

**epau**

République algérienne démocratique et populaire  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
**Ecole polytechnique d'architecture et d'urbanisme**

**Laboratoire** : Ville Urbanisme et Développement Durable VUDD  
**Axe** : Qualité Urbaine et Environnementale et Développement Durable QUEDD



# Mémoire de Master

Qualité urbaine d'un quartier au regard de la  
chaleur anthropogénique  
Cas de la cité Rabia Tahar

Elaboré par:

Zahra HADJI

Jury:

Président: Mr Mohammed SRIR, Maître-assistant, **epau**

Examineur: Mme Myriam MAACHI- MAIZA, Maître-assistante, **epau**

Examineur: Mme Amina MENOVAR, Architecte, Maître-assistante, **epau**

Encadreur: Mme. Assia FERNINI HAFFIF, Maître-assistante, **epau**

Octobre 2017

**epau**

République algérienne démocratique et populaire  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
**Ecole polytechnique d'architecture et d'urbanisme**

**Laboratoire** : Ville Urbanisme et Développement Durable VUDD  
**Axe** : Qualité Urbaine et Environnementale et Développement Durable QUEDD



# Mémoire de Master

Le bilan thermique de la ville comme outil  
d'évaluation de la chaleur anthropogénique  
**Cas de la cité Rabia Tahar**

Elaboré par:

Zahra HADJI

Jury:

Président: Mr Mohammed SRIR, Maître-assistant, **epau**

Examineur: Mme Myriam MAACHI-MAIZA, Maître-assistante, **epau**

Examineur: Mme Amina MENOVAR, Architecte, Maître-assistante, **epau**

Encadreur: Mme. Assia FERNINI HAFFIF, Maître-assistante, **epau**

Octobre 2017

## RESUME

**Résumé** Les villes regroupent aujourd'hui selon l'Organisation des Nations Unies 51% de la population mondiale, elles émettent par conséquent plus de 70% du budget global de CO<sub>2</sub>. Ces émissions sont à l'origine du changement climatique que nous constatons et qui constitue aujourd'hui une menace irréfutable envers l'homme. En effet, la modification du climat en ville est avérée à travers entre autres, les élévations de température constatées et conséquemment les conditions d'inconfort thermique que subit la population.

A l'instar des autres villes, Alger étant une ville à climat chaud qui enregistre régulièrement une augmentation de sa population urbaine ; des augmentations excessives des températures sont enregistrées en été, provoquant ainsi des effets d'îlot de chaleur urbain comme conséquence des émissions de chaleur anthropogénique.

Dans ce contexte, nous tentons à travers cette recherche d'introduire la notion de « chaleur anthropogénique », son rôle dans la ville, ses manifestations, ses causes et la mise en lumière des options potentielles pour sa modération à l'échelle urbaine.

Cette recherche tente ainsi d'éclaircir les manifestations de la chaleur anthropogénique en ville en s'appuyant sur le bilan d'énergie thermique qui permet d'appréhender la majorité des perturbations générées par la ville. A l'aide d'une grille d'évaluation adaptée aux données locales et appliquée aux sources de chaleur anthropogénique (bâtiment, transports, industries, métabolisme humain) nous démontrons ses manifestations locales ; dans la commune la plus chaude de la capitale, à savoir Bab-Ezzouar ; et plus particulièrement une étude de cas à l'échelle du quartier de la cité Rabia Tahar.

Mots clés : Chaleur anthropogénique, Chaleur sensible, Chaleur latente, Bilan thermique de la ville.

### المخلص:

51% من الميزانية العالمية 70% من سكان العالم، مما أدى إلى إنفاق 51 تشكل المدن حاليا وفقا لمنظمة الأمم المتحدة لثاني أكسيد الكربون. هذه الانبعاثات هي السبب في التغيرات المناخية التي نعيشها والتي تشكل تهديدا لا يمكن دحضه للإنسان. حقيقة، التعديلات المناخية في المدينة يمكن ملاحظتها من خلال زيادات درجات الحرارة و بالتالي ظروف عدم الراحة التي يعاني منها السكان

الجزائر مثلها مثل المدن الأخرى تعد مدينة مناخية ساخنة تسجل زيادة منتظمة في سكانها الحضريين، ارتفاع مفرد في درجات الحرارة المسجلة صيفا، مما أدى إلى آثار الجزر الحضرية نتيجة الانبعاثات الحرارية الناجمة عن الأنشطة البشرية و في هذا السياق، و من خلال هذا البحث نحاول إدخال مفهوم الحرارة البشرية، دورها في المدينة، مظاهرها . أسبابها و تسليط الضوء على الخيارات المحتملة لتعديلها على النطاق الحضري

يحاول هذا البحث توضيح مظاهر الحرارة البشرية في المدينة معتمدين في ذلك على توازن الطاقة الحرارية الذي يسمح بالتطرق الى غالبية الاضطرابات الناتجة عن المدينة، وذلك باستخدام شبكة تقييم تتناسب مع البيانات المحلية وتطبيقها على مصادر الحرارة البشرية (البناء، النقل، المصانع والتمثيل الغذائي البشري)، نبيّن مظاهرها المحلية على مستوى البلدية الأكثر سخونة في الجزائر العاصمة و هي باب الزوار، بالتحديد دراسة مثال على مستوى الحي رابية طاهر

الكلمات المفتاحية : الحرارة البشرية، الحرارة الحساسة، الحرارة الكامنة، التوازن الحراري للمدينة

**Abstract** According to the United Nations Organization, cities now account for 51% per cent of the world's population, therefore they emit more than 70% of the overall CO2 budget. These emissions are the cause of the climate change observed and which today constitutes an irrefutable threat to humanity. Indeed, the modification of the climate in the city is proved through inter alia, the temperature increases observed and consequently the conditions of thermal discomfort that the population undergoes.

Like other cities, Algiers is a hot-climate city that regularly records an increase in its urban population; excessive temperature increases are recorded in summer, thus causing urban heat island effects as a result of anthropogenic heat emissions.

In this context, we try through this research to introduce the notion of "anthropogenic heat", its role in the city, its manifestations, its causes and the potential options for its moderation at the urban scale.

Thus, this research attempts to clarify the manifestations of anthropogenic heat in the city based on the thermal energy balance which makes it possible to understand the majority of the disturbances generated by the city.

Using an evaluation grid adapted to local data and applied to sources of anthropogenic heat (building, transport, industries, human metabolism) we demonstrate its local manifestations ; in the hottest commune of the capital, namely Bab-Ezzouar ; and more specifically, a case study at the district level of Rabia Tahar.

**Key words:** Anthropogenic heat, Sensitive heat, Latent heat, Thermal balance of the city.

---

---

## REMERCIEMENTS

Je remercie Allah le tout puissant de m'avoir donné la santé, la force et le courage de mener à bien ce projet de recherche.

Avant toute chose, je tiens remercier la personne sans qui rien n'aurait été possible ma chère mère qui a été toujours à mes côtés. A mon père pour son grand cœur et son soutien, ainsi que ma sœur Neila et mon frère Yanis pour leurs encouragements, leur amour et leur coolitude.

A mes grandes mères et mon grand-père pour leur affection et leur tendresse.  
Je remercie tous les membres de ma famille, mes oncles, tantes et cousines qui m'ont bien rappelé toute l'année que je soutenais !

Mes sincères gratitude à mon encadreur Mme. FERNINI- HAFFIF pour la qualité de son enseignement, ses conseils et son intérêt incontestable.

Un énorme merci à mon amie Tassadit qui m'a accompagnée pendant tout le cursus, parce qu'il n'y a pas de Zahra sans Tassa.

À tous mes amis de Blida Sara, Louisa et Anis ainsi que tous ceux qui ont intervenu de près ou de loin à la concrétisation de ce projet, je présente mon respect et ma gratitude.

Merci à tous.

## Table des matières

Table des matières	6
A. Contexte global	8
Réchauffement climatique	8
Le climat urbain vers quelles interactions anthropiques ?	10
B. Intérêt de la recherche	10
Contexte Local	11
Problématique	13
Hypothèse	13
Objectifs du travail	13
Méthodologie et structure de recherche	14
I.1 La chaleur en ville, cause anthropique ou anthropogénique ?	15
I.2 Modification du bilan d'énergie thermique de la ville	16
I.2.1 Rayonnement net ( $Q^*$ )	17
II.2.2 Flux de chaleur d'origine anthropogénique ( $Q_F$ )	18
I.2.3 Variation de la quantité de chaleur stockée ( $\Delta Q_S$ )	18
I.2.4 Flux de chaleur sensible ( $Q_H$ )	19
I.2.5 Flux de chaleur latente ( $Q_E$ )	20
II.2.6 Flux de chaleur advectif ( $\Delta QA$ )	20
II.2.7 Synthèse	21
I.3 Sources du Bilan de chaleur anthropogénique de la ville	21
II.3.1 Métabolisme humain ( $Q_M$ )	22
II.3.2 Véhicules et transports ( $Q_V$ )	23
I.3.3 Bâtiments ( $Q_B$ ) et industrie ( $Q_I$ )	23
I.3.4 Synthèse	25
I.4 Palier commun et manifestations urbaines de la chaleur anthropogénique	25
I.5 Les méthodes d'évaluation de la chaleur anthropogénique	29
I.5.1 Approche d'inventaire	29
I.5.2 Approche résiduelle du budget énergétique :	29
I.5.3 Approche fondée sur des modèles énergétiques de bâtiments	30
I.5.4 Comparatif des approches	30
I.6 Conclusion	31
II.1. Alger soumise au réchauffement	32

Le Climat algérois _____	32
Qu'en est-il des instruments d'urbanisme ? _____	32
Rétrospective climatique _____	33
Vulnérabilité d'Alger _____	35
II.2. les Sources du Bilan de chaleur anthropogénique au niveau de la commune de Bab Ezzouar _____	36
Le bâtiment _____	37
Le transport _____	38
Le métabolisme humain _____	38
L'industrie _____	38
II.3 La cité Rabia Tahar _____	39
Consommation électrique d'été _____	40
Mixité fonctionnelle _____	41
situation du quartier _____	41
III.1. Choix de la méthode _____	43
IV.2. Etapes de sélection des paramètres influençant la chaleur anthropogénique _____	44
Bilan d'énergie thermique et chaleur anthropogénique, le croisement _____	44
Extraction des paramètres _____	45
Regroupement par domaines _____	46
IV.3.1 Morphologie et usage du sol _____	46
III.3.2 Démographie et comportement humain _____	46
III.3.3 Stockage de chaleur et textures urbaines _____	47
III.3.4 Aménagement et environnement _____	47
III.3. Affectation des indicateurs _____	47
III.4 Priorisation des indicateurs _____	50
III.5 Conclusion _____	53
IV.1 Evaluation et fiches d'indicateurs _____	54
IV.2 Enquête in situ _____	87
IV.3 Résultats et discussion _____	88
IV.4.1 Discussion par paramètres _____	88
IV.4.2 Discussion par domaines _____	89
IV.4.3 Conclusion _____	96

# INTRODUCTION

## A. CONTEXTE GLOBAL

### RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE

Les villes regroupent aujourd'hui selon l'ONU 51% de la population mondiale, elles émettent par conséquent plus de 70% du budget global de CO<sub>2</sub>. Ces émissions sont à l'origine du bouleversement climatique que nous constatons et qui constitue aujourd'hui une menace irréfutable envers l'homme, provoquant un réchauffement de l'atmosphère planétaire qui persiste pendant une période prolongée de plus d'une décennie.

Les changements climatiques, sont les variations des caractéristiques météorologiques en un endroit sur une longue durée entraînant des dommages importants<sup>1</sup>. Ces variations constituent des aléas qui sont des événements potentiellement dangereux, une fois ces derniers sont confrontés à des enjeux humains ou matériels, ils constituent alors des risques.

Les aléas se distinguent en deux types :

#### 1. Évolutions tendanciennes :

- Évolution du régime de précipitation,
- Changement dans le cycle de gelées (diminution du nombre, décalage dans le temps,
- Diminution de l'enneigement (durée et quantité),
- Élévation du niveau de la mer (érosion et submersion permanente),
- Perturbation dans les conditions de vent,
- Augmentation de la température des cours d'eau et des lacs,
- Variation de l'irradiation solaire,
- Augmentation des températures : moyennes (air, cours d'eau, lacs, ...) et maximales.

#### 2. Extrêmes climatiques :

- Inondations,
- Surcote marine (submersion temporaire),
- Vagues de tempêtes,
- Vagues de chaleur.<sup>2</sup>

Parmi les risques, la notion de réchauffement climatique apparaît comme un concept instauré et approuvé depuis quelques années. Cependant l'origine de ce réchauffement faisait jusqu'à récemment polémique. Ainsi, le 5<sup>ème</sup> rapport des GIEC (Groupe d'experts

---

<sup>1</sup> A. Bourque, *Les changements climatiques et leurs impacts*, Numéro spécial : *Changements climatiques*, VertigO, 2000

<sup>2</sup> *Guide d'accompagnement des territoires pour l'analyse de leur vulnérabilité socio-économique au changement climatique - CGDD (traitement I Care Environnement)*, <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/404>

intergouvernemental sur l'évolution du climat) mentionne qu' "il est extrêmement probable que l'influence de l'homme a été la cause principale du réchauffement observé depuis la moitié du XXe siècle [...] Le réchauffement du système climatique est sans équivoque et ce depuis 1950. On observe dans ce système de nombreux changements sans précédent à une échelle temporelle allant de quelques décennies à plusieurs millénaires."<sup>3</sup>

L'opinion mondiale tient pour responsable de cette différence, le développement humain avec entre autres les émissions issues de la production d'énergie 24%, des industries 23%, l'agriculture 17% , les transports 14%, la déforestation 14% et l'urbain 8% (bâtiments).<sup>4</sup>

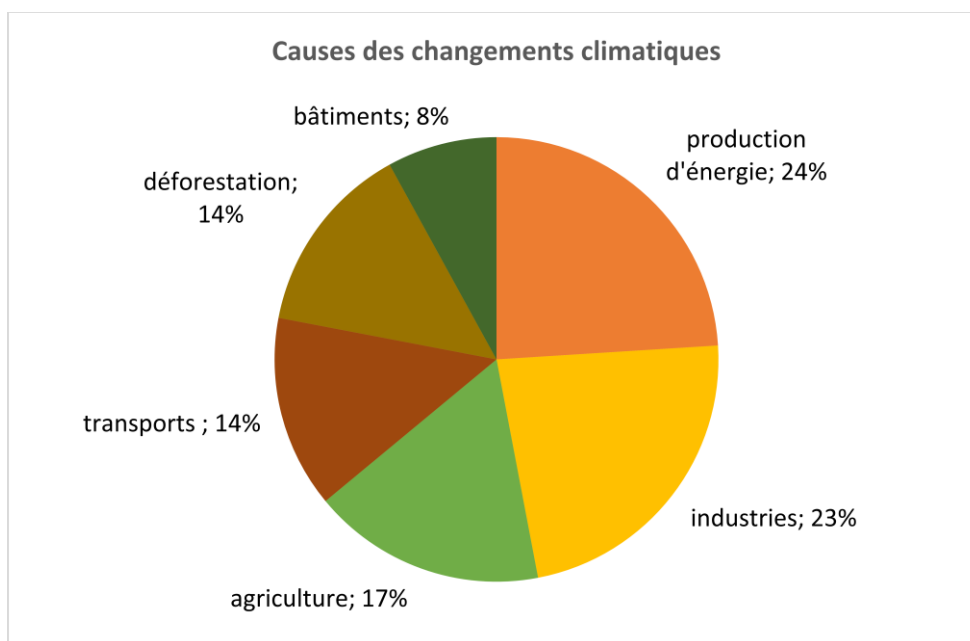


Fig.1 : Facteurs anthropogéniques du réchauffement source : élaboré par auteur d'après séminaire VUDD, cours du Pr.Berezowska-Azzag. E, 2016

Le GIEC explique aujourd'hui qu'"il est **extrêmement probable** (c'est à dire avec une probabilité d'au moins 9,5 chances sur 10 pour que l'affirmation soit correcte) que l'influence humaine sur le climat a été la cause dominante du réchauffement observé depuis le milieu du vingtième siècle". "C'est avec un degré de **très haute confiance** que l'on peut affirmer que l'effet global moyen net des activités humaines depuis 1750 a été le réchauffement".

Ce constat découle de l'observation rigoureuse des données atmosphériques et océanographiques et des événements climatiques extrêmes mais surtout des mesures de

<sup>3</sup> Portail Algérien des ENERGIES RENOUVELABLES, Point focal du GIEC en Algérie : Les actions de l'Algérie pour lutter contre le changement climatique, Noureddine YASSAA.

<sup>4</sup> Séminaire de Master VUDD, cours du Pr. BEREZOWSKA-AZZAG E., 2016.

concentrations de gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, méthane et oxyde nitreux) atteignant actuellement des records avec une augmentation de 40% depuis l'ère préindustrielle, **du fait principalement des émissions anthropiques et, dans une moindre mesure, du changement d'affectation des sols.**

Les thèses climato-sceptiques selon lesquelles les changements observés depuis 1998 soient naturels ayant été réfutées par le 5<sup>ème</sup> rapport des GIEC (qui remplace son prédécesseur publié il y a 7 ans) confirme l'influence des activités humaines sur le climat. *"Chacune des trois dernières décennies a été successivement plus chaude à la surface de la Terre qu'aucune des décennies précédentes depuis 1850."*<sup>5</sup> **L'actualisation des connaissances** clés sur le climat **est indispensable et son application dans les domaines liés aux risques qu'il incombe, notamment en ville.**

#### LE CLIMAT URBAIN VERS QUELLES INTERACTIONS ANTHROPIQUES ?

Les villes et les centres urbains sont de plus en plus importants parce que de plus en plus de personnes vivent dans les villes. Les températures et les conditions de confort dans les zones urbaines jouent donc un rôle important. Toutefois, en raison du changement climatique et de l'effet des îlots de chaleur urbains, les conditions de vie deviennent difficiles, surtout pendant les périodes de vague de chaleur en été, lorsque les effets de la ventilation sont limités. Un des principaux facteurs contributifs sont les émissions anthropiques de chaleur causées par les personnes dues au conditionnement des bâtiments, au trafic, etc. On sait peu de choses sur la quantité de ces émissions jusqu'à présent. Pour modéliser les conditions microclimatiques autour des bâtiments, on ne tient généralement compte que d'un seul facteur des émissions anthropiques : la consommation énergétique du bâtiment<sup>6</sup>, ce qui pourrait ne pas toujours suffire pour représenter précisément ces émissions.

## B. INTERET DE LA RECHERCHE

---

<sup>5</sup> 5<sup>ème</sup> Rapport des GIEC, d'après

<sup>6</sup> J. Bouyer, *Modélisation et simulation des microclimats urbains - Etude de l'impact de l'aménagement urbain sur les consommations énergétiques des bâtiments. Energie électrique, Université de Nantes, 2009.*

## CONTEXTE LOCAL

L'Algérie se situe au top 100 des pays à risque de changement climatique possédant un indice de 7,63 % de vulnérabilité (*World Risk Index (WRI)*), cet indice a été calculé selon des indicateurs d'exposition aux risques (séismes, cyclones...etc.) et de vulnérabilité (capacité d'adaptation).

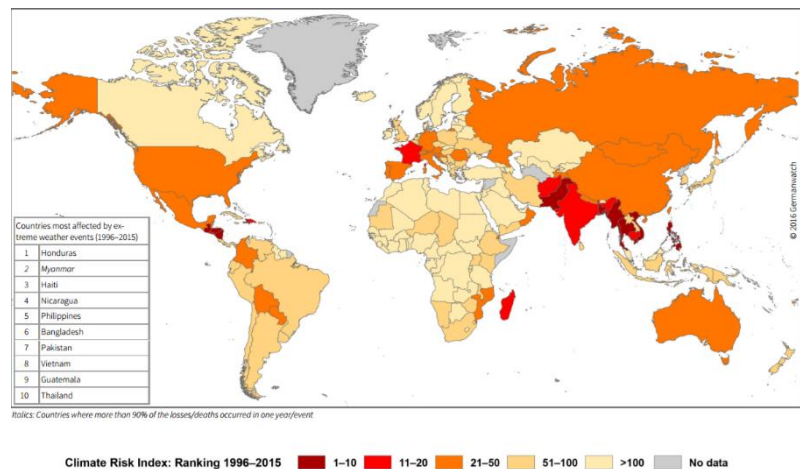


Fig.2: Carte mondiale du world risk Index

Source: German watch and Munich RE NatCatSERVICE

L'Algérie n'est donc pas épargnée et est sujette à de nombreux risques, parmi les manifestations énumérées par le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) on retrouve :

- Une augmentation du niveau de la mer de 16 cm.
- Une baisse des pluies de 10 à 15%
- Une modification des fréquences et intensité des évènements climatiques
- Une augmentation de l'urbanisation de 17% en 2030.<sup>7</sup>

<sup>7</sup>

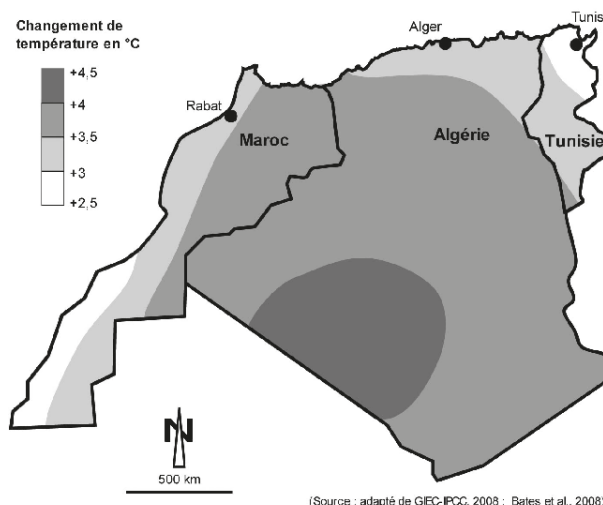
Séminaire Master VUDD, Pr. Azzag, Mars2016.

## Descente d'échelle sur Alger

Dans l'illustration ci-après, on observe que le réchauffement dans la région de l'Algérois est plus important que la moyenne planétaire qui est de l'ordre de 0,7 à 0,8 °C. À l'horizon 2100, Alger connaîtrait une hausse pouvant aller à 3.5°C.

Fig.3 : Le changement des températures annuelles à l'horizon 2080/2099 par rapport à 1980-1999 (moyenne de 21 modèles)

Source : Mohamed Taabni et Moulay-Driss, 2012



(Source : adapté de GIEC-IPCC, 2008 ; Bates et al., 2008)

Ainsi, d'après l'étude de vulnérabilité élaborée par EGIS-EAU les effets se matérialisent sur :

- Une élévation des températures de 0.5°.
- Une diminution des terres agricoles de la Mitidja à cause de l'urbanisation.
- Des précipitations intenses allant jusqu'à 260mm en 18 heures.
- La montée de la mer méditerranée (16 cm) et l'augmentation du risque d'inondations sur la côte et les crues d'oued.
- Une baisse globale des précipitations annuelles de 10%.
- Allongement des périodes de sécheresse.<sup>8</sup>

Alger étant une ville caractérisée par un climat méditerranéen aux étés chauds et secs et aux hivers doux et humides, et au vu des constats d'élévation fort probable des températures et en raison de l'augmentation prévue de la population urbaine au cours des prochaines décennies, il nous semble opportun de caractériser un aspect fondamental de l'environnement urbain contribuant au réchauffement et qui est identifié par la chaleur anthropogénique.

<sup>8</sup> LALAOUI - HECHICHE Leila, *La prospective urbaine face aux enjeux des changements climatiques, Cas d'étude : Communes littorales de la wilaya d'Alger*, 2014.

M. TAABNI ET M. DRISS, 2012 *EL JIHAD, EAU ET CHANGEMENT CLIMATIQUE AU MAGHREB : QUELLES STRATEGIES D'ADAPTATION ?*, *L'AFRIQUE FACE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES*, 2012.

## PROBLEMATIQUE

L'augmentation de la température en ville est de plus en plus manifeste et à des fins de confort, les modalités de rafraîchissement s'imposent. Il est indéniable que les modes de rafraîchissement adoptés, tels que la climatisation, ont cependant un impact néfaste sur la consommation d'énergie.

Sur un autre plan, tout ce qui est généré par l'activité humaine est rejeté au niveau de l'atmosphère sous forme de chaleur anthropogénique, issues de différentes sources, tel que le bâtiment, l'industrie, le transport et même le métabolisme humain.

Une boucle de rétroaction s'installe alors et ne cesse de s'auto-amplifier, augmentant systématiquement le niveau des températures excessives qui nous laisse perplexes et nous incite à nous poser les questionnements suivantes :

- **Comment se manifeste l'impact de la chaleur anthropogénique à l'échelle d'un quartier ?**
- **Quelles interactions entre composantes urbaines et production de chaleur anthropogénique ?**

## HYPOTHESE

Nous tenterons à travers ce travail de vérifier l'hypothèse suivante :

- **L'identification des éléments sources de la chaleur anthropogénique au niveau d'un quartier et leur niveau d'influence est un levier fondamental qui tend à diminuer la demande énergétique et à réduire en finalité la chaleur en ville.**

## OBJECTIFS DU TRAVAIL

Le résultat escompté de cette recherche vise à contribuer à la maîtrise de la chaleur à l'échelle urbaine locale, avec un essai d'évaluation du niveau de contribution de l'urbain dans l'émission de chaleur anthropogénique

L'approfondissement sur cet aspect de la chaleur en ville est capable d'orienter les décisions de rafraîchissement urbain et les actions d'adaptation au risque de réchauffement. Nous visons donc deux objectifs :

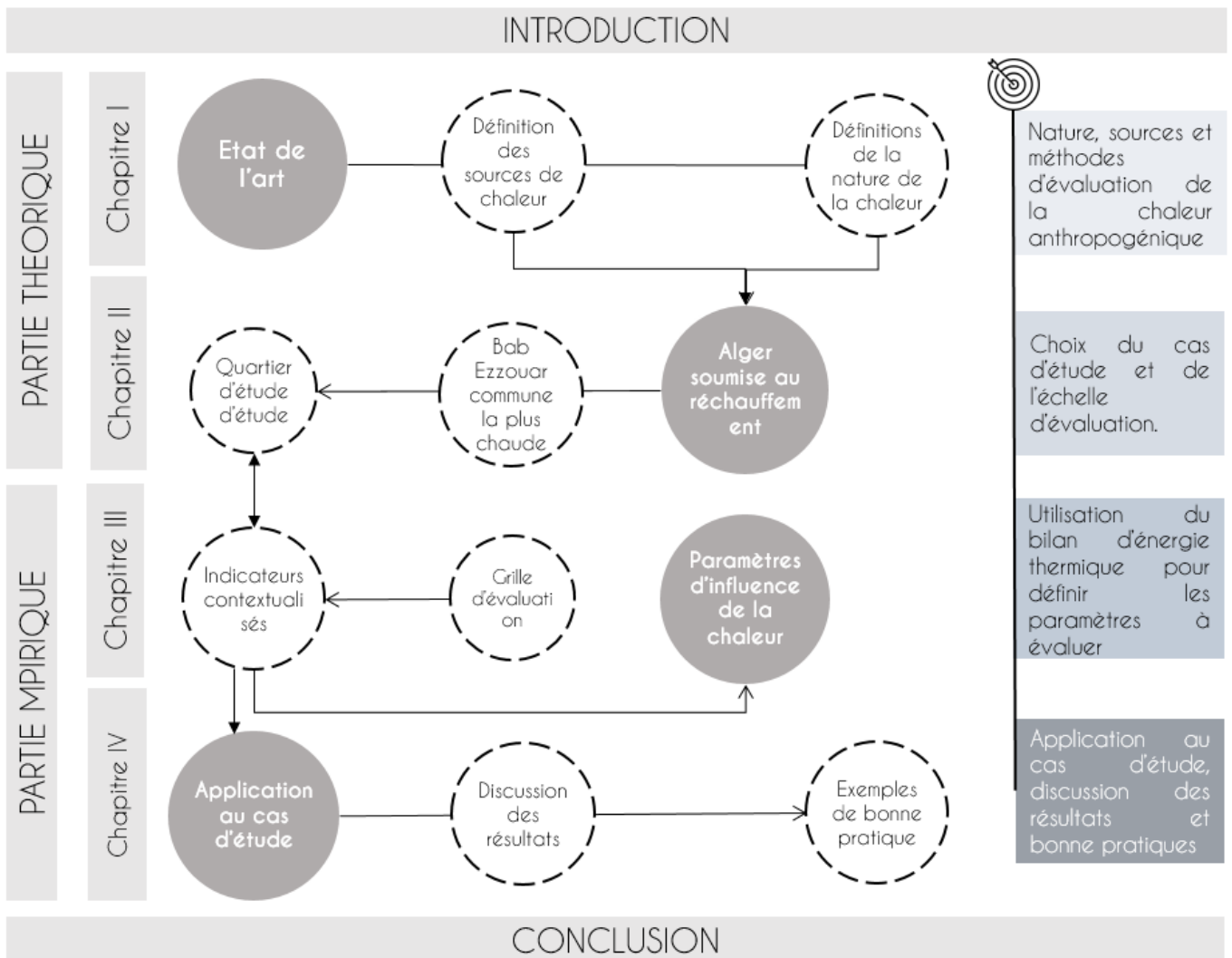
1. **Faire correspondre les sources urbaines d'émission de la chaleur anthropogénique aux paramètres urbains l'influençant. Evaluer le degré d'impact de ces manifestations.**
2. **Etablir une démarche d'identification des mesures de réduction de chaleur anthropogénique agissant sur les domaines.**

METHODOLOGIE ET STRUCTURE DE RECHERCHE

Afin d'éclairer le concept de chaleur anthropogénique au niveau de l'urbain, nous avons adopté une approche descendante « Top down » où, partant des composantes globales du concept, nous avons tenté une décomposition et identification plus détaillées, pour éclairer méthodiquement sur un état des lieux de l'objet étudié, en l'occurrence un quartier témoin de la ville d'Alger.

Afin d'atteindre les objectifs visés, le travail se déroulera suivant les étapes ci-dessous où il s'agira de :

- Déterminer les différents domaines de la chaleur anthropogénique et la nature des manifestations urbaines.
- Identifier les éléments urbains qui interagissent et affectent la chaleur anthropogénique
- Tester une approche d'évaluation du degré de contribution du milieu urbain (échelle du quartier) à la chaleur anthropogénique.



---

# CHAPITRE I - ETAT DE L'ART

## I.1 LA CHALEUR EN VILLE, CAUSE ANTHROPIQUE OU ANTHROPOGENIQUE ?

Selon la littérature, il existe deux termes employés qui peuvent parfois prêter à confusion, c'est pour cela qu'il est important de se positionner en amont sur le terme employé ainsi, on retrouve pour la définition de ces deux concepts :

**Anthropogénique :** En ethnologie, science humaine et sociale, le qualificatif anthropogénique s'emploie pour expliquer que les résultats constatés sont dus à l'activité humaine. L'Homme est donc la cause d'un phénomène anthropogénique. Par exemple: Le réchauffement de la planète s'explique par une surproduction anthropogénique de di oxyde de carbone (CO<sub>2</sub>).<sup>9</sup>

**Anthropique :** Le dictionnaire de l'environnement définit ce concept comme relatif à l'activité humaine. Qualifie tout élément provoqué directement ou indirectement par l'action de l'homme : érosion des sols, pollution par les pesticides des sols, relief des digues, ... . Du grec anthropos (homme).

Le LAROUSSE le définit comme se disant d'un paysage, d'un sol, d'un relief dont la formation résulte essentiellement de l'intervention de l'homme.

Dans le cadre de notre recherche, le terme « chaleur anthropogénique » sera adopté car :

- La chaleur étudiée dans le mémoire relève exclusivement de l'action humaine, elle est la résultante d'une action anthropique
- Bien que le terme « anthropogénique » ai été importé de l'anglais « anthropogenic » et est de ce fait apparu au fil des traductions, il n'a certes pas encore été intégré dans les dictionnaires de français, il est cependant adopté dans différents documents scientifiques.
- Et enfin, la majorité de notre bibliographie étant anglophone, et dans le but de rester fidèle au sens premier, nous avons préféré adopté ce terme dans son appellation d'origine à savoir chaleur anthropogénique (Anthropogenic Heat).

---

<sup>9</sup>

[www.linternaute.com/dictionnaire/fr/definition/anthropique/](http://www.linternaute.com/dictionnaire/fr/definition/anthropique/)

## I.2 MODIFICATION DU BILAN D'ÉNERGIE THERMIQUE DE LA VILLE

Le bilan énergétique en milieu urbain permet d'associer les différents paramètres de transfert thermique qui déterminent les transformations du microclimat. Il peut être appelé bilan d'énergie, bilan énergétique ou bilan thermique.

COLOMBERT, M. (2008) décrit que l'apport d'énergie provient initialement du soleil (K) et l'atmosphère (L) et des rejets de chaleur dus aux processus anthropogéniques de combustion, de métabolisme et de rejets thermiques (QF). Ces trois termes sont à l'origine de processus radiatifs, de flux de chaleur sensible et latente. Ces transferts de chaleurs se font de trois façons : par conduction au sein du matériau, par convection et par rayonnement (de grandes longueurs d'onde).<sup>10</sup>

Selon Oke (1988), le bilan d'énergie d'un paysage urbain s'exprime ainsi :

$$Q^* + QF = QH + QE + \Delta QS + \Delta QA \quad (1)$$

Avec :

$Q^*$  : rayonnement net, résultant du bilan radiatif qui dépend des caractéristiques radiatives, albédo, et émissivité des surfaces) ;

$QF$  : flux anthropogénique, lié aux activités humaines (trafic routier, industries, chauffage) ;

$QH$  : flux de chaleur sensible, plus fort en milieu urbain ;

$QE$  : flux de chaleur latente, réduit avec la raréfaction de la végétation ;

$\Delta QS$  : flux de stockage de chaleur dans le sol, très important en milieu urbain car les matériaux étant imperméables mais de surface de conduction accrue, ils ont une très grande capacité de stockage ;

$\Delta QA$  : flux d'advection éventuel.

---

<sup>10</sup> M.DJAAFRI, *FORME URBAINE, CLIMAT ET ÉNERGIE QUELS INDICATEURS ET QUELS OUTILS ?*, Laboratoire Architecture et Environnement, École Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme, 2014

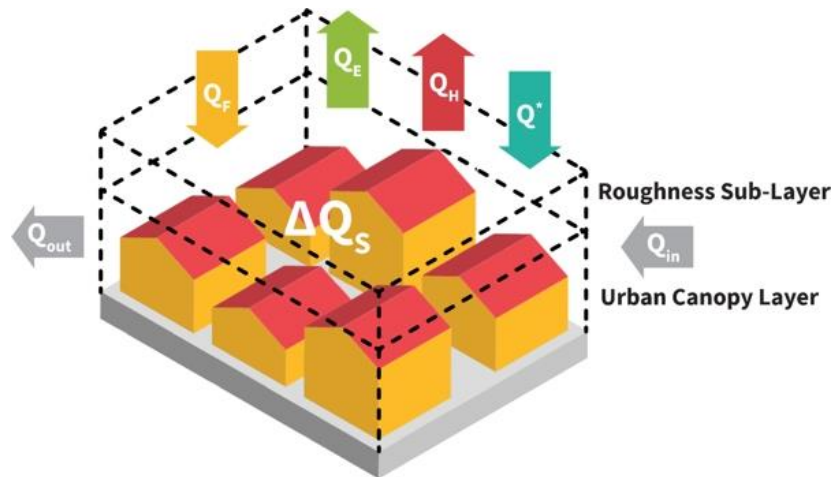


FIG.4 : BILAN ENERGETIQUE POUR UNE ZONE URBAINE SOURCE : THE URBAN FLUXES  
IDEA BY NEKTARIOS CHRYSOULAKIS<sup>11</sup>, INSPIRE DE DUCHENE-MARULLAZ, 1980

Dans cette équation, les termes de gauche représentent les apports d'énergie nets et les termes de droite les différents processus de dissipation et stockage d'énergie pour les surfaces considérées.

Les différences de température qui caractérisent la chaleur en ville proviennent d'une part des apports supplémentaires de chaleur anthropogénique ( $Q_f$ ) et d'autre part de la façon différente dont cette énergie est dissipée à la ville en comparaison à la campagne.<sup>12</sup>

La géométrie urbaine et l'imperméabilisation des surfaces par des matériaux artificiels, aux propriétés physiques différentes des sols naturels, entraînent d'importantes modifications des flux de surface par comparaison à ce qui se produit en milieu rural. Le flux de stockage de chaleur devient le facteur majeur du bilan d'énergie en surface : le flux de chaleur sensible reste élevé du fait de l'importance des surfaces de conduction des matériaux urbains et le flux de chaleur latente est quasi nul en raison de la couverture végétale très faible.<sup>13</sup>

### 1.2.1 RAYONNEMENT NET ( $Q^*$ )

Une plus grande capacité de chaleur signifie que les matériaux urbains absorbent et conservent plus de rayonnement solaire que les sols et la végétation rurale. La réflexion du rayonnement solaire à ondes courtes est également affectée par les propriétés du tissu urbain.

<sup>11</sup> urbanfluxes.eu consulté le 24-08-2017 à 12 :43

<sup>12</sup> C. De Munck, *Modélisation de la végétation urbaine et stratégies d'adaptation pour l'amélioration du confort climatique et de la demande énergétique en ville*. Institut national Polytechnique de Toulouse, 2013.

<sup>13</sup> R. Koukoku-Arnaud, J. Desplat, A. Lemonsu, J-L Salagnac, M. Lauffenburger, *Méthodologie pour la quantification de l'impact d'aménagements urbains sur un climat urbain modifié*, *Climatologie, numéro spécial 'Climats et changement climatique dans les villes'*, 2012

*Offerle et al. (2002)* A constaté à Llodz en Pologne que la chaleur anthropogénique peut contribuer à 60% de l'énergie globale avec une moyenne de 32 W/m<sup>2</sup>. La comparaison par rapport au rayonnement net indique aussi que l'AH à Londres pourrait être 3 à 25 fois supérieure au rayonnement net. (*Hamilton, Davies, Steadman, Stone, Ridley, Evans, 2009*)<sup>14</sup>

Pendant la journée, les murs verticaux du canyon piègent (c'est-à-dire reflètent et absorbent) le rayonnement à ondes courtes.

### II.2.2 FLUX DE CHALEUR D'ORIGINE ANTHROPOGENIQUE (Q<sub>F</sub>)

La chaleur anthropogénique représente la chaleur générée par les sources fixes et mobiles d'une région. Il est rapporté que le Q<sub>F</sub> doit être converti en rayonnements, en flux de chaleur sensible ou en flux de chaleur latente, ou il est stocké<sup>15</sup>. C'est pour cela que nous pouvons interpréter la formule du bilan énergétique de la ville de la manière suivante :

$$Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A - Q^* \quad (2)$$

**AH** (Anthropogenic heat) a un impact significatif sur le climat urbain. Il est largement reconnu comme l'un des principaux facteurs qui causent l'effet d'îlot de chaleur urbain. (*Taha, 1997*)

*Tong et al.* a estimé une valeur Q<sub>F</sub> maximale horaire d'environ 200 W m<sup>-2</sup> à Beijing, ce qui peut entraîner une augmentation de la température d'environ 0,5 ° C pendant la journée et de 1 à 3 ° C la nuit. Aussi, *Ichinose et al.* a constaté que les émissions d'AH ont entraîné une augmentation de la température de l'air nocturne d'environ 2-3 ° C en hiver et de 1,5 ° C en été à Tokyo.

### I.2.3 VARIATION DE LA QUANTITE DE CHALEUR STOCKEE (ΔQ<sub>s</sub>)

Un stockage de chaleur élevé s'opère dans les matériaux urbains à forte capacité thermique. La nuit, les surfaces urbaines dissipent cette chaleur stockée en journée, par refroidissement infrarouge, et limitent ainsi le refroidissement de l'air urbain.

---

<sup>14</sup> L. Allen, F. Lindberg and C. S. B. Grimmond, *Global to city scale urban anthropogenic heat flux: model and variability*, Environmental Monitoring and Modelling Group, Department of Geography, King's College London, The Strand, London, 2010

<sup>15</sup> A. Christen and R. Vogt, "Energy and radiation balance of a central european city " *international journal of climatology*, 2004

L'équation (2) du bilan énergétique de la ville est applicable pour les petites étapes de temps si l'on intègre le bilan énergétique au cours d'une période de 24 h, le terme de stockage net peut être supposé petit et ignoré. *Offerle et al. (2005)*<sup>16</sup>

*Christen et Vogt.2004*, ont rapporté qu'en raison de la configuration compliquée des matériaux de surface, des orientations et de leurs interactions, la mesure directe du flux de chaleur de stockage dans une zone urbanisée est presque impossible. Le terme est, habituellement, modélisé ou déterminé comme le résidu de l'équation.

#### I.2.4 FLUX DE CHALEUR SENSIBLE ( $Q_H$ )

Généralement, le flux de chaleur sensible a été observé significativement plus élevé dans les zones urbanisées ; des zones périurbaines d'Amérique du Nord en été (*Cleugh et Oke 1986*, *Grimmond et Oke 1995*) ou d'Asie durant toute l'année (*Moriwaki et Kanda, 2004*), des zones industrielles (été, inclus dans *Grimmond et Oke 1999*), des centres villes européens (été pour *Grimmond et al. 2004* et toute l'année pour *Christen et Vogt 2004*, *Offerle et al. 2005*).<sup>17</sup>

Cependant, quelques autres études ont démontré des exceptions à la règle, le bilan étant parfois dominé par la chaleur de stockage lorsque la zone est dense et les bâtiments ont des fortes capacités thermiques (murs en pierre épais) (*Oke et al. 1999*)

*Oke et Grimmond, 2001*, montrent des valeurs plus faibles de  $Q_H$  pour Tucson et Sacramento que pour leur environnement. Pour ces cas particuliers, ils observent que  $Q_E$  est plus fort en centre-ville à cause de l'irrigation des zones vertes ou des jardins en ville.

Il est important de savoir que  $Q_H$  a d'autres composantes que la configuration "naturelle" de la surface urbaine à l'apport d'énergie radiative. Les rejets de chaleur par les véhicules, les systèmes de chauffage ou les industries constituent une contribution anthropogénique directe. Celle-ci s'exprime en  $W/m^2$  et ses sources de rejet dans milieu urbain sont :

- a- **La consommation énergétique de bâtiment** est instantanément rejetée dans l'atmosphère en tant que chaleur sensible pour les bâtiments ayant un système de refroidissement classique (climatiseurs) à sec. L'analyse locale réalisée par *Trémeac et al. (2012)* sur Paris avec l'ensemble des scénarios climatisés montre que l'augmentation de température extérieure est proportionnelle à la puissance des rejets de chaleur sensible émis par les climatiseurs, il est en moyenne de 0.5 à 2°C, selon le niveau de déploiement de la climatisation.
- b- **La combustion des combustibles pour le trafic** génère 92% de la chaleur sensible et 8% de la chaleur latente, comme l'ont postulé (*Pigeon et al. 2007*).

<sup>16</sup> David J.Sailor, *A review of methods for estimating anthropogenic heat and moisture emissions in the urban environment, Mechanical and Materials Engineering, 2011*

<sup>17</sup> Morgane Colombert. *Contribution à l'analyse de la prise en compte du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville. Sciences de l'ingénieurphysics]. Université Paris-Est, 2008.*

- c- **Dans le secteur industriel**, une grande partie de la consommation d'énergie est convertie directement en chaleur à déchets sensibles (*Sailor, 2010*) (le reste est convertie en chaleur latente lorsqu'elle est éliminée à l'aide de tours de refroidissement par évaporation ou en échangeant de la chaleur avec une grande masse d'eau.)

Ainsi, on remarque que les manifestations urbaines de la chaleur anthropogénique se font principalement sur le bâtiment, le trafic et l'industrie. Ceci illustre le rapport intrinsèque entre chaleur et AH.

#### I.2.5 FLUX DE CHALEUR LATENTE ( $Q_e$ )

Généralement, la chaleur latente constitue le plus faible des termes puits du bilan d'énergie en ville, à cause de la raréfaction de la végétation ou des sols imperméables. (*Offerle et al. 2006*) montrent que le rapport de Bowen ( $QH/QE$ ) est proportionnellement inverse à la fraction surfacique occupée par la végétation.

Néanmoins, plusieurs études montrent que le taux d'évaporation des surfaces végétales éparpillées au cœur de la ville peut être plus élevé que celui que l'on observe pour une surface de végétation identique au milieu d'un paysage naturel (*Oke, 1979, Moriwaki et Kanda, 2004, Offerle et al. 2006*).

**Le flux résultant des combustions par l'activité humaine** a été régulièrement considéré comme une source non négligeable qui serait à l'origine de l'îlot d'humidité (*Hage, 1975*). Plus récemment, plusieurs estimations montrent plutôt qu'il s'agit d'une source négligeable. Par exemple *Holmer et Eliasson*(1999) estiment que le dégagement par le trafic serait de  $0,36 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  soit  $0,28 \text{ W m}^{-2}$ . La faiblesse de ces chiffres est confirmée par *Moriwaki et Kanda* (2004).

Cependant **une contribution anthropogénique** est observée sur les mesures du bilan d'énergie. *Offerle et al.* (2006) estiment, pour un site densément urbanisé de Łódź, que le flux latent représente environ 40% de l'apport radiatif en moyenne annuelle.

Si on considère des villes au milieu de zone semi-aride, l'existence de zones irriguées en ville peut conduire à un flux de chaleur latente plus important que dans l'environnement de la ville<sup>18</sup>.

*Grimmond* a décrit le flux de chaleur latente comme la plus grande partie de l'équilibre énergétique de la surface. Bien qu'il soit probable que le flux de chaleur latente soit faible dans une zone urbanisée en raison de la diminution de la végétation, il pourrait être élevé dans les zones végétalisées de la ville.

#### II.2.6 FLUX DE CHALEUR ADVECTIF ( $\Delta QA$ )

---

<sup>18</sup> *Gregoire Pigeon. Les échanges surface-atmosphère en zone urbaine - Projets CLU-ESCOMPTE et CAPITOU. Ocean, Atmosphere. Université Paul Sabatier - Toulouse III, 2007. Français*

Le flux de chaleur advectif, pourrait être appelé la mesure inexacte due aux variations spatiales de la température, de l'humidité et du vent. Il est suggéré que les effets de l'advection soit négligeables.

### II.2.7 SYNTHÈSE

Les zones urbaines enferment des sources composites de chaleur latente et sensible dues aux transferts de surface (sol et bâtiments) ou aux diverses sources ponctuelles de faible niveau (chauffage, automobiles) (*Piringer et Joffre, 2005*).

Les flux de chaleur sensibles et latents sont appelés flux de chaleur turbulents. Les zones fortement construites sont responsables de l'augmentation du flux de chaleur sensible qui est signalé comme variable selon la surface construite. L'intensité du flux de chaleur latente, d'autre part, varie d'une situation à l'autre comme l'ont conclu *Hafner et Kidder*, selon le type de végétation et la disponibilité de sol humide. L'étude réalisée par Suckling a rapporté un rapport de Bowen  $Q_h/Q_L$ , de jusqu'à 98% pour une pelouse suburbaine. Il a été signalé que les flux turbulents varient par rapport au  $Q^*$ .

Aussi, la production d'énergie anthropogénique est étroitement liée à la taille et à la densité de la ville, à ses fonctions et à son industrialisation, ainsi qu'à la zone climatique et aux besoins de chauffage ou de climatisation.

## I.3 SOURCES DU BILAN DE CHALEUR ANTHROPOGENIQUE DE LA VILLE

Aujourd'hui le mode de vie des gens et leur façon de travailler, se déplacer d'un endroit à l'autre, consommer et les technologies utilisées affectent les émissions de chaleur dans une ville qui influence le temps et le climat urbain. La chaleur anthropogénique est due principalement à trois types de sources :

- Les sources mobiles : le transport,
- Les sources fixes : production d'énergie des bâtiments et industries
- Les sources humaines : par l'homme lui-même<sup>19</sup>. (*Lindberg F., 2013*)

Ainsi, le bilan de chaleur anthropogénique de la ville s'exprime de la manière suivante :

$$Q_f = Q_v + Q_m + Q_b \quad (3)$$

Avec :

$Q_v$  : Flux de chaleur émise par les véhicules (W)

---

<sup>19</sup> F. Lindberg, C.S.B. Grimmond, N. Yogeswaran, S. Kotthaus, L. Allen, *Impact of city changes and weather on anthropogenic heat flux in Europe 1995–2015*, ELSEVIER, 2013.

$Q_b$  : Chaleur émise par le secteur du bâtiment, il s'agit de la chaleur libérée par des combustibles tels que le gaz naturel et le point d'usage du chauffage et la chaleur rejetée directement à partir de la consommation d'électricité.

$Q_m$ : Chaleur émise par le métabolisme humain, soit le nombre de population et les émissions journalières en kCal.

### II.3.1 METABOLISME HUMAIN ( $Q_M$ )

En 1972, *Fanger* estime le taux métabolique de sommeil d'un homme de 70 Kg typique à 75 W. Durant la période active (la journée) ce taux métabolique augmente jusqu'à 100 ou 200W.

L'ampleur du chauffage anthropogénique du métabolisme humain est intrinsèquement liée à la densité de population. L'ordre de grandeur serait alors pour une population d'une ville de 10 000 m<sup>2</sup> de 1.5W/m<sup>2</sup>.

Les densités variant dans les villes du monde, la centralité demeure mondialement un lieu

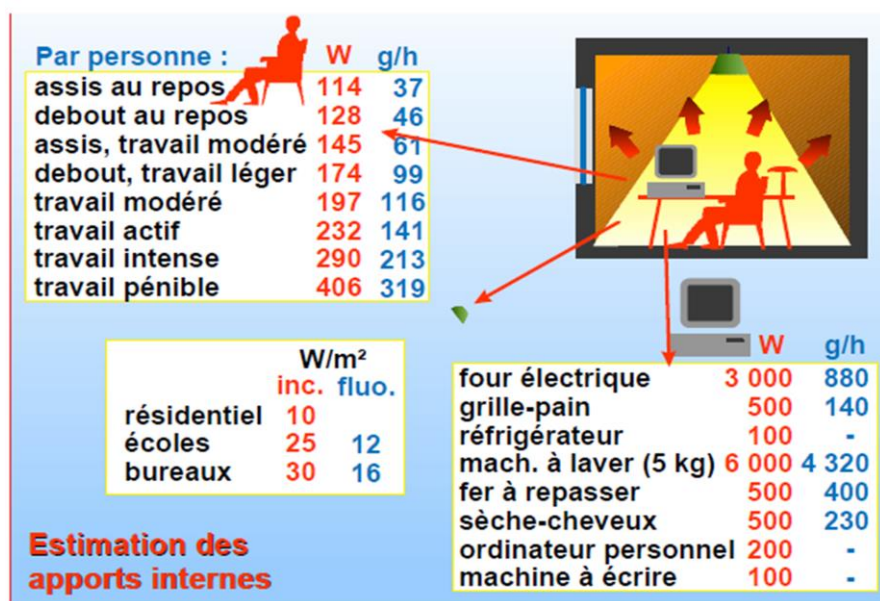


FIG.5 : ESTIMATION DES APPORTS INTERNES : CHALEUR METABOLIQUE ET EQUIPEMENTS SOURCE : TRAITE D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME BIOCLIMATIQUE.

de forte concentration de population principalement logée dans des bâtiments.

Le modèle de chaleur anthropogénique du bâtiment s'impose alors dans toute étude de chauffage anthropogénique total dans une zone urbaine. Cette composante est impliquée dans les charges d'occupation et le métabolisme ne doit par conséquent pas être traité séparément car il entrainera un double comptage de cette source et une incertitude du résultat. Selon *Sailor & Al. (2003)*, il représente 2 à 3% du flux total de chaleur anthropogénique.

### II.3.2 VEHICULES ET TRANSPORTS ( $Q_V$ )

La circulation automobile le long des voies mécaniques implique le dégagement de chaleur et d'humidité, associées à la combustion de l'essence ou du carburant diesel. Une valeur de chauffage typique pour les carburants de véhicules est de 45 MJ / kg. De plus, comme le combustible est brûlé la réaction chimique conduit à la génération de vapeur d'eau (chaleur latente). En effet, pour chaque litre d'essence ou de carburant diesel brûlé environ 1,0 kg de vapeur d'eau est générée<sup>20</sup>.

La difficulté de l'estimation des émissions anthropogéniques du secteur des véhicules réside dans plusieurs facteurs. Tout d'abord, la répartition spatiale et temporelle des véhicules sur les routes principales et secondaires de la ville. Ensuite, la variation de l'économie de carburant réelle des véhicules selon les types de véhicules, sachant que ces derniers ne sont pas répartis de façon homogène sur les routes au cours de la journée.

Selon *Pigeon et al. (2007)*, le flux de chaleur latente correspond à 8% et donc le flux de chaleur sensible à 92%. Pour trouver ce chiffre, ils ont considéré que les carburants utilisés sont proches de l'octane (C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>) et à partir de l'équation de combustion, la quantité de vapeur d'eau émise est estimée. Cette quantité est ensuite multipliée par la chaleur latente d'évaporation de l'eau et le rapport avec le pouvoir calorifique du carburant donne 8%.

La chaleur latente d'évaporation de l'eau est la quantité de chaleur requise pour transformer un gramme d'eau liquide en vapeur, sans changement de température. Par exemple, à 35°C, elle vaut 2 420 J/g.<sup>21</sup>

### I.3.3 BATIMENTS ( $Q_B$ ) ET INDUSTRIE ( $Q_I$ )

La composante industrielle est constante dans le temps et l'espace peu importe les variations météorologiques.

Une fois la zone d'étude délimitée et l'intensité industrielle quantifiée il est habituel de supposer cette donnée constante tout le long de l'année.<sup>22</sup>

Selon la région ou la ville étudiée, la consommation d'énergie mensuelle ou annuelle dans le secteur industriel peut être obtenue à partir des bases de données des services publics et / ou des agences gouvernementales de l'énergie. Les données sur l'utilisation des terres peuvent ensuite être utilisées pour répartir la consommation énergétique du secteur industriel dans les régions correspondantes de la ville.

---

<sup>20</sup> K. Klysiak, *Spatial and seasonal distribution of anthropogenic heat emissions in Lodz, Poland. Atmospheric Environment*, 1996.

<sup>21</sup> Morgane Colombert. *Contribution à l'analyse de la prise en compte du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville. Sciences de l'ingénieurphysic. Université Paris-Est*, 2008.

<sup>22</sup> David J. Sailor, *Anthropogenic Heat and Moisture Emissions in the Urban Environment, The seventh International Conference on UrbanClimate, Yokohama, Japan, 29 June - 3 July 2009.*

La partie majoritaire de la consommation énergétique du bâtiment est transformée en chaleur sensible, le reste est éliminé par des systèmes constructifs comme les tours de refroidissement par évaporation ou en échangeant de la chaleur avec une grande masse d'eau. Par conséquent, l'estimation du partage de la chaleur résiduelle dans le secteur industriel entre les composants sensibles et latents est difficile.

Dans le secteur du bâtiment le système CVC (chauffage, ventilation, climatisation) vise à modérer les conditions de confort thermique interne. En vue des échanges de chaleur avec l'environnement extérieur et les charges thermiques internes de l'éclairage et de l'équipement, le système CVC se doit de compenser les déperditions.

- En hiver, les déperditions se font par conduction, échange d'air intentionnel et fuites involontaires. Si on se fie aux données recueillies pour les bâtiments résidentiels qui ont généralement de 0,3 à 0,5 échanges d'air par heure, par extrapolation aux autres bâtiments : la moitié du volume d'air est remplacée par de l'air extérieur en l'espace d'une heure dans le bâtiment.
- En été, les déperditions se font par la conduction de l'enveloppe du bâtiment par le chauffage solaire des fenêtres refroidies alors par le système de climatisation (transmissivité de 65 à 75%).

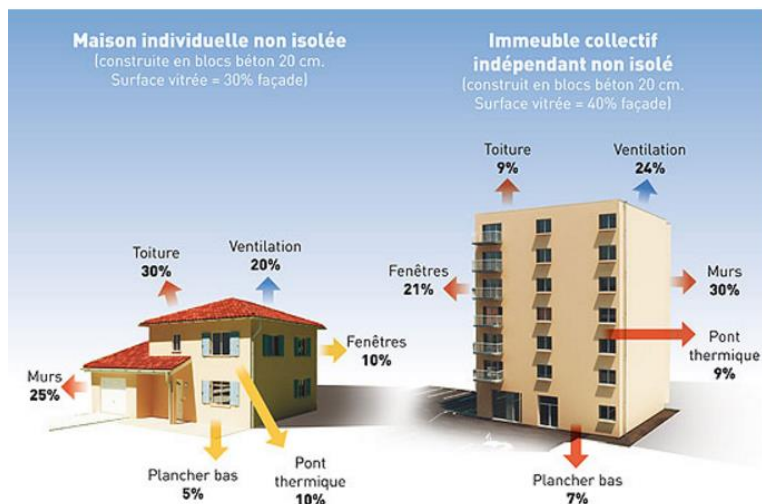


FIG. 6 : DEPERDITIONS THERMIQUES DES MAISONS INDIVIDUELLES ET IMMEUBLES COLLECTIFS.

Source : Maison guide isolation thermique de l'ADEME, collectif guide recommandations de DPE

Par conséquent, on peut conclure que d'une part, la chaleur perdue retirée d'un bâtiment en été par le système de climatisation peut être considérablement plus grande que la charge thermique associée à un simple inventaire de la consommation d'énergie dans le bâtiment. D'autre part, que les systèmes de climatisation échangeant de la chaleur avec l'environnement extérieur est majoritairement sous forme de chaleur sensible tout en prenant en compte une part minoritaire de chaleur latente.

Toutes ces complexités posent problème lors de la représentation des émissions de chaleur anthropogénique basées sur une simple approche d'inventaire de la consommation énergétique. Celle-ci ne tenant compte que de la chaleur sensible (négligeant les émissions de chaleur latente) pourrait avoir des décalages plus ou moins importants lors des estimations en fonction de la saison et des types de bâtiments considérés.

#### I.3.4 SYNTHÈSE

Les sources de chaleur anthropogénique incluent les sources mobiles (liées au transport), des sources fixes (le chauffage, le refroidissement, l'éclairage) et par les personnes elles-mêmes (le métabolisme). Il peut être transféré dans le système urbain via une chaleur sensible, une chaleur latente (changement de phase). Les sources et le moment de la chaleur anthropogénique varient considérablement selon l'emplacement et les caractéristiques de la ville (*Flanner, 2009; Allen et al., 2011; Sailor, 2011; Iamarino et al., 2012*). Les différences spatiales existent à la fois dans une ville (par exemple, entre les utilisations résidentielles, industrielles et commerciales) et entre les villes (en raison des modes de consommation d'énergie liés au climat ou au développement socio-économique).

De plus, les villes et le comportement de leurs résidents varient dans le temps. Dernièrement, des changements importants ont eu lieu dans l'utilisation de l'éclairage, du chauffage et des véhicules personnels, l'utilisation d'appareils (par exemple, les ordinateurs et les téléphones mobiles) et l'air conditionné d'été donc des émissions de chaleur anthropogéniques exacerbées dans les villes du monde entier. Pour modéliser le climat des villes et les effets des villes à l'échelle mondiale, il faut comprendre les flux anthropogéniques de chaleur à différentes échelles spatiales et temporelles (*Oleson et al., 2011; McCarthy et al., 2012; Zhang et al., 2013*).<sup>23</sup>

### I.4 PALIER COMMUN ET MANIFESTATIONS URBAINES DE LA CHALEUR ANTHROPOGÉNIQUE

La corrélation des deux équations de l'interprétation de la chaleur anthropogénique en ville est nécessaire au développement de la recherche sur les manifestations de celle-ci. C'est pour cela qu'une synthèse des sources de chaleur anthropogénique et une mise au point sur la nature de la chaleur.

---

<sup>23</sup> F. Lindberg, C.S.B. Grimmond, N. Yogeswaran, S. Kotthaus, L. Allen, *Impact of city changes and weather on anthropogenic heat flux in Europe 1995–2015*, 2016

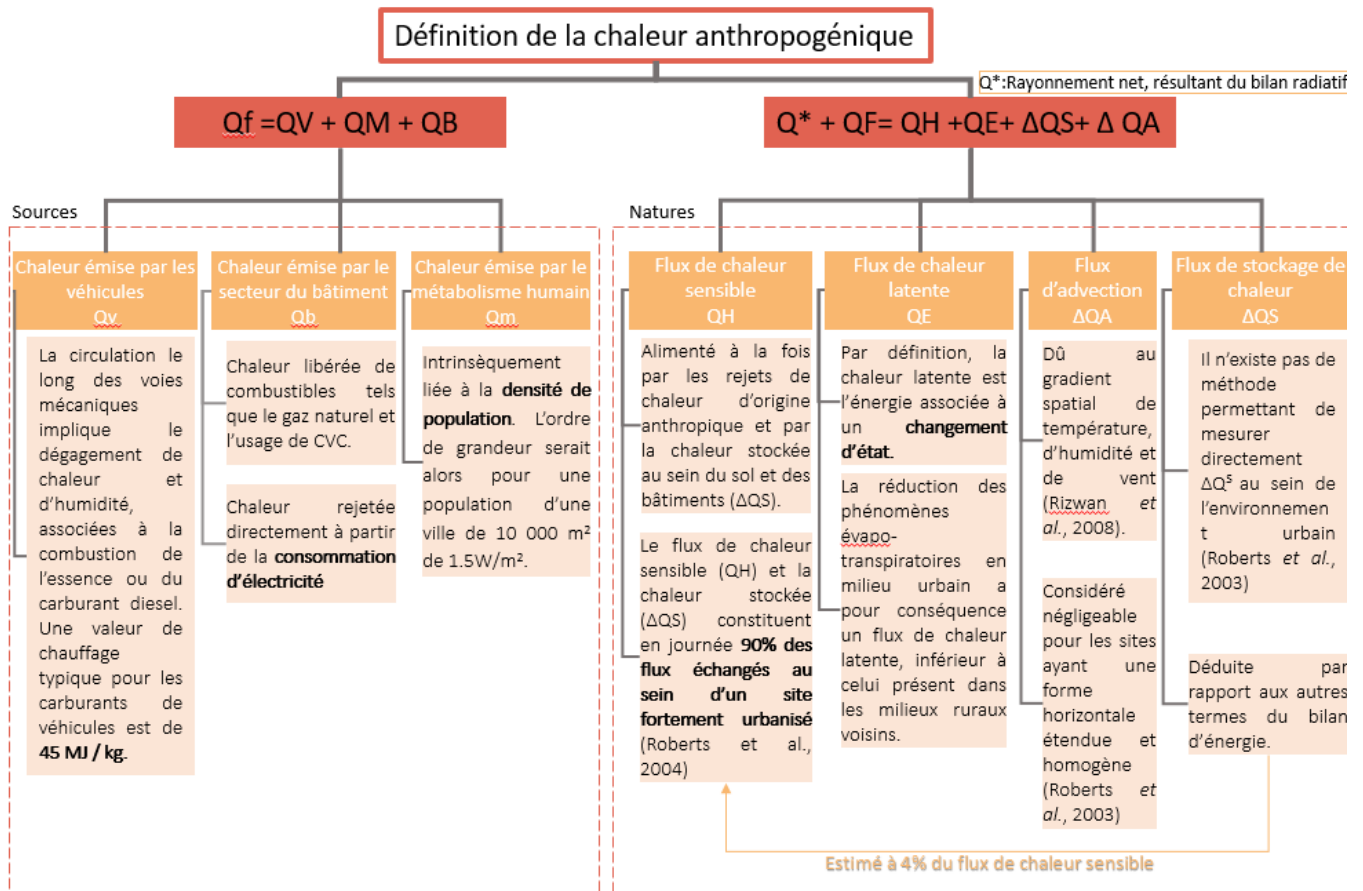


Fig.7 : Relation entre bilan d'énergie thermique et chaleur anthropogénique. Source : Auteur

Le flux de chaleur advectif ( $\Delta Q_A$ ) est supposé négligeable et le flux de chaleur stockée ( $\Delta Q_S$ ) est pratiquement impossible à mesurer aux vues de la configuration compliquée des matériaux de surface, des orientations et de leurs interactions, il est donc habituellement, modélisé ou déterminé comme le résidu de l'équation.

Le rayonnement absorbé par une surface correspond au rayonnement net. Ce dernier est la quantité d'énergie radiative disponible à la surface et pouvant être transformée en d'autres formes d'énergie par les divers mécanismes physiques de la surface (BONN et ROCHON, 1992).<sup>24</sup> Des études menées à Paris (Sarrat et al, 2006) comme à Athènes (Martilli et al, 2003) ont démontré l'influence des flux turbulents générés par la présence de la ville sur les distributions des polluants primaires et secondaires.

<sup>24</sup> Kotchi, Serge Olivier, *Détection du stress hydrique par thermographie infrarouge. Application à la culture de la pomme de terre, Université Laval dans le cadre du programme de maîtrise en sciences géomatiques, FACULTÉ DE FORESTERIE ET GÉOMATIQUE, 2004*

**Ceci étant, les termes du bilan qui seront pris en compte dans cette recherche concerneront dès lors le flux de chaleur sensible ( $Q_h$ ) et le flux de chaleur latente ( $Q_e$ ) et qui sont les flux turbulents de surface issus des zones urbaines vers l'atmosphère.**

Dans la présente recherche il s'agira de vérifier l'interaction de la chaleur anthropogénique avec le milieu urbain, celle-ci pouvant être de nature sensible ou latente, il s'agira d'en vérifier les manifestations à travers ses causes et conséquences afin de mieux appréhender son évaluation par la suite. La *figure 6* résume les interactions dénombrées.

Dans ce chapitre nous avons mis en évidence, l'interaction entre les sources de chaleur et leur nature à travers un processus de manifestations urbaines. Le chapitre nous éclairera sur le processus de ces manifestations sur la ville.

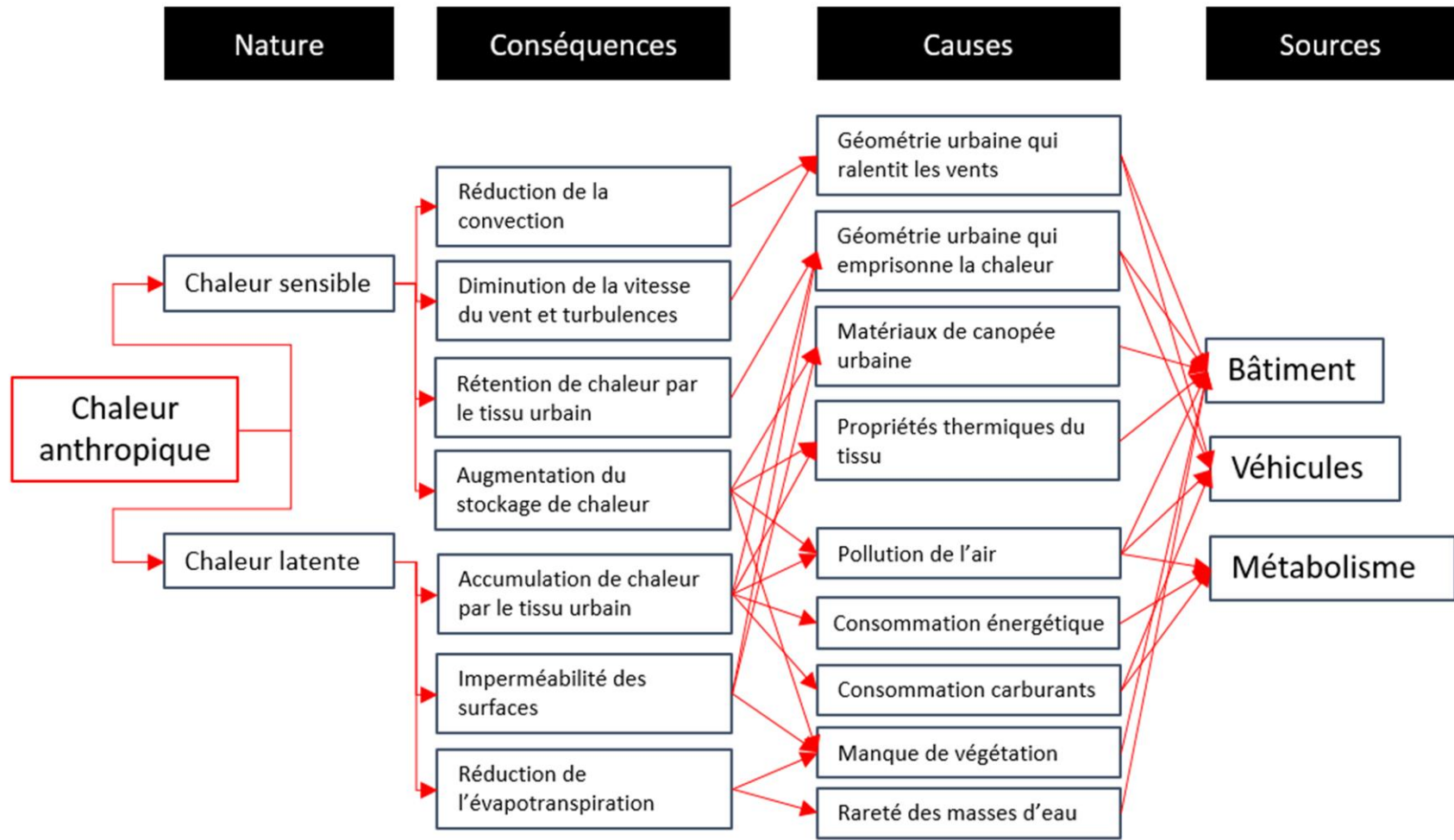


FIG.8 : INTERACTION CHALEUR ANTHROPOGENIQUE / MILIEU URBAIN

Source : Auteur

## I.5 LES METHODES D'ÉVALUATION DE LA CHALEUR ANTHROPOGENIQUE

Au fil du temps, plusieurs recherches se sont intéressées à l'évaluation de la chaleur anthropogénique dans différents contextes et à différents intervalles chacune apportant un plus selon la technologie contemporaine en vigueur. On distingue dès lors trois différentes approches d'évaluation :

- 1) L'approche d'inventaire.
- 2) L'approche résiduelle du budget énergétique.
- 3) L'approche fondée sur des modèles énergétiques du bâtiment.

### I.5.1 APPROCHE D'INVENTAIRE

L'approche d'inventaire est l'approche la plus générale qui aborde le chauffage anthropogénique à l'échelle de la ville. Elle concerne les données relatives à l'énergie et n'a pas de dimension spatio-temporelle.

Les données de base sont issues de sources à l'échelle des utilités publiques ou d'enquêtes sur la consommation énergétique.

L'hypothèse fondamentale de l'approche consiste à supposer égales la consommation énergétique et l'émission de chaleur anthropogénique, elle est :

- Intemporelle : Aucune limite dans le temps n'est fixée.
- Absolue et arbitraire : La chaleur est considérée dans son ensemble faisant fi de ses composantes et du contexte environnemental préexistant.

L'objectif final est de cartographier les informations recueillies relatives à la consommation et aux émissions sur une échelle spatiale donnée. Le résultat démontrera alors les fluctuations de ces deux composantes et leur impact dans un environnement urbain.

### I.5.2 APPROCHE RESIDUELLE DU BUDGET ENERGETIQUE :

La méthode basée sur la mesure du budget énergétique définit, un volume limité à l'échelle du quartier contrairement à l'approche d'inventaire qui se limite spatialement à une aire plus considérable.

En théorie et réciproquement à l'approche d'inventaire, une approche basée sur le budget énergétique permettrait d'optimiser l'information sur le mouvement d'énergie à l'intérieur et à l'extérieur du volume d'influence se basant sur des données fixes et estimables à petite échelle. Cependant, elle nécessite un matériel de mesure spécialisé afin de quantifier de manière très détaillée les différents termes de la chaleur anthropogénique.

Données de base	Définition	Mode de calcul
Q*	Rayonnement net	Radiomètres nets
QE	Chaleur latente	Techniques de covariance par tourbillons
QH	Chaleur sensible	
Δ QA	Chaleur totale d'advection en dehors des limites du volume	Supposée négligeable
Δ Qs	Stockage d'énergie thermique dans le volume de contrôle	- Soit estimée par des mesures de surface  - Soit supposée stationnaire d'un jour à l'autre
QF	Source totale de chaleur anthropogénique	$QF = QH + QE + \Delta Qs - Q^*$

Tab.1 : Mode de calcul des termes du budget énergétique par les différents outils. Source : Auteur d'après Sailor, 2010

I.5.3 APPROCHE FONDEE SUR DES MODELES ENERGETIQUES DE BATIMENTS

Il importe d'attirer l'attention sur le fait que cette approche se base uniquement sur l'énergie des bâtiments et ne prend pas en compte les autres sources de chaleur anthropogénique comme les véhicules et l'industrie. Elle consiste en l'utilisation de logiciels de modélisation énergétique du bâtiment afin d'en quantifier le bilan thermique et énergétique, sans prise en compte des autres termes de la chaleur anthropogénique.

I.5.4 COMPARATIF DES APPROCHES

Les approches d'évaluation des émissions de chaleur anthropogénique en milieu urbain sont toutes trois limitées. Le tableau suivant synthétise les limites de chacune et démontre ainsi les causes de l'impossibilité d'application de ces dernières dans notre évaluation de la chaleur anthropogénique à Alger.

Approche	Echelle	Limites	Contribution à la recherche	Conclusion
Approche d'inventaire	Méso-météorologique (de la ville)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Résolution spatio-temporelle grossière pour:</li> <li>-Données énergétiques: échelle de la ville ou commune, mensuelles ou trimestrielles.</li> <li>-Données du trafic: disponibles que pour les autoroutes.</li> <li>• Suppose la chaleur anthropique égale au flux de chaleur sensible (réfutable).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Subdivise la chaleur anthropique en plusieurs domaines.</li> <li>• Utilisation de la méthode généralisable et standardisable.</li> </ul>	Intéressante pour le secteur de l'industrie et du transport (seule approche disponible)
Approche résiduelle du budget énergétique	Micro-météorologique (des composantes du quartier)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Niveau élevé d'incertitude pour le calcul des termes de l'équation bilan.</li> <li>• Suppose que les mesures de flux micro-météorologiques ont toutes des empreintes de flux comparables. (réfutable)</li> <li>• Nécessite l'implantation d'une tour de flux micro-météorologique au centre du périmètre de collecte de données. (coûteuse et fiable à partir d'une année de collecte de données dans un environnement HOMOGENE)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Outil de validation locale pour d'autres approches d'estimation plus fiable.</li> </ul>	Indisponibilité de moyens (temps et ressources) pour l'obtention d'une tour de données micro-météorologiques
Approche des modèles énergétiques de bâtiments	Méso-météorologique (du bâtiment vers la ville)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Doit être liée à une estimation des émissions des secteurs du transport et de l'industrie pour être complète.</li> <li>• Il n'existe pas d'application de modèles énergétiques pour les autres secteurs des composantes de la chaleur anthropique hormis le bâtiment. (transport, industrie..)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrige les problèmes de précision associés à l'approche par inventaire.</li> <li>• Permet d'inclure l'occupation en fonction du temps, la consommation d'énergie, les charges environnementales et les horaires CVC dans les bâtiments</li> <li>• Permet de représenter les émissions anthropiques de chaleur sensible et d'humidité.</li> </ul>	Intéressante si simplifiée pour la modélisation énergétique des bâtiments pour le secteur de la construction.

Tab.2 : Synthèse des approches d'évaluation de la chaleur anthropogénique. Source : Auteur

Ainsi, selon *David J.Sailor*, la méthode d'évaluation doit être soumise à trois critères de choix :

1. Elle doit tenir compte exactement de toutes les principales sources d'énergie, y compris les bâtiments, l'industrie et les véhicules.
2. Elle doit tenir compte des émissions de chaleur latente et de chaleur sensible.
3. Elle devrait être fondée sur des bases de données faciles à construire et accessibles aux caractéristiques urbaines (par exemple, les données sur l'utilisation des terres, le transport et les statistiques sur l'énergie des bâtiments).

Ces critères seront pris en compte dans l'élaboration de la méthode d'évaluation de la chaleur anthropogénique dans les prochains chapitres.

## I.6 CONCLUSION

Le comparatif réalisé sur les méthodes utilisées dans l'évaluation de la chaleur anthropogénique a conduit à une réflexion sur le choix de la méthode qui allait être entreprise dans cette étude. De ce fait, les méthodes étudiées (quantifiant la chaleur anthropogénique) ne répondent pas aux objectifs et ne sont de toute façon pas utilisables dans notre contexte en vue du manque de moyens et de données disponibles. Le contexte de recherche tendant à évaluer les éléments urbains interférents sur la chaleur anthropogénique ainsi que leur niveau d'influence et non à quantifier les émissions, nous opterons pour le choix d'une méthode hybride basée sur une approche qualitative et quantitative que nous développerons dans les prochains chapitres.

## CHAPITRE II- ALGER SOUS L'EFFET DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

L'augmentation de la température ambiante dans les villes est très bien documentée, et bien que l'impact de l'îlot de chaleur urbain soit très bien étudié, l'impact spécifique du réchauffement anthropogénique sur le climat urbain avec ses causes et conséquences est moyennement exploité<sup>25</sup>

Il est clair qu'une relation ambiguë entre la chaleur anthropogénique et la consommation énergétique existe et elle est définie, cependant les données concernant la quantification de celle-ci manquent.<sup>26</sup> Dans ce contexte, nous proposons d'évaluer cette dernière en appliquant une procédure normalisée pour développer une base de données à l'échelle urbaine.

### II.1. ALGER SOUMISE AU RECHAUFFEMENT

#### LE CLIMAT ALGEROIS

Le climat d'Alger est un climat méditerranéen. Les hivers sont très doux et les étés chauds et secs. La période où les précipitations sont les plus abondantes s'étend d'octobre à mars. Sur les quatre mois les plus chauds de juin à septembre, Alger connaît une période de sécheresse. Malgré un déficit pluviométrique récurrent, les précipitations intenses restent cependant des phénomènes fréquents dans le nord du pays. Des cumuls atteignant 260 mm en 18h ont déjà été observés sur la wilaya d'Alger. Alger est également soumise à de nombreuses vagues de chaleur, mais connaît aussi des vagues de froid relativement sévères.

#### QU'EN EST-IL DES INSTRUMENTS D'URBANISME ?

Au niveau du SNAT (Schéma National d'Aménagement du Territoire) les changements climatiques sont évoqués dans une orientation qui indique l'élaboration des Plans Climats Territoriaux intégrés (P.C.T.I) au niveau des collectivités locales ces derniers n'ont concrétisé leurs plans d'action uniquement sur l'Elaboration d'un diagnostic climat sur chacun des territoires : bilan carbone territorial et cartographie de la vulnérabilité présente et *future qui est l' « Etude sur la vulnérabilité et l'adaptation de la Wilaya d'Alger au changement climatique et aux risques naturels »*.

De plus, il faut préciser qu'après analyse du PDAU, on constate que parmi les risques énumérés plusieurs sont liés aux changements climatiques mais pas expressément indiqués comme tels. Malgré le fait qu'ils ne soient pas mis en amont, ils sont effectivement tous liés

<sup>25</sup> A.Jardine, R. Merideth, M. Black, S. LeRoy, *Assessment of Climate Change in the Southwest United States: A Report Prepared for the National Climate Assessment*, p.273, 2013.

<sup>26</sup> P.Shahmohamadi, A. I. Che-Ani, K. N. A.Maulud, N.M. Tawil, and N. A. G. Abdullah, *The Impact of Anthropogenic Heat on Formation of Urban Heat Island and Energy Consumption Balance*, Faculty of Engineering and Built Environment, UniversitiKebangsaan Malaysia, 2011.

aux émissions en tant que conséquence de la chaleur excessive. Cela témoigne d'un manque d'information concernant le sujet et prouve l'intérêt d'approfondir la recherche concernant la chaleur urbaine.

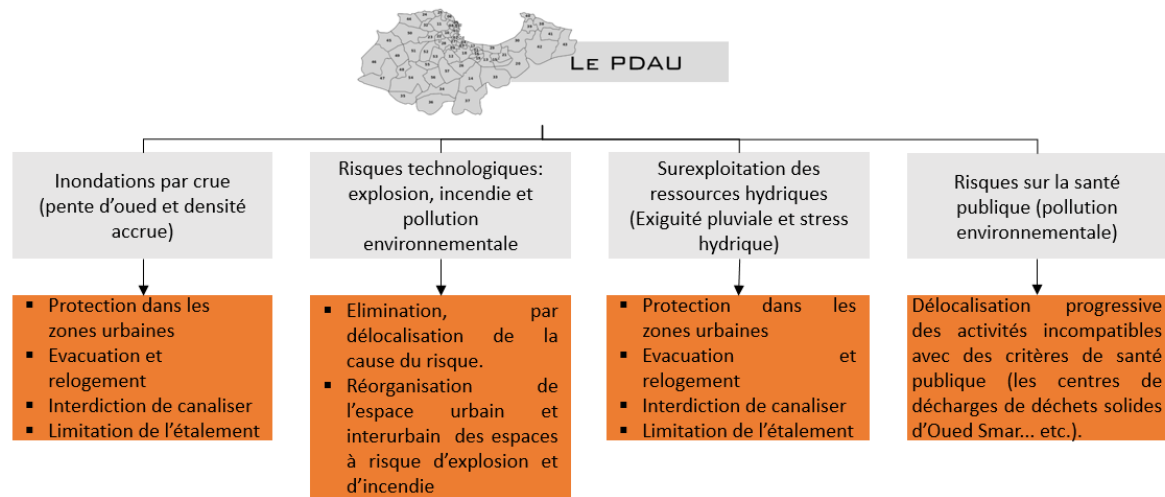


Fig.9 : Risques majeurs pris en compte par le PDAU, élaboré par auteur.

Les inondations par crue sont directement liées au dérèglement des précipitations (torrentielles) ou augmentation du niveau de la mer dues aux changements climatiques. Aussi, les risques technologiques sont conséquences d'une activité industrielle mal maîtrisée et à une mauvaise gestion des déchets créant une pollution environnementale, ayant des risques sur la santé.

Ce manque d'informations concernant le réchauffement dans l'Algérois n'en diminue pas moins l'importance. En effet d'après l'analyse des données climatiques des trois dernières décennies certains constats sont indéniables.

### RETROSPECTIVE CLIMATIQUE

Il est important d'évaluer comment le climat a varié et changé dans le passé. Les données historiques mensuelles sur les précipitations et les températures peuvent être étudiées pour montrer le climat de base et l'évolution au fil des ans pour les précipitations et la température. Le graphique ci-dessous montre les températures historiques moyennes pour l'Algérie pendant la période 1990-2016. L'ensemble de données a été recueillies sur le site [fr.tutiempo.net](http://fr.tutiempo.net) qui dispose de la base de données de la station météorologique de Dar El Beida.

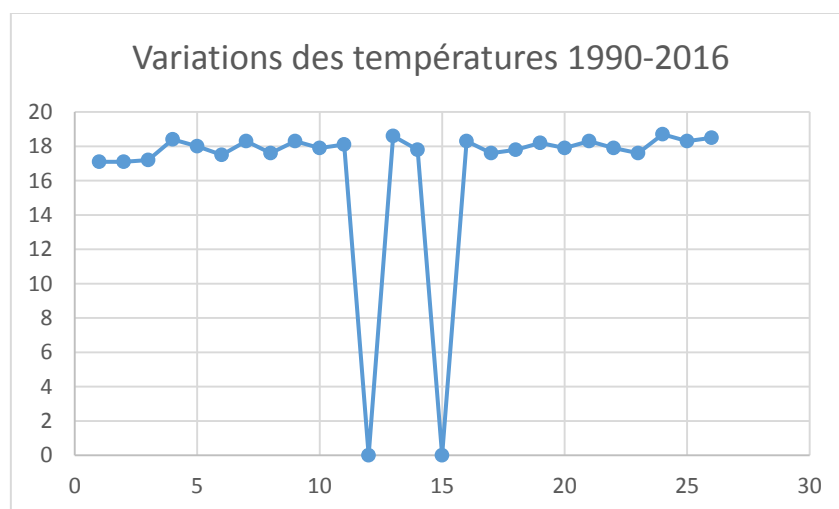


Fig.10 : Graphique représentant les variations de températures d'Alger durant la période 1990-2016, élaboré par auteur

La discontinuité observée sur le graphique illustre un manque de données pour les années 2002 et 2005. On remarque cependant une augmentation des températures d'1.6° entre l'année 1990 et l'année 2015. Ce qui témoigne d'un réchauffement global du territoire algérois en l'espace de 25 ans.

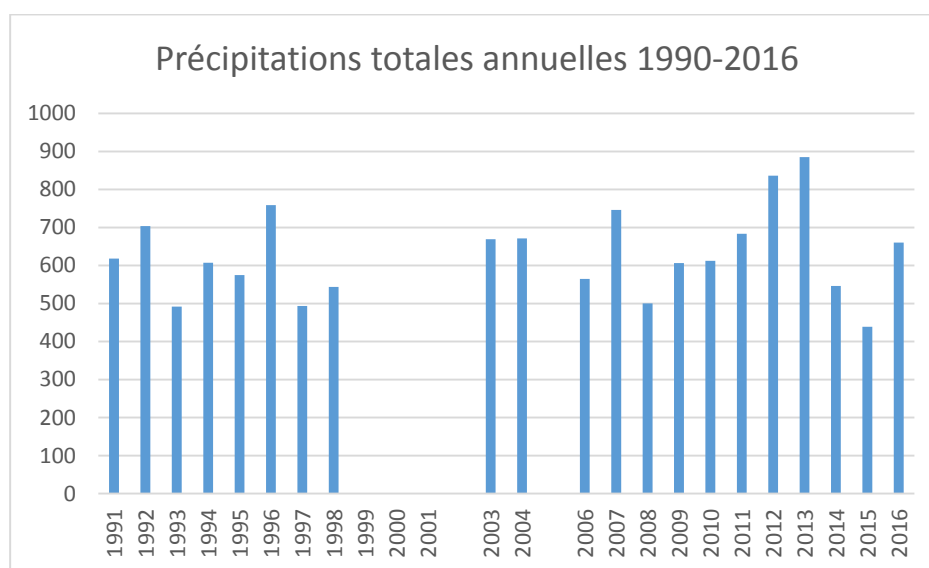


Fig.11: Graphique représentant précipitations totales annuelles d'Alger durant la période 1990-2016, élaboré par auteur

Les discontinuités observées sur le graphique illustrent un manque de données pour les années 1999, 2000- 2002 et 2005. On remarque cependant des précipitations quasiment stables tout au long des 25 dernières années sauf pour les années 2012 et 2013 avec une augmentation anormale puis une baisse flagrante ces trois dernières années (2014, 2015 et 2016). Ces variations inconstantes témoignent d'un stress hydrique observable ces dernières années, avec des épisodes pluvieux torrentiels, preuve d'un dérèglement du climat.

### VULNERABILITE D'ALGER

Dans l'étude de magistère sur la **Stratégie de rafraîchissement urbain à Alger**, effectuée par BOUATTOU Asma, une cartographie du niveau de vulnérabilité locale au réchauffement climatique dans les communes de l'Algérois a été établie afin de classer les communes d'Alger de la plus vulnérable à la moins vulnérable. Ceci permet de mettre en exergue une effective vulnérabilité et aussi démontrer l'intérêt qu'il y aurait à travailler sur une commune dans le domaine de la chaleur anthropogénique afin d'en évaluer les sources.

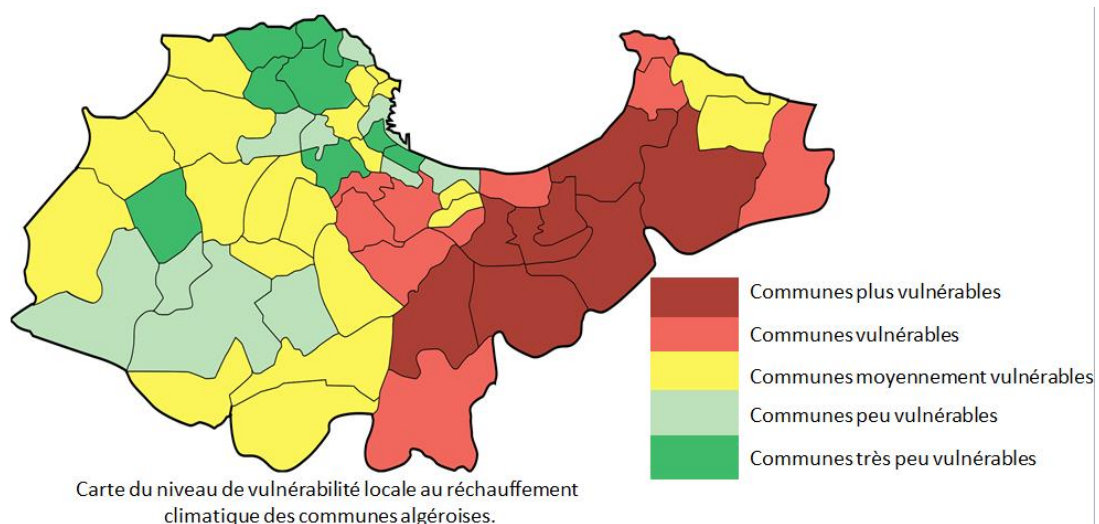
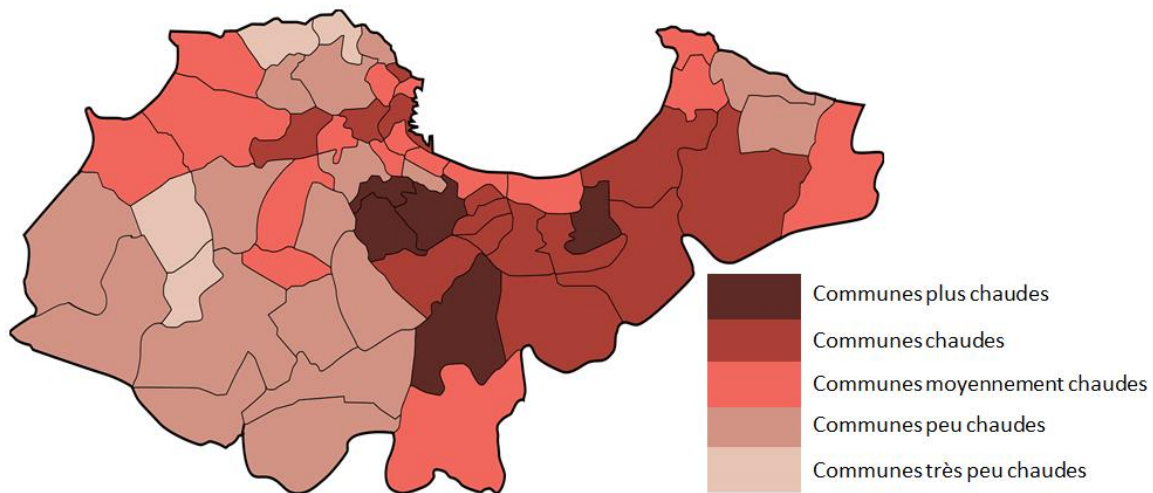


Fig.12 : Carte du niveau de vulnérabilité locale au réchauffement climatique des communes algéroises. Source : BOUATTOU Asma, Stratégie de rafraîchissement urbain à Alger, Analyse climatique des communes vulnérables, 2015

Dans cette même étude, une cartographie de l'ampleur du réchauffement urbain dans les communes de l'Algérois a été établie afin de classer les communes d'Alger de la plus chaudes à la moins chaudes selon des critères déclenchant le réchauffement urbain tels que l'urbanisation, la densité du plan bâti, les surfaces imperméables, la faible présence de végétation et de plans d'eau, la surconsommation énergétique domestique, les émissions de GES, la présence d'activités industrielles polluantes et le nombre important de déplacements.



Carte de l'ampleur du réchauffement urbain, communes algéroises.

Fig.13 : Carte du niveau de l'ampleur du réchauffement urbain des communes algéroises. Source : BOUATTOU Asma, Stratégie de rafraîchissement urbain à Alger, Analyse climatique des communes vulnérables, 2015

Les deux études de vulnérabilité et de l'ampleur du réchauffement rapportent la commune de Bab Ezzouar comme commune la plus chaude et la plus vulnérable. Ainsi, il nous semble intéressant compte tenu des données de s'approfondir sur ce cas d'étude.

## II.2. LES SOURCES DU BILAN DE CHALEUR ANTHROPOGENIQUE AU NIVEAU DE LA COMMUNE DE BAB EZZOUAR

La commune de Bab-Ezzouar se situe à la périphérie Est de la capitale Alger, elle est bordée :

- Au Nord : Commune de Bordj El Kiffan
- A l'Est : Communes de Bordj El Kiffan et Dar El Beida
- A l'Ouest : Communes de Mohammadia et Oued Smar
- Au Sud : Commune de Oued Smar.

Elle s'étend sur une superficie de 823 hectares et se distingue par une vocation résidentielle. Que ce soit des émissions de chaleur latente ou sensible, Bab Ezzouar comme commune la plus chaude et la plus vulnérable d'Alger n'est plus à prouver. Elle s'est distinguée parmi les 57 communes de l'Algérois en étant considérée par le nouveau PDAU d'Alger comme le nouveau pôle compétitif de la capitale, ce qui présage une tendance plus énergivore qu'elle ne l'est déjà.<sup>27</sup>

---

<sup>27</sup> Manel AMOURA, *La densité énergétique comme outil d'orientation de planification pour la maîtrise d'énergie en milieu urbain. Exemple de la commune de Bab-Ezzouar à Alger, Laboratoire Ville Urbanisme et Développement Durable, Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme –EPAU, 2014*

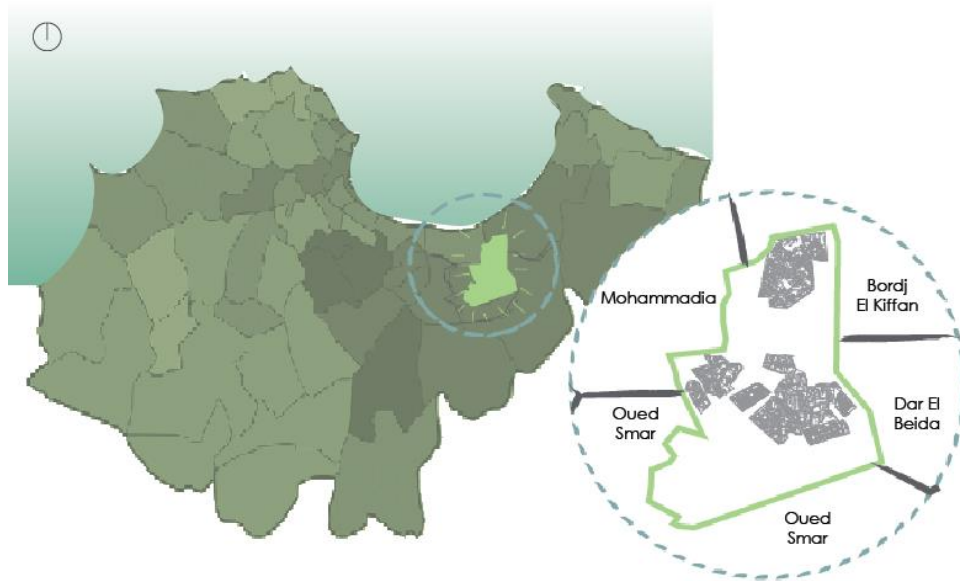


Fig.14 : Plan de situation de la commune de Bab Ezzouar

Source : Auteur

D'après la littérature la chaleur anthropogénique provient de sources diverses qui sont le métabolisme humain, le transport, l'industrie et le bâtiment. Il s'agit de vérifier l'existence de ces derniers dans la commune d'étude.

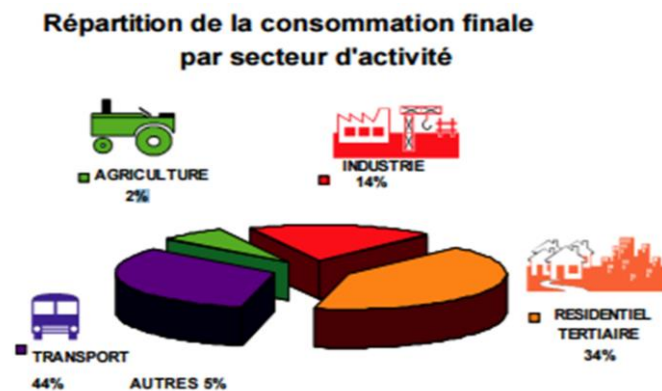
En effet, la commune abrite dans son sein une université, des cités universitaires, le nouveau quartier d'affaires de la capitale, plusieurs quartiers d'habitats collectifs et d'autres individuels, et une centrale de production d'électricité, etc.<sup>28</sup>

### LE BATIMENT

Bab Ezzouar se distingue par sa vocation résidentielle, elle présente plusieurs types de bâtiments dont notamment une dominante de grands ensembles sachant que le secteur le plus consommateur d'énergie est celui du résidentiel- tertiaire avec 41% des consommations finales selon L'APRUE.

FIG.15 :  
CONSOMMATION  
ENERGETIQUE FINALE

SOURCE : APRUE,  
2012



Nous avons définis dans le chapitre précédent la relation intrinsèque existante entre consommation énergétique et chaleur anthropogénique, dès lors la donnée énergétique pourrait constituer une base de réflexion pour le choix de la commune d'étude d'abord et pour le quartier ensuite. De plus, l'hétérogénéité des fonctions permettra d'appliquer la méthode sur diverses typologies de bâtiments.

#### LE TRANSPORT

Bab Ezzouar se situe à la périphérie Est de la capitale, véritable carrefour urbain générateur de flux ; irrigué par les transports en commun en site propre comme le Tramway, le train et prochainement le métro, il n'en demeure pas moins saturé par les voitures individuelles, les bus universitaires (cous) et autres bus publics attirés par l'USTHB, le pôle d'affaire, l'aéroport Houari Boumediene et le centre commercial et de loisirs ainsi qu'une centrale de production d'électricité. Ceci constitue donc une réelle source de chaleur qu'il serait opportun d'évaluer.

#### LE METABOLISME HUMAIN

Les grands ensembles sont synonymes de forte densité de population, un terme important de l'équation du bilan de chaleur anthropogénique car plus il y a de personnes, plus il y a de chaleur, aussi bien sur le plan de la consommation énergétique que du métabolisme humain.

Avec une population de 96 597 habitants recensée en 2008, et un taux d'accroissement de 1.6%<sup>29</sup> nous donne une population estimée en 2017 à 139 000 habitants. Ce qui équivaut à une large source de chaleur anthropogénique.

#### L'INDUSTRIE

La commune possède aussi une zone d'activité industrielle El Alia comprenant plusieurs unités, dont notamment : société *Starlight Essalem Electronics* (production et commercialisation des appareils électroniques et électroménagers), société *Mitidja* (produit de charcuteries), société *SAFEM* (emballages, conditionnements en carton, papier), société *KAEFER Algérie*, société *LVSC Méditerranée* (location des véhicules a longue durée, conseil et gestion de flotte et actif mobile), société *d'impression d'Alger SIA* (tirage de quotidiens d'information), société *KPMG* (cabinet d'Audit).

Enfin, les choix de la commune de Bab Ezzouar s'expliquent de par le schéma suivant :

---

<sup>29</sup> Source ONS, 2016

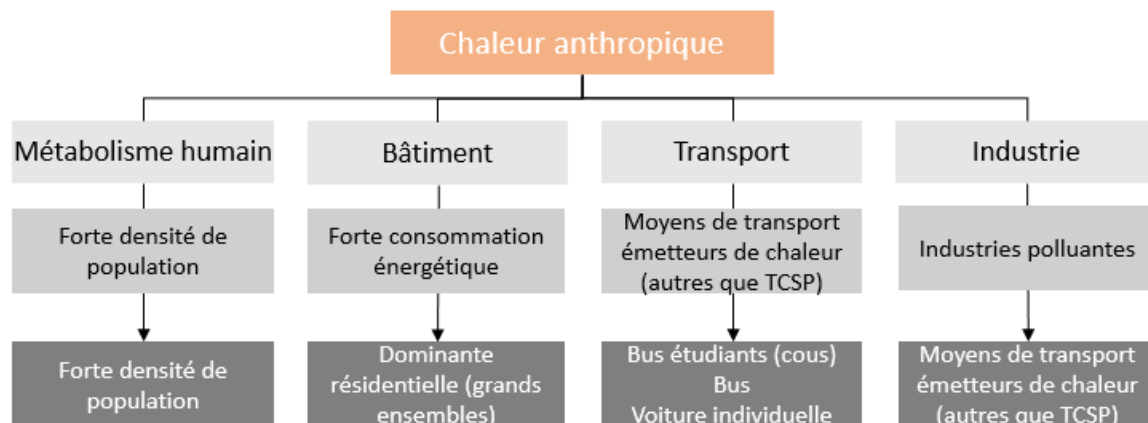


Fig.16 : Critères de choix de Bab Ezzouar d'après les sources de chaleur anthropogénique. Source : auteur  
Ajoutez à cela, la proximité de la commune à la station météorologique de Dar El Beida, une distance de 5Km donne à nos données météorologiques davantage de crédibilité.

Ainsi, l'échelle du quartier correspond à une échelle de précision avec une aire d'étude plus spécifique. Cela nous incite à zoomer sur une zone d'étude plus spécifique. Le choix de celle-ci sera basé sur deux critères de consommation énergétique d'été et de mixité fonctionnelle.

### II.3 LA CITE RABIA TAHAR

L'échelle du quartier est l'échelle de référence pour l'urbanisme. Elle permet de tenir compte des aspects de forme urbaine, de construction, mais aussi des aspects sociaux.

- La forme urbaine dans un quartier influence plusieurs facteurs durables :<sup>30</sup>
  - Elle implique la somme de multiples consommations d'énergie dans un espace restreint.
  - Elle soutient la mise en place de transports publics en augmentant le nombre de clients potentiels.
  - Elle prévient l'étalement urbain et périurbain en diminuant la consommation de sol par habitant.
- La mixité fonctionnelle du quartier (habitat, emploi, commerce, école, etc.) permet d'évaluer les services de proximité aux habitants afin d'éviter de multiples déplacements en voiture (pendulaires). Cette diminution des déplacements entraîne d'une part une diminution des émissions de CO<sub>2</sub> et d'autre part une amélioration de la qualité de vie des habitants.

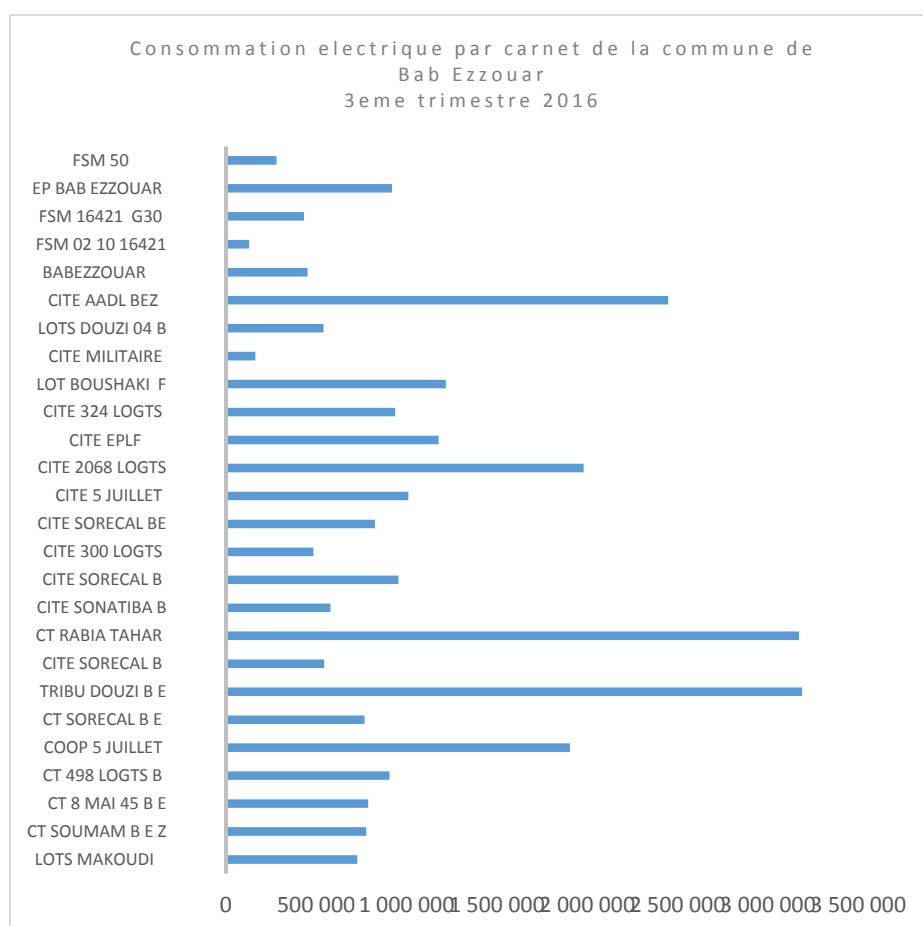
<sup>30</sup> G. Cherix, M. Capezzali, *Concept innovant de management et de planification des systèmes énergétiques en zones urbaines (PROJET MEU)*, Office fédéral de l'énergie OFEN, Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication, Confédération suisse, Rapport annuel 2008

- Le quartier représente l'échelle d'identification sociale des habitants. L'excellence des performances énergétiques d'un quartier passe quasi nécessairement aussi par un comportement durable des habitants du quartier.

Dans le cadre de cette recherche, nous nous focalisons sur l'échelle du quartier et notre choix s'est porté en premier lieux sur les quartiers énergivores à Bab Ezzouar.

### CONSOMMATION ELECTRIQUE D'ETE

Comme pour le choix de la commune, la donnée énergétique a guidé notre choix de l'aire d'étude. Ainsi, nous avons recueilli la consommation énergétique d'été (3eme trimestre 2016) par carnet depuis la Sonelgaz<sup>31</sup> et ainsi comparer quel quartier est le plus consommateur.



D'après l'analyse du graphique on remarque que les deux zones les plus consommatrices sont la zone « Tribu Douzi BE » et la zone « CT Rabia Tahar ».

Le critère de mixité permettra dès lors de trancher quant au choix à considérer pour l'évaluation.

Fig. 17 : Consommation électrique par carnet de la commune de Bab Ezzouar, 3eme trimestre 2016,

Source : auteur d'après données SONELGAZ.

<sup>31</sup>

Source SONELGAZ, 2017

### MIXITE FONCTIONNELLE

La zone « Tribu Douzi BE » est une zone où l'habitat individuel est omniprésent, dans ce cas nous avons préféré considérer la zone « Rabia Tahar » car c'est une zone mixte composée de résidentiel collectif, individuel, administratif, et un bâtiment de la SONELGAZ (centrale de production)

### SITUATION DU QUARTIER

La cité Rabia Tahar jouit d'une situation stratégique importante de par sa position centrale dans la commune de Bab Ezzouar, elle est limitée géographiquement par la ligne de tramway et au nord par la RN5. Elle est facilement accessible et très proche de l'USTHB, du pôle d'affaires, et du centre commercial ce qui la rend encore plus attractive.

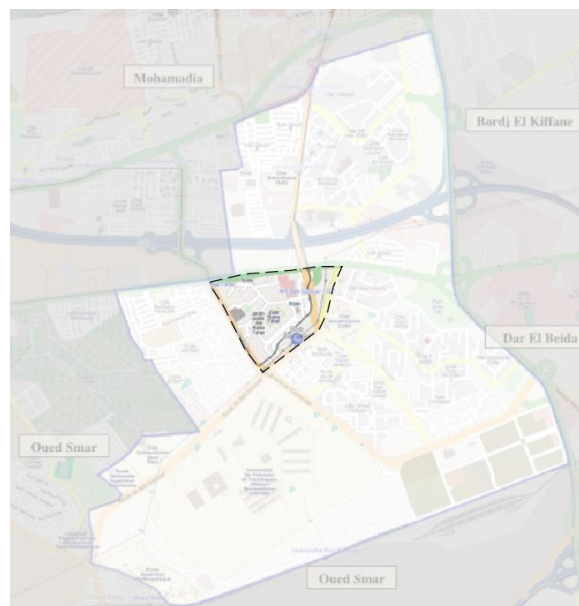


Fig.18 : Plan de situation du quartier dans la commune Source : [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/bd/Bab\\_ezzouar\\_map.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/bd/Bab_ezzouar_map.jpg), 2017

En plus du résidentiel collectif, il s'agit d'une zone plutôt mixte composée d'administrations (Daira, APC...), De lotissements de résidentiel individuel et d'équipements d'accompagnement (CEM, Primaires, Protection civile...).

La zone est desservie par les transports en commun comme le bus, les bus universitaires, le tramway et une future ligne de métro.



Fig.19 : Carte des fonctions dominantes de Rabia Tahar. Source : Auteur

---

# CHAPITRE III- IDENTIFICATION DES FACTEURS URBAINS DE CHALEUR ANTHROPOGENIQUE A BAB EZZOUAR

## III.1. CHOIX DE LA METHODE

La synthèse réalisée sur les méthodes utilisées dans l'évaluation de la chaleur anthropogénique a conduit à une réflexion sur le choix de la méthode qui allait être entreprise dans cette étude.

En effet, cette recherche vise à évaluer les éléments urbains interférents sur la chaleur anthropogénique ainsi que leur niveau d'influence. De ce fait, les méthodes étudiées (qui cherchent plutôt à quantifier la chaleur anthropogénique) ne répondent pas aux objectifs.

En fonction des outils, du temps et des compétences disponibles il a été choisi de caractériser les manifestations de chaleur anthropogénique de Bab Ezzouar à l'aide d'un modèle de grille basée sur le Benchmarking urbain, une méthodologie de l'analyse comparative urbaine.

Ceci s'explique par le fait qu'il s'agisse de la comparaison d'**indicateurs** décrivant une unité territoriale donnée, comme, par exemple, des zones urbaines ou métropolitaines permettant de ce fait un diagnostic précis du niveau de développement d'une unité par rapport à un groupe de **références données**.

Cette méthode, fondée sur la comparaison de données objectives, s'avère très utile pour les autorités locales dans le processus de décision politique. Les étapes de sélection des indicateurs et la diffusion des résultats du diagnostic sont également l'occasion de renforcer les mécanismes de participation sociale.<sup>32</sup>

A travers la littérature, on a pu constater que le Benchmarking peut être appliqué avec succès à l'étude de la chaleur anthropogénique pour mettre en évidence ce phénomène et les phénomènes urbains qui font fluctuer son intensité.

La singularité de la démarche méthodologique proposée dans ce mémoire repose sur le croisement d'indicateurs présentant une forte corrélation avec le phénomène de chaleur anthropogénique devant mener à l'obtention de résultats précis.

---

<sup>32</sup> Jakub Rok, *Urban Benchmarking as a tool for complex assessment of development potential*, Centre for European Regional and Local Studies (EUROREG), University of Warsaw, 2013

#### IV.2. ETAPES DE SELECTION DES PARAMETRES INFLUENÇANT LA CHALEUR ANTHROPOGENIQUE

Les domaines d'influence de chaleur anthropogénique ont été sélectionnés d'après une matrice de croisement entre les données prises en compte dans le bilan d'énergie thermique de la ville et les termes dus à la chaleur anthropogénique.

BILAN D'ENERGIE THERMIQUE ET CHALEUR ANTHROPOGENIQUE, LE CROISEMENT

La formule (2) citée dans le chapitre I, exprimait la définition du terme de chaleur anthropogénique d'après la formule initiale du bilan d'énergie thermique, elle s'exprimait ainsi :

$$QF=QH +QE+ \Delta QS+ \Delta QA - Q^* \quad (2)$$

Or nous avons précisé que :

Le flux de chaleur advectif ( $\Delta QA$ ) est supposé négligeable et le flux de chaleur stockée ( $\Delta Qs$ ) est pratiquement impossible à mesurer aux vues de la configuration compliquée des matériaux de surface, des orientations et de leurs interactions, il est donc habituellement, modélisé ou déterminé comme le résidu de l'équation.

Le rayonnement absorbé par une surface correspond au rayonnement net. Ce dernier est la quantité d'énergie radiative disponible à la surface et pouvant être transformée en d'autres formes d'énergie par les divers mécanismes physiques de la surface (*BONN et ROCHON, 1992*).<sup>33</sup>

Ceci étant, les termes du bilan qui seront pris en compte dans cette recherche concerneront dès lors le flux de chaleur sensible ( $Qh$ ) et le flux de chaleur latente ( $Qe$ ) qui sont les flux turbulents de surface issus des zones urbaines vers l'atmosphère.

Des études menées à Paris (*Sarrat et al., 2006*) comme à Athènes (*Martilli et al., 2003*) ont démontré l'influence des flux turbulents générés par la présence de la ville sur les distributions des polluants primaires et secondaires.

Formule du bilan d'énergie thermique avec les termes pris en compte :

$$Qf=Qh + Qe+ \Delta Qs+ \Delta Qa - Q^* \quad (2)$$

En plus de cela, il est à rappeler que les termes de définition de la chaleur anthropogénique est :

$$Qf= Qv +Qm+Qb+ Qi \quad (3)$$

---

<sup>33</sup> Kotchi, Serge Olivier, *Détection du stress hydrique par thermographie infrarouge. Application à la culture de la pomme de terre, Université Laval dans le cadre du programme de maîtrise en sciences géomatiques, FACULTÉ DE FORESTERIE ET GÉOMATIQUE, 2004*

Ainsi, afin d'extraire les paramètres d'influence de la chaleur anthropogénique en milieu urbain, nous avons opté pour une matrice de croisement de ces deux formules.

#### EXTRACTION DES PARAMETRES

Le croisement des termes des deux formules a permis de ressortir les paramètres suivants résumés dans cette matrice.

Bilan énergétique de la ville		Paramètres			
		$Q_f = Q_b + Q_v + Q_m + Q_i$			
$Q_f = Q_h + Q_e + \Delta Q_s + \Delta Q_a - Q^*$	Bâtiment ( $Q_b$ )	Industrie ( $Q_i$ )	Transport ( $Q_t$ )	Métabolisme humain ( $Q_m$ )	
CHALEUR SENSIBLE ( $Q_s$ )	Mode d'occupation	Mode d'occupation	-	-	
	Géométrie urbaine	Géométrie urbaine	Géométrie urbaine	-	
	Passive design	Passive design	Passive design	-	
	Usage du sol	Usage du sol	Usage du sol	-	
	Démographie	-	-	Démographie	
	Aspects comportementaux	-	Aspects comportementaux	-	
	Usage du sol	Usage du sol	Usage du sol	-	
	Infrastructure bleue	-	-	-	
	Infrastructure verte	-	-	-	
	Performances énergétiques	-	-	Performances énergétiques	
	Infrastructure grise				
	Fonction urbaine	Fonction urbaine	-	-	
	CHALEUR LATENTE ( $Q_e$ )	Fonction urbaine	Fonction urbaine	-	-
Aspects comportementaux		-	Aspects comportementaux	-	
Infrastructure bleue		-	-	-	
Infrastructure verte		-	-	-	
Infrastructure grise		-	Infrastructure grise	-	

Tab.3 : Matrice de croisement des formules et paramètres de chaleur anthropogénique.

Source : Auteur

Ainsi, le croisement a fait ressortir des paramètres influents sur la chaleur anthropogénique. On retrouve le mode d'occupation, la géométrie urbaine, le passive design, l'usage du sol, la démographie, les aspects comportementaux, les infrastructures bleues, vertes et grises et la fonction urbaine.

Afin de simplifier la lecture et la compréhension de la grille nous avons décidé de les regrouper par domaine.

#### REGROUPEMENT PAR DOMAINES

Ainsi, nous les avons regroupés en domaines d'influence, qui constitueront le point de départ de notre grille d'indicateurs. On obtient par conséquent 4 domaines d'influence. Chacun ayant un rapport avec une ou plusieurs causes de chaleur anthropogénique.

Domaines	Paramètres	Causes urbaines de chaleur anthropogénique
Morphologie et usage du sol	Usage du sol	Ralentissement du vent et piégeage de chaleur par la forme urbaine
	Mode d'occupation	
	Géométrie urbaine	
Socio démographie et comportement humain	Démographie	Emissions de chaleur par la consommation énergétique et la combustion de carburants
	Aspects comportementaux	
	Performances énergétiques	
Stockage de chaleur et textures urbaines	Infrastructure bleue	Pollution atmosphérique et stockage de chaleur par les propriétés thermiques du tissu
	Infrastructure verte	
	Infrastructure grise	
Aménagement et environnement	Fonction urbaine	Forte demande énergétique due à aux fluctuations quotidiennes de la température aux faibles performances thermiques de l'environnement bâti.
	Passive design	

Tab.4 : Regroupement des paramètres en domaines d'influence. Source Auteur

#### IV.3.1 MORPHOLOGIE ET USAGE DU SOL

Ce domaine est traditionnellement considéré comme l'axe central de l'urbanisme et des efforts de conception. Il s'agit d'un témoin concret de l'activité de l'homme.

La structure urbaine, qui comprend à la fois la morphologie, la géométrie, la forme du cadre bâti, ainsi que les matériaux utilisés pour la construction des bâtiments et des différentes infrastructures urbaines, a une large influence, comme nous allons le voir, sur le climat urbain.<sup>34</sup>

Ainsi, il est judicieux d'estimer sa contribution à la chaleur anthropogénique et ce à travers plusieurs indicateurs.

#### III.3.2 DEMOGRAPHIE ET COMPORTEMENT HUMAIN

Dans l'ensemble, bien que le métabolisme humain soit une composante négligeable de la chaleur anthropogénique, il convient de la considérer ainsi que les comportements associés à l'humain. En effet, la consommation d'énergie à court terme et les impacts climatiques sur le dortoir urbain se révèlent exacerbées ou inhibées grâce au comportement des occupants. Ainsi, nous considérons le métabolisme humain en son sens large à l'échelle de la ville, il

<sup>34</sup> Morgane Colombert. *Contribution à l'analyse de la prise en compte du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville. Sciences de l'ingénieurphysic[s]. Université Paris-Est, 2008.*

représentera dès lors tous les comportements humains susceptibles d'influencer les émissions de chaleur anthropogénique.

### III.3.3 STOCKAGE DE CHALEUR ET TEXTURES URBAINES

La nature de la surface urbaine, avec sa part de sols minéralisés, de sols nus, enherbés ou végétalisés, et de surfaces d'eau joue un rôle important dans l'intensité des modifications climatiques. Nous allons regarder plus précisément ici l'influence des surfaces végétales (composées de végétaux qui peuvent être des arbres, des arbustes, des herbes, des fleurs, etc.) des surfaces d'eau, et des surfaces grises.<sup>35</sup>

### III.3.4 AMENAGEMENT ET ENVIRONNEMENT

L'aménagement de l'espace urbain qu'il soit dans l'affectation des fonctions (programmation) ou dans des démarches de passive design, influence le cadre de vie urbain et défend une adaptation efficiente en atténuant les effets de la chaleur anthropogénique. Il s'agit de vérifier par des indicateurs le rôle et l'impact de l'aménagement urbain sur la production de chaleur anthropogénique.

## III.3. AFFECTATION DES INDICATEURS

La revue bibliographique a permis d'extraire pour chaque paramètre, quelques indicateurs permettant d'évaluer le degré d'influence sur la chaleur anthropogénique.

Afin de rendre compte de l'influence de ces paramètres sur l'intensité du phénomène, nous allons les hiérarchiser selon une échelle simple de 3 catégories :

- Influence très importante, si celle-ci est directe et indirecte
- Moyennement importante, si celle-ci est directe
- Peu importante, si celle-ci est indirecte

Plusieurs indicateurs ont été choisis pour chaque paramètre. L'extraction et le traitement des indicateurs ont été réalisés à partir de la base de données disponible dans le contexte de cette recherche. Il est à noter que la validité de la grille qui est mise en place dépend des hypothèses suivantes :

- On suppose la relation causale des formules sélectionnées dans la littérature et le territoire de Rabia Tahar est vérifié.
- On suppose les indicateurs sélectionnés comme les plus pertinents pour caractériser les manifestations urbaines de la chaleur anthropogénique.

---

<sup>35</sup>

*Idem.*

- On suppose par souci de simplification qu'il existe une relation linéaire entre la valeur des indicateurs et l'intensité de l'AH (qu'ils soient qualitatifs ou quantitatifs).
- La saison pour laquelle la grille est valable est l'été.
- L'échelle d'étude du microclimat qui a été prise en compte est l'échelle du quartier.

La grille d'indicateur constitue un tableau de bord faisant ressortir l'affiliation de chaque indicateur (par paramètres et par domaine) ainsi que leur relation avec les sources et nature de chaleur anthropogénique.

Subséquentement, la revue de littérature nous a éclairés sur des standards pour chaque indicateur qui est mentionnée avec la source du référent.

Ces référents ont été incorporés au tableau afin de rendre la lecture pratique pour toutes les données récoltées. Etape indispensable avant de passer à la hiérarchisation des paramètres.

Domaines <sup>2</sup>	Paramètres	Indicateurs	Valeur de référence	Bilan thermique		Chaleur anthropogénique			Source
				Qs	Qe	Qb	Qi	Qv	
Morphologie et usage du sol	Usage du sol	Mixité urbaine	néant	x		x	x		Voskamp, Van de Ven, 2014
		Proximité emploi-logement	15 Km	x		x	x		Rendall, Page, Reitsma, Van Houten, Krumdieck, 2011 Mindali, Raveh, Salomon, 2004 Marshall, 2008
	Mode d'occupation	Densité du bâti	25-33%	x		x	x		Bouattou, 2015
		Compacité	10-50						CatMed, 2016
	Géométrie urbaine	Rugosité	>2	x		x			Davenport, 2004 Oke & Al., 2004 Stewart & al., 2011
		Taille des blocs	30m	x		x			Sanaieian, Tenpierik, Kvd Linden, Mehdizadeh Seraj, Mofdi Shemrani, 2014 colombert
		Rapport d'aspect	0,3-1,25	x		x	x		Oke & Al., 2004 Stewart & al., 2011 Oke, 1988
	Orientation des voies	N-S	x					Santamouris et al, 2004	
Socio démographie et comportement humain	Démographie	Densité de population	1,5W/m <sup>2</sup>	x					Sailor and Lu, 2004
	Aspects comportementaux	Possession de véhicules	1	x	x		x	x	Baromètre des performances, E. Berezowska-Azzag, I. Abdelatif, N. Akrou, O. Azoui, M. Srir, 2015
		Consommation de carburants (durée du plein d'essence)	1 semaine	x	x		x	x	Rendall, Page, Reitsma, Van Houten, Krumdieck, 2011 APRUE, 2013
		Mode de transport à proximité	TCSP	x	x		x	x	Baromètre des performances, E. Berezowska-Azzag, I. Abdelatif, N. Akrou, O. Azoui, M. Srir, 2015
		Activités quotidiennes ( ex: regarder la télé) dans le salon ensemble ou séparément dans les chambre	Ensemble	x				x	Sharifi, Yamagata, 2016
		Nombre de climatiseurs	1	x		x			Sharifi, Yamagata, 2016
	Performances énergétiques	Densité énergétique citoyenne	500-1100 kWh/hab.an	x		x		x	AMOURA, 2014
Cooling Degree Days		680	x		x		x	Lemonsu et al., 2013 Sailor and al, 2015	
Taux de vitres par façade		Comparatif interne	x		x	x		Sharifi, Yamagata, 2016	
Stockage de chaleur et textures urbaines	Infrastructure bleue	Surface d'eau comme dissipateur de chaleur naturel	Le maximum, elle annule l'effet de chaleur			x	x		Champiat, 2008 House-Peters, Chang, 2011 Dolman, Savage, Ogunyoye, 2013 Voskamp, Van de Ven, 2014
		Infrastructure verte	Type d'arbres	Feuillus			x	x	
	Type d'espaces verts		Surface arborée (boisée)			x	x		BROPHY, V. & al., 2000 BOZONNET, E. & al., 2006
	Ratio d'espace vert		10-12 m <sup>2</sup> /hab			x	x		Bouattou, 2015
	CBS		0,3			x	x		Berlin, 1997 Malki, 2014
	Infrastructure grise	Surfaces grises (voiries, trottoirs... )	15%	x	x	x	x		Sharifi, Yamagata, 2016
		Parkings et espaces ouverts	35-45%	x	x		x		Bouattou, 2015
Aménagement et environnement	Fonction urbaine	Type d'industrie	Néant	x	x		x		Bouattou, 2015
		Type de logement	Individuel	x	x		x		D. J. Sailor, A. Brooks, M. Hart, and S. Heiple, 2007
	Passive design	Albédo des matériaux de canopée	0,5-1	x		x	x		Guigère, 2009 Colombert, Diab, Salagnac, 2006
		Taux de toiture blanche (bright roof)	>50%	x		x			Champiat, 2008
		Surface d'ombre portée	20-40%	x		x	x		Champiat, 2008
		Orientation des bâtiments	Est-Ouest	x		x			Marique, Reiter, 2014 Caputo, Caseiro, Coles, Jankovic, Gaterell, 2012 Mourshed, 2011 Gomez Munoz, Porta Gandara, Fernandez, 2010
		Ventilation naturelle	Vents dominants Nord – Est	x		x	x		Oke, 1988

Tab.5 : Grille d'évaluation de la chaleur anthropogénique. Source : Auteur.

### III.4 PRIORISATION DES INDICATEURS

La priorisation des indicateurs s'est faite à partir de la bibliographie qui nous a renseignés sur l'impact direct ou indirect sur la chaleur. Parmi les bases de nos supports bibliographiques le tableau en annexe 1.

Ainsi, la priorisation s'est organisée en deux étapes, la hiérarchisation, puis la pondération :

- *Hiérarchisation*

Chaque indicateur en fonction de son échelle de valeurs et de sa relation avec l'intensité de la chaleur a été doté d'une échelle de score sur 3 points. En fonction de son influence indirecte, directe ou les deux (directe+ indirecte) sur l'intensité de la chaleur par rapport aux autres indicateurs, il est respectivement affecté des notes 1,2 et 3. Ces indicateurs ont alors été intégrés à la grille d'évaluation pour ensuite être pondérés.

- *Pondération*

La pondération est un poids attribué à un indicateur selon son influence. Dans le contexte de notre recherche, la hiérarchisation établie a permis de prioriser certains indicateurs par rapport à d'autres dans le cadre d'un même paramètre. Pour pouvoir sommer les valeurs des indicateurs, la grille fait recours à des pondérations, des coefficients à attribuer pour des aspects plus pesants. Certains étant plus influents que d'autres dans les émissions de chaleur anthropogénique. Ainsi, on attribue une pondération par indicateur sous forme d'attribution de score (100% par paramètre).

Dom	Paramètres	Indicateur	Influence		Interpretation	% Pondération	Référence	
			Indirecte	Directe				
Morphologie et usage du sol	Usage du sol	Mixité urbaine	X		1	25	Institut national de santé publique, Québec, 2009	
		Proximité emploi- logement	X	X	3	75	Ayyoob Sharifi, Yoshiki Yamagata, 2016	
	Densité	Densité du bâti	X	X	3	75	Svensson, 2004 Lindberg, 2005 Holmer et al, 2007 Thorsson et al, 2011 Hedquist and Brazel, 2013	
		Compacité		x	2	25	CatMed, 2016	
	Géométrie urbaine	Rugosité		X	2	30	Stewart, 2011	
		Taille des blocs	X		1	30	Ayyoob, Yoshiki , 2016	
		Rapport d'aspect		X	2	10	Stewart, 2011	
		Orientation des voies		X	2	30	Erell and Williamson, 2007 Shishegar, 2013	
	Socio démographie et comportement humain	Démographie	Densité de population		X	2	100	Oke, 1988
		Aspects comportementaux	Consommation de carburant	X	X	3	25	Klysik, K. 1996
Nombre de climatiseurs			X	X	3	25	DE MUNCK. C, 2013	
Activités quotidiennes ( ex: regarder la télé) ensemble ou séparément			X		1	10	Ayyoob, Yoshiki , 2016	
Possession de véhicules/consommation carburants			X	X	3	25	Klysik, K. 1996	
Mode de transport à proximité				X	2	15		
Performances énergétiques		Densité énergétique citoyenne		X	2	50	M. Santamouris, C. Cartalis, A. Synnefa, D. Kolokotsa, , 2015	
		Cooling Degree Days	X		1	25	Sailor and al, 2015	
	Taux de vitres par façade (window to Wall ratio)	X		1	25	Aksamija, 2014		
Stockage de chaleur et textures urbaines	Infrastructure bleue	Surface d'eau comme dissipateur de chaleur naturel	X		1	100	Champiat, 2008	
	Infrastructure verte	Type d'arbres		x	2	15	Lessard, G. E. Boulfroy , 2008.	
		Type d'espaces verts	X	X	3	35	BROPHY, V. & al., 2000 BOZONNET, E. & al., 2006	
		Ratio d'espace vert	X	X	3	35	Bouattou, 2015	
		CBS		X	2	15	Malki, 2014	
	Infrastructure grise	Surfaces grises (voiries, trottoirs, parking, toitures...)	X	X	3	50	Stewart, 2011	
		Parkings et espaces ouverts	X	X	3	50	Bouattou, 2015	
Aménagement et environnement	Fonction urbaine	Type d'industrie		X	2	25	Sailor, 2009	
		Type de logement	X	X	3	75	D. J. Sailor , A. Brooks, M. Hart, and S. Heiple, 2007	
	Passive design	Albédo des matériaux de canopée	X		1	20	Erell et al., 2014 Muller et al, 2014	
		Taux de toiture blanche (Bright roof)		X	2	30	Champiat, 2008	
		Surface d'ombre portée	X		1	20	Champiat, 2008	
		Orientation des bâtiments		X	2	30	Hongxuan, Dan, Xiaolin, Fengsen, Yuanzheng, Xiaogang, Shengli, 2016	
		Ventilation naturelle		X	2	30	ADEME, agence de l'environnement et de la maîtrise d'énergie, 2012	

Tab.6 : Hiérarchisation des indicateurs et affectation des pourcentages de pondération Source : Auteur

Les résultats de ces tableaux ont permis d’obtenir les diagrammes d’influence suivants.

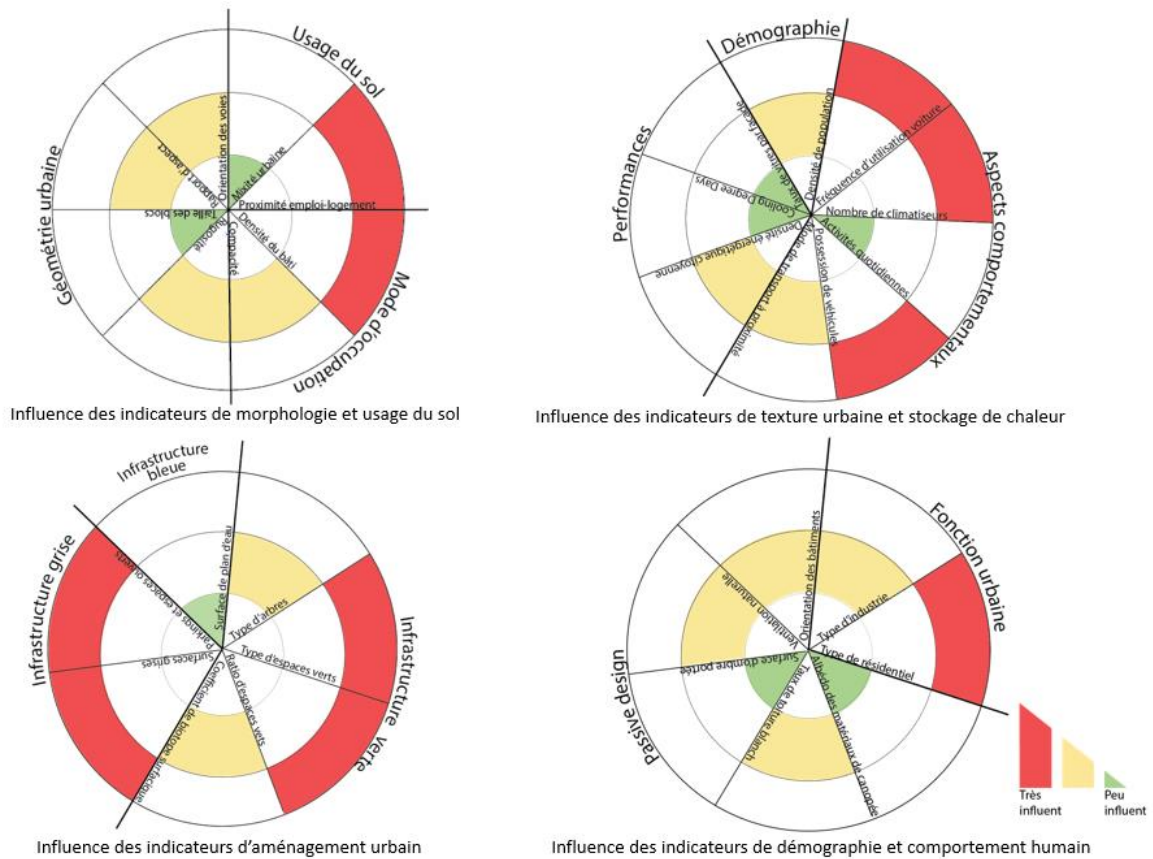


Fig. 20 : Diagrammes d’influence des paramètres urbains. Source : Auteur

**Notation**

Après avoir pondéré les indicateurs, une valeur chiffrée va être attribuée aux indicateurs dépendant de l’évaluation de ces derniers. La notation se fait sur une échelle allant de 0 à 2.

La note « 0 » correspond à une évaluation inférieure au standard, exacerbant la chaleur. Une valeur inhibant la chaleur et supérieure au standard obtiendra la note optimale de « 2 ».

Niveau d’influence sur la chaleur	Note
Faible	0
Modéré	1
Elevé	2

La formule de calcul des indices pondérés est :

Indice pondéré= Coefficient de Pondération x Notation

**Indice du paramètre**=  $\sum$  (Coefficient de Pondération x Notation) /  $\sum$  coefficients de pondération

### III.5 CONCLUSION

Après avoir effectué les étapes de priorisation, nous passons à l'évaluation sur un cas d'étude. Le chapitre suivant développera le calcul des indicateurs par un système de fiches nous renseignant sur les données de chaque indicateur.

Ainsi, on peut synthétiser les étapes de mise en œuvre de l'outil comme suit.

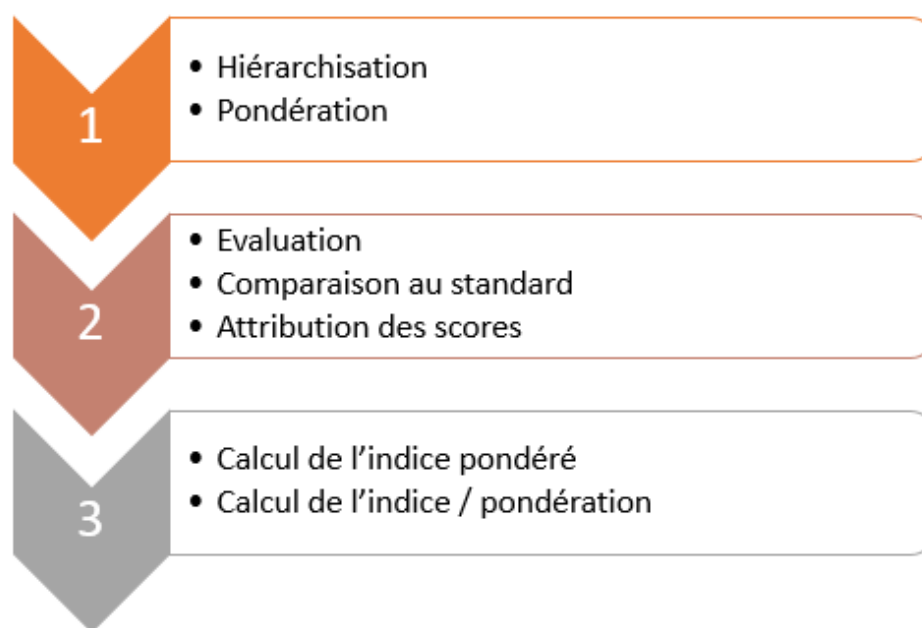


Fig. 21 : Etapes de mise en œuvre de la grille

Source : Auteur

---

# CHAPITRE IV- CAS D'ETUDE : QUARTIER RABIA TAHAR

Ce chapitre explique la démarche d'évaluation par indicateurs sur le cas de la cité Rabia Tahar. Il s'agira d'évaluer les indicateurs afin d'obtenir une lecture claire sur les paramètres influençant la chaleur anthropogénique. Nous analyserons ensuite les résultats obtenus.

## IV.1 EVALUATION ET FICHES D'INDICATEURS

Afin de recenser les indicateurs de façon pragmatique nous avons regroupé toutes les données concernant l'indicateur dans une pratique (canevas en annexe 2) contenant :

- La définition de l'indicateur
- L'unité de mesure
- La référence : utilisation dans d'autres recherches et évaluations
- L'objectif : But d'évaluation de l'indicateur
- Le mode de calcul : Méthode ou formule d'évaluation
- Le sens de l'évaluation : Sens d'attribution de la note
- Les critères d'évaluation : Comparaison au standard
- L'illustration : Image, graphique, photo, plan, carte...
- Les sources : Source bibliographique

Ainsi, 31 fiches d'évaluation ont été classées. Ces fiches permettront l'attribution d'une note à chaque indicateur que l'on pondérera comme expliqué dans le chapitre précédent.

Mixité fonctionnelle	Domaine: Morphologie et usage du sol	I 01
	Paramètre: Usage du sol	

**Définition**

La mixité des activités réfère à la présence de différentes activités dans un même lieu : activités résidentielles et socioéconomiques (bureaux, commerces, institutions, services publics, parcs, etc.). Cette diversité s'observe à l'échelle de la rue (mixité horizontale) ou à l'intérieur d'un même bâtiment (mixité verticale). La notion de mixité s'oppose à celle de ségrégation des activités. (1)

**Unité:**

Nombre

**Référence:**

Voskamp, Van de Ven, 2014

**Objectif**

L'accès aux services sociaux essentiels limite l'utilisation ou l'achat de véhicules automobiles et par conséquent les rejets de chaleur. (2)

**Mode de calcul**

Fonction résidentielle / Fonction tertiaire / Fonction commerciale / Services / Fonction verte (Parcs...)

**Sens de l'évaluation:** plus la zone enregistre une mixité fonctionnelle élevée, plus la note augmente

**Critère d'évaluation**

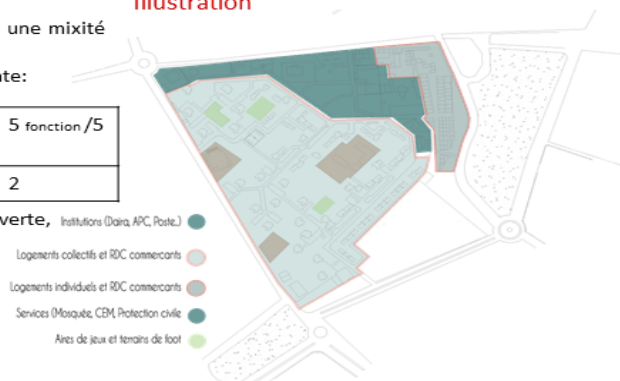
La note complète est attribuée si la zone présente une mixité optimale avec toutes les fonctions.

Ainsi, sur 5 fonctions, on obtiens la notation suivante:

1 fonction /5	2 fonction /5	3 fonction /5	4 fonction /5	5 fonction /5
0,4	0,8	1,2	1,6	2

Ainsi avec 4 fonctions (résidentielle, commerciale, verte, services) sur 5, la zone obtient la note de **1,6**

**Illustration**



Répartition fonctionnelle, Quartier Rabia Tahar, Bab Ezzouar.

**Source:**

<http://collectivitesviables.org/articles/mixite-des-activites/#soutien-la-mobilite-durable-10>  
 Voskamp IM, Van de Ven FHM, Planning support system for climate adaptation: composing effective sets of blue-green measures to reduce urban vulnerability to extreme weather events. Build Environ, 2014

Proximité emploi- logement

Domaine: Morphologie et usage du sol

102

Paramètre: Usage du sol

**Définition**

Cet indicateur fait référence à une répartition équitable des emplois à tous les membres de la communauté. Celle-ci représente la distance quotidienne parcourue par un habitant pour se rendre à son emploi. Elle permet de limiter l'usage de la voiture et réduit par conséquent les émissions de GES

**Unité:**

Km/personne/jour

**Référence:**

Rendall, Page, Reitsma , Van Houten, Krundieck , 2011  
Mindali , Raveh , Salomon , 2004  
Marshall , 2008

**Objectif**

Les répercussions de la distance emploi-logement sur les modes de déplacement et la consommation d'énergie (3), et la consommation de carburants met en amont les éventuels rejets de chaleur.

**Mode de calcul**

Une enquête par questionnaire ciblée (sur 100 personnes au quartier Rabia Tahar) avec la réponse à la question: *Combien de kilomètres parcourez-vous chaque jour pour vous rendre à votre lieu de travail en voiture ?* Moins de 10 km / 10-20 km / Plus de 20 km

**Sens de l'évaluation:** plus le nombre de kilomètres parcourus est élevé, plus la note s'annule

**Critère d'évaluation**

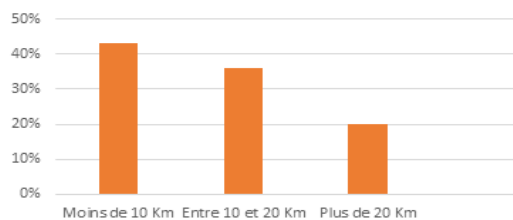
D'après Distance moyenne parcourue quotidiennement 12-16 km la distance standard serait de 10 à 15 km  
La note complète est attribuée si la distance parcourue est inférieure à 10 Km. Et la note la plus faible pour une distance supérieur à 20 Km. D'après l'enquête on obtient les résultats suivants:

Plus de 20 Km /jour	Entre 10 et 20 Km/jour	Moins de 10 Km /jour
0	1	2
21%	36%	43%

Ainsi avec une majorité (43%)des usagers parcourant moins de 10 Km, la zone obtient la note de **2**

**Illustration**

Répartitions des distances emploi-logement

**Source**

Marshall JD, *Energy-efficient urban form*, EnvironSci Technol, 2008

Rendall S, Page S, Reitsma F, Van Houten E, Krundieck S, *Quantifying transport energy resilience active mode accessibility*. Transp Res Rec 2011

Mindali O, Raveh A, Salomon I. *Urban Density and energy consumption: a new look at old statistics*. 2004

## Densité du bâti

Domaine: Morphologie et usage du sol

103

Paramètre: Mode d'occupation

**Définition**

L'augmentation de la densité du bâtiment par des structures de construction élevées et compactes augmentent l'ombre et diminuent par conséquent la température de la surface et de l'air en diminuant la vitesse du vent. Cet indicateur représente directement l'impact de l'homme sur l'urbain dans le sens où il s'agit de la proportion au sol couverte par des bâtiments : le rapport entre la surface des toitures et la surface totale.

**Unité:**

%

**Référence:**

Bouattou, 2015

**Objectif**

Ce paramètre est important parce qu'il exprime la quantité de surface exposée au rayonnement solaire, qui affecte la dispersion de la chaleur sur le sol et les régimes du vent (Stewart, 2011).

**Mode de calcul**

$$\% \text{ Surface Bati} = 100 * \frac{\text{La somme des surfaces du Bâti de la zone d'étude}}{\text{La surface totale de la zone d'étude}}$$

**Sens de l'évaluation:** plus le pourcentage est élevé, plus la note s'annule

**Critère d'évaluation**

Le standard fixé pour cet indicateur est de 25 à 33%.

>33%	25-33%	<25%
2	1	0

Surface totale: 33,74 hectares

Surface bâtie: 4,98 hectares

Avec un pourcentage de 14,78% de surface bâtie, la zone obtient la note **de 0**

**Illustration**

Densité de bâti du quartier Rabia Tahar, Bab Ezzouar.

**Source**

Mariaque A-F, Reiter S, A simplified framework to assess the feasibility of zero-energy at the neighborhood/ community scale. *EnergBuild*, 2014

## Compacité

Domaine: Morphologie et usage du sol

104

Paramètre: Mode d'occupation

## Définition

La compacité, réfère au rapport entre les surfaces bâties et non bâties. Il s'agit d'une manière d'occuper le territoire, de façon à créer des liens (physiques et sociaux) en limitant les vides et les discontinuités. La compacité permet de créer des milieux de vie à la fois denses et conviviaux, respectueux de l'échelle humaine et favorables à la création d'une ville des courtes distances. Ce mode d'occupation du territoire se veut une réponse aux problèmes engendrés par l'étalement urbain. (7)

## Unité:

Mètres (Mètres cubes / mètres carrés)

## Référence:

FEDER, 2004

## Objectif

La possibilité de calculer cet indicateur pour des secteurs ou des zones spécifiques de la ville permet une meilleure compréhension de la configuration de la ville et des différentes typologies de bâtiments. Donc des rejets de chaleur.

## Mode de calcul

À partir de l'information cadastrale numérisée brute, extraire les parcelles ne correspondant pas à des bâtiments (encore non incluses dans la zone urbaine consolidée, équipements techniques et infrastructures de communication, parcs et espaces verts...).

Pour chaque bâtiment, estimer l'espace utilisable (volume) en multipliant le nombre d'étages de chaque polygone par une constante donnée représentant la hauteur de chaque étage (par exemple, 3 mètres).

Au final, calculer la somme du volume total des bâtiments et de la zone urbaine totale occupée, nécessaire à l'application de la formule.

**Sens de l'évaluation:** plus les  $m^2/m^3$  sont élevés, plus la note s'annule

## Critère d'évaluation

Indique le degré de fragmentation totale de l'espace de référence, dû à l'action

On  $\frac{\Sigma \text{ volume des bâtiments}}{\Sigma \text{ de la surface au sol des bâtiments}}$  able  
une fourchette située entre 10 et 50 (9)

2	1	0
<10	10-50	>50

Avec une compacité de  $15,31 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , la zone obtient la note de **2**.

## Illustration



Répartition des gabarits, Quartier Rabia Tahar, Bab Ezzouar.

## Source

[collectivitesviables.org/articles/compacite-densite/](http://collectivitesviables.org/articles/compacite-densite/)

L'Europe en méditerranée, Projet cofinancé par le Fonds Européen de Développement Régional (FEDER), Occupation des sols et développement durable du territoire sur l'arc méditerranéen, Annexe 1 du Guide Final: Comment calculer les indicateurs, 2004

[http://www.osdt.eu/uploadfotos/allegato1\\_guida-finale\\_francese.pdf](http://www.osdt.eu/uploadfotos/allegato1_guida-finale_francese.pdf)

CAT-MED, METHODOLOGIE DE TRAVAIL ET RESULTATS / WORK METHODOLOGY AND RESULTS, Modèles urbains durables, 2009

## Rugosité

Domaine: Morphologie et usage du sol

105

Paramètre: Géométrie urbaine

**Définition**

ADOLPHE, L. (1999) (cité par AHMED OUAMER, F. (2007)) a défini la rugosité urbaine comme étant caractérisée par la hauteur moyenne de la canopée urbaine, constituée par les surfaces bâties, les surfaces végétales verticales et horizontales, et les surfaces non bâties.

**Unité:**

Sans unité

**Référence:**

Davenport, 2004  
Oke & Al. , 2004  
Stewart & al. ,2011

**Objectif**

Affecte la réflectivité de surface, les régimes d'écoulement d'air, et la dispersion de chaleur.

La longueur de rugosité (roughness length en anglais) **Z<sub>0</sub>** exprime l'effet de la rugosité de la surface terrestre sur le profil de vent. Il existe plusieurs classes selon la description de la zone.

**Mode de calcul**

D'après le tableau de classification de la rugosité effective de terrain selon DAVENPORT (2004) d'après BENZERZOUR (2004)

Classe	Longueur	Description
4 « Rugueux ouvert »	0,10	Territoire modérément ouvert avec des obstacles occasionnels (bâtiments bas isolés ou arbres) avec une distance entre obstacles égalé à 20 fois leur hauteur.
5 « Rugueux »	0,25	Obstacles réguliers avec des distances égales entre 8 à 12 fois leur hauteur pour des objets assez bas (ex: Bâtiments)
6 « Très rugueux »	0,5	Surface modérément couverte par des bâtiments bas séparés par une distance égale entre 3 à 7 fois leur hauteur et sans arbres hauts
7 « Skimming »	1,0	Surface bâtie dense sans grande variation de hauteur
8 « Chaotique »	>2	Centre ville composé de bâtiments avec forte variation de hauteur

**Sens de l'évaluation:** La plus grande classe de rugosité obtient la note nulle.

**Critère d'évaluation**

Selon la classe de rugosité on obtient la notation suivante

**Illustration**

8	7	6	5	4
0	0,5	1	1,5	2

Ainsi, notre zone étant classée « skimming » elle obtient la note de **0,5**

**Source**

Y. Andersson-Sköld, S. Thorsson, D. Rayner, F. Lindberg, S. Janhäll, A. Jonsson, U. Moback, R. Bergman, M. Granberg, *An integrated method for assessing climate-related risks and adaptation alternatives in urban areas*, *Climate Risk Management*, 2015  
François LECONTE, *Caractérisation des îlots de chaleur urbains par zonage climatique et mesures mobiles : Cas de Nancy*, Université de Lorraine, 2014

Taille des blocs

Domaine: Morphologie et usage du sol

106

Paramètre: Géométrie urbaine

**Définition**

La production d'énergie anthropique est étroitement liée à la taille et à la densité de la ville. Ainsi, l'indicateur taille des bâtiments influence le confort thermique.

**Unité:**

m

**Référence:**

Sanaieian, Tenpierik, Kvd Linden,  
Mehdizadeh Seraj, Mofdi  
Shemrani, 2014  
Colombert, 2008

**Objectif**

La taille des blocs a un effet direct sur le confort thermique extérieur. L'écoulement, au voisinage du sol, est fortement perturbé par la forme, la disposition, la nature et la hauteur des obstacles placés au sol, ce qui génère des turbulences thermiques liées au transfert de chaleur entre l'air et la surface (Leroyer, 2006).

**Mode de calcul**

La carte des gabarits permet d'avoir la hauteur des bâtiments en supposant la hauteur de chaque étage égale à 3m.

**Sens de l'évaluation:** Les bâtiments les plus hauts obtiennent la meilleure note.

**Critère d'évaluation**

Selon le Plan des hauteurs indiquant les hauteurs plafonds fixées pour l'application de l'article 10 du règlement du PLU (plan local d'urbanisme) de la ville de Paris. La hauteur maximale a été fixée à 30m. Cette hauteur constituera la note standard.

<30 m	30m	>30m
157	40	0
0	1	2

Avec 40 bâtiments de 30m de hauteur, la zone obtient la note de **1**.

**Illustration**

Répartition fonctionnelle, Quartier Rabia Tahar, Bab Ezzouar

**Source**

Morgane Colombert. Contribution à l'analyse de la prise en compte du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville. Autre. Université Paris-Est, 2008.

Sanaieian H, Tenpierik M, Kvd Linden, Mehdizadeh Seraj F, Mofdi Shemrani SM, Review of the impact of urban block form on thermal performance, solar access and ventilation. Renew Sustain Energy Rev, 2014

Rapport d'aspect

Domaine: Morphologie et usage du sol

107

Paramètre: Géométrie urbaine

**Définition**

Le rapport d'aspect (Aspect Ratio **(AR)** en anglais). Il donne une information morphologique concernant la section du canyon urbain.

**Unité:**

Sans unité

**Référence:**

Oke & Al. , 2004  
Stewart & al. ,2011

**Objectif**

Il affecte le flux d'air de surface ainsi que le chauffage et refroidissement par rayonnement.

**Mode de calcul**

Le profil des rues affecte le rayonnement solaire incident dans la rue. Ce rapport exprime la relation entre la hauteur (H) des bâtiments et la largeur des rues (L).

$$AR = 0,5 Sv / Sa - Sb.$$

Sa: la surface totale de la zone. 23847,3 m<sup>2</sup>

Sv: la somme des surfaces verticales. 9095,07 m<sup>2</sup>

Sb: la somme des surface de bâti. 3865,24 m<sup>2</sup>

Rapport d'aspect H/L	Signification
H/L=1	Rue avec hauteur et largeur similaire
H/L= 0.5	Profils de rues ouvertes
H/L=2	Hauteur de bâtiments au moins égale à deux fois la largeur de la rue : Configuration en rue « canyon »

**Sens de l'évaluation:** plus le rapport d'aspect est élevé, moins la note est bonne.

**Critère d'évaluation**

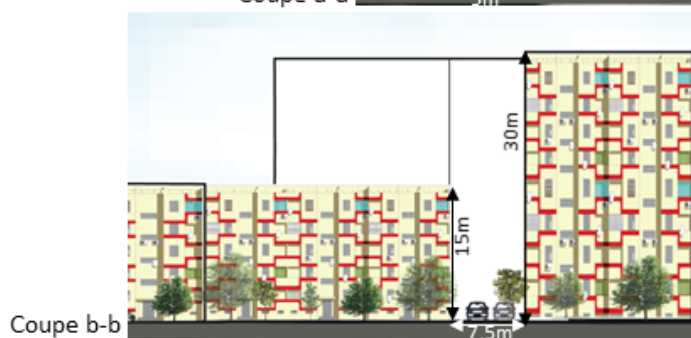
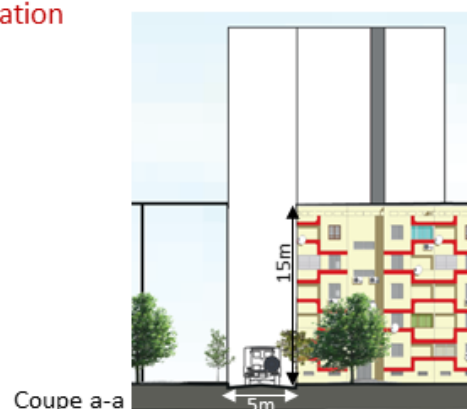
L'échelle de score de l'Aspect Ratio est basée sur le modèle de Oke (Oke, 1981) qui définit la relation entre le rapport d'aspect et l'intensité de l'îlot de chaleur.

0-0,25	0,25-0,4	0,4-0,65	0,65-1,05	1,05-1,7	>1,7
2	1,6	1,2	0,8	0,4	0

Avec un rapport d'aspect calculé à 0,2: la zone obtient la note de **2**



**Illustration**



**Source**

François LECONTE, *Caractérisation des îlots de chaleur urbains par zonage climatique et mesures mobiles : Cas de Nancy*, Université de Lorraine, 2014  
Kattia VILLADIEGO BERNAL, *Une lecture de la forme urbaine et des microclimats, Le cas de Barranquilla*, Université d'Aix Marseille, 2014

## Orientation des voies

Domaine: Morphologie et usage du sol

108

Paramètre: Géométrie urbaine

**Définition**

favoriser les canyons nord-sud denses pour diminuer l'accès solaire. Latitude dépendant accroissement de l'ombre, diminution de la température de la surface et de l'air.

L'orientation des rues joue un rôle important dans l'exposition des surfaces au rayonnement solaire (Santamouris et al., 2004). Elle détermine l'énergie solaire interceptée par les façades verticales et horizontales du canyon urbain.

**Unité:**

Sans unité

**Référence:**

Santamouris et al, 2004

**Objectif**

D'après cela, on peut établir trois classes d'orientation des rues, en considérant que les rues orientées nord-sud ont l'influence minimale sur l'intensité de la chaleur alors que les rues orientées est-ouest ont l'influence maximale.

**Mode de calcul**

Orientation des canyons	Période d'exposition estivale au rayonnement solaire
Est-Ouest	Grande période d'exposition (Santamouris et al., 2004)
Nord-Est/Sud-Ouest (NE-SO)t, Nord-Ouest/ Sud-Est (NO-SE), Nord Sud (N-S)	Courte période d'exposition, concentrée en milieu de journée (Santamouris et al., 2004)
Est-Ouest/ façades orientées Nord ou Sud	Maximum de rayonnement au niveau du sol et des toits (Terjung et O'Rourke, 1980)
Nord Sud/ façades orientées Est ou Ouest	Maximum de rayonnement au niveau des surfaces verticales. Le gain d'énergie au niveau des façades reste toutefois limité car les rayons solaires incidents présentent des angles (par rapport à l'horizontal) faibles (Santamouris et al., 2004).

**Sens de l'évaluation:** plus les  $m^2/m^3$  sont élevés, plus la note s'annule

**Critère d'évaluation**

D'après cela, on peut établir trois classes d'orientation des rues, en considérant que les rues orientées nord-sud ont l'influence minimale sur l'intensité de la chaleur alors que les rues orientées est-ouest ont l'influence maximale.

N-S	Autre	E-O
2	1	0

Avec une majorité de voies « autre », la zone obtient la note de **1**

**Illustration**

Orientation des voies, Quartier Rabia, Bab Ezzouar.

**Source**

Nastaran Shishegar, *Street Design and Urban Microclimate: Analyzing the Effects of Street Geometry and Orientation on Airflow and Solar Access in Urban Canyons*, *Journal of clean energy technologies*, 2013

Densité de population	Domaine: Socio démographie et comportement humain	109
	Paramètre: Démographie	

**Définition**

La population humaine émet continuellement de la chaleur à cause du processus métabolique (Sailor and Lu, 2004). Les rejets métaboliques sont donc déterminés par les données de la population avec un postulat de rejet moyen pour un humain de 100 W.

**Unité:**

W/m<sup>2</sup>

**Référence:**

Sailor and Lu, 2004

**Objectif**

L'objectif est d'évaluer les émissions de chaleur anthropique dues au métabolisme humain directement à partir de la donnée sur la population.

**Sens de l'évaluation:** Moins il y a de population, plus le score est élevé.

**Mode de Calcul**

La population étant directement émettrice de chaleur anthropique due au métabolisme humain, elle se calcul ainsi:

$$\text{Densité de population} = \frac{\text{Nombre d'habitants} \times 100\text{W}}{\text{Surface de la zone}}$$

Emissions métaboliques au repos	Emissions métaboliques en activité
70 W	800 W (Smith et al., 2009)
100 W	100 W (Makar et al, 2006) variabilité non prise en compte
75 W	175 W (Grimmond, 1992; Sailor and Lu, 2004; Smith and al., 2009)

**Critère d'évaluation**

L'ordre de grandeur pour une population d'une ville de 10 000 m<sup>2</sup> serait de 1.5W/m<sup>2</sup>.

La donnée APC RGPH 2008 avec taux d'accroissement 2,16% est de 6920 hab / 209100m<sup>2</sup> , soit 0,033 hab/ m<sup>2</sup>

**Illustration**

<1.5W/m <sup>2</sup>	1.5W/m <sup>2</sup>	> 1.5W/m <sup>2</sup>
0	1	2

Avec des émissions de 3,3 W/m<sup>2</sup>, la zone obtient la note de 2.

**Source**

David J. Sailor, Matei Georgescu , Jeffrey M. Milne , Melissa A. Hart , Development of a national anthropogenic heating database with an extrapolation for international cities, Atmospheric Environment 118,2015.

## Possession de véhicules

Domaine: Socio démographie et comportement humain

I10

Paramètre: Aspects comportementaux

**Définition**

Cet indicateur exprime le nombre de véhicule en possession des habitants de la zone d'étude et permet ainsi d'évaluer les rejets de chaleur dus à la combustion de carburants.

**Unité:**

Nombre de véhicules

**Référence:**

Baromètre des performances

**Objectif**

La circulation automobile le long des voies mécaniques implique le dégagement de chaleur et d'humidité, associées à la combustion de l'essence ou du carburant diesel.

**Mode de calcul**

Une enquête par questionnaire ciblée (sur 100 personnes à Rabia Tahar) avec la réponse aux questions:

*Possédez-vous une voiture ? Oui/Non*

*Si oui, combien ? 1/2/3/4 et plus*

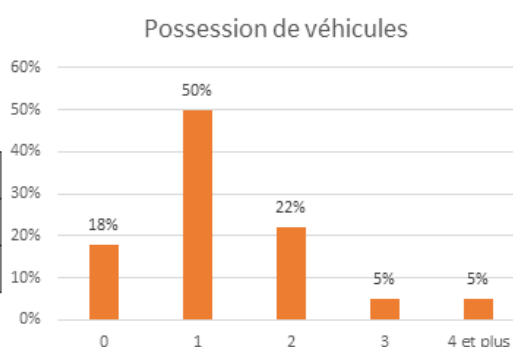
**Sens de l'évaluation:** Moins il y a de voitures, plus le score augmente.

**Critère d'évaluation**

L'évaluation se fait à partir du postulat que plus il y a de voitures par foyer, plus il y a rejet de chaleur due à la combustion. La meilleure note correspond donc au maximum de possession de véhicules. On distingue le système de notation suivant:

0	1	2	3	4 et plus
18%	50%	22%	5%	5%
2	1,5	1	0,5	0

Ainsi, avec 50% de la population enquêtée possédant 1 seul véhicule par logement, la zone obtient la note de **1,5**

**Illustration****Source**

Karima BOUSSOUARA, *Etude des émissions polluantes et des moyens de dépollution dans les moteurs à combustion interne*, Université de Constantine, 2010

## Consommation de carburant

Domaine: Socio démographie et comportement humain

111

Paramètre: Aspects comportementaux

**Définition**

Malgré les divergences dans la capacité du réservoir des véhicules et le type de carburant de ce dernier (essence ou diesel), la circulation automobile le long des voies mécaniques implique le dégagement de chaleur et d'humidité, associées à la combustion de l'essence ou du carburant diesel.

**Unité:**

Semaine (Durée du plein d'essence)

**Référence:**

Rendall , Page , Reitsma, Van Houten, Krumdieck , 2011  
APRUE, 2013

**Objectif**

La durée du plein d'essence permet de savoir si la voiture consomme beaucoup ou peu d'essence et d'évaluer ainsi le taux de combustion d'essence et donc de rejeter de chaleur.

**Mode de calcul**

Une enquête par questionnaire ciblée (sur 100 personnes à Rabia Tahar, avec 87 personne/100 possédant une voiture) avec la réponse à la question:

*Combien de temps tiens votre plein d'essence ? Moins d'une semaine / Une semaine / Deux semaines*

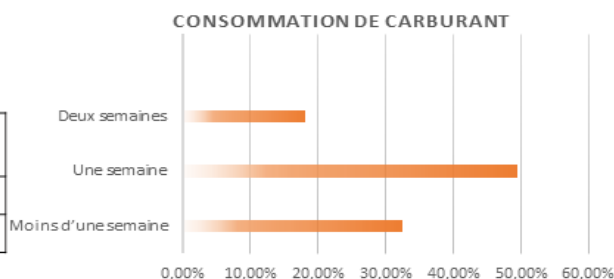
**Sens de l'évaluation:** Plus la durée du plein augmente, plus le score augmente.

**Critère d'évaluation**

Sur la population possédant un véhicule, les personnes ayant le plein qui dure le plus longtemps consomment moins de carburant. La note la plus haute est donc à deux semaines de durée du plein.

Moins d'une semaine	Une semaine	Deux semaines
32,5%	49,5%	18,1%
0	1	2

La population consommant son plein d'essence en une semaine étant majoritaire (49,5% des enquêtés), la zone obtient la note de **1**.

**Illustration****Source**

Ayyoob Sharifi, Yoshiki Yamagata, *Principles and criteria for assessing urban energy resilience: A literature review*, 2016

**Activités quotidiennes ( ex: regarder la télé) dans le salon ensemble ou séparément dans les chambre**

Domaine: Socio démographie et comportement humain  
Paramètre: Aspects comportementaux

113

### Définition

La quantité cumulative d'énergie consommée à long terme à cause d'une consommation électrique mal gérée peut avoir des répercussions importantes sur le budget de l'énergie à l'échelle de la ville. L'indicateur Activités quotidiennes se focalisera surtout sur le comportement des usagers par rapport à la télévision.

### Unité:

Sans unité

### Référence:

Sharifi, Yamagata, 2016

### Objectif

Décentraliser certaines activités énergivores (ex: visionnage de la télévision) a un impact sur la consommation électrique et par conséquent sur les rejets de chaleur.

### Mode de calcul

Une enquête par questionnaire ciblée (sur 100 personnes à Rabia Tahar) avec la réponse à la question: *Pratiquez-vous les activités quotidiennes (ex: regarder la télé) dans le salon ensemble ou séparément dans les chambres ? Ensemble/Séparément*

**Sens de l'évaluation:** La meilleure note est attribuée à un visionnage commun.

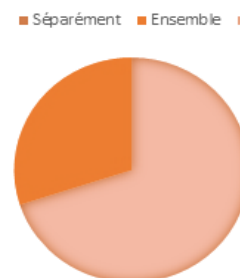
### Critère d'évaluation

Regarder la télévision séparément implique la possession de plusieurs postes et donc une plus grande consommation électrique. Ainsi, l'habitude « séparément » sera affectée du plus bas score.

Séparément	Ensemble
70%	30%
0	2

Avec 70% des ménages qui regardent la télé séparément, la zone obtient la note de **0**

### Illustration ACTIVITÉS QUOTIDIENNES



### Source

Ayyoob Sharifi, Yoshiki Yamagata, *Principles and criteria for assessing urban energy resilience: A literature review*, 2016

## Répartition modale des transports

Domaine: Socio démographie et comportement humain

112

Paramètre: Aspects comportementaux

**Définition**

Evaluer si les TCSP (transports en commun en site propre) sont plus empruntés que le véhicule particulier. Dans ce cas les émissions de carburants sont amoindries au profit d'un transport doux moins émetteur de chaleur. Cela est relativement intéressant dans le sens où la commune est bien irriguée en transports en commun (tramway, et métro prochainement ainsi que les transports estudiantins).

**Unité:**

Sans unité

**Référence:**

Baromètre des performances

**Objectif**

L'indicateur de répartition modale de la circulation montre quels sont les moyens de transport majoritairement utilisés par les habitants et leur proportion par rapport au nombre total de déplacements.

**Mode de calcul**

Une enquête par questionnaire ciblée (sur 100 personnes à Rabia Tahar) avec la réponse à la question:

*Quel mode de transport utilisez-vous et à quelle fréquence?*

**Vélo/ Tramway/Bus/ Véhicule personnel**

*Occasionnellement/Fréquemment*

**Sens de l'évaluation:** Plus le mode de transport utilisé est doux, plus la note augmente.

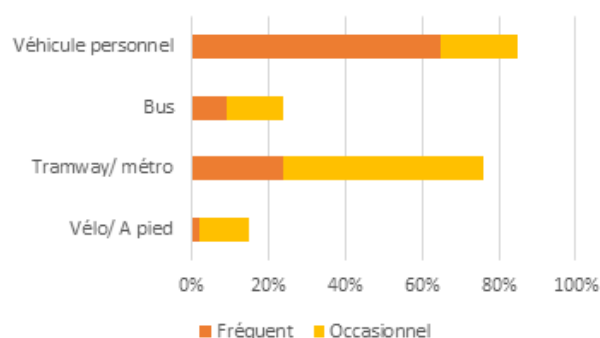
**Critère d'évaluation**

La notation des modes de transport s'est fait selon leur impact sur la qualité de l'air, ainsi les transports doux (vélo ou marche à pied) sont affectés du plus haut score suivi des TCSP, TC et VP avec le plus faible score.

Mode	Vélo/ A pied	Tramway/ métro	Bus	Véhicule personnel
Fréquent	2%	24%	9%	65%
Occasionnel	13%	52%	15%	20%
Moyenne	7,5%	38%	12%	42,5%
Note	2	1,25	0,75	0

**Illustration**

Fréquences des modes de déplacement



Avec la majorité de la population enquêtée se déplaçant en véhicule personnel, la zone obtient la note de **2**

**Source**

[http://www.itaca.org/documenti/Catmed%20AF\\_Frances-Ingles.pdf](http://www.itaca.org/documenti/Catmed%20AF_Frances-Ingles.pdf)

## Nombre de climatiseurs

Domaine: Socio démographie et comportement humain

114

Paramètre: Aspects comportementaux

**Définition**

Toutes les formes de climatisation rejetant de la chaleur dans l'atmosphère (sèche ou humide) génèrent une augmentation de la température des rues au niveau des piétons.

L'analyse locale réalisée par Trémeac et al. (2012) sur 12 mailles du domaine de simulation (0.75km<sup>2</sup> localisés dans différents arrondissements de Paris) avec l'ensemble des scénarios climatisés montre que l'augmentation de la température extérieure est proportionnelle à la puissance des rejets de chaleur sensible émis par les climatiseurs. Ce réchauffement, proportionnel à la puissance des rejets de chaleur sensible dans l'atmosphère, est en moyenne de 0.5 à 2°C, selon le niveau de déploiement de la climatisation.

**Unité:**

Sans unité

**Référence:**

Sharifi, Yamagata, 2016

**Objectif**

Il s'agit d'évaluer les rejets de chaleur émis par les climatiseurs vers l'extérieur ayant une relation directe avec le confort thermique.

**Mode de calcul**

Une enquête par questionnaire ciblée (sur 100 personnes à Rabia Tahar) avec la réponse à la question:

*Possédez-vous un climatiseur chez vous ? Oui/Non*

*Si oui, combien ? 1/2/ 3/4 et plus*

*Combien de temps laissez-vous votre climatiseur allumé dans une journée ?*

*Entre 1 et 5 heures par jour /Entre 5 et 10 heures par jour/Entre 10 et 15 heures par jour/Entre 15 et 20 heures par jour/ Plus*

**Sens de l'évaluation:** Moins il y a de climatiseurs, plus le score augmente.

**Critère d'évaluation**

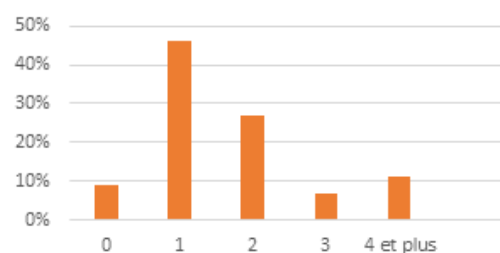
Le plus il y a de climatiseur par foyer le plus il y a de rejets de chaleur. Le score le plus faible sera donc attribué à 4 et plus.

0	1	2	3	4 et plus
9%	46%	27%	7%	11%
2	1,5	1	0,5	0

Avec 46% des ménages possédant un climatiseur, la zone obtient la note de **1,5**

**Illustration**

Nombre de climatiseurs par foyer

**Source**

Cécile DE MUNCK, *Modélisation de la végétation urbaine et stratégies d'adaptation pour l'amélioration du confort climatique et de la demande énergétique en ville*, Institut National Polytechnique de Toulouse, 2013

Ayyoob Sharifi, Yoshiki Yamagata, *Principles and criteria for assessing urban energy resilience: A literature review*, 2016

## Densité énergétique citoyenne

Domaine: Socio démographie et comportement humain

115

Paramètre: Performances énergétiques

**Définition**

Le réchauffement urbain a un impact sérieux sur la consommation d'énergie des bâtiments urbains en augmentant l'énergie et la puissance électrique nécessaire pour les besoins de refroidissement.

**Unité:**

kWh/hab.an

**Référence:**

AMOURA, 2014

**Objectif**

Cette densité nous renseigne sur la consommation citoyenne de la commune, sur le comportement individuel des résidents avec la consommation électrique domestique.

**Mode de calcul**

$$\text{Densité énergétique citoyenne} = \frac{\text{Quantité d'électricité consommée}}{\text{Nombre de population résidente}}$$

**Sens de l'évaluation:** Moins il y a consommation, plus le score augmente.

**Critère d'évaluation**

La valeur de référence établie est de 500 à 1100 kWh/hab.an. Ainsi, le plus haut score sera pour une consommation inférieure à 500 kWh/hab.an.

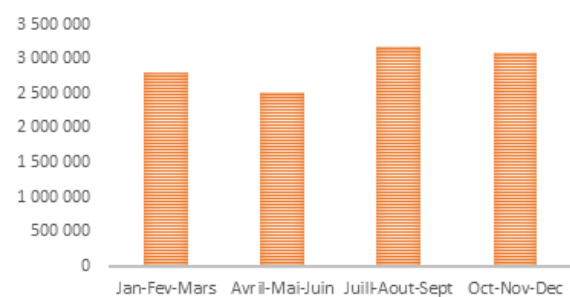
<500 kWh/hab	500-1100 kWh/hab	>1100 kWh/hab
2	1	0

Population estimée: 6920 habitants

Consommation annuelle (année 2016) : 11584753 kWh

Avec une densité énergétique citoyenne de **1674**

**kWh/hab.an**, ce qui lui vaut la note de **0**.

**Illustration****CONSOMMATION ELECTRIQUE PAR TRIMESTRE POUR RABIA TAHAR****Source:**

Manel AMOURA, *La densité énergétique comme outil d'orientation de planification pour la maîtrise d'énergie en milieu urbain. Exemple de la commune de Bab-Ezzouar à Alger, Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme, 2014.*  
Donnée consommation électrique par trimestre année 2016, source SONELGAZ.

## Cooling Degree Days

Domaine: Socio démographie et comportement humain

116

Paramètre: Performances énergétiques

**Définition**

Le nombre de degrés dépassant la température moyenne d'une journée (estimée à 18,5°C pour un confort thermique optimal). Ce dépassement implique l'utilisation de la climatisation pour refroidir leurs bâtiments.

Pour calculer le CDD, on prend la température moyenne de la journée et on lui soustrait 18,5°. Par exemple, si la température moyenne de la journée est de 27 ° C, son CDD est de 8,5. Si tous les jours dans un mois de 30 jours avaient une température moyenne de 27°C, la valeur CDD serait 255 (8,5 x 30).

**Unité:**

° jours

**Référence:**

Lemonsu et al., 2013  
Sailor and al, 2015  
Sharifi, Yamagata, 2016

**Objectif**

L'élévation des températures estivales engendre une augmentation des Cooling Degree Days et par conséquent une augmentation de chaleur dégagée par les climatiseurs.

Pour un lieu donné, le Degré Jour est une valeur représentative de l'écart entre la température d'une journée donnée et un seuil de température préétabli. Il sert en général à évaluer les dépenses en énergie pour le chauffage ou la climatisation.

**Mode de calcul**

Il existe un site <http://www.degree-days.net/> qui propose de calculer les CDD en se basant sur les données météorologiques fournies par une station météo à proximité. Nous entrons le nom de la station météo de Dar el Beida afin d'avoir les résultats les plus proches. Il suffit de régler la température seuil à 18,5° C. et l'unité de température en Celsius.

**Sens de l'évaluation:** Par soucis de fiabilité, nous avons comparé les valeurs à un standard U.S. Lorsque le nombre de ° jours dépasse la norme sur les mois considérés la note est nulle.

**Critère d'évaluation**

Afin d'avoir une comparaison valable par rapport aux référents nous avons établi une question qui permet de savoir quels sont les mois d'utilisation du climatiseur, une donnée qui a été incorporée au questionnaire d'enquête. Voici les résultats:

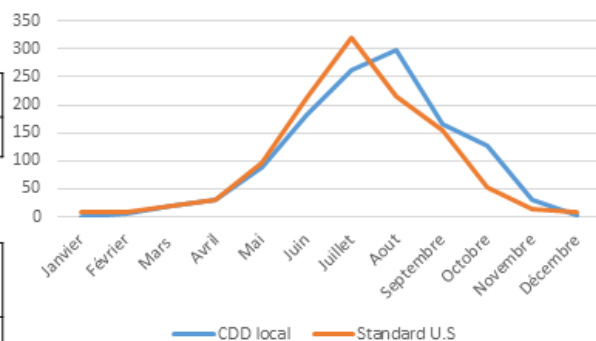
Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre
5	27	73	88	32	4

Ainsi, les mois que nous allons considérer seront de Mai à Octobre.

Au dessous du standard	2	Mai Juin Mi- juillet <b>2 mois et demi</b>
Au dessus du standard	0	Mi- juillet Aout Septembre Octobre <b>3 mois et demi</b>

**Illustration**

Comparaison des valeurs de CDD local avec un standard US



Avec 3mois et demi sur 6 au dessus du standard, la zone obtient la note de **0**.

**Source**

David J. Sailor, Matei Georgescu, Jeffrey M. Milne, Melissa A. Hart, Development of a national anthropogenic heating database with an extrapolation for international cities, Atmospheric Environment 118,2015.

American Gas Association, Paul Pierson, Interoffice Memorandum, Weekly Degree Day Data, 2017

<http://www.investopedia.com/terms/c/colddegree-day.asp>

COOLING DEGREE DAY ANALYSIS AS A CLIMATE IMPACT INDICATOR FOR DIFFERENT LOCATIONS OF POLAND AND INDIA 1 SHANMUGA PRIYA SELVANATHAN, 2 JOANNA MIGDALSKA 1Department of Chemical Engineering, Manipal Institute of Technology, Manipal University, Manipal, India 2Warsaw University of Technology, Warszawa, Poland, Europe

## Taux de vitres par façade

Domaine: Socio démographie et comportement humain

I17

Paramètre: Performances énergétiques

**Définition**

*Window to wall ratio WWR est une mesure importante pour les façades urbaines, il exprime la proportion de la surface de la façade vitrée et opaque. Ce ratio contribue de manière significative au gain de chaleur solaire d'une façade et à la consommation d'énergie. En été, les charges environnementales importantes comprennent la conduction, l'infiltration et le rayonnement solaire qui pénètre dans les fenêtres.*

**Unité:**

%

**Référence:**

Champiat, 2008  
House-Peters, Chang, 2011  
Dolman, Savage, Ogunyoye, 2013  
Voskamp, Van de Ven, 2014

**Objectif**

Un grand taux de fenêtre/ paroi entraîne une plus grande consommation d'énergie, car la résistance thermique d'une façade vitrée bien isolée est généralement inférieure à celle d'une façade opaque.

**Mode de calcul**

$$WWR = 100 \times \frac{\text{Surface vitrée}}{\text{Surface totale de la façade}}$$

**Sens de l'évaluation:** Moins il y a de vitrage, plus le score augmente.

**Critère d'évaluation**

Les recommandations de code d'énergie indiquent que le rapport fenêtre à paroi ne doit pas dépasser 40%

<40%	40%	>40%
2	1	0

Avec un taux de 18% estimé sur une façade type (recouvrant près de 80% de la zone d'étude), la zone obtient la note de **2**

**Illustration**

Façade type d'un immeuble de la cité Rabia Tahar, commune de Bab Ezzouar.



Position de l'immeuble type dans le quartier

**Source**

Ajla Aksamija, *Climate considerations for facades, Technical feature Design methods for sustainable facades, High performing buildings 2014.*

## Surface d'eau comme dissipateur de chaleur naturel

Domaine: Stockage de chaleur et textures urbaines

119

Paramètre: Infrastructure bleue

### Définition

Grâce au rafraîchissement induit par l'évapotranspiration, les masses d'eau (plans d'eau, cours d'eau, etc.) jouent un rôle protecteur contre la chaleur en ville. Comme le montre une étude réalisée à Washington D.C, la surface du fleuve Potomac, qui traverse la ville, présente une coupure au niveau du phénomène d'ICU diurne (Landsberg, 1981).

Ainsi, cet indicateur est lié à la réflectivité de surface, la disponibilité de l'humidité et le potentiel de chauffage / refroidissement de la ville.

### Unité:

m<sup>2</sup>

### Référence:

Colombert, 2008

### Objectif

Les surfaces en eau absorbent la chaleur et réfléchissent les rayons solaires, annulant ainsi le phénomène d'ICU à leur surface. La vitesse moyenne du vent dans les zones urbaines peut être réduite de 50% par rapport à celle mesurée au niveau des surfaces d'eau libre [Brophy et al., 2000].

### Mode de calcul

$$\%Plans\ d'Eau = 100 * \frac{\text{La somme des plans d'eau de la zone d'étude}}{\text{La surface totale du bâti}}$$

**Sens de l'évaluation:** Toutes les surfaces représentant un plan d'eau sont dotées du plus haut score.

### Critère d'évaluation

La zone ne dispose d'aucun plan d'eau artificiel ou naturel.

### Illustration

Présence	Absence
2	0

Avec son absence de plan d'eau, la zone obtient la note de **0**.



Carte des plans d'eau quartier Rabia Tahar, Bab Ezzouar.

### Source

Coutts, Demuzere, Tapper, Daly, Beringer, Nury, Broadbent, Harris, Gebert, Nice, *The impacts of harvesting solutions and WSUD on evaporation and the water balance and feedbacks to urban hydrology and stream ecology*, *Green Cities and Micro-climate*, 2014

Morgane Colombert. *Contribution à l'analyse de la prise en compte du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville*. Autre. Université Paris-Est, 2008.

Type d'arbres

Domaine: Stockage de chaleur et textures urbaines

120

Paramètre: Infrastructure verte

Définition

La végétation arborée joue un rôle supplémentaire en interceptant une partie du rayonnement solaire incident en journée, créant des effets d'ombrage sur les surfaces artificielles alentours qui limitent leur réchauffement (Oke et al., 1989). La végétation rafraîchit les espaces alentours par interception des rayons solaires, mais son effet reste très variant et est plus fort dans le cas des arbres à feuillage persistant très dense. Le gain de température par ombrage de végétation est estimé entre 2 à 7°C (Louaffi Bellara & Abdou, 2012).

On distingue dès lors deux catégories d'arbres. Les feuillus caractérisés par leurs feuilles plates et larges, et les conifères caractérisés par leurs feuilles aiguilles.

Un arbre conifère possède un albédo de 0,05 à 0,15.

Un arbre feuillu possède un albédo de 0,1 à 0,25.

Unité:

Conifère ou Feuillu

Référence:

BROPHY, V. & al., 2000

BOZONNET, E. & al., 2006

Objectif

L'ombre des arbres qui réduit la température au sol et à la surface des bâtiments. De plus, l'eau perdue par les végétaux par évapotranspiration et transférée du sol vers l'air, permet de le rafraîchir.

Mode de calcul

Le feuillage des arbres intercepte, absorbe et reflète la radiation solaire et ainsi réduit l'intensité du rayonnement et la chaleur qui en résulte. Ainsi en été, un arbre feuillu, en interceptant jusqu'à 95 % des rayons du soleil, constitue un écran très efficace pour se protéger du soleil. Quant à un arbre conifère l'interception des rayons par le feuillage 30 à 50%.

Sens de l'évaluation: plus la zone enregistre des arbres feuillus, plus la note augmente.

Critère d'évaluation

Nous avons recensé les arbres par zone car il était impossible de compter les arbres par unité. La carte ci après illustre les résultats.

Zone conifère	Zone mixte	Zone feuillue
0	1	2

Avec une majorité d'arbres feuillus (présents en zone mixte et en zone feuillue), la zone obtient la note de 2.

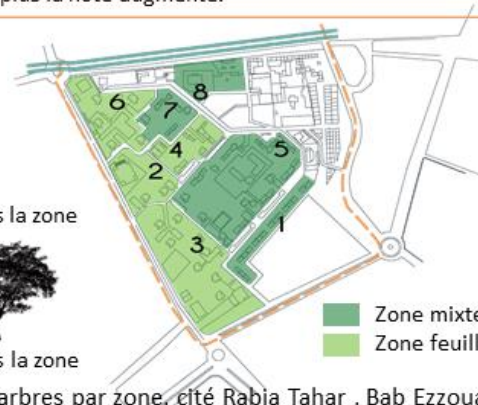
Illustration



Conifère présent dans la zone



Feuillus présents dans la zone



Carte des types d'arbres par zone, cité Rabia Tahar , Bab Ezzouar.



Source

Lessard, G. E. Bouffroy , 2008. Les rôles de l'arbre en ville. Centre collégial de transfert de technologie en foresterie de Sainte-Foy (CERFO). Québec, 21 p.

## Type d'espaces verts

Domaine: Stockage de chaleur et textures urbaines

121

Paramètre: Infrastructure verte

**Définition**

Le type d'espace vert est important d'un point de vue rafraichissant car il s'agit d'un indicateur qui permet d'estimer en détail les espaces verts d'un quartier. En effet selon qu'il soit de type pelouse, arbusté ou boisé, les effets d'ombrage de ventilation et d'évapotranspiration sont modifiés. Les arbres agissent comme masque au soleil et au vent et la végétation influence la balance énergétique par l'apport de chaleur latente.

**Unité:**

Sans

**Référence:**

Bouattou, 2015  
Champiat, 2008

**Objectif**

Le type d'espace vert permet de vérifier le potentiel de rafraichissement de la zone.

**Mode de calcul**

Les surfaces végétalisées ont été extraites. Chaque surface végétalisée a été classée en trois classes en fonction du type de végétation: végétation au sol, végétation arbustive, zone boisée, chaque surface dispose d'un champ attributaire "classe de végétation"

**Sens de l'évaluation:** plus la zone est boisée, plus la note augmente.

**Critère d'évaluation**

Les scores des surfaces végétalisées s'appuient sur une étude menée sur l'influence de différents types de végétation sur l'effet de rafraichissement de l'air en milieu urbain (Spronken-Smith et Oke, 1988). Cette étude donne la différence de température de l'air entre une zone végétalisée en milieu urbain et la ville ( $\Delta T_{u-veg}$ ). Ces valeurs nous permettent d'établir des scores

Pelouse	Arbuste	Boisé
10.95%	8.99%	13.01%
0,75	1,25	2

Avec une majorité d'espaces boisés, la zone obtient la note de **2**.

**Illustration**

Carte des espaces verts quartier Rabia Tahar, Bab Ezzouar.

**Source**

Clément CHAMPIAT, *Prévention des effets sanitaires des vagues de chaleur, Elaboration d'une méthodologie d'identification des îlots de chaleur urbains sur le territoire du Grand Lyon, Ecole des hautes études en santé publique, 2008*  
BOUKHABLA Moufida, *L'influence des facteurs climatiques sur la modification de l'îlot de chaleur urbain dans une rue « canyon, dièdre et dégagée », Cas des lotissements Biskra, Doctorat en sciences en : Architecture, Université Mohamed Khider – Biskra, 2015*

Ratio d'espace vert	Domaine: Stockage de chaleur et textures urbaines	122
Paramètre: Infrastructure verte		

**Définition**

le taux de couverture en espace vert d'une zone donnée, et est similaire aux autres outils qui expriment la densité végétale .

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

**Unité:**

m<sup>2</sup>/habitant

**Référence:**

Berlin, 1997  
Malki, 2014

**Objectif**

Diminution des températures de surface par évapotranspiration accrue.

**Mode de calcul**

$$\% \text{Espaces Verts} = 100 * \frac{\text{La somme des espaces verts de la zone d'étude}}{\text{La surface totale du bâti}} / \text{habitants}$$

**Sens de l'évaluation:** plus il y a d'espace vert, plus la note augmente.

**Critère d'évaluation**

<10 m <sup>2</sup> /hab	10-12 m <sup>2</sup> /hab	>12 m <sup>2</sup> hab
0	1	2

**Illustration**



Carte des espaces verts quartier Rabia Tahar, Bab Ezzouar.

Habitants : 6920 hab  
Surface d'espaces verts : 82949.9 m<sup>2</sup>  
Ratio d'espace vert=82949.9/6920= **11.98 m<sup>2</sup>/hab**

**Avec un ratio de 11,98 m<sup>2</sup>/hab, la zone obtient la note de 1.**

**Source**

L. Hadji, *Méthode d'évaluation de la qualité des espaces publics dans un projet d'aménagement durable à Alger*, Laboratoire Ville Urbanisme et Développement Durable École Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme (EPAU), 2014  
J. Bouyer, *Modélisation et simulation des microclimats urbains - Etude de l'impact de l'aménagement urbain sur les consommations énergétiques des bâtiments. Energie électrique*, Université de Nantes, 2009.

Coefficient de biotope surfacique CBS    Domaine: Stockage de chaleur et textures urbaines    **I23**

Paramètre: Infrastructure verte

**Définition**  
 Décrit la proportion des surfaces favorables à la biodiversité (surface éco aménageable) par rapport à la surface totale d'une parcelle.  
 Le CBS - coefficient de biotope par surface - indique la part de la surface d'un terrain servant de station végétale ou assumant d'autres fonctions pour l'écosystème. C'est le rapport qu'il faudrait observer sur toute parcelle entre les surfaces favorisant la biodiversité et la superficie totale de la parcelle (Berlin, 1997)

**Unité:**  
 Sans unité  
 Coefficient entre 0 et 1

**Référence:**  
 Sharifi, Yamagata, 2016

**Objectif**  
 Vérifier le potentiel de verdissement d'un espace (éco-aménagement) afin d'augmenter l'évapotranspiration et diminuer la chaleur.

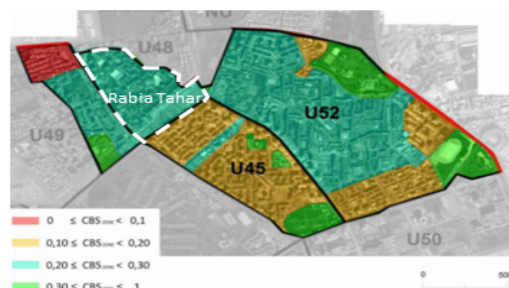
**Mode de calcul**

$$CBS = \frac{\text{Surfaces écoaménageables}}{\text{Surface totale de la parcelle}}$$

**Sens de l'évaluation:** plus le CBS est élevé, plus la note augmente.

**Critère d'évaluation**  
 Le travail d'évaluation du CBS a déjà été effectué dans le cadre d'un magister, ainsi ce dernier a classé les CBS par POS. On retrouve donc la cité Rabia dans le pos U52. Zone qui à priori apparait comme ayant un CBS entre 0,2 et 0,3.

**Illustration**



Comparaison entre les scores CBSzone au niveau des POS U45 et U52 (Malki, 2014)

0 ≤ CBS ≤ 0,2	0,2 ≤ CBS ≤ 0,3	0,3 ≤ CBS ≤ 1
Déficit	Moyen	Performant
0	1	2

Avec un score compris entre 0,2 et 0,3 (lotissements: 0,11; équipements, CEM, Ecoles... : 0,21; cité collective Rabia Tahar: 0,28) . La zone obtient la note de **1**.

**Source**

Malki Hichem, Evaluation du potentiel écologique vert à Bab Ezzouar à travers l'application du CBS, Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme, 2014

**Surfaces grises (voiries, trottoirs, ...)**

Domaine: Stockage de chaleur et textures urbaines

124

Paramètre: Infrastructure grise

**Définition**

Les trottoirs et les toits (qui représentent plus de 50% de la surface urbaine) par leur fort albédo augmentent la charge de refroidissement en augmentant la température ambiante moyenne. Cela s'explique par le fait que l'albédo faible peut augmenter la température ambiante et que les matériaux albédo faibles ont une durée de vie plus courte, ils peuvent également augmenter les coûts du cycle de vie et les concentrations atmosphériques de CO<sub>2</sub>.

**Unité:**

%

**Référence:**

Sharifi, Yamagata, 2016

**Objectif**

Evaluer la réflectivité de surface, la disponibilité de l'humidité et le potentiel de chauffage / refroidissement d'une surface grise.

**Mode de calcul**

$$\% \text{ Surface Imp} = 100 * \frac{\text{La somme des surfaces imperméables de la zone d'étude}}{\text{La surface totale de la zone d'étude} - \text{La surface bati}}$$

**Sens de l'évaluation:** Moins la zone est grise, plus la note augmente.

**Critère d'évaluation**

Une cartographie de la zone avec calcul des surfaces et un % a permis de les comparer aux standard de 15%.

<15%	15%	>15%
2	1	0

Surface des voies: 59083.11 m<sup>2</sup>=30.10%

Surface des trottoirs: 41210.31 m<sup>2</sup>=20.99%

Total =51.09%

Ainsi, avec 51,09% de surfaces grises, la zone obtient la note de **0**.

**Illustration**

Carte des surfaces grises, quartier Rabia Tahar, Bab Ezzouar.

**Source**

(x) Grand Lyon communauté urbaine, *Lutte contre les îlots de chaleur urbains, Référentiel conception et gestion des espaces publics*, 2010  
 Ayyoob Sharifi, Yoshiki Yamagata, *Principles and criteria for assessing urban energy resilience: A literature review*, 2016

Parkings et espaces ouverts	Domaine: Stockage de chaleur et textures urbaines	125
Paramètre: Infrastructure grise		

**Définition**  
 La minéralité (enrobés bitumeux, parkings, ..) dans l'occupation des sols est à l'origine d'un écart significatif de température entre les villes et leur périphérie. Cet indicateur vérifie le pourcentage d'espace imperméable qui annule l'effet d'évapo-transpiration et dont le bitume possède une forte émissivité.

**Unité:**  
%

---

**Référence:**  
Bouattou, 2015

**Objectif**  
 Evaluer la réflectivité de surface, la disponibilité de l'humidité et le potentiel de chauffage / refroidissement d'une surface grise.

**Mode de calcul**

$$\% \text{ Surface Imp} = 100 * \frac{\text{La somme des surfaces imperméables de la zone d'étude}}{\text{La surface totale de la zone d'étude} - \text{La surface bâti}}$$

**Sens de l'évaluation:** moins la zone est perméable, plus la note augmente.

**Critère d'évaluation**

<35 %	35-45%	> 45%
2	1	0



Avec un % d'espaces ouverts et parkings de 6,99%, la zone obtient la note de 2.

Carte des parkings et espaces ouverts, Quartier Rabia Tahar, Bab Ezzouar.

**Source**  
 L'agence de développement et d'urbanisme de Lille Métropole, *Les îlots de chaleur urbains (ICU), Etude, Juin 2017.*  
 A. BOUATTOU, *STRATÉGIE DE RAFRAICHISSEMENT URBAIN À ALGER, ANALYSE CLIMATIQUE DES COMMUNES VULNÉRABLES, 2015*

Type d'industrie	Domaine: Aménagement et environnement	126
	Paramètre: Fonction urbaine	

### Définition

La présence d'industries constitue une contribution anthropique directe, Lee (1984) car elle peut augmenter le flux descendant des rayonnements à ondes longues peuvent être de l'ordre de 10 pour cent. La pollution de l'air provient des émissions de particules, de vapeur d'eau et de dioxyde de carbone provenant des procédés de combustion industriels.

### Unité:

Nombre de sources

### Référence:

Bouattou, 2015

### Objectif

Alors qu'une grande partie de la consommation d'énergie dans le secteur industriel est convertie directement en chaleur à déchets sensibles, certains sont éliminés à l'aide de tours de refroidissement évaporatifs ou en échangeant de la chaleur avec une grande masse d'eau, il s'agira d'en dénombrer les sources.

### Mode de calcul

Enquête Polluante – Non polluante

**Sens de l'évaluation:** Plus il y a d'industries polluantes, plus la note est faible.

### Critère d'évaluation

La zone ne possède pas d'industrie en son sein.  
On simplifiera le système de notation comme suit:

### Illustration



Présence d'industrie	Absence d'industrie
0	2

La zone obtient donc la note de **2**.

### Source

A. BOUATTOU, STRATÉGIE DE RAFRAICHISSEMENT URBAIN À ALGER, ANALYSE CLIMATIQUE DES COMMUNES VULNÉRABLES, 2015

E. Berezowska-Azzag, I. Abdelatif, N. Akrouf, O. Azoui, M. Srir, Baromètre des performances urbaines locales, 2015

G. Pigeon. Les échanges surface-atmosphère en zone urbaine - Projets CLU-ESCOMPTE et CAPITOU. Ocean, Atmosphere. Université Paul Sabatier - Toulouse III, 2007.

D. O. Lee, "Urban climates," *Progress in Physical Geography*, vol. 8, no. 1, pp. 1-31, 1984

Type de logement

Domaine: Aménagement et environnement

127

Paramètre: Fonction urbaine

**Définition**

Le type de logement qu'il soit individuel ou collectif définit un nombre d'usager, une taille du bâtiment, et une consommation énergétique plus ou moins importante. Ceux-ci étant totalement moindres dans le résidentiel individuel.

**Unité:**

Sans unité

**Référence:**

Guigère, 2009

Colombert, Diab, Salagnac, 2006

**Objectif**

Dénombrer l'occupation majoritaire dans la zone.

**Mode de calcul**

Calcul des surfaces de résidentiel individuel et des surfaces de résidentiel collectif afin de les comparer.

**Sens de l'évaluation:** Plus il y a de collectif, plus la note est élevée.

**Critère d'évaluation:**

Ainsi, on retrouve le système de notation simplifié suivant:

Individuel	Collectif
0	2
36%	64%

Avec une majorité de collectif, la zone obtient la note de **2**.

**Illustration****Source**

*D. J.Sailor, A. Brooks, M. Hart, and S. Heiple, A bottom-up approach for estimating latent and sensible heat emissions from anthropogenic sources. 7th Symposium on the Urban Environment, American Meteorological Society, San Diego, 2007.*

Albédo des matériaux de canopée

Domaine: Aménagement et environnement

Paramètre: Passive design

Définition

Il s'agit de la partie du rayonnement réfléchi par une surface donnée. L'albédo va de 0 à 1 ou peut être aussi exprimé en pourcentage (Giguère, 2009). Plus fort est l'albédo, plus la partie de rayonnement est réfléchi par la surface. Cela dépend de la réflectivité du matériau présent à la surface de la canopée urbaine. On distingue dès lors, selon les matériaux, plusieurs albédos.

L'albédo en ville varie entre 0,1 et 0,25, dans la campagne il est plus grand (Colombert, Diab, Salagnac, 2006).

Unité:

Sans unité

Référence:

Champiat, 2008

Objectif

L'extraction de cet indicateur a consisté à classer les matériaux de revêtement du sol et des toitures afin de déterminer le matériau majoritaire et l'Albédo qui y est associé.

Mode de calcul

La surface des matériaux du sol a été extraite des bases de données de la 3D SketchUp ou les matériaux constitutifs des surfaces ont été renseignés par un code couleur.

Surface sol = 120889.73m<sup>2</sup>

Surface asphalte = voies + parking = 117879.57m<sup>2</sup>

Surface béton = 26053.01m<sup>2</sup>

Surface enduits superficiels = 102996.19m<sup>2</sup>

Surface tuile claire = 3041.5m<sup>2</sup>

Surface champ agricole = 39869.31m<sup>2</sup>

Matériau	Albédo	%
Sol nu, terre	0,2	29.43
Asphalte	0,05	28.70
Béton	0,25	6.34
Dalles pavées	0,45	0
Enduits superficiels	0,05	25.07
Sable	0,15	0
Métal	0,5	0
Tuile sombre	0,15	0
Tuile claire	0,35	0.74
Champs agricoles	0,18	9.70
Eau	0,03-0,10	0

Sens de l'évaluation: Plus l'albédo est fort, plus la note augmente.

Critère d'évaluation

0 - 0,19	0,2 - 0,39	0,4 - 0,59	0,6 - 0,79	0,8 - 1
0	0,5	1	1,5	2

Avec un albédo majoritaire de 0,2 ; la zone obtient la note de **0,5**

Illustration



Classification des matériaux urbains, Rabia Tahar, Bab Ezzouar.

Source

Clément CHAMPIAT, *Prévention des effets sanitaires des vagues de chaleur, Elaboration d'une méthodologie d'identification des îlots de chaleur urbains sur le territoire du Grand Lyon, Ecole des hautes études en santé publique, 2008*

Taux de toiture blanche (bright roof)

Domaine: Aménagement et environnement

129

Paramètre: Passive design

**Définition**

Pourcentage de surfaces claires susceptibles de renvoyer le rayon solaire. Un toit blanc reflète environ 85% de la lumière du soleil qui le frappe (quand il est propre) alors qu'avec des couleurs sombres on ne dépasse pas les 26%.

**Unité:**

%

**Référence:**

Champrat, 2008

**Objectif**

Recenser les toitures blanches présentes dans la zone afin de vérifier leur ratio par rapport aux toitures existantes.

**Mode de calcul**

Cartographie Google Earth de la zone.

**Sens de l'évaluation:** Plus il y a de toitures blanches, plus la note augmente.

**Critère d'évaluation:**

Il s'agit de comparer les surfaces de toitures blanches à la surface totale du bâti.

< 50%	50%	> 50%
0	1	2

Avec 6.67% de surfaces blanches, la zone obtient la note de **0**.

**Illustration**

Carte des toitures blanches, quartier Rabia Tahar ,Bab Ezzouar

**Source**

Jensen, Cool roofs: beating the midday sun with a slap of white paint, *Guardian sustainable business, Smart cities*, 2016  
<https://www.theguardian.com/sustainable-business/2017/apr/13/cool-roofs-beating-the-midday-sun-with-a-slap-of-white-paint>, 11/06/2017, 07 : 07  
<https://www.actu-environnement.com/media/pdf/dossiers/784-fiche-actions-ademe-languedoc.pdf>, 28/05/2017, 22:36

<b>Orientation des bâtiments</b>	Domaine: Aménagement et environnement	<b>131</b>
	Paramètre: Passive design	

**Définition**

L'orientation des bâtiments permet de connaître les parois extérieures de différentes orientations qui ont différentes durées de soleil, démontrant différentes entrées énergétiques et autres conditions micro météorologiques pour le sol et les constructions.

Unité: Sans

**Référence:**

Oke, 1988

**Objectif**

Déterminer quelles sont les bâtiments bénéficiant d'une orientation préférentielle afin de déterminer le confort thermique intérieur.

**Mode de calcul**

Cartographie de la zone avec délimitation des bâtiments et comparaison à la course solaire (SunEarthTools.com)

Sens de l'évaluation: Plus il y a de bâtiments orientés Est-Ouest, plus la note augmente

**Critère d'évaluation**

Les façades qui captent le plus de soleil sont les façades Sud, ainsi un bâtiment orienté Nord-Sud possède un captage solaire maximum, ceci étant nuisible au confort thermique intérieur. Ainsi, une orientation Est-Ouest conviendrait le mieux à une plus faible exposition.

La notation se fait comme suit:

Est-Ouest	Autre	Nord-Sud
2	1	0
103 (individuel inclus)	14	53

**Illustration**



Carte Orientation des bâtiments, Rabia Tahar, Bab Ezzouar

Avec bâtiments orientés Est-Ouest La zone obtient la note de **2**.

**Source**

Hongxuan, Dan, Xiaolin, Fengsen, Yuanzheng, Xiaogang, Shengli, *Horizontal Heat Impact of Urban Structures on the Surface Soil Layer and Its Diurnal Patterns under Different Micrometeorological Conditions*, 2016

<b>Surface d'ombre portée</b>	<b>Domaine: Aménagement et environnement</b>	<b>130</b>
Paramètre: Passive design		

**Définition**

La prise en compte de l'ombrage offert par la surface de canopée bâtie.

Cet indicateur nécessite le recours à une modélisation de la course solaire appliquée une représentation en trois dimensions du bâti des zones étudiées. Ainsi, une fois les usages définis, on peut réfléchir au positionnement de chaque fonction en lien avec les prédispositions du site (ventilation, ombres portées).

**Unité:**

M<sup>2</sup>

**Référence:**

- Marique, Reiter, 2014
- Caputo, Caseiro, Coles, Jankovic, Gaterell, 2012
- Mourshed, 2011
- Gomez Munoz, Porta Gandara, Fernandez, 2010

**Objectif**

Renseigner le niveau de protection des espaces extérieurs vis-à-vis du rayonnement solaire en été. Un ombrage important limitera les apports solaires thermiques du sol et des façades, limitant ainsi l'élévation de leur température de surface. Préservant ainsi le milieu urbain des élévations de températures des espaces extérieurs.

**Mode de calcul:** La surface ombragée par mesure sur plan à partir de la simulation des surfaces d'ombres à travers l'outil de modélisation 3D, à 14h sur les espaces extérieurs.

**Sens de l'évaluation:** Plus il y a d'ombre portée, plus la note augmente.

**Critère d'évaluation**

Le référentiel des quartiers durables méditerranéens définit une norme de 20 à 40% de surfaces ombragées à 14h. La notation s'opère alors ainsi:

< 20%	20-40%	> 40%
0	1	2

Surface ombragée à 14h: 55311,21 m<sup>2</sup>  
 Surface des espaces extérieurs: 146391,44 m<sup>2</sup>  
 Avec un pourcentage de surface ombragée de 37,8% , la zone obtient la note de **1**.

**Illustration**



Carte des surfaces ombragées à 14h, Rabia Tahar, Bab Ezzouar

**Source**

Clément CHAMPIAT, *Prévention des effets sanitaires des vagues de chaleur, Elaboration d'une méthodologie d'identification des îlots de chaleur urbains sur le territoire du Grand Lyon, Ecole des hautes études en santé publique, 2008*  
 Plan air climat, *Grenoble-Alpes Métropole, boîte à outils , air climat & urbanisme, Pour une intégration des enjeux environnementaux dans les PLU et les opérations immobilières., 2013*

Ventilation naturelle	Domaine: Aménagement et environnement	132
	Paramètre: Passive design	

**Définition**

Le vent naturel a un signal fluctuant dans le temps. C'est un paramètre principal du microclimat des villes. En milieu urbain, les mouvements d'air sont fortement perturbés à cause de la présence des bâtiments qui sont sous forme diverse des obstacles. MESTOUL, D. (2010).

La chaleur diminue en fonction que la ventilation augmente et disparaît pour des vents d'une vitesse supérieure à 11 m/s. L'augmentation de la vitesse d'air génère une augmentation des transferts thermiques par convection, favorise les échanges de chaleur entre l'eau et l'air et évacue la transpiration. C'est pour cela qu'il faut prendre en compte la direction des vents dominants.

**Unité:**

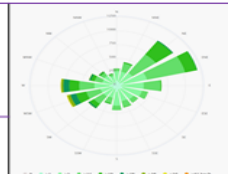
Nord-Sud-Est-Ouest

**Référence:**

Oke, 1988

**Objectif**

L'exposition aux vents dominants diminue les différences de températures, c'est pour cela que les voies laissant pénétrer les vents dominants dans le tissu urbain sont à privilégier. Il s'agit de vérifier les couloirs d'air frais à travers les voies parallèles aux vents dominants.



**Mode de calcul**

Vérifier par carte les voies parallèles aux vents dominants (Nord-Est)

**Sens de l'évaluation:** Plus il y a de voies parallèles aux vents dominants, plus la note augmente.

**Critère d'évaluation**

Les voies les plus ventilées sont les voies parallèles aux vents donc, orientées Nord-Est, elles sont affectées de la note 2. Les voies perpendiculaires à l'orientations Nord Est sont au contraire affectées du score nul.

Voies perpendiculaires	Voies autres	Voies parallèles
0	1	2
36,2%	26,8%	37%

Avec une majorité de voies orientées Parallèlement (voies principales), la zone obtient la note de 1.

**Illustration**



Carte des voies ventilées, Rabia Tahar, Bab Ezzouar

**Source**

Rose des vents de Bab Ezzouar, source meteoblue.com  
ADEME, agence de l'environnement et de la maîtrise d'énergie, 2012

Les résultats de l'évaluation avec la pondération ont été synthétisés dans le tableau suivant :

Domaine	Paramètre	Indicateur	Pondération %	Valeur mesurée	Indice pondéré	Indice/paramètre	Référence
Morphologie et usage du sol	Usage du sol	Mixité urbaine	25	1,6	0,4	1,9	1
		Proximité emploi-logement	75	2	1,5		1
	Mode d'occupation	Densité du bâti	75	0	0	0,25	1
		Compacité	25	1	0,25		1
	Géométrie urbaine	Rugosité	30	0,5	0,15	1,15	1
		Taille des blocs	10	1	0,1		1
		Rapport d'aspect	30	2	0,6		1
	Orientation des voies	30	1	0,3		1	
Socio démographie et comportement humain	Démographie	Densité de population	100	2	2	2	1
	Aspects comportementaux	Possession de véhicules	25	1,5	0,375	0,85	1
		Consommation de carburants (durée du plein d'essence)	25	1	0,25		1
		Mode de transport à proximité	25	0	0		1
		Activités quotidiennes ( ex: regarder la télé) dans le salon ensemble ou séparément dans les chambre	10	0	0		1
		Nombre de climatiseurs	15	1,5	0,225		1
	Performances énergétiques	Densité énergétique citoyenne	50	0	0	0,5	1
		Cooling Degree Days	25	2	0,5		1
		Taux de vitres par façade	25	0	0		1
	Stockage de chaleur et textures urbaines	Infrastructure bleue	Surface d'eau	100	0	0	0
Infrastructure grise		Type d'arbres	15	2	0,3	1,5	1
		Type d'espaces verts	35	2	0,7		1
		Ratio d'espace vert	35	1	0,35		1
		CBS	15	1	0,15		1
Infrastructure grise		Surfaces grises	50	0	0	1	1
Parkings et espaces ouverts	50	2	1	1			
Aménagement et environnement	Fonction urbaine	Type d'industrie	25	2	0,5	2	1
		Type de logement	75	2	1,5		1
	Passive design	Albédo des matériaux de canopée	20	0,5	0,1	1,2	1
		Taux de toiture blanche (bright roof)	30	0	0		1
		Surface d'ombre portée	20	1	0,2		1
		Orientation des bâtiments	30	2	0,6		1
		Ventilation naturelle	30	1	0,3		1

Tab. 7 : Pondération des indicateurs et paramètres. Source : Auteur

## IV.2 ENQUETE IN SITU

Afin d'évaluer certains indicateurs dans le cas où la littérature ne donne pas de référents, certains indicateurs ont été quantitatifs ont été récupérés par voie d'enquête In-Situ par des visites sur site ou un questionnaire d'enquête.

Le questionnaire d'enquête (Annexe 3) est mené auprès d'un échantillon de 100 personnes résidant dans la zone d'étude ; la cité Rabia Tahar, sur la base d'un questionnaire directif préétabli. Il inclut uniquement des questions de type fermées, pré structurant la réponse qui doit être brève et se référer à un fait.

Dans le cadre d'une enquête par questionnaire, il est essentiel de bien choisir l'échantillon (personnes enquêtées). Nous avons choisi de travailler sur un échantillon hétérogène représentatif, car on traite d'un thème général qui concerne tout le monde et que l'on veut avoir des informations de l'ensemble de la population résidante. Nous avons donc veillé à ce que les personnes enquêtées soient représentatives de la diversité de la population / groupe (jeunes 3%, adultes 62 %, personnes âgées 35%, hommes 48%, femmes 52%) habitants le résidentiel collectif (77%) et individuel (23%).

Concernant le questionnaire :

- Les questions sont claires et compréhensibles pour l'enquêté(e)
- Il est organisé / structuré (par thèmes / sous-thèmes) pour assurer un enchaînement logique des questions ;
- Les questions et les choix de réponse doivent être numérotés pour faciliter le traitement des questionnaires.

Les objectifs de l'enquête sont de combler les données manquantes dans l'évaluation par indicateur. Ainsi plusieurs indicateurs sont mesurés et notés selon les réponses observées sur l'échantillon type.

Question	Indicateur concerné	N° de fiche
Quel mode de transport utilisez-vous et à quelle fréquence?	Répartition modale des transports	I 12
Possédez-vous une voiture ? Si oui, combien?	La possession de véhicules	
Combien de temps tiens votre plein d'essence ?	La consommation de carburants	I 11
Combien de kilomètres parcourez vous chaque jour pour vous rendre à votre lieu de travail?	La proximité emploi-logement	I 02
Pratiquez-vous les activités quotidiennes (ex: regarder la télé) dans le salon ensemble ou séparément dans les chambres?	La pratique des activités quotidiennes énergivores	I 13
Possédez vous un climatiseur? Si oui, combien?	Le nombre de climatiseurs	I 14

Tab.8 : Correspondances questionnaire/ indicateurs. Source : Auteur

Toutes ces données sont des indicateurs influençant les émissions de chaleur dans l'urbain. Et leur approfondissement permet d'ajouter de la pertinence à l'évaluation. Période d'enquête : L'enquête a été menée durant le mois d'Aout 2017 avec 3 jours de questionnaire.

Les résultats et le dépouillement du questionnaire ont été joints dans l'annexe 3 et aussi intégrés dans les fiches d'évaluation des indicateurs concernés.

### IV.3 RESULTATS ET DISCUSSION

La représentation par diagramme radars permet de mettre en évidence les résultats de l'évaluation afin d'en simplifier l'interprétation. Cette interprétation permettra par la suite de vérifier l'hypothèse de départ et de discuter sur les interactions de l'urbain avec les manifestations de chaleur anthropogénique.

#### IV.4.1 DISCUSSION PAR PARAMETRES

### Profil des paramètres d'influences de la chaleur anthropogénique, Rabia Tahar, Bab Ezzouar

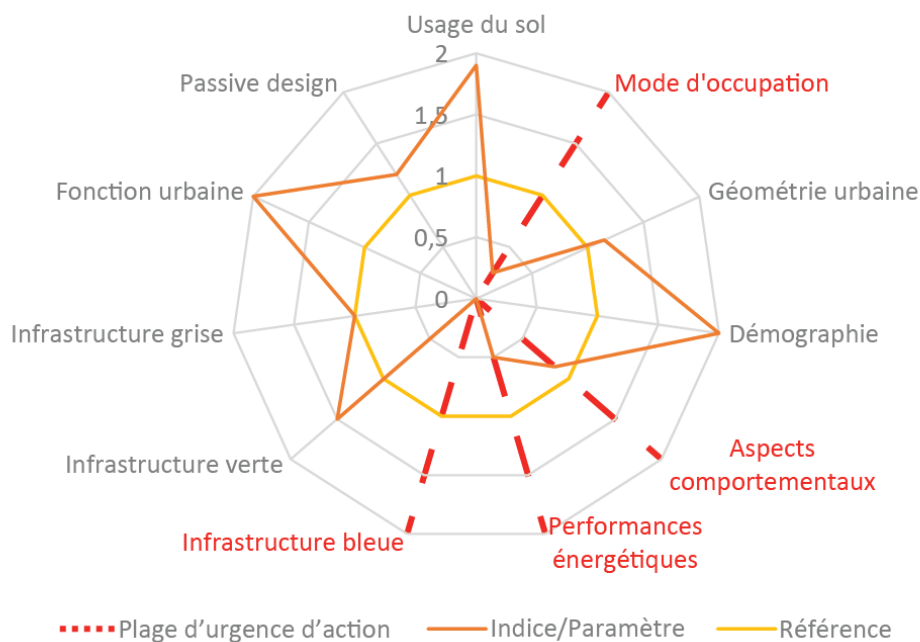


Fig.22 : Radar des paramètres d'influence de la chaleur anthropogénique, Source : Auteur

L'interprétation du radar a permis de déceler des paramètres inférieurs à la valeur de référence, notamment :

- L'infrastructure bleue ; celle-ci étant inexistante dans la zone, elle diminue le potentiel de rafraîchissement.
- Les performances énergétiques concernent la consommation du bâtiment et sont ainsi à mettre en relation avec la configuration des immeubles et le métabolisme énergétique de ces derniers.
- Les aspects comportementaux, évalués principalement grâce au questionnaire d'enquête, sont étroitement liés aux performances énergétiques dans le sens où les consommateurs sont affectés par le contexte urbain en développant un mode de vie énergivore.
- Le mode d'occupation, évoque la densité et compacité qui sont deux notions indissociables et réellement négligées dans l'urbanisme des grands ensembles amplifiant les vides et discontinuités.

Pour plus d'approfondissement, nous avons opté par une évaluation des indicateurs par domaine afin de vérifier les réelles carences quant à l'influence urbaine des émissions de chaleur anthropogénique.

#### IV.4.2 DISCUSSION PAR DOMAINES

##### Morphologie et usage du sol

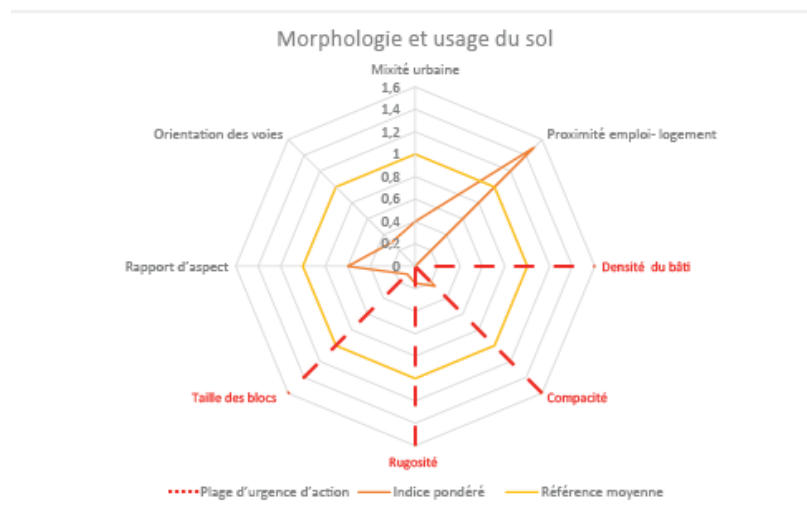


Fig. 23: Radar du domaine Morphologie et usage du sol, Source : Auteur

On constate d'après l'analyse du radar que tous les indicateurs sont en dessous de la référence moyenne sauf l'indicateur proximité emploi-logement du fait que la cité possède principalement des salariés de la commune ou des communes environnantes.

Les indicateurs en dessous de la moyenne peuvent être divisés en deux catégories :

- À valeur nulle ; densité de bâti, compacité, rugosité et taille des blocs tous liés à la configuration urbaine et les gabarits des grands ensembles (tours et barres).

Il est indiqué d'agir urgemment sur ces indicateurs afin de contribuer à réduire la chaleur en intervenant dès le POS (instrument d'urbanisme à l'échelle du quartier) pour :

- Imposer des valeurs COS et CES bénéfiques à une rugosité acceptable

- b. Limiter la construction neuve évitant d'obstruer la densité de bâti.

### Socio-démographie et comportement humain

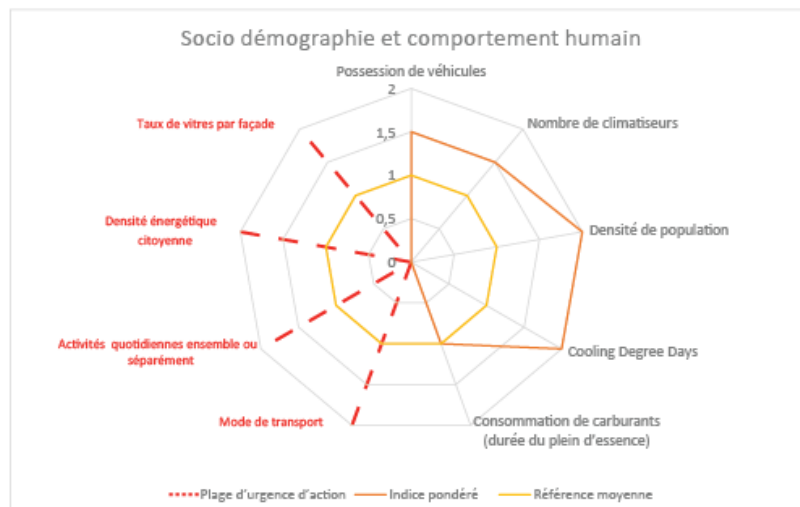


Fig.24 : Radar du domaine Socio-démographie et comportement humain, Source : Auteur

On constate d'après l'analyse du radar :

- Les indicateurs en dessous de la valeur de référence sont le taux de vitres par façade, la densité énergétique citoyenne, les activités quotidiennes énergivores et les modes de transport utilisés :

Il est indiqué d'agir urgemment sur ces indicateurs afin de contribuer à réduire la chaleur en intervenant sur les acteurs sociaux et urbains concernés :

- Les autorités responsables des énergies : Augmentation du prix de l'énergie afin d'inciter à la modération dans les consommations
  - Les autorités responsables de la mobilité : Encourager les déplacements doux et en site propre par la création d'intermodalité permettant de combiner les déplacements.
  - Sensibilisation des citoyens aux alternatives d'ombrage et l'adoption d'un mode de consommation plus restreint.
- Les indicateurs supérieurs à la valeur de référence ; possession de véhicules, nombre de climatiseurs, densité de population, cooling degree days et consommation de carburants ne nécessitent pas de rééquilibrage.

Stockage de chaleur et textures urbaines

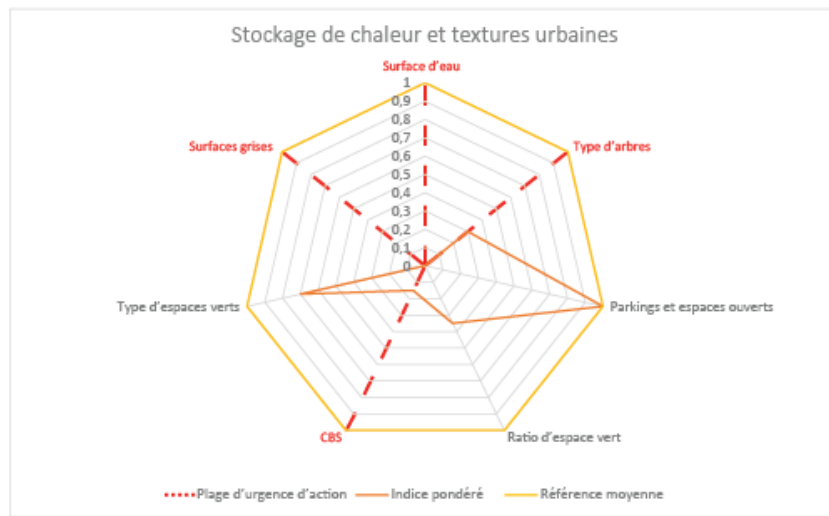


Fig. 25: Radar du domaine Stockage de chaleur et textures urbaines, Source : Auteur

On constate d'après l'analyse du radar que tous les indicateurs sont en dessous de la référence moyenne sauf l'indicateur Parking et espaces ouverts du fait que la cité ne soit pas trop imperméabilisée.

Les indicateurs en dessous de la moyenne peuvent être divisés en deux catégories :

- À valeur nulle ; type d'arbres, surface d'eau, et surfaces grises. Ceux-ci nécessitent une intervention d'urgence et ce par :
  - a. L'implantation de plans d'eau
  - b. La plantation des zones non construites
  - c. La restructuration des voies par un tracé régulier qui diminuerait le surplus de voies du à la configuration des grands ensembles.
- À valeur faible ; mixité urbaine, ratio d'espaces verts et types d'espaces verts.

Aménagement et environnement

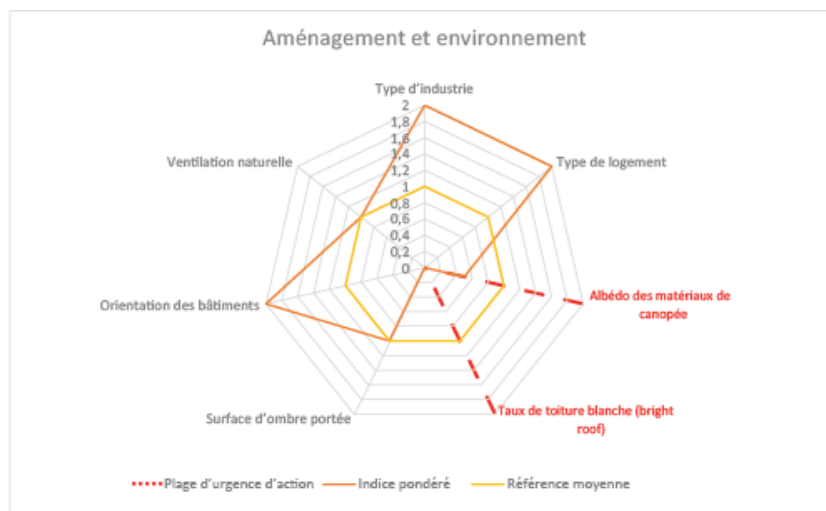


FIG.26 : RADAR DU DOMAINE AMENAGEMENT ET ENVIRONNEMENT, SOURCE : AUTEUR

On constate d'après l'analyse du radar que tous les indicateurs sont au-dessus de la référence moyenne sauf les indicateurs Albédo des matériaux de canopées et Taux de toiture blanche, cela témoigne d'une carence dans le choix des matériaux urbains mais qui n'est fatal car il y a possibilité d'y remédier grâce aux procédés de passive cooling comme :

- La peinture de tous les toits en blanc afin d'augmenter la réflexion des rayons solaires.
- Végétaliser les toitures grâce à des subventions pour les toits verts obligatoires ou pour la création d'espaces verts dans les arrières cours des habitations.
- Imposer dans les instruments d'urbanisme une gamme de matériaux à fort albédo.

Les indicateurs au-dessus de la moyenne sont Type de logement, type d'industrie, ventilation naturelle, orientation des bâtiments et surfaces d'ombre portée, car il s'agit d'une zone où l'industrie est absente, il y a majorité de résidentiel collectif et la configuration hasardeuse des grands ensembles a permis une ventilation préférentielle couplée à des ombres portées satisfaisantes.

Actions de rééquilibrage	Thème concerné	Acteurs concernés	Instruments d'urbanisme concernés
Implantation de plans d'eau			POS
Restructuration des voies	PLANIFICATION	APC	POS
Prise en compte de la rugosité dans le COS et CES			POS
Limiter les constructions neuves		APC	POS
Peinture de tous les toits en blanc		Citoyens	
Végétaliser les toitures grâce à des subventions pour les toits verts obligatoires ou pour la création d'espaces verts dans les arrières cours des habitations.	PASSIVE COOLING	APC	Campagne de sensibilisation
Encourager les déplacements doux et en site propre par la création d'intermodalité permettant de combiner les déplacements.	MOBILITE	APC	Plan de mobilité
Augmentation du prix de l'énergie afin d'inciter à la modération dans les consommations		Ministère de l'énergie	PDAU
Sensibilisation des citoyens aux alternatives d'ombrage et l'adoption d'un mode de consommation plus restreint.	ENERGIE	APC	Campagne de sensibilisation

Le tableau ci-contre résume les actions proposées dans le cadre de chaque domaine, avec les thèmes, les acteurs urbains et les instruments législatifs concernés.

Tab.9 : Résumé des actions proposées pour un rafraîchissement à Rabia Tahar, Source : Auteur

### Exemples de bonne pratique

Une recherche théorique a été menée pour la discussion des actions de rafraîchissement en milieu urbain. Ces dernières ont été appliquées à plusieurs villes dans le monde (européennes ou africaines entre autres), nous avons pris pour exemple la ville de Stuttgart en Allemagne et la ville nouvelle de Lakhayata au Maroc. Ces analyses d'exemples (Annexe 6) ont permis de dégager certaines actions durables de réduction de la chaleur anthropogénique que nous

synthétisé dans le tableau ci-après, adapté à l'échelle du quartier (échelle abordée dans la présente recherche) et avons appliqué aux deux types de chaleur selon les facteurs du développement durable.

Types de chaleur	Actions durables de réduction			
	Environnement		Social	Economie
	Urbain	Bâtiment		
<b>Chaleur sensible</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limiter la hauteur et l'orientation des immeubles (parallèles aux vents)</li> <li>• Ombrage des espaces publics</li> <li>• Porosité ( Laisser des espaces vacants inconstructs pour la pénétration des flux d'air froid (ex: aménagé en aire de jeu ) )</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isolation thermique</li> <li>• Matériaux fort albédo</li> <li>• Ventilation passive ou mécanique</li> <li>• Vitrage minimisé</li> <li>• Systèmes passifs ou hybrides (tubes enterrés, murs Trombe, capteurs à air ou eau, cheminées solaires)</li> <li>• Toitures blanche</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mode de vie et de consommation limité (plan de limitation)</li> <li>• Sensibilisation au risque et dispositions à prendre pour la prévention</li> <li>• Limitation de vitesses</li> <li>• Déplacement à vélo encouragé</li> <li>• Densité de population</li> <li>• Heures de pointe et mouvements pendulaires</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Augmentation du prix des stationnements</li> <li>• Programme pour le financement des toits verts obligatoires sur les habitations</li> <li>• Subventions pour la création d'espaces verts dans les arrière cours des habitations</li> <li>• Augmentation du prix de l'énergie</li> </ul>
<b>Chaleur latente</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Développement des zones de fraîcheur en ville</li> <li>• Perméabilisation des surfaces grises (zones de parkings avec pavés verts entourés de gazons pour remplacer les parcs, végétalisation des toitures)</li> <li>• Optimiser le microclimat en laissant pousser la végétation sur les rails</li> <li>• Gestion des eaux pluviales (collecte et traitement par des bassins d'infiltrations et plans d'eau)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Systèmes passifs ou hybrides (tubes enterrés, murs Trombe, capteurs à air ou eau, cheminées solaires)</li> <li>• Climatisation passive</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interdiction des poids lourds</li> <li>• Planter et cultiver les zones non construites</li> <li>• Carte intermodale qui permet de combiner les déplacements en transports en commun, en location de vélo ou de voiture, en covoiturage</li> <li>• Interdiction la modification ou la réduction des espaces verts protégés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excentrer la production local (industrie)</li> <li>• Production de voitures électriques</li> <li>• Economie circulaire (optimisation des ressources, sans déchets, boucle de rétroaction)</li> </ul>

Tab.10 : Mesures d'adaptation au réchauffement urbain Source : Auteur.

A cela nous pouvons ajouter les domaines d'action préconisés par l'ADEME, pour un objectif de fraîcheur urbaine.<sup>36</sup>

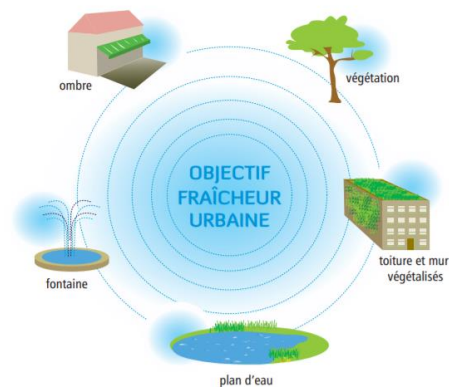


Fig.27 : Plages d'action pour objectif fraîcheur Urbaine. Source : ADEME, 2012

<sup>36</sup> Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie (ADEME), Climat et Territoires, Adaptation au changement climatique, Fiches pour agir dans les collectivités locales, 2012

### IV.4.3 CONCLUSION

#### Validation de l'hypothèse

Le postulat de départ de la recherche stipulait que : « **L'identification des éléments sources de la chaleur anthropogénique au niveau d'un quartier à Alger et l'évaluation du niveau d'influence de ces éléments aux émissions de chaleur anthropogénique est un levier fondamental qui tend à diminuer la demande énergétique et à réduire en finalité la chaleur en ville.** »

Ainsi, grâce à l'évaluation par indicateurs nous avons pu mettre le doigt sur l'augmentation de la production de chaleur anthropogénique, qui conduit à des températures élevées et génère une canopée d'air chaud sur la ville. Par conséquent, cela entraîne une consommation énergétique considérablement accrue pour refroidir les bâtiments (imposée par la structure urbaine). Ce processus est résumé par Shahmohamadi dans la figure suivante.

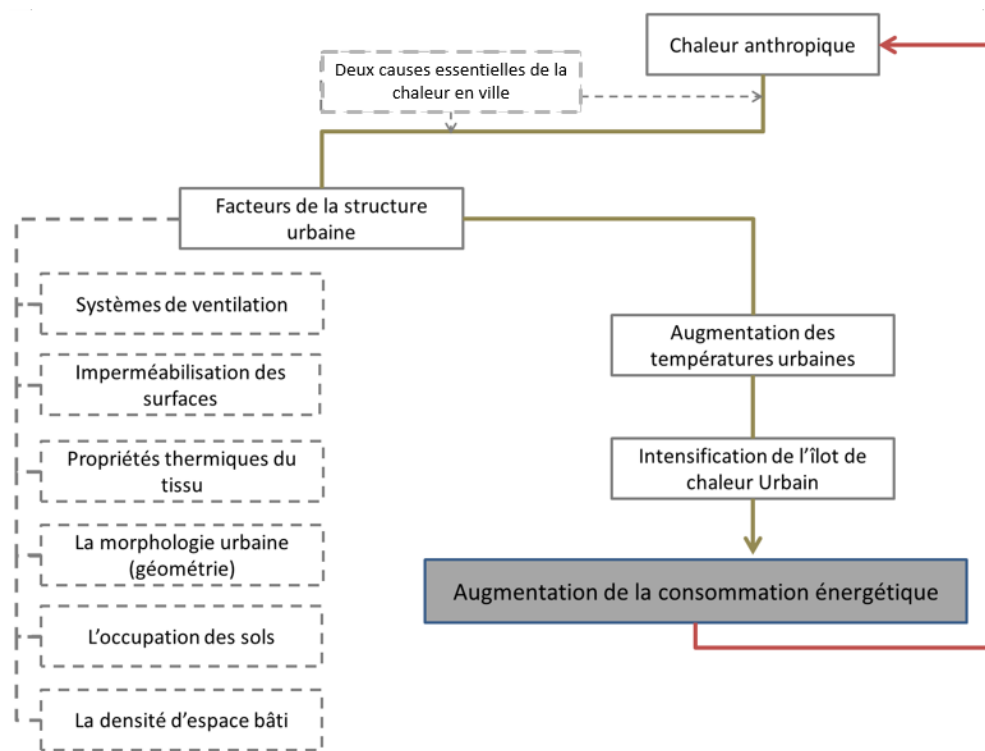


Fig.28 : Le processus d'augmentation de la consommation d'énergie, d'après Shahmohamadi et al. , 2011

Cette recherche a essayé de développer une démarche pour montrer le conflit entre la chaleur anthropogénique et les facteurs de structure urbaine qui peuvent contribuer au bilan énergétique. On souligne ainsi la consommation d'énergie, la chaleur anthropogénique et les facteurs de structure urbaine en tant que composants clés qui interagissent pour confirmer notre hypothèse de départ.

### Conclusion

Ce chapitre a exposé l'essai d'application du modèle d'évaluation proposé afin d'estimer la chaleur anthropogénique dans l'exemple traité. Cette application a aussi permis de vérifier la pertinence de l'outil dans le contexte de l'Algérois et à l'échelle du quartier. Effectivement, il s'est avéré utile dans son application et significatif quant à l'interprétation des paramètres d'influence et des indicateurs de chaleur anthropogénique. Les résultats établis ont dès lors permis une lecture aisée à travers leur conversion en « radars » ce qui laisse apparaître clairement les carences ou il y a nécessité d'action.

Enfin, la nécessité d'intégrer de telles évaluations à l'échelle du quartier s'avère utile comme outil d'aide à la décision ayant pour but ultime la prise en compte de la chaleur en ville et l'amélioration du confort thermique.

## CONCLUSION GENERALE

### Retours théoriques

Les objectifs visés à travers cette recherche consistaient dans un premier temps à faire correspondre les sources urbaines d'émission de la chaleur anthropogénique aux paramètres urbains influençant sa manifestation et évaluer le degré d'impact de ces derniers, et d'établir une démarche d'identification des mesures et actions qui permettraient d'agir sur les différents domaines permettant de réduire cette chaleur anthropogénique et par conséquent la demande énergétique

Cette étude repose donc sur la mise en place d'un modèle d'évaluation des paramètres d'influence à partir du croisement des deux équations du bilan thermique de la ville et de la chaleur anthropogénique. Une approche hybride issue de la revue de littérature, qui aborde le thème de la chaleur anthropogénique sous un nouvel angle d'évaluation, différent des modèles quantitatifs (assistés par des outils de simulation) dont l'application est impossible au contexte local faute de moyens et de disponibilité des données .

Dans le premier chapitre, un recul théorique a été apporté en abordant l'état de l'art vis-à-vis du concept de chaleur anthropogénique en analysant la revue de littérature. Cette étape a permis l'explication du concept, son assimilation et sa transcription au contexte local. Un contexte qui nous a contraints à son analyse dans un premier temps puis à la volonté d'établir un modèle d'évaluation adapté.

Le second chapitre, a éclairci les enjeux de réchauffement climatique en Algérie puis à Alger pris en compte dans les instruments d'urbanisme locaux et une rétrospective climatique a appuyé l'intérêt du sujet. Cette nécessité d'intégrer le climat dans les considérations urbaines de nos jours est indéniable car elle s'inscrit dans une dynamique de réflexions internationales depuis plusieurs années. Dès lors, la formule « *Penser global, agir local* »<sup>37</sup>, prend tout son sens quant au choix du cas d'étude à l'échelle d'un quartier partant du postulat de base que la chaleur anthropogénique à petite échelle était liée à la consommation énergétique.

Ainsi, l'application des critères d'évaluation de la chaleur anthropogénique a fait l'objet du troisième chapitre. Une approche méthodologique a été développée en se servant de la méthode de benchmarking basée sur la comparaison à des standards nationaux et internationaux prenant en charge l'échelle du quartier et la période estivale. Cette approche synthétique a permis d'un côté d'adapter les indicateurs aux données disponibles

---

<sup>37</sup> Cette formule employée par René DUBOS, lors du premier sommet sur l'environnement en 1972, semble résumer l'esprit du développement durable.

localement et d'un autre côté de proposer un modèle d'évaluation globale couvrant l'ensemble des thématiques prioritaires essentielles.

Afin d'appuyer et valider la grille d'évaluation, nous l'avons appliquée sur notre cas d'étude « la cité Rabia Tahar – Bab Ezzouar ». Pour chaque paramètre influençant la chaleur anthropogénique, nous proposons des fiches d'indicateurs justifiés, expliqués clairement avec une méthode de calcul proposée et la comparaison au benchmark avec le système de notation. Cette dernière prend en compte la pondération de l'indicateur et son importance sur une échelle quantitative et qualitative. La somme pondérée offre l'avantage de la clarté et de la simplicité d'interprétation par rapport à une priorisation préalable des indicateurs au sein d'un même paramètre. Les résultats de l'évaluation sont ensuite interprétés grâce à une représentation de tous les paramètres d'abord et des indicateurs pour chaque domaine d'influence ensuite, ceci à l'aide de diagrammes radars.

### Résultats empiriques

L'outil développé au sein de cette recherche offre un moyen d'évaluer les paramètres d'influence de la chaleur anthropogénique dans le quartier le plus énergivore de la commune la plus chaude de l'Algérois. Notre problématique de départ « Comment se manifeste l'impact de la chaleur anthropogénique à l'échelle d'un quartier ? Et Quelles alternatives de rafraîchissement urbain au vu des interactions entre composantes urbaines et production de chaleur anthropogénique ? »

Avec comme hypothèse de réponse « L'identification des éléments sources de la chaleur anthropogénique au niveau d'un quartier à Alger et l'évaluation du niveau d'influence de ces éléments aux émissions de chaleur anthropogénique est un levier fondamental qui tend à diminuer la demande énergétique et à réduire en finalité la chaleur en ville. »

L'évaluation par indicateurs nous a permis de mettre le doigt sur les différents paramètres qui interagissent avec l'augmentation de la production de chaleur anthropogénique dont notamment la structure urbaine qui induit les faibles performances énergétiques induisant à leur tour les aspects comportementaux. Notons que le questionnaire d'enquête a approfondi certaines interprétations comme la prise de conscience des habitants du mauvais mode de consommation et de l'impact sur la production de chaleur pointant du doigt des paramètres externes qui obligent l'adoption du comportement en question, on cite notamment la phrase " الله غالب " qui en témoigne.

Les températures élevées générant une canopée d'air chaud sur la ville entraînent une consommation énergétique considérablement accrue pour refroidir les bâtiments, celle-ci n'étant pas fortuite elle est imposée par la structure urbaine.

Ainsi, cette lecture transversale de l'influence des paramètres les uns sur les autres a permis la validation de notre hypothèse au terme de notre travail. Les paramètres d'influence identifiés comme exacerbant la chaleur ont été identifiés grâce à l'évaluation et les secteurs d'action urgente ont donc été mis en exergue.

Enfin, notre recherche a pu démontrer partiellement que le processus d'évaluation de la chaleur anthropogénique est à inclure dans les démarches de projet urbain comme outil de vérification l'impact énergétique. Effectivement, la confrontation du modèle d'évaluation établi dans cette recherche avec le cas d'étude a démontré les atouts du processus d'évaluation, ses manques et son rôle dans la mise en œuvre des exigences de performances énergétiques.

### Limites de la recherche

Nous résumons les limites de notre recherche dans les points suivants, par ordre, allant de la phase étude à l'application puis l'évaluation.

Pour la phase étude :

- L'accès à la documentation pour l'élaboration de l'outil d'évaluation a été compliqué dû à l'ambiguïté de la notion choisie et la rareté de bibliographie francophone.
- La simplification de la formule du bilan d'énergie thermique par manque de moyens d'évaluation de certains termes.
- Les ambiguïtés d'échelle qu'il fallait maîtriser car il s'agit d'une évaluation manuelle qui n'a pas été assistée par un logiciel de simulation ou un Système d'Information Géographique. Cette recherche ouvre la voie à d'autres qui pourraient se poursuivre pour affiner le concept de chaleur anthropogénique avec des outils plus performants.

Pour la phase application :

- Le questionnaire dont a fait l'objet de notre enquête était un questionnaire de commodité qui couvrait 100 personnes du quartier.
- La grille d'évaluation compte des indicateurs pertinents mais omet certains par manque de disponibilité de données pour l'évaluation. (détails sur la consommation de carburants, ..) qui nous a amené à généraliser certains indicateurs diminuant donc la fiabilité de la donnée.

Pour l'évaluation et la discussion :

- Difficultés d'accéder aux données concernant la consommation électrique (données considérées comme confidentielles entre la société de production et de distribution– Sonelgaz- et ses clients) et leur absence au niveau des APC.
- Le contexte des normes et labels utilisé différent de celui de l'Algérie donc éventuelle incompatibilité avec notre contexte socio-climatique qui régit le confort physique et thermique humain. Les standards ont été choisis par rapport à des critères de sécurité face au risque du réchauffement climatique d'une part, et pour satisfaire aux exigences de développement durable d'autre part.

- Cependant, en absence de normes Algériennes, pour les besoins de notre recherche, nous les avons utilisés tout en signalant que dès l'élaboration de ces normes, une confirmation des résultats devrait être effectuée.

## Perspectives de la recherche

Notre étude a permis de nous familiariser avec la chaleur anthropogénique, de connaître ses principales manifestations et d'évaluer ces interactions dans le contexte local. À travers tout le travail, plusieurs chemins de futures recherches ou approfondissements sont apparus :

Une ébauche de la recherche dans le cadre de la chaleur anthropogénique fut abordée dans cette étude, grâce à laquelle d'autres sujets et thèmes intéressants se dégagent tels que ;

- Étendre l'application de la chaleur sur une périodicité annuelle plutôt que saisonnière.
  - L'application de cette notion de chaleur anthropogénique sur l'ensemble des quartiers de Bab Ezzouar, voire des communes d'Alger.
  - L'affinement de cette notion en la rapportant à d'autres critères urbains et à d'autres sources de chaleur.
  - La maîtrise et gouvernance face au métabolisme urbain en appréhendant la gestion de la chaleur anthropogénique par la maîtrise de l'ensemble des flux thermiques dans le système urbain.
-

## LISTE DES FIGURES

Fig.1 : Facteurs anthropogéniques du réchauffement	8
Fig.2: Carte mondiale du world risk Index	11
Fig.3 : Le changement des températures annuelles à l'horizon 2080/2099 par rapport à 1980-1999 (moyenne de 21 modèles)	10
Fig.4 : Bilan énergétique pour une zone urbaine	17
Fig.7 : Relation entre bilan d'énergie thermique et chaleur anthropogénique.	26
Fig.9 : Risques majeurs pris en compte par le PDAU.	33
Fig.10 : Graphique représentant les variations de températures d'Alger durant la période 1990-2016,	34
Fig.11: Graphique représentant précipitations totales annuelles d'Alger durant la période 1990-2016,	34
Fig.12 : Carte du niveau de vulnérabilité locale au réchauffement climatique des communes algéroises.	35
Fig.13 : Carte du niveau de l'ampleur du réchauffement urbain des communes algéroises.	36
Fig.14 : Plan de situation de la commune de Bab Ezzouar	37
Fig.16 : Critères de choix de Bab Ezzouar d'après les sources de chaleur anthropogénique.	39
Fig. 17 : Consommation électrique par carnet de la commune de Bab Ezzouar, 3eme trimestre 2016	40
Fig.18 : Plan de situation du quartier dans la commune	41
Fig.19 : Carte des fonctions dominantes de Rabia Tahar.	42
Fig. 20 : Diagrammes d'influence des paramètres urbains.	52
Fig. 21: Etapes de mise en œuvre de la grille	53
Fig.22 : Radar des paramètres d'influence de la chaleur anthropogénique	88
Fig. 23: Radar du domaine Morphologie et usage du sol	89
Fig.24 : Radar du domaine Socio-démographie et comportement humain	90
Fig. 25: Radar du domaine Stockage de chaleur et textures urbaines	91
Fig.26 : Radar du domaine Aménagement et Environnement	91
Fig.27 : Plages d'action pour objectif fraîcheur Urbaine	93
Fig.28 : Le processus d'augmentation de la consommation d'énergie	96

## LISTE DES TABLEAUX

Tab.1 : Mode de calcul des termes du budget énergétique par les différents outils.	27
Tab.2 : Synthèse des approches d'évaluation de la chaleur anthropogénique.	30
Tab.3 : Matrice de croisement des formules et paramètres de chaleur anthropogénique.	45
Tab.4 : Regroupement des paramètres en domaines d'influence.	46
Tab.5 : Grille d'évaluation de la chaleur anthropogénique.	49
Tab.6 : Hiérarchisation des indicateurs et affectation des pourcentages de pondération	51
Tab.7 : Pondération des indicateurs et paramètres.	86
Tab.8 : Correspondances questionnaire/ indicateurs.	88
Tab.9 : Résumé des actions proposées pour un rafraichissement à Rabia Tahar.	92
Tab.10 : Mesures d'adaptation au réchauffement urbain	93

---

## LISTE DES ABREVIATIONS

$\Delta Q_a$  : Flux de chaleur advectif  
 $\Delta Q_s$  : Variation de la quantité de chaleur stockée  
ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie  
AH : Chaleur anthropogénique  
APC : Assemblée populaire communale  
APRUE : Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie  
C : Compacité  
CBS : Coefficient de Biotope surfacique  
D : Densité  
GES : Gaz à effet de serre  
GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat  
Kwh : Kilowattheure (unité de quantité d'énergie)  
ONS : Office Nationale de Statistiques  
PCTI: Plan Climat Territorial Intégré  
PDAU : Le Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme  
Q\* : Rayonnement net  
Q<sub>b</sub> : Valeur due au bâtiment  
Q<sub>e</sub> : Flux de chaleur latente  
Q<sub>f</sub> : chaleur anthropogénique  
Q<sub>h</sub> : Flux de chaleur sensible  
Q<sub>m</sub> : Chaleur due au métabolisme humain  
Q<sub>v</sub> : Chaleur due aux véhicules et transports  
RGPH : Recensement général de la Population et de l'Habitat  
SIG : Système d'information géographique  
SNAT : *Schéma* National d'Aménagement du Territoire  
SONELGAZ : Société nationale de l'électricité et du gaz  
USTHB : Université des Sciences Technologiques Houari Boumediene  
WRI : World Risk Index  
WWR : Window to Wall Ratio (Taux de vitrage par façade)

## BIBLIOGRAPHIE

### Bibliographie citée

1. ADEME, agence de l'environnement et de la maîtrise d'énergie, 2012
2. AKSAMIJA, Climate considerations for facades, Technical feature Design methods for sustainable facades, High performing buildings 2014.
3. ALLEN, F. LINDBERG and C. S. B. GRIMMOND, Global to city scale urban anthropogenic heat flux: model and variability, Environmental Monitoring and Modelling Group, Department of Geography, King's College London, The Strand, London, 2010
4. AMOURA, M. La densité énergétique comme outil d'orientation de planification pour la maîtrise d'énergie en milieu urbain. Exemple de la commune de Bab-Ezzouar à Alger, Laboratoire Ville Urbanisme et Développement Durable, Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme –EPAU, 2014
5. ANDERSSON-SKOLD, Y. THORSSON, S. RAYNER, D. LINDBERG, F. JANHALL, S. JOSSON, A. MOBACK, U. BERGMAN, R. GRANBERG, M. An integrated method for assessing climate-related risks and adaptation alternatives in urban areas, Climate Risk Management, 2015.
6. BEREZOWSKA-AZZAG E., ABDELATIF I., AKROUR N., AZOUI O., SRIR M., Baromètre des performances urbaines locales, 2015
7. BOUATTOU, A. Stratégie de rafraîchissement urbain à Alger, Analyse climatique des communes vulnérables, 2015
8. BOURQUE, Les changements climatiques et leurs impacts, Numéro spécial: Changements climatiques, VertigO, 2000
9. BOUSSOUARA, Etude des émissions polluantes et des moyens de dépollution dans les moteurs a combustion interne, Université de Constantine, 2010
10. BOUYER, J. Modélisation et simulation des microclimats urbains - Etude de l'impact de l'aménagement urbain sur les consommations énergétiques des bâtiments. Energie électrique, Université de Nantes, 2009.
11. CHAMPIAT, C. Prévention des effets sanitaires des vagues de chaleur, Elaboration d'une méthodologie d'identification des îlots de chaleur urbains sur le territoire du Grand Lyon, Ecole des hautes études en santé publique, 2008
12. CHAMPIAT, Prévention des effets sanitaires des vagues de chaleur, Elaboration d'une méthodologie d'identification des îlots de chaleur urbains sur le territoire du Grand Lyon, Ecole des hautes études en santé publique, 2008
13. CHERIX, M. CAPEZZALI, Concept innovant de management et de planification des systèmes énergétiques en zones urbaines (PROJET MEU), Office fédéral de l'énergie OFEN, Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication, Confédération suisse, Rapport annuel 2008
14. CHRISTEN and VOGT, R. "Energy and radiation balance of a central europeancity " international journal of climatology, 2004
15. COLOMBERT, M. Contribution à l'analyse de la prise en compte du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville. Sciences de l'ingénieur[physics]. Université Paris-Est, 2008.
16. COUTTS, M. DEMUZERE, N. TRAPPER, E. DALY, J. BERINGER, S. NURY, A. BROADBENT, R. HARRIS, L. GEBERT, K. NICE, The impacts of harvesting solutions and WSUD on evaporation and the water balance and feedbacks to urban hydrology and stream ecology, Green Cities and Micro-climate ,2014

17. DE MUNCK, Modélisation de la végétation urbaine et stratégies d'adaptation pour l'amélioration du confort climatique et de la demande énergétique en ville. Institut national Polytechnique de Toulouse, 2013.
18. DJAAFRI, M. *Forme urbaine, Climat et Energie Quels indicateurs et quels outils ?*, Laboratoire Architecture et Environnement, École Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme, 2014
19. Egis Eau / IAU-IDF / BRGM, *Etude sur la vulnérabilité et l'adaptation de la Wilaya d'Alger au changement climatique et aux risques naturels, Identification des vulnérabilités urbaines*, 2015.
20. GRAND LYON COMMUNAUTE URBAINE, *Lutte contre les îlots de chaleur urbains, Référentiel conception et gestion des espaces publics*, 2010
21. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, *CHANGEMENTS CLIMATIQUES, Les éléments scientifiques Résumé à l'intention des décideurs, Résumé technique et Foire aux questions*, 2013.
22. *GUIDE D'ACCOMPAGNEMENT DES TERRITOIRES pour l'analyse de leur vulnérabilité socio-économique au changement climatique - CGDD (traitement I Care Environnement)*
23. HADJI, L. *Méthode d'évaluation de la qualité des espaces publics dans un projet d'aménagement durable à Alger*, Laboratoire Ville Urbanisme et Développement Durable École Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme (EPAU), 2014
24. HONGXUAN, DAN, XIAOLIN, FENGSEN, YUANZHENG, XIAOGANG, SHENGLI, *Horizontal Heat Impact of Urban Structures on the Surface Soil Layer and Its Diurnal Patterns under Different Micrometeorological Conditions*, 2016
25. JARDINE, A. MERIDETH, R. BLACK, M. LEROY, S. *Assessment of Climate Change in the Southwest United States: A Report Prepared for the National Climate Assessment*, p.273, 2013.
26. JENSEN, *Cool roofs: beating the midday sun with a slap of white paint*, Guardian sustainable business, Smart cities, 2016
27. KLYSIK, *Spatial and seasonal distribution of anthropogenic heat emissions in Lodz, Poland. Atmospheric, Environment*, 1996.
28. KOTCHI, SERGE OLIVIER, *Détection du stress hydrique par thermographie infrarouge. Application à la culture de la pomme de terre*, Université Laval dans le cadre du programme de maîtrise en sciences géomatiques, FACULTÉ DE FORESTERIE ET GÉOMATIQUE, 2004
29. KOUNKOU-ARNAUD, R. DESPLAT, J. LEMONSU, A. SALAGNAC, LAUFFENBURGER, J-L M. *Méthodologie pour la quantification de l'impact d'aménagements urbains sur un climat urbain modifié*, Climatologie, numéro spécial 'Climats et changement climatique dans les villes', 2012
30. L'AGENCE DU DEVELOPPEMENT ET D'URBANISME DE LILLE METROPOLE, *Les îlots de chaleur urbains (ICU)*, Etude, Juin 2017.
31. LALAOUI – HECHICHE, L. *La prospective urbaine face aux enjeux des changements climatiques, Cas d'étude : Communes littorales de la wilaya d'Alger*, Mémoire de magistère EPAU 2014.
32. LECONTE, *Caractérisation des îlots de chaleur urbains par zonage climatique et mesures mobiles : Cas de Nancy*, Université de Lorraine, 2014
33. LEE , D. O. "Urban climates," *Progress in Physical Geography*, vol. 8, no. 1, pp. 1–31, 1984
34. LINDBERG, C.S.B. Grimmond, N. Yogeswaran , S. Kotthaus , L. Allen, *Impact of city changes and weather on anthropogenic heat flux in Europe 1995–2015*, 2016

35. MALKI, H., Evaluation du potentiel écologique vert à Bab Ezzouar à travers l'application du CBS, Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme, 2014
36. MARIAQUE A-F, REITER S, A simplified framework to assess the feasibility of zero-energy at the neighborhood/ community scale. *Energ Build*, 2014
37. MARSHALL, J.D, Energy-efficient urbanform, *Environ SciTechnol*, 2008
38. MESTOUL, D. Évaluation du degré de gêne dans les espaces publics extérieurs soumis aux effets aérodynamiques des bâtiments, cas d'étude : cité CNEP 800 logements de Bouzareah à Alger, Mémoire de magistère, 2010.
39. NASTRAN, S. Street Design and Urban Microclimate: Analyzing the Effects of Street Geometry and Orientation on Airflow and Solar Access in Urban Canyons, *Journal of clean energy technologies*, 2013
40. PIGEON. G, Les échanges surface-atmosphère en zone urbaine - Projets CLU-ESCOMPTE et CAPITOUL. Ocean, Atmosphere. Université Paul Sabatier - Toulouse III, 2007
41. PLAN AIR CLIMAT, Grenoble-Alpes Métropole, boîte à outils, air climat & urbanisme, Pour une intégration des enjeux environnementaux dans les PLU et les opérations immobilières. 2013
42. PORTAIL ALGERIEN des ENERGIES RENOUVELABLES, Point focal du GIEC en Algérie : Les actions de l'Algérie pour lutter contre le changement climatique, Nouredine YASSAA.
43. ROK,J. , Urban Benchmarking as a tool for complex assessment of development potential, Centre for European Regional and Local Studies (EUROREG), University of Warsaw, 2013
44. SAILOR D.J, A review of methods for estimating anthropogenic heat and moisture emissions in the urban environment, *Mechanical and Materials Engineering*, 2011
45. SAILOR D.J, Anthropogenic Heat and Moisture Emissions in the Urban Environment, The seventh International Conference on UrbanClimate, Yokohama, Japan, 29 June - 3 July 2009.
46. SAILOR D.J., GEORESCU M. , MILNE J. M. , HART M. A. , Development of a national anthropogenic heating database with an extrapolation for international cities, *Atmospheric Environment* 118,2015.
47. SAILOR, D. J. BROOKS, A. HART, M. and HEIPLE, S. A bottom-up approach for estimating latent and sensible heat emissions from anthropogenic sources. 7th Symposium on the Urban Environment, American Meteorological Society, San Diego, 2007.
48. SHAHMOHAMADI, P. CHE-ANI, A. I. MAULUD, K. N. TAWIL, N.M. And ABDULLAH, N. A. G. The Impact of Anthropogenic Heat on Formation of Urban Heat Island and Energy Consumption Balance, Faculty of Engineering and Built Environment, Universiti Kebangsaan Malaysia, 2011.
49. SHARIFI, A. Yoshiki Yamagata, Principles and criteria for assessing urban energy resilience: A literature review, 2016
50. TAABNI, M. et DRISS, M. El , Eau et changement climatique au Maghreb : Quelles stratégies d'adaptation ? , L'Afrique face aux changements climatiques, 2012.
51. THE WORLD BANK GROUP, Guide pour l'adaptation aux changements climatiques des villes – Résumé analytique
52. VILLADIEGO BERNAL, K. Une lecture de la forme urbaine et des microclimats, Le cas de Barranquilla, Université d'Aix Marseille, 2014
53. VOSKAMP, IM. FHM, VAN DE VEN, Planning support system for climate adaptation: composing effective sets of blue-green measures to reduce urban vulnerability to extreme weather events. *Build Environ*, 2014

54. YASSAA, N. Portail Algérien des ENERGIES RENOUVELABLES, Point focal du GIEC en Algérie : Les actions de l'Algérie pour lutter contre le changement climatique, 2015

#### Bibliographie consultée :

1. AKBARI, H. ROSE, LS. Urban surfaces and heat island mitigation potentials. *J Hum-Environ Syst*, 2008
2. ALEXANDRI, E. JONES, P. Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates, *Build Environ* 2008
3. ASIMAKOPOULOS, D. N. CHRISOMALLIDOU, N. et al., *Energy and Climate in the Urban Built Environment*, James & James, London, UK, 2001.
4. BAHAJ, A. JAMES, P. Urban energy generation: the added value of photovoltaics in social housing. *Renew Sustain Energy Rev* 2007
5. BERARDI, U. GHAFARIANHOSEINI, A. State of the art analysis of the environmental benefits of green roofs, *ApplEnergy* 2014
6. BONAN, G., *Ecological Climatology*, Cambridge University Press, 2002.
7. BRADGON, CR. Resilient communities: from sustainable to secure. *Sustainability* 2009
8. BRETZ, S. AKBARI, H. ROSENFELD, A. Practical issues mitigation potentials. *J. Hum-Environ Syst*, 2008
9. CAPUTO, S. CASEIRO, M. COLES, R. JANKOVIC, L. GATERELL, MR. Testing energy efficiency in urban regeneration, *Proc Civil Eng* 2012
10. CATTERON, P. Towards an agenda for post-carbon cities: lessons from Lilac the Uk's first ecological, affordable cohousing community. 2013
11. CAVAN, G. LINDLEY, S. JALAYER, F. YESHITELA, K. PAULEIT, S. RENNER, F. et al. Urban morphological determinants of temperature regulating ecosystem services in two African cities. *Ecol Indic* 2014
12. CHO, J. YOO, C. Kim Y, Viability of exterior shading devices for high rise residential buildings: case study for cooling energy saving and economic feasibility analysis. *EnergBuil* 2014
13. COLLINS, W. COLMAN, R. HAYWOOD, J. MANNING, M. et MOTE, PH. « Réchauffement climatique, le temps des certitudes », *Pour la Science*, n° 360, octobre 2007.
14. DODSON, J. Suburbia under energy transition: a socio technical perspective, *Urban Stud* 2014
15. DOLMAN, N. SAVAGE, A. OGUNYOYE, F. Water sensitive urban design: learning from experience, *Civil Eng-Munic* 2013
16. GILL S, HANDLEY. J, ENNOS, A. PAULEIT, S. Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure, *Built Environ* 2007
17. GOMEZ, M. PORTA GRANDARA, MA. FERNANDEZ, JL. Effect of tree shades in urban planning in hot arid climatic regions. *Landscape Urban Plan* 2010
18. GREUILLET, C. GALSOMIES, L. L'ilôt de chaleur urbain et le lien avec la qualité de l'air, *Pollution atmosphérique*, numéro spécial, Juin 2013.
19. GRIMMOND, C. OKE, TR. Heat storage in urban areas: local-scale observations and evaluation of a simple model. *J Appl Meteorol*, 1999.
20. HAMILTON, IG. DAVIES, M. STEADMAN, P. STONE, A. RIDLEY, I. EVANS, S. The significance of the anthropogenic heat emissions of London's buildings: a comparison against captured shortwave solar radiation. *Build Environ*, 2009.

21. HOUSE, PETERS, LA. CHANG, H. Modeling the impact of and use and climate change on neighborhood scale evaporation and nighttime cooling a surface energy balance approach. *Landsc Urban Plan*, 2011
22. HUBBART, JA. KELLNER, E. HOOPER, L, LUPO, AR. MARKET, PS. GUINAN, PE. et al. Localized climate and surface energy flux alterations across an urban gradient in the central US, *Energies* 2014
23. INTERNATIONAL INSTITUTE FOR APPLIED SYSTEMS ANALYSIS (IIASA), Baseline scenarios for the clean air for Europe (CAFE), Programme, Final Report (Corrected Version), 2000.
24. JAMEI, E. RAJAGOPLAN, P. SEYEDMAHMOUDIAN, M. JAMEI, Y. Review on the impact of urban geometry and pedestrian level greening on outdoor thermal comfort. *Renew Sustain Energy* 2016
25. JANCOVICI, J-M. *Changer le monde: Tout un programme*, Paris, Ed. Calmann-Levy, 2005, p28.
26. JJEONG TAI, K. KIM, G. Advanced external shading device to maximize visual and view performance. *Indoor Built Environ* 2010.
27. JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE FRANCAISE, n°0087 du 12 avril 2009 page 6438, texte n° 38, Vocabulaire de l'environnement (liste de termes, expressions et définitions adoptés)
28. KENNEDY, C. CORFEE-MORLOT, J. Past performance and future needs for low carbon climate resilient infrastructure- an investment perspective. *Energy Policy* 2013
29. KLYSIK, K. Spatial and seasonal distribution of anthropogenic heat emissions in Lodz, Poland. *Atmospheric Environment*, 1996.
30. KUMAR, K. NAGENDRA, S. Quantification of anthropogenic CO2 emissions in a tropical urban environment, *Atmospheric Environment*, 2015
31. LA ROCHE, P., BERRARDI, L. Comfort and energy savings with active green roofs. *Energy Build*, 2014
32. LLOYD JONES, T. Retrofitting sustainability to historic city core areas. *Civil Eng Munic* 2010
33. LUCEY, WP. BARRACLOUGH, CL. BUCHANAN, SE. Closed-loop water and energy systems implementing nature's design in cities of the future. *Cities Fur Set* 2010
34. MALISZEWSKI, PJ. PERRINGS, C. Factors in the resilience of electrical power distribution infrastructures. *Appl Geogr* 2012
35. MANFREN, M. CAPUTO, P. COSTA, G. Paradigm shift in urban energy systems through distributed generation: methods and models. *Appl Energ* 2011
36. MARIAQUE, A-F. Reiter S, A simplified framework to assess the feasibility of zero-energy at the neighborhood/ community scale. *Energ Build*, 2014
37. MARSHALL, JD. Energy Efficient urban form, *Environ Sci Technol* 2008
38. MOURSHED, M. The Impact of the projected changes in temperature on heating and cooling requirements in buildings in Dhaka, Bangladesh, 2011
39. NOVOTNY, V. Water energy nexus: retrofitting urban areas to achieve zero pollution. *Build Res Inform*, 2013
40. OBSERVATOIRE NATIONAL SUR LES EFFETS DU RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE, *Villes et adaptation au changement climatique*, 2009.
41. OFFERLE, B. GRIMMOND, C. FORTUNIAK, K. Heat storage and anthropogenic heat flux in relation to the energy balance of a central European city centre. *Int J Climatol*, 2005.
42. ONG, BL, Green plot Ratio: an ecological measure for architecture and urban planning, *Landsc Urban Plan*, 2003
43. RAMAN, AP. ANOMA, MA. ZHU, L. REPHAELI, E. FAN, S. Passive radiative cooling below ambient air temperature under direct sunlight. *Nature* 2014

44. RATTI,C. BAKER, N. STEEMERS, K. Energy consumption and urban texture. *Energy Build* 2005
45. RAZZAGHMANESH,M. BEECHAM,S. BRIEN, CJ. Developing resilient green roofs in a dry climate. *Sci Total Environ*, 2014
46. RENDALL, S. PAGE, S. REITSMA, F. VAN HOUTEN, E. KRUMDIECK, S. Quantifying transport energy resilience active mode accessibility, 2011
47. REYSSAC,G.L. Bourg,D. Le développement durable. Maintenant ou jamais, éd. Gallimard, coll. "Découverte", 2007.
48. ROBINSON, D. Urban morphology and indicators of radiation availability, *Solar Energy* 2006
49. SANAIEIAN, H. TENPIERIK, M. LINDEN, Kvd. ZADEHSERAJ, M. SHERMANI,M, Review of the impact of urban block form on thermal performance, solar access and ventilation. *Renew Sustain Energy Rev*, 2014
50. SANTAMOURIS M, Cooling the cities- a review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments, *Solar Energy*, 2014
51. SANTAMOURIS, M. CARTALISB, SUNNEFAB, C.A. KOLOKOTSAC, D. On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings— *Energy and Buildings*, 2015.
52. SHAW A, BURCH S, KRISTENSEN F, ROBINSON J, DALE A, Accelerating the sustainability transition, exploring synergies between adaptation and mitigation in British Columbian communities. *Global Environ Change* 2014
53. SHIMODA Y, ASAHI T, TANIGUSHI A, MIZUNO M. Evaluation of city-scale impact of residential energy conservation measures using the detailed end-use simulation model. *Energy* 2007
54. STEININGER, K.W. KONIG, M. BEDNAR- FRIEDL, B. KRANZL,L. LOIBL,W. PRETTENTHALER,F. Economic evaluation of climate change impacts, Development of cross-sectoral framework and results for Austria, Springer climate, 2015
55. STONE B, HESS JJ, FRUMKIN H, Urban form and extreme heat events: are sprawling cities more vulnerable to climate change than compact cities? *Environ Health Perspect*, 2010
56. TAHA, H. Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy Build*, 1997.
57. TORRANCE, KE. SHUN, J. Time-varying energy consumption as a factor in urban climate. *Atmos Environ* (1967), 1976.
58. TORSTEN, W. BIRKMANN, J. The World Risk Index – An Approach to Assess Risk and Vulnerability on a Global Scale, Institute of Spatial and Regional Planning, University of Stuttgart, Germany,2015.
59. UNGER N , Bond TC, Wang JS, Koch DM, Menon S, Shindell DT, et al. Attribution of climate forcing to economic sectors, 2010
60. VIERRIA AS, Beal CD, Ghisi E, Stewart RA, Energy intensity of rainwater harvesting systems, a review. *Renew Sustain Energy Rev* 2014

#### Sites internet

<http://www.aprue.org.dz/documents/consommation-energetique.pdf>

<http://www.mediaterre.org/jeunes/actu,20090129183949.html>

[http://odel.irevues.inist.fr/climatologie/docannexe/file/551/35\\_kounkou.pdf](http://odel.irevues.inist.fr/climatologie/docannexe/file/551/35_kounkou.pdf)

[https://www.esrifrance.fr/iso\\_album/p50p51\\_iau.pdf](https://www.esrifrance.fr/iso_album/p50p51_iau.pdf)

[https://www.agglo-larochelle.fr/documents/10839/1784751/1\\_rp.pdf/b5595a98-3edd-4fcd-838a-58316df690af](https://www.agglo-larochelle.fr/documents/10839/1784751/1_rp.pdf/b5595a98-3edd-4fcd-838a-58316df690af)

[http://www.osddt.eu/uploadfotos/allegato1\\_guida-finale\\_francese.pdf](http://www.osddt.eu/uploadfotos/allegato1_guida-finale_francese.pdf)

<http://www.catmed.eu/indicateurs>

[Compacité / Densité - Collectivités viables](#)

<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00665612/file/these.pdf>

[http://www.cnfpt.fr/sites/default/files/morgane\\_colombert.pdf](http://www.cnfpt.fr/sites/default/files/morgane_colombert.pdf)

---

# ANNEXES

## ANNEXE 1/ Stratégies potentielles de régulation du climat

Stratégies potentielles de régulation du climat, leurs effets et les valeurs d'impact estimées (évaluation) sur l'atténuation du stress thermique pendant la journée et la nuit. Le classement varie de -2 (contre-productif), à 0 (pas d'effet significatif), à 2 (très efficace) et est basé sur la littérature mentionnée dans le tableau.

Strategies	Measure	Effect daytime	Rate (day)	Effect night-time	Rate (night)	References	
Material	Albedo	Increase fraction of light, reflective surfaces	Increased reflection of solar (short-wave) radiation; decreased surface and air temperatures	0	Negligible effect	0	Erell et al., 2014; Müller et al., 2014
	Thermal Admittance	Increase fractions with low thermal admittance	Decreased surface and air temperatures	1	Increased surface and air temperatures	-1	Christen et al., 2012
	Permeability	Increase fraction of pervious surfaces	Increased evaporation, decreased surface and air temperatures	1	Increased evaporation, decreased surface and air temperatures	1	Hedquist and Brazel, 2013
Building geometry	Building density	Increase building density, i.e. high and compact building structures	Increased shadowing; decreased surface and air temperatures; decreased wind speed	2	Increased trapping of heat, increased surface and air temperatures	-2	Lindberg, 2005; Hedquist and Brazel, 2013; Holmer et al. 2007; Thorsson et al., 2011; Svensson, 2004; Unger, 2004;
	Street orientation	Favour dense north-south canyons to decrease solar access. Latitude dependent	Increased shadowing; decreased surface and air temperatures	1	Negligible effect	0	Erell and Williamson, 2007; Shishegar, 2013
Vegetation	Parks/urban forests	Increase fraction of parks and urban forests	Increased shadowing and evapotranspiration; decreased surface and air temperatures and wind speed.	2	Increased evapotranspiration, increased trapping of heat.	1	Honjo and Takakura 1990-1991; Müller et al., 2014; Uppmanis et al., 1998; Petralli et al., 2013
	Street trees	Increase and locate in sun exposed locations prone to	Increased shadowing and evapotranspiration, decreased surface and air temperature and wind speed.	2	Increased evapotranspiration, decreased surface and air temperatures	1	Holmer et al., 2012; Konarska et al. 2013; Shashua-Bar et al.,
	green roofs and walls	Increase fraction of green roofs and walls	Increased evapotranspiration; decreased surface temperatures	1	Increased evapotranspiration, decrease surface temperatures	0	Müller et al. 2014; Nyuk Hien et al., 2007; Perini et al., 2011

D'après Y. Andersson-Sköld, S. Thorsson, D. Rayner, F. Lindberg, S. Janhäll, A. Jonsson, U. Moback, R. Bergman, M. Granberg, An integrated method for assessing climate-related risks and adaptation alternatives in urban areas, *Climate Risk Management* (2015)

## ANNEXE 2/ Questionnaire d'enquête sur les rejets de chaleur anthropogénique dans le quartier Rabia Tahar



République algérienne démocratique et populaire  
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
**école polytechnique d'architecture et d'urbanisme**  
Laboratoire : Ville Urbanisme et Développement Durable  
Spécialité : Architecture, Ville et Urbanisme Durable

### I- Profil de l'enquêté

- 1- Sexe :
  - Homme (48%)
  - Femme (52%)
- 2- Age :
  - 18 ans(3%)
  - 18-25 ans(13%)
  - 26-50 ans(49%)
  - +50 ans(35%)
- 3- Milieu de vie :
  - Résidentiel collectif (appartement)(77%)
  - Résidentiel individuel (maison)(23%)

### II- Questionnaire

1. Quel mode de transport utilisez-vous et à quelle fréquence?
  - Vélo / A pieds      Fréquence d'utilisation :  Occasionnelle(13%)  Fréquente(2%)
  - Tramway/Métro      Fréquence d'utilisation :  Occasionnelle (52%)  Fréquente(24%)
  - Bus      Fréquence d'utilisation :  Occasionnelle(15%)  Fréquente(9%)
  - Voiture      Fréquence d'utilisation :  Occasionnelle(20%)  Fréquente(65%)
2. Possédez-vous une voiture ?
  - Oui(82%)
  - Non(18%)
3. Si oui, combien ?
  - 1(50%)
  - 2(22%)
  - 3(5%)
  - 4 et plus(5%)
4. Combien de kilomètres parcourez-vous chaque jour pour vous rendre à votre lieu de travail en voiture ?
  - Moins de 10 km(43%)
  - 10-20 km(36%)
  - Plus de 20 km(21%)
5. Combien de temps tiens votre plein d'essence ? / Parmi ceux qui possèdent un véhicule
  - Moins d'une semaine(32.5%)
  - Une semaine (49.5%)
  - Deux semaines(18.1%)



République algérienne démocratique et populaire  
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
**École polytechnique d'architecture et d'urbanisme**  
Laboratoire : Ville Urbanisme et Développement Durable  
Spécialité : Architecture, Ville et Urbanisme Durable

6. Possédez-vous un climatiseur chez vous ?
- Oui (91%)
  - Non (9%)
7. Si oui, combien ?
- 1 (46%)
  - 2 (27%)
  - 3 (7%)
  - 4 et plus (11%)
8. Combien de temps laissez-vous votre climatiseur allumé dans une journée ?
- Entre 1 et 5 heures par jour (26%)
  - Entre 5 et 10 heures par jour (33%)
  - Entre 10 et 15 heures par jour (14%)
  - Entre 15 et 20 heures par jour (5%)
  - Plus (13%)
9. Quels sont les mois où vous utilisez vos climatiseurs ?
- |                                  |                                       |
|----------------------------------|---------------------------------------|
| <input type="radio"/> Janvier    | <input type="radio"/> Juillet (73%)   |
| <input type="radio"/> Février    | <input type="radio"/> Aout (88%)      |
| <input type="radio"/> Mars       | <input type="radio"/> Septembre (32%) |
| <input type="radio"/> Avril      | <input type="radio"/> Octobre (4%)    |
| <input type="radio"/> Mai (5%)   | <input type="radio"/> Novembre        |
| <input type="radio"/> Juin (27%) |                                       |
10. Pratiquez-vous les activités quotidiennes (ex: regarder la télé) dans le salon ensemble ou séparément dans les chambres ?
- Ensemble (30%)
  - Séparément (70%)

Date et lieu : .../.../....., à .....

Merci de votre collaboration



## ANNEXE 3/ Canevas fiche indicateur

Identification de l'indicateur	<b>NOM DE L'INDICATEUR</b>		<b>DOMAINE</b>	<b>CODE</b>
	<b>PARAMETRE</b>			
Exposition de l'indicateur	<b>Définition</b>		<b>Unité:</b>	
	Description et explication de l'indicateur, apporte plus de précision.		Terme de grandeur	
			<b>Référence:</b>	
			Utilisation antérieure de l'indicateur	
Evaluation de l'indicateur	<b>Objectif</b>			
	Apport pour l'outil d'évaluation et but de l'estimation.			
	<b>Mode de calcul</b>			
	Méthode d'évaluation des données			
	<b>Sens de l'évaluation:</b> Méthode d'interprétation des données			
Sources bibliographiques	<b>Critère d'évaluation</b>		<b>Illustration</b>	
	Affectation des scores et mode d'attribution des notes		Représentation graphique de l'indicateur (plan, diagramme, schéma, image..)	
	Donnée			
	Score			
	<b>Résultat final de l'évaluation de l'indicateur</b>			
<b>Source</b>				
Appuis littéraires nécessaires à l'élaboration de la fiche indicateur.				

## ANNEXE 4/ Fiche méthode utilisation du site [degreedays.net](http://www.degreedays.net) et résultats DAAG

**Station météorologique**

**Degré jours chauffage ou climatisation**

**Unité de température**

**Température seuil**

**Output (mois, jours)**

**Choix de la période**

### Output

Description: Celsius-based cooling degree days for a base temperature of 18,5C

Source: [www.degreedays.net](http://www.degreedays.net) (using temperature data from [www.wunderground.com](http://www.wunderground.com))

Accuracy: Estimates were made to account for missing data: the "% Estimated" column shows how much each figure was affected (0% is best, 100% is worst)

Station: Dar-El-Beida, DZ (3.22E,36.69N)

Station ID: DAAG

Month starting	CDD	% Estimated
01/09/2016	166	0
01/10/2016	127	0,06
01/11/2016	31	0
01/12/2016	2	0,3
01/01/2017	1	0,2
01/02/2017	5	0,1
01/03/2017	20	0,1
01/04/2017	29	0,1
01/05/2017	89	0,03
01/06/2017	183	0
01/07/2017	262	0
01/08/2017	299	0

## ANNEXE 5/ Exemples de bonne pratique

### La ville de Stuttgart, Allemagne

#### Présentation de la ville :

La stratégie de planification climatique de Stuttgart est considérée comme l'un des meilleurs exemples de gestion de la chaleur au monde. Stuttgart a été planifiée non seulement pour respecter et protéger la nature, mais pour exploiter la façon dont les tendances du vent naturel et la végétation dense peuvent aider activement la ville à réduire ses problèmes de surchauffe et de pollution atmosphérique. La nuit, l'air propre dépasse les collines environnantes et traverse une série de «couloirs de ventilation» qui ont été maintenus ouverts comme des artères larges et arborées dans l'infrastructure de la rue.<sup>38</sup>



La ville est caractérisée par

- Environnement industriel
- Affectée par une qualité de l'air médiocre.
- Phénomène d'îlot de chaleur face auquel a été mise en place une stratégie d'urbanisme pour favoriser les courants d'air frais.
- Ceci a nécessité une cartographie de la ville, un zonage, une planification urbaine pour préserver les espaces ouverts et accroître la présence de végétation dans les zones bâties de forte densité. Tous ces documents sont rassemblés dans l'Atlas.

Un élément clé de l'Atlas est une classification de zone basée sur le rôle que jouent les différents endroits dans l'échange d'air et le flux d'air frais dans la région de Stuttgart, en fonction de la topographie, de la densité et du caractère du développement et de la fourniture d'espaces verts. Huit catégories de zones sont distinguées, et pour chacune d'elles, différentes mesures de planification et recommandations sont fournies.

En plus de répondre aux caractéristiques climatiques locales, les principes suivants constituent la base des recommandations de planification incluses dans le «Livret climatique pour le développement urbain en ligne – Städtebauliche Klimafibel Online»:

- La végétation devrait être placée pour entourer les développements et de plus grands espaces verts connectés devraient être créés ou maintenus dans les zones développées pour faciliter l'échange d'air ;
- Les vallées servent de corridors de livraison d'air et ne doivent pas être développées ;
- Les coteaux devraient rester non développés, en particulier lorsque le développement existe dans les vallées, puisque le transport intensif à froid et à l'air frais se produit ici ;
- Les topographies sœurs servent de corridors d'admission d'air et ne doivent pas être développées ;
- L'étalement urbain doit être évité ;
- Tous les arbres qui poussent dans le noyau urbain avec une circonférence du tronc de plus de 80 cm à hauteur de 1m sont protégés par un ordre de conservation des arbres.

La Ville de Stuttgart souligne l'importance de la **participation du public** aux stratégies d'écologisation visant à améliorer la qualité de l'air et à atténuer l'effet de l'île de chaleur. Ceci est réalisé grâce à différentes stratégies :

- Depuis 1986, la ville de Stuttgart a apporté un soutien financier au verdissement de toits d'environ 60 000 mètres carrés.
- Depuis 1992, un régime a été mis en place pour que les résidents de Stuttgart adoptent un arbre. Aujourd'hui, quelque 182 citoyens ont adopté près de 500 arbres. Ils sont responsables de l'arrosage de l'arbre, signalant des attaques de ravageurs, enlevant la litière et les branches tombées et en protégeant l'arbre de l'encrassement des chiens.
- Le maire de la ville de Stuttgart soutient les initiatives de verdure de la ville visant à améliorer la qualité de l'air et à réduire les températures. Le plan d'aménagement du territoire 2010 pour Stuttgart envisage le développement urbain sous le slogan **«urbain - compact - vert»**. L'adaptation et l'atténuation des changements climatiques sont à la fois stratégiques à l'échelle locale.  
Plus ponctuellement, on peut résumer les actions d'adaptation de la ville ainsi :



Mesures d'adaptation de la ville de Stuttgart, Source : Auteur.

## 2-La ville nouvelle de Sahel Lakhyata

### Présentation de la ville

La ville est caractérisée par :

- Pôle urbain relais entre Casablanca et la région de Chaouia-Ouardigha.
- Une ville destinée à favoriser une plus grande intégration.
- Introduction du concept de l'économie circulaire dans les secteurs des énergies renouvelables et de la gestion efficace des flux.
- Intégration de la protection de l'environnement et le développement durable par la mise en place d'une charte environnementale

Quelques chiffres :

- Superficie : 1231 hectares
- Nombre d'habitants : 300.000
- Nombre de logements : 58.000 unités
- Coût Global d'investissement : 25 milliards de Dirham



VILLE NOUVELLE DE LAKHYATA. SOURCE : [HTTPS://WWW.BLADI.NET/SAHEL-LAKHYAYTA.HTML](https://www.bladi.net/sahel-lakhyayta.html)

### Opérations d'aménagement

- Assurer une relation entre les 2 pôles par leurs centralités respectives
- Faire de l'autoroute un atout et non une coupure d'urbanisation
- Conception d'aménagement radio concentrique par rocade extérieures et intérieures avec des pénétrantes radiales
- Limiter l'urbanisation de la ville par une ceinture vert agro-urbaine
- Encourager le développement d'une ville écologique à tendance énergie positive.
- Favoriser la mixité sociale et de polyfonctionnel ainsi que le transport collectif urbain, circulation multimodale, interconnexion entre les différents centres d'intérêt.
- Concevoir une centralité forte et polycentrisme avec mise en valeur des espaces publics