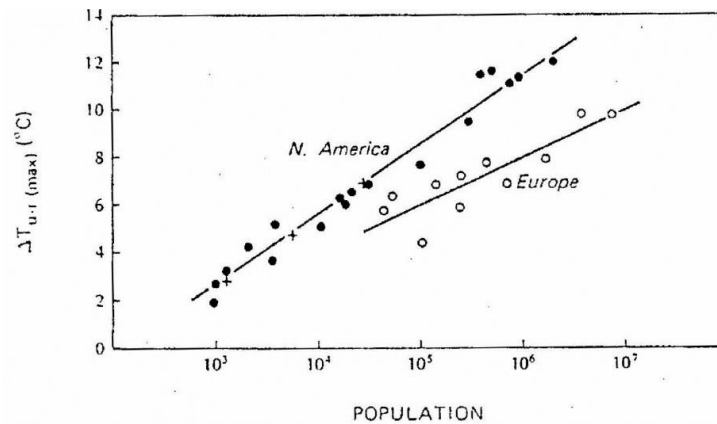
Ce qui réduit le processus d'évaporation de l'eau par les sols naturels. En parallèle les températures de surfaces accroissent celle des eaux de pluies, générant un réchauffement des étendues d'eau ; ceci affecte l'écosystème aquatique, (Greuillet al, 2013).

- **Concentration et taux de croissance des végétaux :** Il est établi que la végétation génère un fort effet sur le climat urbain, les surfaces qui ont un couvert végétal en ville diminuent la température de façon plus efficace, les parcs urbains sont reconnus pour enregistrer

des températures d'air et de surfaces plus faibles que les moyennes enregistrées en ville. La minéralisation de la ville est souvent plus importante que les espaces naturels végétalisés ce qui engendre une diminution et une faible concentration de la végétation en milieux urbains qui est synonyme de diminution de processus naturels rafraichissants comme l'évaporation de l'eau contenue dans les sols, l'évapotranspiration de la végétation et l'ombrage au sol, (Giguère, 2009, Anquez et al, 2011).

- **Les politiques d'aménagement urbain** : L'ICU est étroitement lié aux pratiques d'aménagement urbain et du territoire ; selon (Natalia, 2010), le développement urbain accéléré et mal planifié fait que l'ICU est observé aujourd'hui même dans les plus petites villes. La ville d'Alger par exemple est reconnue par ses cités historiques (ottomane ou coloniale) qui sont développées en adéquation avec leur environnement naturel, au contrario les extensions contemporaines n'intègrent pas cette dimension écologique (Daoudi, 2015).
- **Les aspects structurels**
  - **La taille des villes** : les villes étendues et les villes qui souffrent de l'étalement urbain, augmentent l'effet des grandes vagues de chaleur, favorisent les déplacements thermomotorisés et contribuent à une perte importante de surfaces naturelles, (Oke, 1978, Greuillet et al, 2013). Ce qui augmente les niveaux de chaleur. Contrairement aux villes compactes où on a pu limiter l'empreinte au sol et favoriser les déplacements de formes douces comme le vélo et la marche à pied.
  - **L'occupation du sol** : Selon (Anquez et al, 2011, p08), celle-ci est en étroite relation avec « la densité et le volume de bâtiments, la distance qui les sépare ainsi que les dimensions et l'orientation des rues ». qui influencent le réchauffement urbain. La croissance urbaine modifie la circulation et la vitesse du vent, et influe sur la température de l'air.  
Le mode d'occupation des sols détermine aussi la répartition entre les surfaces imperméables (route, parkings, bâtiments) et les surfaces perméables (terrains nus et végétalisés) ; ce qui est étroitement liées aux ICU et à leur intensité, (Pigeon, 2007).
  - **La géométrie et l'orientation des rues** : les surfaces des bâtiments engendrent le piégeage radiatif de la chaleur et qui génère une élévation locale de la température. Certaines formes géométriques dans la structure d'une ville notamment les rues canyons amplifient le piégeage radiatif, l'orientation des rues à un rôle important afin d'optimiser la ventilation pour évacuer la chaleur piégée et rafraichir la zone urbaine.

Dans une étude antérieure, effectuée par Oke (1978), il a été souligné que la géométrie urbaine est à l'origine d'une différence d'intensité des ICU entre une ville américaine et une ville européenne (figure 7). Cet aspect sera repris plus bas.



**Figure 7:** Intensité d'ICU en fonction du nombre d'habitants pour des villes européennes et Nord-américaines, (Source : Oke, 1978)

- **Rapport de surfaces minéralisées/végétalisées :** La densification et la minéralisation de la ville réduisent les surfaces dédiées aux milieux naturels, (Anquez et al, 2011). Cet état génère une diminution de la végétation en milieu urbain, autrement dit moins de « processus naturels rafraîchissants, comme l'évaporation de l'eau contenue dans les sols et l'évapotranspiration de la végétation », (Giguère, 2009, p07) et moins d'ombrage au sol ; pourtant ces moyens ont un rôle important pour atténuer l'intensité des ICU.

Une étude comparative portant sur la période 1984-2005 sur la région métropolitaine de Montréal, illustre une corrélation entre l'augmentation des températures dans les zones fortement minéralisées et le faible indice de couvert végétal, (Anquez et al, 2011).

La perte de la végétation génère une perte de fraîcheur en milieu urbain. Encore plus, selon (Giguère, 2009, p06), la végétation participe à « La protection contre la chaleur à travers le phénomène d'évapotranspiration et d'ombrage des sols et des bâtiments, ainsi qu'elle participe à une bonne gestion des eaux pluviales et à une meilleure qualité de l'air dans les villes ».

C'est une situation qui sera vérifiée par notre travail de simulation sur les deux entités urbaines du Jardin d'Essai et de l'Hôpital Mustapha. Mais avant nous continuons avec les facteurs énergétiques qui interviennent dans la généralisation de l'ICU.

### I.5.3 Les facteurs énergétiques

Au cours d'un épisode d'ICU, les besoins en énergie et en eau potable sont plus importants, ce qui augmente la demande pour les ressources naturelles fossiles, (Greuillet et al, 2013). Ces aspects se déclinent comme suit :

- **Le rejet de chaleur provenant de la consommation énergétique** : Les rejets de chaleur en milieu urbain sont un important facteur qui participe à la formation d'ICU, les principales sources de chaleur anthropique sont les véhicules, les climatiseurs et l'activité industrielle, (Giguère, 2009, Anquez et al, 2011).
- **Les émissions de gaz à effet de serre** : Phénomène décrié pour leur implication sur le réchauffement climatique, les gaz à effet de serre (GES) constituent un phénomène que Giguère, (2009, p07) a parfaitement défini comme, « Un piège de l'énergie solaire dans l'atmosphère et participent ainsi à son réchauffement ». Ces émissions vont accélérer le réchauffement et modifient par conséquent le système climatique. Les principales sources d'émission de ces GES sont encore le transport, l'activité industrielle ainsi que le chauffage à base de combustible fossile.

### Conclusion

Ces facteurs étroitement liés à l'urbanisation, rendent le phénomène d'îlot de chaleur urbain une caractéristique principale du micro climat urbain. Afin de caractériser ce phénomène, il nous faut une connaissance du micro climat urbain ainsi que des paramètres qui l'influencent.

## I.6 Le micro climat urbain

Chaque milieu urbain est unique par ces propres caractéristiques (géographiques, morphologiques, énergétiques, etc.), ces derniers influencent son microclimat. Nous commencerons par développer les paramètres climatiques locaux.

### I.6.1 Paramètre climatique locaux

Ces paramètres se déclinent en :

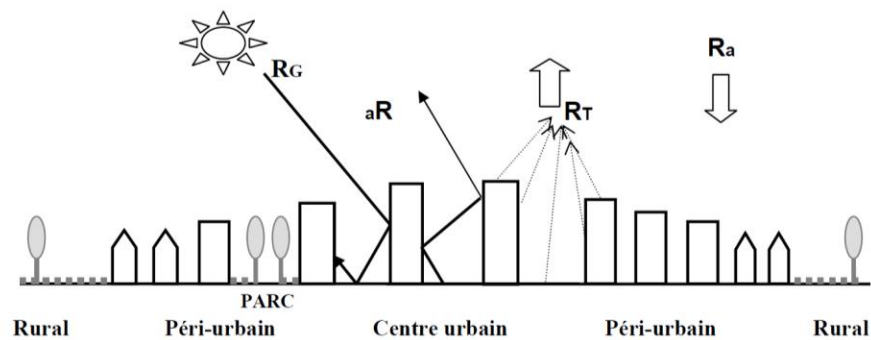
- Bilan radiatif ou rayonnement net
- La température de l'air
- L'humidité

- Les vents

### 1.6.1.1 Le bilan radiatif ou rayonnement net

Selon (Ringebach, 2004, p10), le bilan radiatif ou rayonnement net représente « La réponse physique radiative de la surface à la réception d'énergie solaire et à l'équilibre thermodynamique ».

Il dépend étroitement des propriétés de l'atmosphère et des caractéristiques de surface. Ainsi, la présence d'une ville avec ses différentes caractéristiques surfaciques et morphologiques affecte ce rayonnement net (figure 8).



**Figure 8** : Bilan radiatif au-dessus d'une ville, source : Ringebach N, 2004.

Aussi l'aspect vertical des façades des immeubles augmente les surfaces d'échange de rayonnement par rapport à ce que l'on peut trouver en campagne, (Ringebach, 2004).

- **Le rayonnement incident** : La surface terrestre reçoit deux types de rayonnement, le 1<sup>er</sup> c'est le rayonnement global ( $R_G$ ) correspondant à la somme des rayonnements direct et diffus incident (rayonnement visible), le 2<sup>ème</sup> c'est le rayonnement atmosphérique (infrarouge) ( $R_a$ ).

Au-dessus d'une ville, on observe que le rayonnement solaire global incident est plus faible par rapport aux espaces ruraux environnants. Cela s'explique par une plus grande concentration de polluants dans l'atmosphère urbaine. Par contre le rayonnement atmosphérique est plus fort en ville qu'en campagne à cause de la couche de polluants (Ringebach, 2004).

- **Le rayonnement global réfléchi, ( $R_{gr}$ )** : Le rayonnement global réfléchi par la canopée urbaine est donnée par l'albédo de la zone, il peut être affecté par la morphologie urbaine par exemple l'effet des rues canyons.

- **Le rayonnement terrestre, (Rt) :** Celui-ci correspond à l'émission par la surface, en grande longueur d'onde (domaine d'infrarouge). Il est relatif aux caractéristiques thermiques des matériaux et leur capacité à emmagasiner la chaleur.

Pourtant l'émissivité des matériaux urbains est en générale plus faible que celle des surfaces rurales, le rayonnement infrarouge émis par le milieu urbain est plus élevé, (Ringebach, 2004).

### **I.6.1.2 La température de l'air**

Nasri, (2012, p13) définit la température comme « La manifestation mesurable de la chaleur stockée, c'est par une différence de température qu'un transfert de quantité de chaleur a lieu de la température la plus haute vers la température la plus basse ».

La température de l'air est la synthèse des interactions entre l'atmosphère et la surface urbaine, elle permet de caractériser l'état moyen de l'atmosphère et son évolution. Elle s'exprime en degrés Celsius « °C » ou degrés Kelvin « °K ».

### **I.6.1.3 L'humidité**

La mesure de l'humidité est considérée comme la concentration de vapeur d'eau atmosphérique. On constate un excès urbain d'humidité la nuit par rapport aux zones rurales. Un écart de pression partielle de vapeur d'eau peut varier entre  $0.6 \text{ g.kg}^{-1}$  et  $4.3 \text{ g.kg}^{-1}$ . (Pigeon, 2007). Mais cela reste très variable selon les régions et selon les périodes de l'année. Un taux d'humidité élevé induit une température ressentie plus élevée que la température mesurée. Voilà et pourquoi les systèmes de prévision et d'avertissement se basent sur la combinaison de la température et de l'humidité.

### **I.6.1.4 Les vents**

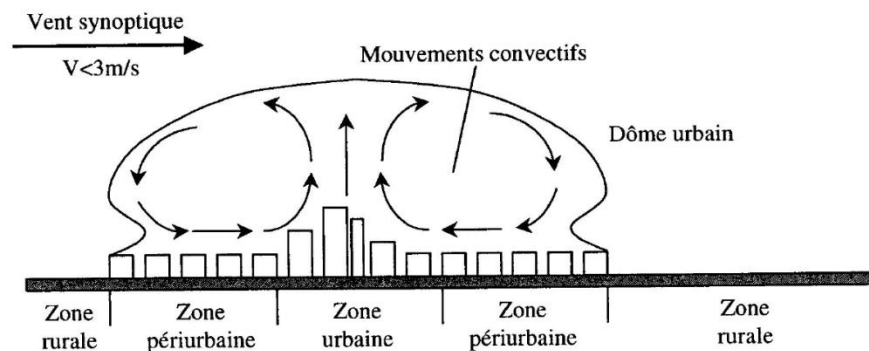
Une masse d'air lors de son déplacement peut être considérée comme homogène, la présence d'une zone urbaine va modifier les caractéristiques de la masse d'air, (Ringebach, 2004). En plus dans une zone agglomérée en raison des constructions qui augmentent la rugosité de la surface, engendre une réduction de la vitesse du vent avec une augmentation de la turbulence par rapport au milieu rural, (Ringebach, 2004, Colombert, 2008), créant ainsi des conditions favorables à la formation des ICU.

Lors de conditions anticycloniques très stables, nous pouvons enregistrer une vitesse de vent localement plus élevée en ville qu'à la banlieue, dans le cas des rues parallèles au flux de

circulation atmosphérique, le vent va être canalisé et s'accélérer par effet venturi<sup>1</sup>, (Ringebach, 2004).

Le gradient de température entre ville et campagne est inversement proportionnelle à la vitesse du vent et à la couverture nuageuse (Oke, 1978), ainsi que l'extension spatiale des ICU et IFU est relative à la direction et la vitesse du vent (Fischer, 2001 tiré de : Ringebach, 2004).

Selon (Ringebach, 2004), la vitesse du vent en dessous de  $3 \text{ m.s}^{-1}$  constitue une condition favorable à la formation des ICU (figure 9)



**Figure 9 :** Structure des ICU pour des vents inférieurs à  $3 \text{ m.s}^{-1}$ , source : Ringebach, 2004.

Un vent modéré  $3$  à  $6 \text{ m.s}^{-1}$  peut modifier la forme de l'ICU, lors des vents supérieurs à  $11.1 \text{ m.s}^{-1}$  on constate la disparition des ICU, (Pigeon, 2007). La vitesse du vent participe aussi à la réduction de la couche de polluants, plus le vent est fort plus il réduit la couche de polluants.

#### 1.6.1.4 Conclusion

Nous avons dans la section précédente développée les principaux paramètres climatiques qui influencent la formation de l'ICU. Dans ce qui suit nous nous intéresserons aux paramètres morphologiques issus des formes urbaines.

<sup>1</sup>L'effet venturi caractérise une formation de dépression d'une zone dans laquelle les particules du fluide sont accélérées, en milieu urbain il apparaît lorsque deux bâtiments sont placés de manière à former un entonnoir par rapport au vent, Rieter, (2007).

## I.6.2 Paramètres morphologiques

### I.6.2.1 Rapport des espaces bâtis/non bâtis

Comme nous l'avons déjà développé, auparavant, le rapport des espaces bâtis / surface minérale et non bâtis / surface naturelle, suggèrent des caractéristiques différenciées concernant les bilans radiatifs et les bilans énergétiques.

**L'espace bâti** est déterminé par l'emprise au sol des bâtiments, qui est lié à la vocation du bâtiment et aux contraintes réglementaires, (Colombert, 2008). Le cadre bâti par sa forme en termes de taille et de gabarit révèle la rugosité<sup>2</sup> du milieu urbain ainsi que l'exposition au rayonnement solaire. De même l'enveloppe en termes de matériaux et de couleurs détermine un comportement thermique particulier, ajouté à son fonctionnement, générateur de chaleur anthropique. Ces derniers influencent le micro climat urbain, et peuvent être les principaux paramètres à prendre en charge afin d'arriver à maîtriser les phénomènes d'îlots de chaleur urbains.

**L'espace non bâti** peut selon sa nature constituer un facteur important dans la transformation du micro climat urbain, Il est déterminé par :

1. L'espace public constituer essentiellement de :

- La structure viaire, les types de rue sont très variables, mais on peut citer quelque paramètres qui influencent le micro climat urbain : la forme (largeur et rapport chaussée-trottoir), les matériaux de composition (définissent le comportement thermique et radiatif de la voirie), et la géométrie (rectiligne ou sinueux en rajoutant l'orientation, influencent la ventilation du milieu urbain).
- Les places par leur emplacement, le type de revêtement, ainsi que la présence et les types de végétation.
- Les espaces verts ou végétalisés qui sont considérés comme une source de rafraichissement naturel, dont l'intensité est tributaire du type d'espaces en termes de parc, jardin ou square, et de la densité et de la nature de la végétation.

2. L'espace privé quand il constitue une surface importante, surtout selon la nature de cet espace, naturel ou artificiel, les types de végétation, les types et les couleurs de revêtement, etc.

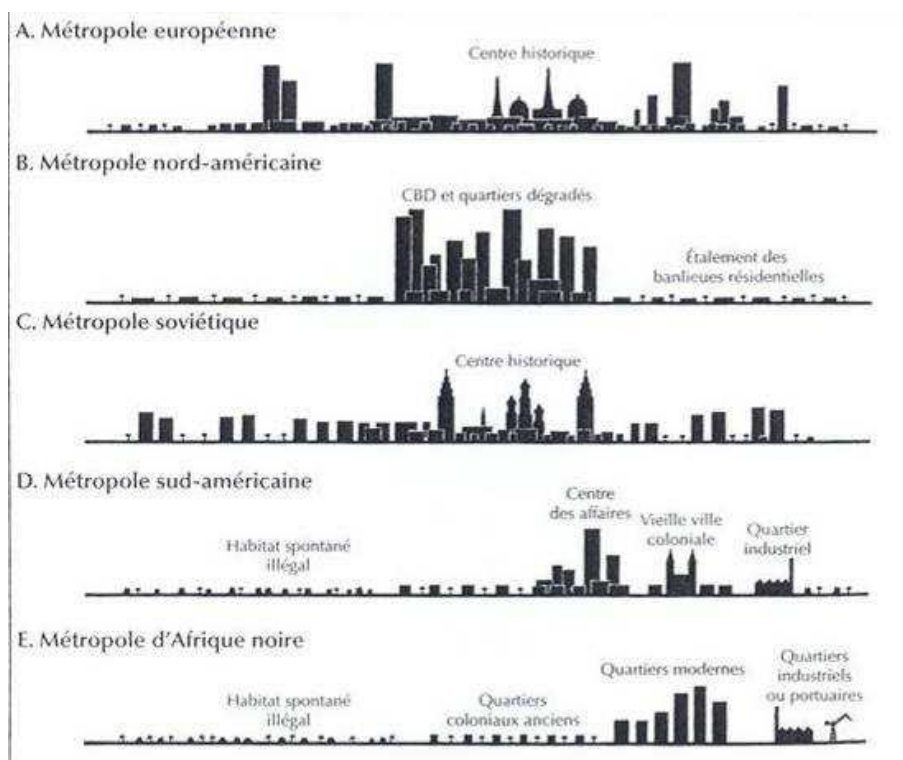
---

<sup>2</sup>La rugosité est un paramètre qui rend compte du type de couverture du terrain, la rugosité du milieu urbain dépend de sa densité ainsi du type de groupement des bâtiments, Rieter, (2007).

### I.6.2.2 La forme urbaine

L'agencement spatial des bâtiments et de l'espace public des uns par rapports aux autres ainsi que leurs importances en termes de surface au sein de la ville est le plus souvent représentatif d'une époque et/ou d'une architecture, (Colombert, 2008), comme visible en figure 10.

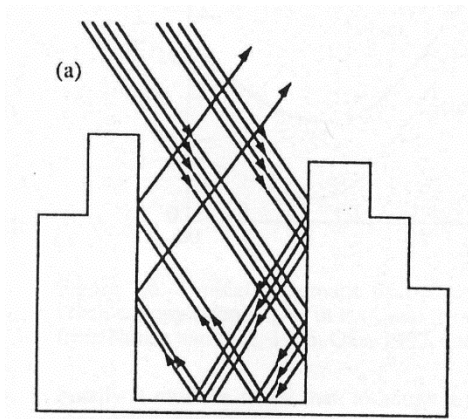
Cet agencement de pleins et de vides détermine à la fois le plan, le maillage, et le volume urbain, (Colombert, 2008). Les rapports de prospect, l'alignement des bâtiments sur la rue, l'emplacement des espaces verts et la silhouette des villes révèlent les différents paramètres qui influencent différemment les bilans radiatifs, aérodynamiques et énergétiques des villes.



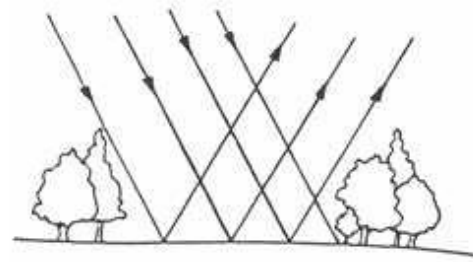
**Figure 10** : Les profils urbains, Allain, (2004), tiré de : (Colombert, 2008).

### I.6.2.3 Les Canyons urbains

Formé par de grands bâtiments et des rues étroites, l'effet de canyon urbain piège le rayonnement solaire ; ce dernier est affecté par multiples réflexions sur les parois des immeubles (figure 11), contrairement au milieu naturel (figure12). Cet effet de piège est maximum avec un bâti haut et dense, (Ringebach, 2004).



**Figure 11 :** Effet de piégeage du rayonnement solaire, Ringenbach, (2004).



**Figure 12:** la réflexion de rayonnement dans le milieu naturel, Griffiths, (1976), tiré de : Colombert, (2008).

Le rapport de prospect (entre hauteur des bâtiments et la largeur de la rue) est inversement proportionnel au facteur de vue du ciel, (Pigeon, 2007) ; ce dernier correspond à la portion de ciel observable à partir d'une surface extérieure, comme la rue, la place ou le parc urbain. Plus le rapport de prospect est élevé plus le facteur de vue du ciel est faible, par conséquent l'intensité des ICU sera élevée.

### I.6.3 Les paramètres surfaciques

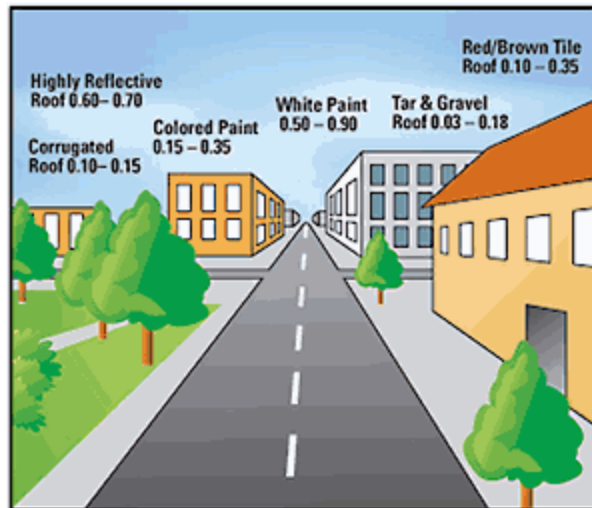
Des notions telles qu'albédo et émissivité viennent transcrire l'influence des paramètres surfaciques, comme développés ci-dessus.

#### I.6.3.1 L'albédo et l'émissivité

- **L'albédo :** Est définie comme une unité de mesure allant de 0 à 1 qui permet de mesurer le taux de rayons solaires réfléchis par un matériau. Il indique la capacité des matériaux à réfléchir le rayonnement solaire, (Anquez et al, 2011, Greuillet et al, 2013).

L'albédo d'une surface dépend notamment du matériau (couleur et état de surface). Les éléments des surfaces urbaines présentent des albédos très variés, (figure 13).

Aussi selon (Ringenbach, 2004), les albédos de surfaces minéralisées, sont d'une manière générale plus faibles que les éléments de surfaces naturelles couverts de végétation, c'est pourquoi les surfaces minéralisées en milieu urbain ont tendance à avoir des températures plus élevées que les surfaces naturelles.



**Figure 13** : Les valeurs d'albédo en milieu urbain, Source : wikipedia.org.

- **L'émissivité** : Marquée également sur une échelle de 0 à 1, mesure la chaleur qui est réémise par le matériau après avoir été emmagasinée, par rapport à un corps noir qui absorbe et réémet toute l'énergie, (Colombert, 2008, Anquez et al, 2011).

Les matériaux de faible albédo et de forte émissivité emmagasinent une importante quantité de chaleur qu'ils restituent la nuit dans l'atmosphère, et comme l'ICU est un phénomène nocturne, ces matériaux contribuent à la formation et à l'accentuation des ICU.

### I.6.3.2 L'ombrage

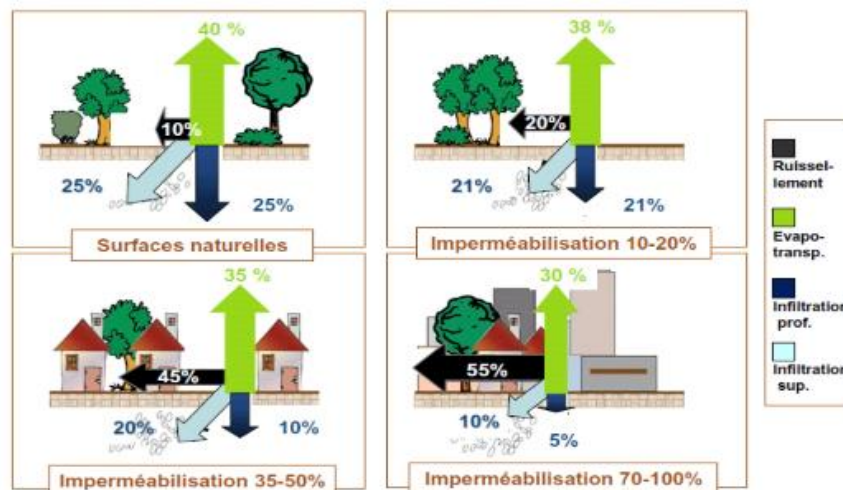
Les surfaces végétalisées offrent un ombrage au sol important, ce qui induit moins d'énergie stockée pendant la journée. L'ombrage des bâtiments peut être bénéfique dans le cas d'un milieu dense avec des bâtiments bien isolés, (faible albédo, toiture végétalisée, etc.), mais dans le cas d'un milieu moins dense avec de hauts bâtiments, l'ombre portée de ces derniers affecte la végétation, ce qui cause selon (Freytet, 1993) une réduction de la photosynthèse et un affaiblissement général de la végétation.

### I.6.3.3 Le couvert végétal

La végétation par sa forte réflexivité et par le phénomène d'évapotranspiration restitue la chaleur incidente dans l'atmosphère, ce qui explique des températures légèrement plus élevées en campagne en début de journée et un refroidissement rapide en fin de journée. Par ce fait la végétation est considérée comme une source importante de refroidissement naturel.

### I.6.3.4 L'eau

L'eau a un rôle très important de rafraîchissement de l'air, hors en milieu urbain le cycle naturel d'eau est affecté. Les précipitations sont interceptées par les toits et les routes, et sont ensuite rejetées vers les égouts. Le milieu urbain composé essentiellement de surfaces imperméables affecte les mécanismes d'échange en eau, moins de phénomène d'évaporation et plus de ruissellement, la figure (14) montre le rapport entre l'imperméabilisation des sols et les phénomènes d'évapotranspiration, de ruissellement et d'infiltration.

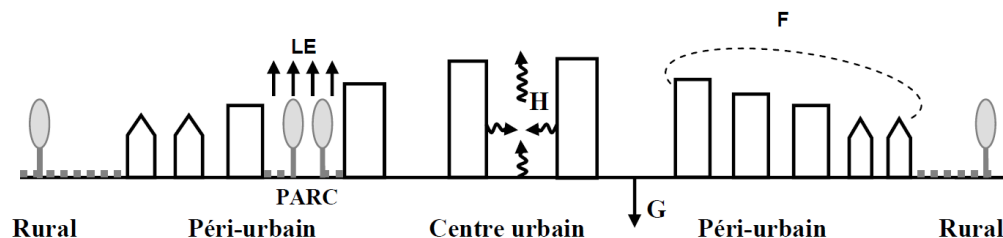


**Figure 14 :** L'impact de l'imperméabilisation sur l'évapotranspiration, le ruissellement et l'infiltration, source : [wikhydro.developpement-durable.gouv.fr](http://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr)

En revanche la présence de surfaces d'eau comme les grands jets d'eau en milieu urbain provoque des effets d'humidification et de refroidissement importants, (Colombert, 2008).

### I.6.4 Les paramètres énergétiques de la ville

« Le bilan d'énergie regroupe les différents flux de chaleur qui se manifestent dans une zone urbaine (fig15). Il dépend des caractéristiques propres à la surface ainsi que des gradients de température et d'humidité ». (Ringebach, 2004, p13).



**Figure 15:** Bilan d'énergie au-dessus d'une ville, source : (Ringebach, 2004).

Avec : F : énergie anthropique

H : flux de chaleur sensible

LE : flux de chaleur latente

G : flux de chaleur dans le sol et les bâtiments

#### **I.6.4.1 Source de chaleur anthropique (F)**

Le chauffage et/ou la climatisation des habitations et des équipements, la circulation automobile, et les industries constituent des sources de production de chaleur anthropique. Cette dernière est étroitement liée à la taille, la densité et la fonction de la ville, (Ringebach, 2004).

#### **I.6.4.2 Flux de chaleur dans le sol et les bâtiments (G)**

C'est la quantité d'énergie stockée dans le sol et les matériaux, elle est en rapport avec leur capacité à transmettre et à stocker de l'énergie. L'absence de végétation et une importante capacité thermique des matériaux font que l'énergie stockée est plus importante en ville qu'à la campagne, (Ringebach, 2004).

#### **I.6.4.3 Flux de chaleur latente (LE)**

La chaleur latente est représentée par l'énergie utilisée pour l'évaporation de l'eau, en milieu urbain avec la présence de surfaces imperméables et l'absence de couvert végétal. L'énergie non utilisée pour la restitution d'eau à l'atmosphère est répartie entre G et H, la chaleur latente est inversement proportionnelle avec les surfaces imperméabilisées et le couvert végétal.

#### **I.6.4.4 Flux de chaleur sensible (H)**

L'énergie stockée dans les matériaux sera aussi restituée par convection sous forme d'un flux de chaleur sensible, elle sera plus évidente la nuit en ville, ce qui explique un refroidissement plus lent en ville qu'à la campagne, (Ringebach, 2004).

### **I.7 Impacts de l'ICU**

Les îlots de chaleur urbains forment une source d'inquiétude dans la santé publique, car selon (Greuillet et al, 2013, p164), « Les excès de chaleur contribuent à accentuer les impacts sanitaires et environnementaux visibles en ville ».

## **I.7.1 Impacts sur l'environnement**

Il est avéré que les ICU ont un impact direct sur la qualité de l'air dans les milieux urbanisés.

### **I.7.1.1 Détérioration de la qualité d'air extérieur**

Les ICU contribuent à la formation du smog. Ce dernier est une brume urbaine qui se forme sous l'effet combiné des rayons du soleil, de la chaleur et de divers polluants (Akbari et al, 2001). Il est composé essentiellement de particules fines, d'ozone troposphérique et de polluants atmosphériques à savoir oxydes d'azote (NOx) et composé organiques volatils (COV), qui favorisent des températures élevées (Giguère, 2009). Ainsi, les ICU cause des perturbations atmosphériques, un stress hydrique, et une floraison précoce, (Gendron et al, 2013)

### **I.7.1.2 Détérioration de la qualité d'air intérieur**

La chaleur constitue un milieu favorable pour la multiplication des acariens, des moisissures et des bactéries qui affecte la qualité d'air intérieur. Encore plus selon (Giguère, 2009, p08), « De plus, certaines substances toxiques, telles que les formaldéhydes, contenues dans les colles utilisées dans la fabrication des meubles et les matériaux de construction, sont libérées lors de fortes chaleurs ».

Ajoutée à la pollution atmosphérique, les excès de température contribuent à l'augmentation des effets indésirables associés à la distribution des espèces fauniques et floristiques et augmentent la possibilité d'apparition d'espèces envahissantes dans de nouveaux écosystèmes, (Natalia, 2010).

## **I.7.1 Impacts sur la santé**

La hausse de chaleur générée par les ICU accentue la fréquence, la durée et l'intensité des vagues de chaleur accablante, ce qui peut créer un stress thermique pour la population, (Anquez et al, 2011). Ces derniers affirment que « Le stress thermique est provoqué par l'accumulation de chaleur par le corps humain et peut s'avérer fatal ».

Certaines personnes sont plus vulnérables aux ICU, qui, selon (Giguère, 2009) sont les personnes vulnérables socialement et physiquement. Cette chaleur peut provoquer des troubles de santé : hyperthermie, déshydratation, syncopes, coups de chaleur et accentuer les maladies chroniques telles que le diabète les insuffisances respiratoires et cardiaques, (Giguère, 2009). On cite la canicule d'août 2003 en Europe et particulièrement en France,

durant laquelle on a dénombré 1500 morts, et où on a observé un écart de 10°C voire 16°C par rapport aux températures minimales observées en fin de nuit, (Greuillet et al, 2013).

Suite aux effets néfastes enregistrés, de nombreux pays ont adopté des systèmes de prévision et d'avertissement alertant la population des conditions météorologiques chaudes et humides, la figure 16 présente l'humidex de l'Environnement Canada (EC)

On soulève l'absence des systèmes similaires en Algérie, et même lors des périodes de canicule et surtout l'absence de bilan relatif à la surmortalité durant ses périodes là.

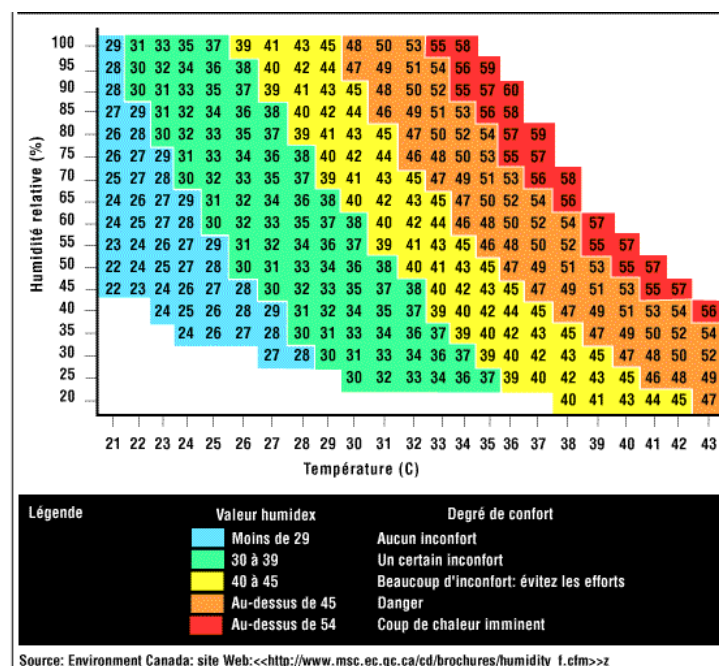


Figure 16: Humidex tiré lectures de la température et de l'humidité relative, Ringenbach, 2004.

## I.7.2 Impacts sur la consommation d'énergie

Aujourd'hui la notion du confort est fortement liée à la consommation d'énergie.

### I.7.3.1 Hausse de la demande en énergie

Les ICU peuvent être bénéfiques en hiver, mais en été au contraire la recherche du confort, en termes de besoins de rafraîchissement de l'air intérieur et de réfrigération augmentent. Ce qui nécessite plus d'énergie. Cela accroît la demande pour les ressources naturelles fossiles et l'émission des GES. (Giguère, 2009, Anquez et al, 2011, Greuillet et al, 2013). Selon (Giguère, 2009), l'élévation de la température de 2°C causé par les ICU induit une augmentation de 5% de la consommation d'énergie.



- La réutilisation de la chaleur anthropique.

### **1.8.2 Réduction des stocks de chaleur**

- Augmenter l'albédo de l'espace urbain.
- Minimiser le piégeage radiatif des rayonnements solaires et infrarouge
- Le choix des matériaux urbains avec une bonne isolation et réduction de l'émissivité.
- L'utilisation de matériaux poreux
- Créer une base de données sur les matériaux rafraichissants à destination des professionnels et des citoyens.

### **1.8.3 Amélioration des sources de fraîcheur**

Les deux principales sources de rafraîchissement sont :

#### **1.8.3.1 La végétation en milieu urbain**

Nous avons développé auparavant le rôle crucial de la végétation dans le rafraîchissement des villes et dans la lutte contre le stockage de la chaleur en ville. Une étude menée par (Rosenzweig et al, 2006), révèle de par les résultats des modélisations comment la végétation refroidit les surfaces de façon plus efficace qu'une augmentation de l'albédo.

Et selon (Daoudi et al, 2015, p06), « Certaines études ont même établis que planter des arbres autour de bâtiments pouvaient réduire la climatisation active de 30% et économiser 20 à 50% d'énergie pour le chauffage actif, et qu'un arbre jeune et robuste avait un effet rafraichissant équivalent de 10 climatiseurs opérationnels pendant 20 heures dans une journée »

Pour ce faire, il faut :

- Utiliser les toits verts ou toitures végétalisées, murs et corridors verts. Ces derniers jouent un rôle important dans le processus de refroidissement des villes
- Adopter les plantations sur trottoirs et conserver les espaces verts existants.
- L'intégration de mesures de verdissement pour les nouveaux aménagements, (Gendron et al, 2013).
- La conservation d'arbres matures et la plantation de feuillus, dès la fin des projets domiciliaires, (Cavayas et al, 2008).

#### **1.8.3.2 La présence d'eau en milieu urbain**

- Création de plan d'eau et de fontaines de jets d'eau.

- Prise en considération des étendues importantes d'eau comme les rivières, les fleuves et les mers lors des aménagements urbains.

#### **I.8.4 Favoriser l'écoulement de l'air**

- Choix d'orientation des rues
- Diminution de la rugosité de la ville.

#### **Synthèse**

Ces connaissances confirment que les phénomènes ICU et IFU sont essuie de l'Homme et de ses pratiques urbaines. L'aggravation de ces phénomènes a un impact sur la santé de l'Homme ainsi que sur son environnement et son écosystème. La nécessité d'intégrer des solutions d'atténuation et de mitigation dans les actions de planification et d'aménagement urbain sont préconisées.

#### **II.9 Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons présenté un état des connaissances en ce qui concerne le phénomène d'îlot de chaleur/fraîcheur urbain, en s'inspirant des travaux récents. Nous avons cerné les paramètres qui influent le microclimat urbain. Dans ce qui suit nous allons présenter les outils d'évaluation du microclimat urbain, le cas d'étude ainsi que l'outil d'évaluation choisi.

## **Deuxième chapitre : Les outils d'évaluation, cas d'études et présentation d'ENVI-met**

### **II.1 Introduction**

Les modifications de l'environnement climatique et leurs impacts sont à l'origine de nombreuses études, depuis plusieurs décennies. En Algérie un nombre limité d'études ont été réalisées, on cite les travaux d'Achour-Bouakkaz (2006) où il établit la relation entre l'îlot de chaleurs urbains et la densité du plan bâti à Alger.

De même, une équipe du Laboratoire Architecture et Environnement LAE à l'EPAU lance en 2014 un projet de recherche universitaire PRU dirigé par Dr Daoudi qui porte sur les effets des îlots de chaleur urbains et le rôle des îlots de fraîcheur urbains dans le rafraîchissement de la ville. Dans ce travail, ils ont pu affirmer l'existence de réchauffement climatique (1922–2003) avec des valeurs comprises entre 2 et 4 °C, ce qui rend indispensable d'évaluer les phénomènes liés, soit l'îlot de chaleur urbain. Dans le cadre du PRU une investigation sur site a été lancée en (aout 2013) portant sur l'évaluation de l'îlot de chaleur/fraîcheur urbain, à l'échelle de la canopée urbaine, au niveau de la ville d'Alger. La méthodologie est basée sur des protocoles de mesures de paramètres climatiques localisés sur deux secteurs urbains différenciés, l'un minéral et l'autre végétalisé, mais soumis à des conditions climatiques générales similaires.

Afin de nous intégrer à ce projet de recherche PRU, nous avons adopté une démarche qui combine les mesures sur terrain et la simulation numérique et cela pour :

- Valider les résultats de la campagne de mesure.
- Réaliser une étude paramétrique pour illustrer l'impact du vent, de l'albédo et de la végétation sur l'ICU et l'IFU.
- Etudier l'éventuelle évolution temporelle des phénomènes (ICU et IFU)

Pour cela, en premier lieu nous allons présenter les outils d'évaluation des phénomènes (ICU et IFU) ensuite les cas d'études. Puis nous allons présenter l'outil de caractérisation d'ICU/IFU, choisi et qui fera l'objet d'une application sur les cas d'études.

## **II.2 Les outils d'évaluation**

L'évaluation de l'îlot de chaleur urbain de la canopée consiste principalement à l'évaluation de la température d'air dans une hauteur comprise entre le sol et les toitures des bâtiments.

### **II.2.1 Critères du choix d'un outil d'évaluation**

Afin que l'outil soit bien adapté à notre investigation les critères du choix sont :

- L'échelle d'étude.
- Le niveau de détail de la représentation
- La prise en compte de la végétation
- La prise en compte des caractéristiques thermiques et radiatives des matériaux urbains.
- La simplicité d'utilisation

Aussi ces outils se déclinent comme suit.

### **II.2.2 Les mesure sur site**

Les paramètres climatiques dans la canopée urbaine sont connus par leur grande variabilité, ce qui rend les prises de mesures sur place plus complexes pour la collecte et l'assemblage de mesures significatives, (Ringebach, 2004). Il existe deux méthodes de prise de mesures :

- Prise de mesures à l'aide de stations fixes
- Prise de mesures dynamique embarquée

Comme il sera développé ci-dessous

#### **II.2.2.1 Prise de mesure à l'aide de stations fixes**

Elles offrent une plus grande flexibilité dans le choix des sites de mesure. Seulement la question du nombre des stations et de leur emplacement est à considérer (Ringebach, 2004), aussi les capteurs doivent être protégés de manière adéquate et ventilés afin de fournir des mesures raisonnables (Voogt, 2008)

Ce protocole a été adopté dans le PRU (2013), où les deux stations de mesures ont été placées sur les terrasses des bâtiments, des deux cas d'études l'hôpital Mustapha Bacha et le jardin d'essai, Les paramètres enregistrés sont les températures d'air, la vitesse et direction d'air, l'humidité. Les résultats ont été jugés porteurs et affirment la présence d'ICU.

#### **II.2.2.1 Prise de mesure dynamique embarquée**

Les différents capteurs peuvent être embarqué par voiture, permettent de réaliser des profils d'ICU (Photo 1) ; leur résultat peuvent aussi aider dans le choix des stations de mesures

fixes. Ils ont été ainsi utilisés par (Claverie et al, 2011) pour la caractérisation des îlots de chaleur urbains de la ville de Nancy.



**Photo 1 :** Véhicule équipé pour la campagne de mesure, Claverie et al, 2011.

Cet outil présente quelques inconvénients :

- D'être limités aux rues, (Ringebach, 2004).
- Qu'ils rendent difficile la nécessité des corrections des changements de température pendant le temps, (Ringebach, 2004, Voogt, 2008, Claverie et al, 2011).
- Et surtout par l'exposition des capteurs à la chaleur de la voiture, (Voogt, 2008).

### **II.2.3 Modélisation et télédétection**

Les mesures sur sites posent problème de représentativité, d'où le recours à la modélisation et à la télédétection afin d'avoir des valeurs spatialisées

#### **II.2.3.1 La télédétection**

Les images satellitaires à partir de plates-formes de type météorologique, sont peu adaptées aux exigences de la recherche en climatologie urbaine, en raison d'une résolution spatiale trop faible la plupart du temps, (Ringebach, 2004). Même dans le cas d'une résolution spatiale plus fine, la résolution temporelle devient plus faible. La télédétection peut être adoptée pour valider d'autres résultats.

L'une des solutions adoptées est de recourir à des capteurs multi-spectraux embarqués à bord d'avions ou d'hélicoptères, (Ringebach, 2004). mais ça reste une solution coûteuse pour la recherche.

#### **II.2.3.2 La modélisation**

Plusieurs modèles ont été développés depuis 1976, au départ les modèles calculent des paramètres simples et bien précis par exemple le modèle mis au point par Arnfield (1976). Il calcule les rayonnements solaires et infrarouges dans un canyon, et d'autres modèles

permettent de calculer le bilan d'énergie d'un canyon (Mills, 1993, Arnfield, 2000).Après les modèles deviennent plus en plus simplifiés pour contenir plusieurs paramètres.

La modélisation doit être associée avec des mesures, pour alimenter les entrées du modèle ainsi que pour les comparer aux sorties. La géométrie doit être fortement simplifiée de préférence de même couleur ou albédo.

L'un des problèmes de la modélisation physique qu'elle formule des flux turbulents à l'intérieur de la canopée urbaine, (Ringebach, 2004).

Selon (Colombert2008) : il existe trois échelles d'études du microclimat :

- Mésos-échelle ( $10^4$  à  $5 \times 10^5$  m), coïncide à la zone influencée par la présence d'une agglomération.
- L'échelle locale ( $10^2$  à  $5 \times 10^4$  m), Correspond à un quartier.
- Micro-échelle ( $10^{-2}$  à  $10^3$ ), permet de distinguer le microclimat qui existe au niveau d'un bâtiment, d'une rue, d'une cour, etc.

On va présenter les modèles de simulation les plus récents selon l'échelle qu'ils peuvent couvrir :

#### **A- Modèles climatiques à la méso-échelle**

- **TEB**

Le schéma de surface : (Town Energy Budget) développé par Masson (2000), il intègre la géométrie urbaine tridimensionnelle, conçu pour être aussi général que possible pour qu'il puisse représenter n'importe quelle ville et n'importe quelle condition météorologique, (Ringebach, 2004). Sa fonction principale est de simuler les flux de chaleur entre une surface bâtie et l'atmosphère. Le bilan d'énergie est considéré sur trois surfaces, la rue, les façades et les toits. Dans le cas de la prise en compte de la végétation ou des parcs urbains, TEB nécessite un modèle complémentaire ISBA (Interaction Sol-Biosphère-Atmosphère).

#### **Synthèse**

Ce modèle est très simplifiée afin qu'il peut couvrir une échelle importante d'une ville par exemple, comme il peut être utilisé dans la simulation des rues ou des canyons urbains dans leur représentation la plus basique, TEB est moins adapté à notre recherche et aux cas d'études, on a une zone urbanisé et un parc urbain qui nécessite d'être un peu détaillés, semble un peu compliquer pour ce modèle.

## **B- Modèles climatiques à l'échelle locale**

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

- **LUMPS**

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

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

- **SOLENE**

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

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

### **Synthèse**

SOLENE permet la simulation des sites urbains à l'échelle micro (rue, îlot) et locale (quartier), avec une représentation du cadre bâtie plus détaillé, la végétation et légèrement intégrer.

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

Ce modèle a été développé au département de géographie de l'université de Bochum en Allemagne par Michael Bruse (1998). Il simule les interactions entre différentes surfaces

urbaines, la végétation et l'atmosphère ; il permet d'analyser l'impact des modifications de l'environnement urbain sur le microclimat, (Colombert, 2008)

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

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

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

Utilisé par Yu et Hien (2006) afin d'étudier l'impact thermique d'un parc urbain. Dans cette étude, ils ont pu montrer que l'effet refroidissant du parc dépend de la direction du vent et de la distance des bâtiments par rapport au bois. La simulation effectuée pour un jour ensoleillé avec des vents faible d'ordre  $1.6 \text{ m.s}^{-1}$  à 10 m au-dessus du sol. Les conditions initiales ont été mesurées sur le site existant (Colombert, 2008). Par contre, Il ne prend pas en compte les rejets de chaleur liés au trafic automobile.

### **Synthèse**

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

## II.3 Cas d'études

### II.3.1 Critères du choix des cas d'études

Dans le but de nous intégrer au projet de recherche (PRU 2014-2017), les principaux sites d'investigation sont localisés dans la ville d'Alger, (Daoudi et al 2015) citent les principales raisons du choix qui sont :

1. Alger étant la première métropole algérienne, résumant les facteurs aggravants de l'îlot de chaleur urbain.
2. Présence d'importantes surfaces végétalisées datant de la période coloniale.
3. Accessibilité aux plans cartographiques, morphologique et monographique
4. Et enfin la mise à disposition de statistiques par les services concernés.

Le tout avec l'objectif de démontrer les différences entre le milieu urbain et le milieu naturel qui reflètent ICU et IFU à l'échelle du canyon et/ou du fragment urbain.

Le choix s'est porté sur deux sites distincts, le premier est un site fortement minéralisé qui se situe au niveau de l'hôpital Mustapha Bacha-Sidi M'hamed, le deuxième est caractérisé par une dense végétation correspond au Jardin d'Essai-Hamma, considéré comme la plus grande étendue végétalisée d'Alger coloniale.

Mais avant nous allons présenter succinctement le climat d'Alger.

### II.3.2 Climat d'Alger

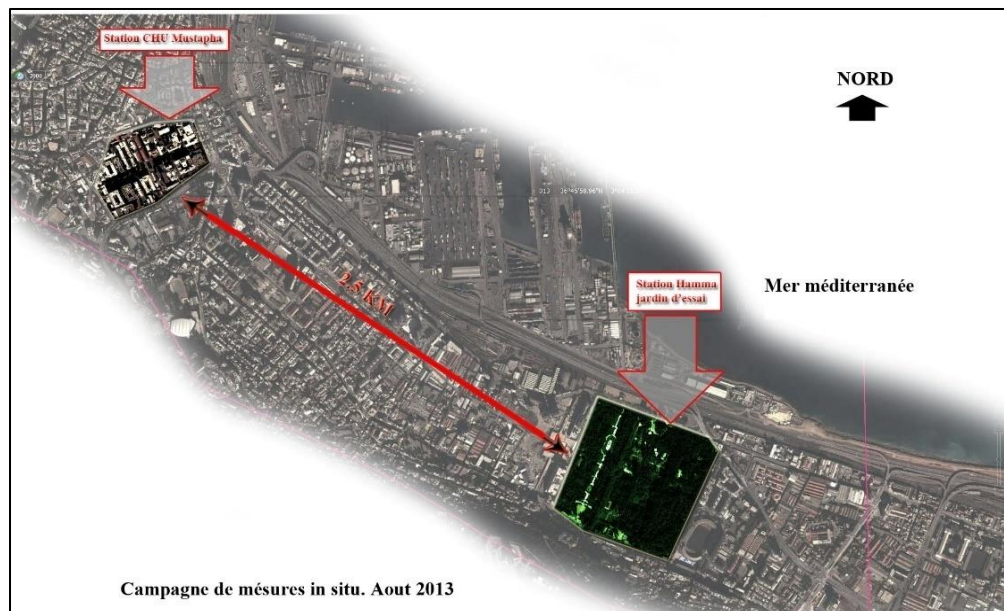
La ville d'Alger est située sur le côté sud de la mer Méditerranée ; son climat est caractérisé par un climat méditerranéen tempéré, correspondant à des hivers doux et des étés chauds.

L'**hiver** est plus au moins doux avec des températures moyennes aux environ de 11 °C avec un taux d'humidité relative qui peut arriver à 79%, ce qui peut causer un inconfort.

L'**été**, on enregistre des mois chauds, par exemple août le mois le plus chaud ; les températures d'air peuvent atteindre les valeurs maximales de 32.6 °C et un peu moins en juillet avec 31.5°C. Une durée d'insolation importante qui augmente les températures d'air et les bilans radiatifs avec un taux d'humidité important qui influe largement sur le confort d'été, (Daoudi et al, 2015).

### II.3.3 Présentations des cas d'études

Le travail d'investigation et d'évaluation porte sur la zone comprise entre le quartier Mustapha et le Jardin d'Essai.



**Figure 18:** Carte de localisation des cas d'études l'Hôpital CHU Mustapha Bacha et Jardin d'Essais, Daoudi et al, 2015.

#### II.3.3.1 Description de l'Hôpital CHU Mustapha Bacha

Situé au centre-ville d'Alger dans la commune de Sidi M'hamed, le CHU Mustapha Bacha est le plus grand hôpital urbain d'Alger ; il est constitué de pavillons. Il comporte une cinquantaine de bâtiments et des espaces libres aménagés en allées et espaces verts. Un axe central structurant, l'avenue Salem Bouznad est aménagée en végétation et de part et d'autre sont disposés les pavillons, (Atik, 2011).

L'hôpital est entouré d'une clôture et limité (Figure 19) : au nord par le chemin Chaaf Tahar et le chemin de la ronde, au sud par l'avenue colonel Ali Mellah, à l'est la rue Ayoub Seddik et à l'ouest la rue Abdallah Harrous. Ces derniers sont des sources de chaleur vue le flux important de voitures.



Figure 19: Carte de l'Hôpital CHU Mustapha Bacha, Source : web

### II.3.3.2 Le Jardin d'Essai- Hamma

Situé au Nord-Est de la capitale dans la commune du Hamma, le Jardin Botanique du Hamma créé en 1832, devait servir à la fois comme « ferme modèle » et « jardin d'essai » afin d'installer, adapter et multiplier les diverses espèces végétales. Depuis le jardin a connu de nombreux agrandissement dont la surface actuel est de 32 ha, (<http://www.jardinbotaniqueduhamma.dz>).

Le jardin est structuré par des allées qui portent le nom des plantes qui les constituent (Allée des washingtonias, allée des platanes, allée des ficus, etc.) (Figure 20).

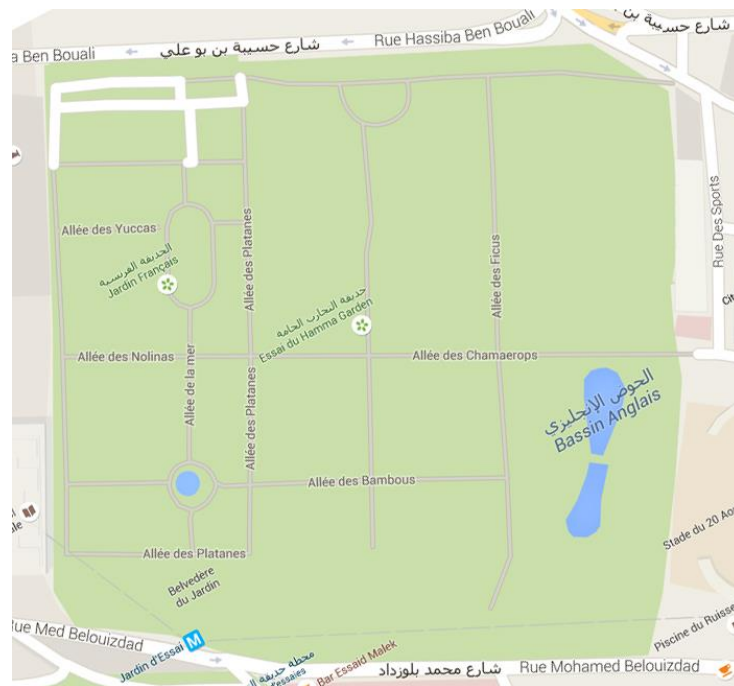


Figure 20: Carte du jardin d'essai Hamma, Source : web

Il comporte un jardin à la française, un autre à l'anglaise, un zoo et une variété d'espaces commun, d'administration, etc.

### **II.3.3.3 Campagne de mesure d'Aout 2013**

Deux stations de mesure ont été placées sur les terrasses des bâtiments, le premier bâtiment abritant la buanderie de l'hôpital Mustapha Bacha (Photo 1), le deuxième situé sur le côté nord du jardin d'essai.



**Photo 2 :** L'ancienne buanderie de L'hôpital Mustapha, source : Tchoketch kebir, 2015.

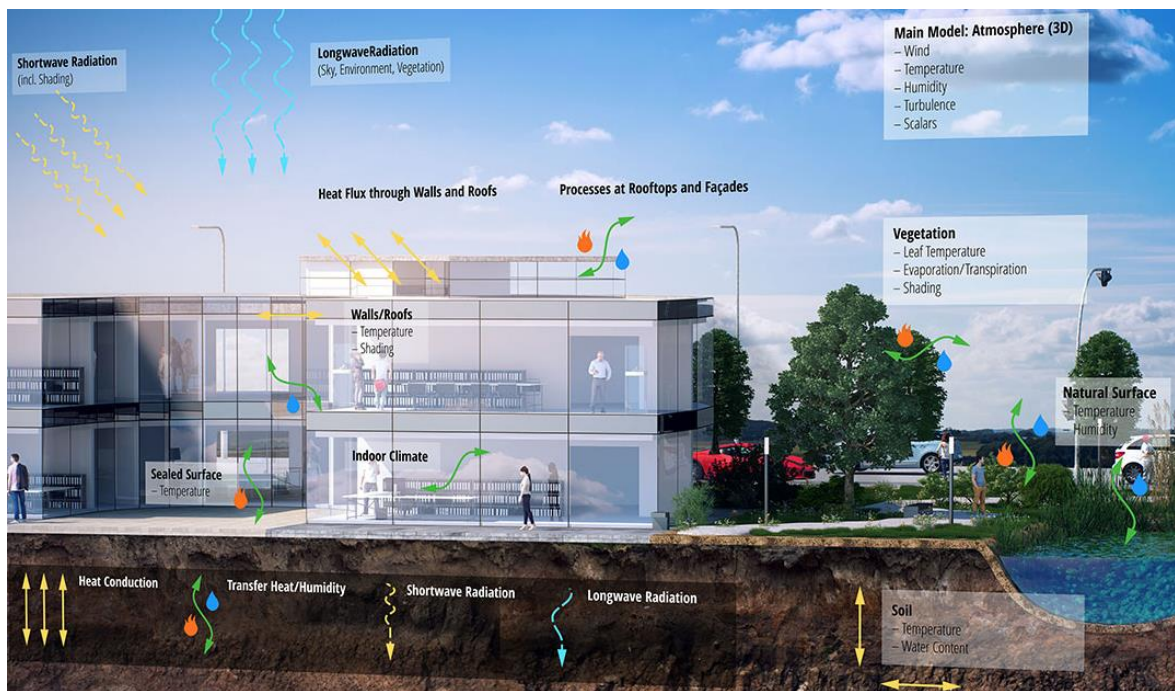
Les paramètres enregistrés sont les températures d'air, la vitesse et direction d'air, l'humidité relative du 29/07/2013 au 22/09/2013.

Pendant cette période, des conditions de saison, anticycloniques ont essentiellement été observées, avec un ciel clair et un vent faible. Par la suite les résultats ont été comparés aux données de l'Office National de Météorologie, d'Alger, Dar El Beida, (ONM). L'analyse statistique a confirmé la présence d'ICU, (Daoudi et al, 2015).

## II.4 Présentation du logiciel Envi-met 3.1

Envi-met est un modèle qui a été développé au département de géographie de l'université de Bochum en Allemagne par Michael Bruse (1998). Envi-met permet de créer un modèle tridimensionnel et de simuler les phénomènes microclimatiques à l'échelle locale et à la micro-échelle.

Il simule les interactions entre différentes surfaces urbaines ; le sol, les surfaces, la végétation et l'atmosphère Martins, (2011), visible en figure 21 ci-contre



**Figure 21:** Les interactions calculées par Envi-met, Source : <http://www.envi-met.com>

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

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

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

### **II.4.1 Avantages du logiciel Envi-met**

Selon (Atik, 2011), Envi-met offre une multitude d'avantages dont on cite ceux relatifs à notre recherche :

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

### **II.4.2 Limites du logiciel Envi-met**

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

- Durée de simulation importante, de 24h à 48h dans le cas de nos différentes simulations
- Complexité de visualisation des résultats et sous forme limités.

D'autres cités par (Atik, 2011) :

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

## Troisième chapitre : Simulation et discussion des résultats

### III.1 Introduction

L'approche qu'on a adoptée est celle qui combine les résultats des campagnes de mesures sur terrain et la modélisation et simulation numérique à l'aide d'Envi-met et pour cela :

En première phase on va créer le modèle et examiner sa capacité de restituer les grandeurs de températures mesurées dans le PRU ainsi que leur variation temporelle afin d'établir une lecture comparative des deux zones (une zone urbanisée et un parc urbain) avec leur microclimat distinct, et enfin on va simuler une période de canicule actuelle et son impact sur l'ICU et IFU.

Dans une deuxième phase on va établir une étude paramétrique pour apprécier l'impact de la végétation, l'albédo et le vent sur ces deux phénomènes.

### III.2 Interfaces du logiciel et création du modèle



**Figure 22:** Menu, ENVI-met, Source : Auteur.

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

Afin de lancer une simulation par Envi-met deux principaux fichiers d'entrées (Input) doivent être préparés, le premier c'est le fichier éditeur (.in) et le deuxième fichier de configuration (.cf) qui comportent les différentes données relatives au site et les circonstances de la simulation (Figure 23).

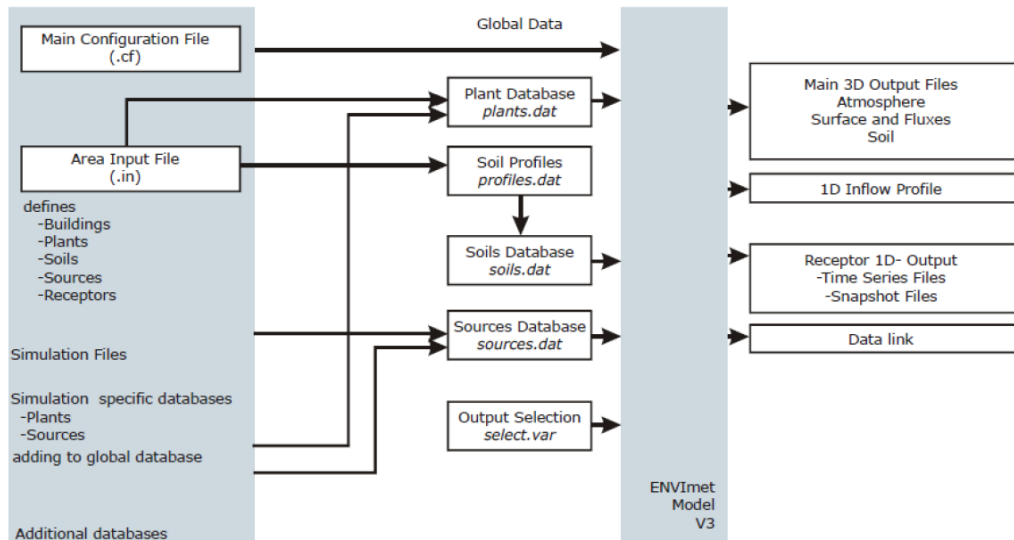


Figure 23: La structure du logiciel, Envi-met (2004) tiré de : (Atik, 2011).

### III.2.1 Fichier éditeur (.in)

Le fichier éditeur (.in) contient le modèle à simuler, donc on doit insérer tous les paramètres géographique et morphologique relatives aux zones à étudier.

#### III.2.1.1 Création de la zone

Pour créer une zone il suffit d'insérer ses dimensions et ses données géographique.

La figure (24) montre les données relatives à l'hôpital CHU Mustapha bacha, la zone d'études fait 500x350 m, la hauteur on la fixe à deux fois la hauteur du bâtiment le plus haut 2x22m afin d'intégrer les interactions avec la couche limite atmosphérique et pour avoir des résultats plus corrects, latitude 36.45 et longitude 3.03.

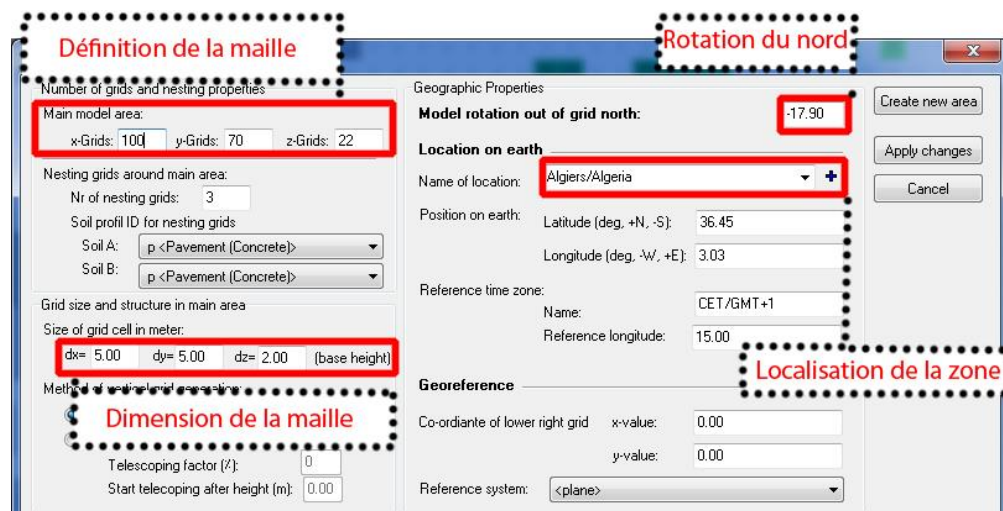


Figure 24: Création de la zone de l'hôpital Mustapha Bacha.

La figure (25) montre les données relatives au jardin d'essai, la zone d'études fait 575x575m, la hauteur 2x20m, latitude 36.43 et longitude 3.05.

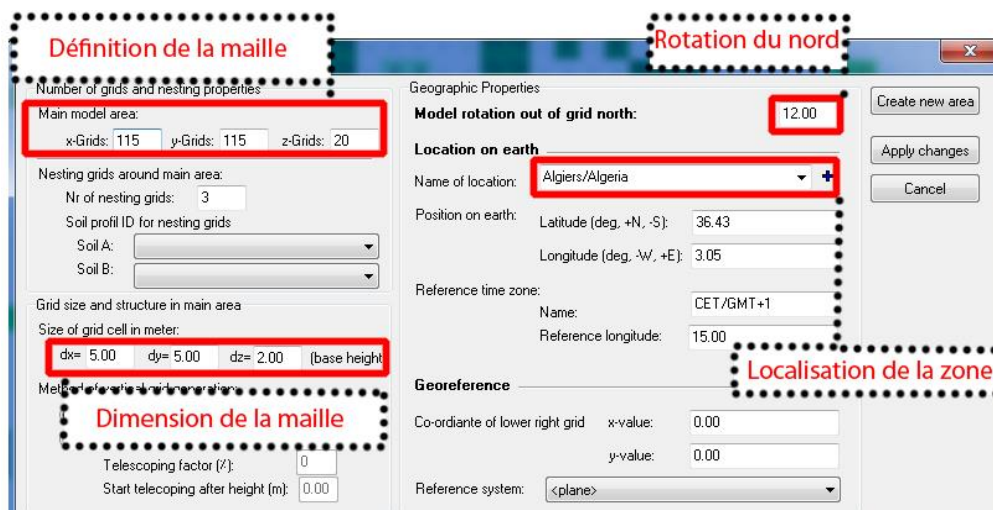


Figure 25: Création de la zone du jardin d'essai.

### III.2.1.2 Modélisation de la zone

- **Bâtie** : en utilisant un fond (plan ou photo aérienne) on doit représenter la géométrie et le gabarit du cadre bâtie, la géométrie est conditionnée par la dimension choisie pour la maille dans notre cas 5x5m.
- **Végétation** : le logiciel offre une base de données pour la végétation (PLANTS.DAT), dont les paramètres différents sont, type (arbre, gazon,...), la hauteur, la densité et la stratification, etc. (Figure26).

```

*****ENVI-met Vegetation Database V3 *****
ID_C?_TY_rs-m_a_f_HH.HH_TT.TT_LAD1...LAD10_RAD1... RAD0_NAME
MO C3 01 400 0.20 20.00 02.00 0.040 0.000 0.100 0.100 Tree 20m aver. dense., no distinct crownlayer
DO C3 01 400 0.20 20.00 02.00 0.110 0.000 0.100 0.100 Tree 20 m dense., no distinct crown layer
DM C3 01 400 0.20 20.00 02.00 0.075 0.000 0.100 0.100 Tree 20 m dense., distinct crown layer
dm C3 01 400 0.20 20.00 02.00 0.075 0.000 0.100 0.100 Tree 20 m dense., distinct crown layer
ds C3 01 400 0.20 10.00 02.00 0.075 0.000 0.100 0.100 Tree 10 m dense.,distinct crown layer
sm C3 01 400 0.20 20.00 02.00 0.150 0.000 0.100 0.100 Tree 20 m very dense, distinct crown layer
H2 C3 01 400 0.20 02.00 01.00 2.000 2.000 0.100 0.100 Hedge dense, 2m
T1 C3 01 400 0.20 10.00 02.00 0.000 0.000 0.100 0.100 Tree 10 m very dense, leafless base
g C3 03 200 0.20 00.50 00.50 0.300 0.300 0.100 0.100 Grass 50 cm aver. dense
bs C3 01 400 0.20 20.00 02.00 0.000 0.000 0.100 0.100 Tree 20 m dense.,distinct crown layer
m C4 03 200 0.20 01.50 00.50 0.300 0.300 0.100 0.100 Maize, 1.5 m
    
```

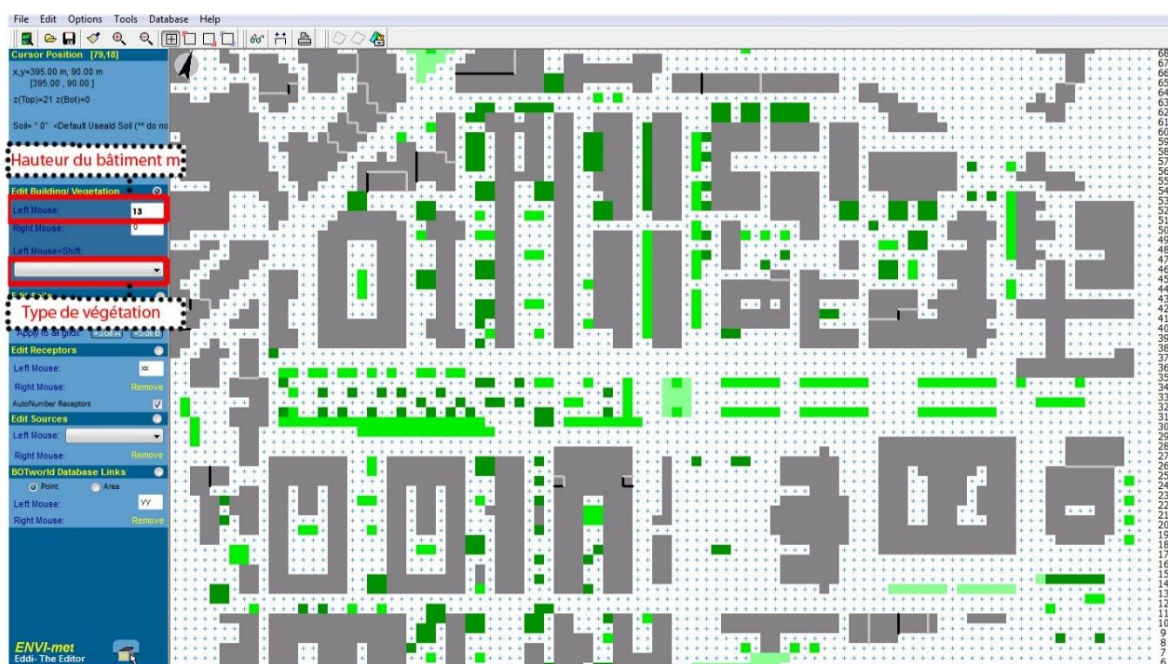
Figure 26: Données de base de la végétation (PLANTS.DAT), Source : <http://www.envi-met.com>.

Ici nous donnons le détail des colonnes (Bruse, 2004; Atik, 2011) :

- ID : Identification du type de végétation en deux lettres.
- C : Classification de la végétation selon la fixation du CO2.
- TY : Plante type, 01 pour les arbres à feuilles caduques, 02 pour les conifères et 03 pour l'herbe.

- rs\_min : résistance minimum du stomate d'une plante. Elle est de 400 pour les arbres et de 200 pour l'herbe.
- a\_f : albédo de la feuille d'une plante, fixé à 0.20.
- HH.HH : la hauteur des plantes en [m].
- TT.TT : Profondeur totale de la zone de racine en valeur positives. L'eau transpirée par les plantes sera prise de l'humidité au sol en utilisant la racine comme fonction relative de l'équilibre.
- LAD1 à LAD10 : La densité de la surface foliaire des feuilles en  $m^2/m^3$  pour chaque dixième de la hauteur d'une plante.
- RAD1 à RAD10 : La densité des racines en  $m^2/m^3$  pour chaque dixième de la profondeur des racines d'une plante.
- Nom : Nom donné pour la plante.

La figure (27) présente la représentation du cadre bâti et de la végétation pour l'hôpital CHU Mustapha Bacha.



**Figure 27:** Editeur du bâti/végétation, Hôpital Mustapha.

La figure (28) présente la représentation du cadre bâti et de la végétation pour le jardin d'essai.

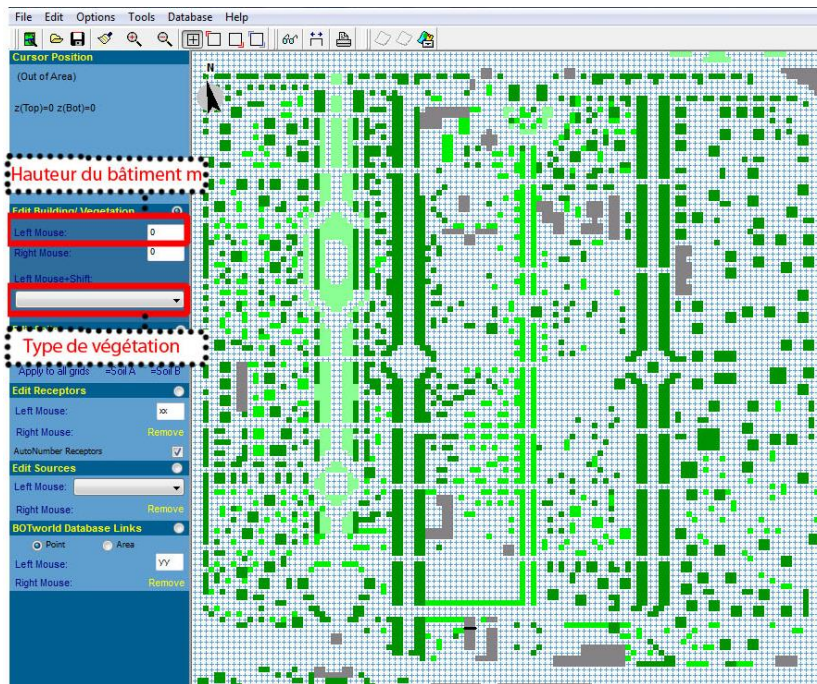


Figure 28: Editeur du bâti/végétation, jardin d'essai.

- **Sols** : le logiciel offre aussi une base de données pour la nature des sols (PROFILES.DAT et SOILS.DAT) afin de différencier les sols naturels et les sols artificiels (Figure29).

00:	ID	-.015	.025	.035	.045	.055	0.07	0.09	0.15	0.25	0.35	0.45	0.75	1.25	1.75	_z0_	_a_	_em_Name		
01:	0	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	0.015	0.00	0.98	Unsealed
02:	s	ab	ab	ab	ab	ab	ab	ab	ab	ab	ab	ab	ab	ab	ab	ab	0.010	0.20	0.90	Asphalt
03:	p	zb	zb	zb	zb	sd	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	0.010	0.40	0.90	Pavement
04:	l	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	0.015	0.00	0.98	Loamy Soil
05:	sd	sd	sd	sd	sd	sd	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	1e	0.050	0.30	0.90	Sandy Soil
06:	w	ww	ww	ww	ww	ww	ww	ww	ww	ww	ww	ww	ww	ww	ww	ww	0.010	0.00	0.96	Deep water

Figure 29: Données de base des sols (PROFILES.DAT) Source : <http://www.envi-met.com>.

Ici nous intégrons les détails des lignes et des colonnes selon Bruse (2004) :

- 00 : Cette ligne n'est pas interprétée par ENVI-met, mais elle montre où les colonnes doivent commencer selon les spécifications de format. Les colonnes intitulées « -.015 » à « -1.75 » sont les cases verticales de la grille du modèle de sol.
- ID : identification du type de sol.
- z0 : la rugosité de la surface en [m].
- a : Albédo de la surface.
- em : l'émissivité de la surface.

La figure (30) montre la spécification des sols pour l'hôpital CHU Mustapha Bacha.



Figure 30: Editeur des sols, Hôpital Mustapha.

La figure (31) montre la spécification des sols pour le jardin d'essai

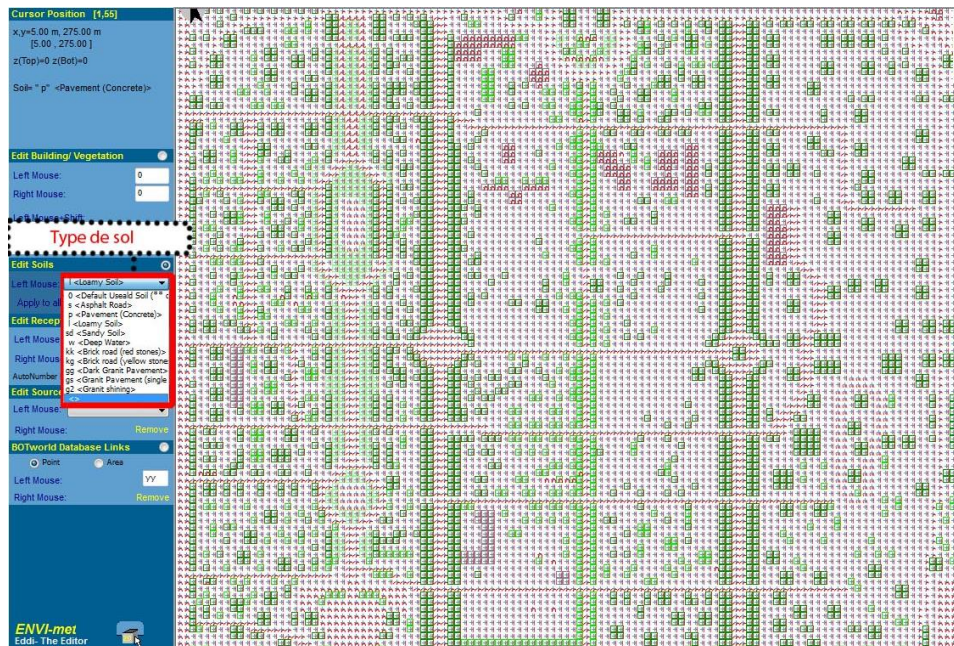


Figure 31: Editeur des sols, jardin d'essai.

- **Récepteurs** : Le logiciel permet de placer des récepteurs ponctuels qui enregistrent les différents paramètres de  $Z=0$  jusqu'à  $Z$  max, comme on peut placer un nombre important de récepteur qui peut arriver jusqu'à 100.

Donc afin de comparer les résultats des simulations à celles de la campagne de mesures on a placé les récepteurs dans les mêmes emplacements où les stations de mesures étaient placées (Figure 32-33)



Figure 32: Emplacement du récepteur, toit buanderie, Hôpital Mustapha.



Figure 33: Emplacement du récepteur, jardin d'essai.

### III.2.2 Fichier de configuration (.CF)

Le fichier de configuration contient tous les informations spécifiques à la simulation telles que : le nom de la simulation, adresse des fichiers d'entrées/sorties, date et durée de la simulation ainsi que les paramètres météorologique relatifs. (Figure 34-35)

D'autres paramètres peuvent être insérés par exemple : positions, caractéristiques thermiques des bâtiments (température intérieur, les coefficients de transmission surfacique des murs et des toitures et albédo des murs et des toitures). Ces paramètres vont augmenter la précision des calculs du logiciel et par la suite les résultats.

```

% ---- Basic Configuration File for ENVI-met Version 3 -----
% ---- MAIN-DATA Block -----
Name for Simulation (Text):                = Mustapha
Input file Model Area                      =D:\D\EPAU 2014-2015\master\simulation\Qm\input\qartier Mustapha.in
Filebase name for Output (Text):          =Quartier Musrtapha
Output Directory:                          =D:\D\EPAU 2014-2015\master\simulation\Qm\output04
Start Simulation at Day (DD.MM.YYYY):     =30.07.2013
Start Simulation at Time (HH:MM:SS):      =06:00:00
Total Simulation Time in Hours:           =24.00
Save Model State each ? min               =60
Wind speed in 10 m ab. Ground [m/s]:     =1.3
Wind Direction (0:N..90:E..180:S..270:W..) =101.1
Roughness Length z0 at Reference Point   =0.4
Initial Temperature Atmosphere [K]:       =297.79
Specific Humidity in 2500 m [g water/kg air] =17.85
Relative Humidity in 2m [%]:              =92.75
Database Plants                            =[input]\Plants.dat

( -- End of Basic Data --)
( -- Following: Optional data. The order of sections is free. --)
( -- Missing Sections will keep default data. --)
( Use "Add Section" in ConfigEditor to add more sections )
( Only use "=" in front of the final value, not in the description)
( This file is created for ENVI-met V3.0 or better )
[POSITION]                                where the area is located on earth
Longitude (+:east -:west) in dec. deg:    =3.03
Latitude (+:northern -:southern) in dec.deg: =36.45
Longitude Time Zone Definition:           =15.0
[RECEPTORS]
RECEPTOR 1 Co-ordinate                  =1,1
% --remove line above if your receptors are in the area input file--
Save Receptors each ? min                 =60.0
[BUILDING]                                Building properties
Inside Temperature [K]                    = 298
Heat Transmission walls [w/m²K]           =0.774
Heat Transmission Roofs [w/m²K]          =0.7
Albedo walls                              =0.5
Albedo Roofs                              =0.08

```

Figure 34: Exemple d'un fichier de configuration pour l'hôpital Mustapha.

```

% ---- Basic Configuration File for ENVI-met Version 3 -----
% ---- MAIN-DATA Block -----
Name for Simulation (Text):                = Jardin d'essai
Input file Model Area                      =D:\wahab\Jardin d'essai2\input\jardin d'essai.in
Filebase name for Output (Text):          =jardin d'essai
Output Directory:                          =D:\wahab\Jardin d'essai2\output03
Start Simulation at Day (DD.MM.YYYY):     =30.07.2013
Start Simulation at Time (HH:MM:SS):      =06:00:00
Total Simulation Time in Hours:           =24.00
Save Model State each ? min               =60
Wind Speed in 10 m ab. Ground [m/s]:     =0.74
Wind Direction (0:N..90:E..180:S..270:W..) =7
Roughness Length z0 at Reference Point   =0.14
Initial Temperature Atmosphere [K]:       =297.79
Specific Humidity in 2500 m [g water/kg air] =17.56
Relative Humidity in 2m [%]:              =91.25
Database Plants                            =[input]\Plants.dat

( -- End of Basic Data --)
( -- Following: Optional data. The order of sections is free. --)
( -- Missing Sections will keep default data. --)
( Use "Add Section" in configEditor to add more sections )
( Only use "=" in front of the final value, not in the description)
( This file is created for ENVI-met V3.0 or better )
[POSITION]                                where the area is located on earth
Longitude (+:east -:west) in dec. deg:    =3.05
Latitude (+:northern -:southern) in dec.deg: =36.43
Longitude Time Zone Definition:           =15.0
[RECEPTORS]
RECEPTOR 1 Co-ordinate                  =1,1
% --remove line above if your receptors are in the area input file--
Save Receptors each ? min                 =60.0
[BUILDING]                                Building properties
Inside Temperature [K]                    = 298
Heat Transmission walls [w/m²K]           =1.7
Heat Transmission Roofs [w/m²K]          =0.7
Albedo walls                              =0.35
Albedo Roofs                              =0.4

```

Figure 35: Exemple d'un fichier de configuration pour le jardin d'essai.

Le tableau (1) montre les simulations effectuées avec leurs paramètres de configuration insérés.

**Tableau 1 : Détail des simulations**

N°	Date/heure	Durée de simulation	Site	Vitesse du vent m.s <sup>-1</sup>	Direction du vent	Température initiale K	Humidité spécifique g/kg	Humidité relative %
S1	30-31/07/2013 06 :00	24H	CHU Mustapha	1.3	101.1	297.79	17.85	92.75
			Jardin d'essai	0.74	7	297.79	17.56	91.25
S2	01-02/08/2013 06 :00	24H	CHU Mustapha	1.11	81.4	297.01	15.26	82.75
			Jardin d'essai	0.2	262.5	294.71	14.63	91.25
S3	05-06/08/2013 06 :00	24H	CHU Mustapha	0.2	137.6	297.01	17.32	93.75
			Jardin d'essai	0.2	255.5	295.48	16.55	98.25
S4	01-02/07/2015 06 :00	24H	CHU Mustapha	1.5	115	298	13.77	70.22

S1, S2, S3, S4... = Simulation 1, 2, 3, 4...

- **Date/heure** : Les dates ont été choisies en deux périodes (S1, S2 et S3) correspondent à la campagne de mesure du PRU (2013), (S4) correspond à période de canicule récente. Le choix de l'heure de lancement de simulation est très important parce qu'il fixe les paramètres météorologique, selon la littérature l'heure idéal pour les simulations est comprise entre minuit (00 :00) et huit heure (08 :00), puisque l'ICU est un phénomène nocturne et les observations doivent être entre 2h à 3h après le crépuscule, pour une période estivale c'est l'équivalent de (00 :00) à (03 :00). Ce qui rend cette période sensible pour le début de simulation.

On a lancé plusieurs essais en adoptant les heures suivantes (04 :00), (06 :00) et (08 :00), on a constaté que l'heure idéale est 06 :00 juste après le lever de soleil pour avoir des résultats les plus proches de la réalité.

- **Vitesse/direction du vent, Température initiale et humidité relative** : ces paramètres ont été mesurés lors de la campagne de mesures du PRU (2013). Hors celles qui correspondent au (01/07/2015) ont été récupéré à partir d'une référence électronique ([www.ogimet.com](http://www.ogimet.com)) qui contient des informations professionnelles sur les conditions météorologiques dans le monde, la station de référence choisi est la station la plus proche de nos cas d'études celle d'Alger Port (Latitude : 36.46N ; Longitude : 03.06E Altitude : 8 m).

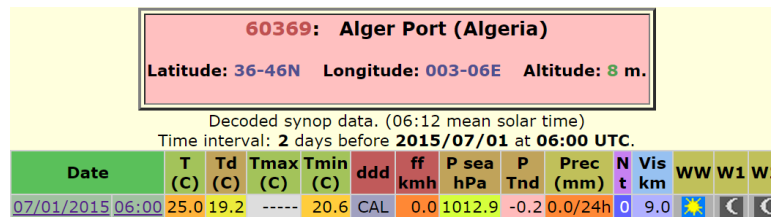


Figure 36: Données météorologique du 01/07/2015, source : <http://www.ogimet.com>.

- **Humidité spécifique** : Il suffit de convertir l’humidité relative à l’aide d’un convertisseur pour l’humidité d’air mis en ligne (<http://www.cactus2000.de>) utilisé par Atik (2011) les variables sont la température de l’air, la pression atmosphérique, (celle-ci peut être récupérée de [www.ogimet.com](http://www.ogimet.com)) et l’humidité relative où température du point de rosée.
- **Rugosité** : le tableau (2) montre les types de terrain et la valeur de rugosité ( $\alpha$ ) qui correspond

Tableau 2 : Type de terrain et valeur de rugosité, source : (Beranek,1984).

Type de terrain	Rugosité ( $\alpha$ )
Grand centre urbain	0.40 <sup>(*)</sup>
Constructions basses	0.28
Campagne <sup>**</sup>	0.14 (**)

(\*) Adopter pour l’hôpital Mustapha.

(\*\*) Adopter pour le jardin d’essai.

- **Température à l’intérieur des bâtiments** : la grande majorité des bâtiments adopte le système de climatisation mécanique, pour cela on a choisi la température conseillée par les services de SONELGAZ (25 °C) soit (298 K).
- **Les coefficients de transmission surfacique** :
  1. Murs : Pour calculer la valeur de coefficient de transmission surfacique des murs, nous avons utilisé le logiciel freeware. (Figure 37-38)

N°	Désignation et composition des parois	Epaisseur	Conduct	Résistan
		matériaux	thermique	thermique
		ml	W/m.°C	m2.°C/W
K40	<b>MUR EXTERIEUR</b>			
	- blocs briques creuses 17,5 (triple alvéoles)	0,175		0,330
	- blocs briques creuses 20 (4 alvéoles)	0,175		0,390
	- joint ciment extérieur	0,025	1,150	0,022
	- Air et comble 50mm	0,05		0,350
	- placo	0,01	0,350	0,029
	- ri + re			0,170
				1,291

Figure 37: Résistance thermique, cas de l’hôpital Mustapha, source : <http://www.thermexcel.com>

N°	Désignation et composition des parois	Epaisseur	Conduct	Résistan
		matériau	thermique	thermique
		ml	W/m.C	m2.C/W
K40	MUR EXTERIEUR (construction ancienne)			
	- pierres lourdes	0,3	3,500	0,086
	- pierres calcaires (dures)	0,3	2,200	0,136
	- pierres calcaires (fermes)	0,3	1,700	0,176
	- joint ciment intérieur	0,02	1,150	0,017
	- ri + re			0,170
				0,586

**Figure 38:** Résistance thermique, cas du jardin d’essai, source : <http://www.thermexcel.com> Téléchargeable sur le site (<http://www.thermexcel.com>), ce dernier met à la disposition des internautes intéressées des données de calcul thermique.

L’hôpital Mustapha a subi plusieurs phases de développement, la majorité des murs extérieurs de ses constructions sont à double parois en brique creuses. La figure (37) montre la configuration la plus proche de notre cas d’étude.

Soit  $R=1.291m^2.°C/W$  et  $U=1/R$  Donc  $U=0.774W/m^2.°C$

Et dans une règle générale :  $1 w/m^2.c = 1W/m^2.K$   $U=0.774 W/m^2.K$

Le jardin d’essai est caractérisé par des constructions anciennes, la figure (38) montre une configuration similaire.

Soit  $R=0.586 m^2. °C/W$  et  $U=1/R$  Donc  $U= 1.707W/m^2.°C=1.707 W/m^2.K$

Avec : R : Résistance thermique.

U : Coefficients de transmission surfacique

2. Toitures : la plus grande majorité des toitures de l’hôpital Mustapha Bacha sont des terrasses (accessible et non accessible) dont Atik (2011) a calculé la valeur  $U_{toiture}=0.70 W/m^2.K$ , suivant le règlement technique et caractéristiques des matériaux cités dans DTR 3-2 et DTR c3-4.

- **Albédo** : l’albédo est relatif à la couleur des surfaces, le tableau (3) montre les valeurs d’albédo attribué pour les mus et les toitures.

**Tableau 3 :** Nature des surfaces et valeur d’albédo

	Nature des surfaces	Valeurs d’albédo
<b>Hôpital Mustapha</b>	Peinture blanche	0.50
	Gravillon	0.08
<b>Jardin d’essai</b>	Peinture couleur	0.35
	Béton	0.40

Source : (Akbari et al 1992 ; Atik 2011) (adapté par auteur)

### III.3 Exécution des simulations

La simulation peut être exécutée dans un ordinateur de bureau performant, une simulation peut durer de 24h à 48h, la photo (3) montre les ressources matérielles mis en place pour effectuer les simulations.



**Photo 3 :** Ressources matérielles mis en place pour les simulations

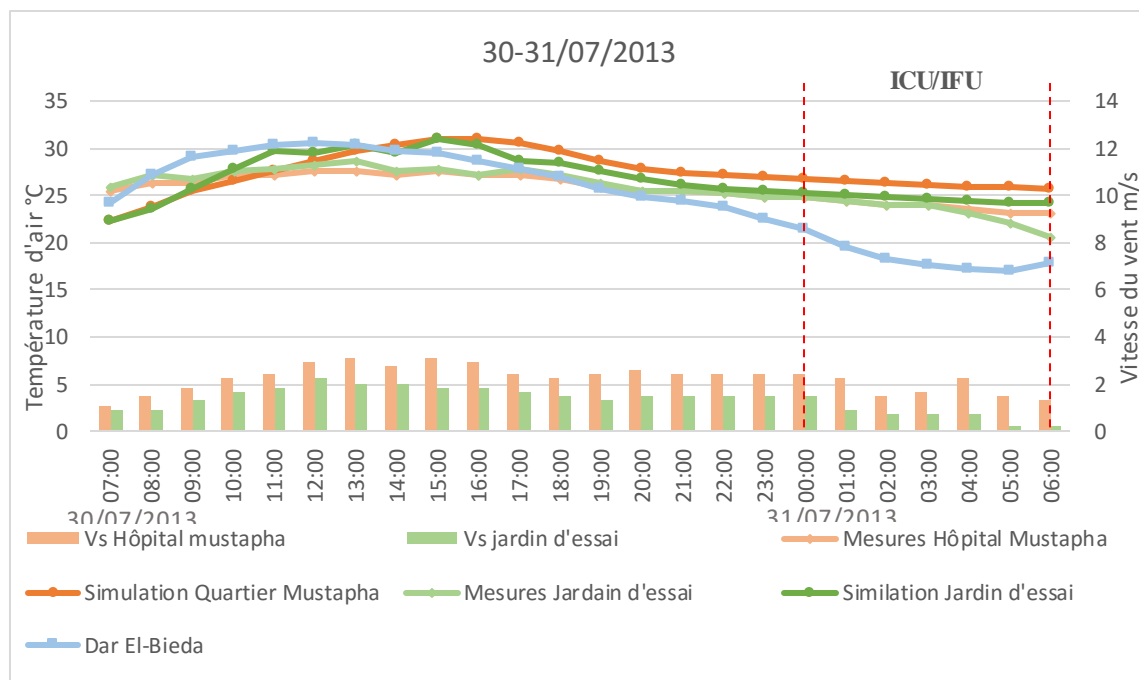
### III.4 Résultats et discussion

#### III.4.1 Validation des résultats de la campagne de mesures

Afin de valider les résultats de la campagne de mesures du PRU (2013) on a élaboré trois simulations portant sur différentes dates. Le choix des dates est basé sur deux critères intensité d'ICU et IFU et les variations de la vitesse du vent. Ce dernier est intégré partiellement dans Envi-met, une forte variation de la vitesse du vent ne peut être simulée par Envi-met, ce qui peut justifier certain écart de températures entre simulation et campagne de mesures. D'une autre manière la simulation donne des résultats virtuels pour des conditions météorologiques stables ou peu variables.

##### III.4.1.1 Première simulation (S1) le 30-31/07/2013

S1 simule le 30-31/07/2013 à partir de 06h du matin, cette journée était marquée par un ICU de moyenne intensité, 6.5°C d'écart enregistré, avec une moyenne variation de la vitesse du vent, les résultats de la campagne de mesure des deux sites se rapproche avec un léger refroidissement du jardin d'essai à partir de 04h justifié par la diminution de la vitesse du vent. Le graphe ci-dessous montre les résultats de la simulation, celles de la campagne de mesures des deux sites et les mesures d'ONM, Dar El Beida (Axe principale), associé à la vitesse du vent (Axe secondaire)



**Graphe 1 :** Variation des températures d'air enregistrée (S1, campagne de mesures, ONM) dans les deux sites associé à la vitesse du vent.

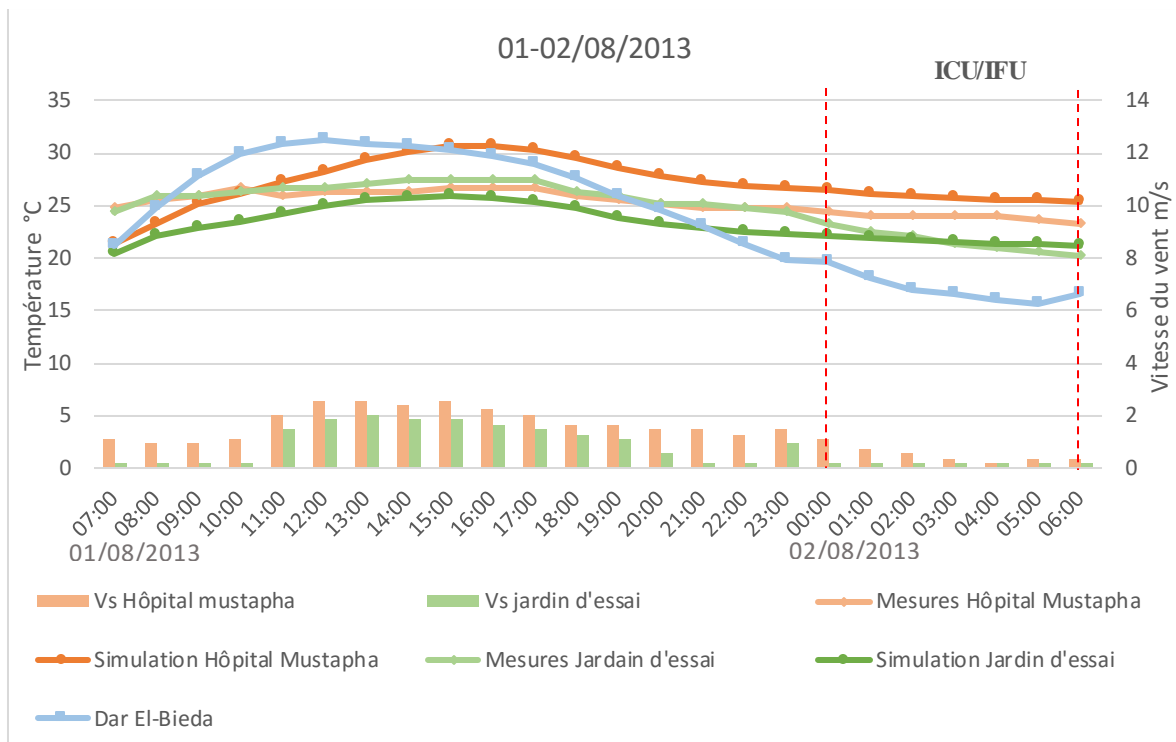
La lecture des courbes détermine trois périodes, la 1<sup>ère</sup> entre 07h et 16h on remarque une augmentation des températures d'air pour les deux sites par effet du bilan radiatifs et énergétique, on constate que le jardin d'essai se réchauffe plus vite que la zone urbaine, ceci est due à la forte réflexivité de la végétation. Cette augmentation est légèrement plus grande par rapport à celles enregistrée durant la campagne de mesures. Par exemple le pic de chaleur pour l'hôpital Mustapha est enregistré à 16h est de 30.89°C pour la simulation et 27.12 °C lors de la campagne de mesures soit 3.77 °C d'écart, ceci est due à l'augmentation de la vitesse de vent (de 1.11 à 3.15 m/s).

La 2<sup>ème</sup> période entre 17h et 23h on remarque un refroidissement progressif des deux sites, où le plus important est celui du jardin d'essai avec un écart de 3.5°C. Durant cette période les résultats de la simulation sont proches de celles de la campagne de mesures avec un écart de 1.5 °C pour l'hôpital Mustapha et moins de 0.75 °C pour le jardin d'essai.

La 3<sup>ème</sup> période entre 00h et 06h, la simulation illustre un léger écart entre l'hôpital Mustapha (ICU) et jardin d'essai (IFU) de 1.5°C, ce dernier n'a pas été enregistré lors de la campagne de mesure à cause d'une légère variation de la vitesse du vent.

#### **III.4.1.2 Deuxième simulation (S2) le 01-02/07/2013**

S2 simule 01-02/07/2013 à partir de 06h du matin, cette période marquée par une forte intensité d'ICU et d'IFU et une faible variation de la vitesse du vent, les résultats de la campagne de mesure comparées à celles de L'ONM, Dar El Beida montre la présence d'ICU et IFU entre 00h et 06h avec un écart de température d'air qui dépasse les 8°C, ce qui confirme le caractère nocturne de ces phénomènes.



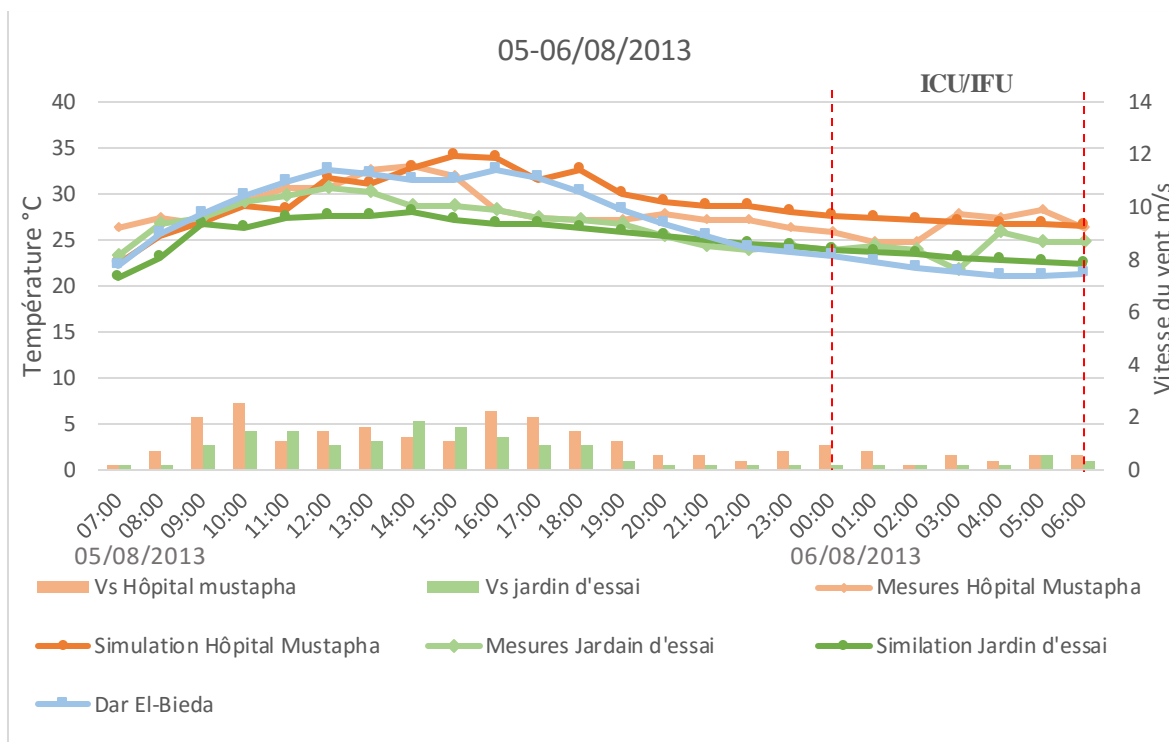
**Graphe 2 :** Variation des températures d’air enregistrée (S2, campagne de mesure, ONM) dans les deux sites associé à la vitesse du vent.

La lecture de ces courbes montre que les résultats de la simulation sont proches de celles de la campagne de mesures.

- La 1<sup>ère</sup> période entre 07h et 00h, dans laquelle on a enregistré un écart de températures d’air entre simulation et mesure de 2 à 3.5 °C pour l’hôpital Mustapha, cet écart est affecté légèrement par la vitesse du vent, et de -1.5 °C pour le jardin d’essai.
- La 2<sup>ème</sup> période entre 00h et 06h, dans laquelle on a enregistré un écart entre simulation et mesure de 1.8 °C pour l’hôpital Mustapha et moins de 1°C pour le jardin d’essai. La simulation durant cette dernière période illustre clairement les deux phénomènes ICU et IFU.

### III.4.1.3 Troisième simulation (S3) le 05-06/08/2013

S3 simule le 05-06/08/2013 à partir du 6h du matin, cette période était marquée par une faible intensité d’ICU et une moyenne variation de la vitesse du vent.



**Graphe 3 :** Variation des températures d'air enregistrée (S3, campagne de mesure, ONM) dans les deux sites associé à la vitesse du vent.

La lecture de ces courbes montre que les résultats de la simulation sont très proches de celles de la campagne de mesures.

- La 1<sup>ère</sup> période entre 07h et 00h, dans laquelle on a enregistré un écart de température d'air entre simulation et mesure de 1.8 °C pour l'hôpital Mustapha, hormis entre 16h et 19h où on a enregistré une augmentation de la vitesse du vent, cette dernière a affecté la prise de mesures car pour quoi on a un écart plus important. Durant cette période les résultats des simulations pour le jardin d'essai sont très proches des mesures avec un écart qui varie entre 1.5 et 1 °C.
- La 2<sup>ème</sup> période entre 00h et 06h, dans laquelle on a enregistré un écart entre simulation et mesure aussi affecté légèrement par la vitesse du vent et qui varie entre 1.8 et 1 °C pour l'hôpital Mustapha et moins de 1°C pour le jardin d'essai.

### III.4.2 Etude comparative des microclimats entre l'Hôpital Mustapha et jardin d'essai (ICU/IFU)

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

Les résultats représentés sont celles de la première simulation (S1), par ce que l'écart entre les deux sites n'est pas assez important, ce qui permet d'adopter la même échelle d'unité.

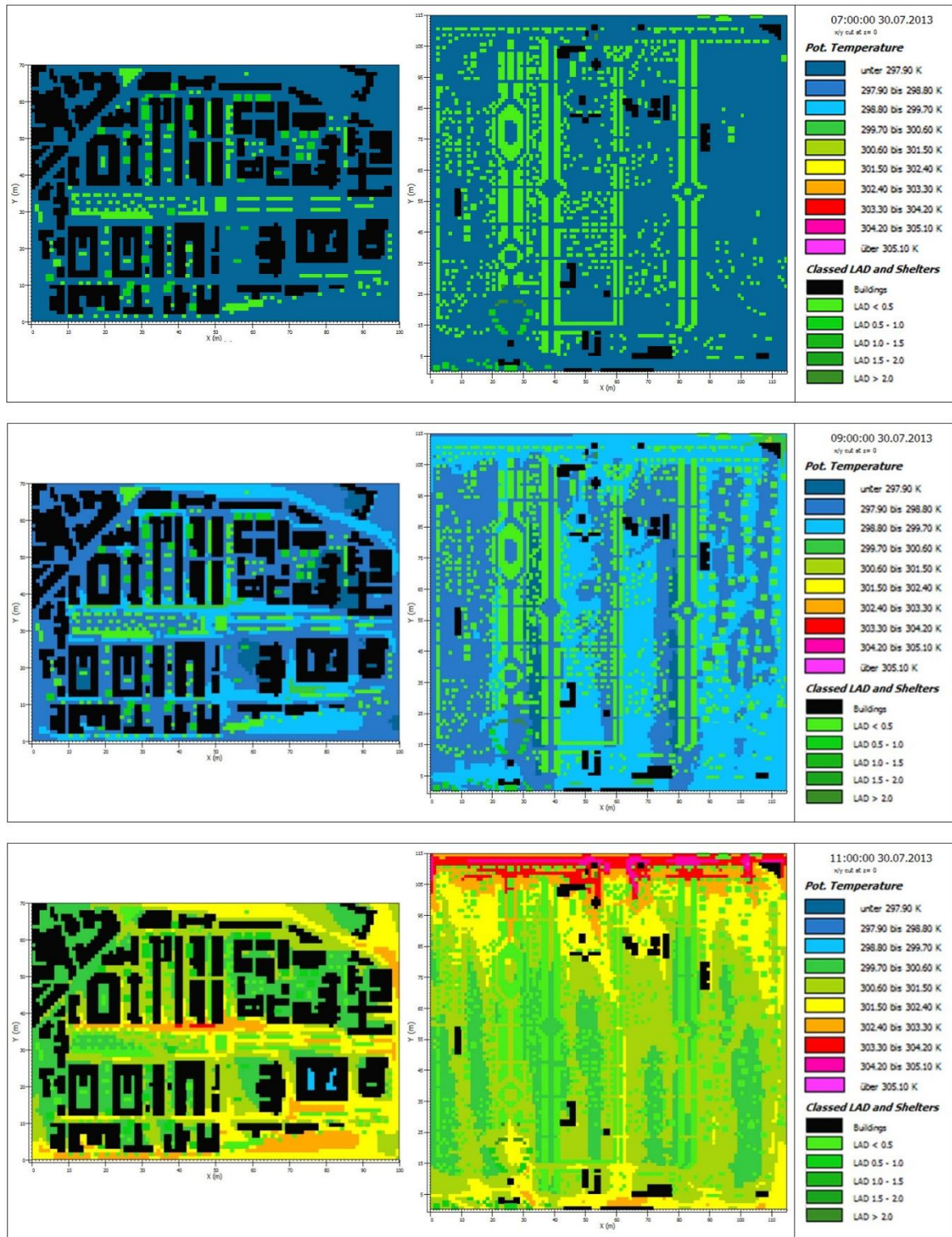
Les résultats sont présentés en plusieurs période avec un intervalle qui varie d'une à deux heures. Les photos aériennes (4 et 5) des deux sites présentées ci-dessous à gauche l'Hôpital Mustapha et à droite le jardin d'essai, on va suivre la même logique pour la présentation des résultats.



**Photo 4 :** Image aérienne à haut résolution, l'hôpital Mustapha, Source : PRU, (2014-2017)



**Photo 5 :** Image aérienne à haut résolution, jardin d'essai, Source : PRU, (2014-2017).



**Figure 39:** Lecture comparative des résultats du S1 entre 7h et 11h.

De 07h à 11h, durant cette période on remarque que le jardin d'essai se réchauffe plus vite que l'hôpital Mustapha, ceci est relative aux caractéristiques thermiques de chaque site, l'hôpital Mustapha caractérisé par un faible albédo par contre le jardin d'essai par sa densité de végétation est caractérisé par un fort albédo ou réflexivité.

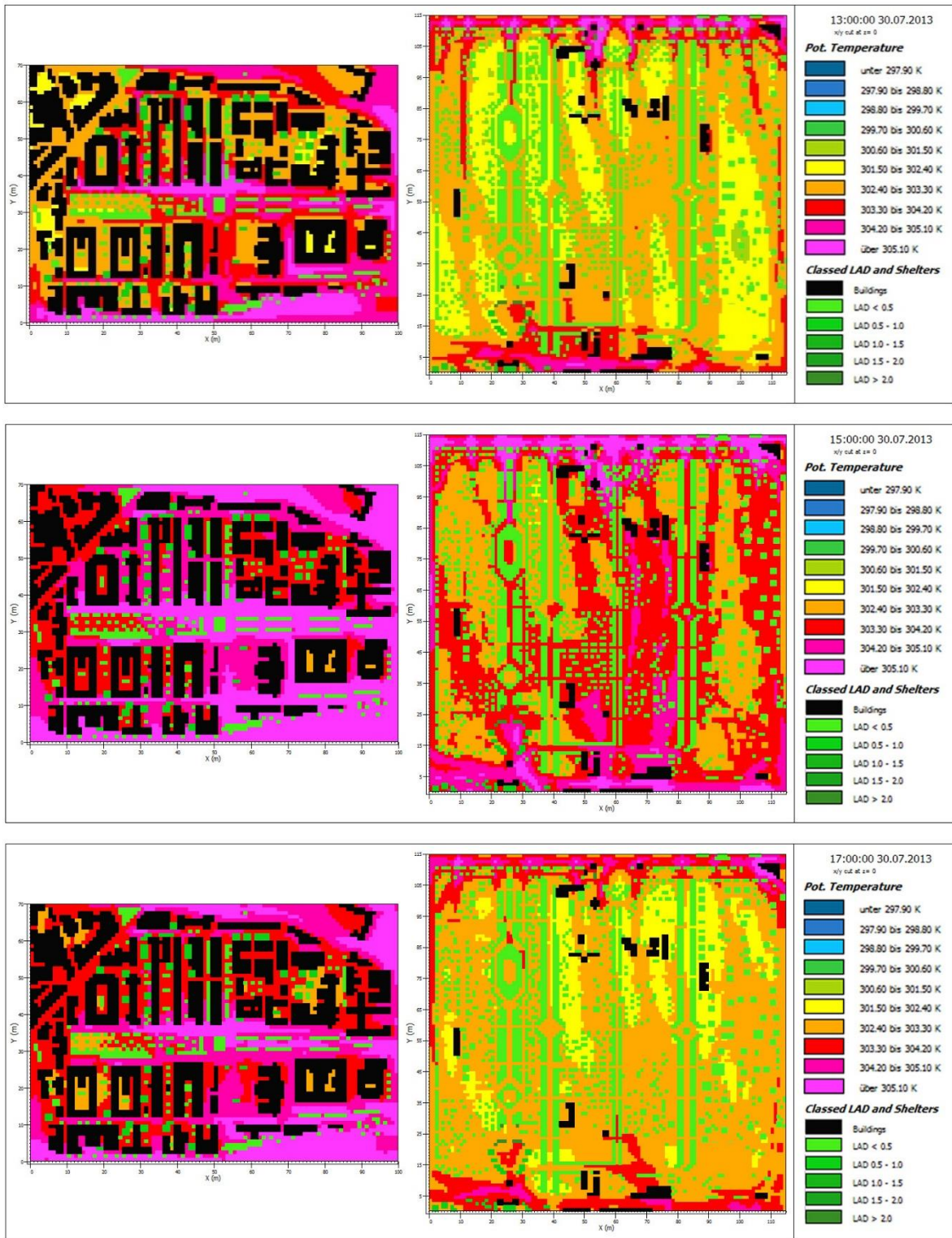


Figure 40: Lecture comparative des résultats du S1 entre 13h et 17h.

De 13h à 17h, on remarque que l'hôpital Mustapha continue à se réchauffer avec la même tendance hormis le jardin d'essai atteint le pic de chaleur à 15h et passe à la phase de refroidissement progressif. Cette période montre l'impact direct des aménagements et des revêtements des sols parce que l'intensité d'ensoleillement durant cette période est extrême.

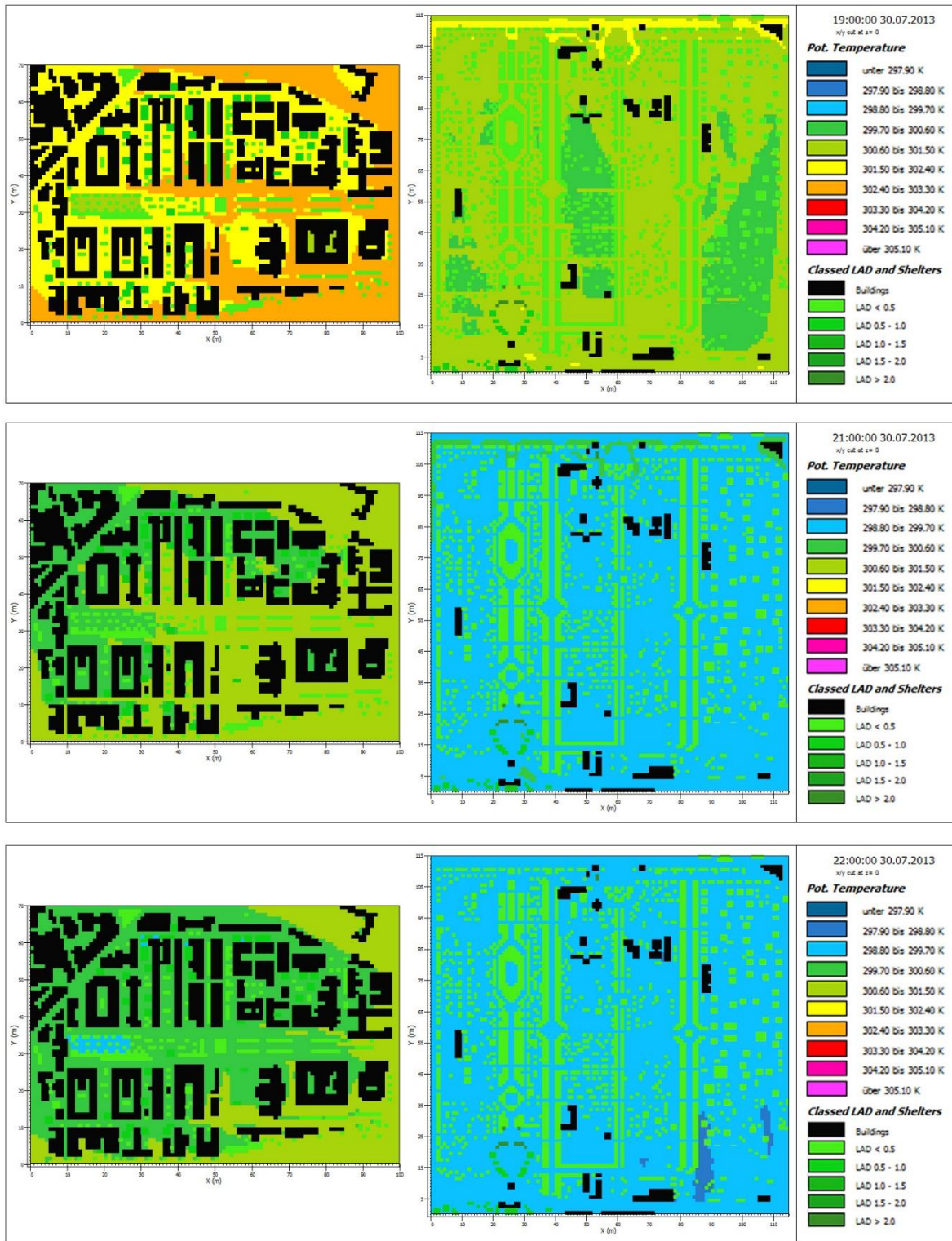


Figure 41: Lecture comparative des résultats du S1 entre 19h et 22h.

De 19h à 22h, on remarque un refroidissement progressif des deux zones, important pour le jardin d'essai qui atteint rapidement des températures d'air qui varie entre 26.7 et 25.8 °C. Par contre il est moins important pour l'hôpital Mustapha avec des températures d'air qui varie entre 28.5 et 26.7 °C, durant cette période on constate un certain inconfort.

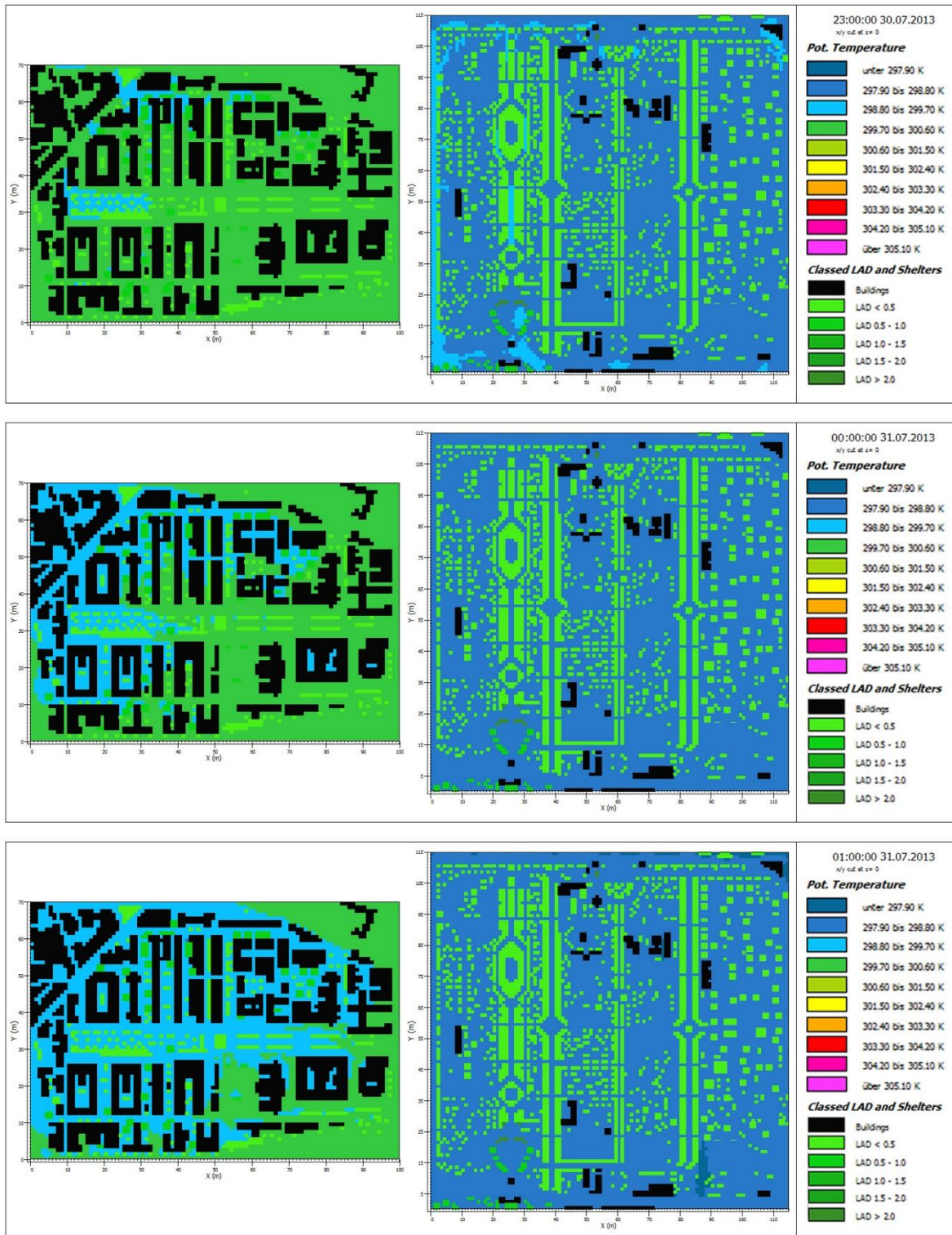


Figure 42: Lecture comparative des résultats du S1 entre 23h et 01h.

De 23h à 01h, durant cette période le jardin d'essai joue le rôle d'IFU avec des températures d'air moins de 25°C, contrairement à l'hôpital Mustapha qui est caractérisé par un ICU avec des températures d'air qui varie entre 27.6 et 25.8 °C, due à la grande capacité thermique des matériaux utilisés, ces derniers restituent la chaleur emmagasinée pendant la journée, ce qui induit un inconfort thermique.

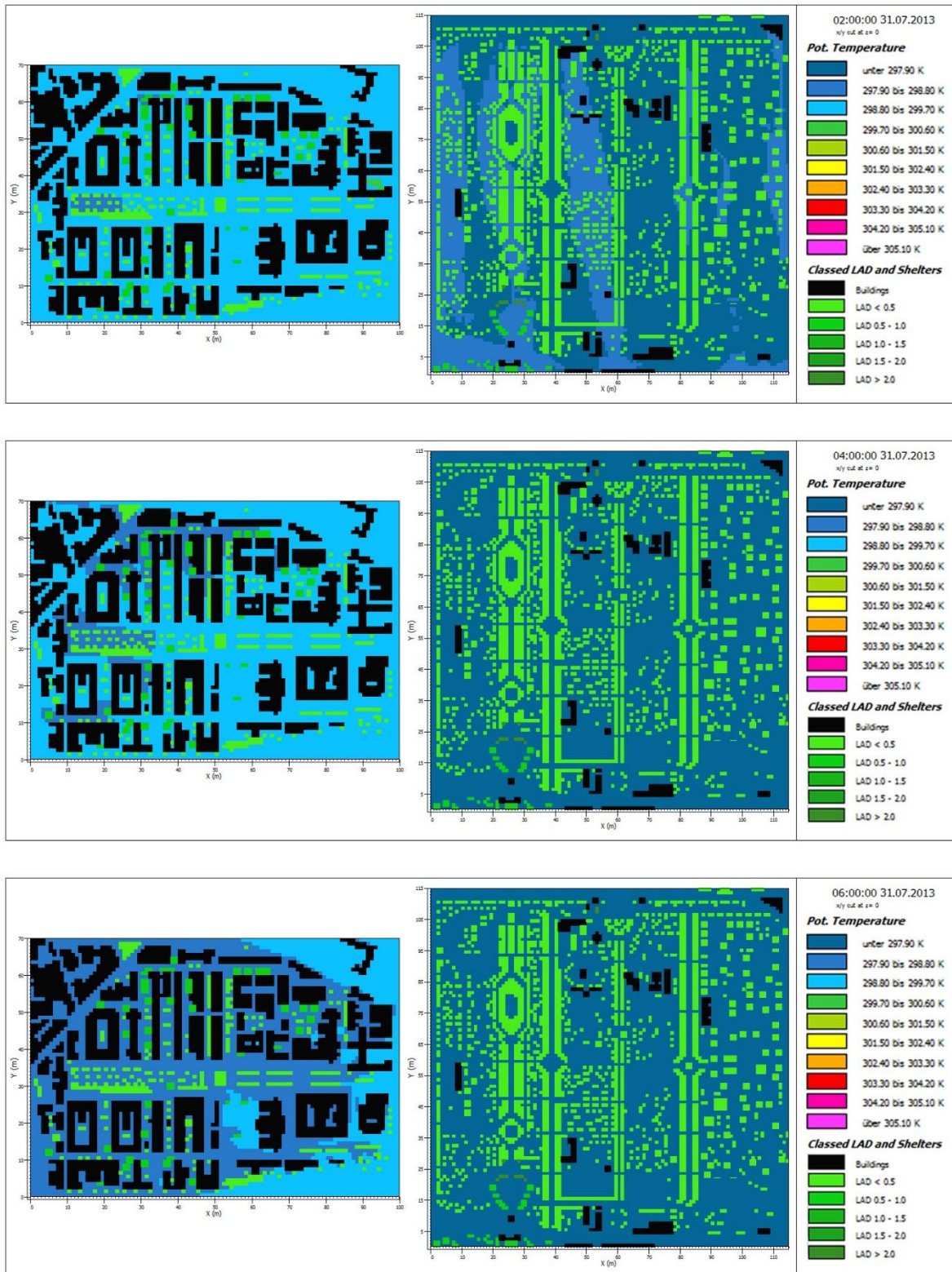


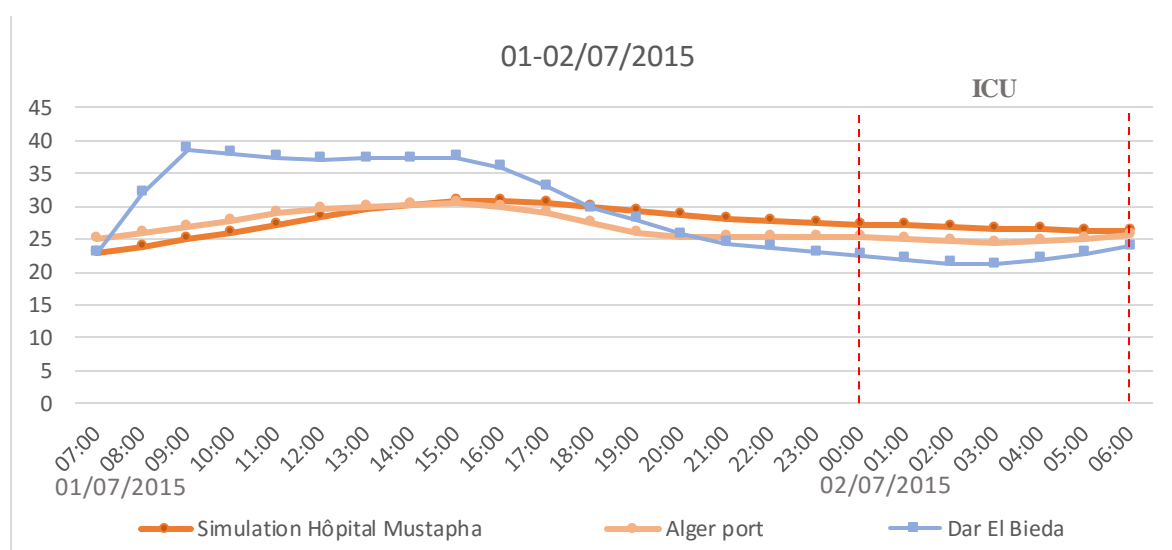
Figure 43: Lecture comparative des résultats du S1 entre 02h et 06h.

Du 02h à 06h, durant cette période l'hôpital Mustapha atteint progressivement des températures d'air ambiantes qui varie entre 25.8 et 24.9, et qui restes similaires à celles enregistrées soit 24.9 °C pour le Jardin d'Essai.

Cette lecture comparative des deux zones nous permet de visualiser les différences entre les microclimats, l'évolution temporelle des phénomènes ICU/IFU ainsi que repérer les éventuels facteurs aggravant l'ICU (l'asphalte et les revêtements) ainsi que le rôle de la végétation dans le rafraîchissement de la ville.

### III.4.3 Simulation d'une période de canicule actuelle (S4) le 01-02/07/2015

S4 simule le 01-02/07/2015 à partir du 6h du matin, cette période était marquée par une canicule où les températures maximales ont atteint les 39 °C, enregistrée par ONM Dar El Beida. Le graphe 4 ci-dessous montre l'évolution d'ICU de l'hôpital Mustapha durant cette période.



**Graph 4 :** Variation des températures d'air enregistrée (S4, Alger port, ONM), à l'hôpital Mustapha.

La lecture de ces graphes permet de distinguer trois périodes :

- La période de 07h à 16h on remarque un écart important de températures d'air entre les enregistrements de Dar El Beida et celles du S4 et d'Alger port. Trois facteurs peuvent justifier cet écart, 1- Morphologie de ville durant cette période permis des écarts par rapport aux zones périphériques ; 2- Brise marine aux niveaux des zones côtières ; 3- nébulosité.
- La période de 16h à 00h on remarque un refroidissement rapide au niveau de Dar El Beida justifier par des caractéristiques thermiques de la surface périphérique qui emmagasine moins de chaleurs, hors à l'hôpital Mustapha on remarque un refroidissement très lent causé par une capacité plus grande pour cette région à stocker

la chaleur, et à la restituer progressivement durant cette période, ce qui forme un ICU par la suite.

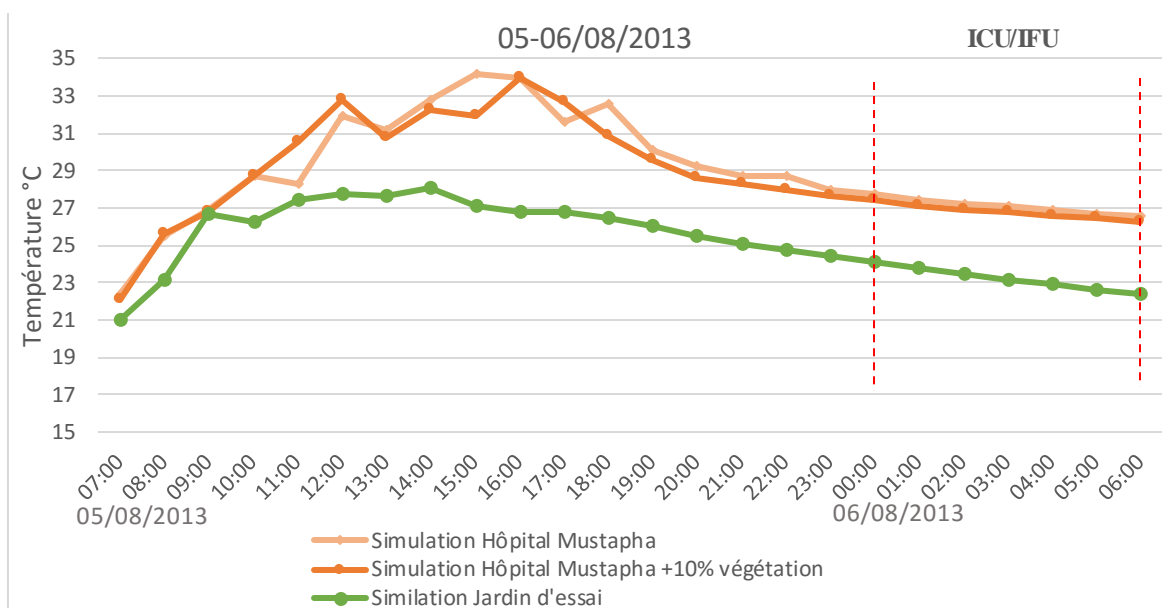
- La période de 00h à 06h on a enregistré un ICU au niveau de l'hôpital Mustapha de moyenne intensité avec un écart de température d'aire de 5°C par rapport à celles enregistrés à Dar El Beida.

### III.4.4 Etude paramétrique

Durant cette étude on va examiner l'impact de trois principaux paramètres sur l'ICU, qui sont la végétation, l'albédo et le vent.

#### III.4.4.1 Végétation

La végétation comme une solution d'atténuation et de mitigation la plus efficace du phénomène d'ICU, le graphe 5 montre l'impact d'une augmentation de %10 du taux de concentration de végétation sur site (S5).



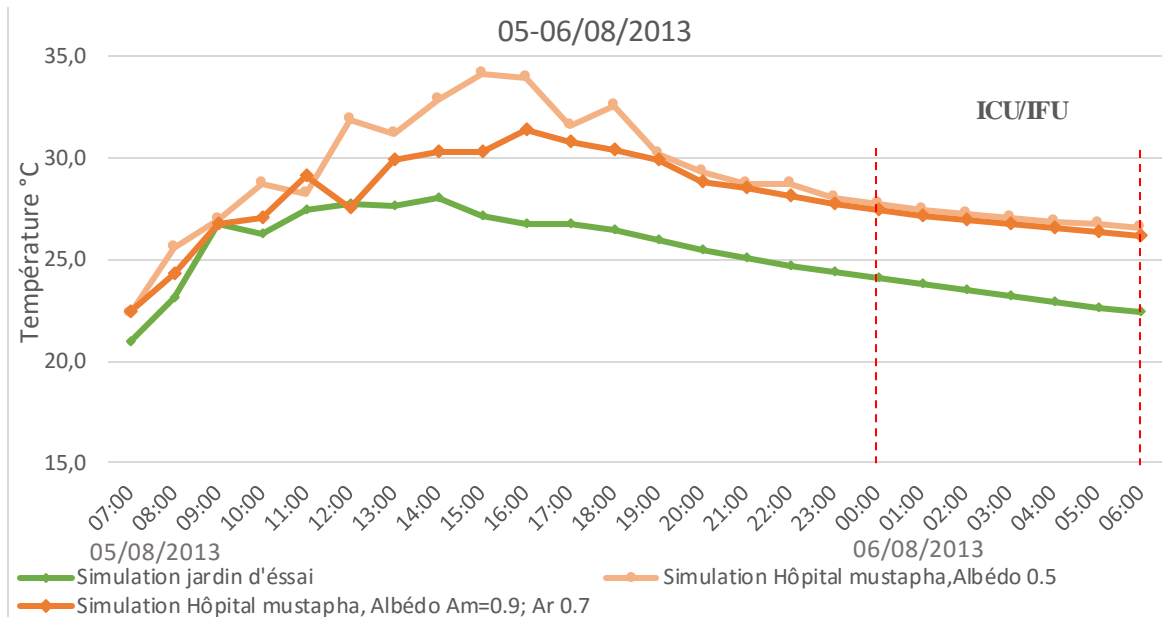
**Graph 5 :** Variation des températures d'air enregistrée par S5, avec une augmentation de %10 du taux de concentration de végétation à l'hôpital Mustapha.

La lecture du graphe montre que durant la période de 07h à 11h la végétation participe à un réchauffement accéléré à cause de sa forte réflectivité, de 12h à 15h une forte fluctuation de la température d'air peut être justifié par l'effet de l'ombrage au sol et une évapotranspiration importante durant cette période.

De 16h à 06h on constate que la végétation participe à un refroidissement plus important on a enregistré un écart qui varie de  $-0.30^{\circ}\text{C}$  à  $-0.78^{\circ}\text{C}$  ce qui est vraiment important pour une augmentation de 10% du taux de concentration de végétation sur site.

### III.4.4.2 Albédo

L'albédo est relatif à la couleur des surfaces, S6 simule l'hôpital Mustapha avec des valeurs maximales d'albédo pour les murs et les toitures, soit  $A_m=0.9$  ;  $A_r 0.7$



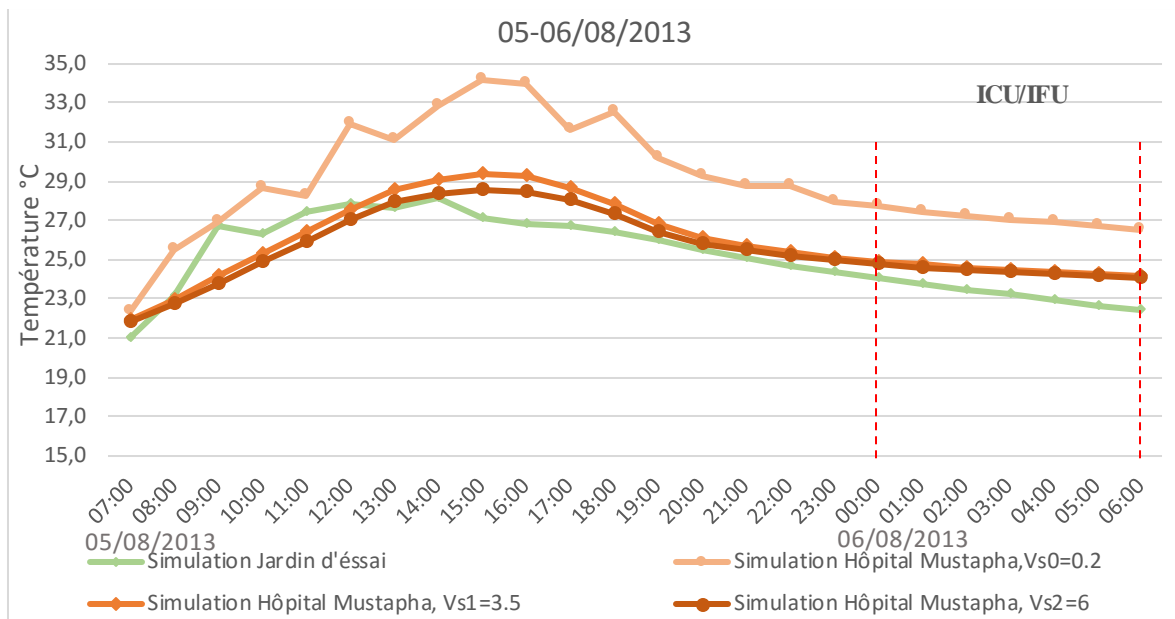
**Graph 6 :** Variation des températures d'air enregistrée par S6, avec des valeurs maximales d'albédo.

Durant la période de 00h à 06h la courbe du S6 caractérisé par des albédos élevés est marqué par un refroidissement légèrement plus important que celle du S5, avec un écart qui varie entre  $-0.26^{\circ}\text{C}$  et  $-0.61^{\circ}\text{C}$ , ce qui est moyen, on peut accroître cet écart en augmentant l'albédo des sols.

Cela montre que l'augmentation de l'albédo à un impact sur la diminution de l'intensité d'ICU, cette diminution est légèrement moins importante que l'augmentation de la végétation.

### III.4.4.3 Vent

La vitesse du vent à un rôle important dans la formation et la structure d'ICU, des vents en dessous de  $3 \text{ m.s}^{-1}$  forment des conditions favorables, S03 est caractérisé par des conditions similaires avec des vents initiales  $V_{s0}=0.2 \text{ m.s}^{-1}$ . Le graphique 7 si dessous montre l'impact des vents modérés sur l'ICU avec  $V_{s1}=3.5 \text{ m.s}^{-1}$  et  $V_{s2}=6 \text{ m.s}^{-1}$



**Graphe 7 :** Variation des températures d'air enregistrée par S7, avec des vents modérés.

La lecture des courbes montre que les vents modérés diminuent l'intensité d'ICU, du fait que durant la période de 00h à 06h on a enregistré une diminution qui varié entre 2.4°C et 2.78°C pour  $V_{s1} = 3.5 \text{ m.s}^{-1}$ , une diminution qui varié entre 2.48°C et 3°C pour  $V_{s2} = 6 \text{ m.s}^{-1}$ . Cela illustre le rôle des vents a dissipé la chaleur, d'où la nécessité d'aération en milieu urbain ainsi que la planification urbaine doit être élaboré en fonction des vents dominants.

### Synthèse :

Ces résultats confirment que la présence de végétation en milieu urbain, l'utilisation des matériaux avec albédo élevé ainsi qu'une bonne aération du milieu urbain participent largement à la diminution de l'intensité d'ICU, ce qui rend indispensable d'adopter ces paramètres comme solutions d'atténuation et de mitigation du phénomène d'ICU, et de les intégrer dans la planification et les aménagements urbains.

## Conclusion générale

Aujourd'hui nous ne pouvons nier la réalité des changements climatiques, accompagné d'un étalement urbain important, ces paramètres ont aggravé le phénomène d'îlot de chaleur urbain qui affecte en premier lieu la consommation d'énergie et la santé de la population en ville. Ceci s'inscrit dans un contexte où les chercheurs démontrent le rôle important des îlots de fraîcheur urbains comme moyens de lutte contre les ICU et les vagues de chaleur, et pour optimiser le confort thermique en ville.

A travers cette étude nous avons essayé :

- D'une part de caractériser l'îlot de chaleur de l'hôpital Mustapha Bacha et l'îlot de fraîcheur du Jardin d'Essai, d'examiner la capacité de l'outil informatique utilisé pour simuler le microclimat local et à restituer les mesures.
- D'autre part d'étudier l'évolution temporelle des phénomènes ICU/IFU à travers une étude comparative des deux sites, ainsi d'établir une étude paramétrique dans laquelle nous avons vérifié l'apport des paramètres les plus influents sur ces phénomènes.

En effet les résultats des simulations effectuées par Envi-met ont confirmé notre première hypothèse qui présume la capacité de la simulation basé sur l'outil informatique a donné des résultats très proches de l'analyse statistique basée sur une campagne de mesures. Cela est traduit par un ensemble de graphes de variation des températures d'air portant sur différents dates où on a enregistré des écarts entre simulation et campagne de mesures qui varient entre 1°C et 3.5°C pour l'hôpital Mustapha et moins de 1.5°C pour le Jardin d'Essai.

Ainsi que la lecture comparative de l'évolution temporelle des phénomènes ICU IFU a affirmé le caractère nocturne de ces derniers.

Aussi les résultats de l'étude paramétrique nous confirme la deuxième hypothèse, et que la simulation basé sur l'outil informatique envisage l'apport de chaque paramètres ce qui nous aide à détecter les paramètres les plus influents, en conséquence on a augmenté trois principaux paramètres, qui sont la végétation, l'albédo et le vent, les résultats des simulations ont confirmé que ces paramètres participe largement à la diminution de l'intensité d'ICU.

Donc les principales solutions d'atténuations et de mitigation du phénomène d'ICU sont la présence de végétation en milieu urbain, l'utilisation des matériaux avec albédo élevé , une bonne orientation et aération du milieu urbain, ainsi qu'une diminution des rejet de chaleur anthropique.

### **Perspectives de recherche**

La simulation du micro climat locale à l'aide de l'outil informatique a permis de restituer et valider des mesures antérieures, de visualiser l'évolution des phénomènes liés par une représentation cartographique. Cela nous ouvre des pistes de recherche importantes qui sont :

- Localiser les sites potentiels d'ICU/IFU à Alger et par la suite réaliser une représentation cartographique d'évolution de ces phénomènes.
- Étudier et projeter l'évolution des ICU/IFU dans le futur.
- Développer et améliorer les systèmes de prévention et d'alerte.
- Et enfin d'examiner et simuler l'impact des actions d'aménagement et de planification urbaines.

## Bibliographie

1. Achour-Bouakkaz, N., 2006, La relation entre l'îlot de chaleur urbain, phénomène du changement climatique et la densité du plan bâti, cas de la ville d'Alger, thèse de magistère, Faculté des sciences de la terre, de la géographie et de l'aménagement du territoire, Université de Constantine, 149p.
2. Anquez, P. et Herlem, A., 2011, Les îlots de chaleur dans la région métropolitaine de Montréal : causes, impacts et solutions, chaire de responsabilité sociale et de développement durable, université du Québec à Montréal, 16 p.
3. Atik, T., 2011, les toitures végétalisées à Alger pour une contribution à l'amélioration du microclimat urbain méditerranéen, thèse de magistère, Ecole Polytechnique D'architecture et d'Urbanisme, 247p.
4. Besancenot, J. P., 2005, La mortalité consécutive à la vague de chaleur 2003, étude épidémiologique, press therm climat, 142, 13-24, pp 17-18.
5. Boulfroy, E. Khaldoune, J. Grenon, F. Fourmier, R. Talbot, B., 2013, Conservation des îlots de fraîcheur urbains, description de la méthode suivie pour identifier et localiser les îlots de fraîcheur et de chaleur, institut national de santé publique du Québec, 49p
6. Cavayas, F. et Baudouin, Y., 2008, étude des biotopes urbains et périurbains de la cmm, volets 1 et 2 : évolution des occupations du sol, du couvert végétal et des îlots de chaleur sur le territoire de la communauté métropolitaine de Montréal (1984-2005), université du Québec à Montréal, 120p.
7. 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, école doctorale ville et environnement, université Paris-Est, 341p.
8. Daoudi, N. S. Lamraoui, S. Mestoul, D. Mezouari, F. Menouar, A., 2015, Rapport intermédiaire d'un Projet PRU en cours, « Îlots de fraîcheur comme stratégies de réduction des îlots de chaleur urbains : Cas d'Alger » ; validé entre 2014 et 2017
9. Gendron, J. et Bouchard, P., 2013, analyse des outils administratifs et des mesures de lutte aux îlots de chaleur dans les milieux de vie des communautés thermiquement vulnérables à Montréal, thèse en vue de l'obtention du grade de maître en environnement, université de Sherbrooke, 133p.
10. Greuillet, C. et Galsomies, L., 2013, L'îlot de chaleur urbain et le lien avec la qualité de l'air, Pollution atmosphérique, numéro spécial, PP 163-172.

11. Grimmond, S., 2007, Urbanization and global environmental change: local effects of urban warming, Journal compilation, The royal Geographical Society.
12. Grimmond, S. Roth, M. Oke, T. R. Beste, Y. Carmichael, G. Cleugh, H. Dabberdt W. Emmanuel, R. Freitas, E. Fortuniak, K. Hannal, S. Klein, P. Kalkstein, L. S. Liu, C. H. Nickson, A. Pearlmutter, D. Sailor, D. and Voogts, J., 2010, Climate and More Sustainable Cities: Climate Information for Improved Planning and Management of Cities (Producers/Capabilities Perspective), *Procedia Environmental Sciences* 1, pp 247–274.
13. Giguère, M., 2009, Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains, Revue de littérature, Institut national de santé urbaine du Québec, 95p.
14. Mills, G., 2007, Cities as agents of global change, *International Journal Of Climatology*, *Int. J. Climatol.* 27: pp 1849–1857.
15. Natalia, E., 2010, Les îlots de chaleur urbains en Mauricie, département de chimie-biologie, Université du Québec à Trois-Rivières, 22p.
16. Philippe, J. et Bouchard, G., 2013, analyse des outils administratifs et des mesures de lutte aux îlots de chaleur dans les milieux de vie des communautés thermiquement vulnérables à Montréal, maîtrise en environnement, université de Sherbrooke, 133p.
17. Oke, T.R., (1978), *Boundary layer climates*, Londres, Editions Methuen & Co Ltd, 372p.
18. Pigeon, G., 2007, Les échanges surface-atmosphère en zone urbaine, thèse de doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse III, P13-53.
19. Pigeon, G. Lemonsu, A. Masson, V. et Hidalgo, J., août 2008, de l'observation du microclimat urbain à la modélisation intégrée de la ville, *La Météorologie*, n° 62.
20. Reiter, S., 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, Faculté des sciences appliquées architecture et climat, Université catholique de Louvain.
21. Ringenbach N, 2004, Bilan radiatif et flux de chaleur en climatologie urbaine : mesures modélisation et validation sur Strasbourg, thèse de doctorat, école nationale supérieure de physique de Strasbourg.
22. Rosenzweig, C. et al, 2006, Mitigating New York city's heat island with urban forestry, living roofs, and light surfaces, College Hunter et l'Université Columbia, New York, 5p.
23. Souch, C. Grimmond, S., 2006, *Applied climatology: urban climate*, *Progress in Physical Geography*, Edward Arnold publishers Ltd, 30, 2, pp. 270–279.

24. Voogt, J., 2008, how researchers measure urban heat islands, department of geography, university of Western Ontario, London On Canada, 34 p.

**Colloque :**

25. Claverie, R. Bouyer, J. Durickovic, I. & Moutton, M., Caractérisation des îlots de chaleur urbains par mesure dynamique embarquée, Premiers résultats sur la ville de Nancy, Centre d'études techniques de l'équipement de l'Est, juillet 2011
26. Sakhy, A. Madelin, M. Beltrando, G., Les échelles d'étude de l'îlot de chaleur urbain et ses relations avec la végétation et la géométrie de la ville (exemple de Paris), Université Paris Diderot-Sorbonne Paris-Cité, février 2011.

**Référence électronique**

27. Cantat, O., « L'îlot de chaleur urbain parisien selon les types de temps », Norois [En ligne], 191 | 2004/2, mis en ligne le 10 septembre 2008, consulté le 06 février 2015. URL : <http://norois.revues.org/1373>.
28. <http://www.cactus2000.de>, consulté juin-septembre/2015.
29. <http://www.envi-met.com>, consulté Avril-septembre/2015.
30. <http://www.ogimet.com>, consulté le 01/07/2015
31. <http://www.thermexcel.com>, consulté 27/06/2015.
32. <http://fr.viewweather.com/> consulté septembre/2015.
33. <http://wikydro.developpement-durable.gouv.fr/> consulté 03/09/2015.