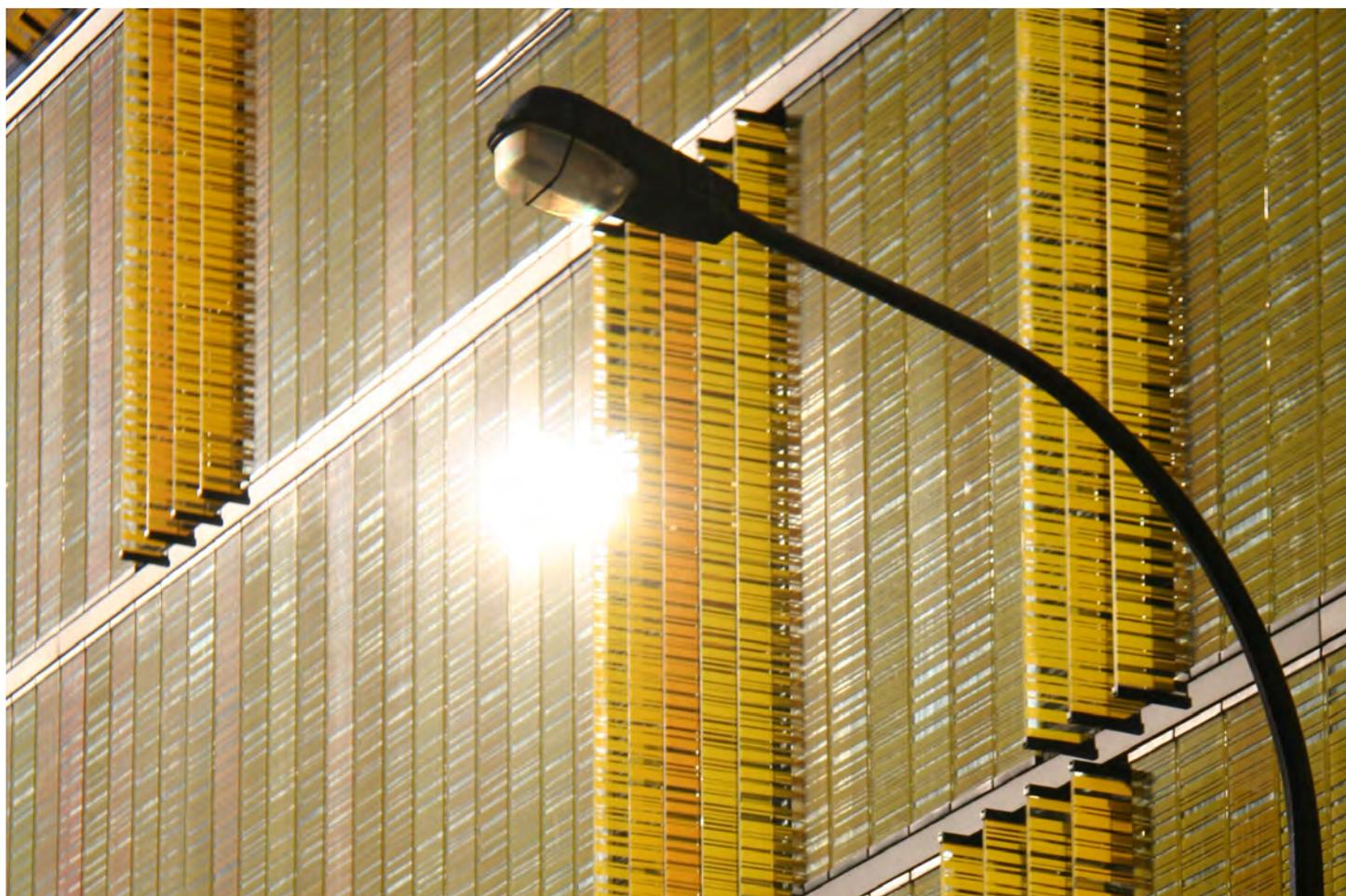


# ADAPTER L'ÎLE-DE-FRANCE À LA CHALEUR URBAINE

IDENTIFIER LES ZONES À EFFET D'ÎLOT DE CHALEUR URBAIN  
(ICU) ET ÉTABLIR LEUR DEGRÉ DE VULNÉRABILITÉ  
AFIN DE MIEUX ANTICIPER



SEPTEMBRE 2017

8.12.010



[www.iau-idf.fr](http://www.iau-idf.fr)



**IAU**

INSTITUT  
D'AMÉNAGEMENT  
ET D'URBANISME

\* îledeFrance

# ADAPTER L'ÎLE-DE-FRANCE À LA CHALEUR URBAINE

IDENTIFIER LES ZONES À EFFET D'ÎLOT DE  
CHALEUR URBAIN (ICU) ET ÉTABLIR LEUR  
DEGRÉ DE VULNÉRABILITÉ AFIN DE MIEUX  
ANTICIPER

Septembre 2017

**IAU île-de-France**

15, rue Falguière 75740 Paris cedex 15  
Tél. : + 33 (1) 77 49 77 49 - Fax : + 33 (1) 77 49 76 02  
<http://www.iau-idf.fr>

Directeur général : Fouad Awada

Département Environnement urbain et rural : Christian Thibault, directeur de département

Étude réalisée par Erwan Cordeau

Avec la collaboration de Jonathan Boucher

N° d'ordonnement : 8.12.010

*Crédit photo de couverture : E. Cordeau/IAU idF*

*En cas de citation du document, merci d'en mentionner la source : Cordeau Erwan / Adapter l'Île-de-France à la chaleur urbaine / IAU idF / 2017*

***Remerciements*** : Karim Lapp (Conseil régional d'Ile-de-France), François Huart (AEV), Valéry Masson (CNRM-Météo France), Sandrine Kocki, Nicolas Laruelle, Michel Medic, Xavier Opigez, Laetitia Pigato, Manuel Pruvost-Bouvattier (IAU IdF), Sabine Host (ORS Ile-de-France).

# Sommaire

<b>Introduction .....</b>	<b>5</b>
<b>Comprendre l'ICU et les enjeux associés .....</b>	<b>6</b>
<b>1 - Définir l'ICU et l'effet d'ICU .....</b>	<b>6</b>
1.1 - Un phénomène physique propre à la ville.....	6
1.2 - Les composantes de la genèse de l'effet d'ICU .....	10
1.3 - L'effet d'ICU : des impacts multiformes .....	12
<b>2 - Vulnérabilité et adaptation d'un territoire à la chaleur en ville .....</b>	<b>14</b>
2.1 - Le principe de vulnérabilité .....	14
2.2 - La vulnérabilité à l'excès de chaleur en ville.....	15
2.3 - L'adaptation à la chaleur urbaine : des solutions pour diminuer la vulnérabilité .....	21
<b>3 - Cartographier les zones sujettes à effet d'ICU au regard des enjeux, une nécessité</b>	<b>24</b>
3.1 - Commande régionale .....	24
3.2 - Schéma de principe méthodologique.....	24
3.3 - Echelle de travail : entité pour la caractérisation, l'îlot morphologique urbain.....	25
<b>Identification des zones sujettes à effet d'ICU en Île-de-France .....</b>	<b>27</b>
<b>1 - Principe méthodologique .....</b>	<b>27</b>
<b>2 - Utilisation du référentiel géographique des IMU .....</b>	<b>27</b>
2.1 - Délimitation de l'îlot : la couche des IMU 2012 .....	28
2.2 - Caractérisation des IMU.....	29
<b>3 - Classification des IMU en LCZ.....</b>	<b>33</b>
3.1 - Classification des Zones climatiques locales (LCZ) .....	33
3.2 - Propriétés associées à chaque LCZ .....	36
3.3 - Classification des îlots urbains et ruraux franciliens (IMU) en LCZ .....	37
<b>4 - Détermination des zones sujettes à effet d'ICU .....</b>	<b>48</b>
4.1 – Principe méthodologique.....	48
4.2 – Résultats cartographiques et statistiques .....	50
<b>Evaluation de la vulnérabilité des territoires à la chaleur urbaine et proposition de solutions d'adaptation .....</b>	<b>55</b>
<b>1 - Principe méthodologique .....</b>	<b>55</b>
<b>2 - Composantes de la vulnérabilité à la chaleur urbaine : aléa, sensibilité, difficulté à faire face .....</b>	<b>56</b>
2.1 - Synthèse Jour/Nuit de l'aléa « effet d'ICU » .....	56
2.2 - Synthèse Jour/Nuit de la sensibilité des populations.....	56
2.3 - Synthèse Jour/Nuit des difficultés à faire face .....	64
<b>3 - Vulnérabilité de l'Île-de-France à la chaleur urbaine .....</b>	<b>72</b>
3.1 - Vulnérabilité à l'échelle de l'îlot.....	72
3.2 - Vulnérabilité à l'échelle de la commune.....	84

3.3 - Vulnérabilité à l'échelle des EPCI .....	94
3.4 - Des liens entre populations fragiles et zones à effets d'ICU .....	97
<b>4 - Solutions d'aménagement adaptées à l'échelle de l'îlot.....</b>	<b>100</b>
4.1 - Approche diagnostic des solutions types adaptées à l'îlot .....	100
4.2 - Vers la définition d'un outil de diagnostic expert.....	103
<b>5 - Des outils de sensibilisation complémentaires .....</b>	<b>112</b>
5.1 - Outil de cartographie interactive « Chaleur en ville » .....	112
5.2 - Les films en 3D pour expliquer et sensibiliser : « Balades thermiques urbaines ».....	113
5.3 - Les posters pédagogiques édités pour la COP21 à Paris .....	115
5.4 - Une approche ludique et éducative : « Le jeu de l'oie rôtie » .....	116
<b>Conclusions et perspectives .....</b>	<b>117</b>
<b>Annexes .....</b>	<b>118</b>
<b>Index des sigles et acronymes .....</b>	<b>150</b>
<b>Glossaire .....</b>	<b>151</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>152</b>

# Introduction

---

« La clémence est autant agréable aux hommes qu'une pluie qui vient sur le soir, ou dans l'automne, tempérer la chaleur du jour ou celle d'une saison brûlante, et humecter la terre que l'ardeur du soleil a desséchée. »,  
*Jacques-Bénigne Bossuet, extrait du Politique Tirée de l'écriture sainte.*

---

L'apparition d'un îlot de chaleur est la manifestation climatique la plus connue de l'influence du milieu urbain sur son climat, comme le souligne les chercheurs qui s'intéressent à la climatologie urbaine. Le changement climatique annoncé renforce la nécessité de mieux identifier localement dans les grandes agglomérations les zones les plus sujettes à l'effet d'îlot de chaleur urbain (ICU).

Au vu des deux récents exercices de prospectives en Ile-de-France, climatologique pour l'élaboration du Plan régional pour le climat (Livre Vert, juillet 2010), et socio-économique & développement urbain pour l'élaboration du projet de SDRIF Ile-de-France 2030, concilier plus de densification et diminution de la vulnérabilité climatique de la zone dense s'avère un défi des plus sérieux.

Alors que l'épisode de la canicule exceptionnelle de 2003 – par son ampleur, l'effet de surprise et la surmortalité associés – a fortement marqué les Franciliens et que d'autres sont survenues en 2006 et en 2015, le phénomène d'ICU, facteur aggravant lors d'une vague de chaleur, devrait toucher une population de plus en plus importante pouvant à l'avenir rendre la vie en ville pénible.

Un diagnostic territorial plus fin des zones sujettes à l'effet d'ICU est donc pour une région comme l'Ile-de-France des plus attendus si l'on veut réfléchir et proposer des solutions d'adaptation et d'atténuation à la hauteur de la vulnérabilité actuelle et future diagnostiquée pour ces zones.

L'IAU a déjà publié en novembre 2010 une synthèse concernant la problématique des îlots de chaleur urbains en général et en Ile-de-France en particulier (Cf. « Les îlots de chaleur urbains : Rapport 1 : L'adaptation de la ville aux chaleurs urbaines ; Rapport 2 : Répertoire de fiches connaissance »). Ce travail a permis notamment de définir ce qu'est l'effet d'ICU, en expliquant les facteurs intervenant dans sa genèse, et de montrer que la problématique des îlots de chaleur s'inscrit en interrelation avec de nombreux autres enjeux urbains.

La présente étude affiche un caractère plus exploratoire et appliqué. Elle vise à mettre au point une méthodologie qui permette d'identifier - sans données d'observation météorologiques ou climatologiques - les zones supposées les plus sujettes à effet d'ICU en Ile-de-France de par leur caractéristique urbaine et leur occupation des sols. S'appuyant sur les enseignements de la Recherche, le principe repose sur une classification « théorique » des îlots urbains via leurs caractéristiques typo-morphologiques propices ou non à la formation et au renforcement de l'effet d'ICU.

L'objectif premier est l'établissement d'une nouvelle couche d'information géographique régionale représentant les îlots morphologiques urbains à effet d'ICU. Le second objectif est de proposer une première estimation de la vulnérabilité de ces îlots en faisant le lien avec les données relatives aux enjeux (population, milieu ressource, réseau système...) et les solutions d'atténuation et d'adaptation à proposer (rapprochement Guide Région / Ademe).

Nous espérons par cette étude pouvoir apporter des éléments de pré-diagnostic suffisants pour orienter les solutions de maîtrise des effets d'îlots de chaleurs urbains, et de réduction de la vulnérabilité des systèmes humains et naturels à ce phénomène.

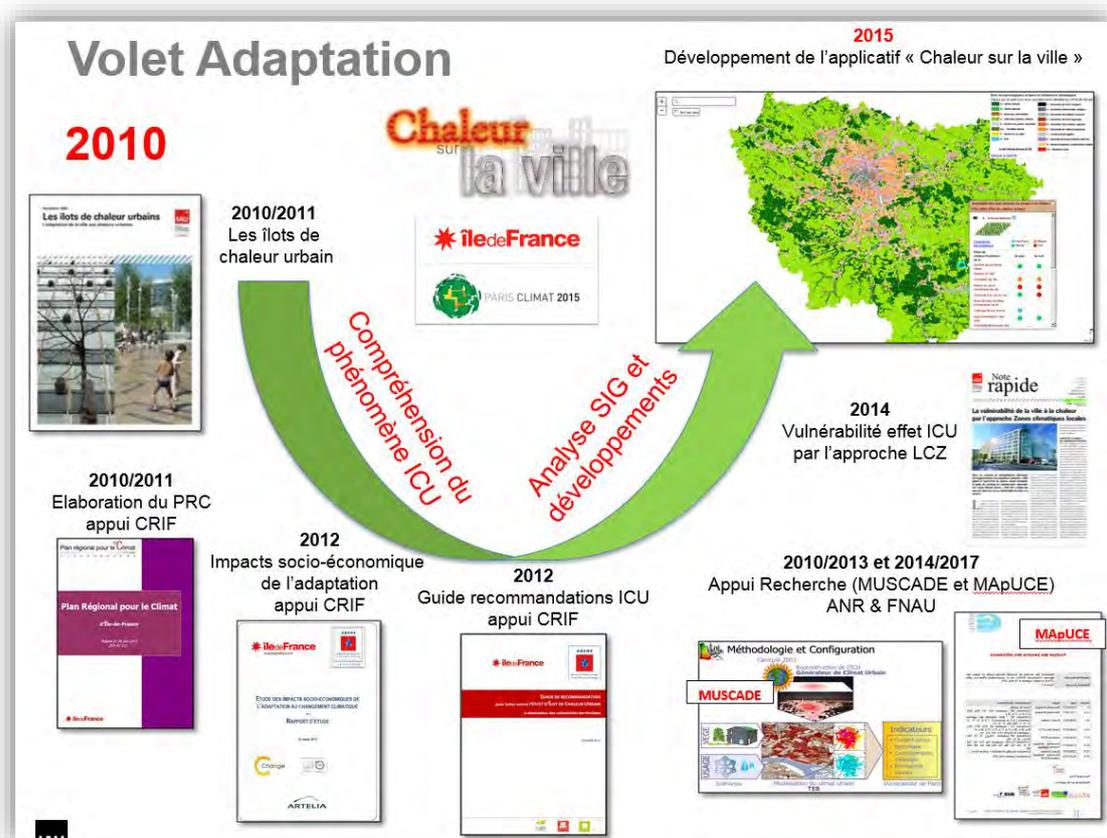
# Comprendre l'ICU et les enjeux associés

## 1 - Définir l'ICU et l'effet d'ICU

Il ne s'agit pas ici de présenter de façon exhaustive l'état des connaissances relatives à la définition de l'îlot de chaleur urbain (ICU), aux causes et aux conséquences de l'effet d'ICU. Beaucoup d'éléments ont déjà été rassemblés et publiés à l'occasion notamment des travaux d'élaboration du Plan Régional pour le Climat en Île-de-France (adopté le 24 juin 2011) et de sa mise en œuvre.

Quelques rappels s'avéreront cependant utiles pour comprendre les choix méthodologiques qui ont présidé à la détermination des zones sujettes à effet d'ICU, à l'étude de vulnérabilité et à la définition des préconisations associées, qui sont présentés dans la suite du rapport.

Figure 1 : L'IAU îdF et l'approfondissement théorique des connaissances relatives à l'ICU



Reprise en 2010 pour le volet Adaptation aux effets du changement climatique des travaux IAU des années 1990 sur l'ICU

Source : Conférence COP21 Stand Région, 8 décembre 2015, Erwan Cordeau – IAU - îdF

### 1.1 - Un phénomène physique propre à la ville

Par nuit calme, typiquement en cas de situation anticyclonique, et notamment en période de canicule, nous observons que la température en ville reste souvent plus élevée que dans les zones rurales alentour ; il se crée sur la ville une sorte de « bulle de chaleur » appelée « îlot de chaleur urbain » (ICU). Le flux de chaleur sensible au-dessus d'une zone urbanisée est supérieur de 20 à 60% au flux de chaleur dans la campagne environnante.

Depuis la première mise en évidence d'un climat spécifiquement urbain par Luke Howard, pharmacien britannique qui publia entre 1818 et 1820 « Le climat de Londres », la connaissance a fait son chemin<sup>1</sup>. Il rapportait une différence des températures nocturnes de l'ordre de 3,70 °C entre le centre de Londres et sa campagne, ce que l'on nomme aujourd'hui « îlot de chaleur urbain ».

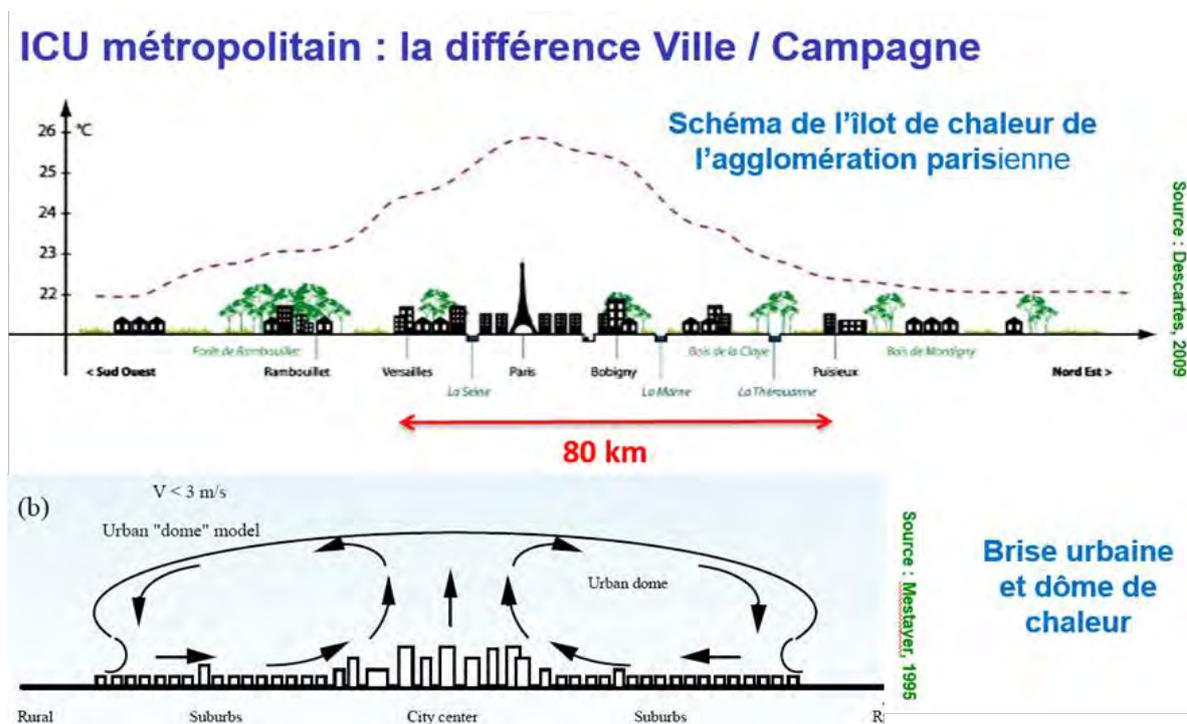
En Île-de-France, la constitution de l'îlot de chaleur a commencé à être bien documentée dans les années 1990 par des chercheurs en climatologie s'intéressant aux effets de l'urbanisation sur le climat régional (G. Escourrou). La genèse de brises thermiques ou vents faibles et leur action sur la pollution atmosphérique ou le risque orageux de saison chaude consécutif du renforcement de l'instabilité des masses d'air chaudes et humides passant au-dessus de la ville chaude et « rugueuse » avaient été soulignées<sup>2</sup>.

Ainsi, le contour de l'ICU métropolitain fluctue selon la force et la direction des vents dominants et des brises thermiques. Ces dernières sont des vents faibles générés du fait des contrastes de température au-dessus du sol ; elles circulent des zones froides vers les zones chaudes à l'origine d'un appel d'air du fait du dégagement de l'air chaud vers le haut (principe de convection).

L'ICU fluctue aussi selon la saison et selon le moment de la journée (le jour, au crépuscule, la nuit). Il est plus intense l'été et surtout la nuit du fait du refroidissement moins rapide de l'air lié au dégagement de chaleur par les matériaux sous forme de rayonnements infra-rouge, eux-mêmes piégés par les surfaces verticales que proposent les bâtiments compacts et denses.

À l'intérieur des villes, la température peut être 10 K plus élevée que dans les zones environnantes. Ainsi, à Paris, le flux de chaleur sensible est supérieur de 25 à 65 W/m<sup>2</sup> par rapport à la banlieue rurale environnante. En moyenne annuelle, l'ICU se traduit par des différences de températures nocturnes, de l'ordre de 2,5°C entre Paris (13,5 à 14 °C, moyenne de 1995 à 2004) et les zones rurales (11 à 11,5°C), comme le Vexin ou les forêts de Rambouillet et de Fontainebleau. Certains jours, en cas de situation anticyclonique, par vent faible et ciel clair, comme lors d'une canicule, ces différences peuvent atteindre jusqu'à 10°C (Source : Météo France).

Figure 2 : Définition schématique du contour de l'îlot de chaleur urbain « métropolitain »



Profil de températures à 2m pour une nuit de canicule de type été 2003 et Principe des brises thermiques urbaines

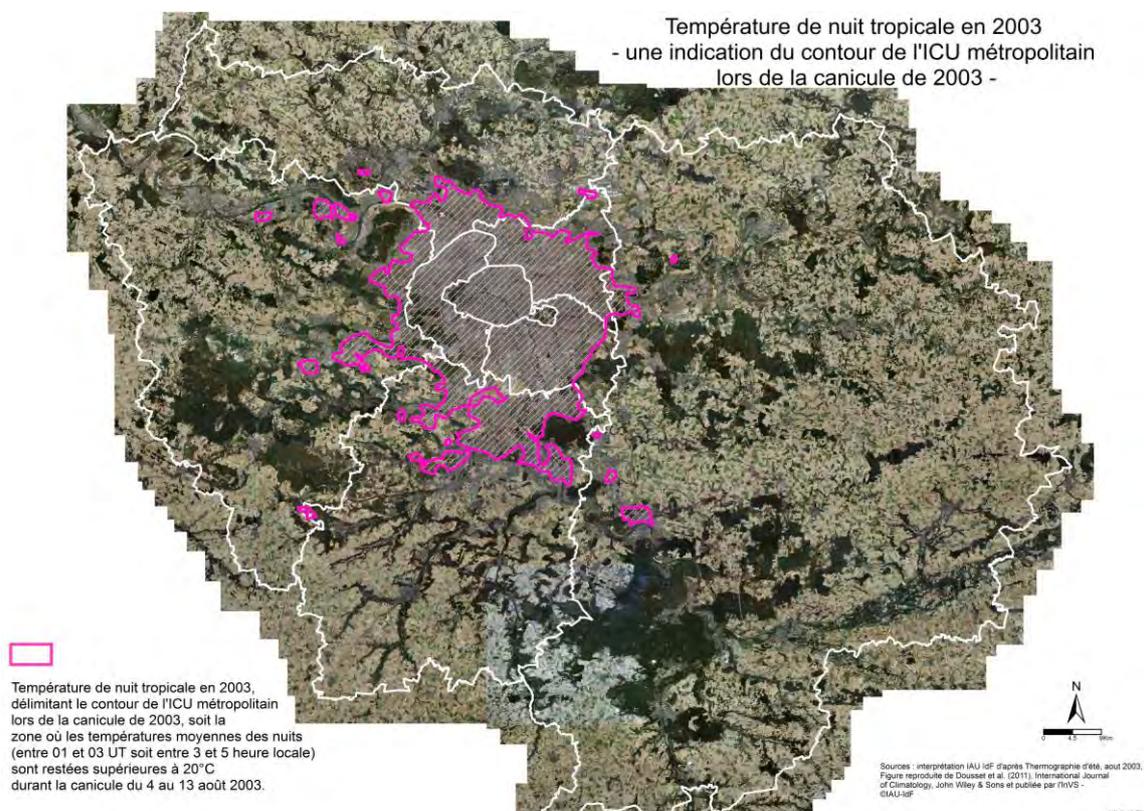
Source : É Descartes, Météo-France, 2009 ; Mestayer, 1995

<sup>1</sup> Voir Cordeau Erwan, Valette Emmanuelle, « Les îlots de chaleur urbains : l'adaptation de la ville aux chaleurs urbaines, Tome 1 / Répertoire de fiches connaissance, Tome 2 », novembre 2010, IAU Île-de-France.

<sup>2</sup> Voir Escourrou G., Cordeau E., « Climat et microclimat urbain, pollutions atmosphériques et nuisances météorologiques localisées », Note rapide sur l'environnement N°6, 1995, IAURIF

Un indicateur territorialisé de température de nuit tropicale (au-dessus de 20°C) lors d'un épisode de canicule peut aider à visualiser le contour de l'ICU métropolitain (Cf. Carte 1).

**Carte 1 : Représentation du contour de l'îlot de chaleur urbain « métropolitain » d'après les images thermiques du satellite NOAA-AVHRR des nuits de l'épisode de la canicule de 2003**



Source : IAU-îdF d'après InVS

### Avec localement, des contrastes thermiques importants : des îlots de chaleurs et des îlots de fraîcheur

Au-delà de l'ICU métropolitain, dont il est intéressant de suivre la dynamique, l'intensité et la délimitation, notamment via des exercices de modélisation et de prospectives tels que EPICEA<sup>3</sup> et MUSCADE<sup>4</sup>, des contrastes thermiques existent au sein même de l'agglomération, opposant des îlots de chaleur à des îlots de fraîcheur<sup>5</sup>.

Les villes, les quartiers, les îlots urbains présentent en effet des différences typologiques et morphologiques qu'il est précieux de renseigner. A titre d'exemple, l'insolation reçue par les surfaces au sol de la ville peut grandement différer entre une surface à l'ombre de bâtiments hauts et une autre pleinement exposée. L'APUR a ainsi mesuré dans la journée du 1er août 2011 une différence de 0 à 5 kWh/m<sup>2</sup> d'insolation journalière reçue (ou ensoleillement) entre une rue étroite, à l'ombre (rue Geoffroy Langevin) et un parvis dégagés (parvis du Centre Pompidou) du centre de Paris., avec en fin de journée, une différence de 2°C constatée.

Comme nous pouvons l'observer sur les images thermiques de satellites durant l'épisode de canicule de 2003 (Source : InVS), la nuit (Cf. Carte 2), avec une magnitude d'environ 8°C entre le centre-ville de Paris, très chaud, et les zones rurales, des contrastes sont pourtant visibles au sein de l'agglomération : les arrondissements parisiens les plus denses piégeant la chaleur et les bois de Boulogne et Vincennes plus frais (température de 2 à 4°C inférieures), ou les vallées urbanisées en contraste des plateaux, des bois de la ceinture verte et des espaces cultivés du périurbain... La

<sup>3</sup> Projet EPICEA, étude pluridisciplinaire des impacts du changement climatique à l'échelle de l'agglomération parisienne menée conjointement par Météo-France, le CSTB et la Mairie de Paris

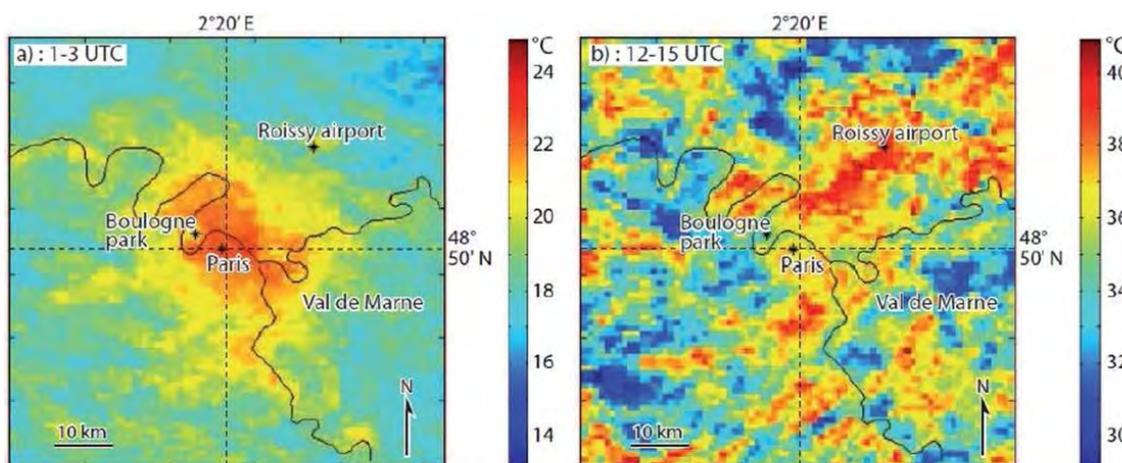
<sup>4</sup> MUSCADE : Modélisation Urbaine et Stratégies d'adaptation au Changement Climatique pour anticiper la Demande et la production Energétique – projet ANR 2009-2013 coordonné par le GAME, associant CIRED, CSTB, LIENS, LRA, IAU îdF, APUR

<sup>5</sup> Voir Cordeau Erwan, « Caractériser les zones sujettes aux îlots de chaleur urbains », septembre 2014, pp. 80-81, Les Cahier N°170-171 - IAU Île-de-France

température enregistrée à 2m du sol le 10 août 2003 à 6h du matin (4h UTC) a révélé un contraste de température de 7°C entre les quartiers de Paris et de la proche banlieue nord-ouest (28°C) et l'eau et les forêts humides (21°C) (APUR, d'après EPICEA 2012).

Le jour (Cf. Carte 2 bis), les contrastes sont également bien marqués mais différemment ; ils soulignent les anomalies thermiques des zones industrielles (très chaudes le jour, plus froides la nuit) et la fraîcheur des espaces boisés opposée à la chaleur des champs cultivés a contrario beaucoup plus exposés par l'absence d'ombrage. Une analyse de la moyenne diurne de la température de l'air à 2m du sol du 9 au 12 août 2003 (source EPICEA 2012) a montré que les seuls lieux frais en journée caniculaire sont proches de la Seine (gradient de 28°C proche de l'eau à 35,4°C dans les zones industrielles et la ville dense).

**Cartes 2 et 2 bis : Cycle diurne et nocturne des températures et leurs contrastes géographiques durant l'épisode de canicule 2003**



Nuit : îlot centré sur Paris = revêtements absorbants + densité urbaine qui piège la chaleur

Jour : îlots disséminés sur zones industrielles = propriétés des surfaces

Thermographie d'été, août 2003. Température de surface en région parisienne obtenues à partir d'images thermiques des satellites NOAA-AVHRR 12, 16 et 17, durant la canicule du 4 au 13 août 2003. Températures moyennées: A) sur 9 images, pour l'intervalle de temps compris entre 01 et 03 UT (3 et 5 heure locale); B) sur 10 images, pour l'intervalle de temps compris entre 12 et 15 UT (14 et 17 heure locale). Pour chaque image, l'échelle des températures de 10°C a des valeurs de bornes différentes. Source : Figure reproduite de Doussset et al. (2011), International Journal of Climatology, John Wiley & Sons - InVS

Des préoccupations anciennes renforcées par le changement climatique

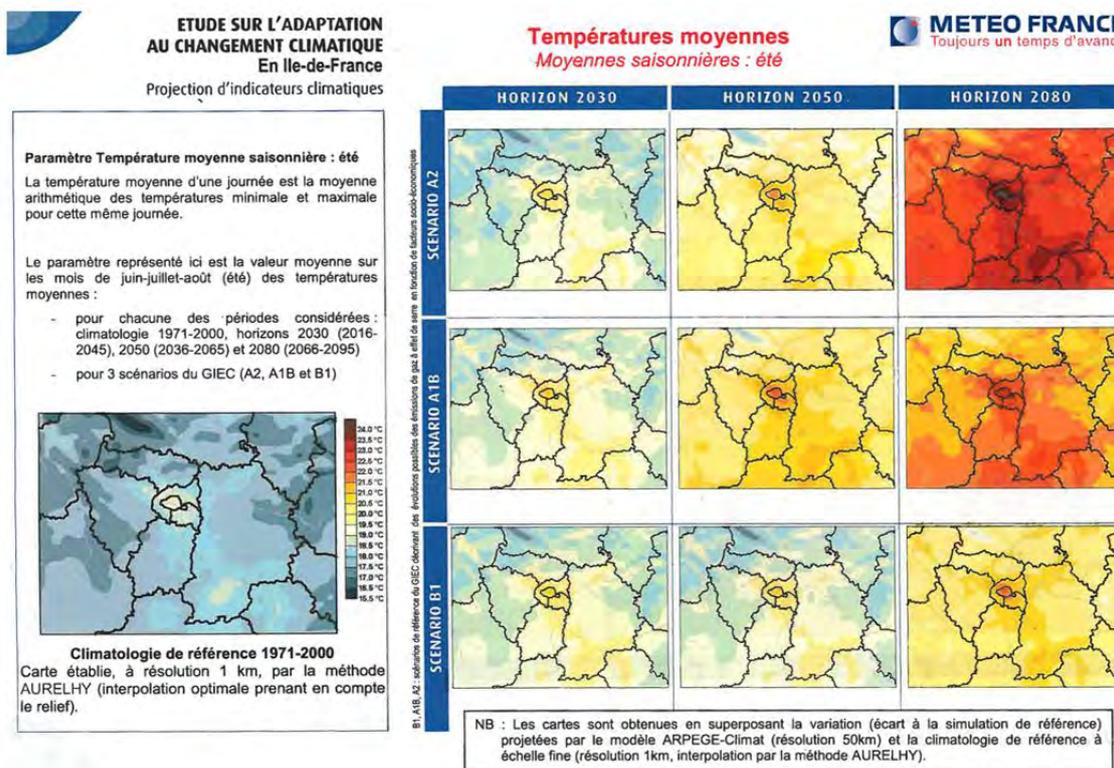
Au vu des données de projections climatiques pour le XXIème siècle de Météo-France, approfondir cette connaissance de l'intensité et de la périodicité des vagues de chaleur, des contrastes de températures locaux et des explications associées - l'effet d'ICU (Cf. partie suivante [1.2 - Les composantes de la genèse de l'ICU]) - devient stratégique pour essayer de trouver des solutions d'adaptation de la ville aux chaleurs urbaines. C'est ce que soulignent aussi les plans climat énergie territoriaux récemment adoptés.

Les enseignements rétrospectifs et les premiers travaux de projections climatiques de Météo-France, « territorialisés » à des mailles fines en Ile-de-France, sont des plus précieux. Ils ont été produits dans le cadre de projets de Recherche (EPICEA, MUSCADE...) et pour accompagner, notamment, l'élaboration du Plan Régional pour le Climat d'Ile-de-France (Cf. Figure 3). Le changement climatique est enclenché avec des effets probables en Île-de-France.

La canicule de 2003 a représenté la vague de chaleur la plus importante depuis 1947. En 2100, un été sur deux pourrait être aussi chaud que celui de 2003 avec un nombre de journées d'alerte canicule qui pourrait être compris entre 10 à 25 versus 1 seul jour/an en moyenne actuellement.

Si les vagues de chaleur sont amenées à augmenter en nombre, en longueur et en intensité, même avec une politique visant à baisser les émissions de gaz à effet de serre, le phénomène de l'îlot de chaleur urbain accentue le problème. Durant les canicules de 2003 et 2015, il a fait plus chaud à Paris, jusqu'à 10°C d'écart entre le centre de Paris et la forêt de Fontainebleau (Météo-France).

Figure 3 : Extrait d'un travail de prospective climatologique de Météo-France pour le Livre Vert du Plan Régional pour le Climat d'Île-de-France



Indicateur de Températures moyennes estivales aux horizons 2020, 2050 et 2080 selon 3 scénarios du GIEC

Source : Annexe 2 du Livre Vert Plan Régional pour le Climat, juillet 2010, Conseil régional d'Île-de-France

## 1.2 - Les composantes de la genèse de l'effet d'ICU

La ville - modelée et habitée par l'homme – par sa minéralité, ses matériaux, sa rugosité, ses carences en eau et en végétation, ses activités anthropiques émettrices de chaleur et de polluants, est source de perturbations radiatives, thermiques, hydrologiques et aérologiques qui influent sur le climat en réchauffant l'atmosphère. Selon la densité de leur tissu urbain, les villes influent donc sur leur environnement météorologique en générant un micro climat urbain : des températures de l'air plus élevées dans les zones denses urbaines que dans les zones rurales, l'ICU par définition.

Les causes de l'effet d'ICU sont aujourd'hui bien documentées par la communauté scientifique mondiale, elles représentent toutes une modification urbaine des bilans radiatif et énergétique des surfaces (Cf. Encadré Oke, 1982).

### Causes de l'effet d'ICU (Oke, 1982).

1. Plus grande absorption du rayonnement solaire à cause des multiples réflexions et piégeages des rayonnements par les surfaces verticales et les murs des immeubles dans la ville (multiplication des surfaces, albédo plus faible des matériaux urbains).

2. Plus grande rétention des rayonnements infra-rouge dans les rues canyons (immeubles hauts et compacts), la nuit, à cause d'une vue du ciel « au rayonnement froid » réduite.

3. Plus grands emmagasinement et retard dans la restitution de la chaleur par les immeubles et surfaces revêtues dans la ville (propriétés thermiques des matériaux, piégeage des rayonnements solaires et infrarouges, pertes par convection réduites au niveau de la canopée où le flux d'air est retardé).

4. Une plus grande fraction du rayonnement solaire (Cf. Annexe 1) absorbé à la surface est convertie en chaleur sensible (échauffement des surfaces) plutôt qu'en chaleur latente (changement d'état physique d'une matière sans changement de température). Cette effet est dû au remplacement des sols humides et des plantes par des surfaces revêtues et imperméables, avec pour conséquence une baisse de l'évaporation en surface.

5. Une plus grande émission de chaleur sensible et latente due à la combustion de pétrole des transports urbains, aux procédés industriels et au chauffage/refroidissement des espaces habités.

Ces différences de températures sont un phénomène assez complexe où s'entremêlent causes et effets. L'îlot de chaleur est notamment dépendant du moment de la journée, en lien directement avec le type d'urbanisation.

La minéralité de la ville – le nombre de surfaces construites proposées à l'interception du soleil, l'imperméabilisation des sols et la nature des matériaux (béton, asphalte, goudron...) – est source le jour d'échauffement des surfaces et d'emmagasinement progressif de la chaleur. Au crépuscule et durant la nuit, quand les apports solaires cessent, cette chaleur est restituée sous forme de rayonnements infra-rouge par les matériaux à plus grande inertie thermique (effet retard).

La morphologie urbaine joue, de plus, sur le régime des vents. Si une rue étroite et encaissée - soit une configuration de canyon urbain avec un Facteur de vue du ciel<sup>6</sup> très faible - permet de créer des zones d'ombre le jour, elle empêche aussi les vents de circuler et fait alors stagner les masses d'air. Les dégagements de chaleur par les matériaux et les émissions - non négligeables<sup>7</sup> - de chaleur anthropique (transports routiers, rejet de climatisation, électricité spécifique, eau chaude et cuisson, procédés industriels...), sont alors piégés dans les rues par les surfaces verticales ralentissant fortement le refroidissement de la ville la nuit.

A l'inverse, l'eau et la végétation constituent des facteurs de rafraîchissement puisqu'elles emmagasinent peu d'énergie et, par évaporation ou évapotranspiration, elles rafraîchissent l'air dans la journée. L'ombrage des arbres, selon la densité de leur feuillage qui dépend des essences et des pratiques de taille, atténue, de plus, l'ensoleillement dans la zone ombragée (jusqu'à 80%). Par ailleurs, la nuit, la chaleur est rapidement évacuée par les espaces en eau (rivières, plans d'eau) et par les espaces de pleine terre à végétation rase ou arbustive – au-dessus des pelouses, des jardins de l'habitat, des prairies et broussailles, des sols cultivés... - car les rayonnements infra-rouge peuvent rejoindre sans obstacle le ciel (Facteur de vue du ciel important).

Parmi les variables contrôlables, nous pourrions agir sur :

- Les dégagements anthropiques de chaleur dus à la circulation automobile, aux activités industrielles, au chauffage et à la climatisation des bâtiments ; ils peuvent être réduits par des mesures de densification urbaine, des politiques de transports alternatifs à la voiture individuelle et l'isolation des bâtiments.
- Le facteur de vue du ciel, directement lié à la forme urbaine, à l'occasion de la création de nouveau quartier urbain ou de réhabilitation d'ensembles compacts, effet canyon des rues et donc d'estimer les perturbations radiatives en ville, c'est-à-dire le « piégeage » des rayonnements dans les espaces urbains qui font que la ville surchauffe.
- Les espaces verts qui, grâce à l'évapotranspiration du sol naturel et des végétaux, consomment de l'énergie du fait de la photosynthèse (transformation du dioxyde de carbone en carbone) et du processus de changement d'état de l'eau (de l'état liquide à l'état gazeux via l'évaporation du sol et

<sup>6</sup> Le Facteur de vue du ciel (Sky View Factor, SVF) correspond à la portion du ciel observable à partir de la surface au sol considérée ; il varie entre 0 et 1 (cas d'une surface plane sans obstacle lié à la présence de bâtiments ou de houppiers d'arbres dans la fraction hémisphérique de ciel visible depuis le sol).

<sup>7</sup> Chaleur anthropique : transports routiers, climatisation, électricité spécifique, eau chaude et cuisson. De mai à septembre, bilan d'énergie du territoire parisien : ICU : 43 400 GWh d'apport de chaleur solaire 80% / 9 170 GWh d'apport de Chaleur anthropique 20% (Source : Etude APUR)

la transpiration du végétal), réduisant ainsi la température de l'air, et procurent du rafraîchissement (vapeur d'eau).

- Les matériaux des bâtiments et des revêtements des espaces publics qui, selon leur propriétés – d'albédo<sup>8</sup> pour le réfléchissement de l'énergie lumineuse et d'inertie thermique<sup>9</sup> pour l'emmagasinement plus ou moins grand de chaleur et la restitution plus ou moins retardée de cette chaleur après la période d'échauffement (si avec des matériaux à forte inertie le déphasage entre le pic de température extérieur et la température à l'intérieur d'un logement améliore le confort d'été en journée, la nuit, la chaleur est évacuée lentement vers l'extérieur : ces apports de chaleur dans les rues ralentissent le refroidissement de la ville).

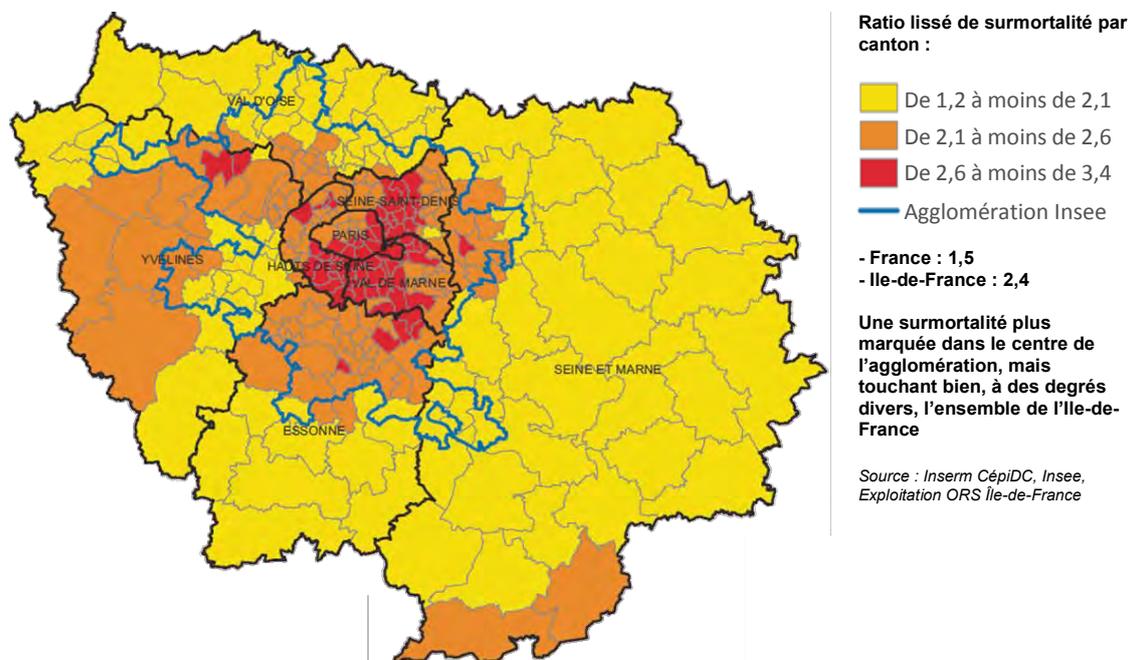
### 1.3 - L'effet d'ICU : des impacts multifformes

Les ICU ont un effet négatif sur le confort thermique urbain (inconfort des espaces de vie, publics et privés) et sont donc un risque pour la santé publique des citoyens lorsqu'ils sont combinés à un épisode caniculaire. L'îlot de chaleur urbain, particulièrement intense en période de fortes chaleurs, va amplifier le stress thermique des Franciliens et les risques associés (déshydratation, aggravation des maladies chroniques ou coups de chaleur, surmortalité).

Si l'effet d'ICU entraîne un moindre besoin de se chauffer l'hiver, source d'économie d'énergie, le principal enjeu associé porte donc sur l'aggravation potentielle des effets liés aux vagues de chaleur : soit l'été, en période de canicule, la nuit... Il l'est d'autant que les perspectives climatiques (tendance d'ici à la fin de XXI<sup>ème</sup> siècle d'une recrudescence de périodes de sécheresse, de vagues de chaleur et d'épisodes de canicule) et sociologique (vieillesse de la population d'ici 2050).

Alors que les récents épisodes de canicule – surtout 2003 mais aussi 2006 et 2015 - ont déjà marqué particulièrement les Franciliens, le phénomène ICU devrait toucher une population de plus en plus importante pouvant à l'avenir rendre la vie en ville pénible. L'InVS, l'Inserm, l'ORS et l'Atelier Parisien de la Santé Publique ont étudié le rapport entre la mortalité observée lors de la canicule 2003 et les décès survenus. Tous font le constat que l'Ile-de-France est la région où le taux de surmortalité a été le plus fort (de 127 à 171%, selon les départements) et souligne l'effet particulièrement important d'ICU et de la dégradation de la qualité de l'air.

Carte 3 : Principaux enseignements de la canicule 2003



<sup>8</sup> L'albédo désigne l'indice de réfléchissement d'une surface en fonction de sa couleur mais aussi de sa porosité et texture. Sa valeur est comprise entre 0 (cas d'une surface qui absorbe toute la lumière incidente 0 comme un corps noir) et 1 (cas d'une surface qui réfléchit toute la lumière incidente, comme un miroir).

<sup>9</sup> L'inertie thermique est la capacité d'un matériau à emmagasiner puis à restituer la chaleur de manière diffuse : plus l'inertie d'un bâtiment est forte (plus sa masse est importante, les matériaux lourds), plus il se réchauffe et se refroidit lentement.

L'effet d'ICU revêt cependant plusieurs formes, ce qui situe la hauteur des problèmes potentiels à considérer :

- Une perturbation du confort thermique, dans tous les lieux de vie et d'activité : avec des répercussions sur les travailleurs (certains métiers à risques) et le rendement au travail, une pénibilité des parcours domicile-travail (inconfort thermique dans les transports publics et les enceintes particulièrement fréquentés aux heures de pointe...).
  - Une pression l'été sur les ressources Energie et Eau pour les besoins de rafraîchissement, de réfrigération et d'eau potable :
    - hausse probable de la demande en énergie (climatisation, réfrigération) avec augmentation de la chaleur anthropique (extraction) et des émissions de gaz à effet de serre (fluides frigorigènes) ;
    - hausse probable des demandes en eau (plantations, aires de rafraîchissement).
  - Une dégradation concomitante de la qualité de l'air lors des vagues de chaleur
- L'ICU et la forte chaleur sont des facteurs aggravant de la pollution atmosphérique et de ses effets sur l'homme et sur les milieux
- air extérieur : aggravation des phénomènes de smog ( $T^{\circ}$ , stagnation air) ;
  - air intérieur : émanation de substances toxiques.
- Des risques sanitaires liés à la canicule, et des répercussions sur l'ensemble du monde vivant (stress thermique et hydrique).

Les ICU sont la cause d'une forte surmortalité en période caniculaire (InVS) :

- repos nocturne et récupération empêchés ; la nuit est une période cruciale pour aider les organismes à récupérer de la chaleur ;
- risque de surmortalité 2 fois plus élevé chez les personnes exposées à la chaleur, en particulier la nuit et lorsque la canicule persiste une semaine ou plus.

Avec des facteurs de risque :

- individuel (perte d'autonomie, pathologies préexistantes...) ;
- liés à l'environnement (sous les toits, dans un quartier ICU...).

#### Bilan de la canicule de 2003

- en 15 jours, en France : 15 000 décès en excès (surmortalité : + 60%)
- en Ile-de-France : 5 000 décès en excès (surmortalité : + 134%)

Il ne faut ainsi négliger aucune des causes et des conséquences des ICU. La pluridisciplinarité a toute sa place, ce qu'ont bien compris les chercheurs. En témoigne, l'actuel projet MApUCE<sup>10</sup> qui s'organise autour de partenaires fortement interdisciplinaires en droit de l'urbanisme, climat urbain, énergétique du bâtiment, architecture, sociologie, géographie et météorologie, ainsi que la Fédération nationale des agences d'urbanisme (FNAU).

L'adaptation de nos villes est donc devenue nécessité. En cause, l'effet d'îlot de chaleur urbain (ICU), propre aux territoires très urbanisés. Les formes urbaines, la place donnée à l'eau et à la végétation en ville, la suractivité et la densité métropolitaines pèsent sur le climat. Dans un contexte de réchauffement, l'effet global et local d'ICU interpelle les urbanistes et la santé publique. Cette question stratégique suppose de travailler sur la vulnérabilité – l'aléa, la sensibilité, la difficulté à faire face - de nos villes à la chaleur.

<sup>10</sup> MApUCE : « Modélisation Appliquée et droit de l'Urbanisme : Climat urbain et Énergie », projet de l'Agence Nationale de Recherche (ANR) lancée en mars 2014 pour 4 années, piloté par Météo France (Valéry MASSON, chef de projet), qui vise à intégrer dans les politiques urbaines et les documents juridiques les plus pertinents des données quantitatives de microclimat urbain, climat et énergie, dans une démarche applicable à toutes les villes de France.

## 2 - Vulnérabilité et adaptation d'un territoire à la chaleur en ville

Depuis le premier plan climat national de 2004 et l'incitation faite aux collectivités de développer des diagnostics et des actions territoriales vis-à-vis du changement climatique, les intentions ont progressivement été converties en obligation par les Lois Grenelle en 2009/2010 (SRCAE et PCET), la récente loi de Transition énergétique pour la croissance verte et l'engagement de la France pour la COP21.

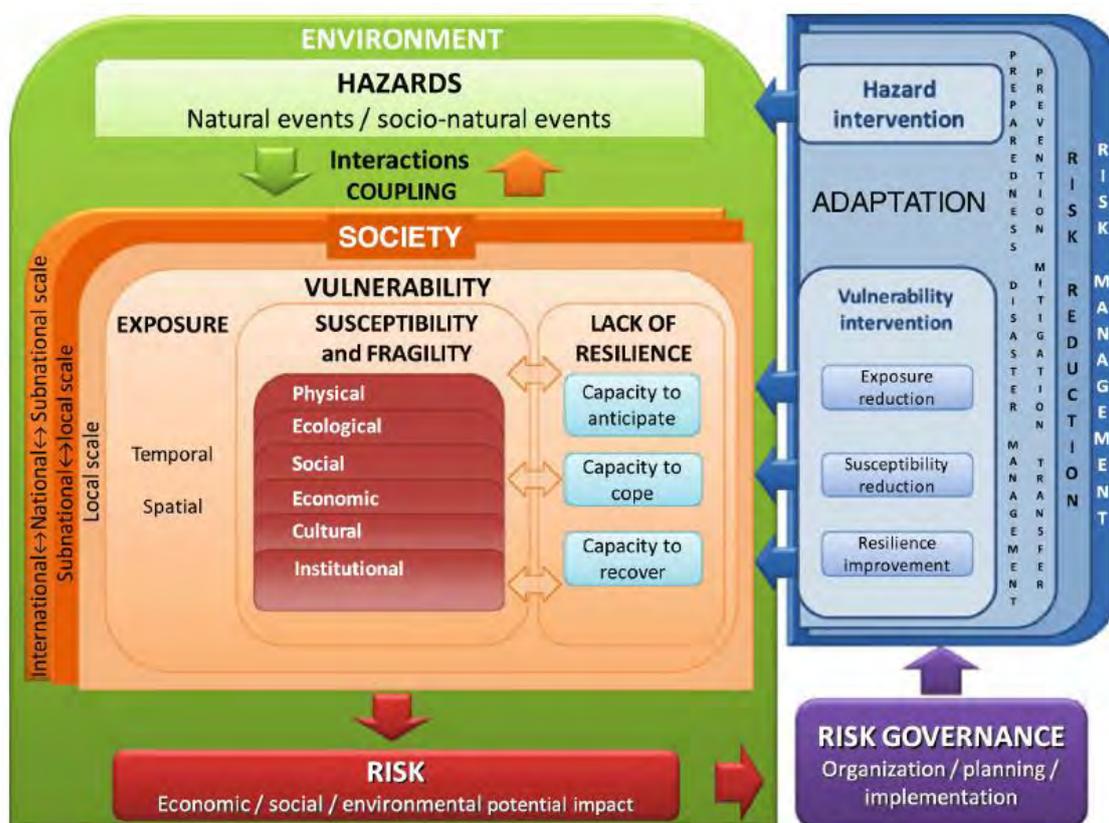
Dans cette problématique Climat, à côté du volet atténuation (diminution des émissions de gaz à effet de serre), les territoires doivent aussi traiter la question de l'adaptation aux effets locaux du changement climatique mondial. Au-delà d'une certaine complexité liée à la gestion des incertitudes des effets à long terme, les régions peuvent d'ores-et-déjà avancer sur l'identification de leur vulnérabilité climatique, actuelle et future, afin de définir une stratégie territoriale d'adaptation en lien avec leurs particularismes.

### 2.1 - Le principe de vulnérabilité

Parler de vulnérabilité aux événements climatiques, c'est considérer plusieurs notions complexes : l'exposition à un aléa climatique d'un territoire et d'une société, la sensibilité et la fragilité de la société exposée, sa capacité à faire face qu'elle soit d'anticipation, de réaction et de résilience.

Certains auteurs ont conceptualisé via une approche holistique l'évaluation de la vulnérabilité ; les notions de risques et d'adaptation à ce risque sont étroitement liées. Ainsi le professeur allemand Jörn Birkmann propose de croiser l'exposition (1<sup>ère</sup> composante de la vulnérabilité) avec l'indice « World Risk & Vulnerability Index », association des composantes : Sensibilité, Capacité à faire face et Capacité d'adaptation (J. Birkmann et al).

Figure 4 : Méthode holistique pour l'amélioration de l'évaluation de la vulnérabilité en Europe



Source : Methods for the improvement of vulnerability assessment in Europe, projet de recherche européen (MOVE), Birkmann et al. (2011)

Dans le domaine de l'étude des risques naturels majeurs, la notion de risque résulte du croisement entre un aléa (localisation spatiale, probabilité d'occurrence, intensité et durée de l'événement...) et un enjeu (présence humaine, population, entreprises, équipements et infrastructures stratégiques...). Le principe de résilience (retour à une situation normale après l'événement) est également associé pour définir plus complètement la notion de vulnérabilité.

Même si les approches se rejoignent, il n'y a donc pas à ce jour de stabilisation définitive de la définition de vulnérabilité dans le champ des risques climatiques. Comme définition de la vulnérabilité, nous retiendrons celle proposée par l'ADEME : « *La vulnérabilité représente une condition résultant de facteurs physiques, sociaux, économiques ou environnementaux qui prédisposent les éléments exposés à la manifestation d'un aléa à subir des préjudices ou des dommages... Dans le cas du changement climatique, la vulnérabilité est le degré auquel les éléments d'un système (éléments tangibles et intangibles, comme la population, les réseaux et équipements permettant les services essentiels, le patrimoine, le milieu écologique ...) sont affectés par les effets défavorables des changements climatiques (incluant l'évolution du climat moyen et les phénomènes extrêmes). La vulnérabilité est fonction de la nature, de l'ampleur et du rythme de la variation du climat (alias l'exposition) à laquelle le système considéré est exposé et de la sensibilité de ce système à cette variation du climat* »<sup>11</sup>

En termes d'approche analytique de la vulnérabilité d'un territoire à un risque climatique, sur la base des définitions précédemment exposés, nous proposons de définir comme principe de vulnérabilité aux effets probables du changement climatique la prise en compte de trois composantes : **l'aléa, la sensibilité et la difficulté à faire face** (Cf. Figure 5).

Figure 5 : Principe retenu de vulnérabilité aux effets probables du changement climatique



Source : « Eviter la ségrégation climatique et les nouvelles formes d'inégalité, Journée régionale pour le climat » 4 mai 2015, E. Cordeau, N. Laruelle - IAU-idF

## 2.2 - La vulnérabilité à l'excès de chaleur en ville

La canicule de l'été 2003 et la crise sanitaire qu'elle a entraînée ont été en France les déclencheurs principaux de la prise de conscience d'une vulnérabilité à l'excès de chaleur en ville. La polémique qui a suivi, particulièrement quant à l'absence de réaction du gouvernement et des pouvoirs publics de l'époque, a mis en exergue les vulnérabilités du système de prévention et de protection des populations. Des mesures immédiates ont été prises en matière de santé publique, notamment la mise en place du Plan canicule qui, selon quatre niveaux, alerte les services publics en cas de forte chaleur et la journée de solidarité envers les personnes âgées qui se traduit par la suppression d'un jour férié censé financer des mesures de prévention envers ces populations.

Cependant, aucune initiative – hormis la réduction des émissions de gaz à effet de serre dans le contexte global du changement climatique – n'a été prise à l'échelle nationale pour lutter contre les

<sup>11</sup> Voir « Indicateurs de vulnérabilité d'un territoire au changement climatique, Recueil de littérature internationale », février 2013 - ADEME

causes des effets aggravant d'une canicule, parmi lesquelles l'effet d'ICU, puisque c'est dans les grandes agglomérations que les décès ont été les plus nombreux.

Une première démarche de diagnostic territorial de vulnérabilité a été initiée par la Région Île-de-France<sup>12</sup>. Il en ressort qu'adapter l'Île-de-France aux vagues de chaleur à venir est l'un des grands défis franciliens, déjà souligné par le Plan Régional pour le Climat d'Île-de-France (PRC) et repris par le Schéma régional du climat, de l'air et de l'énergie (SRCAE) et par le SDRIF Île-de-France 2030, au vu de la vulnérabilité déjà constatée (surmortalité plus importante en Île-de-France lors de l'épisode de canicule 2003 en comparaison du reste de la France) et des éléments de perspectives climatologique, sociodémographique et urbaine que ces documents de planification ont été amenés à traiter.

Même si les plans canicules mis en place par l'Etat dès 2004 ont montré leur performance, la capacité à maintenir la robustesse du système d'alerte et de gestion de crise dans un contexte d'augmentation de la fréquence de ces épisodes pose la question de la performance du système préventif et des relais locaux comme les dispositifs de recensement de la responsabilité des maires (Loi 2004-626 du 30 juin 2004). La Ville de Paris, par exemple, met à jour tous les ans le fichier Chalex (chaleur extrême) afin d'apporter une aide aux personnes âgées et handicapées qui en font la demande (plus de 24 000 inscrits à la fin d'été 2011). Et comme le rappelle l'InVS, outre l'augmentation probable de l'intensité et de la fréquence des vagues de chaleur, le vieillissement de la population est une autre donnée importante à considérer (part des 75 ans et plus de 15,6% en 2050 contre 8,8% en 2003 en Île-de-France).

La vulnérabilité des villes franciliennes aux vagues de chaleur estivales constitue donc un enjeu fort de santé publique et interroge plus largement tout l'écosystème métropolitain : disponibilité de la ressource en eau, approvisionnement énergétique pour la climatisation, dégradation de la qualité de l'air (smog) et du confort thermique, altération de la nature en ville, fragilisation du bâti et des infrastructures.

Conformément au principe de vulnérabilité précédemment retenu et défini par l'IAU Île-de-France, la vulnérabilité d'un territoire à la chaleur urbaine peut être évaluée par la prise en compte de l'aléa « Vague de chaleur / Canicule », d'une sensibilité du territoire concerné et d'une difficulté à faire face de la société (Cf. Figure 6).

**Figure 6 : Principe retenu de vulnérabilité adapté à l'aléa « chaleur urbaine »**



Source : « Éviter la ségrégation climatique et les nouvelles formes d'inégalité, Journée régionale pour le climat » 4 mai 2015, E. Cordeau, N. Laruelle - IAU-idF

L'aléa canicule est difficile à prévoir (en durée et en intensité...). Pour autant, nous observons qu'une vague de chaleur exceptionnelle survient le plus souvent sur l'ensemble d'une région voir d'un pays. En revanche, nous savons que l'effet d'ICU est un facteur aggravant, à l'origine de forts contrastes territoriaux de températures entre la ville et la campagne, et au sein même des villes, entre des îlots de chaleurs et des îlots de fraîcheur. Une identification des zones potentiellement les plus concernées

<sup>12</sup> Voir « Etude des impacts socio-économiques de l'adaptation au changement climatique – Rapport d'étude », octobre 2012, ARTELIA pour le compte de la Région d'Île-de-France et de l'ADEME.

par l'effet d'ICU peut aider à qualifier la hauteur de l'aléa « Vague de chaleur / Canicule » et préciser sa distribution géographique.

Dans ces zones à effet d'ICU, une analyse de la sensibilité des biens et personnes et de leur difficulté à faire face peut conduire à un diagnostic complet de vulnérabilité du territoire à la chaleur urbaine. Il convient d'étudier quels indicateurs de sensibilité et de capacité à faire face seraient les plus pertinents et seraient géographiquement définissables avec une résolution géographique comparable à celles des zones à effet d'ICU.

Le recueil de la littérature internationale précédemment cité sur les indicateurs de vulnérabilité d'un territoire au changement climatique (ADEME, février 2013) donne une idée précise des indicateurs potentiellement les plus pertinents à considérer. Une analyse de la spécificité des indicateurs d'exposition, de sensibilité et de capacité d'adaptation à l'aléa « Vague de chaleur » est une piste de travail (Cf. Tableaux 1, 2 et 3). Nous distinguons ainsi l'indicateur spécifique - indicateur utilisé pour la caractérisation de cet aléa et jamais recensé pour celle d'un autre aléa climatique – d'un indicateur généraliste – indicateur utilisé pour l'analyse des 9 aléas climatiques répertoriés.

**Tableau 1 : Indicateurs d'exposition aux effets du changement climatique cités dans la littérature**

Nom indicateur d'exposition
<b>Humidité moyenne</b>
<b>Indicateur de stress thermique Klima-Michel</b>
<b>Jours de vague de chaleur</b>
<b>Pollution de l'air : présence de particules</b>
<b>Radiation thermique ondes longues</b>
<b>Température nocturne élevée</b>
<b>Faible hygrométrie / humidité du sol</b>
<b>Température</b>
<b>Moyenne de précipitations en été</b>
<b>Pourcentage de la population décédée ou affectée par une catastrophe naturelle</b>
<b>Ratio nombre de décédés / personnes affectées pour les catastrophes passées</b>

**En bleu** : indicateur spécifique de l'aléa Vague de chaleur

**En vert** : assez spécifique (aléa Vague de chaleur et 1 à 4 autres aléas liés au changement climatique)

**En orange** : indicateur peu spécifique (aléa Vague de chaleur et 5 à 7 autres aléas liés au changement climatique)

**En noir** : indicateur généraliste (les 9 aléas liés au changement climatique)

Source : Exploitation E. Cordeau - IAU îdF, d'après "Indicateurs de vulnérabilité d'un territoire au changement climatique - Recueil de littérature internationale", février 2013 - ADEME

**Tableau 2 : Indicateurs de sensibilité aux effets du changement climatique cités dans la littérature**

Nom indicateur de sensibilité
<b>Proportion de logements dans des immeubles de 5 étages ou plus</b>
<b>Mortalité infantile</b>
<b>Isolation sociale</b>
<b>LDI Local Disaster Index</b>
<b>Part des terres cultivées irriguées</b>
<b>DDI Disaster Deficit Index</b>
<b>PVI Prevalent Vulnerability Index</b>
<b>RMI Risk Management Index</b>
<b>Occupation du sol</b>
<b>Accès à l'assainissement</b>
<b>Taux d'alphabétisation des 15-24 ans</b>
<b>Mobilité des personnes et des biens</b>
<b>Démographie</b>

<b>Proportion de moins de 5 ans</b> <b>Proportion de personnes ne parlant pas la langue locale</b> <b>Proportion de personnes atteintes de maladies chroniques ou sévères</b> <b>Proportion de plus de 65 ans</b> <b>Proportion d'immigrés récents</b>
--

**En bleu** : indicateur de sensibilité spécifique de l'aléa Vague de chaleur

**En vert** : assez spécifique (aléa Vague de chaleur et 1 à 4 autres aléas liés au changement climatique)

**En orange** : indicateur peu spécifique (aléa Vague de chaleur et 5 à 7 autres aléas liés au changement climatique)

**En noir** : indicateur généraliste (les 9 aléas liés au changement climatique)

Source : Exploitation E. Cordeau - IAU îdF, d'après "Indicateurs de vulnérabilité d'un territoire au changement climatique - Recueil de littérature internationale", février 2013 - ADEME

**Tableau 3 : Indicateurs de capacité d'adaptation aux effets du changement climatique cités dans la littérature**

<b>Nom indicateur de capacité d'adaptation (résilience)</b>
<b>Acclimatation de la population aux températures élevées</b>
<b>Conception des bâtiments</b>
<b>Accès aux technologies de communication</b>
<b>Niveau de revenu</b>
<b>Niveau d'éducation</b>
<b>PIB / habitant</b>
<b>Efficacité des politiques et plans de gestion des risques (multirisques ou un risque en particulier)</b>
<b>Existence d'un système d'alerte</b>
<b>Ancienneté de l'installation dans la région</b>
<b>Connaissance et préparation de la population</b>
<b>Existence d'un système de surveillance</b>
<b>Expérience personnelle des habitants face au risque</b>
<b>Ressources économiques</b>
<b>Taux de chômage</b>

**En bleu** : indicateur de capacité à faire face spécifique de l'aléa Vague de chaleur

**En vert** : assez spécifique (aléa Vague de chaleur et 1 à 4 autres aléas liés au changement climatique)

**En orange** : indicateur peu spécifique (aléa Vague de chaleur et 5 à 7 autres aléas liés au changement climatique)

**En noir** : indicateur généraliste (les 9 aléas liés au changement climatique)

Source : Exploitation E. Cordeau - IAU îdF, d'après "Indicateurs de vulnérabilité d'un territoire au changement climatique - Recueil de littérature internationale", février 2013 - ADEME

Nous constatons que ces indicateurs font appels à des registres de connaissance très variés – physique, géographique, sociodémographique, systémique... - révélateur d'une vraie complexité. A cela, s'ajoute les questions de la disponibilité et de la précision des données pour leur construction sur le territoire à étudier.

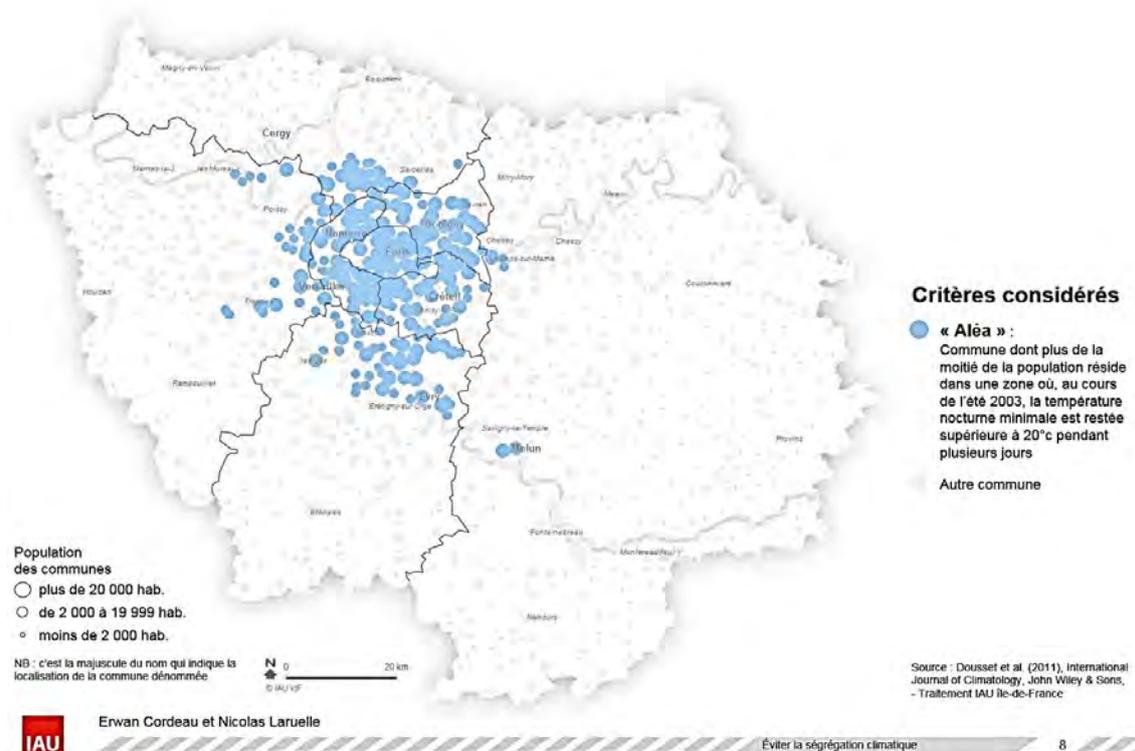
Pour illustrer simplement, en première approche à l'échelle régionale, le principe d'avoir à prendre en compte les 3 composantes de la vulnérabilité à la chaleur urbaine telle que nous l'avons définie – *Aléa x Sensibilité x Difficulté à faire face* – nous avons superposé géographiquement un seul indicateur communal représentatif de chacun de ces 3 registres (*Cf. Cartes 4, 5 et 6, pages suivantes*).

Pour l'indicateur représentatif de l'aléa, nous avons considéré les communes dont plus de la moitié de la population résidait dans une zone où, au cours de la période de canicule 2003, la température nocturne minimale est restée supérieure à 20°C soit l'indicateur de nuit tropicale précédemment cité afin de représenter le contour de l'ICU métropolitain (*Cf. Carte 1, page 8*). Environ 250 communes franciliennes sont concernées (*Cf. Carte 4*).

Pour la sensibilité, sont retenues les communes dont la part des logements du parc privé avec un Diagnostic de performance énergétique estimé égal à G (« passoire thermique ») est supérieure à la

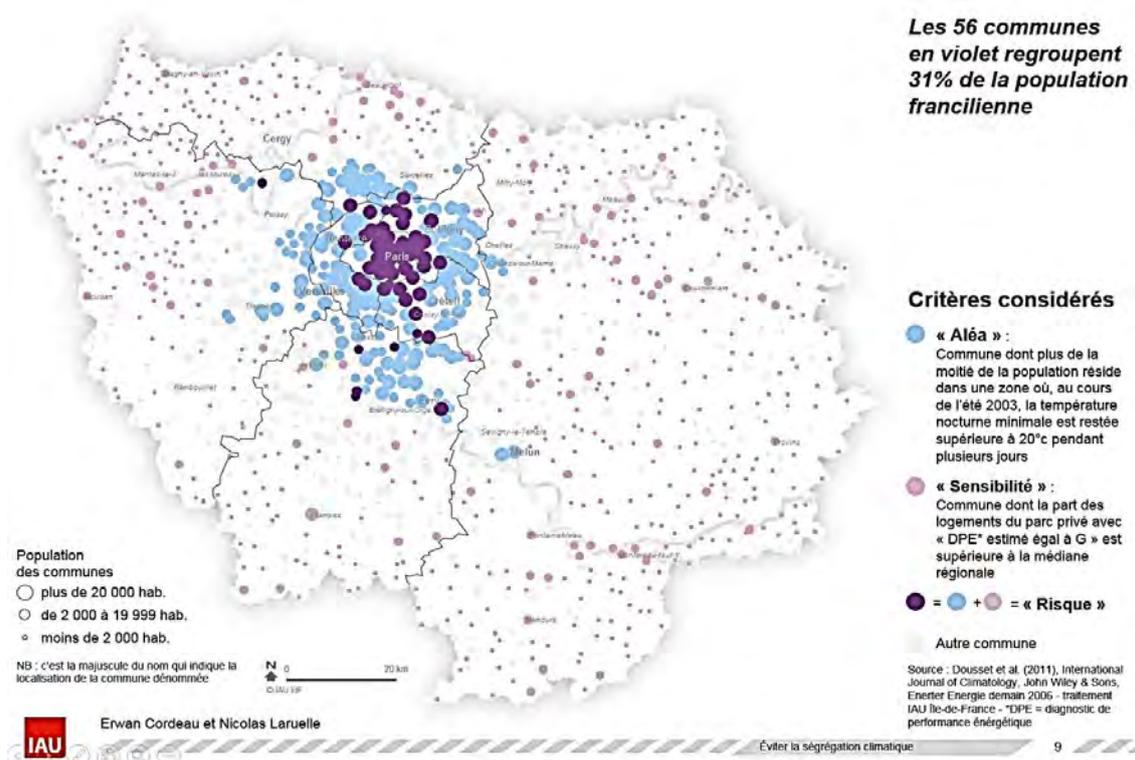
médiane régionale. Après superposition des communes sensibles avec l'aléa, ce ne sont plus que 56 communes (31% de la population) qui sont concernées par un risque de chaleur urbaine (Cf. Carte 5).

Carte 4 : Indicateur communal représentatif de l'aléa « vague de chaleur »



Source : « Éviter la ségrégation climatique et les nouvelles formes d'inégalité, Journée régionale pour le climat » 4 mai 2015, E. Cordeau, N. Laruelle - IAU-idF

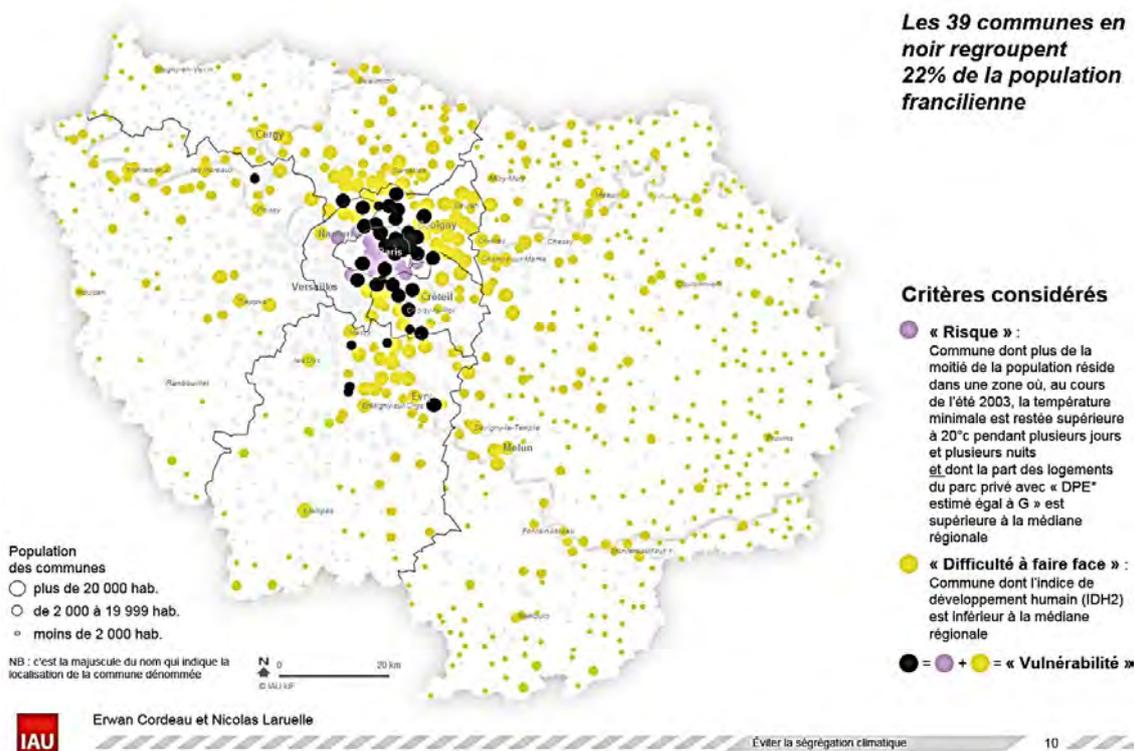
Carte 5 : Indicateur communal représentatif d'une sensibilité à l'aléa « vague de chaleur »



Source : « Éviter la ségrégation climatique et les nouvelles formes d'inégalité, Journée régionale pour le climat » 4 mai 2015, E. Cordeau, N. Laruelle - IAU-idF

Pour la difficulté à faire face, les communes dont l'indice de développement humain (IDH-2)<sup>13</sup> est inférieur à la médiane régionale sont considérées. Après croisement avec les indicateurs d'aléa et de sensibilité précédents, 39 communes (22% de la population francilienne) présentent donc une forme de vulnérabilité à l'effet d'ICU (Cf. Carte 6, ci-dessous).

**Carte 6 : Indicateur communal représentatif d'une difficulté à faire face à l'aléa « vague de chaleur »**



Source : « Éviter la ségrégation climatique et les nouvelles formes d'inégalité, Journée régionale pour le climat » 4 mai 2015, E. Cordeau, N. Laruelle - IAU-idF

Cet exemple de croisement souligne bien la complexité de la notion de vulnérabilité. Il montre en revanche tout l'intérêt d'aller au-delà de la seule interprétation de l'étendu spatiale de l'aléa « aggravation de la vague de chaleur par l'effet d'ICU ». En apportant un diagnostic de vulnérabilité, nous sommes passés de 250 communes initialement concernées par l'effet d'ICU métropolitain à 39 communes relevant d'une vulnérabilité : 6 fois moins de communes selon les critères retenus dans l'exemple. Lorsqu'il convient de savoir où agir, d'avoir à prioriser l'action, ou de mettre en œuvre les meilleures réponses pour lutter contre l'effet d'îlot de chaleur métropolitain, la prise en compte de la vulnérabilité d'un territoire s'impose.

La juxtaposition d'indicateurs communaux ne rend pas compte des différences infra-communales qui existent dans la distribution géographique des différents indicateurs considérés. Il se pourrait très bien, par exemple, que pour l'une des 39 communes dites vulnérables, la majeure partie de sa population avec un faible indice de développement humain (IDH-2) loge dans des logements aux performances énergétiques meilleures que la classe DPE égal à G.

Une sélection et une réinterprétation des indicateurs les plus spécifiquement utilisés, comme une réflexion au cas par cas sur l'échelle géographique des croisements entre indicateurs, seront impérativement nécessaires pour l'étude fine de la vulnérabilité de l'Île-de-France à l'effet d'ICU, facteur aggravant d'une vague de chaleur.

<sup>13</sup> L'IDH-2 donne une vision synthétique de l'aspect multidimensionnel du développement humain sur le territoire concerné ; calculé au niveau communal par l'IAU îdF, il réunit les trois dimensions de l'IDH original ("niveau de vie", "santé" et "éducation"), mais adaptées à la situation de l'Île-de-France : l'espérance de vie à la naissance (santé), la part de la population âgée de 15 ans et plus sortie du système scolaire avec un diplôme (savoir-éducation) et la médiane des revenus fiscaux des ménages par unité de consommation (niveau de vie).

## 2.3 - L'adaptation à la chaleur urbaine : des solutions pour diminuer la vulnérabilité

L'adaptation part du principe que quoi que nous fassions, le changement climatique est en cours et que nous en ressentirons les effets ; il s'agit de s'adapter au mieux pour réduire les conséquences néfastes de ces effets.

### **Une définition de l'Adaptation (GIEC, 2007)**

*« Ajustement des systèmes naturels ou des systèmes humains face à un nouvel environnement ou un environnement changeant. L'adaptation aux changements climatiques indique l'ajustement des systèmes naturels ou humains en réponse à des stimuli climatiques présents ou futurs ou à leurs effets, afin d'atténuer les effets néfastes ou d'exploiter des opportunités bénéfiques. On distingue divers types d'adaptation, notamment l'adaptation anticipée et réactive, l'adaptation publique et privée, et l'adaptation autonome et planifiée. »*

Concernant les vagues de chaleur, l'effet d'ICU est déjà une réalité, les canicules 2003, 2006, 2015 ont affecté l'Île-de-France et les Franciliens, les indicateurs de prospective climatologique ne sont pas bons. L'adaptation demande à examiner quelles mesures potentielles la société francilienne doit mettre en œuvre pour s'adapter à cette nouvelle situation de chaleur urbaine.

Il faut considérer, d'une part, que les trois composantes de la vulnérabilité à la chaleur sont des registres potentiels de solutions et d'actions : lutter contre l'effet d'ICU, diminuer la sensibilité du territoire et de ses habitants, augmenter les capacités à faire face de la société à la chaleur.

D'autre part, il convient de privilégier l'anticipation – se préparer, améliorer le cadre de vie pour atténuer les effets d'ICU ou mieux les supporter - et la sensibilisation aux bons comportements pour mieux réagir lorsqu'ils se produisent des événements extrêmes.

La Recherche et les pouvoirs publics, de façon complémentaire, ont commencé à travailler sur l'approfondissement des connaissances des solutions d'adaptation aux vagues de chaleur. Pour les actions de sensibilisation et de réaction, les propositions du système d'alerte et de gestion de crise avec le Plan Canicule dès 2004 sont une première donnée indéniable.

Pour les solutions d'aménagement (anticipation), les chercheurs sont incités - notamment via un appel à projets de recherche de l'ADEME - à tester les avantages et inconvénients de solutions appliquées dans les registres suivants :

- Mesures physiques :

- **Augmentation de la couverture végétale :**

- espaces verts, toitures et murs végétaux, végétation en pieds d'immeubles...

- **Augmentation des surfaces en eau :**

- sol perméable, récupération d'eau, bassins, fontaines, cours d'eau...

- **Augmentation des surfaces d'ombrage :**

- arbres, ombrières solaires, pergolas...

- **Utilisation de matériaux à propriétés thermiques et optiques plus adaptés :**

- albédo, revêtements des chaussées, des toitures, des murs...

- **Diminution des sources de chaleur anthropique :**

- moteurs des véhicules, rejets de climatiseurs...

- Organisation urbaine :

- **Adaptation de la morphologie urbaine :**

- position et orientation du bâti

- **Amélioration de l'organisation des différentes zones :**

- aménagements urbains, trames vertes et bleues

- **Amélioration des services urbains :**

- santé, réseaux de froid, gestion de l'eau...

En complément, les projets de R&D financés par l'ANR via son programme *Villes et Bâtiments Durables*, centré sur la durabilité du cadre et des lieux de la vie quotidienne, depuis l'échelle du bâtiment jusqu'à la grande région urbaine, testent l'impact des solutions à plus grande échelle. Les chercheurs font appel à la modélisation « territorialisée » des scénarios d'évolution de la ville et du

climat, des besoins futurs en énergie, en intégrant de plus en plus la problématique des comportements. Les principales conclusions du projet MUSCADE (déjà cité page 8) sont déjà riches d'enseignements en matière de solutions avec un test de leur efficacité (Cf. Encadré Muscade).

### Apports du projet de recherche fondamentale MUSCADE\*

MUSCADE est une modélisation numérique à la maille de 250 m x 250 m pour évaluer des stratégies d'adaptation de l'agglomération parisienne au changement climatique. Elle s'appuie, pour partie, sur un modèle d'évolution architecturale : GENIUS. Un assemblage d'archétypes d'îlots urbains à partir des bases de données urbaines actuelles a permis de générer sept formes urbaines de référence ou « îlots types » ; chaque maille est ainsi caractérisée par un seul type d'îlot et par une soixantaine d'indicateurs (hauteur, surface, âge...).

Parmi les principaux résultats de MUSCADE relatifs à l'ICU d'agglomération :

- l'été, l'ICU est accentué dans une ville compacte, ce qui, combiné au fait que les habitants sont plus concentrés près du centre de l'agglomération, augmente les conditions de stress thermique ;
- la climatisation augmente l'ICU et détériore le confort extérieur (+ 30 minutes par jour en stress thermique élevé en petite couronne) : fermeture des volets, tour aérofrigorifère, récupération d'énergie sont à privilégier ;
- la végétation de pleine terre, si elle est arrosée, peut sensiblement améliorer le confort extérieur en été ; les toits végétalisés ont en revanche une influence limitée mais peuvent améliorer l'isolation du bâti ; stocker le ruissellement annuel moyen sur l'ensemble des surfaces urbaines par des systèmes de récupération d'eau à l'échelle du quartier ou du bâtiment ne permettrait l'arrosage complet de la végétation urbaine que pour les scénarios les moins ambitieux de végétalisation<sup>14</sup> ;
- les panneaux solaires, outre leur propriété intrinsèque de production d'énergie, permettent d'atténuer l'ICU (effet rafraîchissant bien que faible).

\* MUSCADE : Modélisation urbaine et stratégies d'adaptation au changement climatique pour anticiper la demande et la production énergétique – projet ANR 2009-2013 coordonné par le GAME, associant CIRED, CSTB, LIENS, LRA, IAU îdF, APUR.

Figure 7 : Extrait du Guide de recommandation pour lutter contre l'effet d'ICU (Région IdF, ADEME)



<sup>14</sup> Voir De Munck Cécile, Lemonsu Aude (CNRS/Météo France), « Les stratégies de végétalisation pour aider la ville à faire face à la canicule », septembre 2014, Note Rapide Environnement, n°662 - IAU Île-de-France

Des répertoires bibliographiques sur les solutions types et les recommandations ont été produits, comme en 2010 par l'IAU îdF<sup>15</sup>, ou par la Région d'Île-de-France et l'ADEME en 2012<sup>16</sup> (Cf. [Figure 7, page précédente](#)).

Dans un registre complémentaire d'actions, celui de l'évaluation de la qualité d'un projet d'aménagement en vue de l'attribution des subventions par une collectivité, la Région d'Île-de-France a produit un « Référentiel Aménagement et construction durable » dans son Agenda 21. Parmi les 25 orientations de ce référentiel, l'une, dédiée à l'Adaptation de la ville aux chaleurs urbaines (ICU), demande de porter une attention à :

- L'analyse des contributions du projet à l'îlot de chaleur urbain ;
- La mise en place d'une réflexion interactive entre les éléments du projet pour lutter contre l'élévation de température ;
- La mise en place de mesures compensatoires pour diminuer les effets d'îlots de chaleur.

Parmi les enseignements des travaux de Recherche et des recommandations qui en sont tirées, nous voyons bien tout d'abord qu'il n'existe non pas une solution mais **un panel de solutions**, dans des registres différents et complémentaires, mais surtout, que ces solutions sont à **adapter au cas par cas** selon les spécificités géographiques et sociodémographiques et les échelles d'action territoriales : du territoire et de la ville, du quartier et de la rue, de l'îlot et du bâtiment.

Nous pressentons, enfin, que concilier plus de densification avec une diminution de la vulnérabilité aux vagues de chaleur en zone dense s'avère un défi des plus sérieux. Si la lutte contre les îlots de chaleur urbains et d'autres impératifs urbains de la ville durable entrent dans des considérations similaires et peuvent s'enrichir mutuellement, il semble qu'il y a une contradiction de taille entre diminution de l'effet d'ICU et l'un des principes de l'aménagement durable, la densification urbaine. Le défi est donc d'arriver à densifier en intégrant les préoccupations de bien-être et de santé.

Le dernier **Schéma directeur de la région d'Île-de-France - SDRIF Île-de-France 2030** - a pris la mesure de ce défi. Il vise à atténuer l'augmentation de chaleur résultant de la densification à travers la maîtrise de l'imperméabilisation, une conception urbaine adaptée, le renforcement de la trame verte d'agglomération et la préservation des grands massifs forestiers. Une attention particulière sera ainsi portée à la transcription des orientations réglementaires dans les SCoT, PLUi et PLU visant à limiter l'imperméabilisation des sols, rouvrir les rivières urbaines, augmenter l'offre en espaces verts ouverts au public dans les communes déficitaires et préserver les espaces verts, les liaisons vertes et les forêts<sup>17</sup>.

A noter que le dispositif d'octroi d'aides financières de **l'Agence des espaces verts (AEV)** à l'acquisition et l'aménagement d'espaces verts, de forêts ou de promenades par des collectivités publiques ou des associations concourant au système régional des espaces ouverts, avait été révisé suite au projet de révision du SDRIF en 2008 en faisant **pour la première fois référence aux solutions de végétalisation pour lutter contre les effets d'ICU**. Ainsi, les communes sujettes au phénomène d'« îlot de chaleur urbain » étaient éligibles à des aides pour des plans pluriannuels de plantation d'arbres quand les opérations mettaient notamment en œuvre des conditions de continuités végétales en site urbain contraint. Les communes à effet d'ICU relevaient du cœur d'agglomération - soit 118 communes - l'une des grandes entités géographiques définies par le SDRIF (Cf. [Annexe 2](#)).

Une autre opportunité pour l'action est celle des **Plans climat air énergie territoriaux (PCAET)**, l'outil opérationnel de coordination de la transition énergétique sur le territoire, en compatibilité avec les objectifs et les orientations du **Schéma régional du climat, de l'air et de l'énergie d'Île-de-France (SRCAE)**. Mis à jour tous les 6 ans par les EPCI à fiscalité propre de plus de 20 000 habitants, les EPT et Paris, ils doivent comprendre une analyse de la vulnérabilité du territoire aux effets du changement climatique dans leur diagnostic, des objectifs stratégiques et opérationnels d'adaptation et un programme d'actions. Ils doivent prendre en compte le SCoT intégrateur et sont pris en compte par les PLUi/PLU.

<sup>15</sup> Voir Cordeau Erwan, Valette Emmanuelle, « Les îlots de chaleur urbains : L'adaptation de la ville aux chaleurs urbaines & Répertoire de fiches connaissance », novembre 2010 - IAU Île-de-France

<sup>16</sup> Voir « Guide de recommandation pour lutter contre l'Effet d'îlot de Chaleur Urbain à destinations des collectivités territoriales », Octobre 2012, Icare/Alto Ingénierie pour le compte du Conseil Régional d'Île-de-France et de l'ADEME

<sup>17</sup> Voir Barreiro Sandrine, « Le Sdrif : un modèle territorial pour anticiper le changement climatique », septembre 2014, Note rapide Environnement, n° 660 - IAU Île-de-France

## 3 - Cartographier les zones sujettes à effet d'ICU au regard des enjeux, une nécessité

### 3.1 - Commande régionale

La commande régionale s'est faite dans le cadre de la mise en œuvre du Plan Régional pour le Climat (plan adopté en juin 2011). La Région a d'abord réalisé un diagnostic de vulnérabilité de la région d'Île-de-France aux effets du changement climatique<sup>18</sup>. Un travail collégial de priorisation des enjeux sur la base des éléments rassemblés de vulnérabilités actuelle et future pour les différents aléas climatiques et les différents secteurs d'activité concluait ce diagnostic. Il ressortait de cet exercice que les vagues de chaleur aggravées par l'effet d'ICU était l'un des plus grands domaines de vulnérabilité en Île-de-France en lien direct avec le changement climatique.

Pour aller plus loin sur le sujet, la Région a donc confié à l'IAU une étude exploratoire conduisant à identifier « **les zones sujettes à effet d'îlot de chaleur urbain (ICU)** », l'IAU îdF ayant déjà travaillé sur le sujet dans les années 1990 et réinvesti cette problématique en 2010<sup>19</sup>. Cette nouvelle étude, inscrite au programme d'études mutualisées entre l'IAU îdF et la Région en 2012/2013, a été portée par le Département Environnement urbain et rural.

### 3.2 - Schéma de principe méthodologique

Une étude exploratoire suppose en amont de bien évaluer les champs des possibles et de bien cerner les objectifs attendus. Le schéma de principe méthodologique est la résultante de cette réflexion, et restitue les différents partis pris initialement adoptés (*Cf. Figure 8, page suivante*).

Nous savons que l'ICU est difficile à mesurer, or l'un des objectifs ici est d'observer les effets locaux de contrastes de température (« micro ICU ») afin d'identifier les disparités territoriales. Les données réelles d'observation au sol, celles du réseau météorologique de Météo France, par exemple, ou celles produites spécifiquement par des campagnes de mesures thermiques, sont difficiles à mobiliser en raison de nombreuses limites (faible densité des réseaux de mesure, des données limitées dans le temps ou l'espace, un coût d'acquisition des données à considérer...). La détection aérienne est une autre voie pour disposer de descriptions plus fines des disparités spatiales des températures de surface notamment via la télédétection par satellite (infrarouge thermique...). Là aussi, la mobilisation d'images s'avère difficile, notamment pour la période nocturne (certains satellites comme Landsat ne passe au-dessus de l'Île-de-France que le matin, la résolution géographique des pixels pour d'autres est plus grossière...). Les modélisations urbaines sont un dernier champ de connaissance. Utilisées par les chercheurs - en particulier par les climatologues, notamment pour tester des scénarios de prospective -, elles sont complexes et font appel de plus en plus à l'interdisciplinarité ; les projets MUSCADE et MApUCE, déjà cités, sont un bon exemple de la progression des modèles, tant au niveau de la finesse de la restitution géographique des résultats qu'au niveau de la prises en compte de données pluridisciplinaires.

Le premier parti pris est donc de tenter de s'affranchir de données d'observations météorologiques ou climatologiques, les propriétés déterminantes de l'effet d'ICU étant bien renseignés désormais comme nous l'avons rappelé (*Cf. [1-Définir l'ICU et l'effet d'ICU]*). Nous ne savons ni ne pouvons, non plus, développer des modélisations complexes, à l'image de ceux développés depuis plusieurs années par les chercheurs spécialisés, notamment des laboratoires de Météo France et du CNRS. En revanche, en tant qu'agence d'urbanisme, nous sommes en capacité d'avoir une connaissance fine du territoire au vu de l'évolution des bases de données urbaines dont nous disposons. Il s'agit donc - par une **approche raisonnablement simplifiée en termes de modélisation scientifique** - de caractériser la typo-morphologie urbaine de manière à **évaluer les propriétés qui contribuent théoriquement à un effet de chaleur ou de fraîcheur** en mettant à contribution notre savoir-faire en matière de connaissance des données géographiques mobilisables et d'utilisation des fonctionnalités des **Systèmes d'information géographique (SIG)**.

Le deuxième parti pris est de dépasser le premier stade de l'identification des zones sujettes à effet d'ICU en analysant les trois composantes territoriales de la **vulnérabilité** : l'aggravation de l'aléa

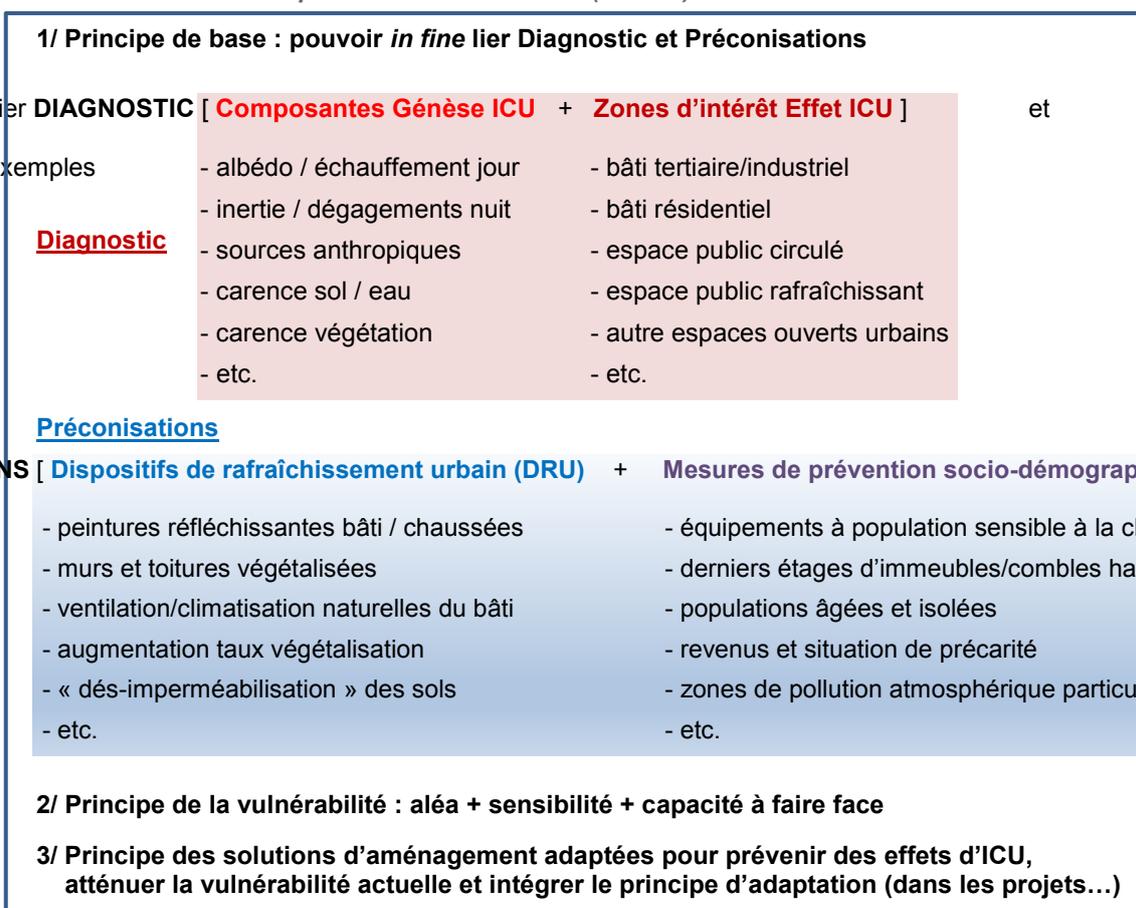
<sup>18</sup> Voir « Etude des impacts socio-économiques de l'adaptation au changement climatique – Rapport d'étude », octobre 2012, ARTELIA pour le compte de la Région d'Île-de-France et de l'ADEME

<sup>19</sup> Voir Cordeau Erwan, Valette Emmanuelle, « Les îlots de chaleur urbains : L'adaptation de la ville aux chaleurs urbaines & Répertoire de fiches connaissance », novembre 2010 - IAU Île-de-France

vague de chaleur par l'effet d'ICU, la Sensibilité de la population et sa Difficulté à faire face. Là encore, une simplification s'impose : nous nous concentrerons sur la vulnérabilité humaine dans le choix des indicateurs à retenir. En raison de la disponibilité des données géographiques et de la complexité systémique de la notion de vulnérabilité, nous ne prétendons pas déterminer la vulnérabilité mais un type de vulnérabilité à l'effet d'ICU, avec une définition simplifiée.

Le dernier parti pris est de proposer des **solutions d'adaptation de la ville aux chaleurs urbaines**, des solutions d'aménagement adaptées au cas par cas sur la base de ce premier diagnostic territorial fin pour dépasser cette vision de la vulnérabilité d'un territoire jugée parfois « catastrophiste » et rentrer dans le champ du possible et de l'action constructive.

Figure 8 : Schéma de principe méthodologique de l'étude de vulnérabilité à l'effet d'ICU et des solutions d'adaptation en l'Île-de-France (IAU îdF)



### 3.3 - Echelle de travail : entité pour la caractérisation, l'îlot morphologique urbain

L'identification des zones sujettes à effet d'ICU mérite que nous nous arrêtons sur le terme de « zone » afin de préciser la scène d'étude et les entités géographiques numériques de travail et de restitution des résultats de l'étude.

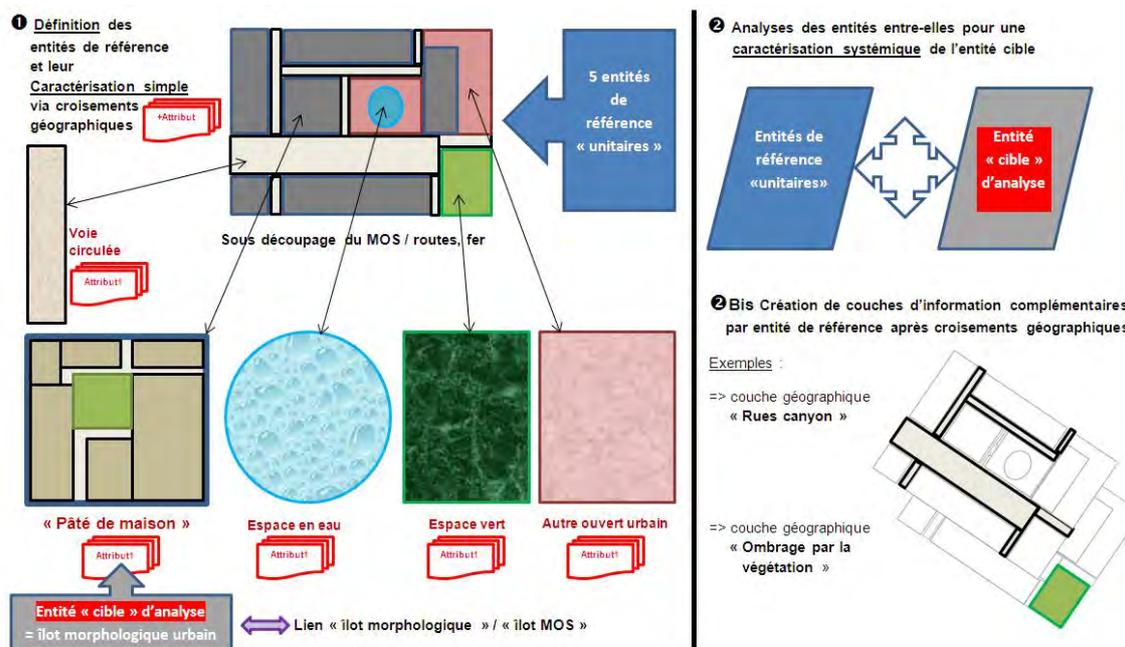
Les problématiques climatiques des villes doivent être prises en compte à toutes les échelles : du logement, du bâtiment, de l'îlot et du quartier, puis de la ville et de l'agglomération jusqu'à l'échelle globale à cause du changement climatique. Cette imbrication d'échelles, bien qu'indispensable, pose des problèmes quant aux modalités d'actions. En effet, il est parfois compliqué de savoir à quel niveau agir, d'autant plus que les décideurs politiques ont souvent tendance à se déresponsabiliser lorsqu'ils ne savent pas comment agir concrètement.

Cela pose la question de l'échelle d'action. La lutte contre les ICU relève de plusieurs niveaux d'échelle, et donc de plusieurs niveaux de décision. Le niveau national n'est peut-être alors pas le plus pertinent : les caractéristiques des villes françaises et franciliennes étant variées, nous avons déjà souligné l'importance d'une adaptation des mesures à leurs spécificités. Cependant, l'échelon national et l'échelon régional peuvent donner des orientations et impulser la mise en place de réflexions à l'échelle territoriale infrarégionale, à l'image des Schémas régionaux du climat, de l'air et de l'énergie, co-élaborés par l'Etat et les Régions, qui fixent des objectifs et des orientations à prendre compte par les collectivités (en Ile-de-France, les EPCI à fiscalité propre de plus de 20 000 habitants, les Etablissements publics territoriaux, EPT et Paris) dans l'élaboration de leur plan d'actions : le Plan climat air énergie territorial (PCAET).

Pour autant, la territorialisation de l'action est indispensable pour lutter contre les effets d'ICU. Se placer à l'échelle de l'agglomération permet de cibler le problème tout en prenant en compte tout le territoire influencé par l'îlot de chaleur. Cependant, il ne faut pas négliger l'échelle locale. Elle est en général la dernière instance de décision en ce qui concerne l'aménagement et l'urbanisme : elle élabore le PLU, délivre les permis de construire... Ainsi, les actions en faveur d'une diminution des ICU qui doivent être intégrées dans la fabrication de la ville, peuvent l'être de manière légale, en prenant en compte ces données dans les SCoT, les PLUi ou les PLU, en profitant des constructions neuves à travers les ZAC et les lotissements ou encore en informant et incitant les décideurs, les acteurs publics et privés, et les populations grâce aux Plans climats air énergie territoriaux, aux Agendas 21 locaux (Colombert, 2008), sans oublier les opérations lourdes de rénovation urbaine.

Le parti pris a donc été de travailler à une échelle intermédiaire entre le bâtiment et la ville ou la commune, celle de l'îlot ou « pâte de maisons ». Cette entité géographique nommée « **îlot morphologique urbain ou IMU** » - dont les contours sont délimités par les rues, les routes, les voies ferroviaires ou les rivières - est **l'unité de référence pour le travail de caractérisation des indicateurs typo-morphologiques et sociodémographiques afin de définir les indicateurs d'effet d'ICU, de sensibilité, de difficulté à faire face et de solutions d'adaptation associées**. En termes de définition géographique, la « zone à effet d'ICU » sera en définitive une entité IMU, de contours irréguliers par rapport à une maille, mais qui fait sens pour l'aménagement et l'urbanisme et l'action locale (Cf. Figure 9, ci-dessous).

Figure 9 : Le « pâte de maison », unité de référence SIG pour l'identification des zones à effet d'ICU



Source : Cordeau Erwan, « Projet d'élaboration d'un outil cartographique d'aide à la décision en matière d'îlots de chaleur urbain (ICU) à l'échelle de l'Ile-de-France », 2012 – IAU Ile-de-France

# Identification des zones sujettes à effet d'ICU en Île-de-France

## 1 - Principe méthodologique

Afin d'identifier les zones sujettes à l'effet d'îlot de chaleur (aggravation de l'aléa *Vague de chaleur / Canicule*), nous proposons une modélisation numérique sur toute l'Île-de-France à l'échelle de l'îlot.

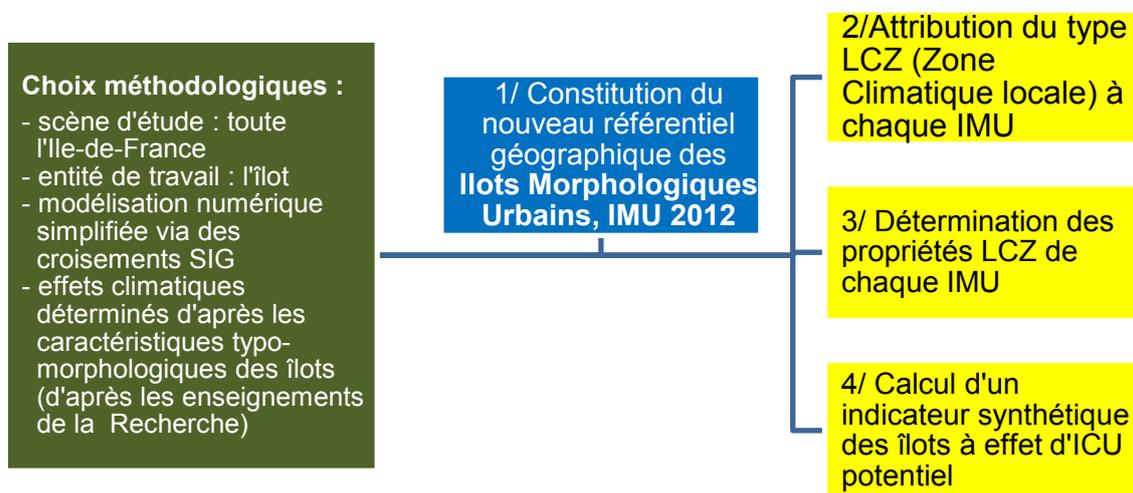
Nous utiliserons, tout d'abord, le nouveau référentiel géographique numérique des **îlots morphologiques urbains dénommés IMU** (IMU 2012, IAU îdF) qui définit et caractérise les indicateurs typo-morphologiques principaux des îlots bâtis (« pâte de maisons ») et des îlots non bâti (« espace ouvert naturel, agricole ou forestier) sur toute l'Île-de-France (Cf. *Figure 10, étape 1*).

Puis, à partir de ce référentiel IMU, sans données d'observation météorologique ou climatologique, le parti pris a été d'adopter le nouveau **système de classification des Zones climatiques locales (Local Climate Zones, LCZ)** de Iain D. Stewart et Timothy R. Oke. L'approche LCZ fait référence au niveau de la Recherche internationale pour l'étude du climat des villes. Elle permet de qualifier les espaces ouverts ou construits par le type d'influence climatique, d'après leur typo-morphologie, leur comportement thermique ou radiatif et leur potentiel de rafraîchissement (Cf. *Figure 10, étapes 2*).

A chaque type LCZ est associée la détermination de **propriétés LCZ** qui font sens pour l'évaluation de l'effet d'ICU. Nous produirons ainsi les indicateurs spécifiques qui tendent à renseigner ces propriétés (Cf. *Figure 10, étapes 3*).

Enfin, nous proposerons un indicateur synthétique d'effet d'ICU pour qualifier la nature de l'effet et son intensité pour chaque IMU (Cf. *Figure 10, étapes 4*).

Figure 10 : Principe méthodologique pour l'identification des zones à effet d'ICU (IAU îdF)



## 2 - Utilisation du référentiel géographique des IMU

Comme nous avons fait le choix d'évaluer les effets climatiques d'après les caractéristiques typo-morphologiques des îlots - composante déterminante dans la genèse du phénomène d'ICU - via une modélisation numérique, la constitution d'une nouvelle couche d'information géographique dans le SIG de l'IAU îdF a été un préalable indispensable.

La définition à cette occasion de l'entité de référence – l'îlot morphologique urbain – a également été un point clé dans le projet de caractérisation des zones sujettes à ICU. Un rapport méthodologique

complet détaille la construction de ce référentiel<sup>20</sup> ; nous rappellerons ci-après quelques éléments essentiels.

## 2.1 - Délimitation de l'îlot : la couche des IMU 2012

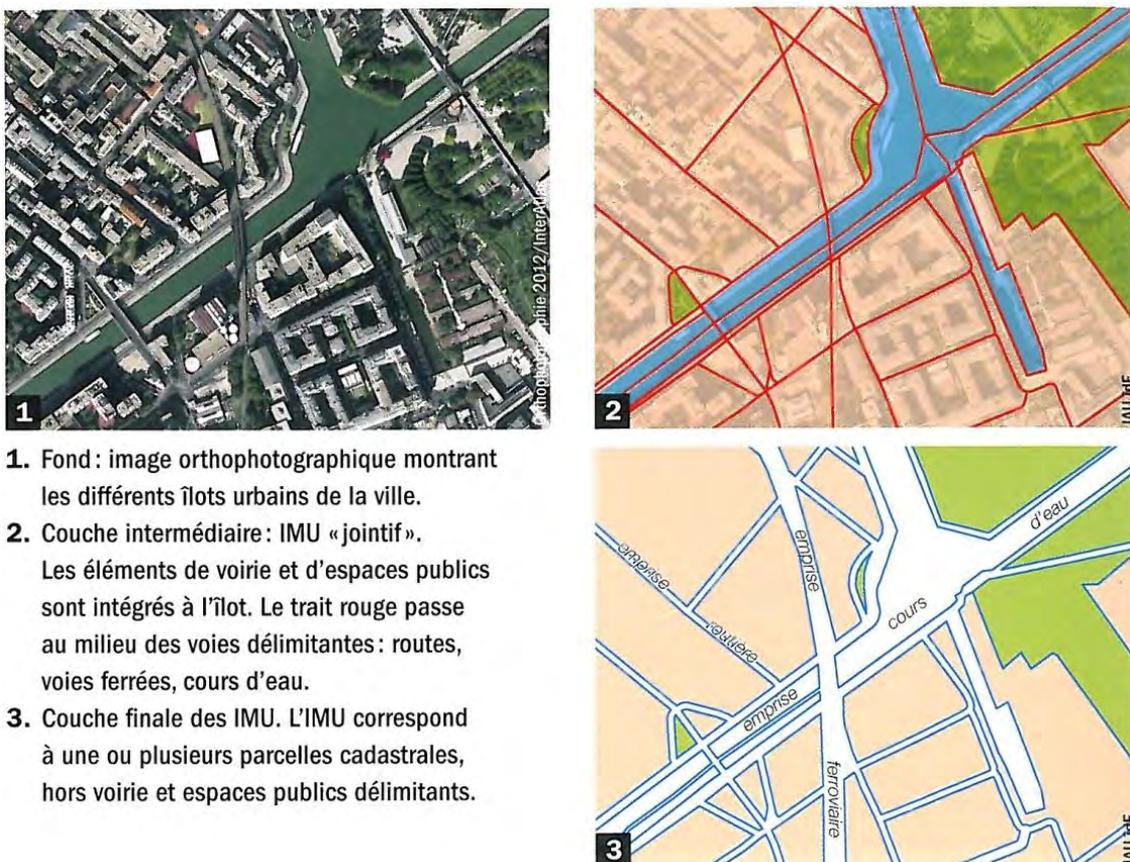
La délimitation de l'îlot résulte de multiples procédures utilisant une sélection de routes de la BD TOPO de l'IGN 2011 et des postes spécifiques du MOS 2012 en 81 postes : les voies de plus de 25m d'emprise, les emprises de transport ferré et les cours d'eau. Le découpage a dû être affiné pour les îlots viaires de plus de 5 hectares.

En effet, dans le tissu rural, par exemple, un îlot viaire initial peut être constitué de maisons alignées sur une rue avec leurs jardins et les champs situés au-delà, formant ainsi un très grand îlot spatialement très contrasté morphologiquement.

De manière similaire, dans le tissu urbain, certains grands îlots viaires le sont parce qu'ils associent des immeubles et un espace vert contigu sans qu'aucun viaire considéré (route, fer, eau) ne sépare la zone immeuble de la zone espace vert. Ces grands îlots ont été redécoupés grâce au MOS, en se fondant sur des regroupements typologiques permettant de distinguer les principaux contrastes morphologiques (champs libres / volumes bâtis ; naturel / construit).

Considérant que certaines petites entités d'espace ouvert - de surface inférieure à 1,5 ha - faisaient néanmoins partie intégrante d'un îlot (comme un petit parc au sein d'une résidence), celles qui s'avéraient au contact ou intégrées au sein d'entités bâties ont finalement été réintégrées dans l'îlot les englobant (notion de « cœur d'îlot »).

Figure 11 : Principe de création et délimitation de l'îlot morphologique urbain (IAU îdF)



1. Fond : image orthophotographique montrant les différents îlots urbains de la ville.
2. Couche intermédiaire : IMU « jointif ». Les éléments de voirie et d'espaces publics sont intégrés à l'îlot. Le trait rouge passe au milieu des voies délimitantes : routes, voies ferrées, cours d'eau.
3. Couche finale des IMU. L'IMU correspond à une ou plusieurs parcelles cadastrales, hors voirie et espaces publics délimitants.

Enfin, par croisement géographique, nous retirons des IMU (Cf. Figure 11) - à ce stade « jointifs » entre eux - les emprises de voies publiques qui ont servies à leur délimitation (routes, voies ferrées, cours d'eau) et que nous déterminons soit directement d'après leur emprise MOS, soit par calcul de buffer pour le viaire le plus fin des routes de la BD Topo et du réseau hydrographique non souterrain

<sup>20</sup> Voir Cordeau Erwan / Les îlots morphologiques urbains (IMU) – IAU îdF / 2016

du SIGR. Le contour final d'un IMU ainsi dessiné s'apparente donc à un îlot de parcelles cadastrales, hors réseau viaire public délimitant (Cf. Carte 7). La taille des IMU est donc dépendante de l'organisation de la voirie de desserte locale, des coupures liées aux grandes infrastructures routières ou ferroviaires, des rivières et des espaces ouverts naturels, agricoles, ou boisés.

**Carte 7 : Comparaison entre les contours des îlots morphologique urbains (IMU) et ceux d'autres îlots de référence des bases de données géographiques nationales et régionales**



Sur le périmètre, de Paris et de la Petite couronne :

- les IMU (le cerné en rouge) totalisent 39 550 entités ;
- les parcelles de la division cadastrale (le cerné en vert) comptent 24 000 entités d'après les fichiers de la DGFIP en 2011 ;
- la grille de 250m x 250m (carré blanc) des travaux du Sdrif et de MUSCADE représente 12 634 mailles ;
- les iris de l'Insee (cerné en bleu clair), îlots regroupés pour des indicateurs statistiques, sont au nombre de 2 693 entités en 2011.

Source : Cordeau Erwan / Les îlots morphologiques urbains (IMU) – IAU îdF / 2016

## 2.2 - Caractérisation des IMU

Une cinquantaine d'indicateurs a été calculée à partir des données numériques de référence et, principalement, la BD TOPO 2011 de l'IGN pour la volumétrie du bâti (hauteur, surface), le MOS 2012 de l'IAU îdF pour l'occupation du sol dominante, les Fichiers fonciers 2011 de la DGFIP pour la propriété foncière et les époques de construction, l'Ortho Infra-rouge 2008 de TELE ATLAS pour l'indice de végétation, DENSIBATI 2011 pour la population des ménages, ALTARES 2013 de l'INSEE pour la localisation des emplois.

Parmi les bases de données numériques urbaines, trois sont à l'origine de plusieurs indicateurs attributaires des IMU et font l'objet de fiches de présentation en Annexe qui précisent leur utilisation dans le cadre de cette étude. Il s'agit de la BD TOPO de l'IGN (Cf. Annexes 3 et 5) du MOS de l'IAU îdF (Cf. Annexe 4), et des Fichiers fonciers MAJIC de la DGFIP-DGI (Cf. Annexe 6). Deux autres bases spécifiquement utilisées méritent aussi une présentation succincte :

- DENSIBATI (2011) : autre couche référence de l'IAU après le MOS. En résumé, il s'agit d'une ventilation des données « population » de l'INSEE (à l'échelle de l'IRIS) sur les entités bâties de la BD TOPO 2011 de l'IGN. De nombreux paramètres sont pris en compte pour ventiler cette donnée : superficie plancher, nombre d'étages, type d'activité, etc.

- ALTARES (2013) : source de données relatives à l'emploi, aux entreprises et aux activités géolocalisées à l'adresse sous forme de points par l'IAU îdF. Une seule donnée a été prise en compte dans cette couche, il s'agit du champ « effectif des entreprises » (mise à jour de 2012).

La liste complète des 51 attributs de la couche IMU – avec leur appellation précise et les principaux éléments de leur définition - est présentée dans un tableau annexé (*Cf. Annexe 7*).

En résumé, les indicateurs attributaires d'un IMU peuvent être présentés selon les registres suivants avec l'indication - en rouge - de ceux qui ont très directement servi au travail d'identification des îlots à effet d'ICU :

- 4 codes identifiants assurant le lien avec les couches constitutives des IMU : **CODE\_IMU** ; **CODE\_VIAIRE** ; **CODE\_IMU\_JOINTIF** ; **NB\_doublons**
- 2 paramètres topologiques de l'entité IMU (surface et périmètre) : **Shape\_Area** ; **Shape\_Lenght**
- 1 indice synthétique typo-morphologique de rugosité urbaine : **CLASSE\_IMU**
- 3 appréciations typologiques de l'occupation du sol : **TYPE\_URBAINRURAL** ; **MOS11\_MAJORITAIRE** ; **HETEROGENEITE\_MOS**
- 4 caractéristiques des viaires et circulation autour et dans l'IMU : **VIAIRE\_DELIMITANT** ; **SURF\_ROUTES\_IN\_IMU** ; **SURF\_VOIRIE\_REVETUE** ; **SURF\_CHEMINSENTIER**
- 5 représentations de l'emprise construite / couverture du sol : **SURF\_SOL\_MASSESCONSTRUITES** ; **SURF\_SOL\_BATIMENTS** ; **SURF\_SOL\_EMPRISESCONSTRUITES** ; **P\_IMPERMEABILISATION** ; **CES**
- 8 critères de densité : **DENSI\_BATI\_SURFACIQUE** ; **DENSI\_BATI\_VOLUMIQUE** ; **DENSI\_RESIDENTIELLE** ; **DENSI\_PARCELLES** ; **DENSI\_HUMAINE** ; **DENSI\_HAB\_IMU** ; **DENSI\_POPMEN\_M2PLANCHER** ; **DENSI\_EMPLOI\_IMU**
- 5 (+1) approches de la verticalité : **VOLUME\_MASSESCONSTRUITES** ; **NB\_PLANCHERS\_MOYEN** ; **HAUT\_MOY\_PONDERE** (*Cf. Carte 8, page suivante*) ; **HAUT\_MAX** ; **HAUT\_MIN** ; + stratigraphie de la végétation (via : **IV\_haute** ; **IV\_basse** ; **IV\_agri**)
- 6 attributs complémentaires de surfaces planchers en m<sup>2</sup> : **SURF\_M2PLANCHER\_BATI\_SURFACIQUE** ; **SURF\_M2PLANCHER\_BATI\_HABINDIV** ; **SURF\_M2PLANCHER\_BATI\_HABCOLL** ; **SURF\_M2PLANCHER\_BATI\_LEGER** ; **SURF\_M2PLANCHER\_BATI\_INDUS** ; **SURF\_M2PLANCHER\_BATI\_TERTIAIRE**
- 5 qualificatifs de propriété foncière : **NB\_PARCELLES** ; **NB\_LOGEMENTS** ; **NB\_HAB\_IMU** ; **NB\_EMPLOI** ; **TYPE\_PROPRIO**
- 3 indications relatives aux époques de construction représentatives de l'IMU : **AGE\_BATI\_MAJORITAIRE** ; **CONSTR\_MIN** ; **CONSTR\_MAX**
- 3 indicateurs complémentaires sur la dotation en végétation des IMU : **IV\_haute** ; **IV\_basse** ; **IV\_agri**
- 2 enseignements sur la dotation en eau des IMU : **DENSI\_EAU** ; **SURF\_EAU**.

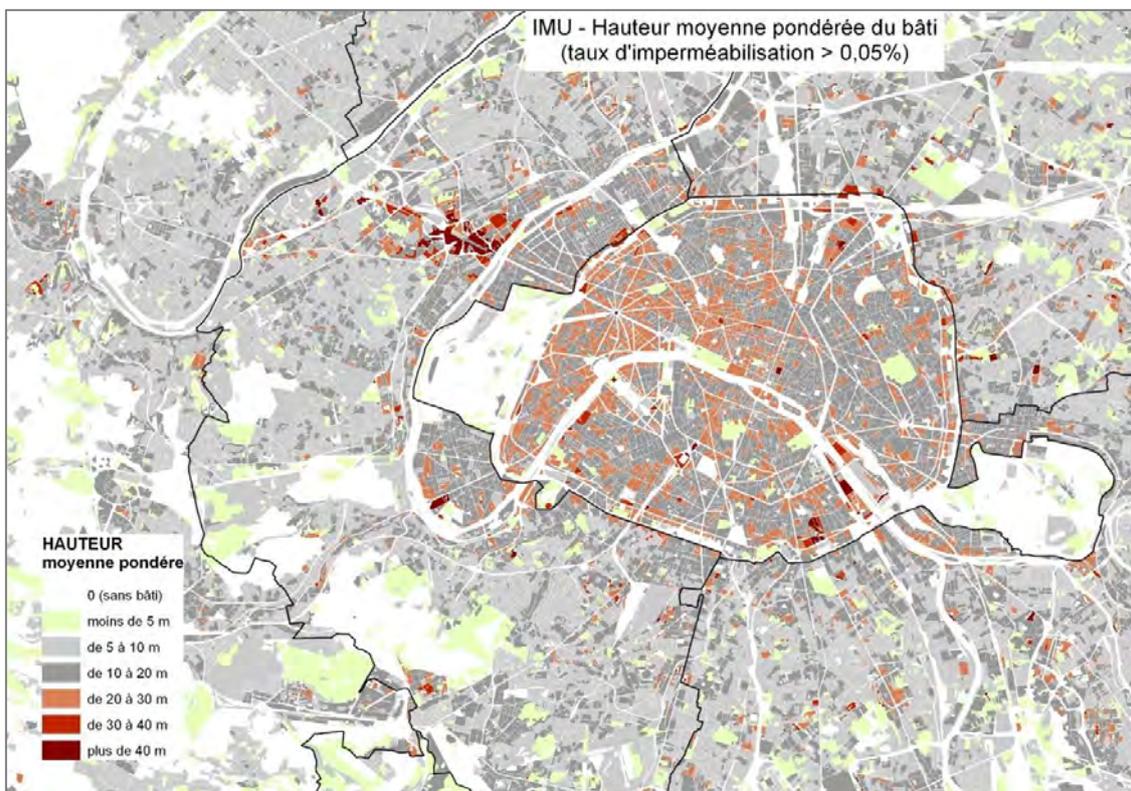
#### Focus sur l'indicateur synthétique de la base IMU : CLASSE\_IMU, l'indice de rugosité urbaine

En outre, un indicateur synthétique, déterminé à partir des caractérisations précédentes, exprime une classification typo-morphologique rendant compte de la rugosité urbaine et de l'occupation du sol simplifiée de chaque îlot. A partir d'éléments de définition sur la rugosité urbaine (*Cf. Annexe 8*), certains attributs prédéterminés de la base de données associée aux IMU ont servi à élaborer cet indicateur synthétique :

- Dans un premier temps, la rugosité de l'îlot – composante morphologique - a été déterminée à partir des valeurs de Coefficient d'emprise au sol (CES), de Densité bâti volumique, de Hauteur moyenne pondérée du bâti et du taux de végétation. La valeur de rugosité est présentée par classe : absence de rugosité (ou « champ libre »), très faible, faible, moyenne, forte, très forte rugosité.
- Dans un second temps, le croisement avec l'occupation du sol majoritaire de l'îlot – à partir de l'attribut MOS11\_Majoritaire – permet d'enrichir l'indicateur d'une composante typologique. La classification simplifiée d'occupation du sol dominante proposée distingue 6 types : bâti résidentiel ; autre bâti (tertiaire, industrie) ; espace ouvert artificialisé, transports (voiries, gares) ; forêts et milieux semi-naturels ; espace agricole ; eau.

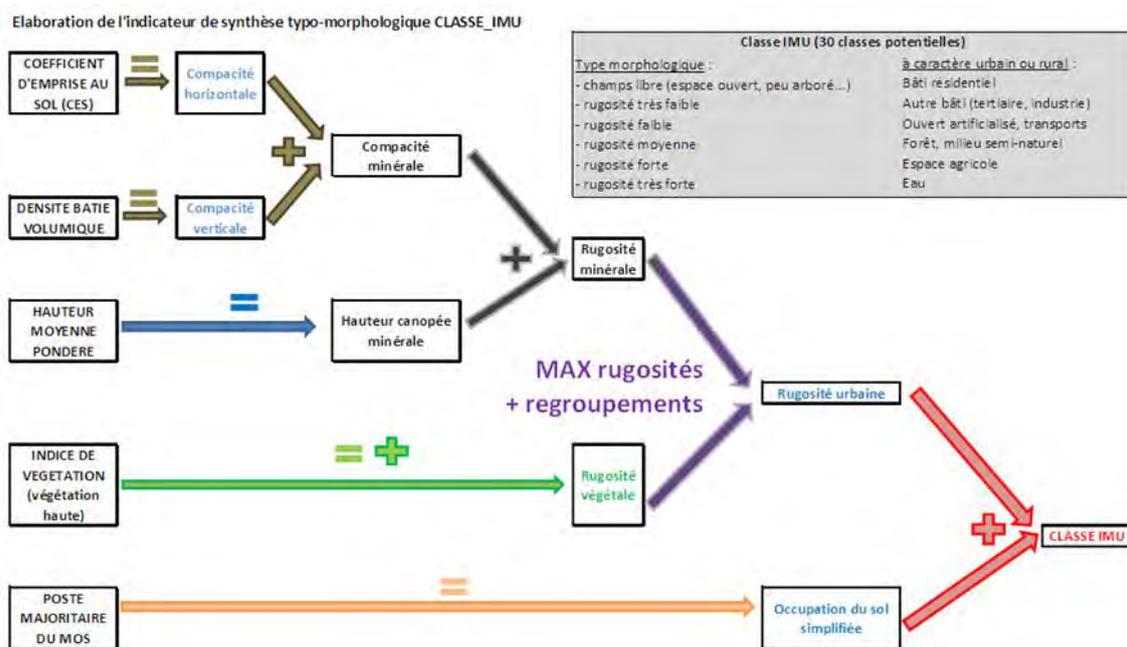
La combinaison des deux composantes définit l'indice typo-morphologique de rugosité urbaine que nous avons dénommé « CLASSE\_IMU » (*Cf. Figure 12, page suivante*).

Carte 8 : Représentation cartographique de l'indicateur attributaire HAUT\_MOY\_PONDERE



Source : Cordeau Erwan / Les îlots morphologiques urbains (IMU) – IAU idF / 2016

Figure 12 : Principe d'élaboration de l'indice typo-morphologique de rugosité urbaine CLASSE\_IMU



Source : Cordeau Erwan / Les îlots morphologiques urbains (IMU) – IAU idF / 2016

La couche numérique d'information géographique IMU 2012 ouvre la voie à des exploitations à l'échelle de l'îlot qui nécessitent d'avoir une caractérisation typo-morphologique de la ville, des bourgs

et des villages, basée notamment sur la connaissance de la volumétrie des bâtiments (Cf. Figure 13). Elle propose - avec la délimitation des IMU - une entité géographique tant pour l'analyse que pour la représentation cartographique (Cf. Carte 9).

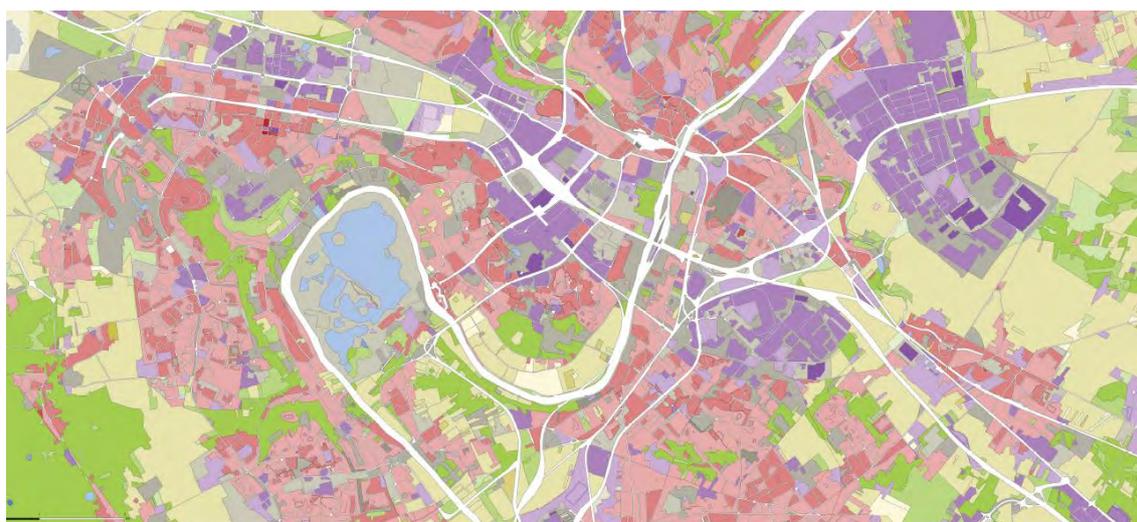
Figure 13 : Représentation 3D des IMU d'après l'attribut de « Hauteur moyenne pondérée du bâti », extrait Courbevoie (département des Hauts-de-Seine)



Cette vue 3D ne représente pas les bâtiments pris individuellement mais rend compte d'une moyenne des hauteurs des différents bâtiments qui composent chaque « pâté de maisons » ou IMU en pondérant la représentativité de ces valeurs de hauteur par les surfaces d'emprise au sol des bâtiments. Cette vue synthétique permet de mettre en évidence les rapports de hauteur entre les blocs et les canyons urbains, très présents dans le secteur de La Défense (à gauche), par exemple.

Source : Opigez Xavier, Cordeau Erwan / Les îlots morphologiques urbains (IMU) – IAU idF / 2016

Carte 9 : Représentation cartographique de l'indice de rugosité urbaine « CLASSE\_IMU »



L'occupation du sol majoritaire de l'îlot permet d'enrichir l'indicateur d'une composante typologique. La classification simplifiée d'occupation du sol dominante proposée distingue 6 types : bâti résidentiel ; autre bâti (tertiaire, industrie) ; espace ouvert artificialisé, transports (voies, gares) ; forêts et milieux semi-naturels ; espace agricole ; eau.

Dominante MOS	Indice de rugosité					
	champ libre	très faible	faible	moindre	forte	très forte
Bâti résidentiel	1	11	21	31	41	51
Autre bâti (tertiaire, industrie)	2	12	22	32	42	52
Ouvert artificialisé, transports	3	13	23	33	43	53
Forêt, milieu semi-naturel	4	14	24	34		
Espace agricole	5	15	25	35		
Eau	6	16	26	36		

La rugosité de l'îlot – composante morphologique - a été déterminée à partir des valeurs de Coefficient d'emprise au sol (CES), de Densité bâti volumique, de Hauteur moyenne pondérée du bâti et du Taux de végétation. La valeur de rugosité est présentée par classe : absence de rugosité (ou « champ libre »), très faible, faible, moyenne, forte, très forte rugosité.



Source : Cordeau Erwan / Les îlots morphologiques urbains (IMU) – IAU idF / 2016

### 3 - Classification des IMU en LCZ

Le suivi et l'accompagnement des travaux de Recherche (MUSCADE, MApUCE...) nous ont permis de découvrir l'initiative de chercheurs canadiens. Ils proposent une méthode et un référentiel international – les « Local Climate Zone, LCZ » - pour qualifier les influences climatiques des villes et des territoires selon l'occupation du sol et la compacité des tissus urbains.

Ce référentiel apporte une assise à la recherche pour les études des flots de chaleur urbains et normalise les échanges au niveau mondial concernant les observations de température urbaines.

#### 3.1 - Classification des Zones climatiques locales (LCZ)

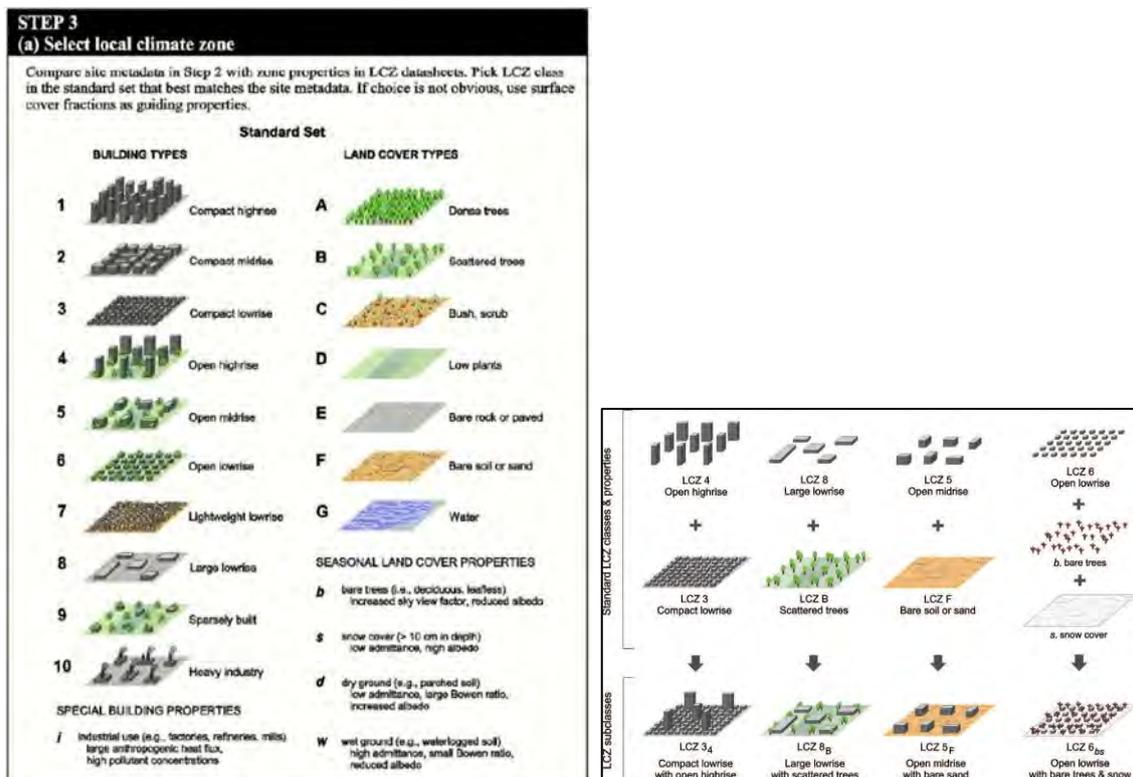
Le système de classification LCZ des sites urbains et ruraux selon leur différenciation thermique a été établi par Iain D. Stewart et Timothy R. Oke (Department of Geography, University of British Columbia, Vancouver, Canada).

Les LCZ sont définies comme des entités spatiales uniformes par leur distribution des températures de l'air et de surface comprise entre 100 et 1 000 m sur un plan horizontal. Chaque LCZ exprime une géométrie caractéristique et une occupation du sol qui génère un climat spécifique – une température de surface unique – par temps calme et ciel dégagé.

Les zones sont différenciées par leurs propriétés de surface, qui influencent directement la température de référence (1,5 à 2 m au-dessus du sol), telle que la part de végétalisation, la hauteur et l'espacement du bâti et des arbres (rugosité / compacité), l'humidité du sol, et les flux de chaleur anthropogéniques. Selon ces différenciations, le continuum urbain-rural aboutit à une hiérarchie de 17 zones climatiques (Cf. Figure 14) :

- 10 LCZ de type « bâti » (« building »), référencés de 1 à 10 ;
- 7 LCZ de type « non bâti » (« land cover »), référencés de A à G.

Figure 14 : Les différents types de la classification normalisées des Local Climate Zone (LCZ) et le principe des combinaisons des types pour qualifier les zones hétérogènes (Stewart & Oke)

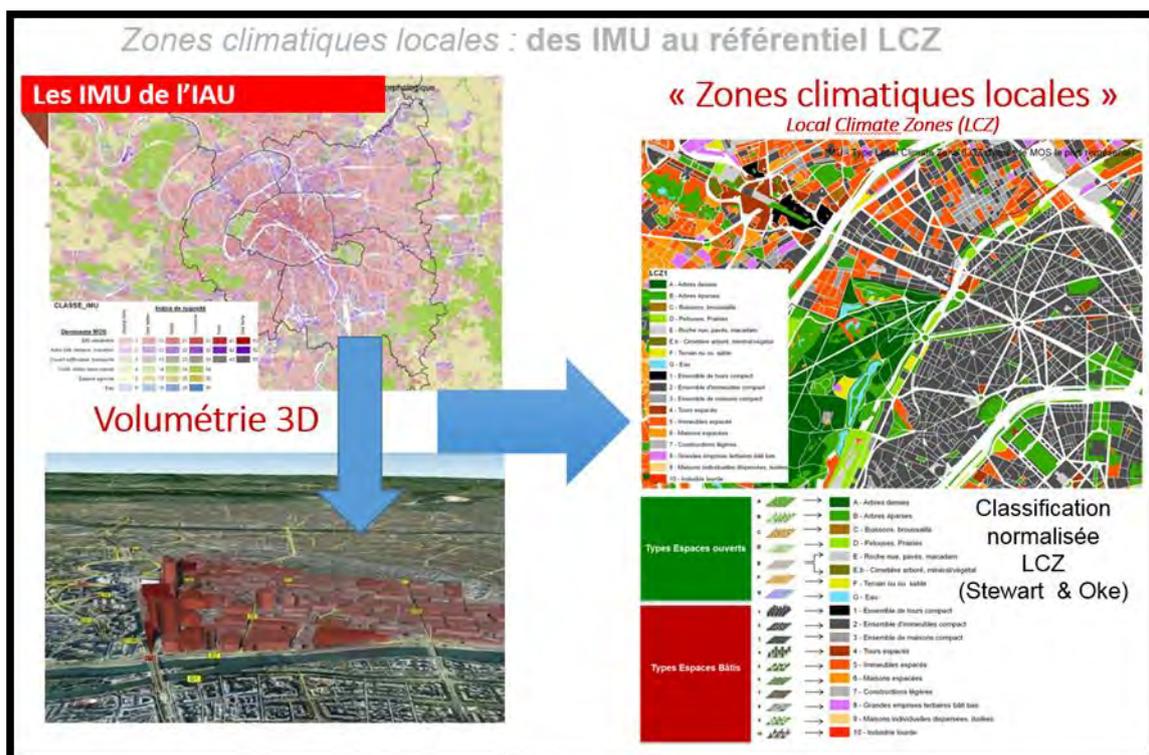


Source : "Local Climate Zones for urban temperatures studies", American Meteorological Society, décembre 2012, I. D. Stewart and T. R. Oke

L'ensemble, typologie et propriétés LCZ, précise ainsi l'interaction potentielle des formes d'urbanisme et d'occupation des sols avec le climat, rendant compte, en particulier, des déterminants actuels propices ou non à la formation et au renforcement de l'effet d'ICU à l'échelle des îlots. La classification LCZ constitue donc - dans son ensemble - un référentiel précieux pour la détermination des indicateurs qui font sens.

Conformément au schéma de principe méthodologique que nous proposons – définir l'effet d'ICU à partir des caractéristiques typo-morphologiques des îlots – nous utiliserons la référence LCZ, par soucis de comparaison et d'adoption d'un langage commun, en exploitant nos connaissances fines du Mode d'occupation du sol (MOS) et des Îlots morphologiques urbains (IMU) en Île-de-France. Passer des IMU au LCZ : le défi méthodologique est posé (Cf. Figure 15).

Figure 15 : Défi méthodologique, déterminer les LCZ de chaque entité IMU (IAU îdF)



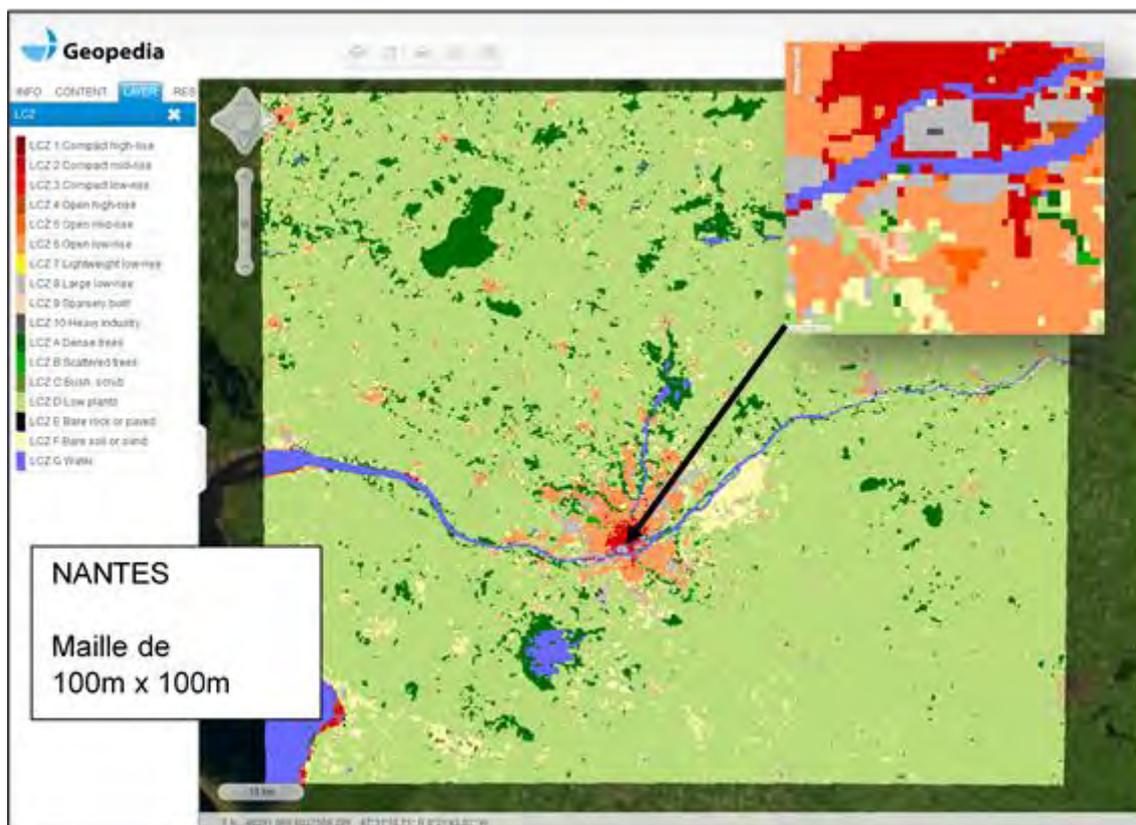
La méthode de classification d'une zone en LCZ propose plusieurs étapes au premier rang desquels figure la collecte des données appropriées sur site afin de quantifier les propriétés des surfaces de l'aire d'étude à l'origine pour capter la température, l'idéal étant de procéder à une visite de terrain. Compte tenu de notre scène d'étude – Île-de-France à l'échelle des îlots – il n'est pas envisageable d'entreprendre un tel travail.

Par contre, les auteurs suggèrent de contourner cette difficulté par l'utilisation de photographies aériennes, de cartes d'occupation des sols, d'images satellite et des tables de référence publiées relatives aux valeurs de certaines propriétés comme la rugosité réelle du terrain pour les villes et paysages ruraux de la classification de Davenport. Une initiative internationale portée par des chercheurs universitaires - World Urban Database and Access Portal Tools (WUDAPT)<sup>21</sup> – est lancée pour aider à collecter les données sur la forme et les fonctions des villes du monde. Pour se faire, l'adoption de la classification LCZ est proposée en recommandant l'approche par les images satellite avec une restitution des LCZ à la maille minimale de 100mx 100m. En France, les villes de Marseille, Toulouse et Nantes suivent déjà cette initiative (Cf. Figure 16, page suivante).

Nous adopterons cette suggestion de partir d'une connaissance de l'occupation du sol pour déterminer les LCZ ; l'IAU îdF disposant du MOS 2012 et des IMU 2012 (Cf. Annexes 4 et 7).

<sup>21</sup> WUDAPT (site <http://www.wudapt.org/lcz/>), initiative de plusieurs partenaires dont University College Dublin (UCD), the University of North Carolina and the International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Universitat Hamburg

Figure 16 : Détermination et représentation cartographique des Zones climatiques locales à l'échelle d'une agglomération : l'exemple de Nantes engagée dans l'initiative WUDAPT



Source : d'après le site WUDAPT (<http://www.wudapt.org>)

Comme autre interprétation de la méthode originelle, nous ne délimiterons pas nos zones à partir des valeurs des propriétés de surface : les limites d'une zone sont en effet normalement fixées en fonction de l'homogénéité des valeurs de ces propriétés. Dans notre étude, nous partons de nos zones prédéfinies que sont les entités fonctionnelles IMU (Cf. [2.1] précédent) ; leurs caractéristiques d'occupation du sol et de typo-morphologie conduiront à définir le type LCZ le plus approché.

Ce n'est donc pas une approche par maille mais une approche par îlot aux contours irréguliers, non rectangulaires puisque les IMU sont des entités polygonales aux formes variées. En revanche, leur taille - entre 100 mètres et quelques kilomètres - correspond à la fourchette recommandée par Stewart & Oke pour définir une zone LCZ.

De fait, compte-tenu de l'hétérogénéité potentielle de certains IMU (un pâté de maison pouvant être constitué, par exemple, d'immeubles résidentiels et de grandes surfaces bâties commerciales), nous définirons le LCZ majoritaire (que nous appellerons « LCZ1 » pour LCZ de niveau 1) et le LCZ secondaire (« LCZ2 » pour LCZ de niveau 2), conformément au principe de combinaison défini par Stewart & Oke.

Le « LCZ2 » sera déterminé en fonction de la représentativité surfacique du second poste MOS par rapport au poste MOS majoritaire. Lorsque plusieurs postes d'occupation du sol sont décelés dans un IMU, si le second poste MOS représente en surface plus du tiers de la surface du MOS majoritaire, alors nous considérons qu'il est suffisamment significatif pour définir un « LCZ2 ».

## 3.2 - Propriétés associées à chaque LCZ

Outre la classification type-morphologique des zones LCZ, Stewart et Oke ont défini 10 propriétés indicateurs qu'il convient de renseigner spécifiquement pour chaque LCZ. Elles précisent le degré d'influence climatique de chaque zone (Cf. [Tableau 4](#)).

Tableau 4 : Description des 10 indicateurs relatifs aux propriétés LCZ (Stewart & Oke)

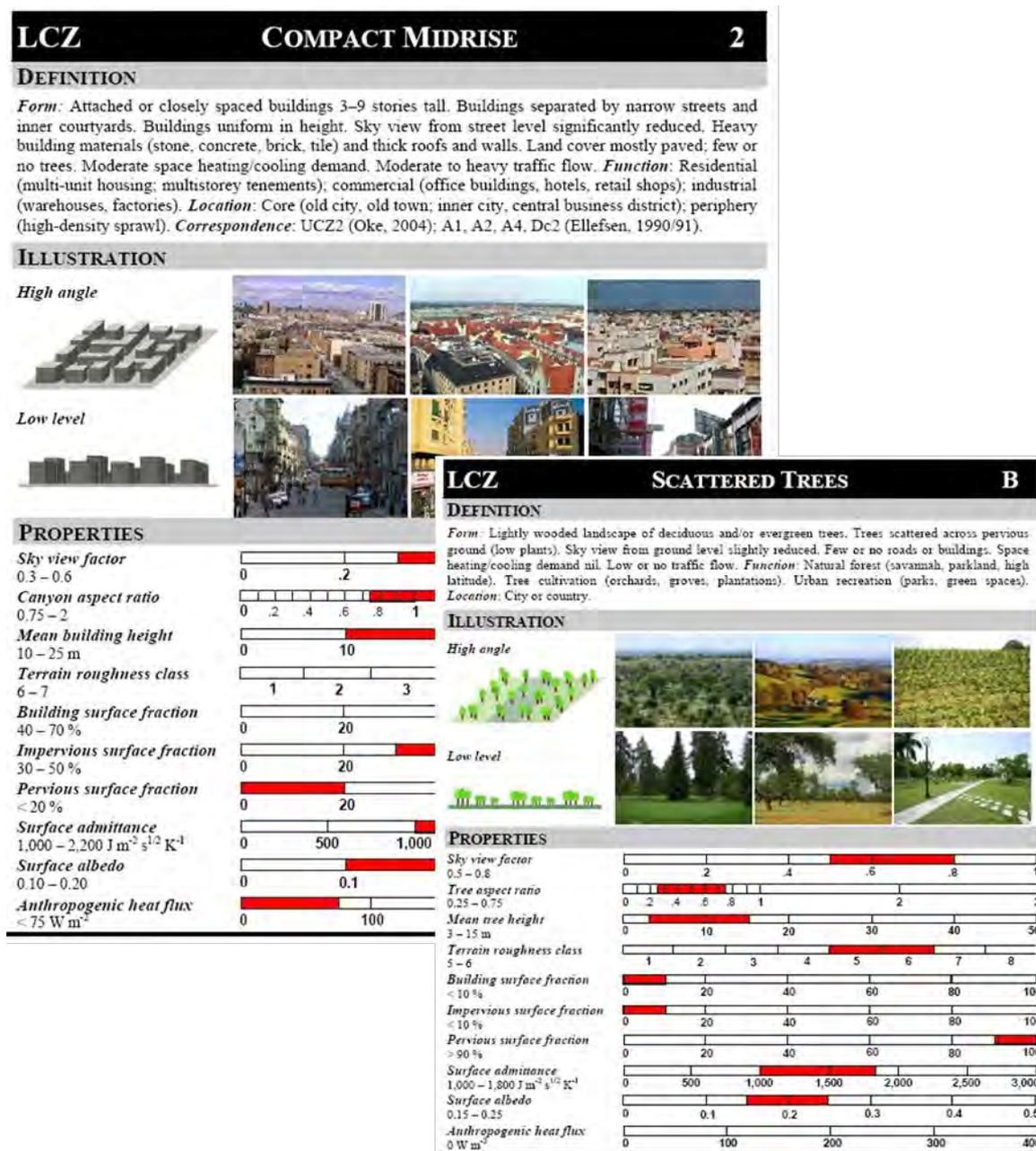
INDICATEURS	INDICATEURS
<b>Skye view factor</b> $\psi_{sivk}$ Facteur de vue du ciel (SVF) de 0 à 1	Fraction hémisphérique de ciel visible depuis le sol ; il varie en fonction de la hauteur et de l'espacement des bâtiments et des arbres. Il perturbe l'échauffement/refroidissement radiatif de surface.
<b>Aspect ratio</b> H/W Indice Rue Canyon de 0 à 3+	Moyenne du rapport Hauteur-sur-Largeur des rues canyons (LCZ 1-7), de l'espacement entre les éléments bâti (LCZ 8-10) et de l'espacement entre les arbres (LCZ A-F). Cette propriété perturbe les flux d'air en surface et les échanges chaleur/rafraîchissement radiatifs.
<b>Mean building/tree height</b> $Z_H$ Hauteur moyenne des immeubles/arbres de 0 à 50+ mètres	Moyenne géométrique des hauteurs du bâti (LCZ 1-10) et des hauteurs du couverts arbres/plantations (LCZ A-F). Ce paramètre influe sur la réflectivité de surface, le régime des flux d'air, et la dispersion de chaleur au-dessus du sol.
<b>Terrain roughness Class</b> Classe de rugosité du terrain de 1 à 8	Classification de Davenport et al. (2000) de la rugosité réelle du terrain (Z0) pour les villes et les paysages ruraux: 1-« mer » ( $Z_0=0,0002$ m) ; 2-« lisse » ( $Z_0=0,005$ m) ; 3-« ouvert » ( $Z_0=0,03$ m) ; 4-« ouvert-rugueux » ( $Z_0=0,10$ m) ; 5-« rugueux » ( $Z_0=0,25$ m) ; 6-« très rugueux » ( $Z_0=0,5$ m) ; 7-« effleurement/skimming » ( $Z_0=1,0$ m) ; 8-« désordre/chaotic » ( $Z_0=2$ m). Ce paramètre influe sur la réflectivité de surface, le régime des flux d'air, et la dispersion de chaleur au-dessus du sol.
<b>Building surface fraction</b> $\lambda_b$ % de surface imperméabilisée De 0 à 100%	Proportion de la surface de la zone couverte par des bâtiments (immeubles). Ce paramètre influe sur la réflectivité de surface, le régime des flux d'air, et la dispersion de chaleur au-dessus du sol.
<b>Impervious surface fraction</b> $\lambda_i$ % de surface imperméabilisée De 0 à 100%	Proportion de la surface de la zone couverte par des matériaux imperméables (pavés, roche...). Ce paramètre influe sur la réflectivité de surface, la disponibilité de l'humidité, et le potentiel de chaleur/rafraîchissement
<b>Pervious surface fraction</b> $\lambda_p$ % de surface perméable De 0 à 100%	Proportion de la surface de la zone couverte perméable (sol nu, végétation, eau...). Ce paramètre influe sur la réflectivité de surface, la disponibilité de l'humidité, et le potentiel de chaleur/rafraîchissement
<b>Surface admittance</b> $\mu$ De 0 à 3000+ $J m^{-2} s^{1/2} K^{-1}$	Capacité de la surface à emmagasiner ou à dégager de la chaleur. Ce paramètre influe sur le stockage de chaleur des surfaces et les taux/vitesses d'échauffement/refroidissement. Les valeurs donnent un spectre caractéristique des surfaces dans chaque LCZ (par exemple, des immeubles, des routes, des sols, de l'eau). Elles varient selon l'humidité du sol et la densité des matériaux. <i>(= coefficient de transfert de chaleur) / Coefficient de transmission surfacique des matériaux de surface)</i>
<b>Albédo</b> $\alpha$ de 0 à 0,5 (jusqu'à 1 ?)	Réflectivité moyenne pondérée de la surface de la zone, à l'échelle locale, sous un ciel clair à la mi-journée; elle varie selon l'humidité des surfaces (la rugosité, et les matériaux)
<b>Flux de chaleur anthropogénique</b> $Q_F$ de 0 à 400+ $W/m^2$	Intensité du flux de chaleur anthropogénique annuel moyen à l'échelle locale. Les sources de chaleur comprennent les moteurs des véhicules, les procès de combustion industriels/résidentiels, les systèmes de chauffage/refroidissement, et le métabolisme humain. Avec des variations significatives en fonction de la latitude, de la saison et de la densité de population.

Source : Traduction littérale d'après Propriétés des zones LCZ (Stewart 2011), E. Cordeau, IAU-idF

En travaillant à la définition de leur référentiel LCZ, Stewart et Oke ont expérimenté sur différentes villes de par le monde (études de cas). Ils ont constitué ainsi une banque de données de référence sur les propriétés par LCZ. Pour chaque type LCZ de la classification, les résultats des 10 propriétés sont rapportés sous la forme de fourchette. Une présentation illustrée sous forme de fiche pour les

types LCZ 2 « Compact Midrise » (ensemble d'immeubles compact) et LCZ B « Scattered Trees » (arbres épars) en donne un exemple ; les spectres de valeurs sont exprimés en rouge (Cf. Figure 17).

Figure 17 : Exemple de fiche type LCZ pour les LCZ 2 et LCZ B avec le détail des propriétés des spectres de valeurs (en rouge) pour chacune des 10 propriétés



Source : Propriétés des zones LCZ, (Stewart 2011)

### 3.3 - Classification des îlots urbains et ruraux franciliens (IMU) en LCZ

Pour l'étape de classification des îlots franciliens en LCZ et la définition des 10 propriétés associées, le MOS et les IMU 2012 sont utilisées via une matrice « expert » qui interroge, avec des formules de calcul pour chaque entité géographique IMU, le type de MOS et des variables définies à partir des indicateurs attributaires de la couche IMU qui apportent des précisions déterminantes sur la typomorphologie des îlots (Cf. p30, parmi les indicateurs précisés en rouge).

## Détermination du type LCZ

Dans un premier temps, à partir de la définition et de l'illustration de chaque type LCZ faite par Stewart & Oke (Cf. [Figure 17, fiche exemple](#)), nous avons recherché quel poste d'occupation du sol correspondait le mieux. Cela nous a permis d'identifier et de rechercher **17 IMU archétypes franciliens** via notre Système d'information géographique (SIG). Un IMU archétype francilien a ainsi une occupation du sol unique (absence de MOS secondaire) et est très caractéristique du type LCZ par définition au vu de la photographie aérienne et de notre connaissance du terrain.

Dans un deuxième temps, l'analyse de la description des 81 postes du MOS nous a aussi montré que le MOS n'est pas suffisant pour définir directement une correspondance entre chaque poste MOS et un type LCZ. Pour certains types d'occupation du sol, la correspondance est aisée avec un type LCZ. Par exemple, nous pouvons attribuer le type LCZ A (Arbres denses) au poste 1 du MOS (Bois ou forêt). En revanche, pour d'autres postes, ce n'est pas le cas. Le poste 29 du MOS (Habitat individuel), par exemple, qui relève le plus souvent du type LCZ 6 (Ensemble de maisons espacées), correspond parfois au type LCZ 9 (Maisons éparses, constructions isolées) ; le coefficient d'emprise au sol de l'ilot pourrait aider, ici, à différencier ces deux cas de figure.

Donc, en plus de l'occupation du sol, il a été nécessaire de définir des règles (matrice sous *Excel*) à partir de la base de données relative à la couche d'information géographique des IMU. Pour l'élaboration des formules de calcul, un travail itératif sous SIG a été nécessaire pour vérifier notamment la pertinence des règles par rapport aux IMU archétypes. Il fallait que nous puissions après calcul retrouver le type LCZ des 17 IMU archétypes. C'est ainsi que les attributs les plus utiles et les valeurs seuil ont pu être choisis, testés puis arrêtés.

Nous nous sommes aussi aidés des fourchettes de valeurs dressées par Stewart & Oke, par propriété et par type (Cf. [Tableau 5](#)) pour définir ces seuils et les indicateurs à retenir.

**Tableau 5 : Valeurs standards des propriétés par type LCZ et analyse des types qui se démarquent**

Propriétés LCZ		Standard set LCZ																			
		Building types																			
		Type 1 =		Type 2 =		Type 3 =		Type 4 =		Type 5 =		Type 6 =		Type 7 =		Type 8 =		Type 9 =		Type 10 =	
Indices		min	MAX	min	MAX	min	MAX	min	MAX	min	MAX	min	MAX	min	MAX	min	MAX	min	MAX	min	MAX
Facteur de vue du ciel (SVF) (de 0 à 1)	1	0,2	0,4	0,3	0,6	0,2	0,6	0,5	0,7	0,5	0,8	0,6	0,9	0,2	0,5	0,7	1	0,8	1	0,6	0,9
Indice Rue Canyon (Aspect ratio) (de 0 à 3+)	2	2	3	0,75	2	0,75	1,5	0,75	1,25	0,3	0,75	0,3	0,75	1	2	0,1	0,3	0,1	0,25	0,2	0,5
Hauteur moyenne des immeubles/arbres (de 0 à 50+ mètres)	3	25	50	10	25	3	10	25	50	10	25	3	10	2	4	3	10	3	10	5	15
Classe de rugosité du terrain (de 1 à 8)	4	8	8	6	7	6	6	7	8	5	6	5	6	4	5	5	5	5	6	5	6
% de surface d'emprises bâties (de 0 à 100%)	5	40	60	40	70	40	70	20	40	20	40	20	40	60	90	30	50	10	20	20	30
% de surface d'emprises voiries revêtues (de 0 à 100%)	6	40	60	30	50	20	50	30	40	30	50	20	50	0	20	40	50	0	20	20	40
% de surface d'emprises perméables (de 0 à 100%)	7	0	10	0	20	0	30	30	40	20	40	30	60	0	30	0	20	60	80	40	50
Surface admittance $\mu$ (de 0 à 3000+ J m-2 s/2 K-1)	8	1100	2200	1000	2200	1000	2200	1100	2000	1000	2200	1000	2200	400	1800	1000	2000	1000	2200	1000	2500
Albédo $\alpha$ (de 0 à 0,5 (jusqu'à 1 ?))	9	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,12	0,25	0,12	0,25	0,12	0,25	0,15	0,35	0,15	0,25	0,12	0,25	0,12	0,2
Flux de chaleur anthropogénique $Q_a$ (de 0 à 400+ W/m²)	10	50	300	0	75	0	75	0	50	0	25	0	25	0	35	0	50	0	10	300	400

Propriétés LCZ		Standard set LCZ															
		Land cover Types														0,1	
		Type A =		Type B =		Type C =		Type D =		Type E =		Type F =		Type G =		fourchette de valeurs	
Indices		min	MAX	min	MAX	min	MAX	min	MAX	min	MAX	min	MAX	min	MAX	qui se démarque	
Facteur de vue du ciel (SVF) (de 0 à 1)	1	0	0,4	0,5	0,8	0,9	1	0,9	1	0,9	1	0,9	1	0,9	1	(propriété à effet de fraîcheur)	
Indice Rue Canyon (Aspect ratio) (de 0 à 3+)	2	1	3	0,25	0,75	0,25	1	0	0,1	0	0,1	0	0,1	0	0,1		
Hauteur moyenne des immeubles/arbres (de 0 à 50+ mètres)	3	3	30	3	15	0	2	0	1	0	0,25	0	0,25	0	0,25	90	
Classe de rugosité du terrain (de 1 à 8)	4	8	8	5	6	4	5	3	4	1	2	1	2	1	1	fourchette de valeurs	
% de surface d'emprises bâties (de 0 à 100%)	5	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10	qui se démarque	
% de surface d'emprises voiries revêtues (de 0 à 100%)	6	0	10	0	10	0	10	0	10	90	100	0	10	0	10	(propriété à effet de chaleur)	
% de surface d'emprises perméables (de 0 à 100%)	7	90	100	90	100	90	100	90	100	0	10	90	100	90	100		
Surface admittance $\mu$ (de 0 à 3000+ J m-2 s/2 K-1)	8	1000	1800	1000	1800	1000	1800	1000	1800	1300	3000	1000	1800	1500	1500		
Albédo $\alpha$ (de 0 à 0,5 (jusqu'à 1 ?))	9	0,1	0,2	0,15	0,25	0,15	0,3	0,15	0,25	0,15	0,3	0,2	0,35	0,02	0,1		
Flux de chaleur anthropogénique $Q_a$ (de 0 à 400+ W/m²)	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Source : traitement IAU d'après tableaux de résultats des études de villes de Stewart & Oke, 2011 – IAU idF

En définitive, les indicateurs attributaires des IMU qui ont servi à la détermination du type LCZ sont les 9 suivants :

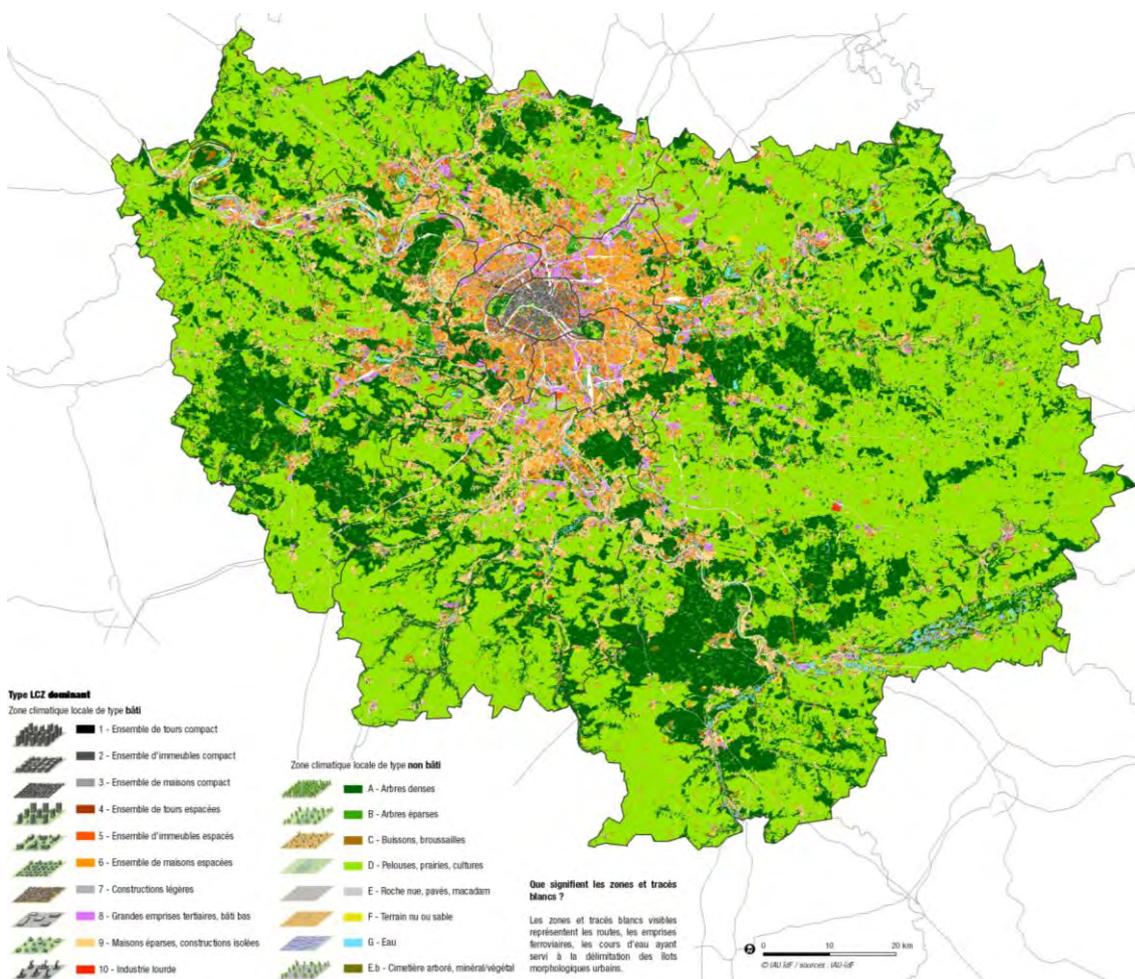
- les pourcentages de végétation haute, basse ou agricole (IV\_haute ; IV\_basse ; IV\_agri) ;
- la hauteur moyenne pondérée du bâti (HAUT\_MOY\_PONDERE) ;
- le coefficient d'emprise au sol (CES) ;
- les surfaces au sol des masses construites (SURF\_SOL\_MASSESCONSTRUITES) ;
- le taux d'imperméabilisation (P\_IMPERMEABILISATION) ;
- les emprises de voirie revêtue (SURF\_VOIRIE\_REVETUE) ;
- les surfaces de plancher du bâti aux fondations légères (SURF\_M2PLANCHER\_BATI\_LEGER).

Il en résulte l'attribution pour chaque IMU d'un type « LCZ1 », en fonction de l'occupation du sol dominante (parmi 81 postes), et s'ils sont hétérogènes, d'un type « LCZ1 » et d'un type « LCZ2 » quand l'occupation du sol secondaire est significative (les mêmes règles de la matrice sont appliquées pour définir l'étiquette LCZ à partir du MOS secondaire).

### Illustration cartographique des LCZ

Seul le type « LCZ1 » - le LCZ dominant - est utilisé pour la représentation cartographique des résultats par souci de lisibilité : il y a en effet déjà 17 types de LCZ à représenter en légende, les combinaisons rendraient illisibles une telle cartographie (Cf. Carte 10).

**Carte 10 : Classification normalisée Local Climate Zone (LCZ) des îlots morphologiques urbains (IMU) en Ile-de-France (IAU îdF)**



## Détermination des 10 propriétés LCZ associées

Les 10 propriétés LCZ - déterminantes dans la genèse et l'intensité de l'effet d'îlot de chaleur urbain (ICU) - sont définies par calcul pour chaque IMU, avec plus ou moins de difficultés.

Six des dix propriétés LCZ relatives aux caractéristiques géométriques et à la nature des surfaces, sont définies directement par la base de données relative aux IMU. Il s'agit :

- du « **Facteur de vue du ciel (SVF)** » (Cf. Carte 14), déterminé d'après les valeurs de CES, de Hauteur moyenne pondérée du bâti et le Pourcentage de végétation haute ; le SVF rend compte de la portion de ciel observable depuis l'intérieur de l'îlot ; s'il tend vers 0, cas d'un îlot composé d'immeubles hauts très proches les uns des autres, il peine à se refroidir la nuit car les dégagements de chaleur par les rayonnements infrarouges qui tentent de rejoindre le ciel sont piégés par les façades ;
- de l'« **Indice de rue canyon (Aspect Ratio)** » (Cf. Carte 15), d'après la nature du viaire délimitant (notamment pour distinguer les rues des grandes emprises routières, ferroviaires et naturelles), les valeurs de CES, du volume bâti (DENSE\_BATI\_VOLUMIQUE) et de la Hauteur moyenne pondérée du bâti (pour apprécier la compacité et hauteur du bloc bâti), et le Pourcentage de végétation haute, basse ou agricole et de pourcentage d'imperméabilisation (pour apprécier la nature des interstices au sein du bloc bâti) ;
- de la « **Hauteur moyenne des immeubles/des arbres** » (Cf. Carte 13 et 16), défini directement par la hauteur moyenne pondérée du bâti et le pourcentage de végétation haute ;
- du « **Pourcentage de surfaces d'emprises bâties** » (Cf. Carte 17), d'après le taux d'imperméabilisation et les valeurs de Surface au sol des masses construites ;
- du « **Pourcentage de surfaces d'emprises de voiries revêtues** » (Cf. Carte 17), d'après le taux d'imperméabilisation et les valeurs d'emprises de voiries revêtues dans l'IMU ;
- du « **Pourcentage de surfaces perméables (ni bâties, ni revêtues)** » (Cf. Carte 17), valeur déduite des 2 précédents indicateurs, le total des 3 surfaces totalisant obligatoirement 100%.

Pour trois autres propriétés LCZ, en particulier pour les propriétés radiatives et thermiques – elles sont difficiles à évaluer sans faire un inventaire sur le terrain des qualités des matériaux des bâtiments et des revêtements du sol - les **valeurs forfaitaires** renseignées pour chaque type LCZ par Stewart et Oke sont utilisées. Afin d'évaluer une valeur moyenne qui tienne compte de l'hétérogénéité éventuelle de l'IMU (un type « LCZ2 » en plus du type « LCZ1 »), nous considérerons les proportions de surface d'occupation du sol majoritaire et secondaire dans l'IMU que nous multiplierons par la valeur unique correspondante (soit la valeur du centre de la fourchette des valeurs forfaitaires pour un LCZ et une propriété donnés) respectivement pour le « LCZ1 » et le « LCZ2 » (Cf. Tableau 6, page suivante). Il s'agit des propriétés LCZ suivantes :

- la « **Classe de rugosité du terrain** » (Cf. Carte 18), en référence à la classification de Davenport et al. (2000) de la rugosité réelle du terrain (Z0) pour les villes et les paysages ruraux ;
- l'« **Albédo** », ou albédo moyen qui traduit la réflectivité moyenne pondérée de la surface de l'IMU ;
- la « **Surface admittance** », ou coefficient de transfert de chaleur / coefficient de transmission surfacique des matériaux de surface soit la capacité de la surface à emmagasiner et dégager de la chaleur.

Enfin, la dernière propriété associée au LCZ - le « **Flux de chaleur anthropogénique** » (Cf. Carte 12) - sera la résultante d'un indicateur composite qui a considéré la présence d'activité industrielle (Source MOS, IAU îdF), les émissions linéaires de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) du trafic routier (Source : AIRPARIF, 2010) et la consommation énergétique du bâti tertiaire pour la climatisation, la cuisson et l'électricité spécifique (Source : données 2005 de CENTER, IAU île-de-France & AIRPARIF).

Pour la **composante de flux de chaleur liés aux moteurs de véhicules en circulation**, les données d'émission de CO<sub>2</sub>, traceur de la combustion automobile, ont été retenues sous les conseils d'AIRPARIF. Des traitements géographiques entre les brins routiers et les IMU sont opérés suivant une méthodologie adaptée (Cf. Annexe 9). Ainsi, à partir des valeurs d'émission de CO<sub>2</sub> en 2010 du réseau routier francilien, les IMU à proximité se voient attribuer les notes d'« indice de combustion automobile » de 0 à 5 (Cf. Carte 11, page suivante).

Pour composer l'indicateur synthétique de Flux de chaleur anthropogénique, la note de 1 sera retenue pour les valeurs 1 et 2 de l'indice de combustion automobile (pondération 1), la note de 2 pour les valeurs 3, 4, et 5 de l'indice (pondération 2), et ces notes seront multipliées par 2 dans le cas des IMU dont les ensembles bâtis s'avèrent compacts (cas des types LCZ 1, 2 et 3).

Tableau 6 : Valeurs standards moyennes par LCZ (en jaune) utilisées pour le calcul de 3 propriétés

type LCZ	Classe de rugosité du terrain			Surface admittance			Albédo			
	Rugo min	Rugo max	ruغو moy	Ad min	Ad max	Ad moy	Alb min	Alb max	alb moy	%
1	8	8	8	1100	2200	1650	0,1	0,2	0,15	15
2	6	7	6,5	1000	2200	1600	0,1	0,2	0,15	15
3	6	6	6	1000	2200	1600	0,1	0,2	0,15	15
4	7	8	7,5	1100	2000	1550	0,12	0,25	0,185	18,5
5	5	6	5,5	1000	2200	1600	0,12	0,25	0,185	18,5
6	5	6	5,5	1000	2200	1600	0,12	0,25	0,185	18,5
7	4	5	4,5	400	1800	1100	0,15	0,35	0,25	25
8	5	5	5	1000	2000	1500	0,15	0,25	0,2	20
9	5	6	5,5	1000	2200	1600	0,12	0,25	0,185	18,5
10	5	6	5,5	1000	2500	1750	0,12	0,2	0,16	16
A	8	8	8	1000	1800	1400	0,1	0,2	0,15	15
B	5	6	5,5	1000	1800	1400	0,15	0,25	0,2	20
C	4	5	4,5	1000	1800	1400	0,15	0,3	0,225	22,5
D	3	4	3,5	1000	1800	1400	0,15	0,25	0,2	20
E	1	2	1,5	1300	3000	2150	0,15	0,3	0,225	22,5
E.b	3	4	3,5	1150	2400	1775	0,15	0,275	0,2125	21,25
F	1	2	1,5	1000	1800	1400	0,2	0,35	0,275	27,5
G	1	1	1	1500	1500	1500	0,02	0,1	0,06	6

Source : traitement IAU d'après Stewart & Oke, 2011 – IAU idF

Carte 11 : IMU et trafic routier au rejet potentiel de chaleur anthropogénique



Source : traitement SIG de l'IAU d'après les Emissions linéaires de CO<sub>2</sub> du trafic routier d'Airparif, 2010 – IAU idF / 2016

Pour la **composante des pertes potentielles de chaleur liées à l'industrie lourde (procédés...)**, les postes du MOS suivants ont été retenus : Electricité (poste 39) ; Gaz (poste 40) ; Pétrole (poste 41), Infrastructure autre (poste 42), Stations-Service (poste 51). Un IMU ayant pour MOS majoritaire ou secondaire l'un de ces postes d'occupation du sol est identifié.

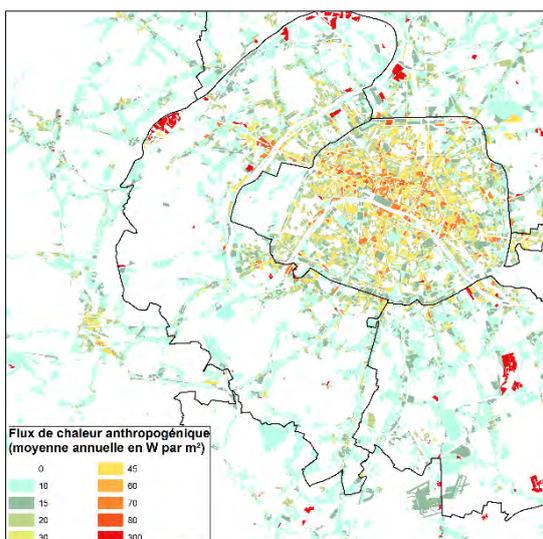
Pour la **composante de flux potentiels de chaleur anthropogénique liée au bâti**, le choix a été fait de privilégier les consommations énergétiques du bâti tertiaire pour d'autres usages que la production d'eau chaude sanitaire et le chauffage en retenant tous les autres usages sans distinction entre climatisation, cuisson et autre électricité spécifique. Ces derniers sont potentiellement source de rejet de chaleur l'été à l'extérieur des bâtiments. Les données 2005 de l'étude préalable CENTER<sup>22</sup> pour l'élaboration du SRCAE avaient été territorialisées finement grâce à la géolocalisation des emplois ; la méthodologie de l'étude CENTER de ventilation statistique des données modélisées de consommation énergétique du bâti en 2005 - modélisation énergétique d'AIRPARIF à l'IRIS puis ventilation des consommations au point adresse de l'entreprise en fonction du nombre de salariés - a été reprise. Elle a dû être réadaptée pour rapporter les données non pas à la maille régulière de 250m x 250m mais à l'IMU par croisement géographique. Les IMU dont la consommation énergétique pour l'usage climatisation, cuisson, autre électricité spécifique est comprise entre 1 500 et 10 000 MWh se voit attribués la note de 1, et ceux dont les consommations dépassent 10 000 MWh, la note de 2.

Un IMU pouvant être concerné par plusieurs sources de chaleur anthropique, l'addition des résultats est nécessaire. Afin de garder une certaine cohérence avec les travaux de Stewart et Oke, les valeurs standards de la propriété *Flux de chaleur anthropogénique par type LCZ* (Cf. Tableau 5, page 38) sont utilisées pour proposer une correspondance entre des valeurs moyennes annuelles exprimées en W/m<sup>2</sup> et des composantes de flux et des notes telles que nous les avons décelées. L'indice composite résultant de Flux de chaleur anthropogénique permet surtout de mettre en évidence les IMU pour lesquels la probabilité d'avoir de rejets de chaleur de source anthropique est importante ; il est purement indicatif de par sa construction mais permet de sensibiliser sur les rejets de chaleur de la combustion automobile, de la climatisation des activités tertiaires et des procédés industriels qui interviennent aussi dans l'augmentation de l'effet d'ICU (Cf. Carte 12).

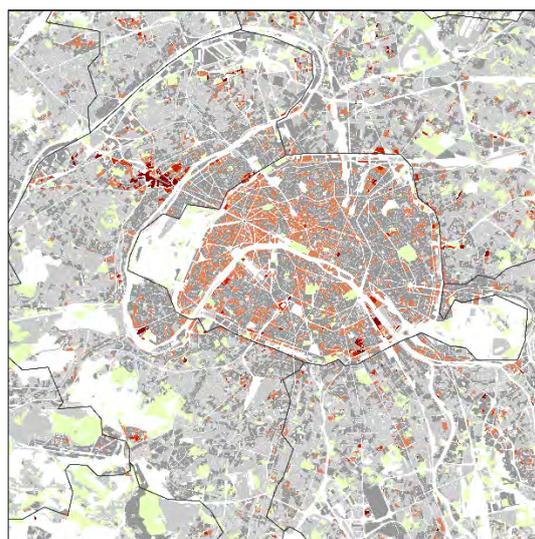
L'ensemble, typologie et propriétés LCZ, pour chaque IMU francilien précise ainsi l'interaction potentielle des formes d'urbanisme et d'occupation des sols avec le climat, rendant compte, en particulier, des déterminants actuels propices ou non à la formation et au renforcement de l'effet d'ICU à l'échelle de l'îlot sur toute l'Ile-de-France.

### Illustration cartographique de quelques propriétés LCZ

**Carte 12 : Représentation des « Flux de chaleur anthropogénique », indice composite (IAU îdF)**

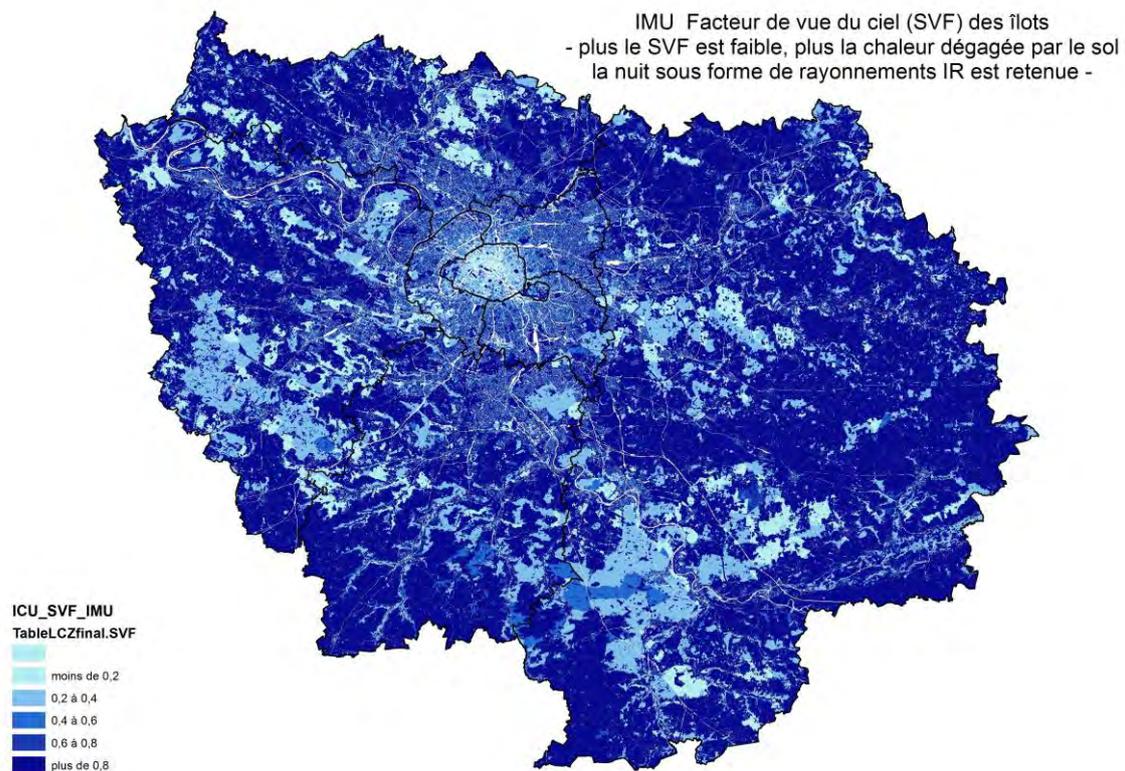


**Carte 13 : Représentation de la Hauteur moyenne pondérée des immeubles (IAU îdF)**

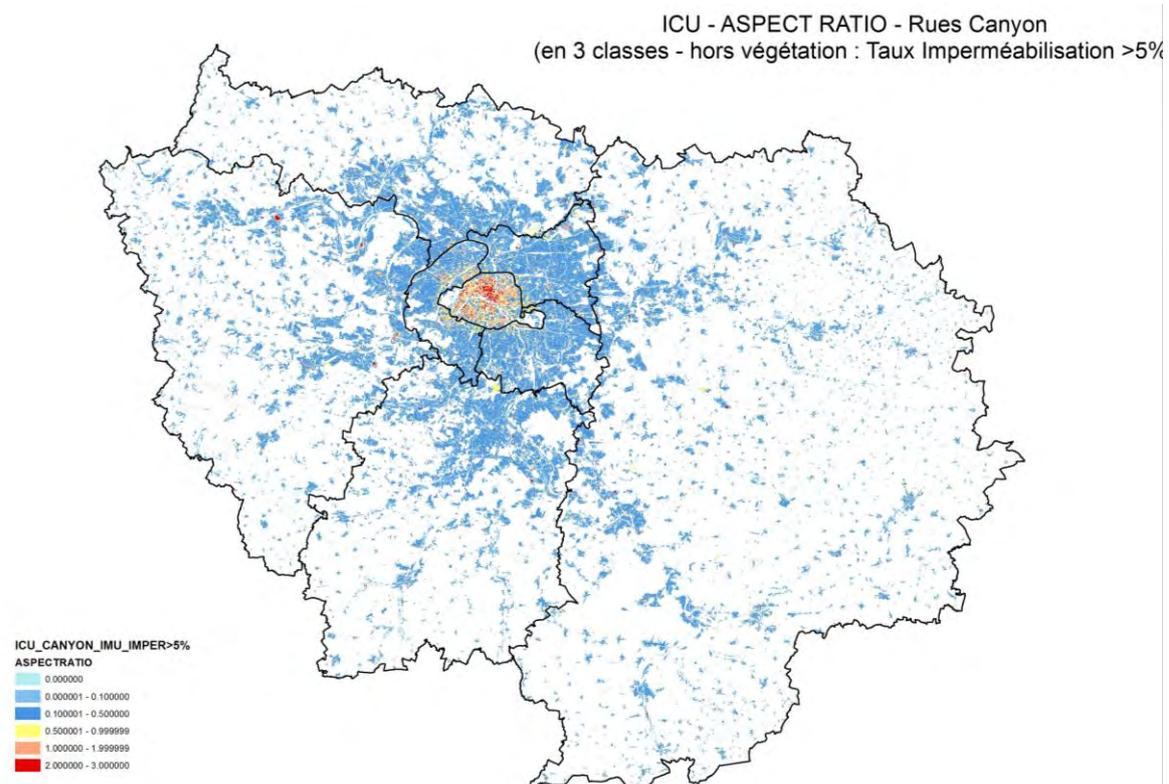


<sup>22</sup> CENTER : Consommations ENergétiques TERritorialisées - Elements méthodologiques - Janvier 2012, IAU îdF & AIRPARIF pour LE Conseil régional d'Ile-de-France, la DRIEE et l'ADEME

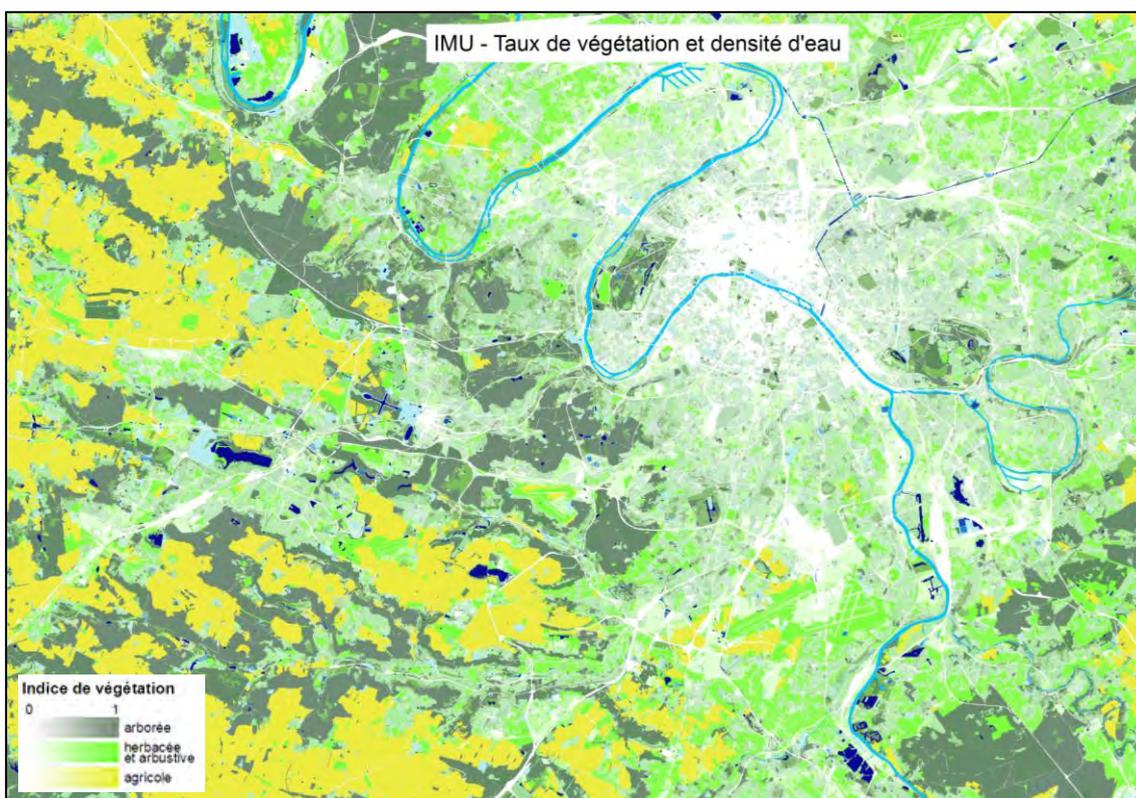
Carte 14 : Représentation du « Facteur de vue du ciel (SVF) » par IMU en Ile-de-France (IAU îdF)



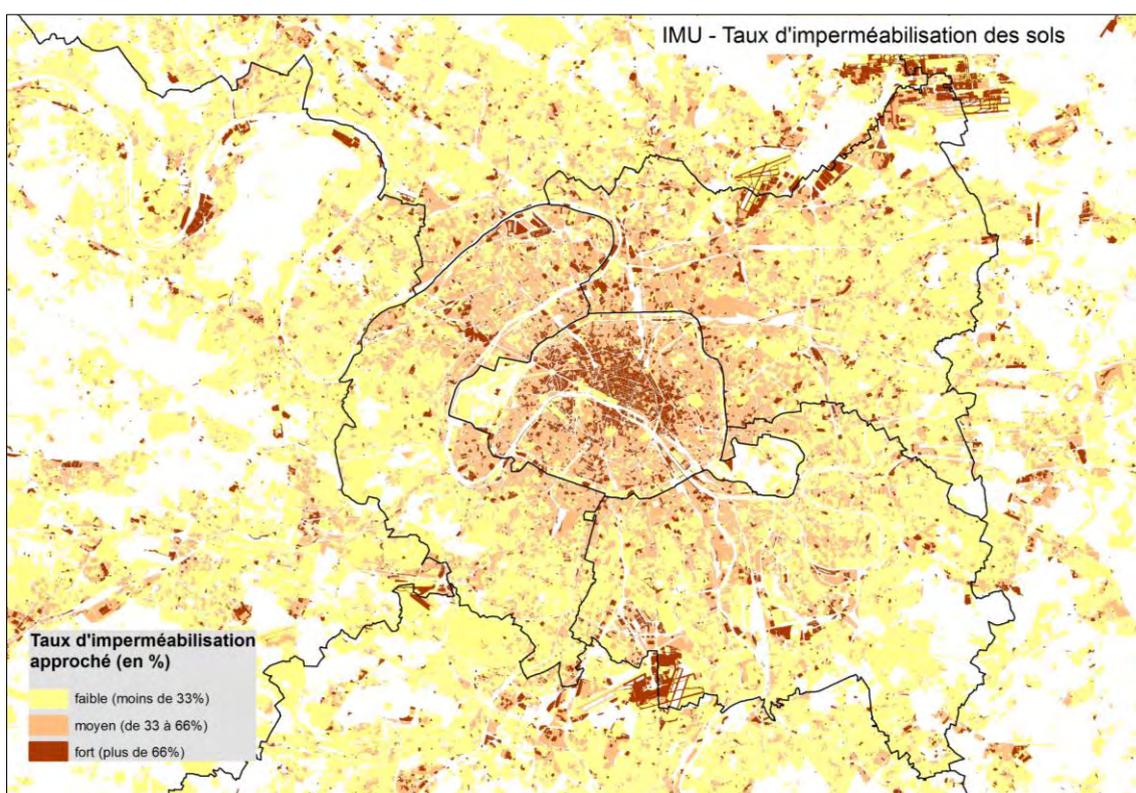
Carte 15 : Représentation de l'« Indice de rue canyon » par IMU en Ile-de-France (IAU îdF)



Carte 16 : Représentation de Hauteur moyenne des arbres d'après l'indice de végétation (IAU îdF)

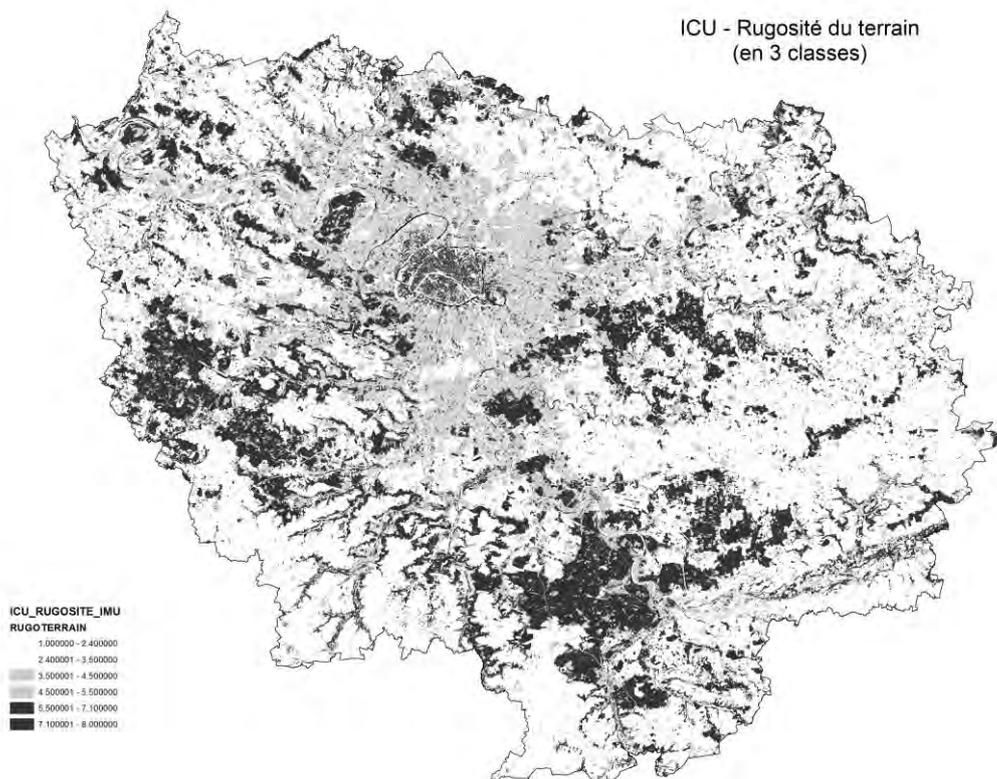


Carte 17 : Représentation des « Pourcentage des surfaces d'emprises bâties et de voiries revêtues » d'après le taux d'imperméabilisation des sols par IMU en Ile-de-France (IAU îdF)



NB : cette carte ne rend compte que des valeurs d'imperméabilisation des IMU ; les infrastructures de transports et les cours d'eau qui ont servi à la délimitation des IMU ne sont pas traités (en blanc)

Carte 18 : Représentation des « Classes de rugosité du terrain » par IMU en Ile-de-France (IAU îdF)



#### Résultats statistiques de la distribution des types LCZ selon les départements

La constitution d'une banque de données géographiques à l'IMU des types et propriétés LCZ ouvre la voie aux représentations cartographiques et aux analyses statistiques des résultats à toutes les échelles : de l'îlot à la région Île-de-France.

L'analyse des résultats de la classification LCZ dominante des IMU - le « LCZ1 » est un premier enseignement. Si nous observons un certain équilibre entre le nombre d'îlots de type construit (LCZ de 1 à 10, « building types ») et le nombre d'îlots de type ouvert (LCZ A à G, « Land cover types), *a contrario*, la différence est tangible pour ce qui concerne la surface associée (Cf. [Tableau 7](#)). Les IMU de type « pâté de maisons » sont cinq fois plus petits en moyenne (1,5 ha) que les IMU d'espaces ouverts (7,4 ha).

Tableau 7 : Nombre et surface d'îlots par catégories LCZ urbain/ouvert en Ile-de-France (IAU îdF)

Total LCZ (Standard Set) des IMU - Ile-de-France			
	Nb d'IMU	Surface (ha)	Nb ha moyen par LCZ
Building types	102 158	156 078	1,5
Land cover types	135 003	993 767	7,4
<b>Total</b>	<b>237 161</b>	<b>1 149 845</b>	<b>4,8</b>

Le détail de l'ensemble des types « LCZ1 » est présenté dans les tableaux page suivantes (Cf. [Tableaux 8 et 9](#)). Pour la catégorie urbaine, il est intéressant de constater la primauté en nombre et en surface des îlots de maisons individuelles espacées et dispersées (LCZ 6 et 9) et la surface que représentent les îlots de grandes emprises tertiaires bâties bas (LCZ 8). Pour les espaces ouverts, le type D (pelouses, prairies) qui comprend notamment une partie des surfaces cultivées est largement représenté. Le LCZ complet (« LCZ1 » et « LCZ2) permet d'affiner ce diagnostic (Cf. [Annexe 10](#)).

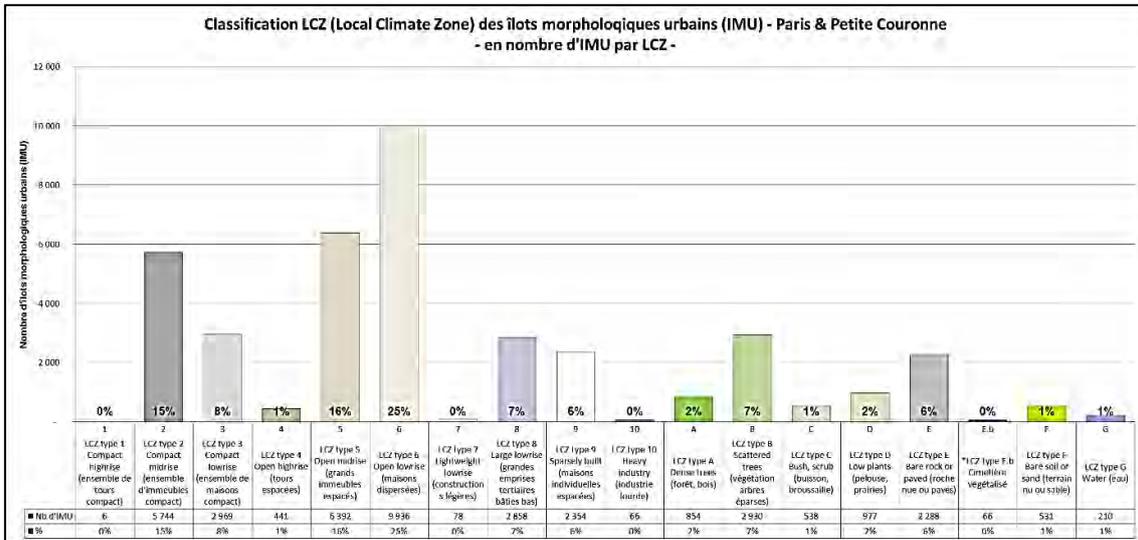
Tableau 8 : Nombre et surface d'îlots pour la catégorie LCZ « urbain » en Ile-de-France (IAU îdF)

Ile-de-France	Building types LCZ (Standard Set)				%
	LCZ1	Nb d'IMU	Surface (ha)	Nb ha moyen	
Type 1 = <b>Compact highrise</b> (ensemble de tours compact)	1	6	33	5,5	0,01
Type 2 = <b>Compact midrise</b> (ensemble d'immeubles compact)	2	6 624	7 594	1,1	6,48
Type 3 = <b>Compact lowrise</b> (ensemble de maisons compact)	3	7 111	5 403	0,8	6,96
Type 4 = <b>Open highrise</b> (tours espacées)	4	991	527	0,5	0,97
Type 5 = <b>Open midrise</b> (grands immeubles espacés)	5	14 449	19 781	1,4	14,14
Type 6 = <b>Open lowrise</b> (maisons dispersées)	6	32 736	44 070	1,3	32,04
Type 7 = <b>Lightweight lowrise</b> (constructions légères)	7	685	531	0,8	0,67
Type 8 = <b>Large lowrise</b> (grandes emprises tertiaires bâties bas)	8	12 565	20 255	1,6	12,30
Type 9 = <b>Sparsely built</b> (maisons individuelles espacées)	9	26 235	56 671	2,2	25,68
Type 10 = <b>Heavy industry</b> (industrie lourde)	10	756	1 214	1,6	0,74
	<b>Total</b>	<b>102 158</b>	<b>156 078</b>	<b>1,5</b>	

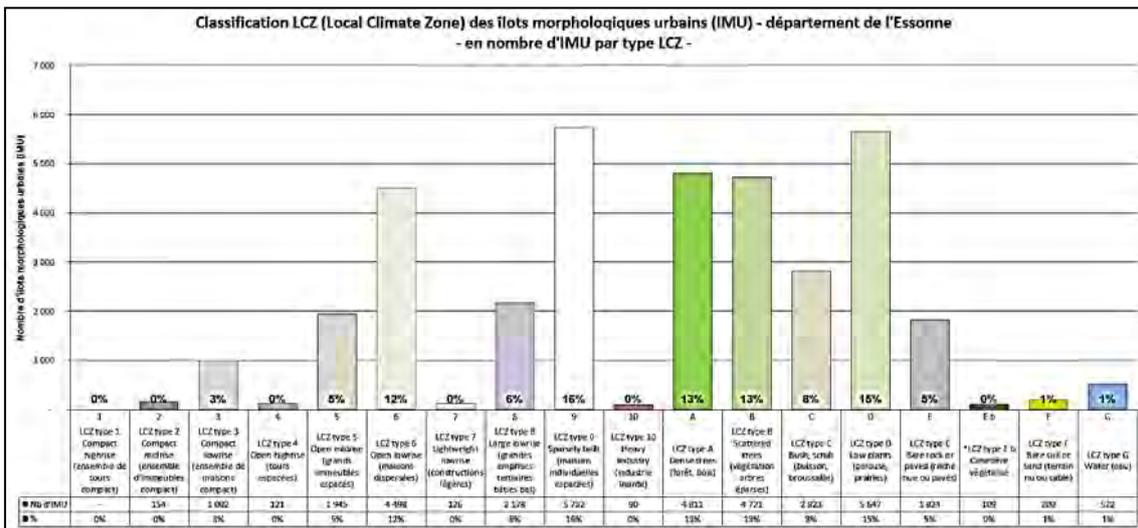
Tableau 9 : Nombre et surface d'îlots par catégories LCZ « ouvert » en Ile-de-France (IAU îdF)

Ile-de-France	Land cover types LCZ (Standard Set)				%
	LCZ1	Nb d'IMU	Surface (ha)	Nb ha moyen	
Type A = <b>Dense trees</b> (forêt, bois)	A	30 676	268 483	8,8	22,7
Type B = <b>Scattered trees</b> (végétation arbres éparses)	B	31 674	58 098	1,8	23,46
Type C = <b>Bush, scrub</b> (buisson, broussaille)	C	16 677	27 945	1,7	12,35
Type D = <b>Low plants</b> (pelouse, prairies)	D	39 914	614 676	15,4	29,57
Type E = <b>Bare rock or paved</b> (roche nue ou pavés)	E	10 348	11 214	1,1	7,67
*cimetière végétalisé	E.b	826	1 147	1,4	0,61
Type F = <b>Bare soil or sand</b> (terrain nu ou sable)	F	1 338	4 076	3,0	0,99
Type G = <b>Water</b> (eau)	G	3 550	8 129	2,3	2,63
	<b>Total</b>	<b>135 003</b>	<b>993 767</b>	<b>7,4</b>	

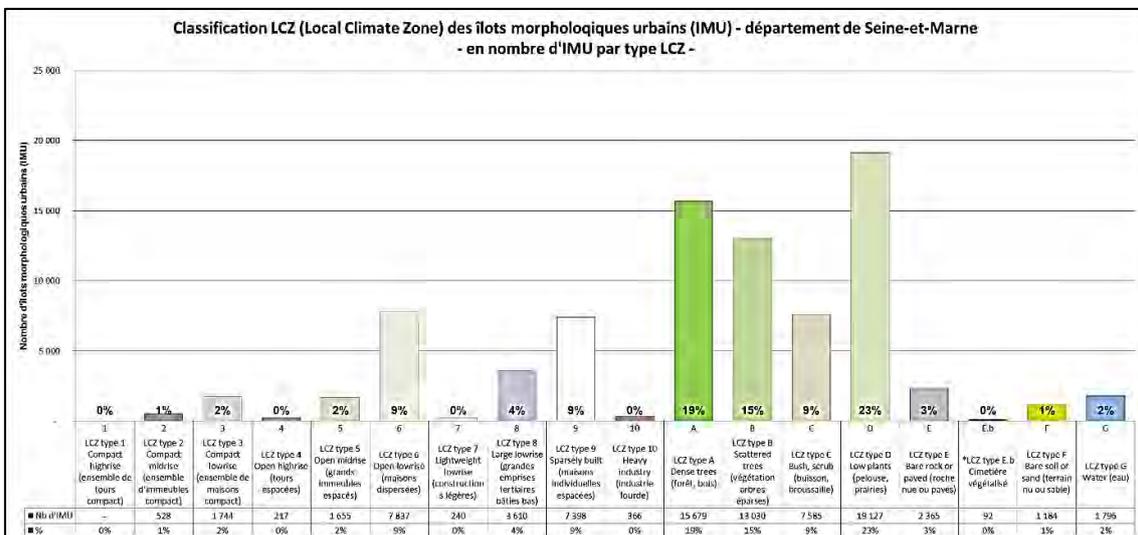
Graph 1 : Distribution du nombre d'IMU par type « LCZ1 » pour Paris & Petite couronne



Graph 2 : Distribution du nombre d'IMU par type « LCZ1 » pour le département de l'Essonne



Graph 3 : Distribution du nombre d'IMU par type « LCZ1 » pour le département de Seine-et-Marne



## 4 - Détermination des zones sujettes à effet d'ICU

Après avoir constitué une première base de données géographique des Zones climatiques locales décrivant pour chaque îlot le type LCZ et ses 10 propriétés LCZ, il reste à qualifier la hauteur de l'effet de chaleur ou de rafraîchissement. Ce n'est qu'à ce prix que l'objectif de détermination des zones les plus sujettes à l'effet d'ICU en Ile-de-France pourra être atteint.

Il convient désormais, d'une part, de synthétiser les caractéristiques intrinsèques de l'îlot. Il est utile, d'autre part, de considérer les apports potentiels de fraîcheurs des îlots limitrophes ; l'environnement boisé ou forestier ainsi que la proximité à des espaces en eau (plan d'eau ou rivière) sont à analyser. Enfin, en particulier pour la période nocturne, il peut être intéressant de prendre en compte la situation géographique de l'îlot par rapport à la zone urbaine dense pour intégrer l'effet d' « ICU métropolitain » ; le périmètre de température de nuit tropicale (> 20°C) observé pendant la canicule de 2003 peut nous aider à apprécier cette influence (Cf. page 7).

### 4.1 – Principe méthodologique

Parmi les critères retenus, nous considérons les propriétés LCZ propres à chaque îlot, et ce, de façon différenciée suivant le jour ou la nuit en fonction de leur pertinence. L'ombrage apporté par la végétation ainsi que l'albédo n'interviennent pas la nuit, par exemple.

En outre, les apports potentiels de fraîcheur par la végétation arborée et par les masses d'eau en provenance des îlots limitrophes doivent être considérés. Deux indicateurs sont de fait définis par croisement géographique (Cf. *Annexe 11*) - Proxi\_LCZ\_Arbres et Proxi\_Eau - pour qualifier chaque IMU par rapport à son environnement immédiat (Cf. *Tableau 10*).

**Tableau 10 : Qualification des apports potentiels de fraîcheur via l'environnement immédiat de l'IMU (IAU)**

Nom du champ	Format	Critère(s) de sélection
Proxi_LCZ_Arbres	0 ou 1 (1 quand critère(s) vérifié(s))	Part du périmètre de l'IMU (jointif) partagé par des IMU de type LCZ arboré > 20% <b>ET</b> Somme des surfaces des IMU jointifs adjacents de type LCZ arboré > 50% de la surface de l'IMU
Proxi_LCZ_Eau	0 ou 1 (1 quand critère(s) vérifié(s))	Part du périmètre de l'IMU (jointif) partagé par des IMU de type LCZ eau > 10% <b>ET</b> Somme des surfaces des IMU jointifs adjacents de type LCZ eau > 10% de la surface de l'IMU
Proxi_MOS_Riviere	0 ou 1 (1 quand critère(s) vérifié(s))	Part de la surface de l'IMU recouverte par le buffer de 100 mètres autour du fleuve > 10%
Proxi_Eau	0 ou 1 (1 quand critère(s) vérifié(s))	Proxi_LCZ_Eau = 1 <b>OU</b> Proxi_MOS_Riviere = 1

Un dernier critère est ajouté, uniquement pour la période nocturne, celui de l'influence de l'« effet d'ICU métropolitain » pour intégrer l'échelle globale d'appréhension de ce phénomène (Cf. *pages 7 et 8*). L'indicateur de température de nuit tropicale – Nuit\_tropicale - observée lors de la canicule de 2003 nous sert à qualifier cette zone d'influence : l'IMU se situe soit à l'intérieur de la zone délimitée par l'isotherme de plus de 20°C la nuit, il est donc sous influence, soit il est en-dehors.

Nous avons retenu le principe de notation des effets propriété par propriété (effet de seuil et pondération) pour déterminer globalement l'effet de chaleur/rafraîcheur le jour et la nuit. Pour chacune des périodes, nous nous sommes prononcés sur les propriétés les plus déterminantes qui génèrent soit un effet de chaleur (note positive, de 1 à 4 selon la hauteur de l'impact et des seuils) soit un effet de fraîcheur (note négative, de -2 à -1). Pour l'élaboration des formules de calcul et la définition des seuils, un travail itératif sous SIG a été nécessaire pour vérifier notamment la pertinence des résultats par rapport aux IMU archétypes précédemment retenus pour la détermination des LCZ. Les seuils et pondérations utilisés pour définir la notation sont présentés page suivante (Cf. *Tableaux 11 et 12*).

Tableau 11 : Seuils et notations par propriété pour qualifier l'effet d'ICU diurne (IAU îdF)

SYNTHESE ALEA de JOUR			Définition des seuils - JOUR				Notes associées- JOUR + condition			
Type de propriété	Attribut		classe1	classe2	classe3	classe4	note1	note2	note3	note4
Nombre de surfaces proposées à l'interception des rayonnements	DENSI_BATI_VOLU MIQUE	Nombre de surfaces bâties		<=1	>1à5	>5		0	2	4
Rugosité minérale/végétale source de perturbations radiatives (ombrage) et d'obstacles aux circulations des masses d'air	CLASSE_IMU	Ventilation de filot		<31	31 à 36	>36		1	2	3
	SVF	Obstacle à la vue du ciel		<0,4	0,4 à 0,8	>0,8		0	1	2
	ASPECTRATIO	Rues étroites bordées d'immeubles hauts		2 à 3				-2	0	0
	IV_haute	Ombrage lié aux arbres	>25	>10 à 25			-2	-1		
Propriétés thermiques des matériaux et des surfaces avec ou sans eau (rafraîchissement)	F_SurfPermeable	Imperméabilisation des sols		>60	>30 à 60	<=30		-1	2	3
	SURFADMITTANCE	Propriétés thermiques des matériaux		<=1600	>1600	>1700		0	2	4
	F_VEGETATION	Présence de végétation dans filot	66 à 100	33 à <66	10 à <33	<=10	-2	-1	0	1
	Proxi_LCZ_Arbres	Proximité de l'îlot à un bois ou à une forêt	oui		non		-1		0	
	DENSI_EAU	Présence d'eau dans l'îlot	>0,30	>0,15 à 0,30	0,05 à 0,15	<0,05	-2	-1	0	1
	Proxi_Eau	Proximité de l'îlot à un cours d'eau ou à un plan d'eau	oui		non		-1		0	
Réfléchissement du rayonnement solaire (albédo) par les matériaux et surfaces	ALBEDO	Réfléchissement de la lumière		>0,20	>0,15 à <=0,20	<= 0,15		-2	1	2
Chaleur anthropogénique	FLUXCHALEUR	Chaleur produite par l'activité humaine		<=10	>10 à 30	>30		0	1	2
Canicule 2003	Nuit_Tropicale	>20°C la nuit ("Nuit tropicale") lors de la canicule 2003								

DENSI\_BATI\_VOLUMIQUE > 1

Tableau 12 : Seuils et notations par propriété pour qualifier l'effet d'ICU nocturne (IAU îdF)

SYNTHESE ALEA de NUIT			Définition des seuils - NUIT				Notes associées - NUIT + condition			
Type de propriété	Attribut		classe1	classe2	classe3	classe4	note1	note2	note3	note4
Nombre de surfaces proposées à l'interception des rayonnements	DENSI_BATI_VOLU	Nombre de surfaces bâties		<=1	>1 à 5	>5		0	2	4
Rugosité minérale/végétale source de perturbations radiatives (ombrage) et d'obstacles aux circulations des masses d'air	CLASSE_IMU	Ventilation de filot		<31	31 à 36	>36		1	2	3
	SVF	Obstacle à la vue du ciel		>0,6	0,6 à 0,4	<0,4		-2	2	4
	ASPECTRATIO	Rues étroites bordées d'immeubles hauts		<=0,5	>0,5 à <2	2 à 3		0	2	4
	IV_haute	Ombrage lié aux arbres								
Propriétés thermiques des matériaux et des surfaces avec ou sans eau (rafraîchissement)	F_SurfPermeable	Imperméabilisation des sols		>60	>30 à 60	<=30		-1	2	3
	SURFADMITTANCE	Propriétés thermiques des matériaux								
	F_VEGETATION	Présence de végétation dans l'îlot	66 à 100	33 à <66	10 à <33	<=10	-1	-1	0	0
	Proxi_LCZ_Arbres	Proximité de l'îlot à un bois ou à une forêt	oui		non		-1		0	
	DENSI_EAU	Présence d'eau dans l'îlot	>0,30	>0,15 à 0,30	0,05 à 0,15	<0,05	1	1	0	0
	Proxi_Eau	Proximité de l'îlot à un cours d'eau ou à un plan d'eau	oui		non		1		0	
Réfléchissement du rayonnement solaire (albédo) par les matériaux et surfaces	ALBEDO	Réfléchissement de la lumière								
Chaleur anthropogénique	FLUXCHALEUR	Chaleur produite par l'activité humaine		<=10	>10 à 30	>30		0	0	1
Canicule 2003	Nuit_Tropicale	>20°C la nuit ("Nuit tropicale") lors de la canicule 2003		0		1		0		4

DENSI\_BATI\_VOLUMIQUE > 1

Pour chaque îlot, nous faisons *in fine* la somme des notes obtenues propriété par propriété : plus le chiffre est négatif ou bas, plus l'îlot est frais ou préservé d'un effet d'ICU ; inversement, plus la note est élevée, plus l'effet d'ICU est marqué. Pour la période diurne, la gamme de résultats s'étant de -7 à +18 ; pour la période nocturne, de -4 à +23.

Pour analyser et cartographier les résultats de l'aléa effet d'ICU et mettre en avant les contrastes territoriaux, nous proposons le regroupement des valeurs en classes :

- de -7 à 0, le jour, et de -4 à 0, la nuit, potentiellement effet de fraîcheur ;
- de 1 à 6, potentiellement faible effet d'ICU ;
- de 7 à 12, potentiellement effet d'ICU moyen ;
- de 13 à 18, le jour, et de 13 à 23 la nuit, potentiellement effet d'ICU fort.

## 4.2 – Résultats cartographiques et statistiques

La nuit, période la plus critique, l'effet d'ICU (faible, moyen, fort) amplifie l'effet d'une vague de chaleur dans près de 42% des îlots franciliens, ces derniers représentant 31% en surface. L'effet d'ICU est nettement marqué pour près de 11% et de 3% respectivement en nombre d'îlot et en surface associée (effet d'ICU moyen ou fort) ; l'effet d'ICU le plus prononcé concerne nettement plus la période nocturne que celle diurne, tant en nombre d'îlot qu'en surface correspondante (Cf. Tableaux 13 et 14).

Si les effets d'ICU moyen à fort sont du même ordre de grandeur le jour que pour la nuit, en nombre d'îlots comme en surface, une différence notable s'observe pour les classes 1 et 2 d'effet de fraîcheur et d'effet d'ICU potentiellement faible, avec des résultats inversés. La classe 2 est nettement plus représentés le jour (53% en nombre et 65% en surface le jour contre respectivement 31% et 28% la nuit). Cette différence s'explique en grande partie par la surreprésentation dans cette classe le jour des îlots de prairies et champs cultivés qui sont très exposés au soleil du fait de l'absence d'ombrage.

Tableau 13 : Nombre d'îlots par nature d'effet ICU en Ile-de-France (IAU îdF)

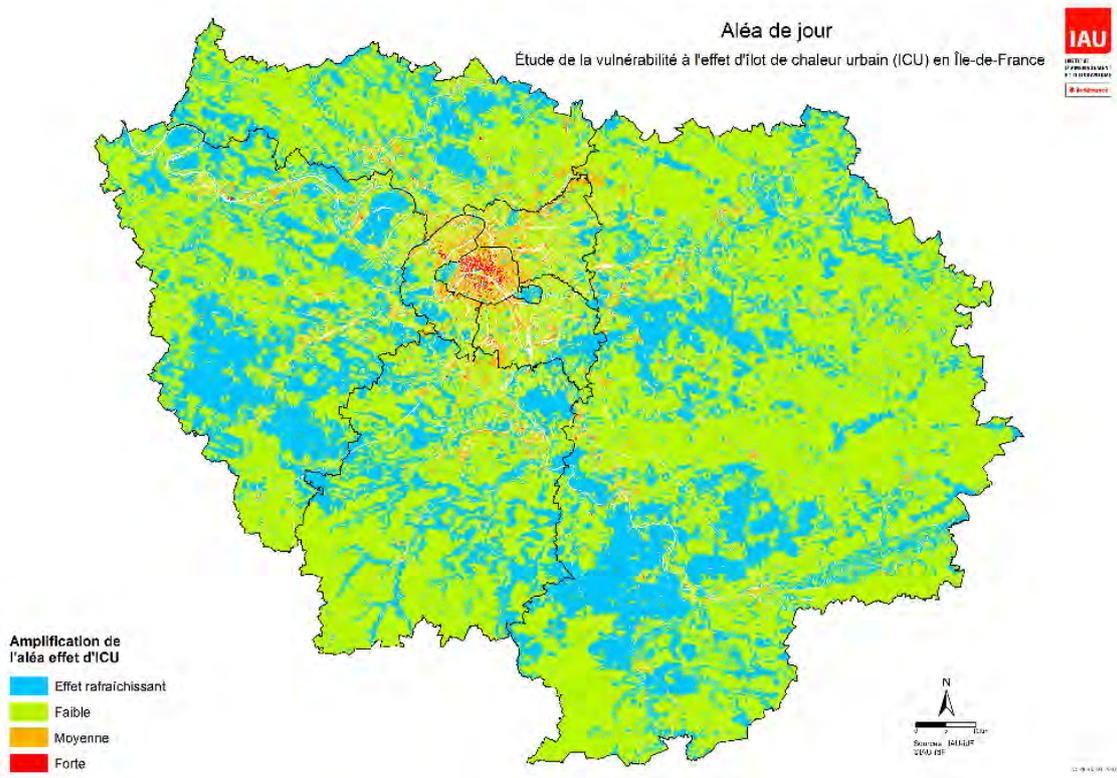
Nombre d'îlots		Effet d'ICU le jour			Effet d'ICU la nuit				
Type d'effet	Regroupement	Notes	Nb d'IMU	%	Notes	Nb d'IMU	%		
Effet de fraîcheur	Classe 1	de -7 à 0	82 756	34,9%	87,9%	de -4 à 0	138 257	58,3%	89,1%
Faible effet d'ICU	Classe 2	de 1 à 6	125 631	53,0%		de 1 à 6	73 109	30,8%	
Effet d'ICU moyen	Classe 3	de 7 à 12	27 042	11,4%	12,1%	de 7 à 12	15 697	6,6%	10,9%
Effet d'ICU fort	Classe 4	de 13 à 18	1 732	0,7%		de 13 à 24	10 098	4,3%	
<b>Total</b>			<b>237 161</b>	100%	100%	<b>237 161</b>	100%	100%	

Tableau 14 : Superficie des îlots par nature d'effet ICU en Ile-de-France (IAU îdF)

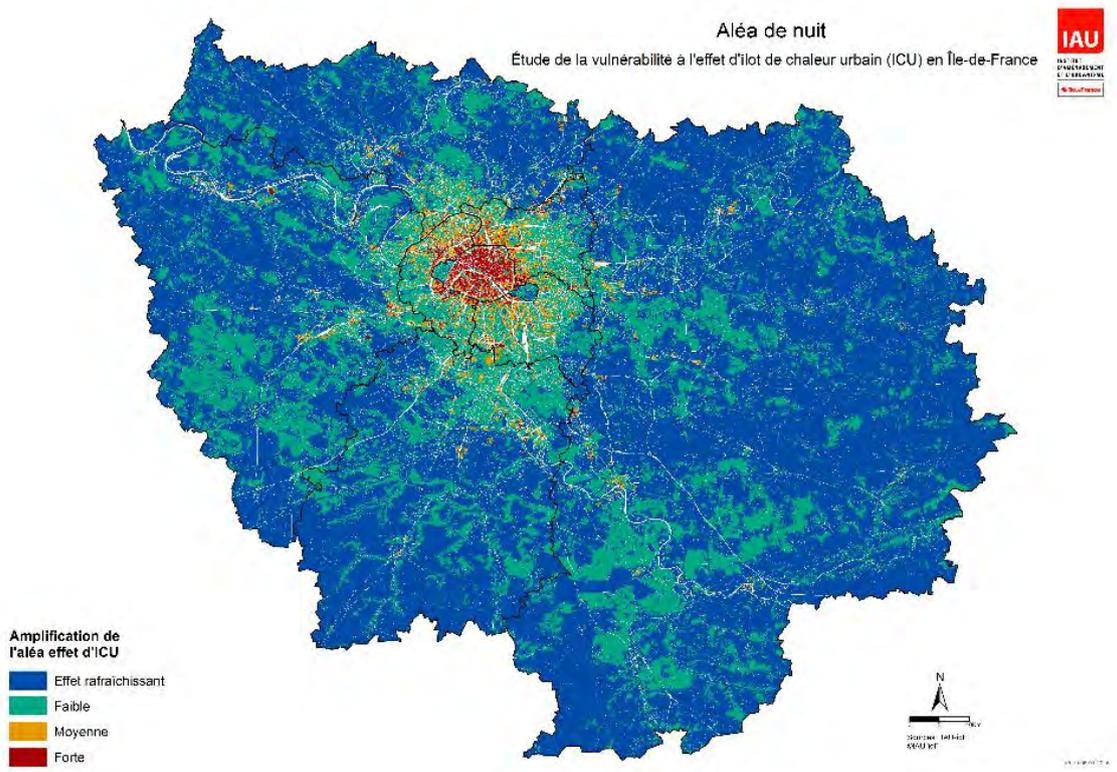
Surface d'îlots en km <sup>2</sup>		Effet d'ICU le jour			Effet d'ICU la nuit				
Type d'effet	Regroupement	Notes	km <sup>2</sup> d'IMU	%	Notes	km <sup>2</sup> d'IMU	%		
Effet de fraîcheur	Classe 1	de -7 à 0	3 712	32,3%	96,9%	de -4 à 0	7 935	69,0%	97,2%
Faible effet d'ICU	Classe 2	de 1 à 6	7 429	64,6%		de 1 à 6	3 240	28,2%	
Effet d'ICU moyen	Classe 3	de 7 à 12	339	2,9%	3,1%	de 7 à 12	216	1,9%	2,8%
Effet d'ICU fort	Classe 4	de 13 à 18	19	0,2%		de 13 à 24	108	0,9%	
<b>Total</b>			<b>11 498</b>	100%	100%	<b>11 498</b>	100%	100%	

Les cartes régionales des zones à effet d'ICU pour le jour et pour la nuit sont présentées page suivante (Cf. Cartes 19 et 20).

Carte 19 : Amplification de l'aléa Vague de chaleur, Zones à effet d'ICU le jour (IAU îdF)

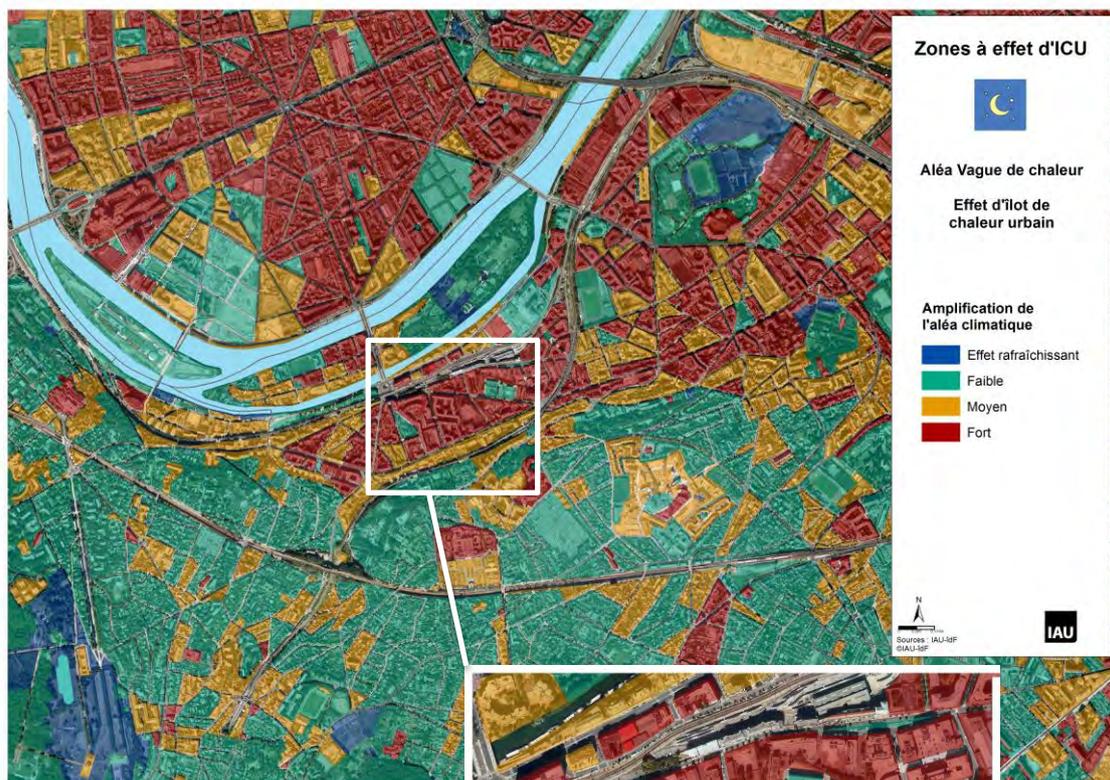


Carte 20 : Amplification de l'aléa Vague de chaleur, Zones à effet d'ICU la nuit (IAU îdF)



Lorsque nous nous prêtons à des analyses plus fines, nous observons des contrastes marqués d'effet d'ICU donc sensiblement de chaleur au sein de la zone à effet global d'ICU métropolitain, entre les blocs urbains les plus densément construits, dépourvus de végétation et aux sols fortement imperméabilisés, et les îlots d'espaces ouverts naturels ou les îlots d'ensembles pavillonnaires de la ville dense qui sont très présents en Petite couronne (Cf. Carte 21).

**Carte 21 : Amplification de l'aléa Vague de chaleur, Zones à effet d'ICU la nuit dans le secteur de Boulogne-Billancourt, Clamart, Issy-les Moulineaux, Meudon (IAU îdF)**



Les immeubles du front de Seine bénéficient pour certains de la fraîcheur du couloir Seine (en orange et vert, au nord de la scène : pénétration d'air frais dans les îlots suivant leur compacité).

Les pâtés d'immeubles collectifs bien dotés en végétation, ainsi que le tissu pavillonnaire et ses jardins se distinguent par leur effet d'ICU potentiellement faible (couleur verte, moitié sud de la scène)...

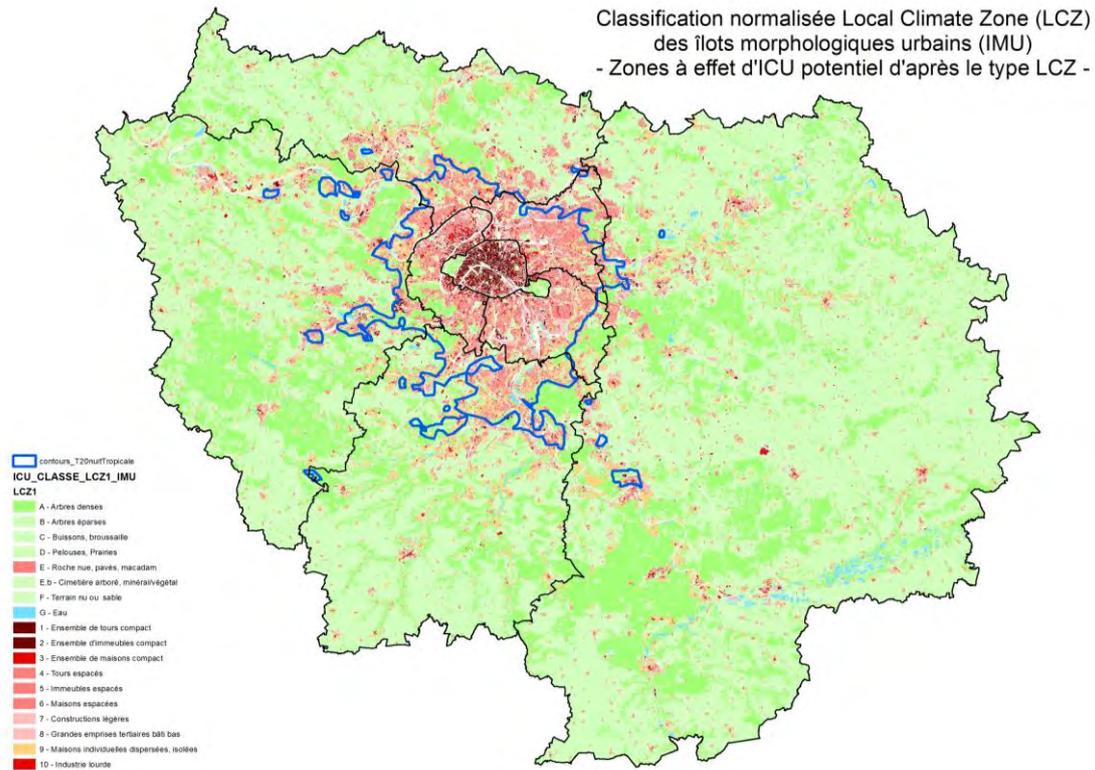


Malgré l'absence de données météorologiques injectées, le résultat obtenu par cette méthode de pondération est corroboré par le retour d'expérience de la canicule de 2003. Si nous superposons le périmètre de température de nuit tropicale observée pendant toute la durée de la canicule de 2003 (Cf. Carte 1, page 8) à la carte des LCZ, nous observons déjà une correspondance très marquée entre le gradient de densité et de compacité de l'urbanisation telle que l'exprime la classification LCZ et le périmètre de température de nuit tropicale (Cf. Carte 22, page suivante).

Cette correspondance s'observe aussi avec les résultats issus de notre méthode d'interprétation des zones sujettes à effets d'ICU. Nous rappellerons que nous avons introduit une pondération (x 4) dans le calcul de l'effet d'ICU la nuit pour les IMU situés à l'intérieur du périmètre de nuit tropicale afin de considérer l'effet d'ICU métropolitain comme élément d'influence pouvant intervenir dans ces phénomènes complexes (interaction effet global / effets locaux). Cette pondération intermédiaire, compte tenu de l'importante gamme de valeurs dans laquelle s'expriment les notes de synthèse (de -4

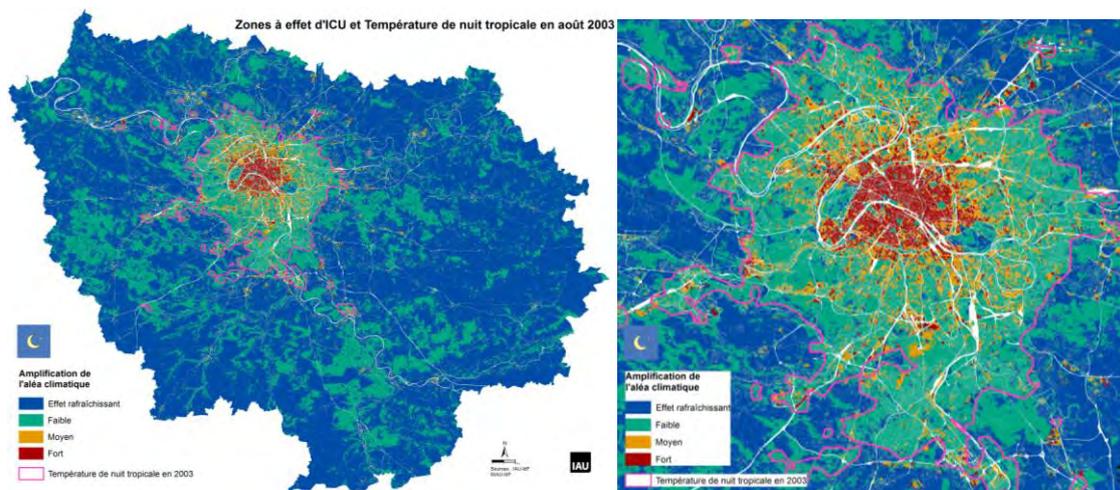
à +23) ne peut à elle seule expliquer la bonne correspondance territoriale entre les deux géographies : entre celle, historique, de l'extension territoriale des températures nocturnes excessives relevées lors de la canicule de 2003, et celle, interprétée à partir des propriétés LCZ, des zones à effet d'ICU potentiel la nuit (Cf. Carte 23).

**Carte 22 : Gradient de compacité des LCZ et Limite de Température de nuit tropicale en 2003 (IAU îdF)**



Gradient de compacité urbaine défini d'après la classification LCZ et comparé à la limite (en bleu) de l'indicateur de Température de nuit tropicale (>20°C à l'intérieur de la zone toutes les nuits) lors de la canicule de 2003.

**Carte 23 : Zones à effet d'ICU la nuit et limite (rose) de température de nuit tropicale en 2003 (IAU îdF)**



Zones à effet d'ICU potentiel (lots verts, oranges et rouges) comparées à la limite (en rose) de l'indicateur de Température de nuit tropicale (>20°C à l'intérieur de la zone, toutes les nuits) lors de la canicule de 2003.

Il reste désormais à étudier quels sont les enjeux pour ces zones à effet d'ICU en fonction des particularités sociodémographiques des îlots les plus concernés en Ile-de-France.

# Evaluation de la vulnérabilité des territoires à la chaleur urbaine et proposition de solutions d'adaptation

## 1 - Principe méthodologique

Le principe théorique d'étude de la vulnérabilité à la chaleur urbaine est présenté dans le premier chapitre de ce rapport (Cf. pages 14 à 23). Nous proposons de tester une définition possible de la vulnérabilité du territoire francilien à la chaleur urbaine qui prenne en compte les particularismes territoriaux et locaux, jusqu'à l'échelle fine de l'îlot. Compte-tenu de la complexité du sujet, il s'agit de rassembler, sans chercher à être exhaustif, un certain nombre d'indicateurs qui font sens dans la problématique de vulnérabilité à la chaleur urbaine, dans son lieu de vie et de travail.

En pratique, nous procédons à des croisements géographiques à l'îlot (IMU) entre une sélection d'indicateurs qui relèvent des trois composantes suivantes :

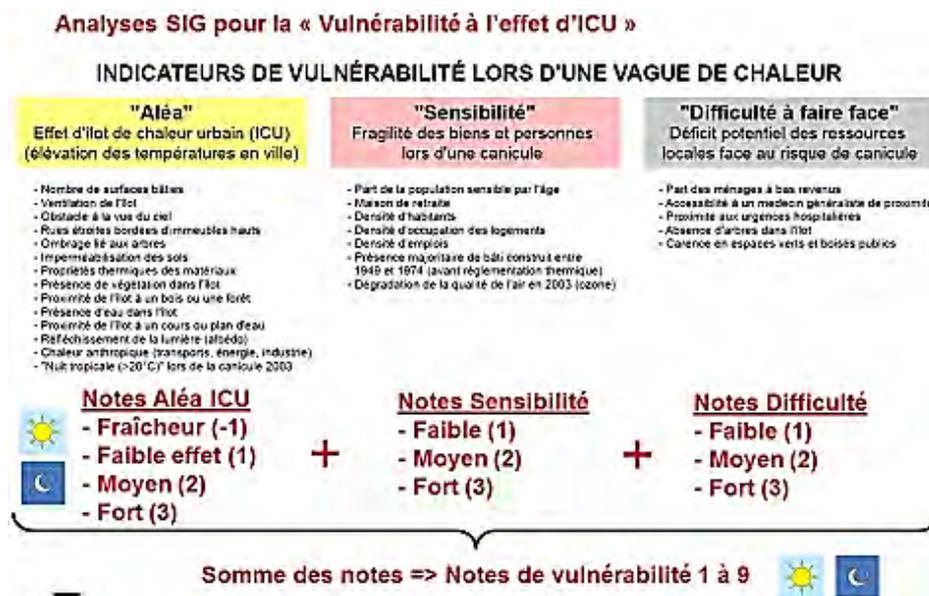
- l'aléa « vague de chaleur » via son amplification par l'effet d'ICU (aléa effet d'ICU) ;
- la sensibilité des biens et des personnes à la chaleur urbaine : fragilité des populations et de l'habitat
- la difficulté à faire face : ressources territoriales disponibles et capacité à affronter les conséquences négatives de la vague de chaleur, en prévention et en réaction.

Avec la détermination des zones sujettes à l'effet d'ICU, nous avons déjà déterminé la première de ces trois composantes soit la hauteur de l'aléa, de l'amplification potentielle d'une vague de chaleur par l'effet d'ICU, pour la période diurne et pour la période nocturne. Nous proposons d'adopter le même principe méthodologique pour définir, pour le jour et pour la nuit, la hauteur de la sensibilité de chaque îlot, et la hauteur de la difficulté à faire face de leurs habitants.

Pour chacune des composantes, et pour chaque îlot, les différents indicateurs retenus seront interprétés suivant un principe itératif expert via les fonctionnalités du SIG afin de classer et de pondérer les valeurs d'un îlot, propriété par propriété, en fonction des valeurs de l'ensemble de l'échantillon francilien. In fine, le cumul des notes obtenues pour les critères de sensibilité définira la note globale de hauteur de la sensibilité de l'îlot. Il en sera de même de la difficulté à faire face.

Au final, les notes globales des classes d'aléa, de sensibilité et de difficulté à faire face seront additionnées pour qualifier - par une note de 1 à 9 - les vulnérabilités le jour et la nuit de l'îlot à la chaleur urbaine (Cf. Figure 18).

Figure 18 : Principe d'élaboration de la note de vulnérabilité d'un îlot à la chaleur urbaine (IAU îdF)



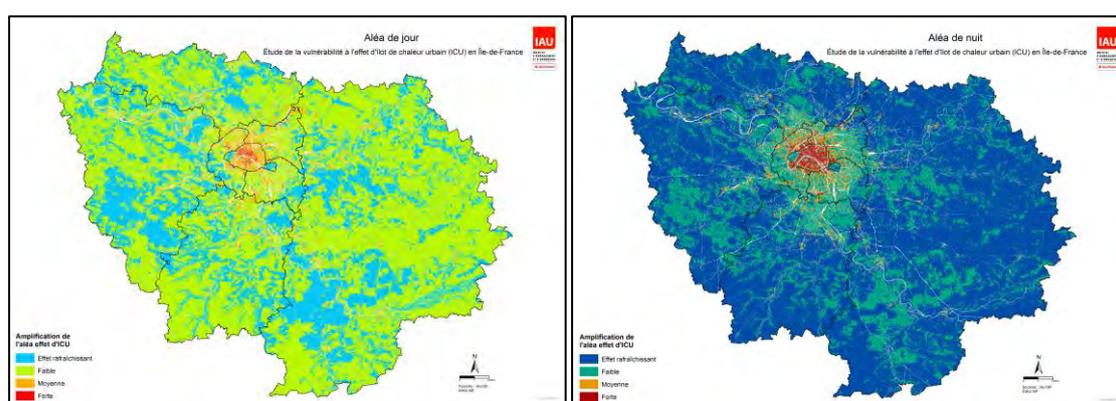
## 2 - Composantes de la vulnérabilité à la chaleur urbaine : aléa, sensibilité, difficulté à faire face

### 2.1 - Synthèse Jour/Nuit de l'aléa « effet d'ICU »

Avec la détermination des zones sujettes à l'effet d'ICU, nous avons précédemment déterminé la première des trois composantes : l'aléa, soit l'amplification potentielle d'une vague de chaleur par l'effet d'ICU, pour la période diurne et pour la période nocturne (en abrégé : aléa effet d'ICU).

Nous rappelons ci-dessous les cartes présentées à la fin du premier chapitre qui expriment les résultats des notes d'aléa effet d'ICU obtenues par îlot regroupées suivant 4 classes d'effet climatique potentiel (effet rafraîchissant, sans/faible effet d'ICU, effet d'ICU moyen, effet d'ICU fort).

*Cartes 19 et 20 : Amplification de l'aléa Vague de chaleur par effet d'ICU, le jour et la nuit (IAU îdF)*



Les résultats soulignent ainsi des contrastes territoriaux différents entre le jour et la nuit tant en répartition spatiale qu'en intensité.

Le jour, la classe d'effet rafraîchissant est spatialement plus limitée que la nuit ; elle concerne les îlots arborés ou en eau. En effet, les espaces de grandes cultures – qui la nuit se refroidissent très vite – sont très exposés le jour à l'ensoleillement par l'absence d'ombrage et peinent à rafraîchir. L'arrosage peut s'avérer en effet indispensable pour la résistance des végétaux face aux stress hydriques et thermiques pour pouvoir bénéficier d'une évapotranspiration efficace qui rafraîchisse l'air. A noter qu'en cas de chaleur extrême, les pics de pollution à l'ozone sont un facteur aggravant, à l'origine de nécroses végétales ; les baisses de rendement des cultures sont avérées, notamment pour le blé.

La nuit, l'effet d'ICU fort est davantage marqué ; il est particulièrement concentré sur le cœur d'agglomération - Paris et sa proche banlieue, notamment au nord – compte-tenu de la compacité et de la minéralité de ce tissu urbain ; il est plus important spatialement que le jour. A noter que nous observons que les massifs boisés (hors clairières) ne figurent pas dans la classe rafraîchissante. Nous le devons principalement à la propriété « facteur de vue du ciel », très faible dans les espaces densément arborés. Cette caractéristique empêche les rayonnements infrarouges restitués par le sol de rejoindre facilement le ciel, ce qui ralentit le refroidissement nocturne sous les houppiers. Associé à un effet de seuil imputable au regroupement des notes en classes, ces îlots se retrouvent dans la classe à faible effet d'ICU.

### 2.2 - Synthèse Jour/Nuit de la sensibilité des populations

Le choix des indicateurs de sensibilité résulte d'un compromis entre les indicateurs de sensibilité aux effets du changement climatique cités dans la littérature (Cf. Chapitre 1 [2.2], pages 14 à 20) et la disponibilité des données géographiques à l'échelle de travail proposée. Nous proposons d'ajouter aussi quelques critères contextuels (l'inconfort potentiel de l'habitat et la pollution atmosphérique) qui interviennent en plus dans la sensibilité à la chaleur urbaine. Par cette approche, il s'agit moins de restituer une réalité scientifique, que d'attirer l'attention sur la complexité du sujet et des domaines de connaissance à prendre en compte (sensibilisation à l'approche systémique).

Pour chaque indicateur de sensibilité, nous définissons des classes de hauteur de sensibilité en fonction de seuils qui permettent de définir des pondérations. Cette approche à dire d'experts ne repose pas sur des seuils scientifiques normalisés compte-tenu du type d'indicateurs utilisés. Elle a néanmoins le mérite de souligner les éventuelles disparités territoriales significatives.

Nous avons ainsi retenu les critères suivants, définis pour chaque îlot en Île-de-France :

- **l'enjeu de présence humaine** via la densité d'emploi (indicateur de présence le jour) et la densité d'habitants (Source : INSEE, 2009 et 2013) ; issus de la couche IMU 2012 (Cf. *description page 30*), les attributs « DENSI\_EMPLOI\_IMU » et « DENSI\_HAB\_IMU » sont directement utilisables (Cf. *Cartes 24 et 25, page suivante*) ;

- **la présence significative de populations dites sensibles via l'âge,**

d'une part, **au lieu de résidence**, en considérant les effectifs d'enfants de 5 ans et moins, les jeunes enfants, plus fragiles, ne pouvant de plus se passer de l'assistance d'un adulte, et les effectifs de personnes de 65 ans et plus, qui peuvent en outre cumuler une plus grande fragilité de leur organisme et des conditions d'isolement (source : base INSEE 2010) ;

et d'autre part, **parmi l'habitat communautaire**, les effectifs de personnes âgées en maisons de retraite, via les capacités d'accueil des maisons de retraite 2013 de la base Equipement de l'IAU, pour informer de la présence de ce type d'établissement dans un îlot (attribut « Maison\_Retraite »).

Pour les données statistiques relatives à l'âge, elles proviennent d'un traitement des données 2010 de la couche carroyée de l'INSEE (grille 200 ; couches de carreaux et de rectangles et tables attributaires) avec une répartition des effectifs de chaque variable d'un rectangle vers tous les carreaux qui le composent proportionnellement au nombre d'individus de chaque carreau et réattribution par croisement géographique des effectifs par IMU pour renseigner l'attribut « PART\_0\_5\_ET\_65\_PLUS ».

Nous avons choisi de ne pas traiter les effectifs bruts de population sensible (Cf. *Carte 26, page 59*) - la densité de population étant déjà un critère utilisé (DENSI\_HAB\_IMU) - afin de ne pas surreprésenter le poids de population dans la sensibilité. Nous préférons qualifier les différences de proportion de personnes sensibles dans la population totale de l'îlot, en proposant nos classes autour de la moyenne des résultats de l'ensemble des îlots franciliens (Cf. *Carte 27, page 59*).

- **l'inconfort potentiel de l'habitat** via la densité d'occupation des logements (le risque de sur occupation) et la présence significative de logements majoritairement construits à la période d'après-guerre et avant les premières réglementations thermiques ; les constructions au cours de cette période recèlent statistiquement un plus grand nombre de logements à problème d'isolation (« passoires thermiques ») ; les attributs « AGE\_BATI\_MAJORITAIRE » et « DENSI\_POPMEN\_M2PLANCHER » de la couche IMU 2012 (Cf. *description page 30*) sont directement utilisés (Cf. *Cartes 28 et 29, page 60*).

- **la dégradation de la qualité de l'air extérieur** - via le dépassement du seuil de protection de la santé relatif à l'indicateur polluant Ozone l'année de la canicule de 2003 : le nombre de jour avec une moyenne glissante de 8h supérieure à 120 µg/m3 en 2003 (source : AIRPARIF).

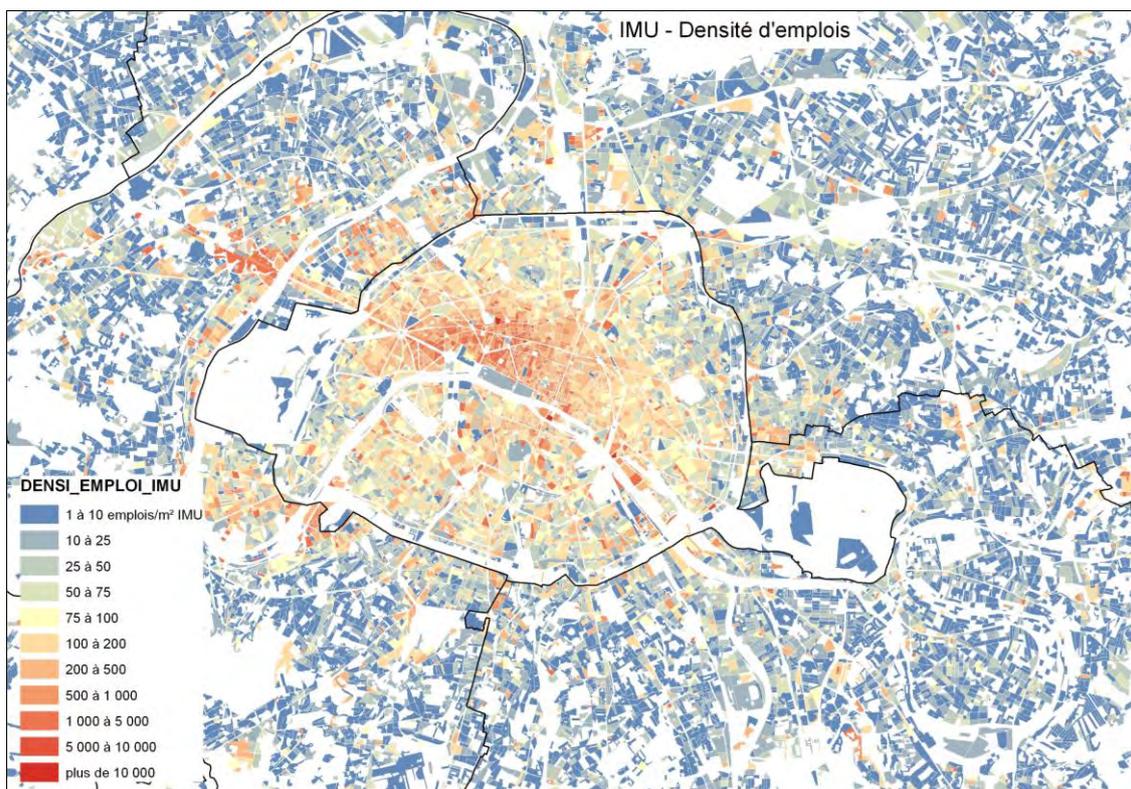
L'ozone de la basse atmosphère – celui que nous respirons - fragilise les organismes (incidences sur les poumons, les voies respiratoires, les yeux) et s'avère être un cofacteur de surmortalité en période de canicule. L'ozone est un polluant secondaire dont la formation est liée à l'ensoleillement et la température de l'air, à l'émission de polluants précurseurs comme les Composés organiques volatils (COV) et les Oxydes d'azote (NOx) ; il est tributaire aussi du déplacement des masses d'air. Les concentrations peuvent être plus basses dans les centres urbains que dans les zones périurbaines et rurales environnantes, plus particulièrement lors des jours ensoleillés d'été.

Les données territorialisées de l'année 2003 montrent bien que le nombre de jours dépassant le seuil de protection de la santé est moins important à Paris (entre 28 et 38 jours) qu'en zone rurale (jusqu'à 68 jours dans le sud de la région) même si, comparé à la valeur cible appliquée aujourd'hui, la valeur cible (plus de 25 jours par an) n'était déjà pas respectée cette année-là pour Paris.

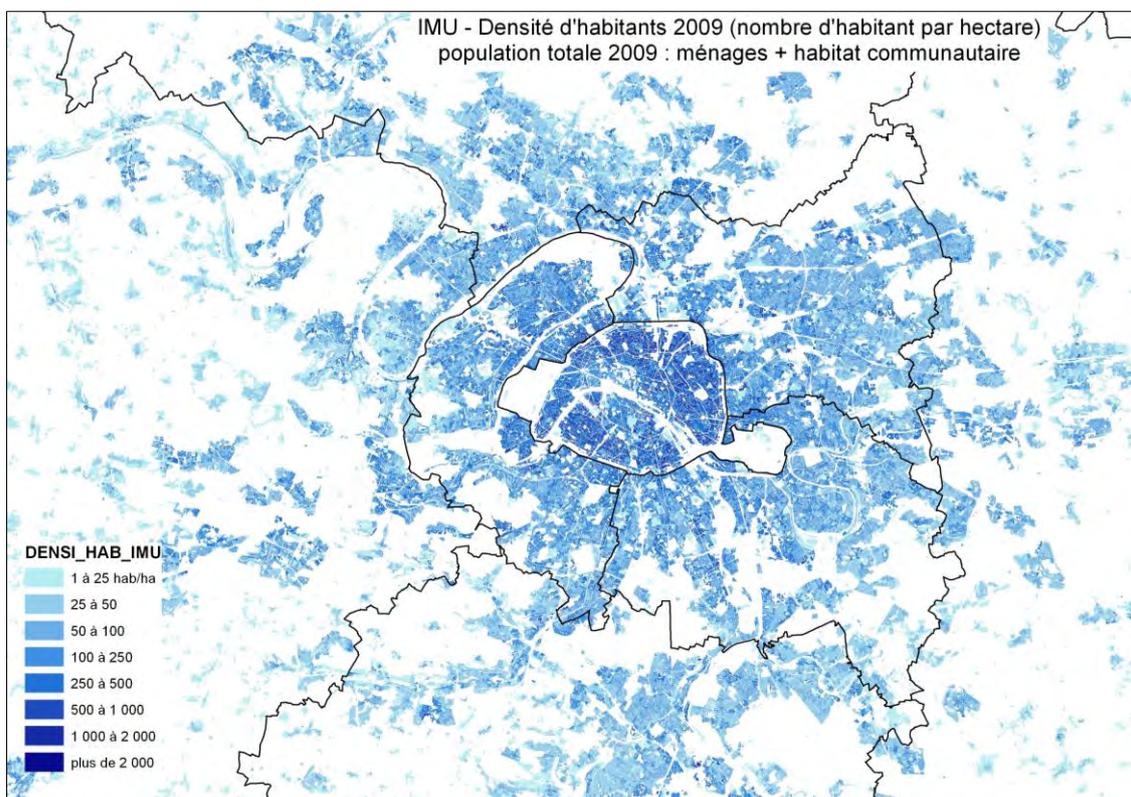
Il n'a pas été possible de disposer des données pour la seule période de canicule d'août 2003. Néanmoins, les données annuelles témoignent bien du contexte de chaleur exceptionnelle de l'été 2003 du fait du caractère principalement estival de ce polluant. La répartition spatiale des valeurs de l'indicateur annuel d'ozone a donc été croisée avec la couche géographique des îlots.

Nous avons choisi d'exprimer *in fine* la distribution des îlots selon 4 classes de nombre de jours de dépassement du seuil Ozone afin d'avoir une représentation territorialement différenciée de la pollution de l'air contextuelle qui renforce la sensibilité aux effets de la température lors d'une vague de chaleur du fait de la dégradation aussi de la qualité de l'air (Cf. *Carte 30, page 61*).

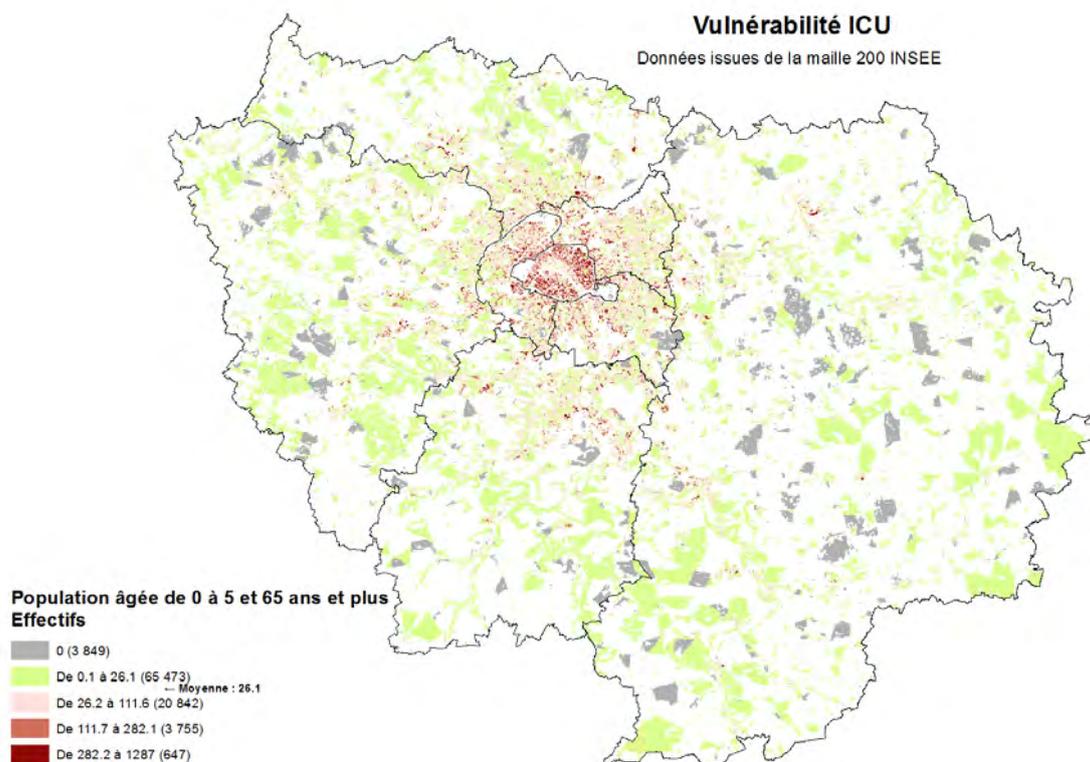
Carte 24 : Représentation de l'attribut « *DENSI\_EMPLOI\_IMU* » à l'îlot (IMU 2012 - IAU îdF)



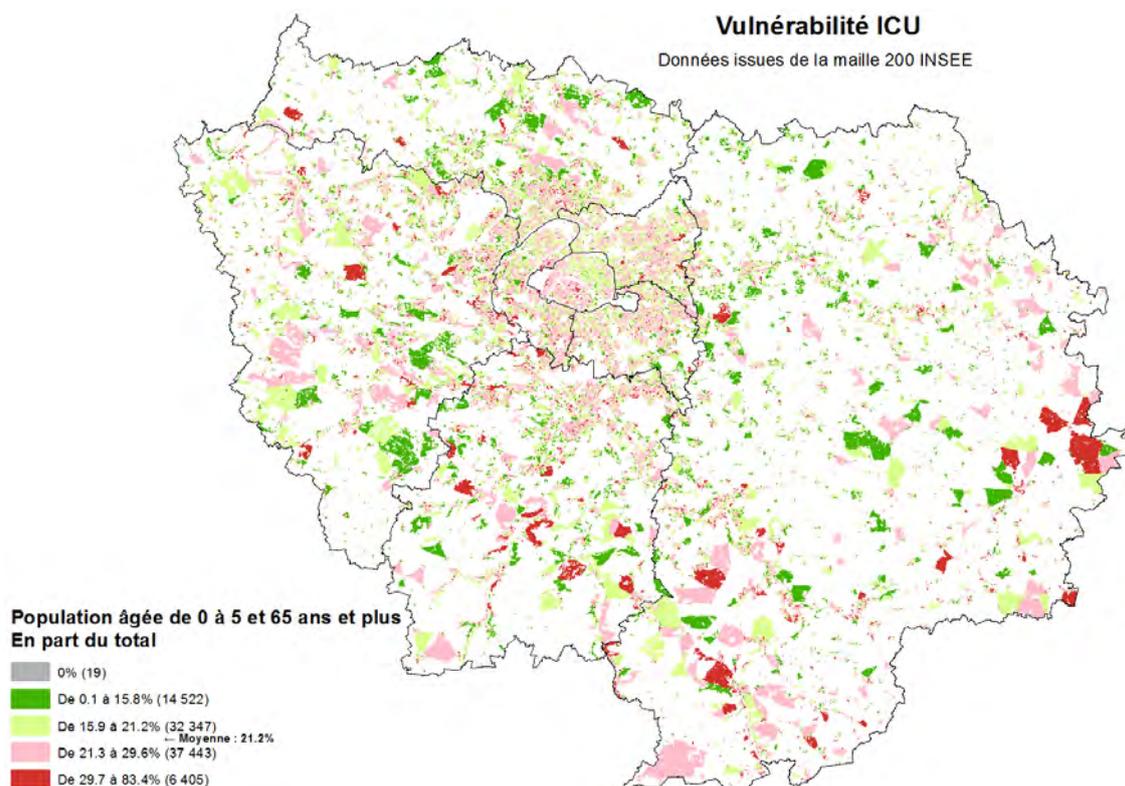
Carte 25 : Représentation de l'attribut « *DENSI\_HAB\_IMU* » à l'îlot (IMU 2012 - IAU îdF)



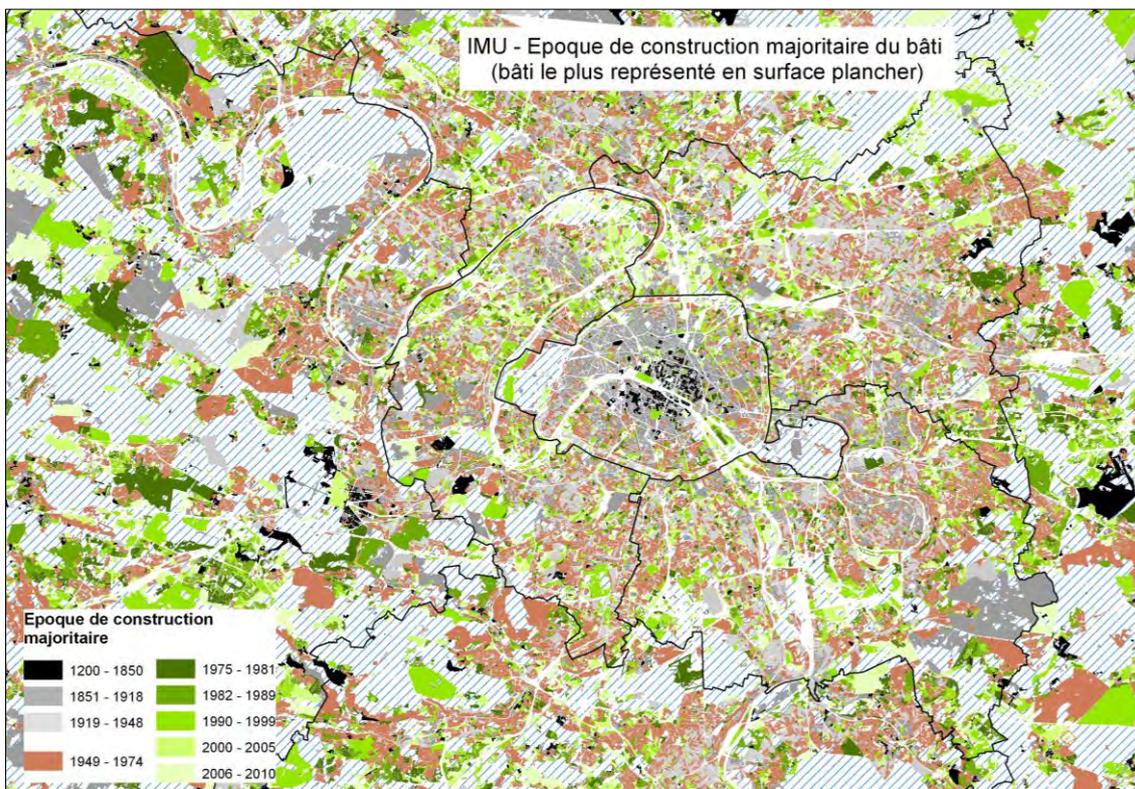
Carte 26 : Représentation des effectifs de personnes sensibles à l'îlot (IAU îdF)



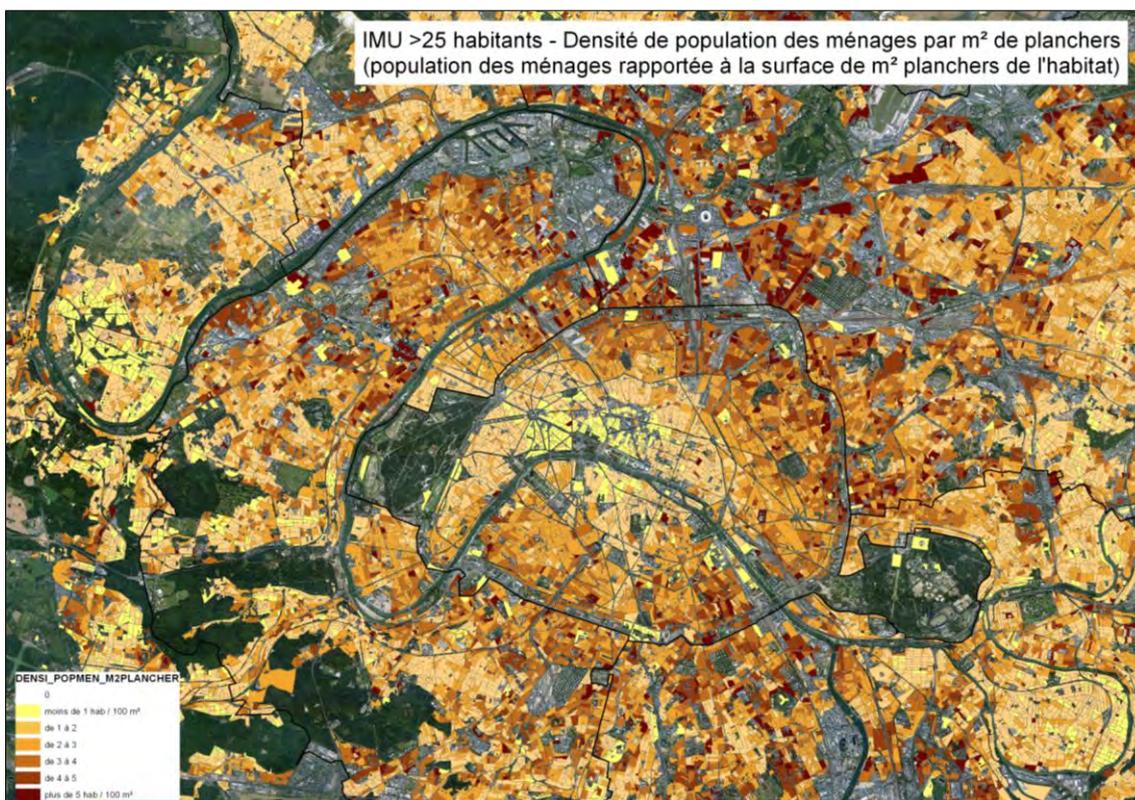
Carte 27 : Représentation de l'attribut « PART\_0\_5\_ET\_65\_PLUS » à l'îlot – part des effectifs de personnes sensibles par rapport à la population totale de l'îlot (IAU îdF)



Carte 28 : Représentation de l'époque de construction majoritaire des bâtiments d'un îlot via l'exploitation des données MAJIC (IMU 2012 - IAU îdF)

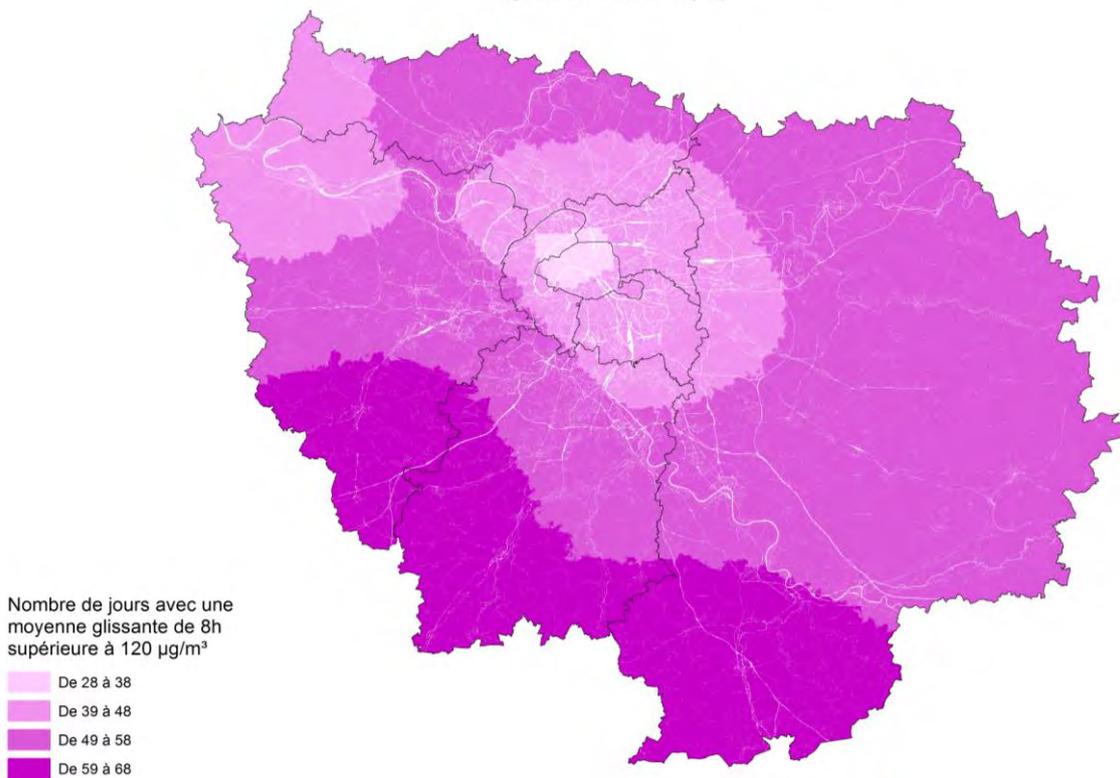


Carte 29 : Représentation de la sur-occupation de logements à l'îlot (IMU 2012 - IAU îdF)



### Dégradation de la qualité de l'air en 2003

Exposition à l'Ozone (O<sub>3</sub>)



Source : traitement SIG d'après les données d'Airparif, indicateur ozone 2003 – IAU îdF / 2015

Pour chacune des propriétés de sensibilité retenues, nous avons fixé des seuils pour des niveaux de sensibilité à la chaleur potentielle, pour le jour et pour la nuit. Il en résulte l'attribution pour un îlot donné, pour chacune des 2 périodes, d'une note intermédiaire par propriété (Cf. [Tableau 15, page suivante](#)).

Pour chaque îlot, nous faisons *in fine* la somme des notes obtenues propriété par propriété, pour définir une note globale de sensibilité : plus le chiffre est bas, moins l'îlot a un caractère sensible ; inversement, plus la note est élevée, plus la sensibilité de l'îlot est marquée. Pour la période diurne, la gamme de résultats s'étant de +1 à +22 ; pour la période nocturne, de +1 à +24.

Pour analyser et cartographier les résultats de la sensibilité des biens et des personnes à la chaleur urbaine et mieux mettre en avant les contrastes territoriaux, nous proposons le regroupement des valeurs dans les trois classes suivantes :

- de 1 à 7, faible sensibilité potentielle ;
- de 8 à 14, moyenne sensibilité potentielle ;
- de 15 à 22, le jour, et de 15 à 24, la nuit, forte sensibilité potentielle.

#### Résultats cartographiques et statistiques

L'analyse de la sensibilité des biens et des personnes à la chaleur urbaine révèle que **plus ou moins un tiers des îlots franciliens** respectivement le jour (29,5%) et la nuit (34%) est sensible (sensibilité moyenne ou forte) à la chaleur urbaine selon les critères proposés (Cf. [Tableaux 16 et 17, page 63](#)).

Ces ordres de grandeur sont à rapprocher de ceux obtenus pour le nombre d'îlot soumis à l'aléa effet d'ICU : le jour, entre 65% (effet d'ICU faible à fort) et 12% (effet d'ICU moyen à fort), et la nuit, entre 42% (effet d'ICU faible à fort) et 11% (effet d'ICU moyen à fort).

Tableau 15 : Seuils et notations par propriété pour qualifier la sensibilité (IAU îdF)

SYNTHESE SENSIBILITE de JOUR			Définition des seuils - JOUR				Notes associées- JOUR				+ condition
Type de propriété	Attribut		classe1	classe2	classe3	classe4	note1	note2	note3	note4	
Sensibilité à l'effet ICU	DENSI_EMPLOI_MU	Densité emploi	<=0,0001	<=0,0010	<=0,0050	>0,0050	0	1	2	3	
	DENSI_HAB_IMU	Densité habitant	nulle	>0 et <0,0025	>=0,0025 & <0,025	>=0,025	0	1	2	3	NB_HAB_IMU > 0
	AGE_BATI_MAJORITAIRE	Age bâti majoritaire				1949-1974	0	0	0	3	CES>0,005
	DENSI_POPMENSIBLE	Densité d'occupation des logements	0	>0 à 0,03	>0,03 à 0,05	>0,05	0	1	3	5	CES>0,005
	Maison_Retraite	Maison de retraite	0	0	0	1	0	0	0	3	
	PART_0_5_ET_65_PLUS	Part de population sensible	0	>0 à <=20	>20 à 30	>30	0	1	4	6	CES>0,005
Dégradation de la qualité de l'air 2003	Dep_ozone	Dégradation ozone	28 à 38	39 à 48	49 à 58	59 à 68	1	2	3	4	
non/peu concerné    faible    moyen    fort											
SYNTHESE SENSIBILITE de NUIT			Définition des seuils - NUIT				Notes associées- NUIT				+ condition
Type de propriété	Attribut		classe1	classe2	classe3	classe4	note1	note2	note3	note4	
Sensibilité à l'effet ICU	DENSI_EMPLOI_MU	Densité emploi									
	DENSI_HAB_IMU	Densité habitant	nulle	>0 et <0,0025	>=0,0025 & <0,025	>=0,025	0	2	4	6	NB_HAB_IMU > 0
	AGE_BATI_MAJORITAIRE	Age bâti majoritaire				1949-1974				3	CES>0,005
	DENSI_POPMENSIBLE	Densité d'occupation des logements	0	>0 à 0,03	>0,03 à 0,05	>0,05	0	1	3	5	CES>0,005
	Maison_Retraite	Maison de retraite	0	0	0	1				3	
	PART_0_5_ET_65_PLUS	Part de population sensible	0	>0 à <=20	>20 à 30	>30	0	1	4	6	CES>0,005
Dégradation de la qualité de l'air 2003	Dep_ozone	Dégradation ozone	28 à 38	39 à 48	49 à 58	59 à 68	1	2	3	4	

Tableau 16 : Nombre d'îlots par hauteur de sensibilité à la chaleur en Ile-de-France (IAU îdF)

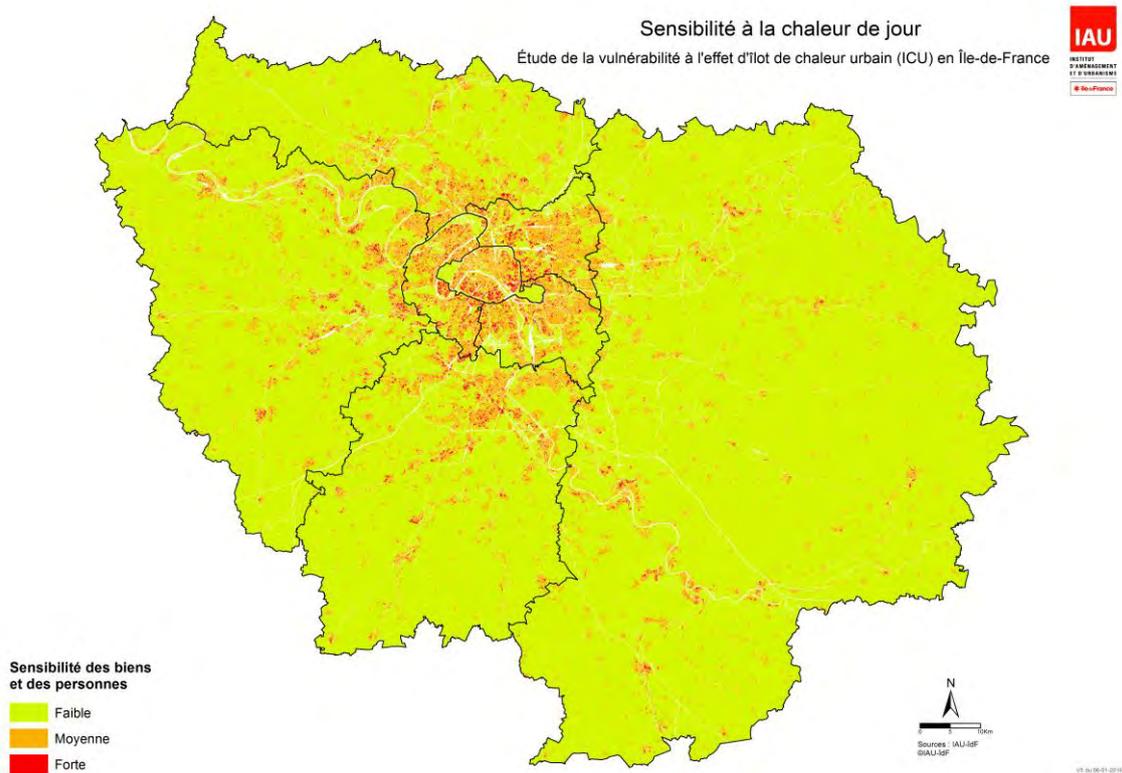
Nombre d'îlots		Sensibilité à la chaleur le jour			Sensibilité à la chaleur la nuit		
Niveau de sensibilité	Regroupement	Notes	Nb d'IMU	%	Notes	Nb d'IMU	%
Faible	Classe 1	de 1 à 7	167 335	70,6%	de 1 à 7	156 456	66,0%
Moyenne	Classe 2	de 8 à 14	63 687	26,9%	de 8 à 14	68 286	28,8%
Forte	Classe 3	de 15 à 22	6 139	2,6%	de 15 à 24	12 419	5,2%
<b>Total</b>			<b>237 161</b>	<b>100%</b>		<b>237 161</b>	<b>100%</b>

Tableau 17 : Superficie des îlots par hauteur de sensibilité à la chaleur en Ile-de-France (IAU îdF)

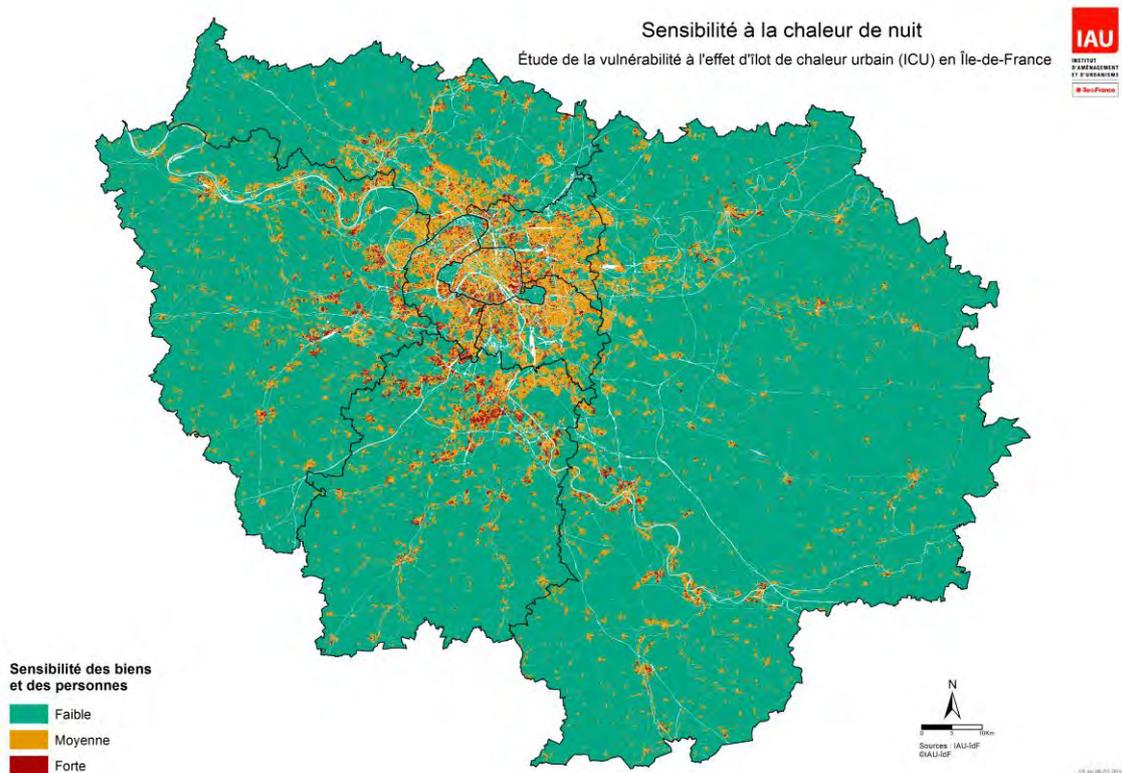
Surface d'îlots en km²		Sensibilité à la chaleur le jour			Sensibilité à la chaleur la nuit		
Niveau de sensibilité	Regroupement	Notes	km² d'IMU	%	Notes	km² d'IMU	%
Faible	Classe 1	de 1 à 7	10 345	90,0%	de 1 à 7	10 174	88,5%
Moyenne	Classe 2	de 8 à 14	1 050	9,1%	de 8 à 14	1 119	9,7%
Forte	Classe 3	de 15 à 22	103	0,9%	de 15 à 24	205	1,8%
<b>Total</b>			<b>11 498</b>	<b>100%</b>		<b>11 498</b>	<b>100%</b>

Nous observons que la nuit, les îlots avec un niveau de sensibilité forte sont deux fois plus importants tant en nombre qu'en surface correspondante que le jour. Cet écart est en partie lié au critère de densité de population résidante (pondération double, la nuit) ; la prise en compte uniquement pour le jour du critère de densité d'emplois ne comblant pas globalement cette différence. Les cartes régionales de la sensibilité des biens et des personnes à la chaleur pour le jour et pour la nuit sont présentées page suivante (Cf. Cartes 31 et 32).

Carte 31 : Sensibilité des biens et des personnes à l'îlot, le jour (IAU îdF)



Carte 32 : Sensibilité des biens et des personnes à l'îlot, la nuit (IAU îdF)



## 2.3 - Synthèse Jour/Nuit des difficultés à faire face

Comme pour les indicateurs de sensibilité, le choix des indicateurs relatifs à la difficulté à faire face (ou son pendant positif : la capacité à faire face) résulte d'un compromis entre ceux cités dans la littérature (Cf. *Chapitre 1 [2.2], pages 14 à 20*) et la disponibilité des données géographiques à l'échelle de travail proposée. Nous proposons d'ajouter aussi l'une des recommandations du plan canicule : aller chercher la fraîcheur d'un espace vert à proximité de son logement lorsque que ce dernier ne peut être rafraîchi correctement afin de permettre à l'organisme de retomber en température quelques heures dans la journée ou la soirée.

Par cette approche simplifiée, il s'agit surtout d'attirer l'attention sur différents registres d'actions pour faire face à la canicule – en prévention ou en réaction – qui peuvent être mobilisés ou non selon les ressources économiques, collectives et territoriales des populations dans leur lieu de vie.

Les indicateurs sont définis pour chaque IMU par croisements géographiques (Cf. *Tableau 18, page suivante*) ; nous avons retenu ainsi les critères suivants :

- **Le déficit de ressources économiques qui rend difficile l'action préventive** appréhendé par l'indicateur du nombre de ménages dont le revenu fiscal se situe en-dessous du seuil de bas revenu en 2010 défini par l'Insee<sup>23</sup>. Les populations fragiles économiquement rencontrent en effet des difficultés pour l'accès aux soins et pour entreprendre des travaux d'entretien ou d'amélioration de leur logement (isolation, ventilation, protections solaires...). Nous avons choisi de ne pas traiter les effectifs bruts de ménages à bas revenu (Cf. *Carte 33, page 66*) afin de ne pas surreprésenter le poids de population des îlots densément peuplés. Nous préférons qualifier les différences territoriales de proportion des ménages à bas revenu dans la population totale de l'îlot (attribut « Part\_bas\_revenus ») ; les classes proposées pour les pondérations sont définies autour de la valeur moyenne et des écarts types observés à partir des résultats de l'ensemble de l'échantillon des îlots franciliens (Cf. *Carte 34, page 66*).
- **Le déficit de ressources collectives via la difficulté à accéder aux soins**, en considérant, d'une part, l'accessibilité à une offre satisfaisante en médecins généralistes, élément essentiel de la capacité d'adaptation à l'effet d'îlot de chaleur urbain le jour ; la nuit, ce critère n'est pas considéré du fait de la fermeture des cabinets et dispensaires de médecins généralistes ; l'analyse de l'offre pour les secteurs d'habitat provient d'un traitement SIG de l'IAU (Département Habitat et Société) à partir des données de l'Urcam Ile-de-France 2006 ; elle aboutit à la définition d'une typologie en 8 classes des mailles (250m x 250m) de type bâti habitat (Cf. *Carte 35, page 67*) à partir de laquelle l'information des mailles avec une offre jugée satisfaisante (les 3 classes conjuguant une offre relativement bonne et une proximité) et son pendant – le déficit en médecine généraliste – a été rapportée aux IMU (Cf. *Carte 36, page 67*) ; d'autre part, l'existence d'une proximité territoriale à un service d'urgence hospitalière, critère considéré tant pour le jour que pour la nuit, en considérant que jusqu'à 5 km, un tel service pouvait être accessible (Cf. *Carte 37, page 68*), et qu'inversement, cette ressource était peu mobilisable. La donnée source est la base équipements de l'IAU : les hôpitaux en 2012.
- **La non-proximité à un espace de fraîcheur arboré** dans l'environnement immédiat de son habitat, qu'il soit privé au sein même de l'îlot (cours arborées, jardins de cœur d'îlot...) en considérant l'attribut « IV\_haute » de la couche IMU 2012, tiré d'un traitement de l'indice de végétation pour évaluer la présence d'arbre au sein de l'IMU (Cf. *Carte 16, page 44*) ; l'absence significative d'arbre et graduée – moins d'un tiers et moins de 10% de la surface de l'îlot - est considérée comme une difficulté potentielle pour faire face en cas de chaleur car elle prive potentiellement les populations habitant dans un logement surchauffé d'une ressource de fraîcheur à proximité immédiate ; ou public en dehors de l'îlot via la carence à un espace vert ouvert au public ; ce dernier peut être fermé la nuit, en revanche, certaines communes favorisent exceptionnellement ou non leur fréquentation la nuit pour notamment permettre aux populations d'affronter une période de canicule ; avoir une forme d'échappatoire de proximité à un appartement surchauffé – la fraîcheur des parcs boisés, les locaux publics climatisés comme les musées ou les cinémas...- fait partie des éléments à considérer comme le soulignent les recommandations du Plan canicule (Cf. *Carte 38, page 68*).

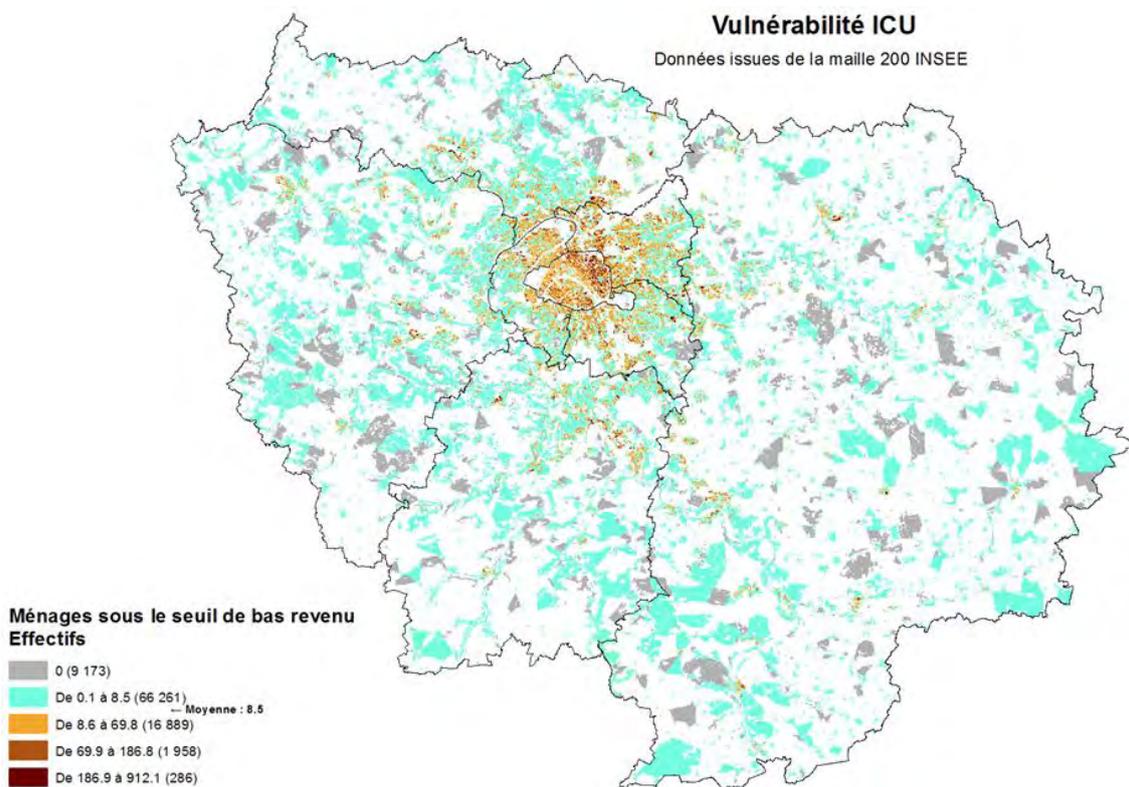
<sup>23</sup> Données carroyées 200 m de l'INSEE : le taux de bas revenus déclarés au seuil de 60 % correspond à la part de la population sous le seuil de 60 % du revenu déclaré médian par Unité de Consommation calculé au niveau France métropolitaine.

**Tableau 18 : Principe d'élaboration à l'îlot IMU des indicateurs géographiques de difficulté à faire face grâce aux fonctionnalités du SIG (IAU îdF)**

Nom du champ	Format	Critères de sélection
Part_bas_revenus	3 classes : 0, 1 ou 2  (selon le critère)	Rapport entre le nombre de ménages en-dessous du seuil de bas revenus et le nombre total de ménages :  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Valeur 2 : Taux supérieur à 33,4% : part de ménages à bas revenu très supérieure à la moyenne ;</li> <li>• Valeur 1 Taux entre 12,4% et 33,4% : part de ménages à bas revenu au-dessus de la moyenne.</li> </ul>
Proxi_Medecin	0 ou 1  (1 quand critère vérifié)	Sur les 8 classes typologiques d'accessibilité à l'offre en médecins généralistes en 2006 de la couche de maille 250m x 250m de type bâti habitat, nous ne retenons que les 3 plus "denses" : celles qui allient proximité à au moins une offre qu'on peut qualifier de "bonne" ; les offres qui ne sont pas au moins "bonnes" ou qui ne sont pas à proximité définissent ainsi le critère de déficit.  Valeur 1 : l'IMU appartient à l'une des 3 classes d'accessibilité à l'offre en médecins généralistes définies comme "bonne" et "de proximité", sinon valeur 0.
Proxi_Urgences	0 ou 1 (1 quand critère vérifié)	Part de la surface > 50% de l'IMU recouverte par le buffer de 5 km autour des hôpitaux disposant d'un service d'urgences en 2012 (Base Equipements de l'IAU : Hôpitaux, 2012).
Proxi_EV_Public	3 classes : 0, 1 ou 2  (selon le critère)	0 = Le buffer (zone tampon) d'accessibilité piétonne aux espaces verts ouverts au public ne croise pas du tout l'IMU ; 1 = Le buffer d'accessibilité piétonne aux espaces verts ouverts au public recouvre entre 0,1% et 50% de l'IMU (>0% & <=50%) ; 2 = Le buffer d'accessibilité piétonne aux espaces verts ouverts au public recouvre entre 50 et 100% de l'IMU (>50%).  Pour les espaces surfaciques dès 1 ha, les buffers ont été établis de la façon suivante : <ul style="list-style-type: none"> <li>• 250 mètres pour un espace vert de 1 à 10 ha ;</li> <li>• 500 mètres pour un espace vert de 10 à 30 ha ;</li> <li>• 1000 mètres pour un espace vert de plus de 30 ha.</li> </ul> Pour les espaces linéaires de plus de 300 mètres, les buffers ont été établis de la façon suivante : <ul style="list-style-type: none"> <li>• 300 mètres pour les espaces de 300 m à 1 km ;</li> <li>• 600 mètres pour les espaces de 1 à 5 km ;</li> <li>• 1200 mètres pour les espaces de plus de 5 km.</li> </ul> Ces zones ont été "corrigées" en fonction des obstacles à l'accessibilité piétonne : cours d'eau, autoroutes, voies ferrées, aéroports/aérodromes, entrées de parc.
IV_haute	3 classes : 0, 1 ou 2  (selon le critère)	Champ "IV_haute" de la couche IMU 2012 traduisant la présence/carence en végétation arborée au sein de l'îlot. Valeur 1 pour la carence moyenne en surface arborée dans l'îlot (entre 10 et 33%) ; Valeur 2 pour la carence forte (< 10%)

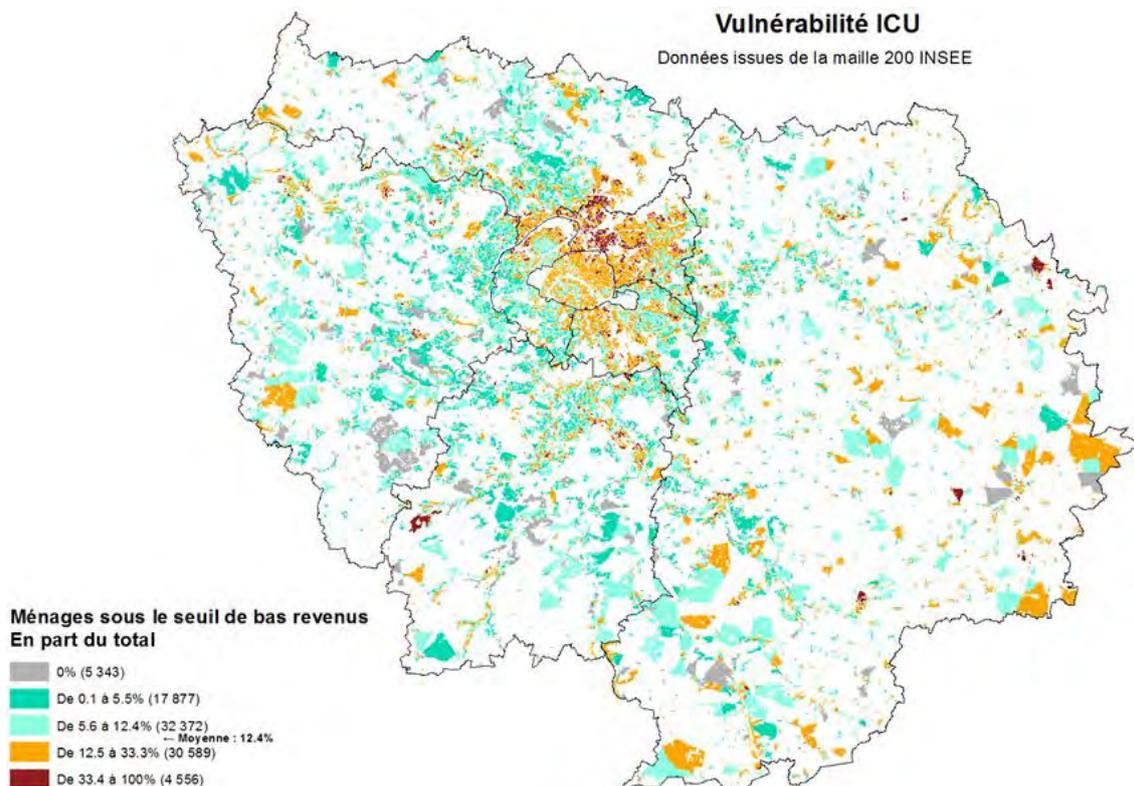
Pour chacune des propriétés de difficulté à faire face retenues, nous définissons des classes de niveau de difficulté potentielle en fonction de seuils qui permettent de définir des pondérations, pour le jour et pour la nuit. Il en résulte l'attribution pour un îlot donnée, pour chacune des 2 périodes, d'une note intermédiaire par propriété (Cf. [Tableau 19, page 69](#)). Cette approche à dire d'experts ne repose pas sur des seuils scientifiques compte-tenu du type d'indicateurs utilisé mais elle a le mérite de souligner les éventuelles disparités territoriales significatives.

Carte 33 : Représentation du nombre de ménages à bas revenu à l'îlot (IAU îdF)



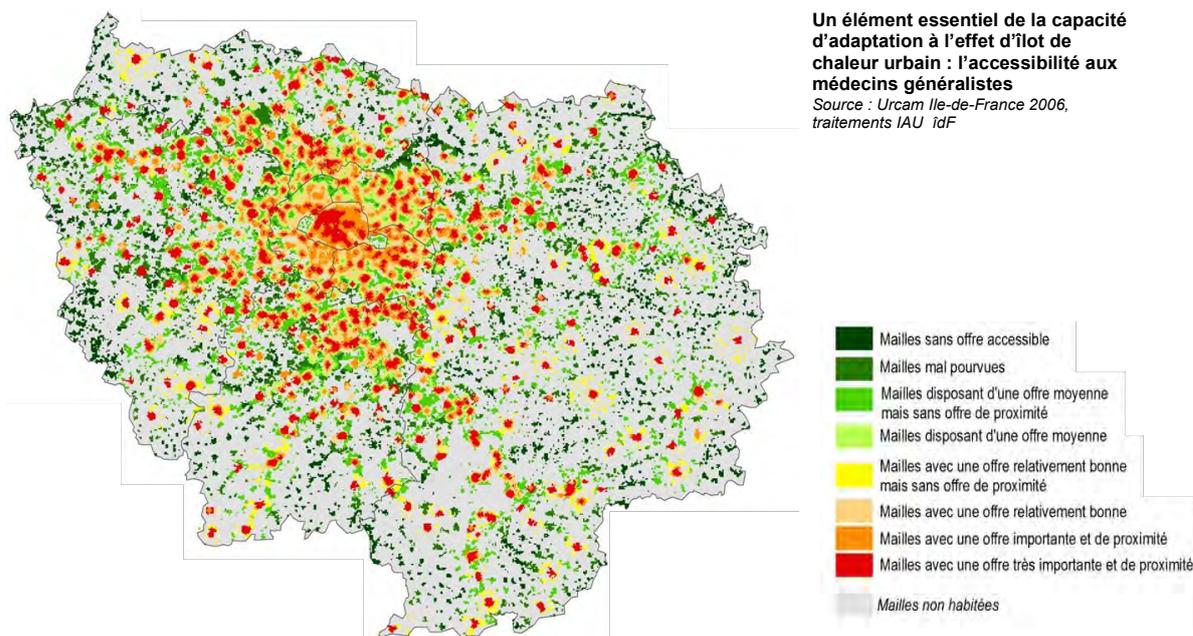
Source : traitement SIG d'après les données carryées – 200m de l'Insee 2010 – IAU îdF / 2016

Carte 34 : Représentation de l'attribut « PART\_BAS-REVENU » à l'îlot (IAU îdF)

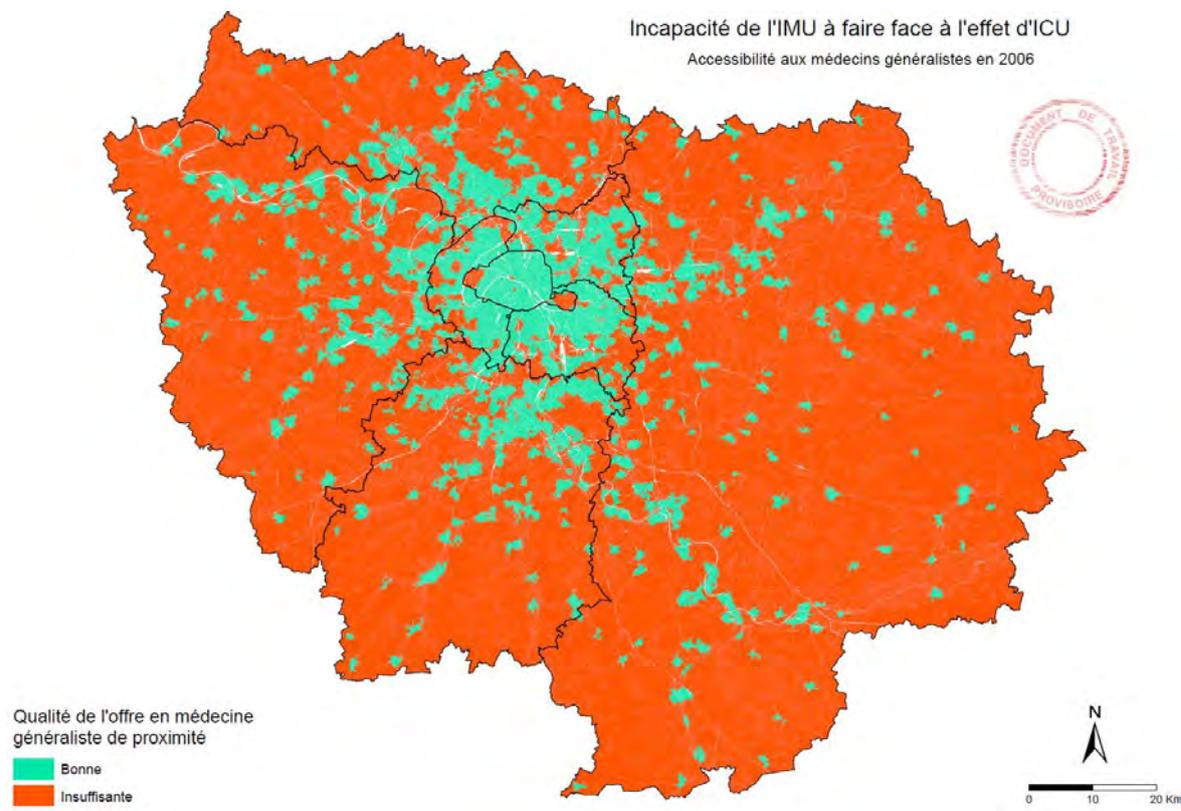


Source : traitement SIG d'après les données carryées – 200m de l'Insee 2010 – IAU îdF / 2016

Carte 35 : Typologie des mailles habitées selon leur accessibilité à l'offre en médecins généralistes

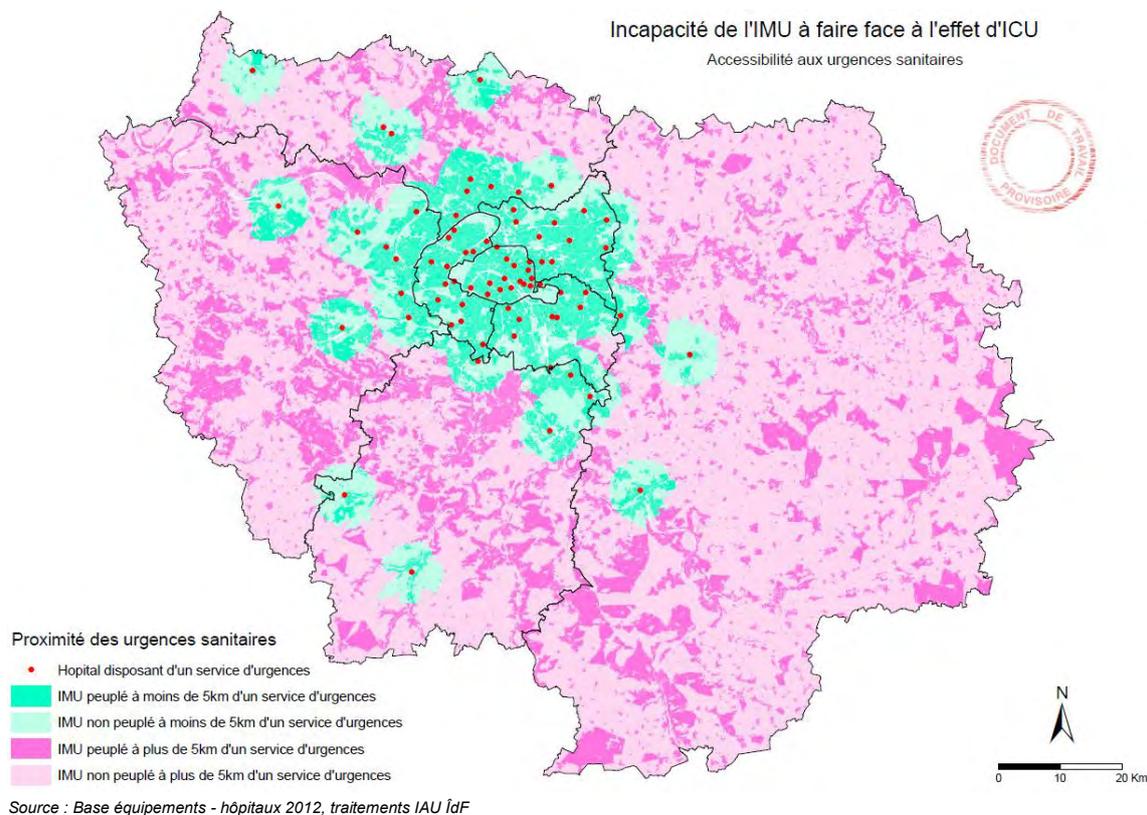


Carte 36 : Représentation de l'attribut « Proxi\_medicin » ; attribution à l'îlot des valeurs de qualité ou insuffisance de l'offre en médecins généralistes en 2006 (IAU îdF)

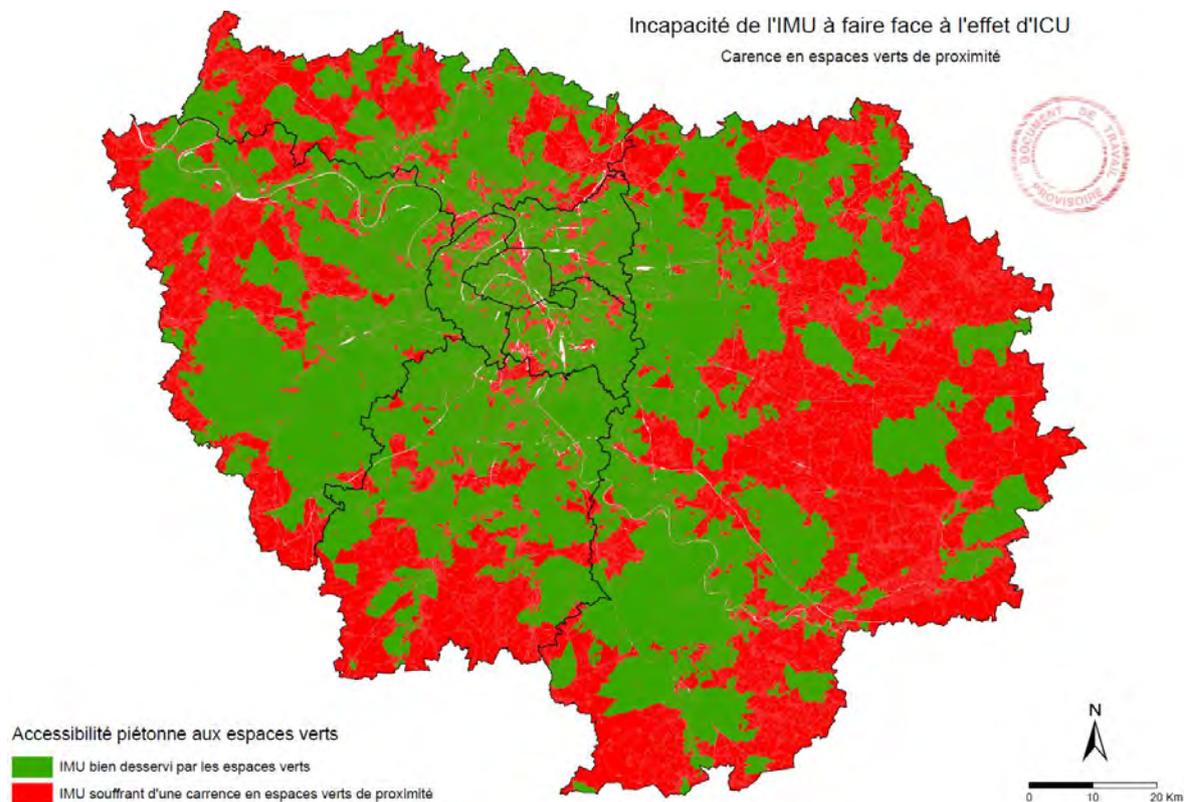


Source : Urcam Ile-de-France 2006, traitements IAU îdF

**Carte 37 : Accessibilité territoriale aux services d'urgences hospitalières en 2012 pour la définition de l'attribut « Proxi\_urgences » (IAU îdF)**



**Carte 38 : Représentation de l'attribut « Proxi\_EV\_public » ; accessibilité piétonne aux espaces verts ouverts au public (IAU îdF)**



**Tableau 19 : Seuils et notations par propriété pour qualifier la difficulté potentielle à faire face, le jour et la nuit (IAU idF)**

SYNTHESE DIFFICULTÉ A FAIRE FACE LE JOUR			Définition des seuils - JOUR				Notes associées- JOUR				+ condition
Type de propriété	Attribut		classe1	classe2	classe3	classe4	note1	note2	note3	note4	
Difficulté à faire face	Proxi_Urgences	Proxi_Urgences	1	1	1	0	0	0	0	1	
	Proxi_EV_Public	Proxi_EV_Public	2	2	1	0	0	0	1	2	
	IV_haute_3	IV_haute	66 à 100	33 à <66	10 à <33	<=10	0	0	1	2	
	Proxi_Medecin	Proxi_Medecin	1	1	1	0	0	0	0	2	CES>0,005
	PART_BAS_REVENUS	Part_Bas_Revenus	0	<=12,4%	<=33,4	>33,4	0	0	3	6	CES>0,005 NB_MENAGES >= 3
							non/peu concerné	faible	moyen	fort	
SYNTHESE DIFFICULTÉ A FAIRE FACE LA NUIT			Définition des seuils - NUIT				Notes associées - NUIT				+ condition
Type de propriété	Attribut		classe1	classe2	classe3	classe4	note1	note2	note3	note4	
Difficulté à faire face	Proxi_Urgences	Proxi_Urgences	1	1	1	0	0	0	0	1	
	Proxi_EV_Public	Proxi_EV_Public	2	2	1	0	0	0	1	2	
	IV_haute_3	IV_haute	66 à 100	33 à <66	10 à <33	<=10	0	0	1	2	
	Proxi_Medecin	Proxi_Medecin									
	PART_BAS_REVENUS	Part_Bas_Revenus	0	<=12,4%	<=33,4	>33,4	0	0	3	6	CES>0,005 NB_MENAGES >= 3

Pour chaque îlot, nous faisons *in fine* la somme des notes obtenues propriété par propriété, pour définir une note globale de difficulté à faire face : plus le chiffre est bas, plus la population de l'îlot est en capacité à faire face à une vague de chaleur, en prévention ou en réaction. Inversement, plus la note est élevée, moins les personnes de l'îlot sont en capacité d'affronter la vague de chaleur. Pour la période diurne, la gamme de résultats s'étant de 0 à 13 ; et pour la période nocturne, de 1 à 11.

Pour analyser et cartographier les résultats de la difficulté à faire face à la chaleur urbaine et mettre en avant les contrastes territoriaux, nous proposons le regroupement des valeurs en classes :

- de 0 à 3, faible difficulté à faire face potentielle ;
- de 4 à 7, difficulté moyenne à faire face potentielle;
- de 8 à 11, le jour, et de 8 à 13, la nuit, forte difficulté à faire face potentielle.

### Résultats cartographiques et statistiques

L'analyse des difficultés à faire face à la chaleur urbaine révèle que la prise en compte du critère d'accessibilité de l'offre en médecins généralistes, critère considéré uniquement pour la période diurne, tend à accroître un peu le nombre d'îlots en difficulté moyenne ou forte le jour (Cf. [Tableau 20, page suivante](#)). Cette différence entre le jour et la nuit s'atténue toutefois lorsque nous apprécions les surfaces associées de ces îlots (Cf. [Tableau 21, page suivante](#)).

Si la classe moyenne de niveau de difficulté à faire face concerne près d'un îlot sur deux (avec une dominante du jour par rapport à la nuit, et de l'indication des surfaces associées par rapport au nombre d'îlots), en revanche, le nombre d'îlots classés en forte difficulté à faire face chute drastiquement et se rapproche des ordres de grandeur observés pour la classe la plus forte des deux autres composantes de vulnérabilité : aléa effet d'ICU et sensibilité.

Il faut garder à l'esprit que cet indicateur ne vaut que pour l'exercice de définition d'un potentiel d'action / réaction face la chaleur, qu'il n'est que la résultante d'un nombre limité de critères et qu'il ne prendra véritablement tout son sens qu'avec le croisement par rapport aux indicateurs d'aléa effet d'ICU et de la sensibilité des biens et des personnes.

Tableau 20 : Nombre d'îlots par niveau de difficulté à faire face en Ile-de-France (IAU îdF)

Nombre d'îlots		Difficulté à faire face le jour			Difficulté à faire face la nuit		
Niveau de difficulté à faire face	Regroupement	Notes	Nb d'IMU	%	Notes	Nb d'IMU	%
Faible	Classe 1	de 0 à 3	115 120	48,5%	de 0 à 3	132 386	55,8%
Moyenne	Classe 2	de 4 à 7	115 162	48,6%	de 4 à 7	99 882	42,1%
Forte	Classe 3	de 8 à 11	6 879	2,9%	de 8 à 13	4 893	2,1%
<b>Total</b>			<b>237 161</b>	100%		<b>237 161</b>	100%

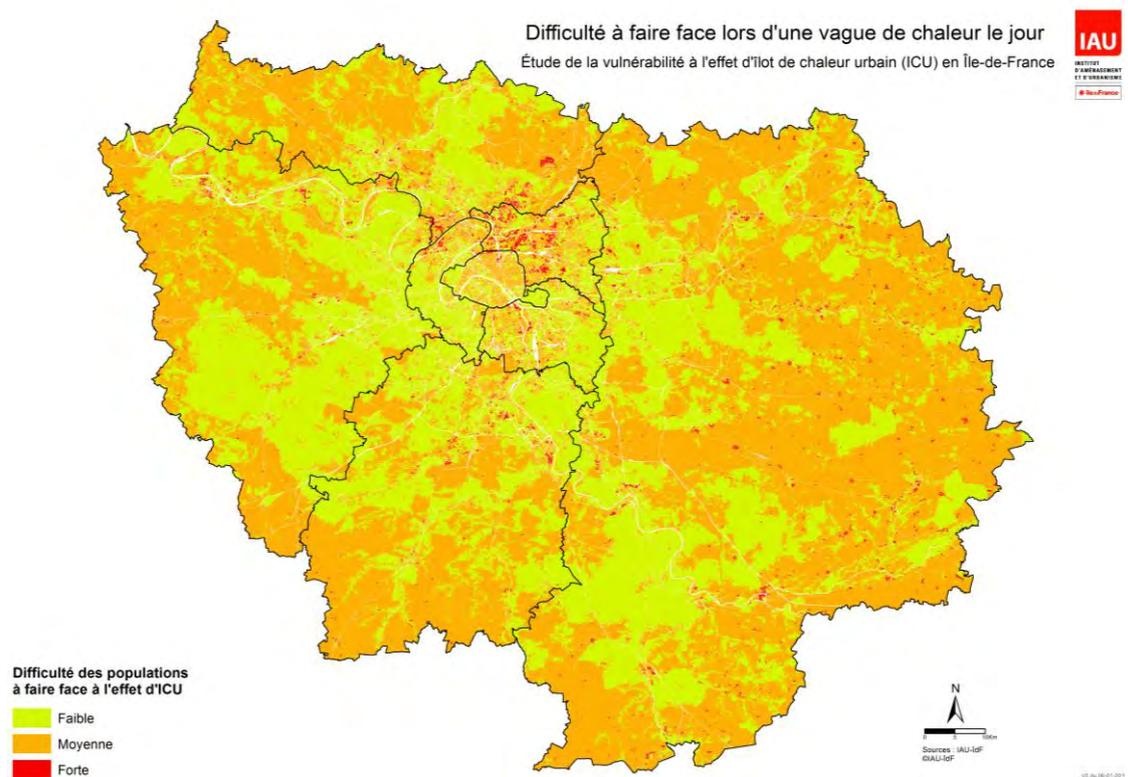
Tableau 21 : Superficie des îlots par niveau de difficulté à faire face en Ile-de-France (IAU îdF)

Surface d'îlots en km <sup>2</sup>		Difficulté à faire face le jour			Difficulté à faire face la nuit		
Niveau de difficulté à faire face	Regroupement	Notes	km <sup>2</sup> d'IMU	%	Notes	km <sup>2</sup> d'IMU	%
Faible	Classe 1	de 0 à 3	4 912	42,7%	de 0 à 3	5 230	45,5%
Moyenne	Classe 2	de 4 à 7	6 470	56,3%	de 4 à 7	6 189	53,8%
Forte	Classe 3	de 8 à 11	117	1,0%	de 8 à 13	79	0,7%
<b>Total</b>			<b>11 498</b>	100%		<b>11 498</b>	100%

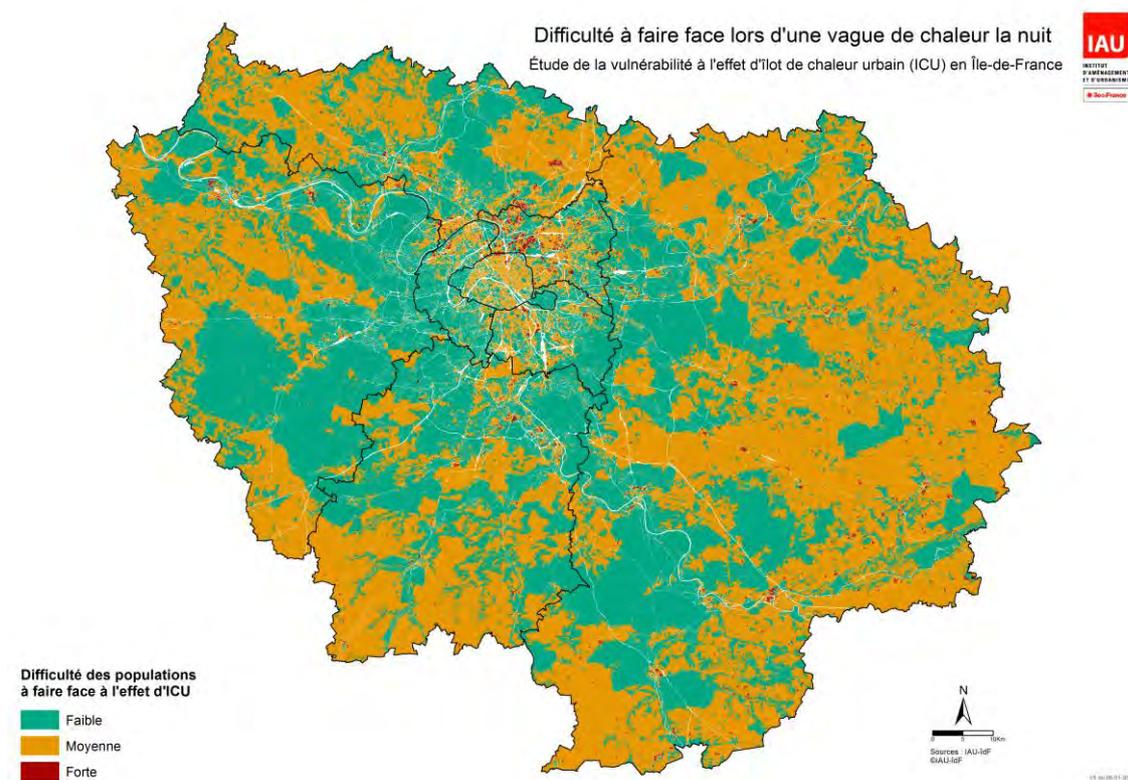
Les cartes régionales de la difficulté à faire face pour le jour et pour la nuit sont présentées page suivantes (Cf. [Cartes 38 et 39](#)). Elles montrent de fortes disparités tant au sein de l'agglomération urbaine que dans l'espace rural.

Le poids du critère de population à bas revenu semble assez déterminant pour expliquer les plus fortes disparités territoriales dans les résultats observés.

Carte 38 : Difficulté à faire face des populations lors une vague de chaleur à l'îlot, le jour (IAU îdF)



Carte 39 : Difficulté à faire face des populations lors une vague de chaleur à l'îlot, la nuit (IAU îdF)



### 3 - Vulnérabilité de l'Île-de-France à la chaleur urbaine

Le principe d'élaboration de l'indicateur synthétique de vulnérabilité (Cf. Figure 18, page 55) repose sur le croisement géographique à l'îlot des notes attributaires relatives aux trois composantes – aléa effet d'ICU, sensibilité, difficulté à faire face – dont les résultats ont été présentés dans les parties précédentes. Il résulte de l'addition des notes des niveaux de vulnérabilité en 9 classes, pour le jour, d'une part, et pour la nuit, d'autre part, exprimable cartographiquement.

Pour l'analyse des résultats de vulnérabilité, nous regroupons parfois ces 9 classes en 3 niveaux de vulnérabilité : faible, moyen, forte.

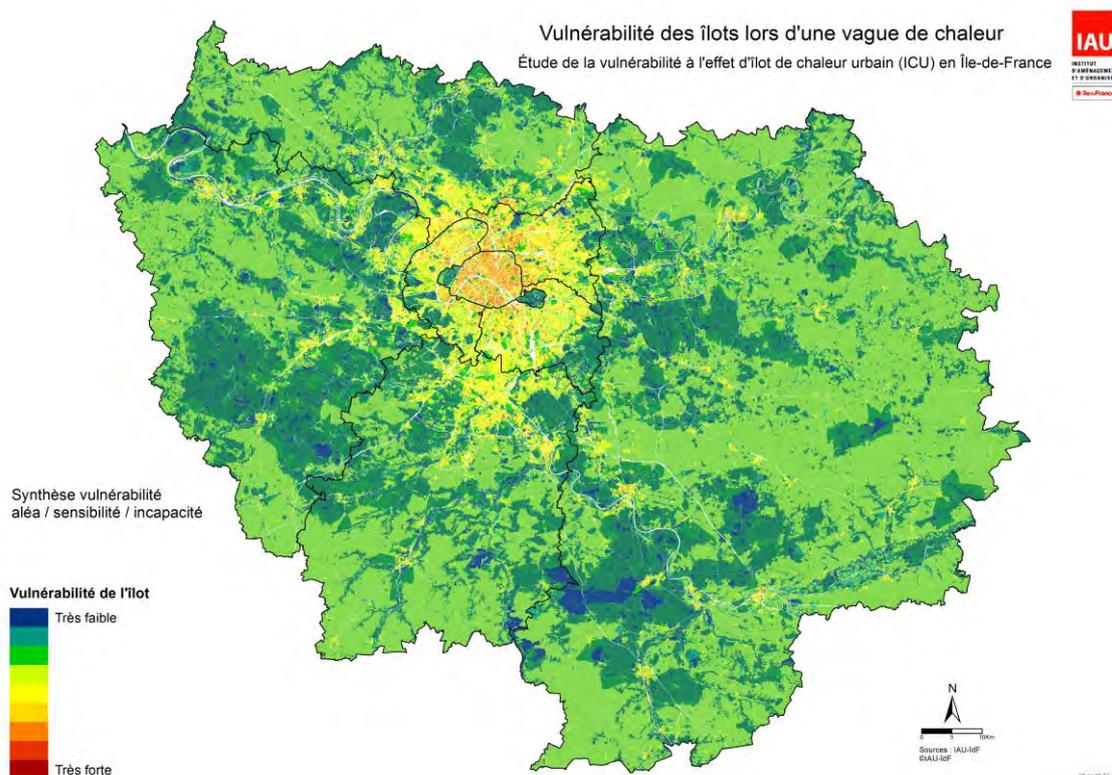
Après les résultats à l'îlot, nous proposons en outre plusieurs analyses aux échelons communaux et intercommunaux pour donner à voir d'autres lectures possibles des atouts (aménités) et faiblesses des territoires franciliens face à la chaleur urbaine.

#### 3.1 - Vulnérabilité à l'échelle de l'îlot

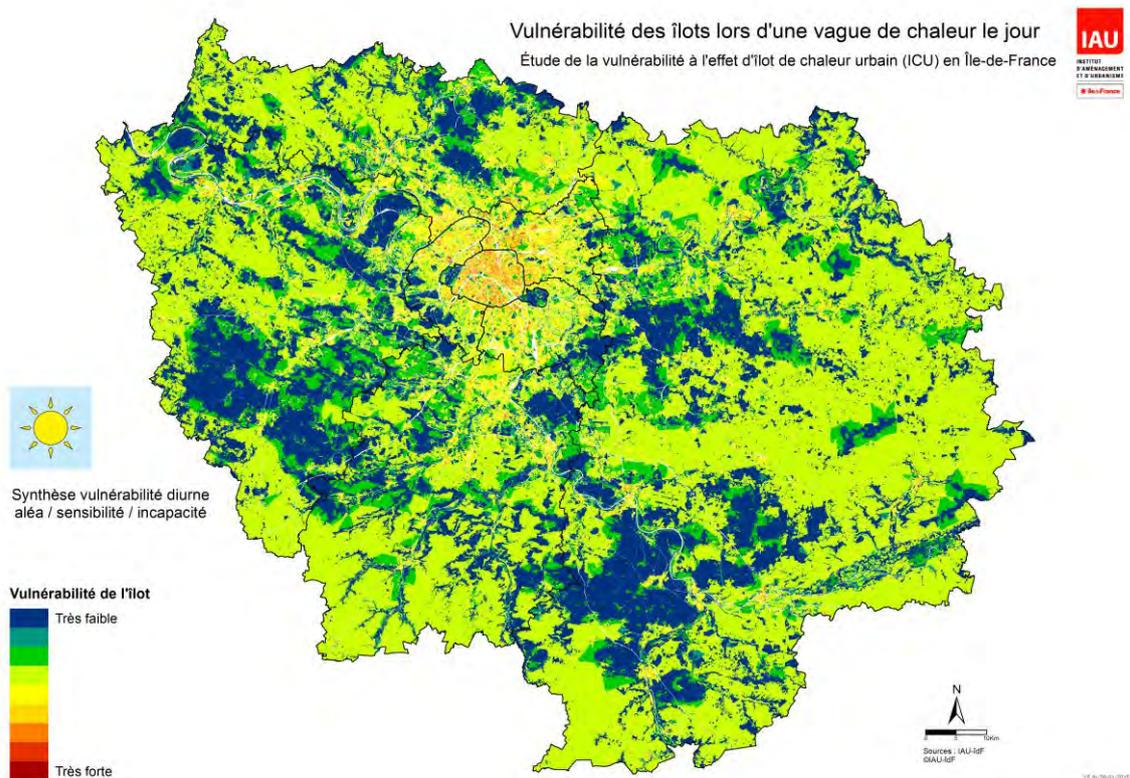
Les cartes régionales de vulnérabilité à l'îlot pour le jour et/ou pour la nuit sont présentées ci-dessous et page suivantes. La première carte est obtenue par superposition des résultats de vulnérabilités diurnes et nocturnes suivant un principe de transparence cartographique (Cf. Carte 40). Un pourcentage de transparence est appliqué pour l'affichage des résultats diurnes, qui superposés aux résultats nocturnes sans effet de transparence, permet de renforcer ou d'atténuer les résultats de vulnérabilité globale à la chaleur urbaine par impression visuelle. Ce mode de représentation par superposition traduit l'effet de cumul en respectant le principe de primauté accordé aux résultats de vulnérabilité la nuit (aucun pourcentage de transparence) ; la limitation du refroidissement nocturne des îlots urbains par effet d'ICU qui favorise le maintien d'un stress thermique pour les organismes étant l'enjeu de santé publique prépondérant.

La vulnérabilité de jour (Cf. Carte 41) et celle de nuit (Cf. Carte 42) rendent compte de disparités différentes, entre les niveaux les plus faibles (distributions très différentes) et ceux les plus élevés.

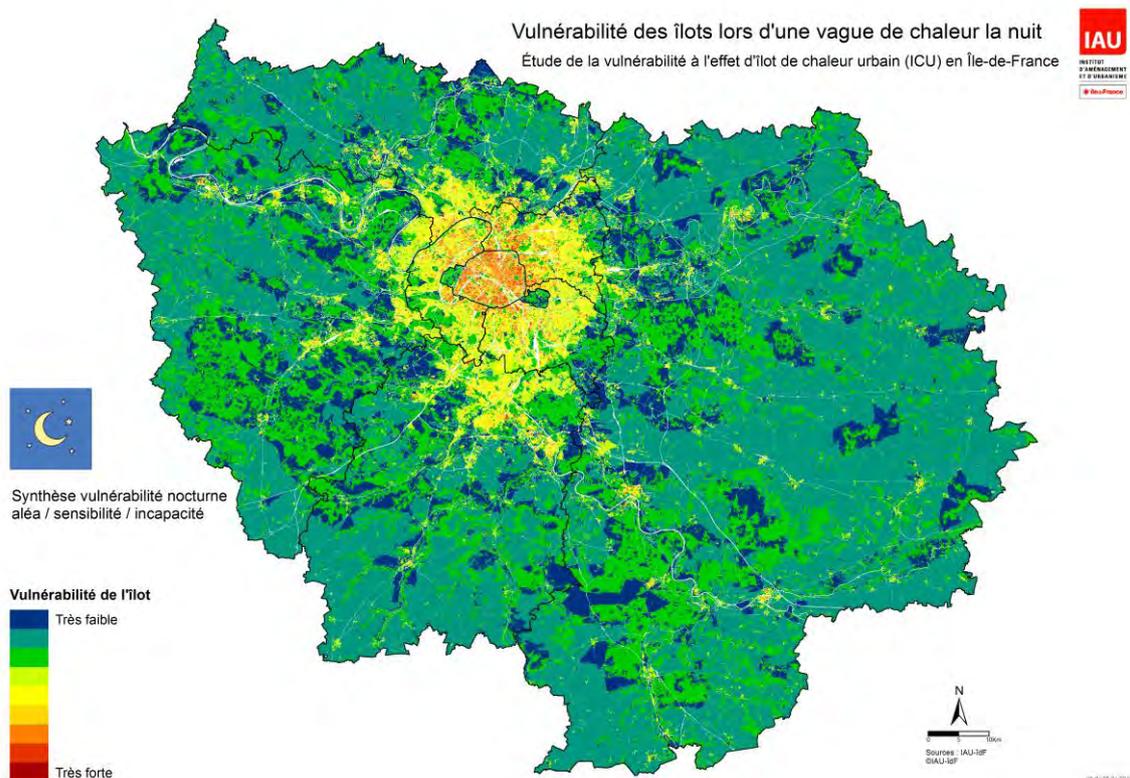
Carte 40 : Vulnérabilité des îlots lors d'une vague de chaleur, superposition jour sur nuit (IAU îdF)



Carte 41 : Vulnérabilité des îlots lors d'une vague de chaleur, le jour (IAU îdF)



Carte 42 : Vulnérabilité des îlots lors d'une vague de chaleur, la nuit (IAU îdF)



### Résultats par rapport au territoire (nombre d'îlots et superficie associée)

L'analyse des niveaux de vulnérabilité pour chacune des périodes peut tout d'abord être faite en nombre d'îlots et leur superficie associée (Cf. Tableaux 22 et 23). Elle fait ressortir plusieurs éléments :

- Pour le jour, la classe de vulnérabilité moyenne est majoritaire (51% en nombre et 57% en surface) notamment du fait de la surreprésentativité de la note 4, proche du seuil de vulnérabilité faible, ce qui est à relativiser si nous intégrons des effets de seuil potentiels.
- Pour la nuit, la classe de vulnérabilité faible domine et plus largement encore que dans le cas du jour (75% en nombre et 92% en surface). Les îlots concernés la nuit par la classe de vulnérabilité moyenne prennent la deuxième place (21% en nombre et 7% en surface), soit plus de 50 000 îlots et près de 800 km<sup>2</sup>. Comparé à l'ensemble de l'échantillon francilien, le niveau de vulnérabilité forte ne dépasse jamais la barre des 4%, en nombre comme en surface, la nuit (comme le jour du reste).
- La **classe de vulnérabilité forte**, par contre, **concerne deux fois plus les îlots la nuit** que le jour. Derrière ces chiffres en apparence faibles, c'est tout de même d'un nombre conséquent de pâtés de maisons dont nous parlons : avec **près de 9 200 îlots totalisant 100 km<sup>2</sup>, la nuit**, contre un peu plus de 3 800 îlots pour environ 50 km<sup>2</sup>, le jour.

Tableau 22 : Nombre d'îlots par niveau de vulnérabilité à la chaleur en Ile-de-France (IAU îdF)

Nombre d'îlots	Vulnérabilité à la chaleur le jour			Vulnérabilité à la chaleur la nuit		
	Notes	Nb d'IMU	%	Notes	Nb d'IMU	%
Faible	1	52 520	22,1%	1	47 382	20,0%
	2	24 535	10,3%	2	69 143	29,2%
	3	35 080	14,8%	3	60 380	25,5%
Moyenne	4	71 193	30,0%	4	24 578	10,4%
	5	37 370	15,8%	5	16 737	7,1%
	6	12 649	5,3%	6	9 755	4,1%
Forte	7	3 506	1,5%	7	7 294	3,1%
	8	298	0,1%	8	1 767	0,7%
	9	10	0,0%	9	125	0,1%
<b>Total</b>		<b>237 161</b>	<b>100%</b>		<b>237 161</b>	<b>100%</b>

Tableau 23 : Superficie des îlots par niveau de vulnérabilité à la chaleur en Ile-de-France (IAU îdF)

Surface en km <sup>2</sup>	Vulnérabilité à la chaleur le jour			Vulnérabilité à la chaleur la nuit		
	Notes	km <sup>2</sup> d'IMU	%	Notes	km <sup>2</sup> d'IMU	%
Faible	1	3 156	27,4%	1	1 750	15,2%
	2	439	3,8%	2	5 776	50,2%
	3	1 354	11,8%	3	3 085	26,8%
Moyenne	4	5 712	49,7%	4	407	3,5%
	5	614	5,3%	5	253	2,2%
	6	175	1,5%	6	127	1,1%
Forte	7	44,3	0,4%	7	79,5	0,7%
	8	4,2	0,0%	8	19,6	0,2%
	9	0,1	0,0%	9	1,1	0,0%
<b>Total</b>		<b>11 498</b>	<b>100%</b>		<b>11 498</b>	<b>100%</b>

Si le jour la distribution des îlots à vulnérabilité moyenne à forte est spatialement très diffuse sur tout le territoire francilien, la nuit, les disparités territoriales sont beaucoup plus marquées et concentrées sur Paris, les communes limitrophes, les départements de Seine-Saint-Denis et du Val-de-Marne, jusqu'à l'ensemble du territoire de la Métropole du Grand Paris. Des poches de vulnérabilité sont également apparentes en différents lieux de la Grande Couronne.

**Focus sur les résultats de vulnérabilité dans les seules zones à effet d'ICU moyen à fort**

Il convient aussi de regarder spécifiquement le poids des niveaux les plus élevés d'aléa d'effet d'ICU (classe 2 ou 3) dans ces résultats de vulnérabilité, en considérant les résultats comme précédemment : le nombre d'îlots et leur superficie associée (Cf. Tableaux 24 et 25).

A noter que par construction de l'indicateur de vulnérabilité, il ne peut y avoir dans ce cas d'îlot en vulnérabilité faible (regroupements des notes 1, 2 ou 3) dès lors que pour l'une des 3 composantes de la vulnérabilité (aléa / sensibilité / difficulté à faire face), comme c'est le cas ici pour l'aléa effet d'ICU, le niveau faible (classe 1) n'est pas considéré.

**Tableau 24 : Nombre d'îlots à effet d'ICU moyen à fort par niveau de vulnérabilité à la chaleur en Ile-de-France (IAU îdF)**

Nombre d'îlots	Vulnérabilité à la chaleur le jour			Vulnérabilité à la chaleur la nuit			
	Niveau de vulnérabilité	Notes	Nb d'IMU Classe Aléa = 2 ou 3	%	Notes	Nb d'IMU Classe Aléa = 2 ou 3	%
Faible		1	0	0%	1	0	0%
		2	0	0%	2	0	0%
		3	0	0%	3	0	0%
Moyenne		4	6 881	2,9%	4	3 646	1,5%
		5	11 324	4,8%	5	6 033	2,5%
		6	7 156	3,0%	6	7 223	3,0%
Forte		7	3 105	1,3%	7	7 001	3,0%
		8	298	0,1%	8	1 767	0,7%
		9	10	0,0%	9	125	0,1%
<b>Total</b>			<b>237 161</b>	<b>12%</b>		<b>237 161</b>	<b>11%</b>

**Tableau 25 : Superficie des îlots à effet d'ICU moyen à fort par niveau de vulnérabilité à la chaleur en Ile-de-France (IAU îdF)**

Surface en km <sup>2</sup>	Vulnérabilité à la chaleur le jour			Vulnérabilité à la chaleur la nuit			
	Niveau de vulnérabilité	Notes	km <sup>2</sup> d'IMU Classe Aléa = 2 ou 3	%	Notes	km <sup>2</sup> d'IMU Classe Aléa = 2 ou 3	%
Faible		1	0	0%	1	0	0%
		2	0	0%	2	0	0%
		3	0	0%	3	0	0%
Moyenne		4	64,5	0,6%	4	54,4	0,5%
		5	174,3	1,5%	5	87,2	0,8%
		6	77,7	0,7%	6	86,9	0,8%
Forte		7	36,5	0,3%	7	74,3	0,6%
		8	4,2	0,0%	8	19,6	0,2%
		9	0,1	0,0%	9	1,1	0,0%
<b>Total</b>			<b>11 498</b>	<b>3%</b>		<b>11 498</b>	<b>3%</b>

Nous constatons que le nombre d'îlots qui atteignent, le jour, des niveaux moyens et forts de vulnérabilité chute drastiquement si nous ne considérons que les zones à effet d'ICU marqué (de 53% à 12% en nombre et de 57% à 3% en superficie).

Par contre, **la nuit**, la baisse est nettement moins marquée (25,5% à 11% en nombre et 7,7% à 3%) avec pour **le niveau de vulnérabilité le plus fort** des résultats - **8 800 îlots et 95 km<sup>2</sup>** - qui s'avèrent sensiblement identiques à ceux observés quel que soit le niveau d'aléa.

Nous pouvons en conclure que **dans les îlots les plus concernés par l'effet d'ICU** (aléa effet d'ICU moyen à fort), tant pour le jour que pour la nuit, la **vulnérabilité moyenne à forte** représente **moins de 12% de l'ensemble des îlots franciliens**, soit entre 28 800 îlots le jour et 25 800 îlots la nuit, pour une **superficie d'environ 3%**, soit entre 360 km<sup>2</sup> le jour et 320 km<sup>2</sup> la nuit.

#### Interprétation des résultats de vulnérabilité par rapport à la population

Il convient maintenant d'apprécier le poids de population résidante dans l'îlot dans les résultats de vulnérabilité (Cf. [Tableau 26](#)), en faisant comme précédemment un focus spécifique pour les îlots les plus concernés par l'effet d'ICU (Cf. [Tableau 27](#)).

**Tableau 26 : Population des îlots par niveau de vulnérabilité à la chaleur en Ile-de-France (IAU îdF)**

Population	Vulnérabilité à la chaleur le jour			Vulnérabilité à la chaleur la nuit			
	Niveau de vulnérabilité	Notes	Nb habitants	%	Notes	Nb habitants	%
Faible	1		81 340	0,7%	1	104 068	0,9%
	2		321 918	2,8%	2	1 157 109	9,9%
	3		539 202	4,6%	3	1 109 508	9,5%
Moyenne	4		2 367 029	20,3%	4	1 363 987	11,7%
	5		3 530 495	30,3%	5	1 871 643	16,1%
	6		3 242 599	27,9%	6	2 212 885	19,0%
Forte	7		1 418 889,0	12,2%	7	2 861 070,0	24,6%
	8		128 972,0	1,1%	8	890 972,0	7,7%
	9		3 371,0	0,0%	9	62 573,0	0,5%
<b>Total</b>			<b>11 633 815</b>	<b>100%</b>		<b>11 633 815</b>	<b>100%</b>

**Tableau 27 : Population des îlots à effet d'ICU moyen à fort par niveau de vulnérabilité à la chaleur en Ile-de-France (IAU îdF)**

Population	Vulnérabilité à la chaleur le jour			Vulnérabilité à la chaleur la nuit			
	Niveau de vulnérabilité	Notes	Nb habitants Classe Aléa = 2 ou 3	%	Notes	Nb habitants Classe Aléa = 2 ou 3	%
Faible	1		0	0%	1	0	0%
	2		0	0%	2	0	0%
	3		0	0%	3	0	0%
Moyenne	4		28 645,0	0%	4	19 182,0	0%
	5		637 889,0	5%	5	467 642,0	4%
	6		2 087 992,0	18%	6	1 642 623,0	14%
Forte	7		1 254 683,0	11%	7	2 755 831,0	24%
	8		128 972,0	1%	8	890 972,0	8%
	9		3 371,0	0%	9	62 573,0	1%
<b>Total</b>			<b>4 141 552</b>	<b>36%</b>		<b>5 838 823</b>	<b>50%</b>

Nous observons que 8% des habitants le jour et 20% la nuit résident dans des îlots présentant une faible vulnérabilité. La vulnérabilité moyenne est largement dominante et concerne près de 79% des habitants le jour et 47% la nuit. **Et ce sont près de 3 800 000 habitants la nuit – un tiers des Franciliens (près de 33%) – qui vivaient en 2010 dans un îlot potentiellement fortement vulnérable.**

Les chiffres de population au sujet des seules zones à effet d'ICU moyen à fort soulignent qu'en 2010, **plus de 5 800 000 Franciliens - 50% de la population - résidaient la nuit dans un îlot à la vulnérabilité moyenne ou forte.**

Dans les îlots où, **la nuit, l'effet d'ICU est potentiellement le plus fort; 3 700 000 habitants, près de 32%**, y vivent. Ce dernier résultat est très sensiblement du même ordre de grandeur que celui observé lorsque la totalité des îlots est considérée ce qui situe le poids de l'effet d'ICU - la composante aléa – dans le niveau de vulnérabilité le plus fort, au regard de la distribution des populations en Ile-de-France et du lien entre densité de population, compacité du tissu urbain et l'effet d'ICU.

#### Focus des résultats de vulnérabilité par rapport à la population sensible par l'âge

Il convient d'examiner, enfin, le poids de personnes sensibles dans ces résultats de vulnérabilité (Cf. [Tableau 28](#)). Nous analyserons aussi ce critère de sensibilité par l'âge (les enfants de 5 ans et moins, les adultes de 65 ans et plus) avec un focus spécifique sur les zones les plus sujettes à l'effet d'ICU (Cf. [Tableau 29](#)).

**Tableau 28 : Population sensible des îlots par niveau de vulnérabilité à la chaleur en Ile-de-France (IAU îdF)**

Population sensible	Vulnérabilité à la chaleur le jour			Vulnérabilité à la chaleur la nuit			
	Niveau de vulnérabilité	Notes	Nb habitants sensibles	%	Notes	Nb habitants sensibles	%
Faible		1	12 043	0,1%	1	13 888	0,1%
		2	67 061	0,6%	2	220 460	1,9%
		3	94 300	0,8%	3	228 295	2,0%
Moyenne		4	490 248	4,2%	4	291 363	2,5%
		5	763 256	6,6%	5	405 102	3,5%
		6	696 105	6,0%	6	481 533	4,1%
Forte		7	306 643,1	2,6%	7	608 573,4	5,2%
		8	28 302,0	0,2%	8	196 400,9	1,7%
		9	725,1	0,0%	9	13 068,6	0,1%
<b>Total</b>			<b>2 458 684</b>	<b>21%</b>		<b>2 458 684</b>	<b>21%</b>

Sur 11 630 000 habitants, près de 2 500 000 personnes sont dites sensibles par l'âge en 2010 (21%). Elles vivent principalement dans des îlots concernés par une vulnérabilité moyenne, à 79% le jour (rapporté au total de l'effectif de population sensible, ce qui représente près de 17% des Franciliens) et à 48% la nuit (soit 10% des Franciliens).

*A contrario*, les personnes sensibles sont plus concernées la nuit que le jour dans les **îlots identifiés à forte vulnérabilité, avec près de 820 000 personnes la nuit** (contre 330 000 personnes le jour) soit 33% des personnes sensibles en Ile-de-France (et un peu moins de 7% des Franciliens).

Les chiffres de population sensibles concernées uniquement par les zones à effet d'ICU moyen à fort (Cf. [Tableau 29, page suivante](#)) soulignent qu'en 2010, **plus de 1 250 000 Franciliens sensibles résidaient la nuit dans un îlot à vulnérabilité moyenne ou forte (11% de la population)**, dont une plus grande proportion concernée par la **vulnérabilité forte : 800 000 Franciliens sensibles (7% de la population)**.

Tableau 29 : Population sensible des îlots à effet d'ICU moyen à fort par niveau de vulnérabilité à la chaleur en Ile-de-France (IAU idF)

Population sensible	Vulnérabilité à la chaleur le jour			Vulnérabilité à la chaleur la nuit			
	Niveau de vulnérabilité	Notes	Nb habitants sensibles Classe Aléa = 2 ou 3	%	Notes	Nb habitants sensibles Classe Aléa = 2 ou 3	%
		1	0	0%	1	0	0%
Faible		2	0	0%	2	0	0%
		3	0	0%	3	0	0%
		4	2 696,5	0%	4	468,7	0%
Moyenne		5	137 300,8	1%	5	98 933,7	1%
		6	441 812,6	4%	6	355 438,5	3%
Forte		7	270 692,1	2%	7	586 325,3	5%
		8	28 302,0	0%	8	196 400,9	2%
		9	725,1	0%	9	13 068,6	0%
<b>Total</b>			<b>881 529</b>	<b>8%</b>		<b>1 250 636</b>	<b>11%</b>

#### Synthèse des indicateurs étudiés pour interpréter la vulnérabilité de l'Ile-de-France à la chaleur urbaine

Sont présentés de manière synthétique, page suivante, les principaux indicateurs d'enjeux étudiés – le nombre de « pâté de maisons », la superficie du territoire concerné, la population des îlots et la présence de populations sensibles par l'âge – pour les îlots présentant une vulnérabilité moyenne ou une vulnérabilité forte par rapport à la problématique de chaleur urbaine (aléa « vague de chaleur » aggravé par l'effet d'ICU) (Cf. Tableaux 30, 31 et 32).

De cette synthèse, si nous commentons uniquement les résultats pour la période la plus sensible – **la nuit** – pour juger des enjeux associés à la vulnérabilité de l'Île-de-France par rapport à la chaleur urbaine, nous retiendrons les deux enseignements principaux suivants :

- 11% des îlots sujets à effets d'ICU moyen à fort en Île-de-France s'avèrent moyennement ou fortement vulnérables à la chaleur ; cela représente près de 25 800 pâtés de maisons, une superficie cumulée de 325 km<sup>2</sup> soit 3% du territoire, 5 840 000 habitants soit un Francilien sur 2 dont 1 250 000 personnes sensibles (11% de la population) ;
- 4% des îlots sujets à effets d'ICU moyen à fort en Île-de-France s'avèrent fortement vulnérables à la chaleur ; cela représente près de 8 900 pâtés de maisons, une superficie cumulée de 95 km<sup>2</sup> soit 1% du territoire, 3 710 000 habitants soit un Francilien sur 3 dont près de 800 000 personnes sensibles (7% de la population).

Tableau 30 : Ensemble des îlots à vulnérabilité moyenne ou forte et indicateurs d'enjeux (IAU îdF)

<b>SYNTHESE</b> Niveaux de vulnérabilité moyenne à forte (cumulés)	<b>Le jour</b>		<b>La nuit</b>	
	Valeur brute	Valeur relative (rapportée à IdF)	Valeur brute	Valeur relative (rapportée à IdF)
Nombre d'îlots	125 026	53%	60 256	25%
Nombre d'îlots quand effet d'ICU moyen/fort	28 774	12%	25 795	11%
Superficie des îlots (km <sup>2</sup> )	6 550	57%	887	8%
Superficie des îlots (km <sup>2</sup> ) quand effet d'ICU moyen/fort	357	3%	324	3%
Population des îlots	10 691 355	92%	9 263 130	80%
Population des îlots quand effet d'ICU moyen/fort	4 141 552	36%	5 838 823	50%
Population sensible des îlots	2 285 280	20%	1 996 041	17%
Population sensible des îlots quand effet d'ICU moyen/fort	881 529	8%	1 250 636	11%

Tableau 31 : Détail des îlots à vulnérabilité moyenne et indicateurs d'enjeux (IAU îdF)

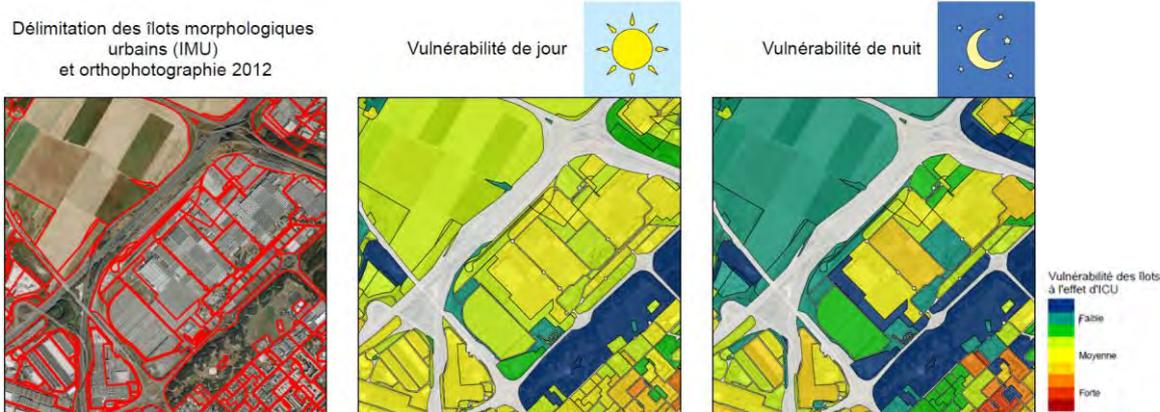
<b>SYNTHESE</b> Niveau de vulnérabilité moyenne	<b>Le jour</b>		<b>La nuit</b>	
	Valeur brute	Valeur relative (rapportée à IdF)	Valeur brute	Valeur relative (rapportée à IdF)
Nombre d'îlots	121 212	51%	51 070	22%
Nombre d'îlots quand effet d'ICU moyen/fort	25 361	11%	16 902	7%
Superficie des îlots (km <sup>2</sup> )	6 501	57%	787	7%
Superficie des îlots (km <sup>2</sup> ) quand effet d'ICU moyen/fort	317	3%	229	2%
Population des îlots	9 140 123	79%	5 448 515	47%
Population des îlots quand effet d'ICU moyen/fort	2 754 526	24%	2 129 447	18%
Population sensible des îlots	1 949 609	17%	1 177 998	10%
Population sensible des îlots quand effet d'ICU moyen/fort	581 810	5%	454 841	4%

Tableau 32 : Détail des îlots à vulnérabilité forte et indicateurs d'enjeux (IAU îdF)

<b>SYNTHESE</b> Niveau de vulnérabilité forte	<b>Le jour</b>		<b>La nuit</b>	
	Valeur brute	Valeur relative (rapportée à IdF)	Valeur brute	Valeur relative (rapportée à IdF)
Nombre d'îlots	3 814	2%	9 186	4%
Nombre d'îlots quand effet d'ICU moyen/fort	3 413	2%	8 893	4%
Superficie des îlots (km <sup>2</sup> )	49	0,4%	100	1%
Superficie des îlots (km <sup>2</sup> ) quand effet d'ICU moyen/fort	41	0,4%	95	1%
Population des îlots	1 551 232	13%	3 814 615	33%
Population des îlots quand effet d'ICU moyen/fort	1 387 026	12%	3 709 376	32%
Population sensible des îlots	335 670	3%	818 043	7%
Population sensible des îlots quand effet d'ICU moyen/fort	299 719	3%	795 795	7%

## Exemples cartographiques à l'îlot et commentaires des résultats de vulnérabilité à la chaleur urbaine

### • Exemple 1. Triangle de Gonesse (département du Val-d'Oise)

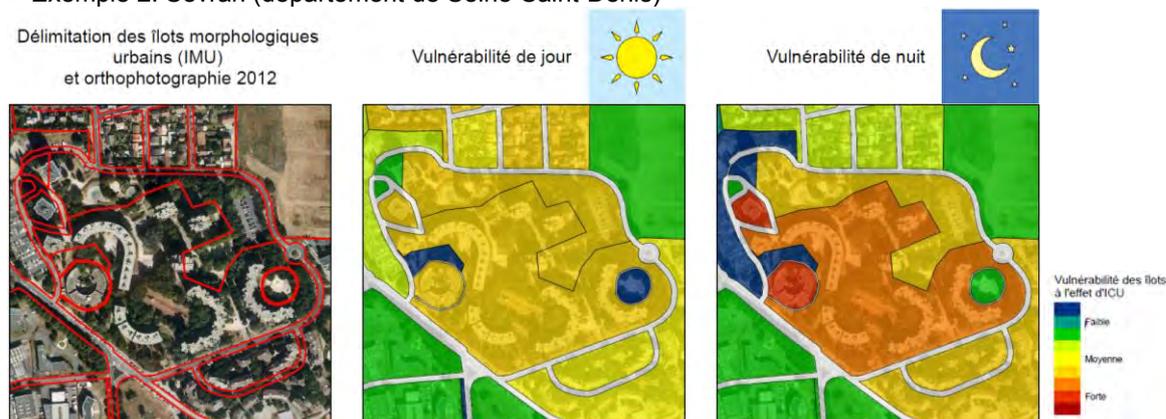


Pénétrante agricole (en haut, à gauche de la scène) au contact de l'agglomération : de l'usine Citroën et du quartier de la Rose des vents d'Aulnay-Sous-Bois.

En pleine journée, les espaces agricoles (terres cultivées, prairies...) sont soumis à la chaleur estivale (absence d'ombrage). En revanche, ils se refroidissent très vite la nuit (les rayonnements infrarouges rejoignent sans obstacle le ciel). Ils jouent ainsi un rôle climatique important en proximité de la ville où se trouvent des îlots plus vulnérables (population des grands ensembles du quartier de la Rose des vents...) par leurs apports de fraîcheur la nuit, au même titre que l'espace vert arboré de proximité (Parc Robert Ballanger), lieu de fraîcheur et d'ombrage (le jour).

⇒ Importance des zones agricoles périurbaines - zones d'équilibre à maintenir – pour l'atténuation de l'effet d'ICU métropolitain la nuit. Identifier les possibilités d'ouverture exceptionnelle la nuit du Parc Robert Ballanger les jours de canicule.

### • Exemple 2. Sevran (département de Seine-Saint-Denis)

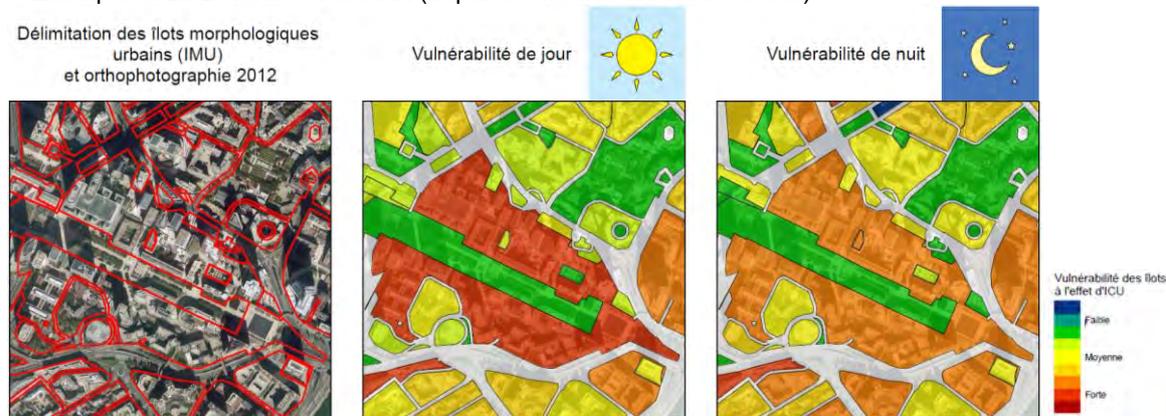


Le quartier Montceleux est composé en son centre d'ensembles d'immeubles d'habitat plus ou moins espacés.

La vulnérabilité moyenne à forte de ces îlots d'habitat augmente la nuit ; elle est surtout liée à une proportion importante de personnes sensibles (personnes âgées, enfants en bas âge) et/ou à bas revenu. Si le grand îlot au centre présente une note de vulnérabilité de nuit moindre (classe 5, en orange) par rapport à deux petits îlots voisins (classe 7, en rouge), c'est en raison d'un faible effet d'ICU (ensemble de bâtiments espacés favorisant la ventilation et cœur d'îlot vert : sol de pleine terre, végétation arborée). En revanche, les 2 petits îlots doivent leur forte vulnérabilité à un effet ICU plus marqué (ensemble bâti plus compact), à l'époque de construction des bâtiments (immeubles d'après-guerre, avant réglementations thermiques) et à une population à bas revenu.

⇒ Dans le cas de l'îlot orange, il serait plus intéressant de renforcer les capacités à faire face de ses habitants, en repérant les personnes les plus fragiles et isolées et en les incitant à s'inscrire au Registre nominatif confidentiel de la municipalité afin qu'elles puissent bénéficier d'une aide lors de la mise en œuvre du Plan canicule, que de diminuer l'effet d'ICU identifier comme faible.

• Exemple 3. La Défense - Puteaux (département des Hauts-de-Seine)

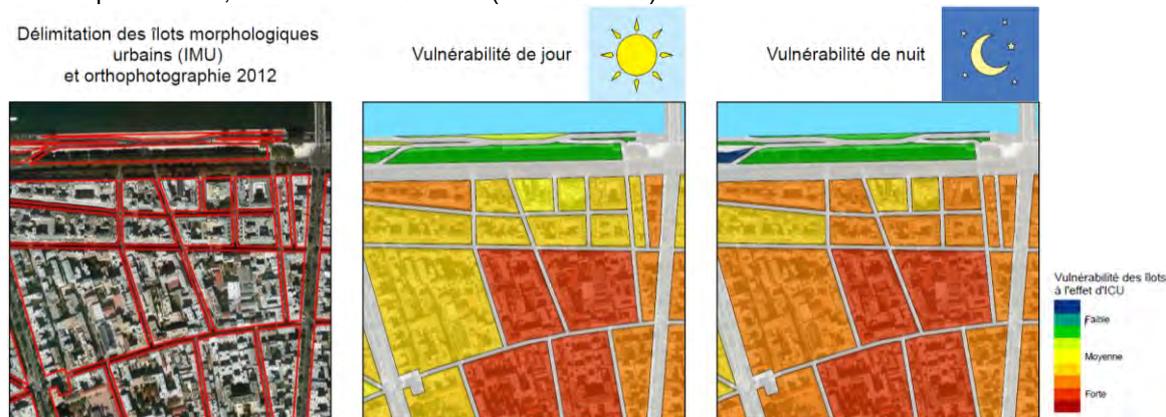


Le quartier de La Défense est composé d'ensembles de tours compactes et de tours espacées, insérant une grande dalle – l'Esplanade du général de Gaulle – très minérale à l'est de la scène considérée et quelque peu plantée à l'ouest.

L'effet d'ICU est particulièrement important, du fait de la minéralité de ce tissu urbain, du nombre de surfaces proposées à l'interception des rayonnements lumineux. Si l'effet canyon – source d'ombrage à certaines heures de la journée - peut atténuer l'accumulation de chaleur, en revanche la nuit, il ralentit le refroidissement de la dalle en piégeant les rayonnements infrarouges, source de dégagements de chaleur accumulée dans les matériaux. L'autre élément à considérer est l'absence de sol de pleine terre (urbanisme sur dalle) et la faible présence de plantation. Si la vulnérabilité de cet ensemble de tours est plus importante le jour (classe 8) que la nuit (classe 7), c'est le fait de la forte présence en journée de travailleurs dans ces immeubles de bureaux et d'une moindre présence de population résidante.

⇒ L'attention est à porter au confort thermique dans les bureaux comme dans les transports collectifs ainsi qu'à la qualité de l'espace public (matériaux, ombrage, végétalisation).

• Exemple 4. Paris, 7ème arrondissement (Ville de Paris)

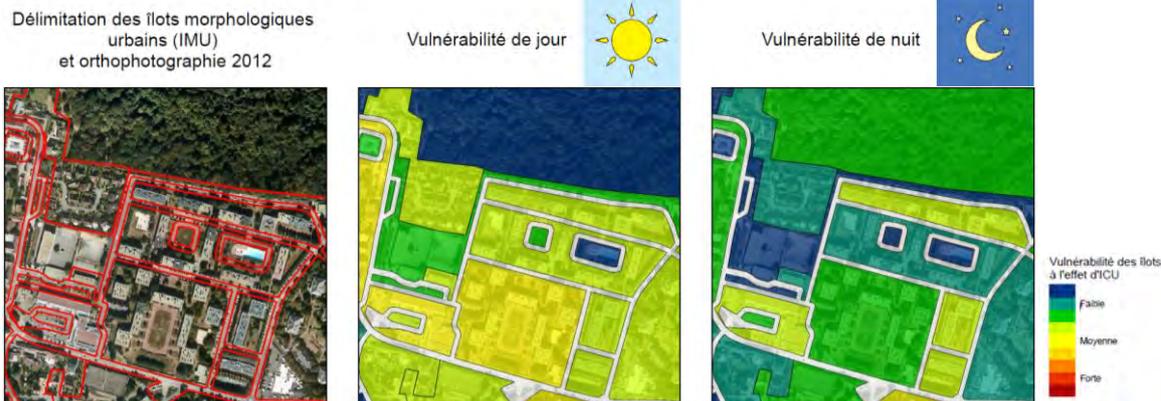


Ces îlots du cœur de Paris, situés sur la rive gauche de la Seine, sont tous des ensembles d'immeubles compacts. Ils constituent néanmoins deux secteurs relativement distincts : au nord, longeant le Quai d'Orsay, les bâtiments sont de densité moyenne (diverses ambassades...) ont été construits entre 1915 et 1953, alors que plus au sud, de part et d'autres de la Rue Saint-Dominique, les îlots sont plus anciens (avant 1915) et de densité plus forte.

Au nord, les présences de la Seine et d'un îlot arboré atténuent l'effet d'ICU sur les immeubles du front de Seine ; leurs vulnérabilités de jour comme de nuit restent dans des classes moyennes (5 à 6) du fait aussi de la densité de population moindre. En revanche, les apports de fraîcheur ne bénéficient pas aux îlots de la rue Saint-Dominique ; leur vulnérabilité est très élevée (effet d'ICU marqué lié à la compacité du tissu et à la densité de population), et pour certains, le jour comme la nuit (classe 8).

⇒ L'amélioration de l'isolation des bâtiments et de leur ventilation naturelle ainsi que l'augmentation de la couverture végétale (plus de toitures, terrasses et murs végétaux, végétation en pieds d'immeubles) est à encourager notamment pour atténuer l'effet d'ICU.

• Exemple 5. Noisy-le-Roi (département des Yvelines)



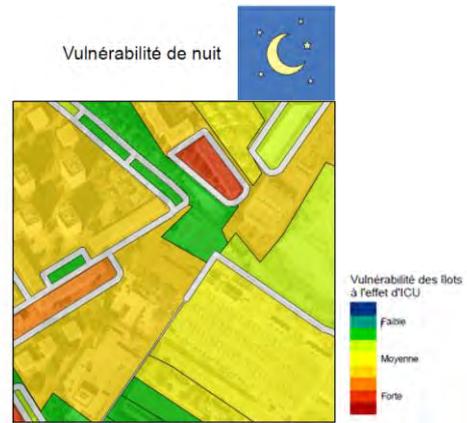
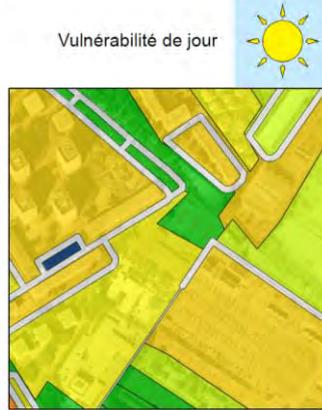
Secteur résidentiel de l'Orée de Marly en limite de la Forêt domaniale de Marly-le-Roi, de densité moyenne à faible, composé pour grande partie d'îlots d'ensemble d'immeubles espacés (résidence l'Orée de Marly) mais aussi d'îlots de maisons dispersées (à l'ouest, allée de la Clairière).

Si la vulnérabilité des îlots de ce secteur est faible, c'est en grande partie dû à l'effet de fraîcheur apporté par la forêt et la présence ponctuelle d'eau (piscine ouverte, faible imperméabilisation des sols...) qui peut se disperser du fait de la bonne ventilation des tissus urbains (immeubles et maisons espacés). Certains îlots le jour sont plus sujets à l'exposition à la chaleur du fait du manque d'ombrage (cours d'école revêtues et pelouses rases...). Par contre, le refroidissement nocturne est très visible dans toute la scène avec des notes de vulnérabilité plus élevées pour les îlots d'ensemble assez dense d'immeubles construits après-guerre (1954-1974, avant les premières réglementations thermiques).

⇒ Inciter les copropriétés à améliorer l'isolation et la ventilation naturelle des bâtiments peut être encouragé.

- Exemple 6. Chevilly-Larue (département du Val-de-Marne)

Délimitation des îlots morphologiques urbains (IMU) et orthophotographie 2012



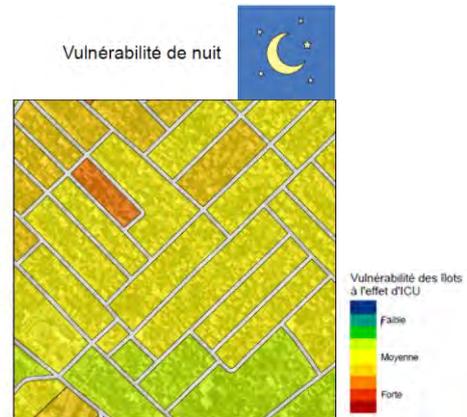
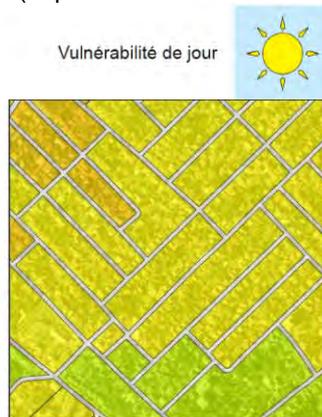
Quartier de La Saussay (habitat social), ensemble d'immeubles espacés d'époque de construction d'après-guerre (1954-1974) et de forte densité.

Ce quartier est très illustratif des formes d'urbanisme très hétérogènes du tissu de banlieue, mêlant des ensembles d'habitat social dense, en barre ou en tour, des pavillons en bande, des équipements tertiaires (école maternelle Salvador Allende, Gymnase Paul Marcel, terrains de sports...), de grandes emprises réservées aux services urbains (poste électrique), des terrains nus (chantiers, terrains vagues) et une portion de la Coulée verte... Ce secteur est caractérisé notamment par des surfaces réfléchissantes (albédo relativement élevé) du fait des terrains nus avec peu de végétation arborée et de certains équipements aux couleurs claires conduisant à un ressenti de chaleur le jour dans l'espace extérieur pour l'usager. La composante sociale (pourcentage important d'une population à faible revenu...) renforce la vulnérabilité la nuit des résidents de certains îlots vivant dans des immeubles potentiellement mal isolés compte-tenu de l'époque de construction.

⇒ La végétation de pleine de terre, notamment arborée, est à encourager.

- Exemple 7. Savigny-sur-Orge (département de l'Essonne)

Délimitation des îlots morphologiques urbains (IMU) et orthophotographie 2012



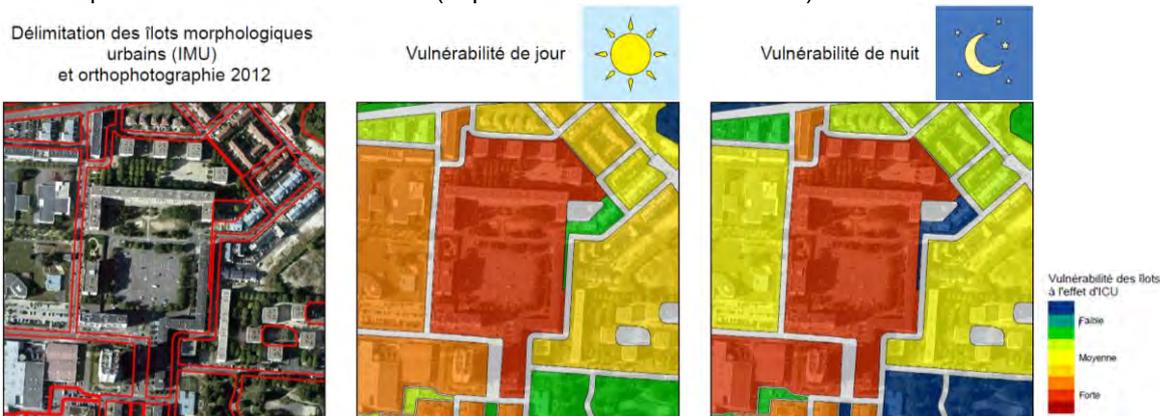
Quartier Les Cherchefeuilles, moyenne densité, époque de construction 1915-1953

Ce tissu urbain est composé exclusivement d'ensembles de maisons espacées, mais qui suivent un gradient de densité allant en diminuant du nord-ouest (parcelles de maisons peu espacées, à proximité du Boulevard Aristide Briand) vers le sud-est (maisons éparées avec jardins très arborés). Les contrastes de densité observés au sein de ce tissu résidentiel rendent compte de rapports d'équilibre différents entre les surfaces réservées aux bâtiments et celles réservées aux jardins, au sol de pleine de terre et à la végétation, propice au rafraîchissement de l'îlot (évapotranspiration, ombrage...).

Certains îlots, la nuit, se distinguent par une classe de vulnérabilité plus forte ; ils le doivent à leur composante sociale puisque ce sont ceux qui cumulent une part plus importante de population sensible (population âgée et/ou enfants en bas âge) et de population à bas revenus.

⇒ La solidarité – l'attention portée à ses voisins en cas de canicule – est à encourager.

- Exemple 8. Montereau-Fault-Yonne (département de Seine-et-Marne)



Le quartier Langevin sur le plateau de Surville concentre des ensembles d'immeubles relativement espacés, de construction d'après-guerre (1954-1974), d'habitat social de densité moyenne à forte.

Cette commune du sud Seine-et-Marnais est très éloignée de l'influence de l'effet d'îlot de chaleur métropolitain (gradient de température entre la ville dense et la campagne : températures de surface d'autant plus élevées que l'on se rapproche de Paris). Néanmoins, en cas de vague de chaleur exceptionnelle (exemple de la canicule survenue en 2003), certains îlots peuvent être également très concernés comme celui-ci - au centre de la scène - qui accueille des logements sociaux et présente une vulnérabilité forte, de jour comme de nuit. Cette vulnérabilité est liée notamment à la minéralité de son cœur d'îlot - un parking revêtu, au sein d'un ensemble continu de bâtiments collectifs - et à la proportion de populations sensibles et à bas revenu qui rend difficile les travaux préventifs d'amélioration de l'isolation et de la ventilation des bâtiments.

⇒ Parmi les solutions envisageables, favoriser les matériaux perméables (places de parking enherbées non étanches) aiderait à l'humidification du cœur d'îlot et la végétalisation *a minima* de cette grande surface.

### 3.2 - Vulnérabilité à l'échelle de la commune

Le diagnostic de vulnérabilité s'appuie sur une base de données géographique constituée à l'îlot morphologique urbain (IMU). Chaque entité IMU étant référencée par son appartenance principale à une commune (numéro INSEE), des indicateurs synthétiques communaux et intercommunaux peuvent être proposés pour rendre compte des disparités territoriales à cette échelle de lecture.

Les modes d'élaboration des indicateurs communaux à partir de données discrètes à l'îlot étant nombreux, nous proposons quelques indicateurs et représentations qui font sens pour rendre compte différemment des résultats et des disparités territoriales. Nous privilégierons les résultats concernant la période nocturne où les conséquences de l'effet d'ICU (ralentissement la nuit du refroidissement de la ville) sont les plus problématiques.

Nous rendrons compte, tout d'abord, de différentes interprétations à la commune de l'exposition à l'aléa « effet d'ICU » en nous focalisant sur les classes moyenne ou forte d'effet d'ICU et en analysant les critères suivant : le nombre d'îlot, la superficie des îlots, le nombre d'habitant et la population sensible.

Nous exprimerons, ensuite, différentes lectures communales des résultats communaux, d'une part, de la classe de vulnérabilité à la chaleur urbaine la plus forte, à la lumière des critères précédents, et d'autre part, de la classe de vulnérabilité la plus représentée en effectif, soit en nombre d'îlots, en superficie ou en population.

Nous faisons ainsi la démonstration qu'il existe non pas une mais plusieurs géographies de la vulnérabilité, selon les critères privilégiés et selon les modes statistiques et cartographiques de représentation (en valeur brute ou en valeur relative, effet de seuil...).

### Synthèse communale de l'exposition à l'aléa « effet d'ICU », en 5 cartes :

- Nombre d'îlots par commune à effet potentiel d'ICU moyen ou fort, la nuit (*Cf. Carte 43*)

Cette carte rend compte du nombre de pâtés de maison par commune où l'effet d'ICU est potentiellement marqué ; un poids particulier est donné aux communes urbaines au nombre de petits îlots conséquents.

- Proportion des superficies cumulées d'îlots à effet potentiel d'ICU moyen ou fort par commune, la nuit (*Cf. Carte 44*)

Cette carte exprime, en pourcentage de la superfine communale, ce que représente le total des superficies cumulées des îlots où l'effet d'ICU est potentiellement marqué ; elle rend compte de l'empreinte territoriale au sein de chaque commune de l'effet d'ICU.

- Population des îlots à effet potentiel d'ICU moyen ou fort par commune, la nuit (*Cf. Carte 45*)

Le critère population – le nombre d'habitant à l'îlot – permet une représentation des enjeux de chaleur nocturne si l'on s'intéresse au poids de population potentiellement concernée par l'effet d'ICU en Ile-de-France et à sa répartition géographique.

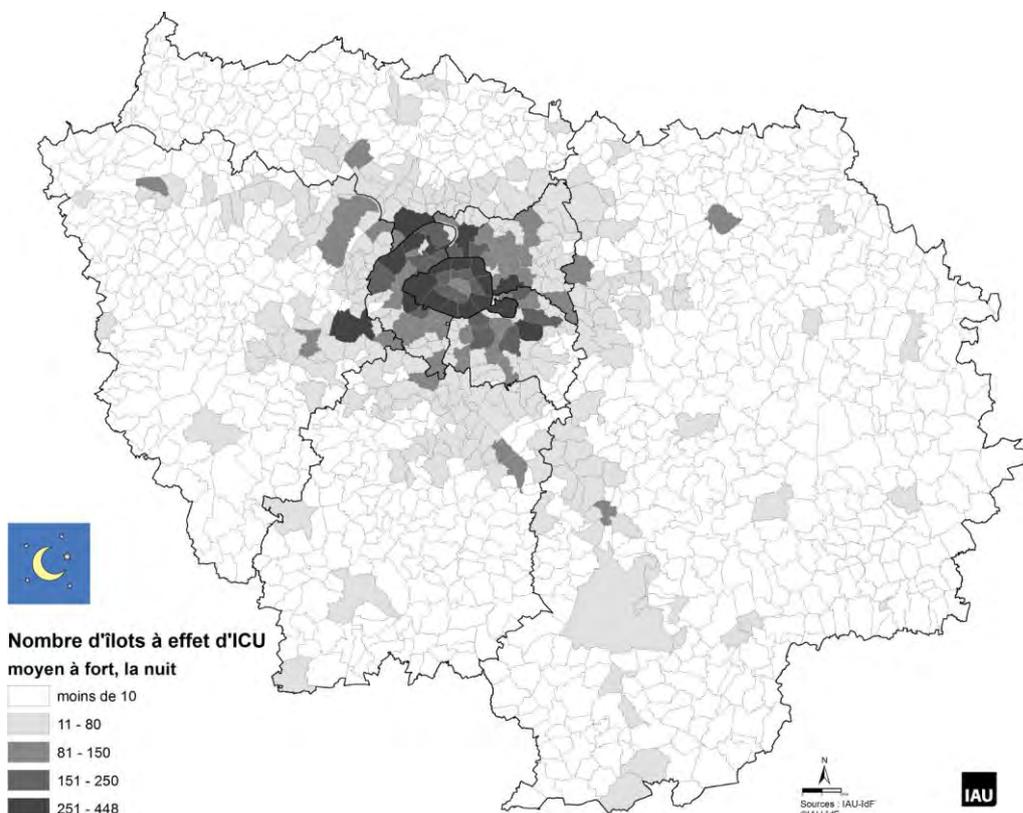
- Dominante par commune – en superficie et en population - des îlots à effet potentiel d'ICU moyen ou fort sur l'ensemble des îlots, la nuit (*Cf. Carte 46*)

En s'intéressant à l'étendue (superficie) et au nombre d'habitant des îlots à effet d'ICU potentiellement important au regard de l'ensemble des îlots de la commune, nous donnons ici à voir la géographie de celles qui présentent au bilan un déséquilibre territorial fort et potentiellement le plus d'enjeu.

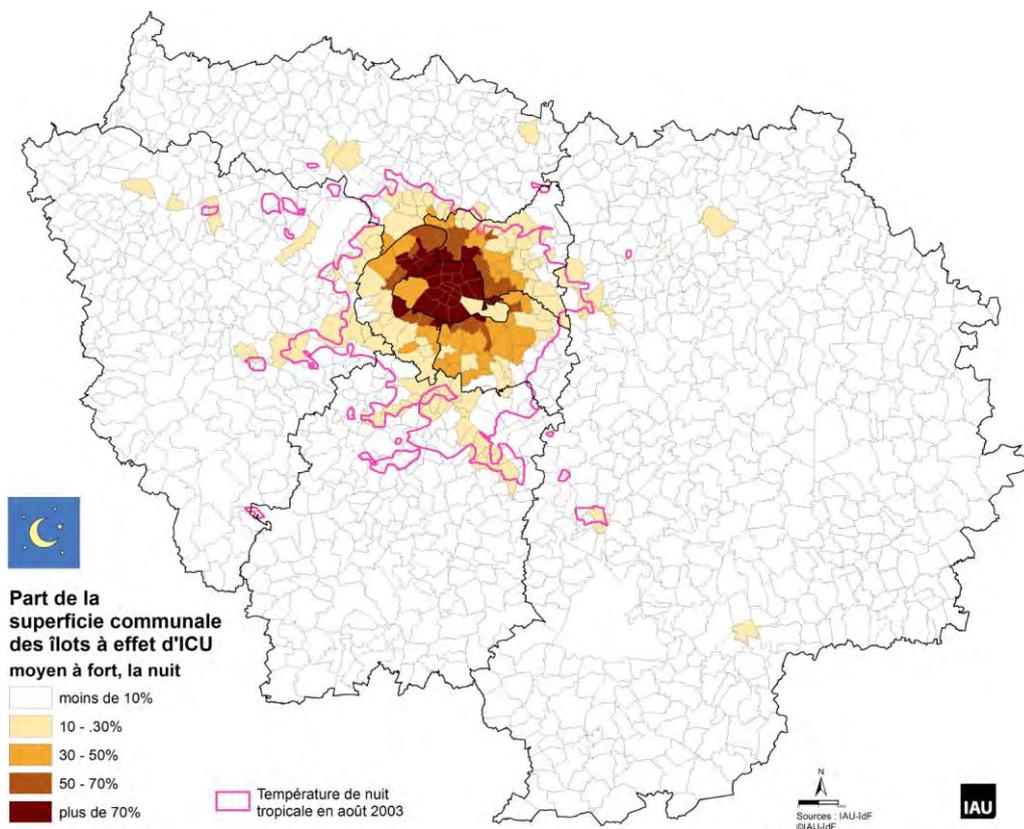
- Proportion de la superficie d'îlots de fraîcheur nocturne par commune (*Cf. Carte 47*)

A contrario, les communes ont aussi des atouts face à l'effet d'ICU qu'il est important de mettre en avant. Le premier d'entre eux, c'est la présence significative d'îlots de fraîcheur, lorsque la dominante de leur occupation des sols est constituée en particulier d'espaces bien dégagés et naturels : les surfaces en eau, les champs et prairies, les jardins de l'habitat individuel, les trames vertes... se refroidissent très vite la nuit ; et si c'est moins le cas pour les sols à couvert densément arboré (facteur de vue du ciel proche de 0), les houppiers font le jour obstacle au rayonnement solaire - par l'ombrage - et limite en conséquence les apports de chaleur au sol.

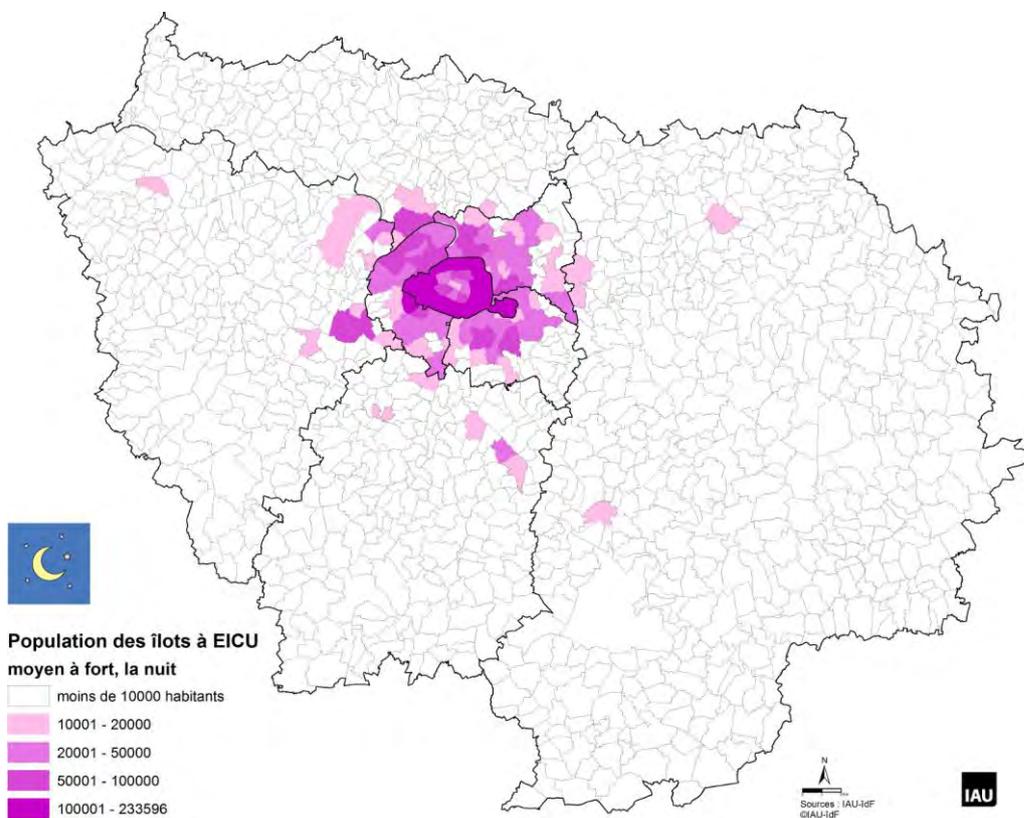
**Carte 43 : Nombre d'îlots par commune à effet potentiel d'ICU moyen ou fort, la nuit (IAU îdF)**



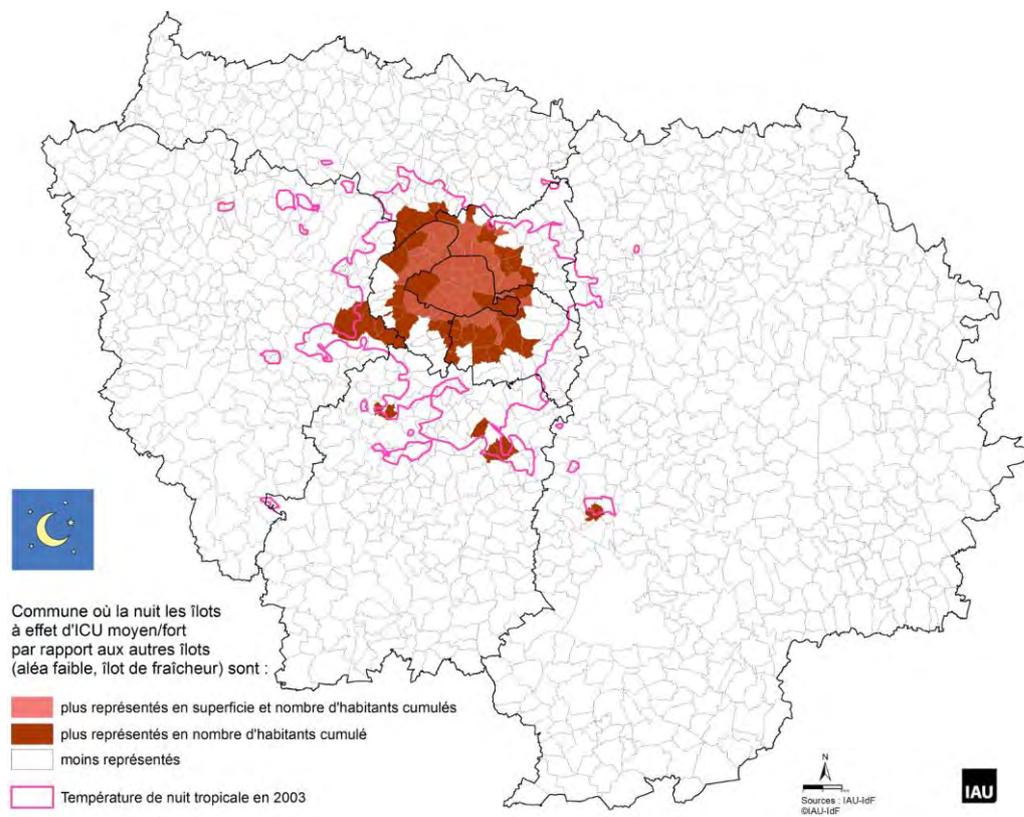
**Carte 44 : Proportion des superficies cumulées d'îlots à effet potentiel d'ICU moyen ou fort par commune, la nuit (IAU îdF)**



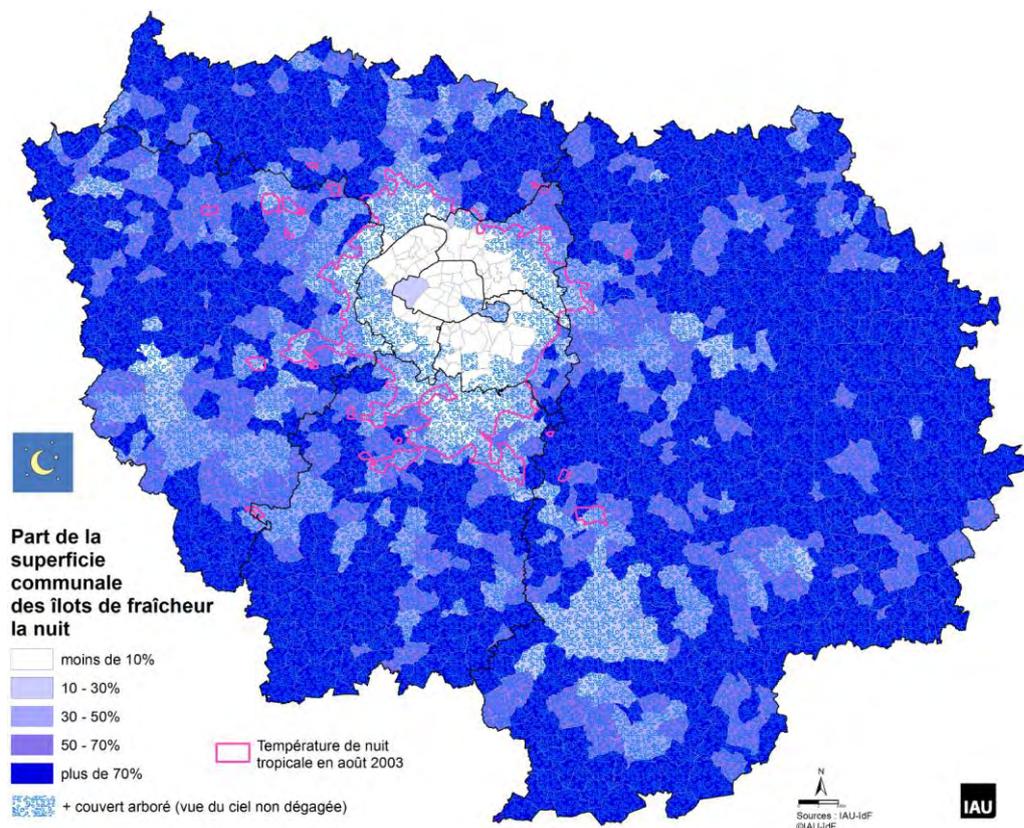
**Carte 45 : Population des îlots à effet potentiel d'ICU moyen ou fort par commune, la nuit (IAU îdF)**



**Carte 46 : Dominante par commune – en superficie et en population - des îlots à effet potentiel d'ICU moyen ou fort sur l'ensemble des îlots, la nuit (IAU îdF)**



**Carte 47 : Proportion de la superficie d'îlots de fraîcheur nocturne par commune, (IAU îdF)**



### Synthèse communale de la vulnérabilité à la chaleur urbaine la plus forte, en 8 cartes :

- Communes concernées par au moins un îlot fortement vulnérable, le jour et/ou la nuit (*Cf. Carte 48*)

Cette première approche permet d'identifier les communes qui présentent au moins un îlot en vulnérabilité forte le jour, la nuit et le jour comme la nuit. La superposition, en rouge, des îlots fortement vulnérables dans ces communes concernées permet de se représenter globalement le nombre de cas en question pour juger de l'ampleur du problème, différenciée suivant les communes. Cette représentation a le mérite de mettre en avant toutes les communes concernées par la vulnérabilité forte à la chaleur urbaine. Même s'il ne s'agit que d'un seul quartier de maisons, les communes sont tout à fait libres d'envisager des solutions d'adaptation à cette dimension.

Ces résultats montrent aussi que nombre de communes du périurbain et du rural franciliens peuvent être concernées par un ou plusieurs îlots fortement vulnérables. Dès lors que des composantes de sensibilité et de difficulté à faire face sont prises en compte, peuvent se dessiner d'autres poches territoriales de vulnérabilité, au-delà des zones à effet d'ICU les plus fortes (*Cf. Carte 6, page 20, pour une des représentations – en jaune – des difficultés à faire face qui touche potentiellement une grande partie de l'Île-de-France*). Avec les composantes et indicateurs que nous avons rassemblés pour définir un niveau de vulnérabilité, nous corroborons le fait qu'il ait pu avoir une surmortalité importante même en Grande couronne, à l'image de ce qu'il a été observé lors de la canicule 2003, une vague de chaleur jugée exceptionnelle (*Cf. Carte 3, Principaux enseignements de la canicule 2003, page 2*).

- Niveau de la classe de vulnérabilité la plus représentée par commune selon le nombre d'îlots, leur superficie ou leur population, la nuit (*Cf. Carte 49*)

Cette carte propose d'aider à comprendre la hauteur des enjeux pour chaque commune par une première synthèse des 3 critères suivants : le nombre d'îlots, la superficie et le nombre d'habitants. Nous analysons pour chacun des critères quelle est la note de vulnérabilité la plus significative : celle qui présente l'effectif dominant (en nombre, en superficie et en population). Nous exprimons ensuite cartographiquement le plus haut niveau de vulnérabilité atteint entre ces 3 critères.

- Cumul des niveaux des classes de vulnérabilité les plus représentées par commune selon le nombre d'îlots, leur superficie et leur population, la nuit (*Cf. Carte 50*)

Dans le droit fil de la carte précédente, nous proposons une autre représentation des résultats en exprimant cette fois la somme des 3 niveaux de vulnérabilité les plus représentatifs (somme des notes de vulnérabilité des effectifs dominant en nombre, en superficie et en population). Les communes pour lesquelles une grande partie du territoire se trouve ne pas relever d'une vulnérabilité forte verront donc la note de cet indicateur synthétique diminué. Celles par contre qui cumulent une forte vulnérabilité tant en nombre, superficie que population se verront attribuer une note élevée.

- Nombre d'habitant par commune résidant dans des îlots à vulnérabilité forte face à la chaleur, la nuit (*Cf. Carte 51*)

La valeur brute de population communale concernée par les îlots à forte vulnérabilité permet d'apprécier l'ordre de grandeur local et la distribution infrarégionale des enjeux de population par rapport à un événement de vague de chaleur aggravé par l'effet d'ICU.

- Proportion du nombre d'habitant par commune résidant dans des îlots à vulnérabilité forte face à la chaleur, la nuit (*Cf. Carte 52*)

Commune par commune, cet indicateur permet d'apprécier si les populations de la commune sont en tout ou partie concernées par la forte vulnérabilité ; en d'autres termes, si la commune concentre une forte proportion de ses zones d'habitat confrontée à la forte vulnérabilité à la chaleur la nuit.

- Effectif par commune de population sensible par l'âge (moins de 5 ans et plus de 65 ans) résidant dans des îlots à vulnérabilité forte face à la chaleur, la nuit (*Cf. Carte 53*)

Avec ce focus sur la distribution communale des populations sensibles par l'âge dans les îlots à forte vulnérabilité, nous cartographions une des cibles principales de l'enjeu de santé publique associé aux conséquences d'un épisode de canicule.

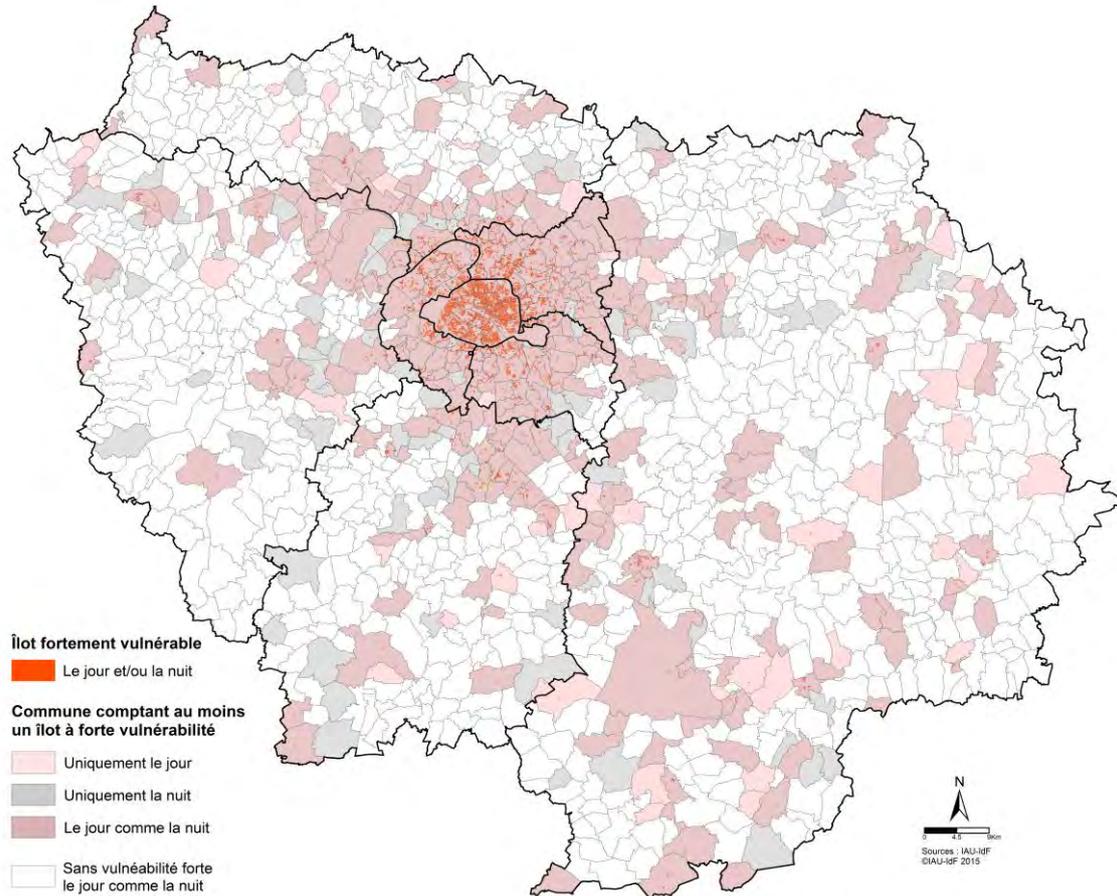
- Effectif par commune de population sensible par l'âge (moins de 5 ans et plus de 65 ans) résidant dans des îlots à vulnérabilité moyenne ou forte face à la chaleur, la nuit (*Cf. Carte 54*)

Comme la précédente, mais en élargissant aux îlots identifiés comme moyennement vulnérables, cette carte permet de relativiser le poids de l'effet de seuil et du périmètre d'intervention de l'action publique.

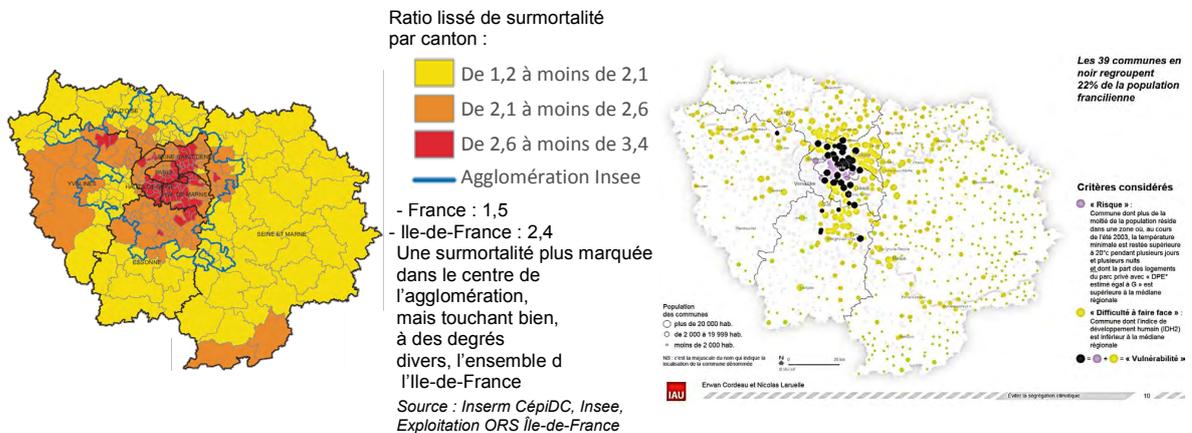
- Part des effectifs par commune de population sensible par l'âge (moins de 5 ans et plus de 65 ans) résidant dans des îlots à vulnérabilité forte face à la chaleur, la nuit (Cf. Carte 55)

La proportion communale des populations sensibles dans les îlots fortement vulnérables permet d'apporter des éléments d'explicitation de la distribution observée de surmortalité en 2003.

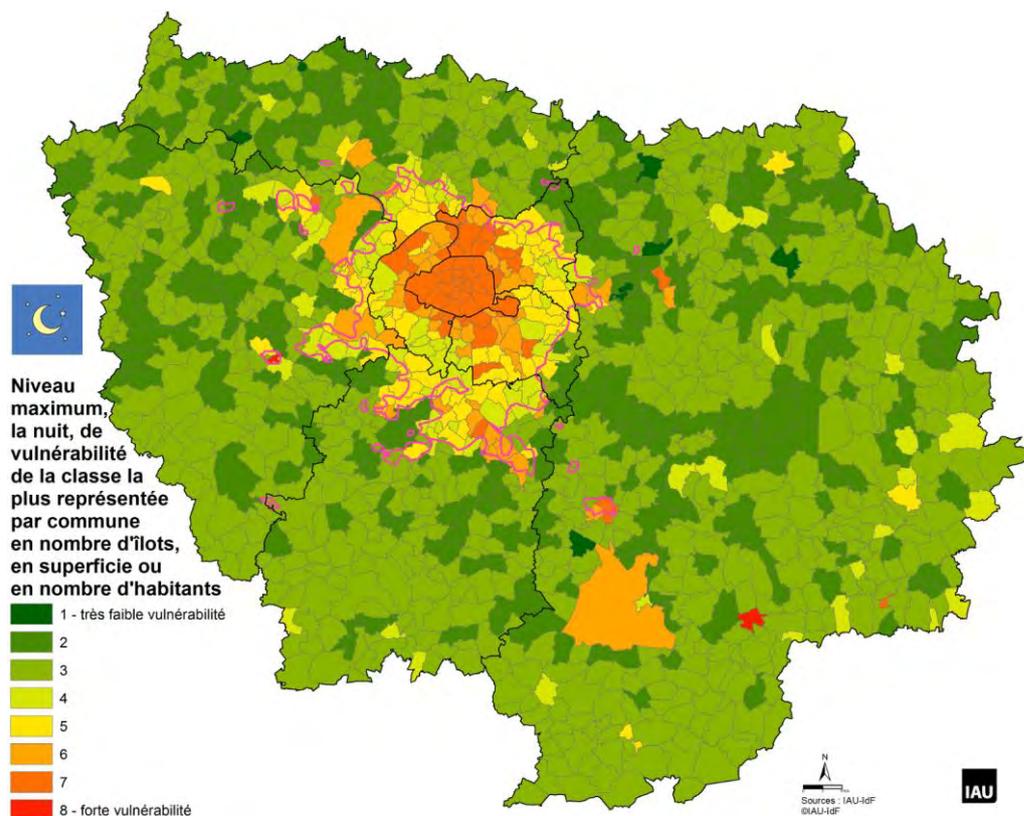
**Carte 48 : Communes concernées par au moins un îlot fortement vulnérable, le jour et/ou la nuit (IAU idF)**



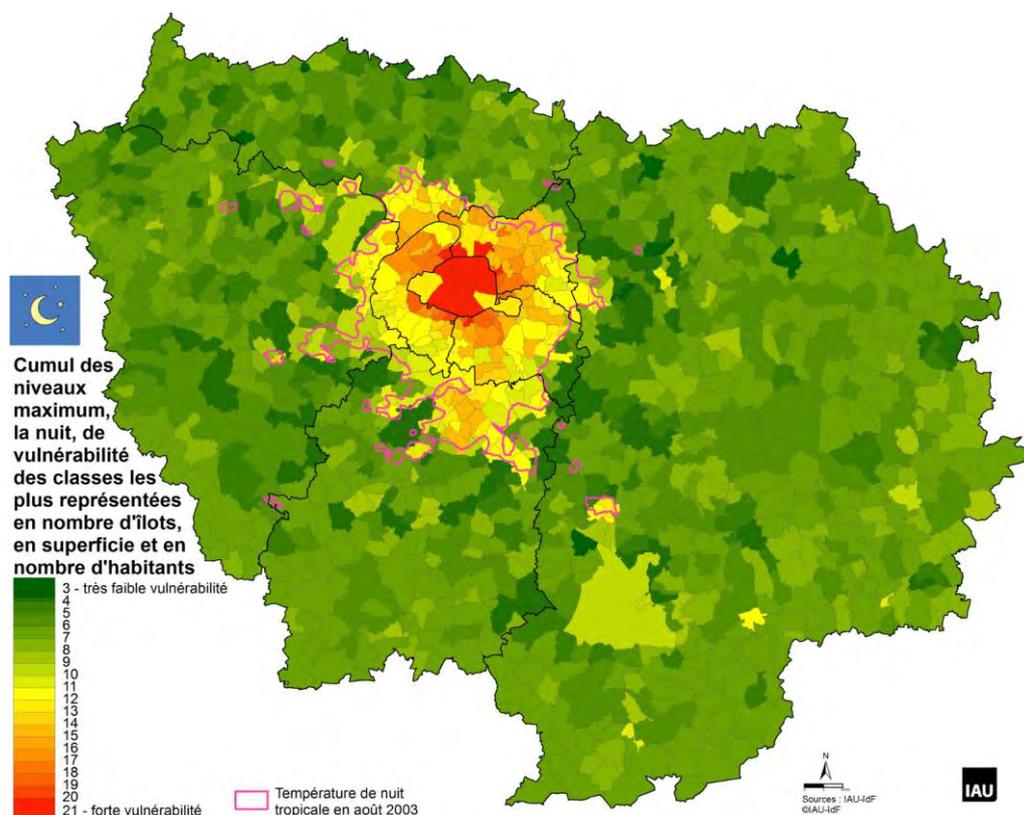
**Rappel des cartes « Principaux enseignements de la canicule 2003 » (Cf. p14, Carte 3) et « Indicateur communal représentatif d'une difficulté à faire face à l'aléa vague de chaleur » (Cf. p20, Carte 6)**



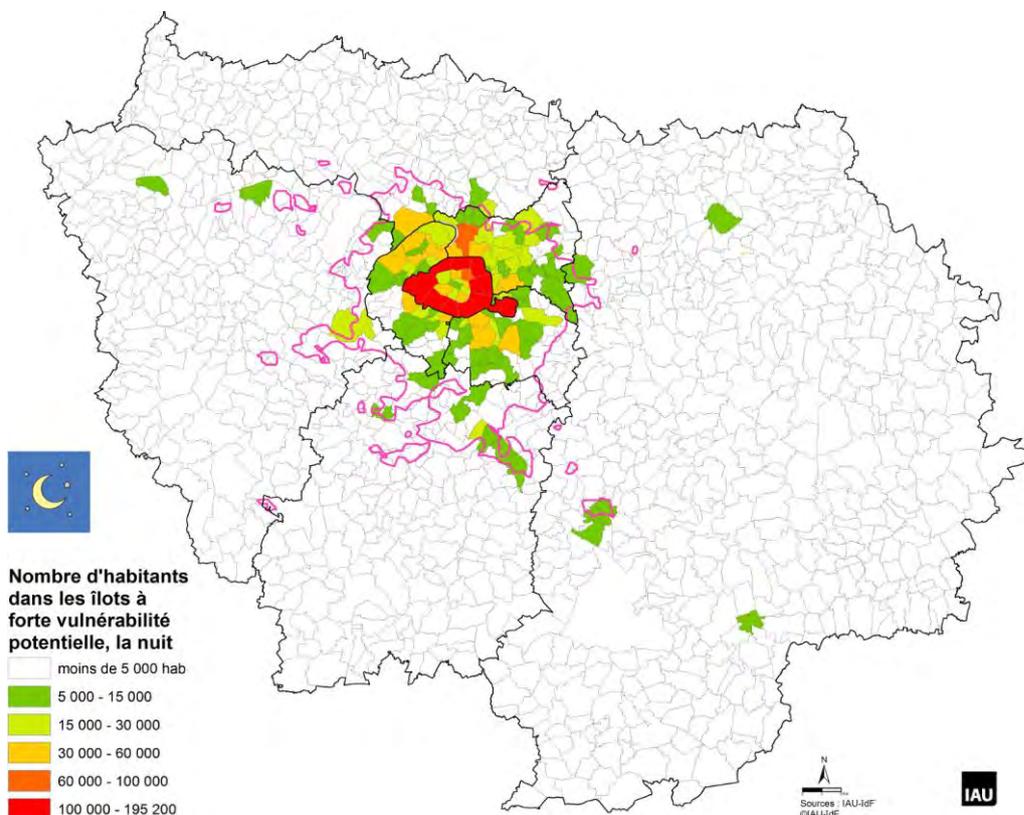
Carte 49 : Niveau de la classe de vulnérabilité la plus représentée par commune selon le nombre d'îlots, leur superficie ou leur population, la nuit (IAU îdF)



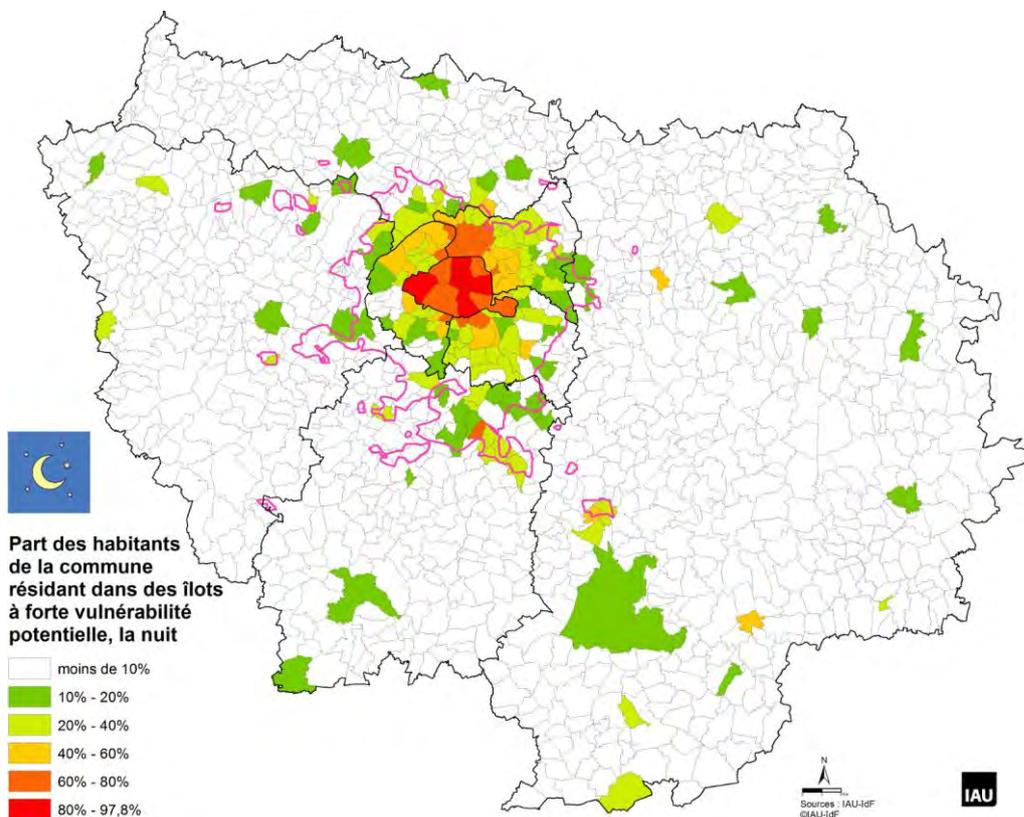
Carte 50 : Cumul des niveaux des classes de vulnérabilité les plus représentées par commune selon le nombre d'îlots, leur superficie et leur population, la nuit (IAU îdF)



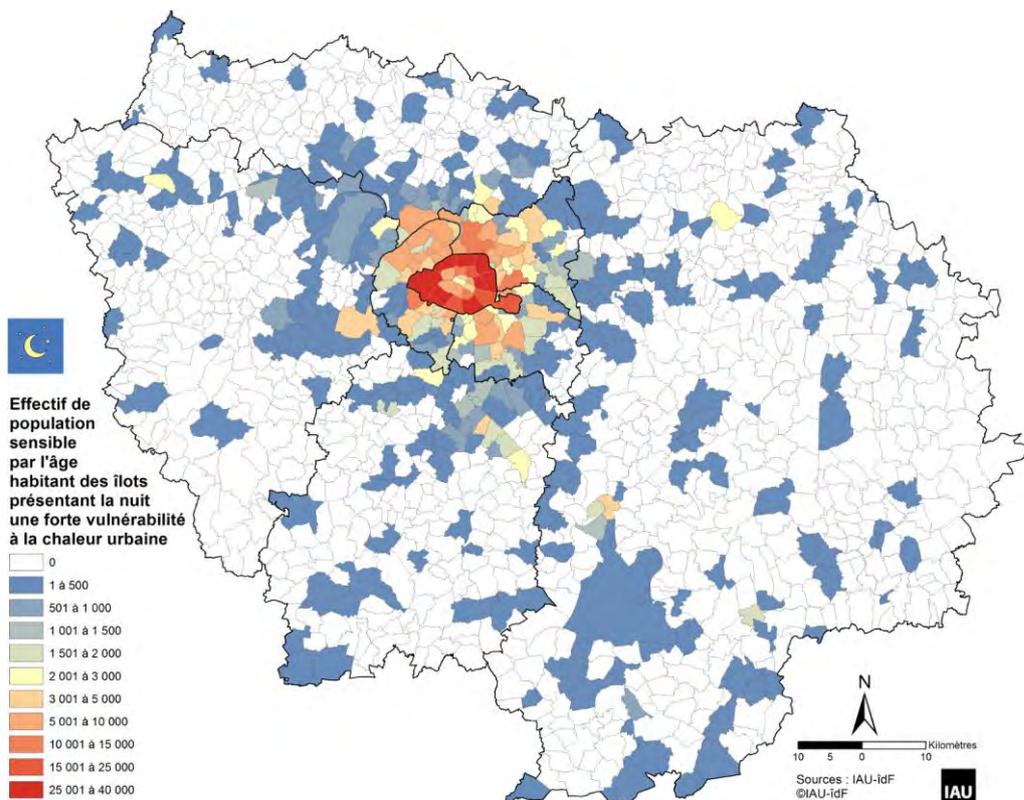
**Carte 51 : Nombre d'habitants par commune résidant dans des îlots à vulnérabilité forte face à la chaleur, la nuit (IAU îdF)**



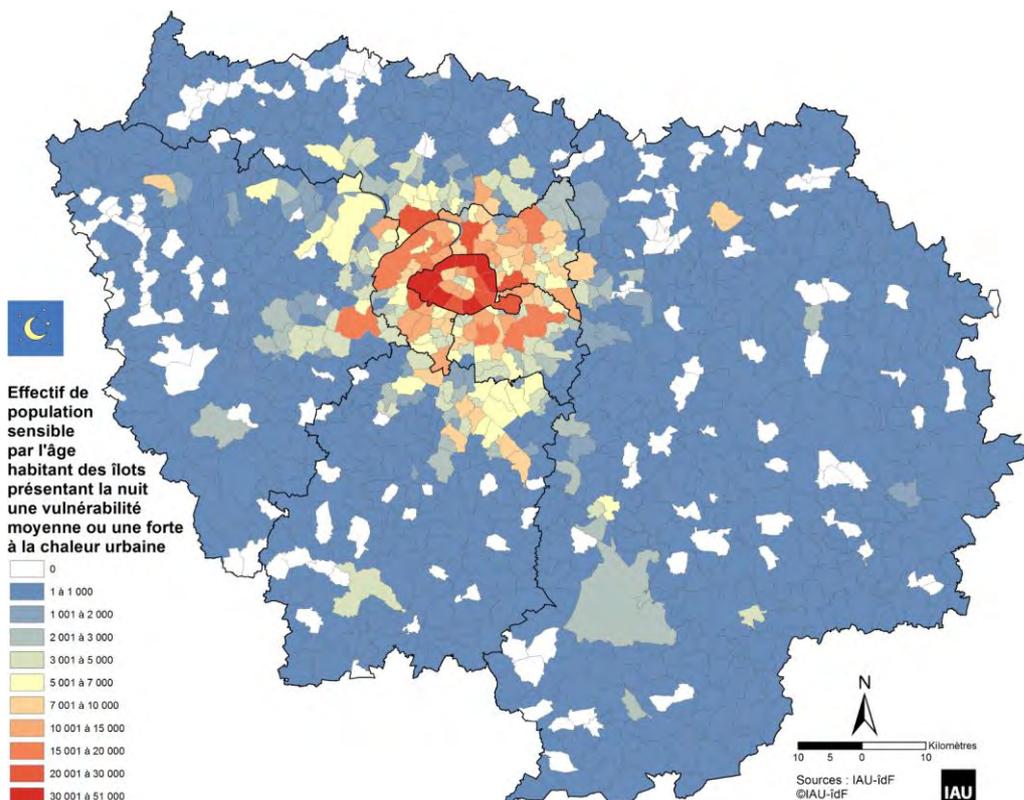
**Carte 52 : Proportion du nombre d'habitants par commune résidant dans des îlots à vulnérabilité forte face à la chaleur, la nuit (IAU îdF)**



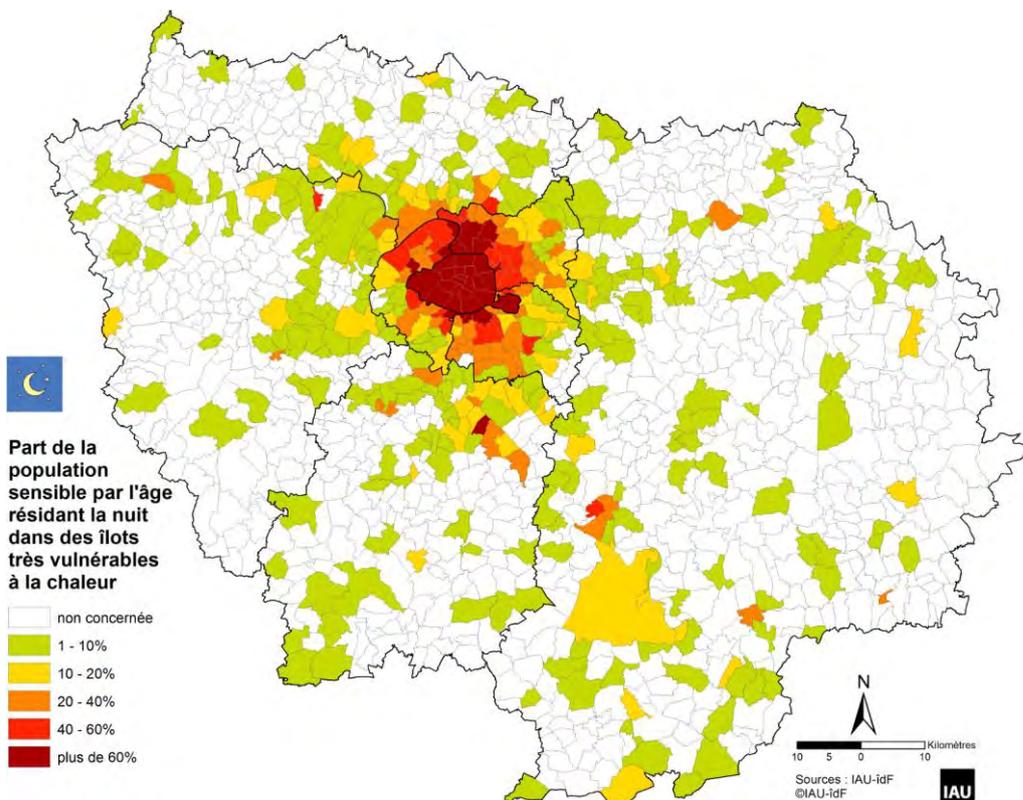
**Carte 53 : Effectif par commune de population sensible par l'âge (moins de 5 ans et plus de 65 ans) résidant dans des îlots à vulnérabilité forte face à la chaleur, la nuit (IAU îdF)**



**Carte 54 : Effectif par commune de population sensible par l'âge (moins de 5 ans et plus de 65 ans) résidant dans des îlots à vulnérabilité moyenne ou forte face à la chaleur, la nuit (IAU îdF)**



**Carte 55 : Part de la population sensible par l'âge (moins de 5 ans et plus de 65 ans) résidant dans des îlots à vulnérabilité forte face à la chaleur, la nuit (IAU îdF)**

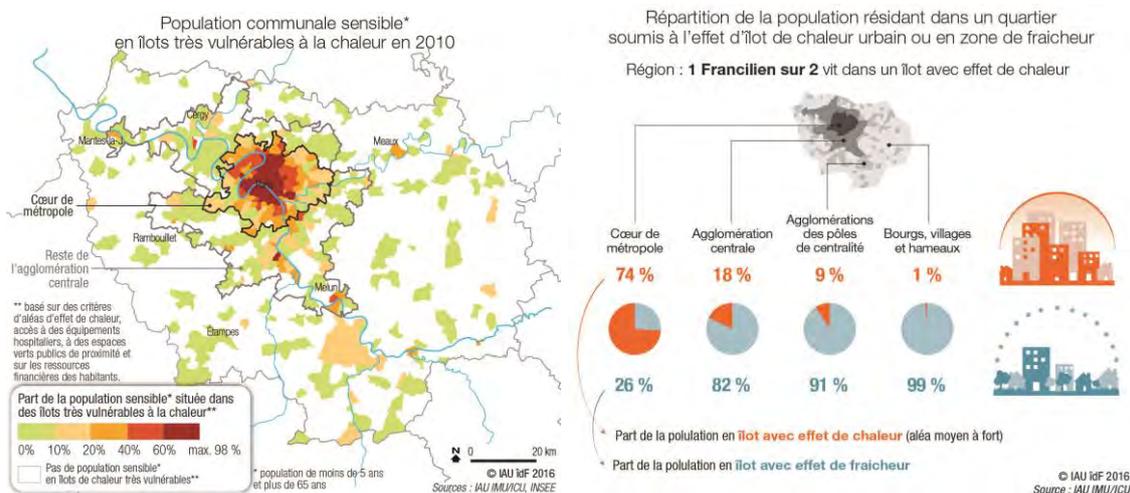


**Focus territorial : suivi du SDRIF Ile-de-France 2030**

Le schéma directeur Île-de-France 2030 (Sdrif 2030), sécurisant le cadre régional de l'aménagement, a été approuvé par décret le 27 décembre 2013. Il est l'un des facteurs de renouvellement des projets territoriaux. La Région et l'État ont exprimé leur volonté de travailler en commun à sa mise en œuvre ainsi qu'à son suivi-évaluation. C'est de ce cadre de suivi du Sdrif qu'en 2016 a été intégré un focus spécifique sur la lutte contre les effets d'îlot de chaleur urbain (fiche 9.2).

Les enseignements de la présente étude ont nourri les indicateurs de résultat de l'état initial qui est présenté dans le rapport de suivi-évaluation du Sdrif – bilan 2016 (Cf. Carte 56).

**Carte 56 : Part de la population sensible par l'âge (moins de 5 ans et plus de 65 ans) résidant dans des îlots à vulnérabilité forte face à la chaleur, la nuit ; Répartition de la population en îlot de chaleur ou en îlot de fraîcheur (Rapport de suivi du Sdrif : Bilan 2016 - IAU îdF)**



L'indicateur mis en exergue pour l'état initial est celui-ci : « 50% de la population francilienne réside dans un quartier soumis à l'effet d'îlot de chaleur urbain ».

A cet égard, le Sdrif prône de limiter l'imperméabilisation des sols, de rouvrir les rivières urbaines, d'augmenter l'offre en espaces verts ouverts au public dans les communes déficitaires et de préserver les espaces verts, les liaisons vertes et les forêts. La maîtrise de l'imperméabilisation, la conception urbaine adaptée, le renforcement de la trame verte d'agglomération et la préservation des grands massifs forestiers sont au cœur de l'objectif du Sdrif de réduire la vulnérabilité à l'effet d'ICU.

**Extrait de la fiche 9.2 « Lutter contre l'îlot de chaleur urbain »  
(rapport de suivi du Sdrif – bilan 2016)**

« En 2010, 5 800 000 Franciliens - 50% de la population - résidaient dans un îlot (« pâte de maison ») à effet d'ICU potentiellement moyen à fort, avec logiquement un Cœur de métropole beaucoup plus concerné (74%). Le potentiel de fraîcheur s'observe en effet dès l'Agglomération centrale (82% des habitants ne sont pas dans un îlot à effet d'ICU), du fait de la Ceinture verte et d'un tissu urbain moins compact (jardins de l'habitat...).

Les habitants en zone à effet d'ICU ne sont, par contre, pas tous vulnérables. Dans ces îlots où l'aggravation de l'aléa vague de chaleur est potentielle, il faut analyser leur sensibilité – les personnes très jeunes et plus âgées, la qualité de l'habitat,... – et la difficulté à faire face - des revenus faibles, une offre de proximité réduite de médecins ou d'espaces de fraîcheur... En 2010, 3 800 000 Franciliens, 33% de la population, résidaient dans des îlots considérés comme fortement vulnérable dont 800 000 personnes sensibles (moins de 5 ans et plus de 65 ans) soit moins de 7% de la population (et 32% des personnes sensibles en Ile-de-France). »

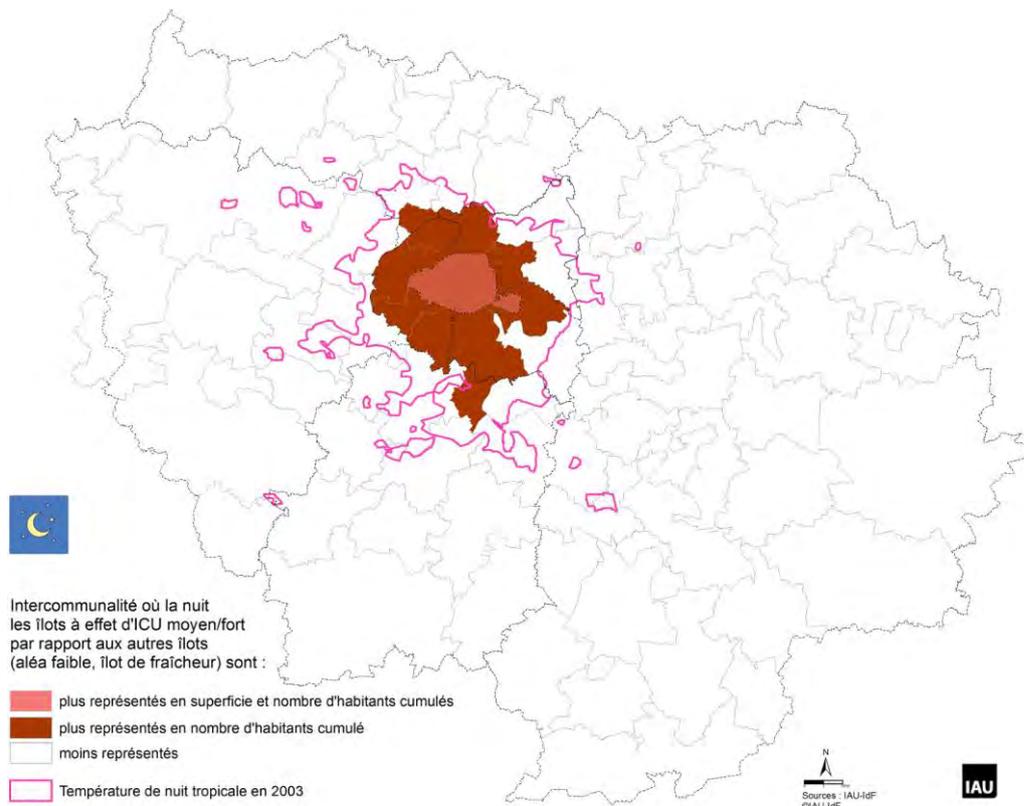
### 3.3 - Vulnérabilité à l'échelle des EPCI

Comme pour les communes, les résultats de vulnérabilité peuvent être agrégés à l'échelle des intercommunalités franciliennes en proposant différents indicateurs qui expriment selon les cas le poids de population concernée, celui des personnes sensibles par l'âge, ou bien le rapport du nombre d'îlots fortement vulnérable à la superficie qu'ils représentent sur l'ensemble du territoire.

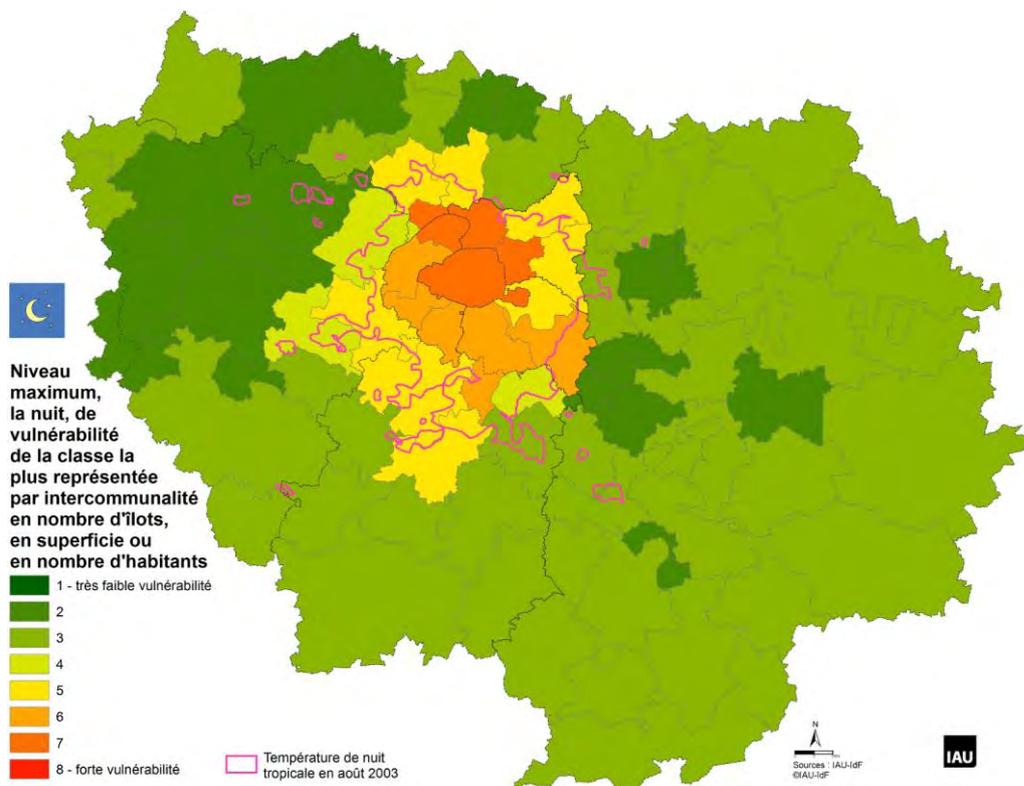
Selon les indicateurs exprimés (cartographies pages suivantes), plusieurs géographies se dégagent pour ce qui concerne les niveaux de vulnérabilité des intercommunalités :

- la Ville de Paris (EPT 1) présente les niveaux de vulnérabilité quels que soient les indicateurs proposés, en nombre et surface d'îlots, en population et en personnes sensibles (*Cf. Cartes 57 à 61*) ;
- l'EPT6 Plaine Commune présente, après Paris, le poids de population le plus important en zone de vulnérabilité forte (*Cf. Carte 61*) ;
- les 4 EPT du nord de la métropole du Grand Paris (EPT4 Paris Ouest La Défense, EPT5 Boucle Nord de Seine, EPT6 Plaine Commune, EPT8 Est Ensemble) et celui du sud (EPT12 Grand-Orly Seine Bièvre) se distinguent pour la hauteur des effectifs de population sensible par l'âge en zone de vulnérabilité forte (*Cf. Carte 60*) ;
- les 8 établissements publics territoriaux (EPT) limitrophes de la Ville de Paris affichent une dominante en poids de population vivant dans des îlots à effet d'ICU important et en nombre d'îlots identifiés comme fortement vulnérables (*Cf. Cartes 57 et 60*) ;
- l'agglomération (l'air urbaine de Paris au sens Insee) dans son ensemble, mais avec quelques intercommunalités qui se démarquent, contraste avec le reste de l'Ile-de-France pour le poids de population et de population sensible (*Cf. Cartes 60 et 61*).

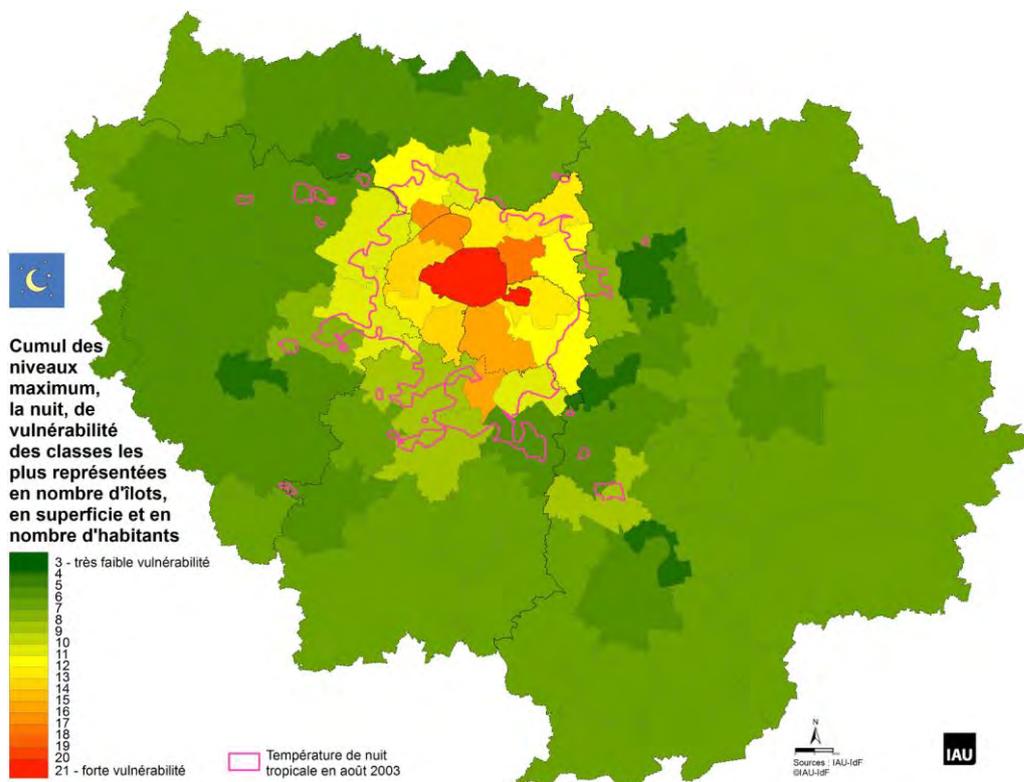
**Carte 57 : Dominante par intercommunalité – en superficie et en population - des îlots à effet potentiel d'ICU moyen ou fort sur l'ensemble des îlots, la nuit (IAU îdF)**



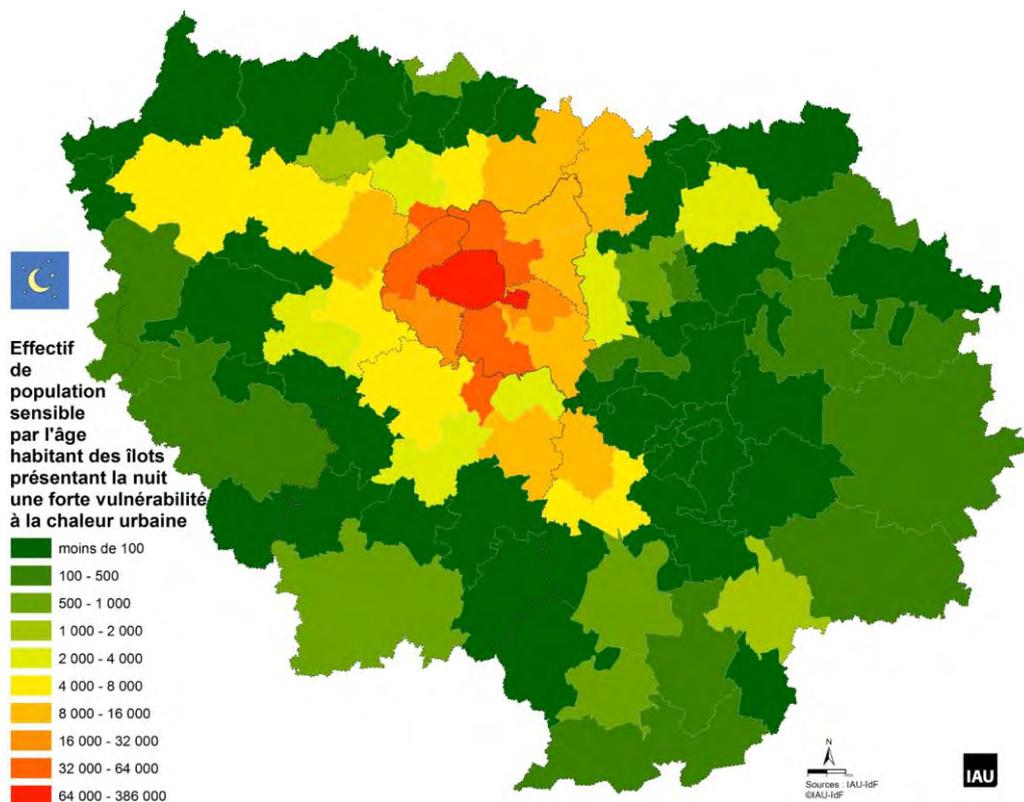
**Carte 58 : Niveau de la classe de vulnérabilité la plus représentée par intercommunalité selon le nombre d'îlots, leur superficie ou leur population, la nuit (IAU îdF)**



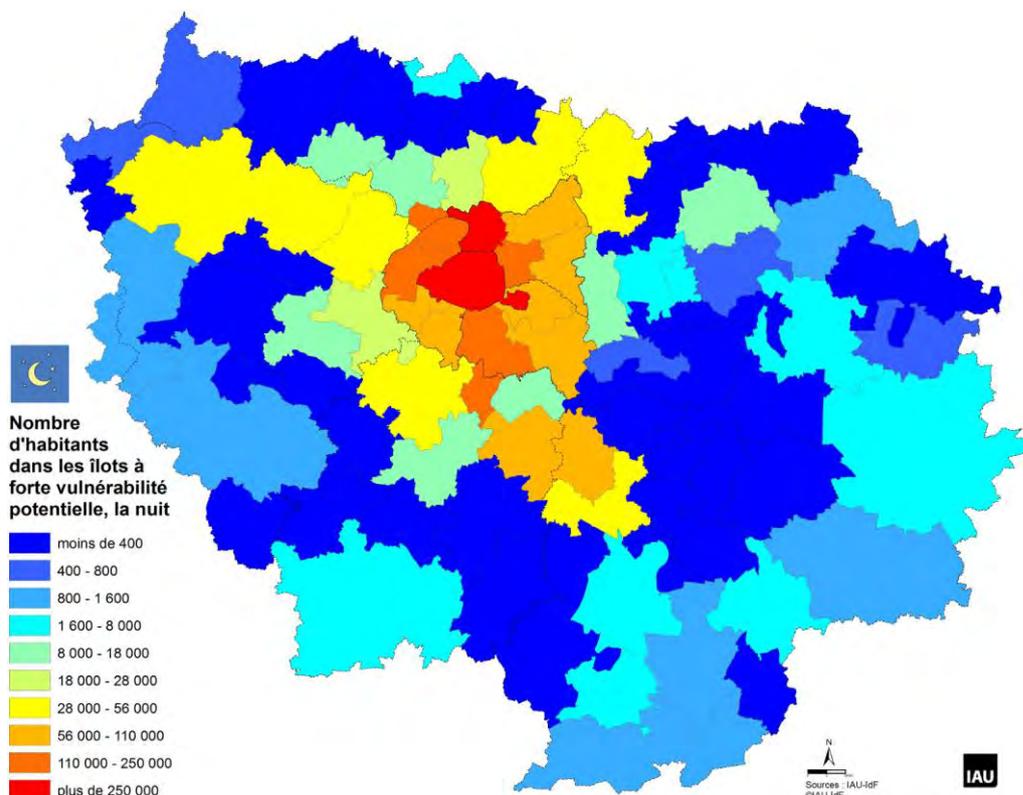
Carte 59 : Cumul des niveaux des classes de vulnérabilité les plus représentées par intercommunalité selon le nombre d'îlots, leur superficie et leur population, la nuit (IAU îdF)



Carte 60 : Effectif par intercommunalité de population sensible par l'âge (moins de 5 ans et plus de 65 ans) résidant dans des îlots à vulnérabilité forte face à la chaleur, la nuit (IAU îdF)



Carte 61 : Nombre d'habitants par intercommunalité résidant dans des îlots à vulnérabilité forte face à la chaleur, la nuit (IAU îdF)



### 3.4 - Des liens entre populations fragiles et zones à effets d'ICU

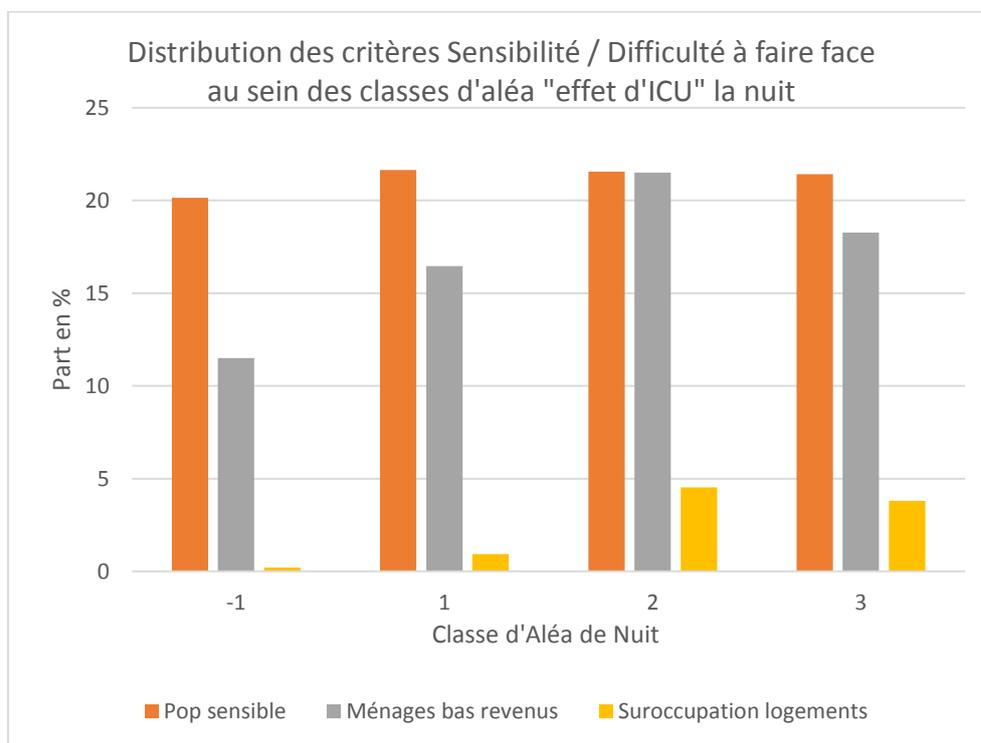
La question peut se poser de l'existence ou non d'inégalités territoriales sociales liées à l'amplification potentielle de l'aléa chaleur par effet d'ICU. Cette question est du reste sous-jacente dans la littérature puisque parmi les critères de fragilité (sensibilité ou difficultés à faire face) fréquemment utilisés dans ce contexte sont citées les différences liées à l'âge, aux conditions de vie ou de revenus.

En exploitant les résultats de 4 classes d'aléa « effet d'ICU » (-1, effet de fraîcheur ; 1, faible effet de chaleur ; 2, effet de chaleur moyen ; 3, fort effet de chaleur) avec la distribution à l'îlot des attributs de sensibilité (population, population sensible, sur-occupation des logements) et de difficulté à faire face (ménages à bas revenu), nous pouvons évaluer ces liens.

D'une part, si nous considérons les statistiques sur l'ensemble de l'Ile-de-France (Cf. [Graphe 4, page suivante](#)), nous pouvons faire les constats suivants :

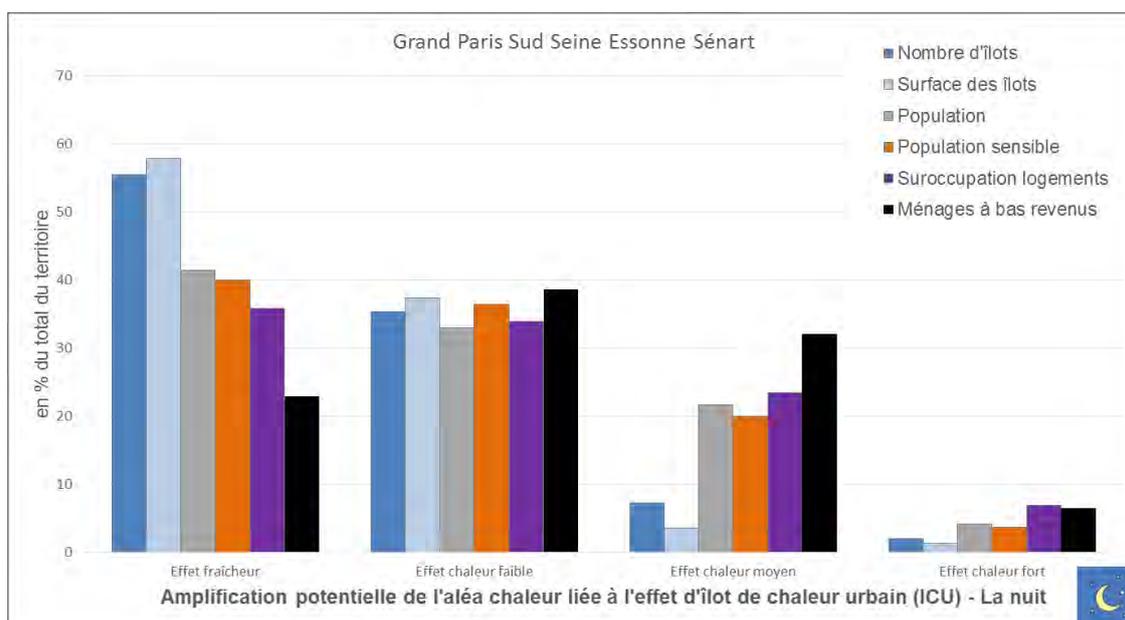
- les populations sensibles par l'âge (moins de 5 ans, plus de 65 ans) sont représentées à même hauteur (environ 21,5% de la population totale des îlots) que l'effet d'ICU soit faible, moyen ou fort ; en revanche, ce pourcentage est moindre (un peu plus de 20%) dans les îlots à effet de fraîcheur ;
- les îlots se distinguant par une plus grande suroccupation potentielle des logements en leur sein sont surreprésentés dans les classes 2 et 3 (autour de 4%) d'effet ICU moyen à fort ;
- les ménages à bas revenu sont également surreprésentés dans les zones à effet d'ICU moyen à fort, avec respectivement 21,5% et 18% du total des ménages de l'ensemble des îlots de ces classes d'aléa alors qu'ils ne représentent que 16,5% dans les îlots à faible effet de chaleur et 11,5% dans ceux à effet de fraîcheur.

**Graphe 4 : Distribution des populations sensibles, ménages à bas revenu, suroccupation logement dans les effectifs respectifs totaux franciliens selon les classes d'aléa « effet d'ICU » la nuit**



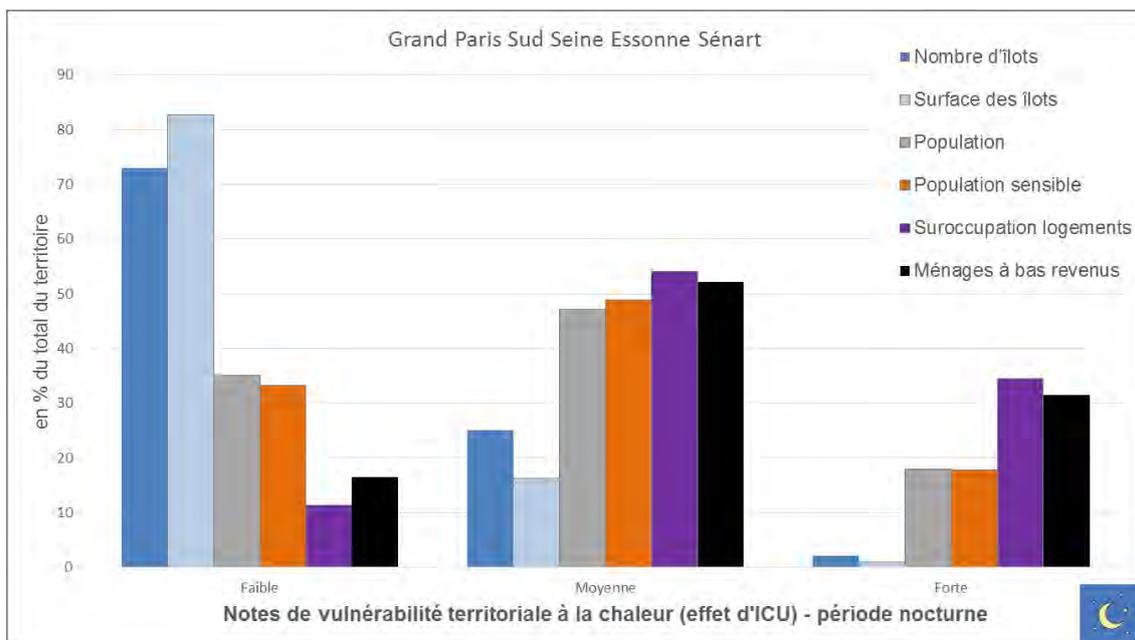
D'autre part, si nous analysons pour une intercommunalité du sud de l'agglomération – Grand Paris Sud Marne et bois - la distribution des îlots de son territoire selon les classes d'aléa « effet d'ICU » la nuit pour chacun des principaux critères d'analyse (nombre et surface des îlots, population et population sensible, sur-occupation des logements, ménages à bas revenu), nous observons que les critères de fragilités (population sensible, sur-occupation des logements, faibles revenus) sont moins représentés en effectif dans les classes d'îlots à effet d'ICU moyen et fort (Cf. [Graphe 5](#)). Ce territoire est bien moins concerné par la hauteur de l'effet d'ICU, mais cependant, relativement au poids de population, au nombre et à la superficie des îlots concernés, la sur-occupation logements et les ménages à faibles revenus sont surreprésentés dans les îlots les plus exposés à la chaleur.

**Graphe 5 : Distribution des îlots de l'intercommunalité Grand Paris Sud Seine Essonne Sénart pour 6 critères d'analyse selon les classes d'aléa « effet d'ICU », la nuit**



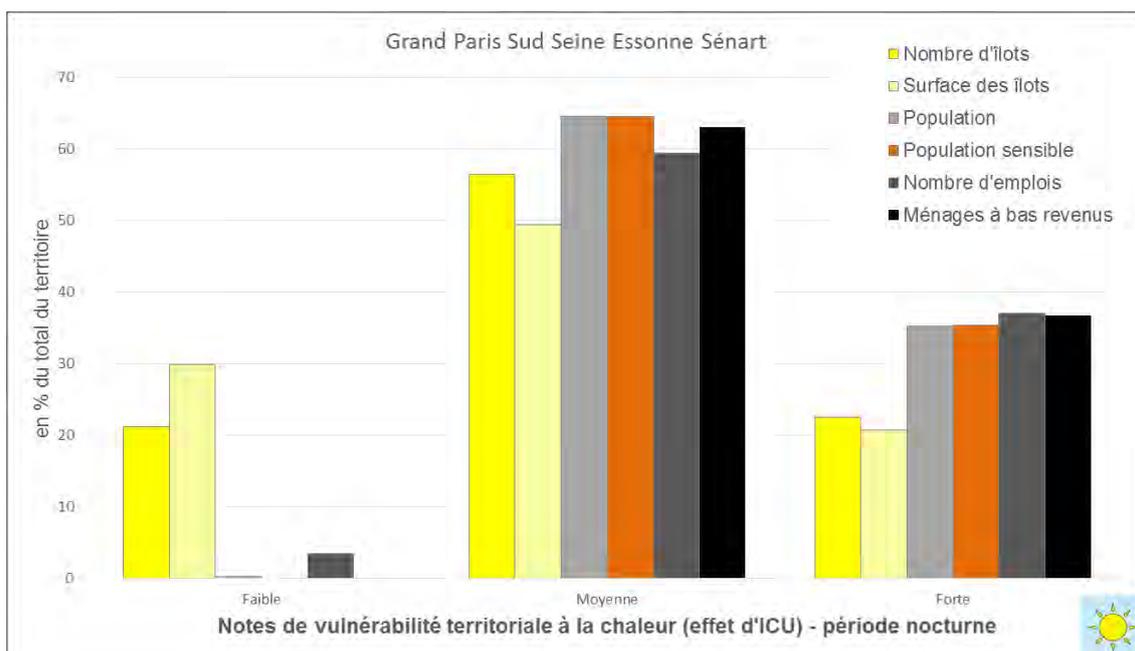
De plus, sur le même exemple de l'intercommunalité Grand Paris Sud Marne et bois, si nous analysons les mêmes critères selon les classes non pas d'aléa mais de vulnérabilité potentielle à l'effet de chaleur, les critères de fragilité sont nettement plus représentés dans les zones fortement vulnérables. Même si l'analyse de ces résultats est quelque peu biaisée par le fait que ces 3 critères participent pour partie dans la définition de la note de vulnérabilité, d'autres composantes intervenant en plus dans l'élaboration de cette note, la démonstration reste donc significative (Cf. [Graphe 6](#)).

**Graphe 6 : Distribution des îlots de l'intercommunalité Grand Paris Sud Seine Essonne Sénart pour 6 critères d'analyse selon les classes de vulnérabilité à la chaleur, la nuit**



Une analyse comparable pour la période diurne, avec les indicateurs Nombre d'emplois et Ménages à bas revenu, souligne également, mais moins nettement, une surreprésentation de ces îlots en forte vulnérabilité (Cf. [Graphe 7](#)).

**Graphe 7 : Distribution des îlots de l'intercommunalité Grand Paris Sud Seine Essonne Sénart pour 6 critères d'analyse selon les classes de vulnérabilité à la chaleur, le jour**



## 4 - Solutions d'aménagement adaptées à l'échelle de l'îlot

### 4.1 - Approche diagnostic des solutions types adaptées à l'îlot

Les résultats de ce travail de définition de la vulnérabilité potentielle lors d'une vague de chaleur du territoire francilien et de ses habitants (vulnérabilité à l'îlot et synthèse à la commune, à l'intercommunalité et à la région) confirment les présupposés annoncés pages 21 à 23 de proposer un panel de solutions d'adaptation qui tiennent compte :

- des 3 composantes de la vulnérabilité : lutter contre l'effet d'ICU, diminuer la sensibilité du territoire et de ses habitants, augmenter les capacités à faire face de la société à la chaleur ;
- des particularités locales de l'îlot, de ses atouts et de ses faiblesses - dans un contexte de quartier, de ville, d'intercommunalité à considérer - pour plus d'efficacité ;
- de divers registres d'action : la prévention avant la protection, la sensibilisation, l'accompagnement, les comportements, les mesures physiques, l'organisation urbaine... ;
- des innovations technologiques et des expérimentations, comme des principes de bon sens (disposer de volets et penser à les fermer, s'alimenter, boire, se vêtir de façon adaptée... ) ;
- des contradictions possibles avec d'autres enjeux primordiaux, de santé publique, énergétique ou climatique par exemple.

Les mesures à proposer vont donc bien au-delà de la lutte contre l'effet d'îlots de chaleur urbains. Si nous partons du principe que les canicules les plus exceptionnelles comme l'a été celle de 2003 peuvent toucher tout le territoire francilien, et que d'autres aléas liés aux effets du changement climatiques consécutifs de la sécheresse (manque d'eau, retrait-gonflement des argiles, risque d'incendie, crues d'orage l'été) peuvent affectés d'autres lieux en Ile-de-France que les zones à effet d'ICU les plus marquées, l'augmentation des capacités à faire face - les ressources des populations et des territoires – reste un des registres d'action les plus déterminants (Cf. Figure 19).

Figure 19 : Les difficultés à faire face aux effets du changement climatique (IAU îdF)

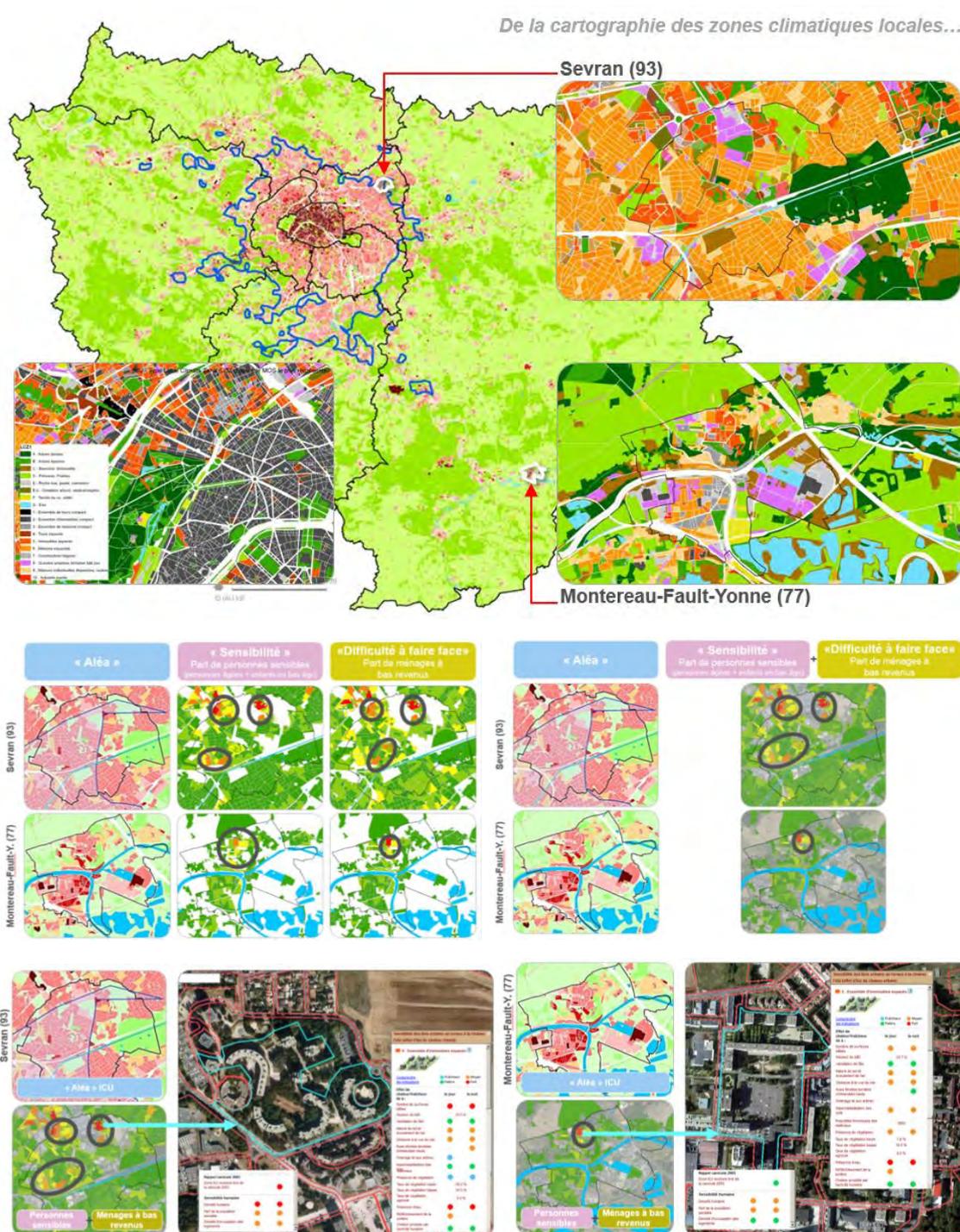


Source : « Éviter la ségrégation climatique et les nouvelles formes d'inégalité, Journée régionale pour le climat » 4 mai 2015, E. Cordeau, N. Laruelle - IAU-îdF

Mais comment, à partir des bases de données et indicateurs que nous avons constituées via notre système d'information géographique (SIG), nous pouvons rendre compte des solutions types les plus pertinentes pour chacun des îlots compte-tenu de leurs spécificités. Pour illustrer cartographiquement ce propos, nous avons fait le choix de ne retenir qu'un indicateur de sensibilité et qu'un indicateur de difficulté à faire face (Cf. Carte 62, page suivante). Nous avons choisi 2 communes de même profil socio-démo, l'une dans la métropole du Grand Paris, Sevran, et l'autre au sud de la Seine-et-Marne,

Montereau-Fault-Yonne. Le résultat du croisement géographique nous a permis de faire ressortir deux îlots de même type LCZ (LCZ 5 – Ensemble d'immeubles espacés) qui présentent le même niveau de vulnérabilité pour les indicateurs considérés.

**Carte 62 : Deux îlots vulnérables à Sevrans et à Montereau-Fault-Yonne, tous deux Ensemble d'immeubles espacés, mais aux caractéristiques différentes pour les solutions d'adaptation**



Bien que les profils communaux et les types d'îlots soient proches, nous constatons que les solutions d'adaptation à proposer pourraient être différentes au vu des enseignements de la photo aérienne et des attributs de la base de données.

L'îlot de Montereau-Fault-Yonne présente une minéralité bien plus importante de son cœur d'îlot du fait de la présence d'un parking asphalté. Il semble également moins ventilé par la disposition des

immeubles en barre relativement continue qui viennent fermer ce cœur d'îlot minéral. Pour cet îlot, un travail sur la reperméabilisation et végétalisation du cœur d'îlot, sur le choix des revêtements des places de parking (granularité, couleur...), feraient partie des mesures physiques envisageables.

A contrario, l'îlot de Sevran présentent beaucoup plus de végétation, notamment des arbres en pleine terre, au sein d'immeubles collectifs bien espacés. En revanche, tant la densité humaine et d'occupation des logements et la présence plus significative de populations sensibles invitent à orienter davantage les solutions d'adaptation vers la prise en compte de cette sensibilité particulière par des mesures sociales de sensibilisation, de repérage des personnes âgées et isolées...

Fort de ce constat, le défi est bien d'arriver à définir une correspondance automatique, d'après les niveaux de vulnérabilité à l'effet de chaleur urbaine le jour et la nuit et l'ensemble des caractéristiques des îlots, vers les registres de solutions d'adaptation les plus pertinentes.

Le premier travail aura été de dresser une typologie des solutions envisageables dans les 3 registres d'action - aléa, sensibilité, difficulté - grâce aux éléments exprimés pour lutter contre les effets d'ICU via les travaux de recherche, guide de recommandation, plan canicule, référentiel aménagement et construction durable, expérimentations,... (Cf. Partie 1 - [2.3], pp21 à 23) et aux enseignements de la présente étude (Cf. Tableaux 33, 34, 35).

Tableau 33 : Typologie des préconisations d'action pour atténuer l'effet d'ICU (IAU îdF)

**Aléa Effet d'ICU :  Faible /  Moyen /  Fort**

<b>Solutions d'atténuation de l'effet d'ICU à privilégier</b>	
<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<b>Augmentation de la couverture végétale</b>
<input type="checkbox"/>	Plus de végétation de pleine terre : espaces verts, trames vertes...
<input type="checkbox"/>	Plus de végétation sur le bâti (toits, terrasses, murs, pieds d'immeubles...)
<input type="checkbox"/>	Potentiel de végétalisation des toitures-terrasses
<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<b>Augmentation des surfaces en eau</b>
<input type="checkbox"/>	Plus de sols perméables (rétention d'eau par le sol)
<input type="checkbox"/>	Potentiel de récupération d'eau en pied d'immeuble, amélioration de la gestion de l'eau
<input type="checkbox"/>	Potentiel d'usage de l'eau pour toitures végétalisées
<input type="checkbox"/>	Plus d'aires de rafraîchissement de proximité : aires aquatiques, bassins, brumisateurs, miroirs d'eau, fontaines...
<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<b>Augmentation de la surface d'ombrage</b>
<input type="checkbox"/>	Plus d'arbres
<input type="checkbox"/>	Plus de protections solaires du bâti : ombrières solaires, pergolas...
<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<b>Utilisation de matériaux à propriétés thermiques et optiques plus adaptés</b>
<input type="checkbox"/>	Augmentation de l'albédo des surfaces au sol (revêtements des chaussées...)
<input type="checkbox"/>	Augmentation de l'albédo des toitures-terrasses
<input type="checkbox"/>	Plus d'inertie des matériaux (confort thermique dans le logement...)
<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<b>Diminution des sources de chaleur anthropique</b>
<input type="checkbox"/>	Facilitation des circulations douces, encouragement TC, plus de fluidité du trafic
<input type="checkbox"/>	Moins de climatisation en mode sec, privilégier les systèmes collectifs (réseaux de froid...) ou individuels (VMC double flux, puits Canadien...)
<input type="checkbox"/>	Récupération de la chaleur perdue par les procédés industriels (chaleur fatale)
<input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<b>Adaptation de la morphologie urbaine à l'occasion de projets (position et orientation du bâti)</b>
<input type="checkbox"/>	Plus de ventilation de l'îlot (meilleure circulation des masses d'air, front urbain moins continu)
<input type="checkbox"/>	Moins d'obstacles à la vue du ciel (accélération du refroidissement nocturne)

Tableau 34 : Typologie des préconisations d'action pour prendre en compte la sensibilité des habitants et des conditions de vie (IAU îdF)

Sensibilité :  Faible /  Moyenne /  Forte

Solutions de prise en compte de la sensibilité des habitants et des conditions de vie à privilégier	
<input type="checkbox"/>	Confort thermique au travail (bâti tertiaire, espaces extérieurs, enceintes de transports collectifs) à considérer attentivement
<input type="checkbox"/>	Isolation des bâtiments, ventilation naturelle, inertie et albédo des matériaux (façades, toits) à considérer attentivement
<input type="checkbox"/>	Risque sanitaire lié à la densité de personnes sensibles à considérer attentivement
<input type="checkbox"/>	Risque sanitaire lié à la sur occupation potentielle des logements à considérer attentivement
<input type="checkbox"/>	Diminution de la pollution de l'air (cofacteur de surmortalité) : diminution du trafic automobile et des vitesses de circulation...

Tableau 35 : Typologie des préconisations d'action pour renforcer les capacités à faire face (IAU îdF)

Incapacité à faire face :  Faible /  Moyenne /  Forte

Solutions de renforcement des capacités à faire face à privilégier	
<input type="checkbox"/>	Soutien à l'amélioration de l'offre en médecine généraliste (présence, accessibilité)
<input type="checkbox"/>	Soutien à l'amélioration de l'offre en services d'urgences (présence, accessibilité)
<input type="checkbox"/>	Soutien à l'amélioration des conditions d'habitat insalubre (bas revenus, sur-occupation logement)
<input type="checkbox"/>	Incitation à l'inscription volontaire au Registre nominatif confidentiel des personnes fragiles (personnes âgées de 75 ans et plus)
<input type="checkbox"/>	Accompagnement/sensibilisation à la mise en œuvre du Plan canicule les personnes fragiles (bas revenus)
<input type="checkbox"/>	Promouvoir l'îlot de fraîcheur que constitue l'espace vert ouvert au public de proximité ; identifier les possibilités de son ouverture exceptionnelle la nuit
<input type="checkbox"/>	Améliorer l'accessibilité aux espaces verts de proximité ouverts au public ; sinon identifier les possibilités de création d'un nouvel îlot de fraîcheur de proximité
<input type="checkbox"/>	Apporter des solutions de rafraîchissement dans les cœurs d'îlots, les cours et pieds d'immeuble

## 4.2 - Vers la définition d'un outil de diagnostic expert

A partir des typologies de solution, nous avons adopté une approche « expert » pour déterminer les conditions d'attribution des solutions les plus pertinentes, îlot par îlot, en fonction de leurs caractéristiques spécifiques. Pour chaque type de solution (indicateur Solution), il a fallu étudier quels attributs de la base de données relatives aux caractéristiques des îlots et à leur vulnérabilité permettaient d'éclairer le jugement.

Des seuils et des conditions ont nécessairement dû être fixés par mesure de simplification, le plus souvent suite à un travail itératif. Après une première proposition faite à partir des bases de données géographiques sous Excel, les résultats sont exprimés sous SIG pour mieux juger de leur pertinence via une pré-restitution cartographique et son analyse.

A titre d'exemple, pour l'évaluation des préconisations de solutions dans le registre d'action d'augmentation de la couverture végétale, nous avons retenu des critères de carence en végétation de l'îlot (via l'Indice de végétation haute et basse), de non mitoyenneté à des îlots composés d'arbres denses (via le LCZ), de l'espace disponible au sol hors bâti (via le coefficient d'emprise au sol), de la planéité et surface des toits et du niveau d'aléa effet d'ICU le jour et la nuit.

Les attributs, les seuils de valeur et les conditions sont déterminés au mieux pour rendre compte de l'intérêt ou non de ce registre de solution, et s'il y a bien des adaptations à envisager, des variantes de solutions les plus pertinentes (Cf. [Tableau 36](#)).

**Tableau 36 : Exemple de critères ayant servi à l'élaboration des Indicateur de solution de lutte contre l'effet d'ICU dans le registre de l'Augmentation de la couverture végétale (IAU îdF)**

ALEA EFFET D'ICU			
Indicateur	Type de solution	Solution à privilégier	Critères pour l'élaboration de l'indicateur
SA_ev	Augmentation de la couverture végétale	Plus de végétation de pleine terre : espaces verts, trames vertes...	<b>Concerné* = 1</b> IV haute + IV basse < 33% Proxi LCZ Arbre = 0 MOS 81 majoritaire différent de 78 Classe Alea nuit > 1 ou Classe Alea jour > 2 CES + IV Haute + IV Basse < 0.6
SA_vegbati		Plus de végétation sur le bâti (pieds d'immeubles, murs, terrasses, toits ...)	<b>Concerné* = 1</b> IV haute + IV basse < 33% Proxi LCZ Arbre = 0 CES + IV Haute + IV Basse >= 0.6
SA_vegtoit		Potentiel de végétalisation des toitures terrasses	<b>Concerné* = 1</b> IV haute + IV basse < 33% Proxi LCZ Arbre = 0 Part des toits "plats" (classe 3 et 4) >= 33 % (avec vérification sur le dénominateur pour éviter de diviser par 0)
*Concerné = Condition souvent nécessaire pour écarter les îlots d'espaces ouverts à caractère naturel qui comportent de très faibles surfaces bâties par effets de bord ; Sélection préalable des postes LCZ bâti (1 à 10) ou ouverts revêtus E			

Ainsi, nous proposerons pour les îlots peu dotés en végétation et impactés par un effet d'ICU notable (fort le jour et/ou moyen à fort la nuit), une solution adaptée parmi plusieurs :

- si l'îlot présente un pourcentage intéressant de surface au sol encore non bâtie et non végétalisée, alors la préconisation d'ajout de végétation de pleine terre est envisageable et recommandée ;
- si l'îlot présente peu de surface au sol encore non bâtie ou non végétalisée, il est recommandé d'examiner les possibilités de végétalisation du bâti proprement dit, en pieds d'immeubles, les murs, en terrasses... ;
- de plus, si l'îlot présente une part significative de toitures planes alors la végétalisation des toitures terrasses est encouragée.

Ce travail est répété pour chaque indicateur Solution, et ce, dans les 3 registres d'adaptation considérés : diminution de l'aléa « effet d'ICU » et prise en compte de la sensibilité spécifique et des difficultés à faire face probables de chacun des îlots. Nous présentons dans les pages suivantes l'ensemble des logigrammes qui représentent de manière simplifiée les hypothèses causales des actions suggérées (Cf. [Tableaux 37, 37 bis, 38, et 39](#)).

Ces logigrammes décrivent les cas d'intervention et les variantes de solution en se basant uniquement sur les données statistiques et géographiques exploitées pour cette étude.

C'est une première réponse nécessairement simplifiée mais qui a l'avantage d'illustrer les éléments de connaissance que l'on peut aujourd'hui rassembler via une approche transversale. Nous avons ainsi proposé de sérier les champs d'intervention adaptés aux particularismes locaux des îlots, à l'échelle du pâté de maison, avant le travail complémentaire du terrain et des connaissances plus fines des contraintes et leviers d'action.

Tableau 37 : Logigramme explicitant les critères à rencontrer pour chaque proposition de solution de lutte contre l'effet d'ICU dans les 3 premiers registres de solution d'aménagement (IAU îdF)

Indicateur nb d'îlots	EXPLICITATION DES ILOTS CIBLES DES PROPOSITIONS DE SOLUTION D'AMENAGEMENT	SOLUTION D'AMENAGEMENT A PRIVILEGIER
<b>Augmentation de la couverture végétale</b>		
SA_ev 2 644 îlots	Cas des îlots bâtis ou construits, hors installation aéroportuaire, avec un effet d'ICU moyen ou fort la nuit ou fort le jour, peu pourvus en végétation (moins d'un tiers de leur surface) et sans proximité immédiate à des îlots majoritairement arborés, <b>présentant un potentiel de surface au sol encore non bâtie ou non végétalisée (plus de 40% de la surface)</b>	Plus de végétation de pleine terre : espaces verts, trames vertes...
SA_vegbati 10 785 îlots	Cas des îlots bâtis ou construits, peu pourvus en végétation (moins d'un tiers de leur surface) et sans proximité immédiate à des îlots majoritairement arborés, <b>présentant peu de surface au sol encore non bâtie ou non végétalisée (moins de 40%)</b>	Plus de végétation sur le bâti (pieds d'immeubles, murs, terrasses, toits...)
SA_vegtoit 4 770 îlots	Cas des îlots bâtis ou construits, peu pourvus en végétation (moins d'un tiers de leur surface) et sans proximité immédiate à des îlots majoritairement arborés, <b>présentant une part significative (plus d'un tiers) de toitures potentiellement planes</b>	Potentiel de végétalisation des toitures terrasses
<b>Augmentation des surfaces en eau</b>		
SA_perm 10 651 îlots	Cas des îlots bâtis ou construits, hors installation aéroportuaire, avec un effet d'ICU moyen ou fort le jour comme la nuit, peu pourvus de surface en eau (densité inférieure à 5%) et non significativement riverains de cours d'eau et/ou de plans d'eau, <b>présentant un taux d'imperméabilisation supérieur à 40% et un potentiel de surface au sol encore non bâtie de 15% minimum</b>	Plus de sols perméables (rétention d'eau par le sol)
SA_recupsol 17 377 îlots	Cas des îlots bâtis ou construits, hors installation aéroportuaire, avec un effet d'ICU moyen ou fort le jour comme la nuit, <b>présentant un taux d'imperméabilisation supérieur à 40% et un potentiel majoritaire (2/3 minimum) de toitures à toits en pente</b>	Potentiel de récupération d'eau en pied d'immeuble, amélioration de la gestion de l'eau
SA_recuptoit 5 734 îlots	Cas des îlots bâtis ou construits, hors installation aéroportuaire, avec un effet d'ICU moyen ou fort le jour comme la nuit, <b>présentant un taux d'imperméabilisation supérieur à 40% et une part significative (plus d'un tiers) de toitures potentiellement</b>	Potentiel d'usage de l'eau pour toitures végétalisées
SA_eau 5 313 îlots	Cas des îlots avec un effet d'ICU moyen ou fort la nuit ou fort le jour, peu pourvus de surface en eau (densité inférieure à 5%) et non significativement riverains de cours d'eau et/ou de plans d'eau, et <b>constitués d'ensembles de maisons compacts, de tours ou d'immeubles associés à des surfaces significatives d'espaces ouverts non densément arborés, avec un coefficient d'emprise au sol malgré tout minoritaire (surface bâtie &lt;= 50%)</b>	Plus d'aires de rafraîchissement de proximité : aires aquatiques, bassins, brumisateurs, miroirs d'eau, fontaines...
<b>Augmentation de la surface d'ombrage</b>		
SA_arbre 10 616 îlots	Cas des îlots bâtis ou construits, hors installation aéroportuaire, avec un effet d'ICU moyen ou fort la nuit ou fort le jour, peu pourvus en végétation arborée (moins d'un tiers de leur surface), de Facteur de vue du ciel (SVF) supérieur ou égal à 0,4 et <b>présentant une surface disponible au sol suffisante telle que moins de 60% de la surface est arborée/bâtie (moins de 50% dans le cas d'une hauteur moyenne du bâti de plus de 10m pour intégrer</b>	Plus d'arbres pour plus d'ombrage
SA_ombre 7 084 îlots	Cas des îlots bâtis ou construits, peu pourvus en végétation arborée (moins d'un tiers de leur surface) et <b>présentant un Facteur de vue du ciel (SVF) inférieur ou égal à 0,3 (tissu urbain très</b>	Plus de protections solaires du bâti : ombrières solaires, pergolas...

Tableau 37 bis : Logigramme explicitant les critères à rencontrer pour chaque proposition de solution de lutte contre l'effet d'ICU dans les 3 derniers registres de solution d'aménagement (IAU îdF)

indicateur	EXPLICITATION DES ILOTS CIBLES DES PROPOSITIONS DE SOLUTION D'AMENAGEMENT (SUITE)	SOLUTION D'AMENAGEMENT A PRIVILEGIER (SUITE)
<b>Utilisation de matériaux à propriétés thermiques et optiques plus adaptés</b>		
SA_albedo_sol 9 025 îlots	Cas des îlots construits (espace ouvert de LCZ type E, majoritaire ou secondaire), avec un effet d'ICU moyen ou fort le jour comme la nuit, <b>présentant une part potentiellement significative de surfaces revêtues artificielles et minérales (macadam, pavés...)</b>	Augmentation de l'albédo des surfaces au sol (revêtements des chaussées...)
SA_albedo_toit 5 813 îlots	Cas des îlots bâtis, avec un effet d'ICU moyen ou fort le jour comme la nuit, <b>présentant une part majoritaire (plus de 50%) de toitures potentiellement planes</b>	Augmentation de l'albédo des toitures terrasses
SA_materiau 10 788 îlots	Cas des îlots bâtis ou construits, avec un effet d'ICU moyen ou fort la nuit, <b>présentant une majorité de leur bâti construit après 1948 (post Seconde Guerre Mondiale)</b>	Plus d'inertie des matériaux (confort thermique dans le logement...)
<b>Diminution des sources de chaleur anthropique</b>		
SA_trafic 18 244 îlots	Cas des îlots bâtis ou construits, <b>présentant à leur pourtour un trafic routier significatif source de chaleur anthropique (chaleur des moteurs)</b>	Facilitation des circulations douces, encouragement TC, plus de fluidité du trafic
SA_clim 3 082 îlots	Cas des îlots bâtis du secteur tertiaire, <b>présentant en leur sein une part significative de consommation d'électricité spécifique par le bâti tertiaire (bureaux, commerces, équipements...)</b> source potentielle de chaleur anthropique (rejet de chaleur par les	Moins de climatisation en mode sec, privilégier les systèmes collectifs (réseaux de froid...) ou individuels (VMC double flux, puits Canadien...)
SA_process 1 357 îlots	Cas des îlots bâtis du secteur industriel <b>présentant en leur sein d'une présence significative d'industries lourdes</b> source potentielle de chaleur anthropique (rejet de chaleur fatale par les	Récupération de la chaleur perdue par les procédés industriels (chaleur fatale)
<b>Adaptation de la morphologie urbaine à l'occasion de projets (position et orientation du bâti)</b>		
SA_vent 5 044 îlots	Cas des îlots bâtis ou construits, <b>présentant une rugosité urbaine (minérale/végétale) significative</b>	Plus de ventilation de l'îlot (meilleure circulation des masses d'air, front urbain moins
SA_svf 11 864 îlots	Cas des îlots bâtis ou construits, avec un effet d'ICU moyen ou fort la nuit, <b>présentant un Facteur de vue du ciel (SVF) inférieur ou égal à 0,4 (tissu urbain compact)</b>	Moins d'obstacles à la vue du ciel (accélération du refroidissement nocturne)

Tableau 38 : Logigramme explicitant les critères à rencontrer pour chaque proposition de solution de prise en compte de la sensibilité des habitants et des conditions de vie (IAU îdF)

indicateur	Solutions de prise en compte de la sensibilité des habitants et des conditions de vie à privilégier	
SS_confort 24 219 îlots	Cas des îlots <b>présentant une densité significative d'emplois salariés</b> (d'après le nombre d'emplois salariés des entreprises et établissements rapporté à la surface de l'IMU ; seuil bas des tranches d'effectifs ; ALTARES 01.01.2013)	Confort thermique au travail (bâti tertiaire, espaces extérieurs, enceintes de transports collectifs) à considérer attentivement
SS_bati 20 731 îlots	Cas des îlots habités (plus de 10 habitants) <b>présentant une majorité de leur bâti construit entre 1949 et 1974</b> , soit la période de reconstruction d'après-guerre (production rapide et massive de logements, considérés comme "passoires thermiques" probables) et avant les premières réglementations thermiques (d'après l'époque de construction majoritaire - bâtiments les plus représentés en superficie dans l'IMU - des fichiers fonciers MAJIC	Isolation des bâtiments, ventilation naturelle, inertie et albédo des matériaux (façades, toits) à considérer attentivement
SS_sensible 47 451 îlots	Cas des îlots habités (plus de 10 habitants) <b>présentant une part significative de population dite sensible à la chaleur (5 ans et moins, plus de 65 ans)</b> : au moins 50 individus sensibles ou plus de 10 habitants dont 20% sont sensibles ou la présence d'une maison	Risque sanitaire lié à la proportion de personnes sensibles à considérer attentivement
SS_densite 12 369 îlots	Cas des îlots habités (plus de 25 habitants) <b>présentant une densité importante de logements potentiellement sur-occupés</b> (d'après Densibâti)	Risque sanitaire lié à la suroccupation potentielle des logements à considérer attentivement
SS_pollair 37 205 îlots	Cas des îlots avec une densité significative d'emplois salariés ou avec une densité significative de population résidente et <b>présentant soit une proximité à des routes au trafic routier significatif soit une probabilité de sur-exposition à l'ozone (référence été 2003, canicule exceptionnelle) ou des conditions de rue canyon (mauvaise dispersion de la pollution de l'air)</b>	Diminution de la pollution de l'air (cofacteur de surmortalité) : diminution du trafic automobile et des vitesses de circulation...

Tableau 39 : Logigramme explicitant les critères à rencontrer pour chaque proposition de solution de renforcement des capacités à faire face (IAU îdF)

indicateur	Solutions de renforcement des capacités à faire face à privilégier	
SI_medecin 20 092 îlots	Cas des îlots habités (plus de 10 habitants) <b>ne présentant pas en proximité une offre qualifiée de "relativement bonne à très importante"</b> en médecin généraliste (état 2006, d'après une <b>analyse de l'offre par maille 250m x 250m de type bâti habitat</b> )	Soutien à l'amélioration de l'offre en médecine généraliste (présence, accessibilité)
SI_urgence 30 380 îlots	Cas des îlots habités (plus de 10 habitants) <b>situés à plus de 5 km (à vol d'oiseau) d'un hôpital disposant d'un service d'urgence</b>	Soutien à l'amélioration de l'offre en services d'urgences (présence, accessibilité)
SI_habitat 9 558 îlots	Cas des îlots <b>cumulant une densité importante de logements potentiellement sur-occupés et une proportion significative (12,4%) de ménages à bas revenus</b> (seuil bas revenu défini au niveau national : 60% du revenu médian des ménages de France métropolitaine)	Soutien à l'amélioration des conditions de vie potentiellement difficiles (bas revenus, sur-occupation logement)
SI_chalex 25 214 îlots	Cas des îlots habités (plus de 10 habitants) <b>présentant une part significative de personnes âgées de 75 ans et plus (population potentiellement plus isolée et sensible à la chaleur)</b> : au moins 10 personnes âgées ou représentant au moins 10% de la population résidente de l'îlot	Incitation à l'inscription volontaire au Registre nominatif confidentiel des personnes fragiles (personnes âgées de 75 ans et plus)
SI_fragile 3 960 îlots	Cas des îlots habités (plus de 10 habitants) <b>dont plus du tiers de sa population se compose de ménages à bas revenus</b> (seuil bas revenu national)	Accompagnement/sensibilisation à la mise en œuvre du Plan canicule pour les personnes fragiles (bas revenus)
SI_evprox 16 280 îlots	Cas des îlots habités (plus de 10 habitants), <b>peu pourvus en végétation (moins de 20% de végétation arborée et moins de 50% de végétation) mais présentant un espace vert ouvert au public à proximité (accessibilité piétonne)</b>	Promouvoir l'îlot de fraîcheur que constitue l'espace vert ouvert au public de proximité ; identifier les possibilités de son ouverture exceptionnelle la nuit.
SI_evcarence 5 801 îlots	Cas des îlots habités (plus de 10 habitants), <b>peu pourvus en végétation (moins de 20% de végétation arborée et moins de 50% de végétation) et sans accessibilité piétonne à un espace vert ouvert au public à proximité de l'îlot (carence en espace vert)</b>	Améliorer l'accessibilité aux espaces verts de proximité ouverts au public ; sinon identifier les possibilités de création d'un nouvel îlot de fraîcheur de proximité
SI_frais 3 623 îlots	Cas des îlots bâtis ou construits, habités (plus de 10 habitants), avec un effet d'ICU moyen ou fort la nuit ou fort le jour, <b>très peu pourvus en végétation (moins de 10% de végétation arborée et moins de 20% de végétation), sans proximité immédiate à des îlots majoritairement arborés, peu pourvus de surfaces en eau (densité inférieure à 5%) et non significativement riverains de</b>	Apporter des solutions de rafraîchissement dans les cœurs d'îlots, les cours et pieds d'immeuble

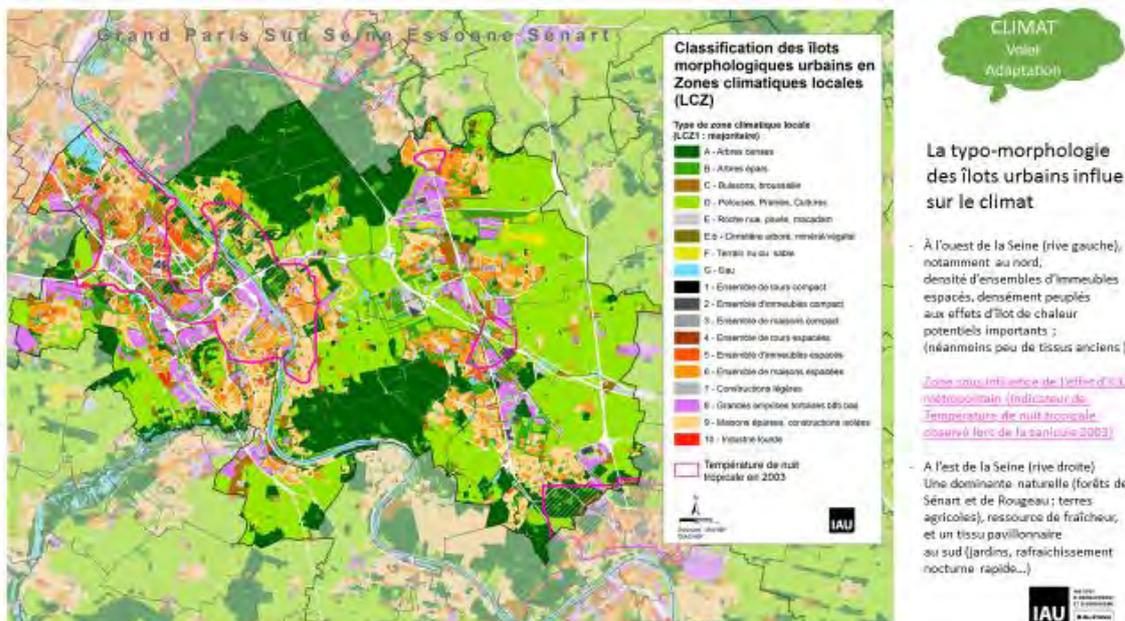
Focus territorial : illustration cartographique d'un diagnostic territorial et des propositions d'adaptation à la chaleur urbaine, du territoire jusqu'à l'échelle de l'îlot

Afin de sensibiliser les EPCI et les EPT d'Ile-de-France qui doivent élaborer des Plans climat air énergie territoriaux (PCAET) au volet Adaptation aux effets du changement climatique, l'IAU a eu l'occasion de mener quelques diagnostics territoriaux de vulnérabilité et d'adaptation à la chaleur urbaine.

A l'occasion d'une conférence organisée le 28 juin 2016 par l'Agence locale de l'énergie d'Evry Centre Essonne, afin de sensibiliser sur la question des îlots de chaleur urbain et de l'anticipation et adaptation des villes au changement climatique », l'approche diagnostic de l'IAU a été appliquée et présentée pour le territoire de l'intercommunalité Grand Paris Sud Seine Essonne Sénart. Une sélection de cartographies qui en est issue donne à voir les différentes étapes de ce diagnostic, depuis la classification en LCZ de ce territoire jusqu'aux exemples d'interprétation au cas par cas des solutions d'adaptation à l'échelle des îlots (*Cf. Cartes 63 à 69, pages suivantes*).

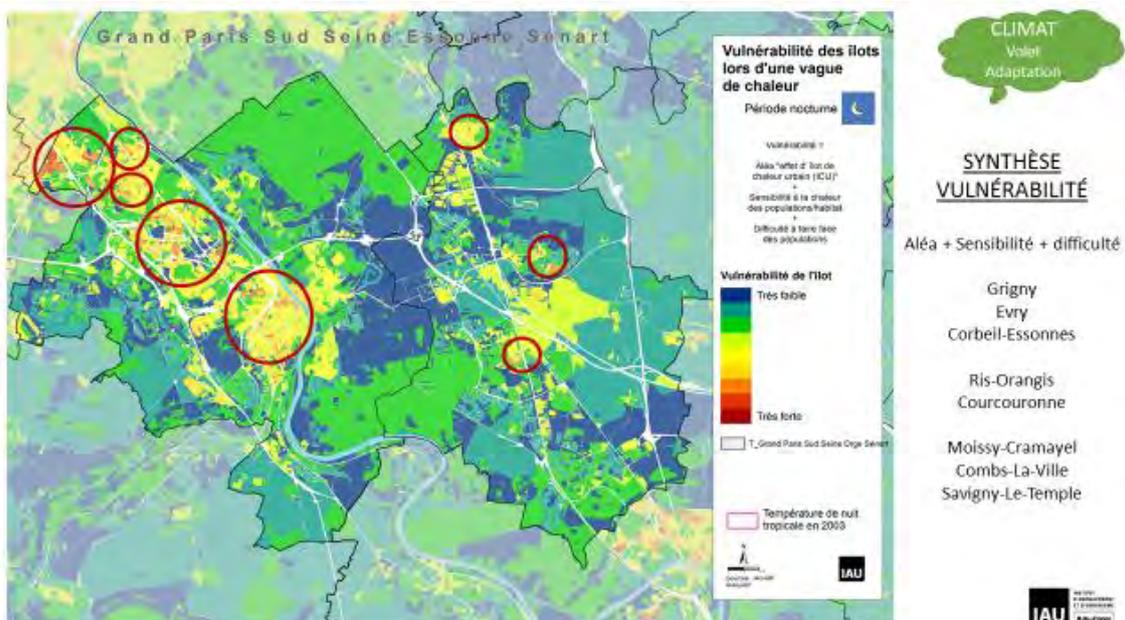
Seules la cartographie LCZ (*Cf. Carte 63*) et l'interprétation des effets de chaleur ou de fraîcheur le jour et la nuit par propriétés LCZ font déjà l'objet d'un applicatif accessible à tous par Internet sur le site de l'IAU. Il est présenté dans le dernier chapitre (Cf. [5.2 – Outil de cartographie interactive « Chaleur en ville »]). Un projet de Story Map est à l'étude à l'IAU pour permettre de cartographier pour tous les territoires franciliens, l'ensemble du diagnostic de vulnérabilité et des préconisations actions.

Carte 63 : Focus diagnostic territorial, la classification LCZ (IAU îdF)



Point d'entrée du diagnostic, la carte LCZ présente, via la typo-morphologie des îlots, les grands équilibres et déséquilibres du territoire concernant les influences climatiques des espaces bâtis, construits ou ouverts suivant leur caractéristiques de compacité du bâti et du type de milieu, naturel ou artificiel. Le contour Rose rappelle la limite de zone définie par l'indicateur de température de nuit tropicale lors de la canicule 2003 (zone où la température est restée au-dessus de 20°C les nuits).

Carte 64 : Focus diagnostic territorial, la vulnérabilité à l'îlot, la nuit (IAU îdF)



Ce deuxième extrait cartographique présente les résultats de vulnérabilité des îlots à la chaleur. Du bleu au rouge, plus les couleurs sont chaudes, plus la vulnérabilité potentielle est jugée forte.

Les cernés de couleur rouge souligne les secteurs concentrant des points de vulnérabilité forte. En définitive, ce territoire présente de nombreux atouts (forêt de Sénart, plateaux agricoles, méandres de Seine...) et restreint de façon très contrastée la géographie de la vulnérabilité à sa frange Ouest.

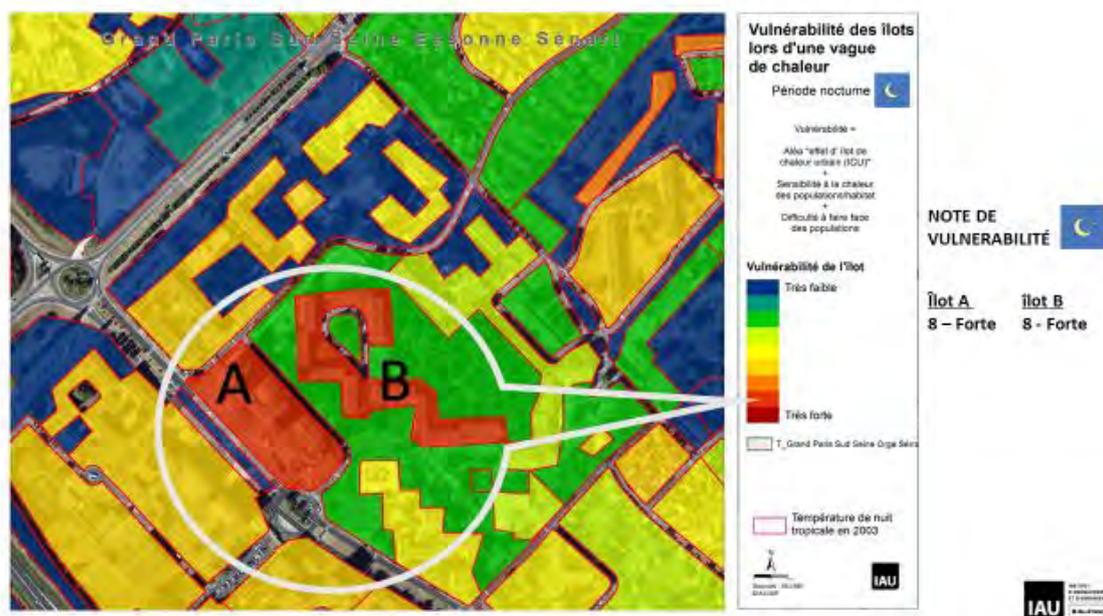
Carte 65 : Focus diagnostic territorial, bouquet de solutions d'adaptation à la chaleur urbaine (IAU idF)



Ce troisième extrait rend compte du nécessaire changement d'échelle lorsqu'il convient de proposer des solutions d'adaptation pertinentes. Le zoom s'impose, d'une part, pour pouvoir engager un travail à l'îlot qui prenne en compte ses spécificités, d'autre part, puisque c'est non pas une solution mais une batterie de solutions qu'il est utile de mettre en œuvre dans la plupart des cas.

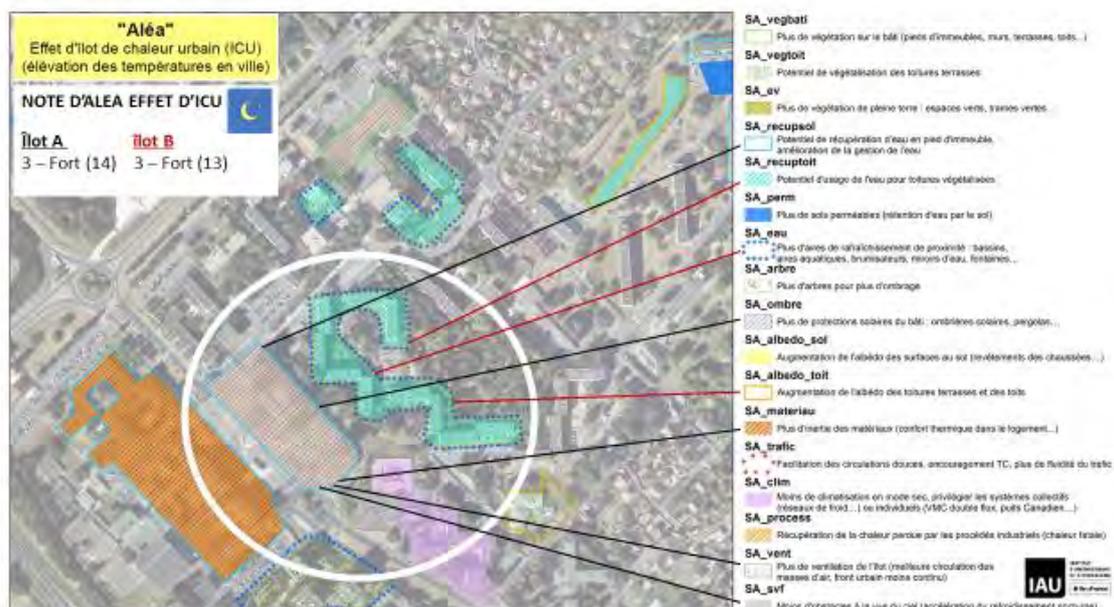
Dans l'exemple ci-dessus, nous proposons de zoomer sur le centre-ville de la commune d'Evry pour l'illustration de nos propos.

Carte 66 : Focus diagnostic territorial, exemple de 2 îlots où une forte vulnérabilité est identifiée (IAU idF)



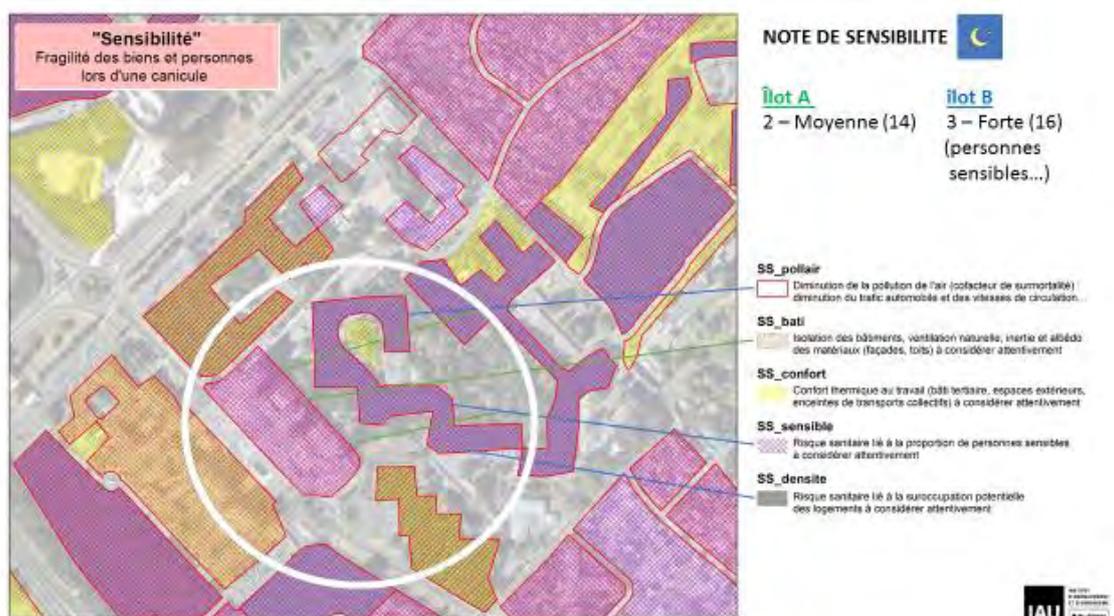
Ce quatrième extrait expose les résultats des notes de vulnérabilité des îlots dans un secteur du centre-ville d'Evry. La période nocturne est retenue car il s'agit de la période la plus critique comme nous l'avons vu précédemment. Deux îlots se démarquent, les îlots A et B, classés en vulnérabilité forte.

Carte 67 : Focus diagnostic territorial, solutions d'adaptation les plus pertinentes pour diminuer l'effet d'ICU, telles qu'interprétées par la base expert dans le cas de 2 exemples d'îlots fortement vulnérables à Evry (IAU îdF)



Ce cinquième extrait cartographique restitue les suggestions d'aménagement - préconisées par l'approche expert automatisée - parmi la typologie de solutions de diminution de l'effet d'ICU. Si ce dernier est potentiellement fort pour ces 2 îlots, les solutions proposées diffèrent : l'îlot A étant particulièrement compact, sans espace libre au sol, les solutions relatives aux matériaux et à une meilleure ventilation sont davantage privilégiées ; pour l'îlot B, une suite de bâtiments collectifs en cascade bordés d'espaces arborés, il est prôné d'utiliser le potentiel de toitures plates pour de la récupération d'eau ou l'augmentation de l'albédo via l'usage de peintures réfléchissantes des toitures pour améliorer l'isolation thermique (le procédé « cool roof », par exemple, permet de diminuer jusqu'à 30% les besoins en climatisation).

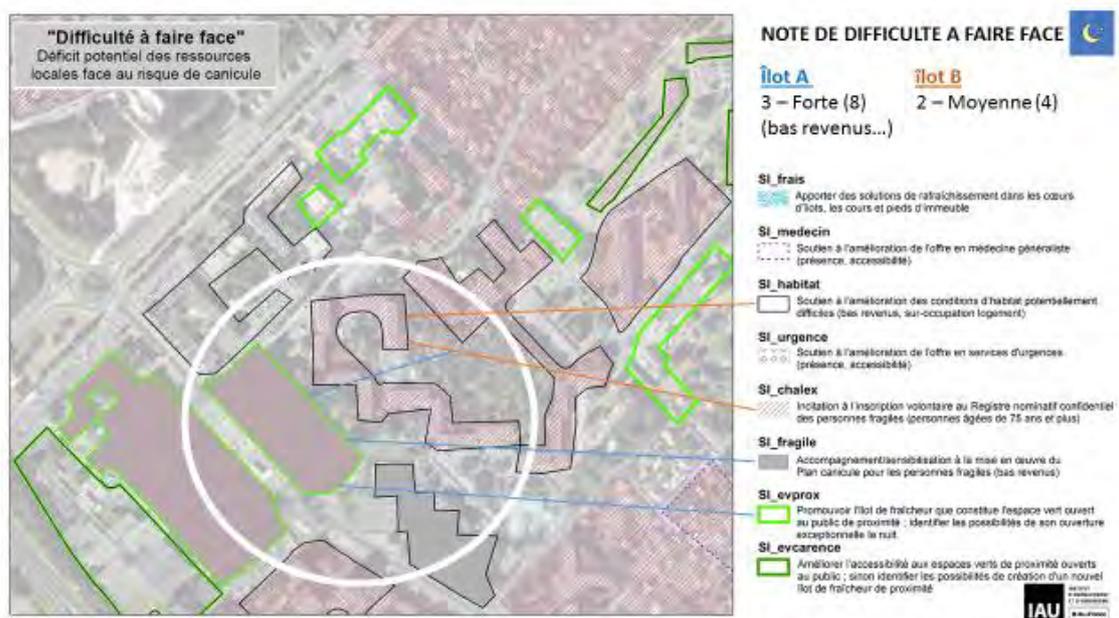
Carte 68 : Focus diagnostic territorial, solutions d'adaptation les plus pertinentes pour diminuer la sensibilité des personnes et de l'habitat, telles qu'interprétées par la base expert dans le cas de 2 exemples d'îlots fortement vulnérables à Evry (IAU îdF)



Le sixième extrait cartographique page précédente décrit les solutions de prise en compte des sensibilités spécifiques des 2 îlots considérés. L'îlot B s'avère plus sensible, du fait de la présence plus marquée de personnes sensibles par l'âge et d'une densité de population plus importante. Les deux îlots sont pareillement concernés par un contexte de qualité de l'air défavorable (ozone) dont il faut tenir compte à l'échelle plus large de l'aménagement et des transports.

L'îlot A, qui présente une majorité de bâtiments construits entre 1949 et 1974 mérite une attention particulière quand à la qualité d'isolation des bâtiments existants et des matériaux utilisés (inertie et albédo).

**Carte 69 : Focus diagnostic territorial, solutions d'adaptation les plus pertinentes pour augmenter la capacité à faire face des personnes, telles qu'interprétées par la base expert dans le cas de 2 exemples d'îlots fortement vulnérables à Evry (IAU îdF)**



Le dernier extrait cartographique révèle les difficultés à faire face et le registre de solutions préconisables pour ces 2 îlots. L'îlot A présente cette fois des difficultés plus fortes que l'îlot B, notamment par la présence significative de population à bas revenu. Dans ce cas, il peut être judicieux de faire un travail spécifique de repérage des personnes sensibles pour les aider à s'inscrire au registre nominatif des personnes fragiles ou de faire connaître, par des moyens adaptés à ces populations plus fragiles socialement, les recommandations du plan canicule. Cet îlot étant par ailleurs situé dans un périmètre d'accessibilité satisfaisante à un espace vert public, il peut être utile d'envisager l'ouverture de cet espace de fraîcheur la nuit dans les périodes de canicule.

Nous préconiserons plus particulièrement dans le cas de l'îlot B d'assurer une bonne sensibilisation des populations sensibles les plus isolées à la procédure d'inscription au registre nominatif des personnes fragiles, puisque c'est une démarche volontaire qu'il faut déjà connaître. Les conditions d'amélioration de l'habitat (sur-occupation...) méritent d'être aussi étudiées.

Ce focus territorial illustre, au final, la base de données géographique des solutions d'adaptation à la chaleur urbaine envisageables à l'échelle de l'îlot. Cette base SIG, à usage interne en raison de sa complexité, est interrogeable pour chacun des 237 000 îlots franciliens. Un projet de développement d'un outil de valorisation numérique est cependant à l'étude (story map...) pour rendre visible tout ou partie de cette expertise à tout public.

## 5 - Des outils de sensibilisation complémentaires

### 5.1 - Outil de cartographie interactive « Chaleur en ville »

Pour le porter à connaissance des effets d'îlots de chaleur en Ile-de-France, l'IAU a défini un premier outil d'analyse par cartographie interactive web, dénommé « Chaleur en ville » et accessible sous CARTOVIZ. Cet outil de sensibilisation tout public donne à voir l'influence climatique des îlots naturels ou construits en Ile-de-France en exprimant les résultats de la classification de la zone climatique locale (LCZ) et en proposant une interprétation simplifiée des effets de chaleur/fraîcheur, propriété LCZ par propriété LCZ (Cf. [3 - Classification des IMU en LCZ], page 33).

L'appli « Chaleur en ville » est accessible via un appareil connecté (ordinateur et smartphone) par le lien suivant : [http://carto.iau-idf.fr/cartoviz/?id\\_appli=imu&x=650615.5878295387&y=6861101.758626224&zoom=5](http://carto.iau-idf.fr/cartoviz/?id_appli=imu&x=650615.5878295387&y=6861101.758626224&zoom=5)

En prime abord, l'appli présente la cartographie du LCZ dominant (type « LCZ1 ») par souci de lisibilité, via un code couleur par type LCZ (Cf. Figure 20).

Figure n°20 : Appli grand public de cartographie interactive sur les types et propriétés LCZ



Source : « Rubrique Ecosystème environnemental, Carte « Chaleur en ville » de CARTOVIZ – IAU idF

En revanche, en cliquant sur la carte, outre la représentation du pictogramme relatif au LCZ1 de l'îlot sélectionné, figure en plus celui du type LCZ secondaire (type LCZ2) s'il est significatif (îlot requérant une certaine hétérogénéité).

Pour l'îlot sélectionné, les effets de chaleur potentiels le jour et la nuit – pastille bleue, effet de fraîcheur ; pastille verte, impact neutre chaleur/fraîcheur ou faible de chaleur ; pastille orange, effet de chaleur moyen ; pastille rouge, fort effet de chaleur– sont présentés par propriété LCZ. Ces indicateurs de perturbations radiatives, thermiques, aérologiques et hydrologiques sont expliqués dans un document pdf téléchargeable dans la rubrique « Comprendre les indicateurs » (Cf. Annexe 12).

Ce premier outil, en revanche, ne fait pas la synthèse globale de la note d'aléa « effet d'ICU » (projet de développement en cours). C'est à l'utilisateur d'apprécier, au vu du nombre de pastilles orange et rouges, si l'îlot présente des caractéristiques défavorables.

L'appli précise aussi si l'îlot se trouvait ou non dans la zone définie par l'indicateur de température de nuit tropicale lors de la canicule 2003 (zone où la température est restée au-dessus de 20°C la nuit).

De la même façon, symbolisés par des pastilles de couleur, 3 indicateurs de sensibilité humaine sont interprétés : la densité humaine, la part de population sensible et la densité d'occupation des logements (Cf. Figure 21).

Figure n°21 : Fonctionnement de l'appliquet grand public « Chaleur en ville »



Source : « Rubrique Ecosystème environnemental, Carte « Chaleur en ville » de CARTOVIZ – IAU idF

## 5.2 - Les films en 3D pour expliquer et sensibiliser : « Balades thermiques urbaines »

La place du ressenti dans la problématique de chaleur urbaine est déterminante, comme nous le montre l'exemple des balades thermiques à Grenoble ou les enseignements provenant du terrain (parcours urbains, comportement des matériaux, effets d'ombrage...) de l'APUR (Cf. Annexe 13). De là, nous est venue l'idée du projet de film 3D pour la COP21 - « Balades thermiques en ville » - pour aider à sensibiliser aux enjeux de santé publique en lien avec l'aménagement du territoire.

Nous avons cherché à rendre concret et visible, vu de l'habitant, les effets de chaleur urbaine lors de parcours urbains en expliquant les perturbations radiatives et thermiques, le ressenti, les recommandations de santé publique du plan canicule et les comportements et solutions d'aménagement à adopter. Avec un spécialiste urbaniste 3D de l'IAU (Xavier Opigiez), l'association de l'Observatoire régionale de santé Île-de-France, ORS (Sabine Host) et le département de la communication de l'IAU (Sandrine Kocki), la réalisation de 3 films 3D a pu être assurée en interne.

Trois *scenarii* ont été imaginés, pour traduire différentes situations problématiques, de l'inconfort thermique au risque de santé publique de personnes sensibles en période de canicule : 3 périodes du jour (midi, après-midi et soirée) et 3 profils de citoyens, représentés par des avatars (une personne active, une femme et son enfant en bas âge, une personne âgée). Nous devons matérialiser de plus le ressenti, les expositions à la chaleur et à la pollution atmosphérique, les recommandations de santé publique, les effets de l'environnement urbain actuel et les solutions d'améliorations (plantations d'arbres, albédo, toitures végétalisées efficaces, l'eau en ville, les réseaux de froid...).

Les synoptiques des 3 *scenarii* sont les suivants :

**Scenario 1** : le jour, pause déjeuner, fin de journée / un actif / urbanisme sur dalle / Secteur de « La Défense », Hauts-de-Seine

- Sortir le midi de son immeuble pour rejoindre son lieu d'achat de restauration via la traversée d'un parvis très exposé au soleil et éblouissant (avec comportement d'évitement, recherche d'ombrage) et aller pique-niquer dans un espace vert ombragé ; climatisation avec rejets sec en façade de

restaurants et d'immeubles de bureau ; urbanisme sur dalle imperméable ; chaleur dans les transports le soir, dans le bus pour rentrer du travail (période crépusculaire la plus chaude)

- Indicateurs clés : parts modales des déplacements pendulaires ; consommations énergétiques du secteur tertiaire (climatisation et énergie...) ; carence en espace vert public
- Lien internet : <https://youtu.be/sCC5Zz2-w84?t=5>

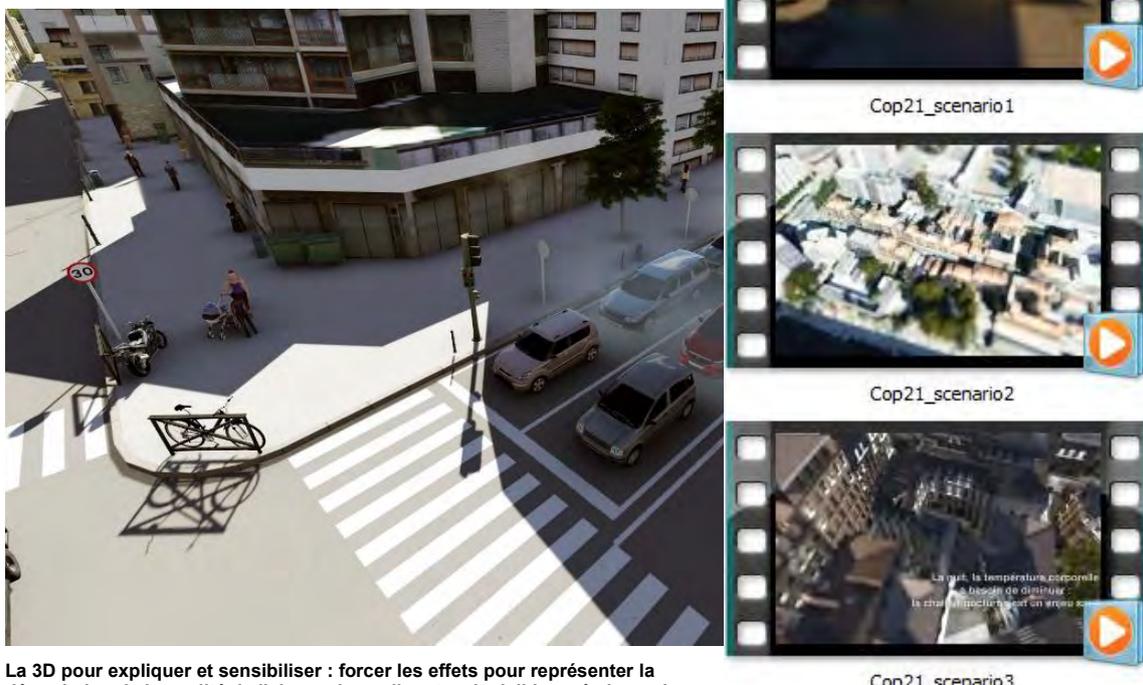
**Scenario 2** : le jour, après la sieste de l'après-midi / une mère et son enfant en bas-âge (population sensible) / Quartier de Vitry-sur-Seine, Val-de-Marne

- Sortir avec la poussette pour se rendre en consultation chez un médecin généralistes en proximité ; emprunt d'un parcours ombragé, rallongeant d'autant le trajet ; exposition à la pollution automobile ; extracteur de chaleur ; aller dans un îlot de fraîcheur (espace vert arboré, brumisateur...)
- Indicateurs clés : nb de Franciliens de moins de 5 ans, densité de médecin généralistes en proximité ; indice de végétation ; carence en espace vert public...
- Lien internet : <https://youtu.be/vnZequHjFJY>

**Scenario 3** : la nuit, après le coucher du soleil / une personne âgée, isolée, au dernier étage d'un immeuble (sous les combles) / rue Canyon / Secteur de bord de Seine à Paris

- Lien avec les services de la Mairie ou la possibilité d'aller dans un espace de proximité ombragé : espace vert public ouvert exceptionnellement la nuit ; lieu frais climatisé (cinéma...) ; autres modes de climatisation moins énergivores (puits canadiens, réseau de froid...)
- Indicateurs clés : nb de personnes âgées (plus de 65, 75 ans) ; nb de personnes isolées ; précarité énergétique (climatique) ; surmortalités caniculaires et polluants atmosphériques... ; type de matériaux de toit ; nb de toitures végétalisées ; nb de personne inventorié par les fichiers de type « Chalex » ?...
- Lien internet : [https://youtu.be/aeoDn\\_PmsNk](https://youtu.be/aeoDn_PmsNk)

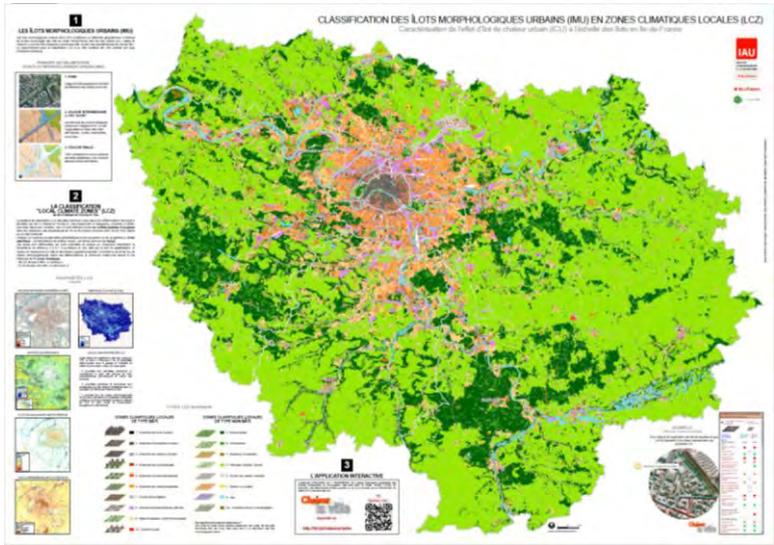
Figure n°22 : Films 3D - « Balades thermiques urbaines »



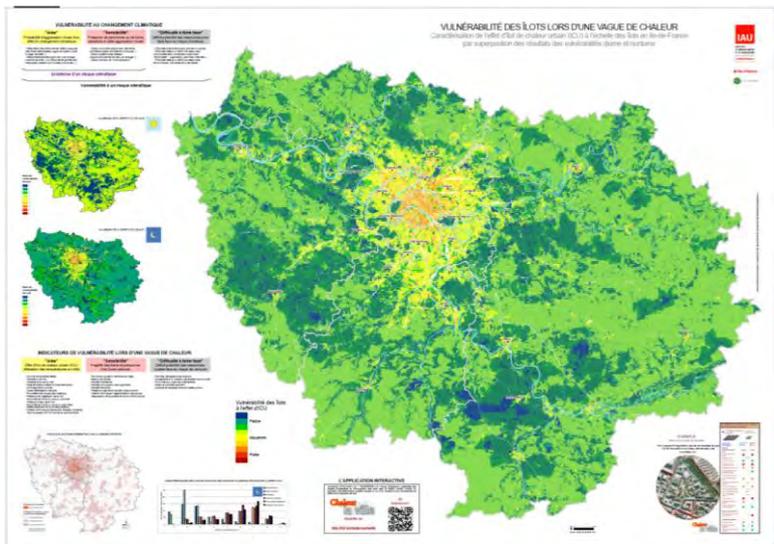
**La 3D pour expliquer et sensibiliser : forcer les effets pour représenter la dégradation de la qualité de l'air par des polluants « invisibles » émis par les véhicules à moteur thermique afin de souligner ce co-facteur de risque sanitaire en période de canicule en plus de la chaleur extrême**

Source : IAU Île-de-France / Production 3D et réalisation : Xavier Opigez ; Scénarisation, conseils thématiques et pédagogiques : Erwan Cordeau, Sandrine Kocki, avec l'appui de Sabine Host (ORS)

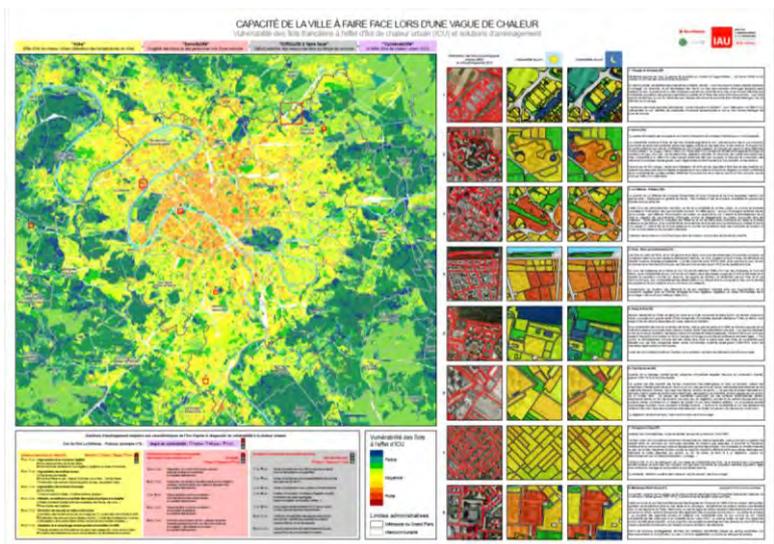
### 5.3 - Les posters pédagogiques édités pour la COP21 à Paris



Les zones climatiques locales



La vulnérabilité à la chaleur



L'adaptation à la chaleur

## 5.4 - Une approche ludique et éducative : « Le jeu de l'oie rôtie »

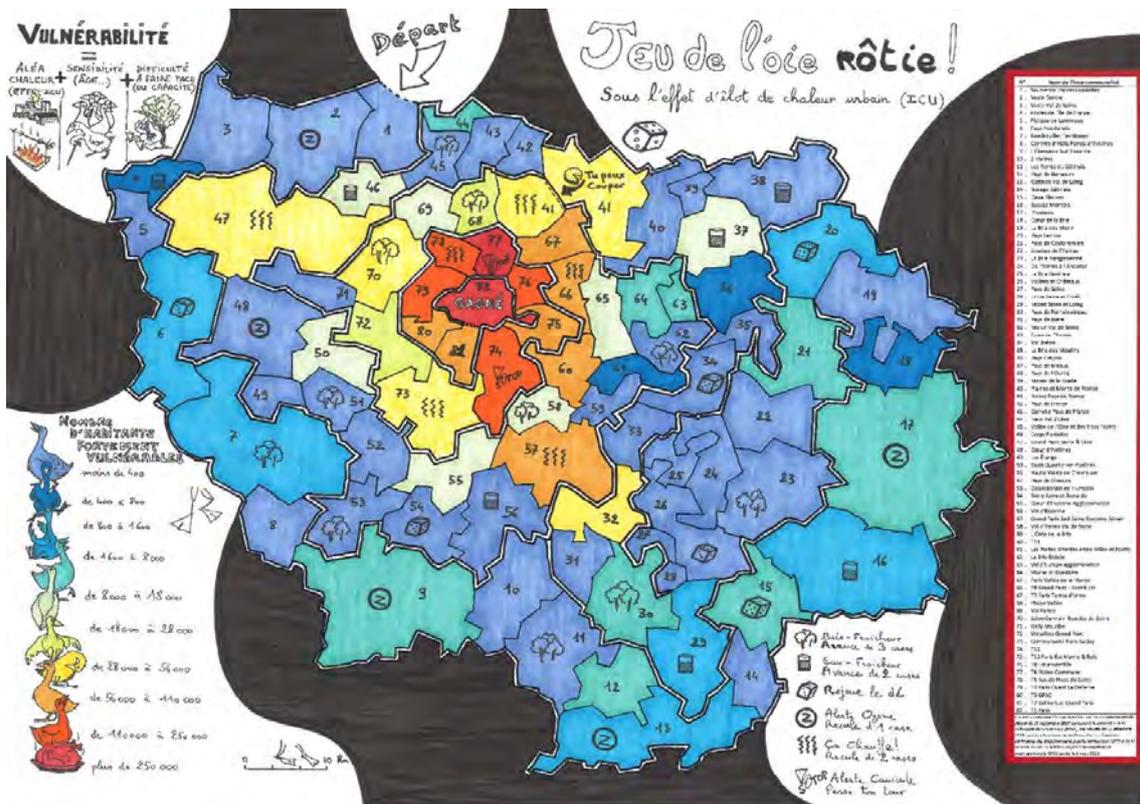
A l'occasion d'un concours d'émulation interne à l'IAU, « Dessine-moi une carte », dont l'objectif était de réaliser une carte entièrement à la main et pouvant être produite à partir de données existantes, le thème de la vulnérabilité à la chaleur urbaine a fait l'objet d'une proposition : « Le jeu de l'oie rôtie ».

Ce travail tente de montrer qu'il peut y avoir d'autre façon de sensibiliser à la vulnérabilité du territoire aux effets du changement climatique, sans faire peur : par le jeu, la carte dessinée, plus humaine, plus volatile !

Cette carte dessinée exprime un des indicateurs présentés dans cette étude (Cf. Carte 61, p.97) : le nombre d'habitants par intercommunalité résidant dans des îlots considérés comme fortement vulnérables lors d'une vague de chaleur. Le particularisme de chaque îlot est pris en compte : l'importance de l'effet d'îlot de chaleur urbain (ICU), la sensibilité des personnes et de l'habitat, les difficultés à faire face (bas revenus, peu de médecins...).

Le gagnant est celui qui arrive le premier dans l'intercommunalité francilienne qui présente le nombre d'« oies résidentes » le plus important vivant dans des pâtés de maisons considérés comme potentiellement fortement vulnérables à la chaleur urbaine.

Carte 70 : « Jeu de l'oie rôtie ! », une représentation ludique de la vulnérabilité à la chaleur urbaine, Erwan Cordeau (IAU îdF)



# Conclusions et perspectives

Nous avons adopté le parti pris d'utiliser les enseignements de la Recherche et d'en proposer une synthèse simplifiée pour déterminer la vulnérabilité actuelle à la chaleur urbaine en Ile-de-France. Cette étude est loin de prétendre à l'exhaustivité sur le sujet, ni à une démonstration scientifique d'une réelle vulnérabilité à la chaleur urbaine, compte tenu de la simplification de l'approche, des outils et des données statistiques utilisées. Nous avons cependant la faiblesse de croire que le but recherché est atteint : pouvoir avancer des préconisations d'actions d'adaptation de l'Ile-de-France à la chaleur urbaine - des solutions « de bon sens » pour la plupart - qui s'appuient sur les particularismes locaux, les atouts et les faiblesses de chaque îlot, de chaque pâté de maisons.

Les effets d'ICU, facteur aggravant d'une vague de chaleur, ont tout d'abord été qualifiés à l'îlot (pâtés de maisons) via l'utilisation du référentiel des zones climatiques locales (LCZ). L'effet d'ICU moyen ou fort concerne ainsi près de 11% et 3% des îlots franciliens, respectivement en nombre et en surface associée, avec un effet d'ICU fort nettement plus prononcé la nuit - période la plus critique - que le jour. Nous faisons aussi le constat de l'existence d'inégalités sociales environnementales sur le sujet puisque les ménages à bas revenu sont surreprésentés, de même que la suroccupation potentielle des logements, dans les zones à effet d'ICU moyen à fort.

Des critères relatifs aux conditions de sensibilité humaine et de l'habitat ainsi qu'aux difficultés à faire face des habitants ont ensuite été étudiés pour proposer une géographie fine de la vulnérabilité de l'Ile-de-France, de ses intercommunalités, de ses communes et de ses îlots. Du croisement entre l'aléa « effet d'ICU », la sensibilité et la difficulté à faire face, nous retiendrons que 3 710 000 habitants - soit un Francilien sur 3 dont près de 800 000 personnes sensibles par l'âge (7% de la population) - résident dans un îlot identifié comme fortement vulnérable à la chaleur ; cela représente près de 8 900 pâtés de maisons pour une superficie cumulée de 95 km<sup>2</sup> soit 1% du territoire.

Les collectivités territoriales de ces agglomérations les plus densément peuplées font partie du problème, avec leurs penchants énergivores, source d'émission de GES et de dégradation de la qualité de l'air, et l'extension des surfaces bâties et construites, source d'une artificialisation à caractère minéral et d'une concentration et exposition des habitants. Elles se doivent ainsi de trouver tant des solutions de réductions de leurs émissions de GES que des actions de diminution de leur vulnérabilité aux effets d'ICU, les plus adaptées à leur contexte local. C'est justement l'objet des actions des Plans climat air énergie territorial (loi TECV) que les intercommunalités de plus de 20 000 habitants doivent proposer, en compatibilité avec les objectifs et orientations du SRCAE. La dernière partie de l'étude dresse un bouquet de solutions d'adaptation envisageables dans les 3 registres de la vulnérabilité : effet ICU, sensibilité et difficulté à faire face à la chaleur. Elle propose une approche expert pour renseigner, selon le contexte local, la typologie et la vulnérabilité de l'îlot et de ses habitants, les actions les plus judicieuses pour chaque paté de maisons francilien.

Dans une étude récente publiée par la revue Nature Climate Change<sup>24</sup>, les auteurs, en travaillant à partir d'un panel de 1 692 cités du monde entier, dont Paris, se sont attachés à quantifier les effets combinés du réchauffement climatique global et du phénomène local des « îlots de chaleur urbain ». Ils projettent que d'ici à 2100, les 5 % de villes les plus peuplées de la planète « pourraient voir des hausses de températures de 8°C et plus », dans le cas du scénario le plus pessimiste des émissions de gaz à effet de serre. Ce coup de chaud serait aussi largement dû, selon eux, à la multiplication des îlots de chaleur dans le tissu urbain mondial.

Il est donc temps d'adapter l'Ile-de-France à la chaleur urbaine, de préparer la ville de demain aux effets du changement climatique qui aggraveront cette vulnérabilité actuelle soulignée par la présente étude. La ville, les tissus urbains, les activités anthropiques, les hommes sont dépendants et interdépendants du socle, des ressources, et des milieux naturels, et plus largement, de toutes les composantes environnementales et climatiques. Le bien-être des habitants se fonde sur cet équilibre au cœur même des problématiques d'îlots de chaleur urbain, de vagues de chaleur et de dégradation de la qualité de l'air, comme dans nombre d'autres également. L'urbanisation doit prendre en compte les changements climatiques sans plus attendre.

<sup>24</sup> "A global economic assessment of city policies to reduce climate change impacts", Francisco Estrada, W. J. Wouter Botzen and Richard S. J. Tol, 29 mai 2017, Nature Climate Change

# Annexes

Annexe 1 : Coefficient d'absorption solaire de différents matériaux	p100
Annexe 2 : Extrait de la révision du dispositif d'octroi d'aides financières de l'Agence des espaces verts à l'acquisition et l'aménagement d'espaces verts, de forêts ou de promenades par des collectivités publiques ou des associations concourant au système régional des espaces ouverts	p101
Annexe 3 : Utilisation du Réseau routier BD TOPO de l'IGN pour les IMU/ICU	p102
Annexe 4 : Présentation de la couche Mode d'occupation du sol de l'IAU îdF	p103
Annexe 5 : Utilisation du Bâti de la BD TOPO de l'IGN pour les IMU/ICU	p104
Annexe 6 : Utilisation des fichiers fonciers MAJIC de la DGFIP (DGI) pour IMU/ICU	p105
Annexe 7 : Présentation des indicateurs – attribut par attribut - de la couche IMU	p106
Annexe 8 : Les composantes de la compacité et de la rugosité urbaines	p110
Annexe 9 : Méthodologie pour le calcul de la chaleur dégagée par la combustion automobile	p111
Annexe 10 : Nombre d'IMU par type LCZ (« LCZ1 » + « LCZ2 ») en IdF (IAU îdF)	p112
Annexe 11 : Illustration des principes des croisements géographiques SIG pour la détermination à l'IMU des attributs relatifs aux apports potentiels de fraîcheur par l'environnement immédiat de l'îlot	p113
Annexe 12 : Description des indicateurs « propriétés LCZ » associés à la classification des Zones climatiques locales (LCZ) et des indicateurs de « sensibilité » proposés par l'applicatif « Chaleur en ville » de l'IAU îdF	p115
Annexe 13 : Les Balades thermiques en ville, sensibilisation et ressenti	p126

## Annexe 1 : Coefficient d'absorption solaire de différents matériaux

### Coefficient d'absorption solaire de différents matériaux

Les chiffres indiquent l'indice de rayonnement solaire incident absorbé

<b>Briques</b>			
Vernissée, blanche	0.26	Couverture d'asphalte neuve	0.91
Vernissée, ivoire à crème	0.35	Vieille	0.62
Ordinaire, rouge clair	0.55	Étanchéité en feuilles bitumées brun	0.67
Ordinaire, rouge	0.66	Vert	0.66
Extrudée ou filée rouge	0.52	Feutre bitumé	0.68
Pourpre marbré	0.77	Feutre bitumé avec surface aluminisée	0.40
bleue	0.89	Ardoise gris argenté	0.79
<b>Calcaire</b>		Gris bleu	0.67
Clair	0.35	Gris verdâtre grossière	0.63
sombre	0.50	Gris foncé lisse	0.89
<b>Grès</b>		Gris foncé grossière	0.80
Beige	0.54	Papier goudronné noir	0.93
Gris clair	0.62	Tuile mécanique en terre cuite rouge	0.64
rouge	0.73	Pourpre foncé	0.61
<b>Marbre</b>		Tuile moulée à la main en terre cuite rouge	0.60
Blanc	0.44	Brun-rouge	0.69
sombre	0.56	Tuile en ciment sans colorant	0.65
<b>Granit</b>		Brun	0.85
Rougeâtre	0.55	noir	0.91
<b>Métaux</b>		<b>Sols extérieurs</b>	
Acier émaillé blanc	0.45	Revêtement d'asphalte ou de goudron	0.93
Acier émaillé vert	0.76	Sol nu	0.75
Acier émaillé rouge sombre	0.81	Herbe verte après la pluie	0.67
Acier émaillé bleu	0.80	Herbe haute et sèche	0.87 – 0.89
Acier galvanisé neuf	0.64	Glace avec rares zones enneigées	0.31
très sale	0.92	Feuille de chêne	0.71 – 0.78
blanc propre	0.22	Sable sec	0.82
Cuivre poli	0.18	Humide	0.91
terni	0.64	Parsemé de blanc	0.45
Plomb en feuille vieilli	0.79	Neige poudreuse fraîche	0.13
<b>Peintures</b>		Glacée, granuleuse	0.33
Aluminium	0.54	eau	0.94
Cellulosique blanc	0.18	<b>Matériaux divers</b>	
Jaune	0.33	Aluminium poli	0.15
Orange	0.41	Béton	0.80
Rouge vif	0.44	Cuivre poli	0.25
Rouge sombre	0.57	Plâtre blanc	0.07
Brun	0.79	Argent poli	0.07
Gris	0.75	Bois de pin	0.60
Vert brillant	0.79	<b>Pour les matériaux qui ne seraient pas mentionnés ci-dessus, une valeur approchée de leur coefficient d'absorption peut être déterminée avec le guide couleur suivant :</b>	
Vert clair	0.50	Pour des surfaces lisses unies	
Vert sombre	0.88	Blanc	0.25 à 0.40
Bleu foncé	0.91	Gris au gris foncé	0.40 à 0.50
Noir	0.94	Vert, rouge, brun	0.50 à 0.70
<b>Matériaux de couverture</b>		Brun au bleu foncé	0.70 à 0.80
Amiante-ciment blanc	0.42	Bleu foncé au noir	0.80 à 0.90
Exposé à l'extérieur depuis 6 mois	0.61		
Après 12 mois d'exposition	0.71		
Après 6 ans d'exposition, très sale	0.63		
Amiante-ciment rouge	0.69		

Source : audience.cerma.archi.fr d'après (Guide solaire de l'énergie passive, Mazria, 1981)

Annexe 2 : Extrait de la révision du dispositif d'octroi d'aides financières de l'Agence des espaces verts à l'acquisition et l'aménagement d'espaces verts, de forêts ou de promenades par des collectivités publiques ou des associations concourant au système régional des espaces ouverts

### ANNEXE 1 : TYPES D'OPERATIONS ELIGIBLES

Sont éligibles les **types d'opérations** suivantes :

- jardins de proximité,
- parcs,
- espaces naturels ou forestiers\*,
- terrain ou exploitation dont la destination agricole sera garantie à long terme par des modalités juridiques et contractuelles spécifiques (qui seront précisées dans le cadre d'une convention type dédiée), pour l'acquisition seulement, au sein du périmètre défini dans le programme régional 2008-2013 en faveur de l'agriculture périurbaine\*\* (voir p. 46 du dit programme),
- coulées vertes :
  - non éligibles aux « contrats de réseaux verts » du Conseil régional,
  - et desservant une forêt publique, un grand parc public ou une base régionale de loisirs,(une coulée verte est définie, dans le présent dispositif, comme un espace planté destiné à la promenade par mode doux (accessible aux piétons et cycles) et s'apparentant à un parc linéaire),
- jardins familiaux\*\*\*:
  - la surface des lots individuels étant comprise entre 120 m<sup>2</sup> et 250 m<sup>2</sup>,
  - et une partie du site étant accessible au public (à minima par une allée publique traversante),
- jardins partagés ou collectifs\*\*\* pérennes,
- jardins pédagogiques\*\*\*,
- jardins d'insertion,
- plans pluriannuels\*\*\*\* de plantation d'arbres (alignement et patrimoine arboré de la collectivité) s'inscrivant dans un schéma général des plantations de la collectivité :
  - dans les communes sujettes au phénomène d'« îlot de chaleur urbain»\*\*\*\*\* et pouvant mettre en place, notamment par des plantations d'alignement, les conditions de continuités végétales en site urbain contraint, (c'est-à-dire dans les 118 communes relevant du cœur d'agglomération représenté dans la carte ci-annexée des « grandes entités géographiques » du projet de SDRIF adopté le 25 septembre 2008),
  - ou en lien avec un front urbain,
  - ou le long de berges de cours d'eau,
- extension de l'emprise d'un espace vert existant (la surface cumulée étant supérieure à la surface éligible énoncée en annexes 2 et 3) ; la partie initialement aménagée peut être prise en considération dans le cadre d'un projet de réhabilitation (voir « éligibilité sous conditions »).

\* : pour une forêt, le demandeur s'engage à mettre en place une certification (au minimum PEFC) dans un délai d'un an

\*\* : c'est-à-dire le cœur d'agglomération et l'agglomération centrale, les périmètres des territoires d'intérêt régional et national (OIN, emprise des villes nouvelles et territoires associés) et la ceinture verte

\*\*\* : pour ces jardins, une partie des lots ou de la surface doit pouvoir être jardinée par une personne en fauteuil roulant

\*\*\*\* : cinq ans souhaitables ; une étude du patrimoine arboré du secteur dans lequel s'inscrit le projet est demandée et peut être prise en compte financièrement dans le cadre de la première tranche de travaux; elle comporte trois volets : phytosanitaire, paysager et biodiversité

\*\*\*\*\* : la cartographie des zones sujettes au phénomène d'îlots de chaleur pourra être précisée ou complétée

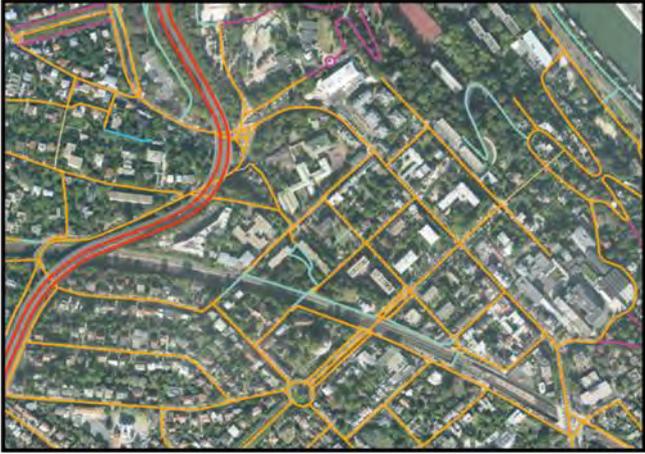
## Annexe 3 : Utilisation du Réseau routier BD TOPO de l'IGN pour les IMU/ICU

**BD TOPO - RESEAU ROUTIER COMPLET**  
*Chemins, sentiers et pistes cyclables compris*  
R:\Sig\DonneesCommunes\FONDS\IGN\_BD-TOPO-PAYS\_2011

Présentation

- Comprend le réseau viaire dans son intégralité, une hiérarchisation du réseau d'après la nature et l'importance du tronçon, une sélection des chemins et sentiers, une sélection de routes « adressées », ainsi que la toponymie se rapportant au réseau routier.
- Exploitable du 1/5000 ème au 1/50 000 ème.
- La BD TOPO est produite par l'IGN dans le cadre de sa mission de constitution du Référentiel à Grande Echelle.
- Dernière mise à jour : octobre 2011 (Version 2.1).
- Version utilisée : janvier 2011 (Version 2).

Réseau routier hiérarchisé



- Autoroute / Quasi - autoroute
- Route à 1 chaussée / Route à 2 chaussées
- Routes empierrées
- Sentiers / Chemins

Données

- Classe d'entités : linéaire. Concernant les tronçons de routes revêtus, le linéaire est tracé au milieu de la chaussée.
- *Intégralité du réseau* : portions de voie de communication destinée aux automobiles, aux piétons, aux cycles ou aux animaux, homogène pour l'ensemble des attributs et des relations qui la concerne. Le tronçon de route peut être revêtu ou non revêtu (pas de revêtement de surface ou revêtement de surface fortement dégradé).
- La couche est très bien renseignée, avec de nombreux attributs très variés : nature, numéro, type de gestion, sens de circulation, code INSEE de la commune traversée, nombre de voies, largeur, état de la chaussée...
- L'attribut « nature » permet de différencier le réseau en fonction de son usage : autoroute, sentier, route empierrée...
- Les tronçons de route sont placés au centre de la chaussée, ce qui permet le renseignement de type largeur (largeur de la chaussée d'accotement à accotement) exprimée en mètres.

Potentiel d'utilisation pour l'étude des ICU

- Le linéaire routier est exhaustif sur l'ensemble de la région. La couche possède de nombreuses données attributaires pertinentes : largeur, planimétrie, nombre de voies,...
- Par définition, « l'ilot morphologique urbain » est avant tout délimité par le réseau viaire (pâtés de maisons).
- Cette couche d'information constitue la couche de base permettant de délimiter l'entité « ilot viaire urbain ». Elle peut ensuite être additionnée avec d'autres linéaires délimitant tels que les voies ferrées et les cours d'eau. L'attribut « largeur » permet de dessiner les emprises routières.
- La BD TOPO est plus précise que le réseau IAU, elle respecte davantage la trame de la voirie, ce qui l'empêche d'être parfaitement calée avec le MOS.

Couche des emprises routières



- Emprises calculées d'après l'attribut largeur de la BD TOPO
- Sentiers / Chemins

## Annexe 4 : Présentation de la couche Mode d'occupation du sol de l'IAU îdF

### Présentation

Le Mos (Mode d'Occupation du Sol) est l'atlas cartographique informatisé de l'occupation du sol de l'Île-de-France. Actualisé tous les 4 ans environ depuis sa première édition en 1982, il est un outil de suivi et d'analyse du territoire francilien.

### Echelle et source des données

Cette information a été reportée sur plans au 1/5000 et digitalisée (mode vecteur) à cette échelle. L'unité territoriale minimum représente sur le terrain 25 m x 25 m ou 625 m<sup>2</sup>. L'information MOS est issue de photos aériennes interprétées, de fichiers administratifs, de bulletins municipaux et de consultations de communes.

La mise à jour 2012 a été réalisée directement à l'écran, à partir d'une orthophotographie numérique régionale d'une résolution 12,5 cm. Composé d'entités surfaciques, l'usage du sol est décrit en 81 classes : 15 classes pour les espaces ouverts, 13 classes pour l'urbain non bâti et 53 classes pour l'urbain bâti.

### Données

De manière globale, l'exploitation du MOS peut servir à déterminer la nature de l'environnement traversé par les infrastructures qu'il soit bâti, urbain ouvert ou naturel ouvert (cours d'eau...) ; la présence d'habitats collectif et individuel, d'établissements de santé et d'enseignement, d'équipements administratifs et de proximité ; la présence d'espaces ouverts dédiés aux activités sportives (terrains de sport de plein air, tennis découverts, golfs, baignades, piscines en plein air, centres équestres...).

En renseignements attributaires de chaque entité MOS, on retrouve un champ « code » faisant référence à l'occupation du sol, le code INSEE de la commune, ainsi que deux champs renseignant sur la surface (aire et périmètre).

#### • **MOS en 81 postes**



### Potentiel d'utilisation pour l'étude IMU

Le MOS, couche de référence de l'IAU, apporte une information pertinente en termes de fonctions urbaines et de morphologie urbaine. Il peut aider le travail de délimitation des IMU et leur caractérisation principale. La couche des ilots morphologiques urbains est ainsi principalement déterminée à partir de deux ensembles de données :

- -Les ilots viaires (routes, voies ferrées, rivières)
- -Les ilots MOS simplifiés

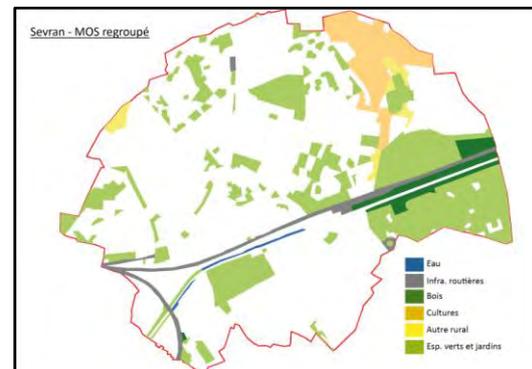
Par définition, un îlot morphologique est tout d'abord constitué par le réseau viaire. Mais sa seule utilisation a été jugée trop insuffisante en termes d'information morphologique. Des méthodes de redécoupage des ilots viaires trop grands et trop hétérogènes, des regroupements ont été effectués sur la typologie du MOS afin de se rapprocher d'une typologie à la fois morphologique et fonctionnelle.

Le MOS a d'abord été regroupé pour distinguer quatre grands ensembles morphologiques :

- -1 : Habitat et jardins de l'habitat (in, rural, groupé)
- -2 : Grands ensembles bâtis collectifs (habitat collectif, équipement, industriel,...) et les cœurs d'îlots de moins de 1,5 hectare
- -3 : Grands espaces verts et ouverts (> 1,5 ha)
- -4 : Cimetières

Les contours de viaires sont ainsi complétés par des contours MOS. Il est ensuite nécessaire de simplifier les ilots de type « majoritairement espace ouvert » lorsqu'ils sont jointifs, soit séparés par une simple route. Ce « nettoyage » est fait par superposition de la couche IMU à une couche MOS simplifiée composée de 6 regroupements d'espaces ouverts (espaces verts / infrastructures de transport / eau / bois / cultures / autre rural). A chaque IMU est attribué le code du regroupement le plus représenté. Si après cette jointure IMU/MOS, deux IMU contigus sont à plus de 80% du même type d'espace ouvert, ils sont fusionnés, ce qui permet de supprimer le tronçon routier superflu.

#### • **Exemple de regroupement du MOS**



## Annexe 5 : Utilisation du Bâti de la BD TOPO de l'IGN pour les IMU/ICU

**BD TOPO - BATI**  
*R:\Sig\DonneesCommunes\FONDSVGN\_BD-TOPO-PAYS\_2011*

Présentation

- Le thème "Bâti" de la BD TOPO contient les bâtiments, les terrains de sport, les cimetières, les pistes d'aéroports, les réservoirs et autres constructions de plus de 20m<sup>2</sup>. Les bâtiments ont été séparés en trois couches principales et huit secondaires suivant leur fonction particulière. On retrouve les bâtiments remarquables (sportifs, religieux,...), les bâtiments industriels (industriels, agricoles ou commerciaux) et enfin les bâtiments indifférenciés sans fonction particulière (habitations, bureaux,...). Les autres couches secondaires sont exprimées en légende ci-contre.

- La BD TOPO est produite par l'IGN dans le cadre de sa mission de constitution du Référentiel à Grande Echelle.

- Exploitable du 1/50000 ème au 1/50 000 ème.

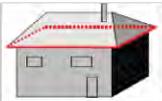
- Selon les spécifications de la base de données, la couche bâti indifférencié est complète à 95%, les autres couches de bâtiments sont complètes elles à 98%.

- Dernière mise à jour : octobre 2011 (Version 2.1).

- Version utilisée : janvier 2011 (Version 2).

BD BATI (complète)



<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center; margin-bottom: 10px;">Données</div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div style="width: 30%;">  <p>- Contour extérieur du bâtiment tel qu'il apparaît vu d'avion (le plus souvent, ce contour correspond à celui du toit). L'altitude correspondant à ce contour est l'altitude de l'arête supérieure (généralement l'altitude des gouttières). Seules les cours intérieures <u>de plus de 10 m de large</u> sont représentées par un trou dans la surface bâtie.</p> </div> <div style="width: 30%;">  <p>- Plusieurs bâtiments contigus ou superposés de même « fonction » sont généralement considérés comme un seul et même objet (seul le contour extérieur est saisi) :</p> </div> <div style="width: 30%;">  <p>- Correction éventuelle par le cadastre : contour extérieur du bâtiment tel qu'il est défini dans le cadastre. Après intégration des bâtiments issus du cadastre, plusieurs bâtiments contigus sont cette fois-ci considérés comme autant d'objets si la géométrie du cadastre en fait état :</p> </div> </div>	<table border="0" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: gray; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Bâti indifférencié</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: yellow; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Bâti remarquable</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: magenta; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Bâti industriel</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: green; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Terrain de sport</li> </ul> </td> <td style="width: 33%; vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: orange; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Construction surfacique</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: lightblue; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Construction légère</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: blue; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Réservoir</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: black; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Piste d'aérodrome</li> </ul> </td> <td style="width: 33%; vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: red; border-radius: 50%; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Construction ponctuelle</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; border-bottom: 2px solid red; margin-right: 5px;"></span> Construction linéaire</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: pink; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Cimetière</li> </ul> </td> </tr> </table>	<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: gray; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Bâti indifférencié</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: yellow; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Bâti remarquable</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: magenta; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Bâti industriel</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: green; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Terrain de sport</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: orange; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Construction surfacique</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: lightblue; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Construction légère</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: blue; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Réservoir</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: black; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Piste d'aérodrome</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: red; border-radius: 50%; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Construction ponctuelle</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; border-bottom: 2px solid red; margin-right: 5px;"></span> Construction linéaire</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: pink; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Cimetière</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: gray; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Bâti indifférencié</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: yellow; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Bâti remarquable</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: magenta; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Bâti industriel</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: green; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Terrain de sport</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: orange; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Construction surfacique</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: lightblue; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Construction légère</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: blue; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Réservoir</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: black; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Piste d'aérodrome</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: red; border-radius: 50%; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Construction ponctuelle</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; border-bottom: 2px solid red; margin-right: 5px;"></span> Construction linéaire</li> <li><span style="display: inline-block; width: 15px; height: 10px; background-color: pink; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Cimetière</li> </ul>		

Potentiel d'utilisation pour l'étude des ICU

La BD TOPO BATI sera très utile à la caractérisation des îlots morphologiques. Elle permettra le calcul d'indicateurs de « compacité » et de « rugosité » de l'îlot, via le rapport entre hauteur des bâtiments, densité et emprise au sol. Il s'agit de caractéristiques majeures à prendre en compte pour l'identification des zones sujettes à îlot de chaleur (facteur de vue du ciel, volumétrie, minéralité, ombrage,...).

Densibati

L'IAU a produit une couche particulière en ventilant une donnée relative à la population (données INSEE RGP 2007 : à l'IRIS) sur les entités BD TOPO BATI correspondant à l'habitat (rapprochement avec le MOS). Cette couche pourra être utilisée dans l'étude des ICU pour renseigner la vulnérabilité des populations aux zones sujettes à ICU (densité de population).

## Annexe 6 : Utilisation des fichiers fonciers MAJIC de la DGFIP (DGI) pour IMU/ICU

**LES FICHIERS FONCIERS MAJIC**  
*(R:\Sigr\DonneesCommunes\FONDS\MAJIC\_2011)*

Présentation

- Les fichiers fonciers MAJIC sont des données littérales attribuées aux parcelles cadastrales vectorisées. Ils sont composés de cinq fichiers principaux subdivisés en 18 tables. Les tables contiennent quasi-exclusivement des informations relatives à la fiscalité.

- Les données MAJIC III sont fournies aux collectivités locales par la DGFIP (DGI), dans le cadre des conventions de numérisation cadastrales. Elles sont limitées à l'emprise sollicitée par le demandeur (une ou plusieurs communes).

- Dernière mise à jour : 2011 (MAJIC III).

Les données MAJIC géoréférencées



Parcelle (pnb10\_parcelle)
 

50m

Locaux (pb0010\_local)

Données

- MAJIC III comprend des fichiers annexes et 5 fichiers principaux :

- Propriétaires d'immeubles (FP)
- Propriétés bâties (FPB)
- Propriétés non bâties (FBNP)
- Propriétés divisées en lots (PDL)
- Annuaire topographique initialisé réduit (FANTOIR).

- Les fichiers FBNP contiennent une couche parcelle sous forme de vecteurs (*pnb10\_parcelle*) avec de nombreux renseignements à la parcelle : section cadastrale, caractère urbain, numéro de voirie, superficie, année(s) de construction du ou des locaux, nombre de bâtiments, occupation du sol ( en13 postes), types de locaux (maison, appartement, commercial, industriel). Cette couche manque toutefois d'exhaustivité et de précision. Il est préférable de s'appuyer uniquement sur les fichiers locaux.

- Les fichiers FBP contiennent une couche des locaux sous forme de points (*pb\_0010\_local*) qui renseigne précisément sur les locaux : identifiant du ou des bâtiments, nature d'occupation (vacant,...), année de construction harmonisée... Un local équivaut à un compte propriété qui équivaut à 1 ou n propriétaires(s).

- L'identifiant du bâtiment permet de retrouver, *via* la table annexe des bâtiments, des attributs qui renseignent sur la typologie dominante de la toiture (ardoise, tuile,...), ainsi que sur la typologie dominante des gros murs (brique,...).

- Un local peut être constitué de une ou de plusieurs PEV (Parties d'Evaluation: voir schéma) : *Exemple de 7 PEV différentes*

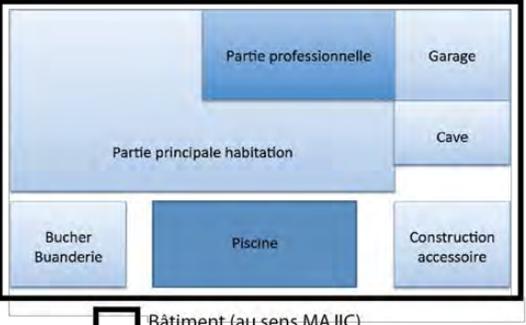
Potentiel d'utilisation pour l'étude des ICU

- Les informations relatives à la période de construction du bâtiment (local) sont pertinentes, car elles permettent de renseigner sur le type d'architecture.

- Les informations relatives à l'occupation du sol, aux types de toitures et aux types de matériaux de construction peuvent également aider à définir le type d'architecture du bâtiment, bien qu'elles puissent manquer de précision. Les dominances sont calculées à partir des surfaces de PEV.

- Tout comme le parcellaire vectorisé, les fichiers MAJIC ne renseignent pas le parcellaire sur l'ensemble de la région. Certaines communes n'ayant pas encore contribué à la campagne de production.

- En plus du faible nombre de communes ayant leur parcellaire de vectorisé (866 sur 1300 en IDF, soit 67 % du total des communes), ce même parcellaire vectorisé contient de nombreuses approximations. Une méthode pourra être développée pour extraire les informations à partir des points locaux situés au centroïde de chaque parcelle.

 Bâtiment (au sens MAJIC)

Dept.	Com. parcellaire vectorisé	Nbr. Com.	%
Paris	20	20	100
Hauts-de-Seine	36	36	100
Seine-Saint-Denis	40	40	100
Val-de-Marne	47	47	100
Seine-et-Marne	348	514	68
Yvelines	151	262	58
Essonne	150	196	76
Val-d'Oise	74	185	40
Région	866	1300	67

## Annexe 7 : Présentation des indicateurs – attribut par attribut - de la couche IMU

NOM DE L'ATTRIBUT	DEFINITION D'ATTRIBUT	INFORMATIONS DE PRECISION DE LA VALEUR D'ATTRIBUT
OBJECTID	Identifiant unique ESRI	Identifiant unique de l'entité (automatique)
CODE_IMU	Identifiant unique de l'IMU	Un "îlot morphologique urbain (IMU) est un "paté de maison" de villes ou de village où un îlot d'espaces ouverts artificialisés, naturel, agricole ou forestier ; ne comprenant pas les emprises des viaires qui ont servi à sa délimitation (voirie, emprise ferroviaire, rivière), il s'apparente à un ensemble de parcelles cadastrales ; son identifiant commence par le numéro du département de grande couronne concerné, ou par 75 pour Paris et la petite couronne
CODE_VIAIRE	Identifiant unique de l'îlot viaire	Code unique de l'îlot viaire (identifiant du polygone "îlot viaire" formé par les routes circulées de la BD TOPO (V2 - janvier 2011) avant la création de l'IMU jointif)
CODE_IMU_JOINTIF	Identifiant unique de l'IMU jointif	Code unique à chaque IMU jointif à l'origine de la construction de l'IMU
NB_doublons	Nombre de doublons d'IMU jointif	Nombre d'IMU provenant d'un même IMU jointif, entité à l'origine de la création de l'IMU ; de 1 (sans doublon : l'IMU jointif n'est à l'origine que de cet IMU) à n (n doublons : à partir de l'IMU jointif a été créé (n-1) autre IMU en plus de celui-ci)
TYPE_URBAINRURAL	Type urbain ou rural 2012	Caractère urbain ou rural d'un IMU d'après le MOS 2012
MOS11_MAJORITAIRE	MOS 11 postes 2012 majoritaire	Poste MOS 2012 majoritaire en superficie dans un IMU (MOS en 11 postes).
HETEROGENEITE_MOS	Indicateur d'hétérogénéité MOS 2012	Indicateur à 4 chiffres : les 2 premiers et les 2 derniers indiquent le nombre de postes différents dans un IMU respectivement du MOS en 11 postes et du MOS en 81 postes
VIAIRE_DELIMITANT	Type(s) de viaire délimitant l'IMU	Code représentatif de la nature des voies délimitant l'IMU (1000 : route de - 25 m / 100 : route de + de 25 m / 10 : voie ferrée / 1 : rivière)
SURF_ROUTES_IN_IMU	Surface au sol en m <sup>2</sup> des impasses/chemins	[ SURF_VOIRIE_REVETUE + SURF_CHEMINSENTIER ] : Emprise des routes dans un IMU (cumul des surfaces au sol des chemins, sentiers et voies revêtues de la BD TOPO (V2 - janvier 2011))
SURF_VOIRIE_REVETUE	Surface au sol des impasses revêtues (m <sup>2</sup> )	Emprise (valeur forfaitaire quand non renseigné) des routes revêtues dans un IMU (routes, routes empierrées et pistes cyclables + Pistes d'aérodrome de la BD TOPO (V2 - janvier 2011))
SURF_CHEMINSENTIER	Surface au sol des chemins (m <sup>2</sup> )	Emprise (valeur forfaitaire) des chemins et des sentiers de la BD TOPO (V2 - janvier 2011) dans chaque IMU
SURF_SOL_MASSESCONSTRUITES	Surface au sol des volumes construits (m <sup>2</sup> )	[ SURF_SOL_BATIMENTS + SURF_RESERV ] : Emprise au sol en m <sup>2</sup> des bâtiments et des réservoirs non souterrains de +10m (château d'eau, réservoir d'eau, réservoir industriel) de la BD TOPO (V2 - janvier 2011)
SURF_SOL_BATIMENTS	Surface au sol des bâtiments (m <sup>2</sup> )	Emprise au sol en m <sup>2</sup> des bâtiments (Surface au sol de toutes les entités dénommées "Bâtiments surfaciques" de la BD TOPO (V2 - janvier 2011) dont les bâtis légers (sélection des "Constructions légères" de hauteur inférieure ou égale à 10 m)
SURF_SOL_EMPRISESCONSTRUITES	Surface au sol en m <sup>2</sup> des emprises bâties/construites/revêtues	Surface au sol en m <sup>2</sup> des emprises construites dans un IMU (cumul des emprises au sol des bâtiments et des réservoirs, des constructions surfaciques (dalles) de la BD TOPO (V2 - janvier 2011), du MOS "sélection Imperméable" et des routes revêtues BD TOPO (V2 - janvier 2011))=soit [SURF_SOL_MASSESCONSTRUITES] + [SURF_VOIRIE_REVETUE] + [Constructions_surfaciques] + [MOS_impermeable] + Surface imperméable des cimetières MOS (1 - %surf vég haute&basse)
P_IMPERMEABILISATION	Taux d'imperméabilisation approché en %	[ SURF_SOL_EMPRISESCONSTRUITES / Shape_Area ] : Pourcentage d'imperméabilisation défini par le somme des surfaces au sol des bâtiments et des voiries revêtues connues par la BD TOPO (V2 - janvier 2011) ou le MOS, rapportée à la surface de l'IMU
CES	Coefficient d'emprise au sol, CES	[ SURF_SOL_MASSESCONSTRUITES / Shape_AREA ] : Coefficient d'emprise au sol du bât dénommé "CES" en % ; % de 0 à 1 représentant la surface au sol des masses construites rapportée à la surface de l'IMU

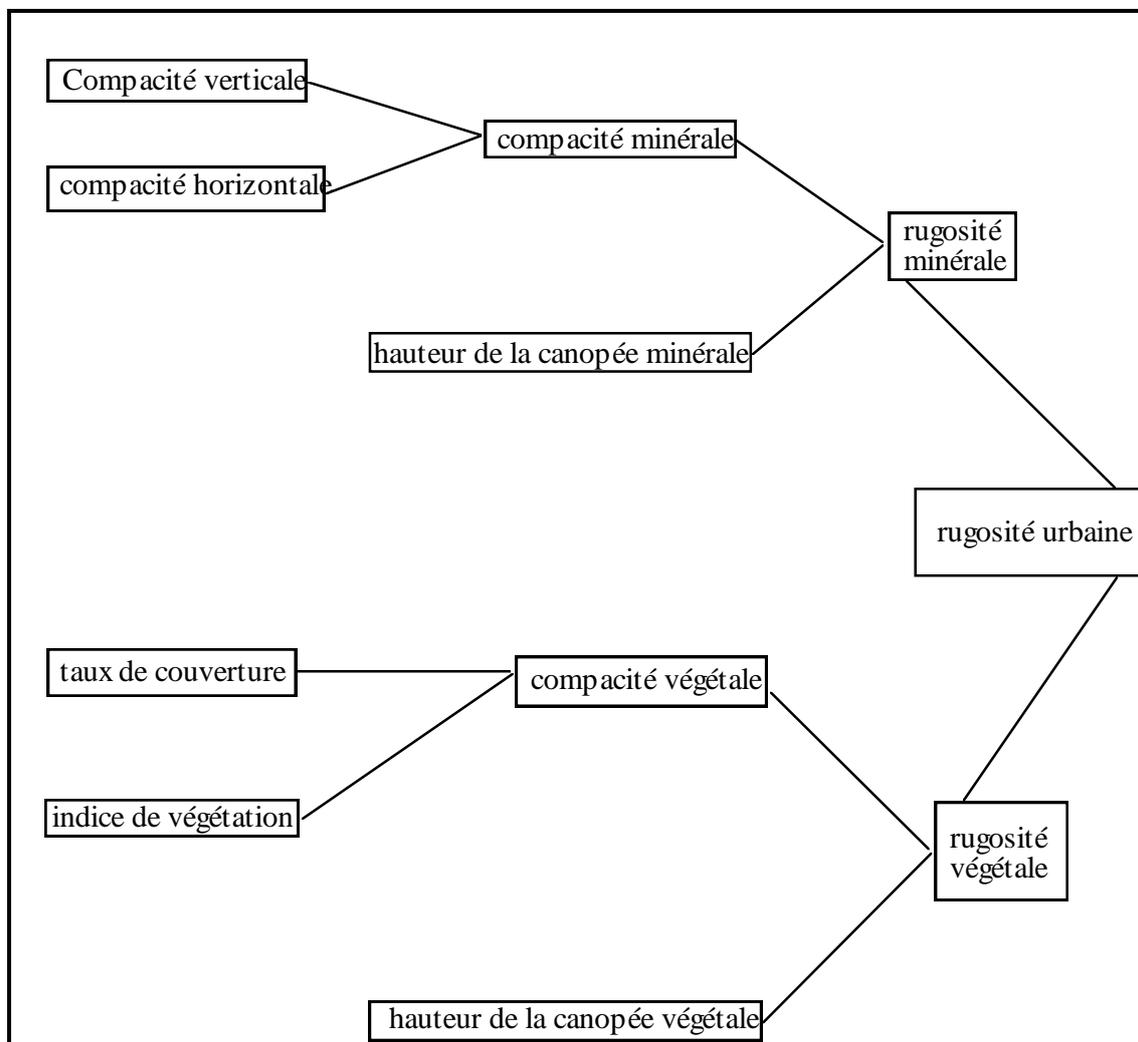
NOM DE L'ATTRIBUT	DEFINITION D'ATTRIBUT	INFORMATIONS DE PRECISION DE LA VALEUR D'ATTRIBUT
DENSI_BATI_SURFACIQUE	Densité bâtie, COS approché	[ SURF_M2PLANCHER_BATI_SURFACIQUE / Shape_Area ] : Surface totale de m <sup>2</sup> planchers rapportée à la surface de l'IMU (Shape_Area) ; s'apparente à un calcul grossier du Coefficient d'occupation du sol ou COS (Densité nette "visuelle" ; autre appellation possible : Densité bâtie)
DENSI_BATI_VOLUMIQUE	Densité des volumes construits	[ VOLUME_MASSES_CONSTRUITES / Shape_Area ] : Volume (Hauteur x surface au sol) des masses construites (bâtiments et réservoirs) de la BD TOPO (V2 - janvier 2011) rapporté à la surface de l'IMU
DENSI_RESIDENTIELLE	Densité résidentielle (Nb logements/ha)	[ NB_LOGEMENTS / Shape_Area * 10 000 ] : Densité résidentielle en logements/ha (nombre de logements LOG2009 de Densitati2009_P rapporté à la surface en ha de l'IMU (Shape_Area / 10 000)
DENSI_PARCELLES	Densité de parcelles (Nb parcelles/ha)	[ NB_PARCELLES / Shape_Area * 10 000 ] : Densité parcellaire, soit le nombre de parcelles des fichiers fonciers MAJIC III (2011) de la DGFIP rapporté à la surface en ha de l'IMU (Shape_Area / 10 000)
DENSI_HUMAINE	Densité humaine	[ (DENSI_HAB_IMU + DENSI_EMPLOI_IMU) / Shape_Area ] : Densité humaine "brute et basée". Population (PopTot2009 de Densitati2009_P ; populations des ménages et hors ménage) + Emploi (ALTARES 01.01.2013 : Emplois salariés géolocalisés des entreprises et établissements ; seuil bas des tranches d'effectifs) rapportée à la surface de l'IMU (Shape_Area)
DENSI_HAB_IMU	Densité d'habitants en 2009	[ NB_HAB_IMU / Shape_Area ] : Densité d'habitants en 2009 par m <sup>2</sup> d'IMU ; PopTot2009 de Densitati2009_P rapportée à la surface de l'IMU (Shape_Area)
DENSI_POPMEN_M2PLANCHER	Densité de population des ménages 2009 par m <sup>2</sup> de planchers "ménages"	Densité de population des ménages par m <sup>2</sup> de planchers "ménages" : population des ménages (POP MEN2009 de Densitati2009_P) par surface de m <sup>2</sup> planchers du bâti Habitat (COLL+INDIV) ; si absence de m <sup>2</sup> Habitat suffisant dans l'IMU, d'autres surfaces bâties de l'IMU servent au calcul (population résiduelle de ménages logés dans des équipements, administration, santé, école...)
DENSI_EMPLOI_IMU	Densité d'emplois	[ NB_EMPLOI / Shape_Area ] : Densité d'emploi à l'IMU (ALTARES 01.01.2013 : nombre d'emplois salariés des entreprises et établissements rapporté à la surface de l'IMU ; seuil bas des tranches d'effectifs)
VOLUME_MASSESCONSTRUITES	Volume du bâti et des réservoirs (m <sup>3</sup> )	Volume (Hauteur x surface au sol) en m <sup>3</sup> des masses construites - bâtiments et réservoirs non souterrains de +10m (château d'eau, réservoir d'eau, réservoir industriel) - de la BD TOPO (V2 - janvier 2011)
NB_PLANCHERS_MOYEN	Nombre de planchers moyens	[ DENSI_BATI_SURFACIQUE / CES ] : Rapport entre la densité bâtie surfacique et le CES ; un rez-de-chaussée correspond à 1 niveau plancher
HAUT_MOY_PONDERE	Hauteur moyenne pondérée du bâti (mètre)	[ VOLUME_MASSESCONSTRUITES / SURF_SOL_MASSESCONSTRUITES ] : Rapport entre le Volume des masses construites (bâtiments et réservoirs) de la BD TOPO (V2 - janvier 2011) et la surface au sol qu'elles occupent
HAUT_MAX	Hauteur maximale du bâti (mètre)	Hauteur en mètre du bâtiment BD TOPO (V2 - janvier 2011) de plus grande hauteur dans un IMU
HAUT_MIN	Hauteur minimale du bâti (mètre)	Hauteur en mètre du bâtiment BD TOPO (V2 - janvier 2011) de plus faible hauteur dans un IMU

NOM DE L'ATTRIBUT	DEFINITION D'ATTRIBUT	INFORMATIONS DE PRECISION DE LA VALEUR D'ATTRIBUT
SURF_M2PLANCHER_BATI_SURFACIQUE	Surface totale de plancher (m <sup>2</sup> )	[ SURF_M2PLANCHER_BATI_HABINDIV + SURF_M2PLANCHER_BATI_HABCOLL + SURF_M2PLANCHER_BATI_LEGER + SURF_M2PLANCHER_BATI_INDUS + SURF_M2PLANCHER_BATI_TERTIAIRES ] : Surface totale en m <sup>2</sup> des planchers des bâtiments résidentiels, légers, tertiaires, industriels (dont agricoles) de la BD TOPO (V2 - janvier 2011)
SURF_M2PLANCHER_BATI_HABINDIV	Surface de plancher de l'habitat individuel (m <sup>2</sup> )	Sélection du "bâti indifférencié" de la BD TOPO (V2 - janvier 2011) avec interprétation habitat individuel de Densibati2009_P ; hypothèse de hauteur sous plafond 3,5 m
SURF_M2PLANCHER_BATI_HABCOLL	Surface de plancher de l'habitat collectif (m <sup>2</sup> )	Sélection du "bâti indifférencié" de la BD TOPO (V2 - janvier 2011) avec interprétation habitat collectif de Densibati2009_P ; reprise des surfaces M2 de Densibati2009_P donc même hypothèse de hauteur sous plafond de 4 m
SURF_M2PLANCHER_BATI_LEGER	Surface de plancher du bâti léger (m <sup>2</sup> )	Sélection des "Constructions légères" de la BD TOPO (V2 - janvier 2011) de hauteur inférieure ou égale à 10 mètres (barraquement, cabane, grange... ; hypothèse 1 seul niveau plancher
SURF_M2PLANCHER_BATI_INDUS	Surface de plancher du bâti industriel (m <sup>2</sup> )	Sélection des bâtiments industriels et bâtiments agricoles du "Bâti Industriel" (donc, hors bâtiments commerciaux) de la BD TOPO (V2 - janvier 2011) ; hypothèse 1 seul niveau plancher
SURF_M2PLANCHER_BATI_TERTIAIRE	Surface de plancher du bâti tertiaire (m <sup>2</sup> )	Sélection du "bâti indifférencié" hors bâti interprété Habitat par Densibati2009_P + "Bâti remarquable" + les bâtiments commerciaux du "Bâti Industriel" de la BD TOPO (V2 - janvier 2011) ; hypothèses différentes de hauteur sous plafond selon la nature du tertiaire (4 m pour administration et bureaux, 5 m pour grands commerces, 1 seul niveau plancher pour la plupart du bâti remarquable)
NB_PARCELLES	Nombre de parcelles	Nombre de parcelles des fichiers fonciers MAJIC III (2011) de la DGFIP
NB_LOGEMENTS	Nombre de logements 2009	Nombre de logements 2009 dans un IMU (LOG2009 de Densibati2009_P)
NB_HAB_IMU	Nombre d'habitants en 2009	Nombre d'habitants en 2009 par IMU, correspondant à PopTot2009 soit [ POPMEN2009 (population des ménages) + POPCOL2009 (population collective, hors ménage) ] de Densibati2009_P
NB_EMPLOI	Nombre d'emploi 2013	Nombre d'emplois par IMU (ALTARES 01.01.2013 : emplois salariés et auto-entrepreneurs, des entreprises et établissements géolocalisés ; seuil bas des tranches d'effectifs)
TYPE_PROPRIO	Type(s) de propriétaire	Code représentant le(s) type(s) de propriétaire foncier au sens des unités de référence des fichiers Fonciers MAJIC III (2011) de la DGFIP : C pour copropriété, M pour personne morale, I pour individu (personne physique), H pour HLM, P pour Public, A pour aucun
AGE_BATI_MAJORITAIRE	Epoque de construction majoritaire	Epoque de construction majoritaire des fichiers fonciers MAJIC III (2011) de la DGFIP (classes de période de construction des bâtiments les plus représentés en superficie au sein de l'IMU : 1200-1850 / 1851-1918 / 1919-1948 / 1949-1974 / 1975-1981 / 1982-1989 / 1990-1999 / 2000-2005 / 2006-2010
CONSTR_MIN	Date de construction du local le plus ancien	Date de construction du local le plus ancien dans un IMU, d'après les fichiers fonciers MAJIC III (2011) de la DGFIP
CONSTR_MAX	Date de construction du local le plus récent	Date de construction du local le plus récent dans un IMU, d'après les fichiers fonciers MAJIC III (2011) de la DGFIP

NOM DE L'ATTRIBUT	DEFINITION D'ATTRIBUT	INFORMATIONS DE PRECISION DE LA VALEUR D'ATTRIBUT
IV_haute	Taux de végétation haute (%)	% de surface planimétrique de végétation haute de type arbres, strate arbutive/arborée (via calcul de l'indice de végétation par la BD ORTHO IRC 2008 et calcul de la stratigraphie par la BD ALTI 2012 de l'IGN, le MNT/IMNE d'INTERATLAS ; plus de 6 mètres approximativement ; surface planimétrique de la projection verticale des houppiers des arbres)
IV_basse	Taux de végétation basse (%)	% de surface de végétation basse de type pelouse & mélange, strate herbacée/arbutive (via calcul de l'indice de végétation par la BD ORTHO IRC 2008 et calcul de la stratigraphie par la BD ALTI 2012 de l'IGN, le MNT/IMNE d'INTERATLAS ; moins de 6 mètres approximativement)
IV_agri	Taux végétation agricole (%)	% de surface de végétation de type agricole, strate herbacée/arbutive (sélection à partir du MOS 2008 des terres agricoles : 4.Terres labourées / 5.Surfaces en herbe à caractère agricole / 6. Vergers, pépinières / 7.Maraichage, horticulture)
DENSI_EAU	Densité de surface en eau	[ SURFACE_EAU / Shape_area ] : Surface en eau présente dans un IMU rapportée à sa surface ; Surfaces MOS des postes 11.Eau fermée, 20.Baignade, 56.Piscine découverte + Surface forfaitaire de 50 m² par mare localisée + Surface des Bassins ouverts de la BD TOPO
SURF_EAU	Surface en eau (m²)	Surfaces MOS des postes 11.Eau fermée, 20.Baignade, 56.Piscine découverte + Surface forfaitaire de 50 m² par mare localisée + Surface des Bassins ouverts de la BD TOPO
CLASSE_IMU	Classe typo-morphologique de l'IMU	Indicateur synthétique de rugosité par occupation du sol dominante : code de 1 à 53 défini par l'addition d'un niveau de rugosité (1.champ libre / 10.très faible / 20.faible / 30.moyenne / 40.forte / 50.très forte) à un type de regroupement MOS (1.Bâti résidentiel / 2.Autre bâti tertiaire & industrie / 3.Ouvert artificialisé & transports / 4.Forêt & milieu semi-naturel / 5.Espace agricole / 6.Eau)
Shape_Length	Length of feature in internal units	Périmètre ESRI en m de l'IMU
Shape_Area	Area of feature in internal units squared	Surface ESRI en m² de l'IMU (elle correspond approximativement à la surface totale de parcelles contenues dans l'îlot puisque la voirie délimitante de l'îlot n'est pas comprise)
MOS81_MAJO	Code du MOS 81 postes majoritaire	Code du MOS 81 postes majoritaire, MOS 2012
MOS81_%MAJO	Part de surface du MOS 81 postes majoritaire (%)	Surface du MOS 81 postes le plus représenté en surface rapportée à la surface de l'IMU
MOS81_2ND	Code du 2ème poste MOS 81 Postes le plus représenté	Code du 2ème poste MOS 81 postes le plus représenté, MOS 2012
MOS81_%2ND	Part de surface du 2ème poste MOS 81 postes le plus représenté (%)	Surface du 2ème poste MOS 81 postes le plus représenté en surface rapportée à la surface de l'IMU

## Annexe 8 : Les composantes de la compacité et de la rugosité urbaines

Schéma théorique d'une représentation de la « Compacité urbaine »



Source : « Cartographie de la qualité de l'air et prévention de la pollution atmosphérique en Ile-de-France », Geoffroy DESEEZ - IAURIF, Octobre 1997

## Annexe 9 : Méthodologie pour le calcul de la chaleur dégagée par la combustion automobile

Source des données : AIRPARIF

Nature des données : Emissions linéaires de CO<sub>2</sub> du trafic routier en 2010 sur réseau calé en Lambert II, exprimées en Kilo Tonnes par an et par Kilomètre.

Format de réception des données : Tableur Excel avec les coordonnées Xa, Ya et Xb, Yb de début et fin de tronçon à laquelle est associée une émission de CO<sub>2</sub> linéique.

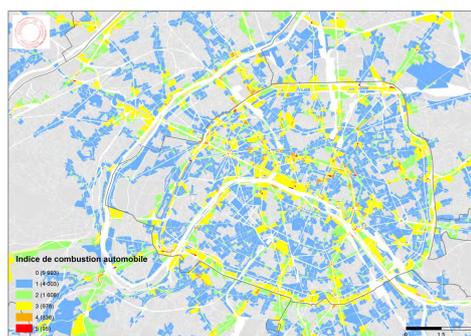
Description technique des étapes jusqu'à la définition de l'indice de chaleur anthropique liée aux véhicules :

- Etape 1 : conversion du tableur Excel en classe d'entités linéaire grâce aux coordonnées Lambert II, tout en conservant la valeur d'émission pour chaque brin routier.
- Etape 2 : Projection du Lambert II vers le Lambert 93.
- Etape 3 : Visualisation des brins routiers et attribution « arbitraire » de couleurs en fonction des émissions de CO<sub>2</sub> afin de déterminer des classes pertinentes.

Classes retenues :

- Classe 1, dite « moyenne » :  $\geq 1$  &  $< 3$  (de 1 (inclus) à 3 (exclus) KT/an/Km)
- Classe 2, dite « haute » :  $\geq 3$  (3 et plus KT/an/Km)
- Etape 4 : Construction de plusieurs buffers de tailles différentes pour chaque classe afin de déterminer la taille la plus adaptée (assez large pour toucher les IMU séparés par le viaire en question, mais pas trop large pour ne pas englober tout l'IMU ou toucher des IMU plus éloignés).  
Tailles de buffers retenues :
  - Classe 1, dite « moyenne » : 30 mètres de rayon
  - Classe 2, dite « haute » : 40 mètres de rayon
- Etape 5 : Fusion des buffers, séparément pour chaque classe, afin d'éviter les superpositions en cas de brins routiers contigus. !\ Attention de ne pas fusionner les deux buffers ensemble !\
- Etape 6 : Croisement entre les buffers et la couche des IMU parcellaires pour calculer la part de la surface de chaque IMU incluse dans le buffer de chaque classe (une table par classe, ne contient que les IMU concernés).
- Etape 7 : Constitution d'une table unique qui renseigne la surface et la part correspondante de l'IMU incluse dans le buffer de chaque classe, pour tous les IMU de la région.
- Etape 8 : Conversion de la classe d'entité en tableur Excel, disponible à cet emplacement du SIGR : O:\Geodata\DEUR\climat\ICU\caracterisation\CO2\_surf\_classes\_par\_IMUp.xlsx
- Etape 9 : Attribution d'un « indice » en fonction de la part de l'IMU concerné par le buffer de chaque classe :

- Classe 1, dite « moyenne » : 30 mètres de rayon
  - $\geq 1$  &  $\leq 50$  (De 1% inclus à 50% inclus) : 1
  - $> 50$  (De 50% inclus à 100% inclus) : 2
- Classe 2, dite « haute » : 40 mètres de rayon
  - $\geq 1$  &  $\leq 50$  (De 1% inclus à 50% inclus) : 2
  - $> 50$  (De 50% inclus à 100% inclus) : 3
- Etape 10 :  
Somme des deux indices  
pour obtenir  
un indice unique final par IMU.  
Les résultats obtenus  
de l'indice se situent dans une  
gamme de valeurs de 0 à 5 (Cf. Carte ci-contre).



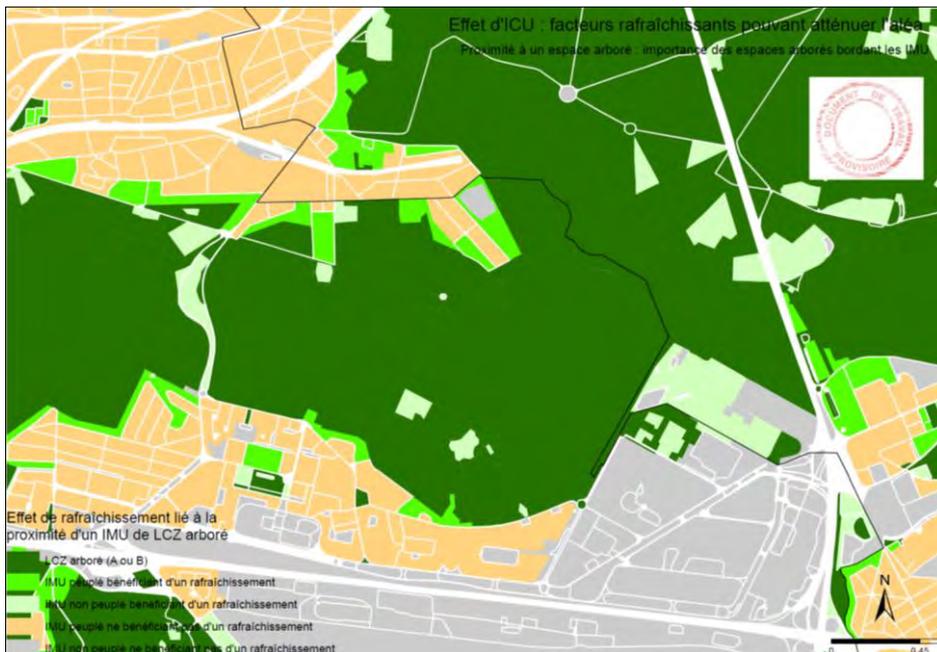
Annexe 10 : Nombre d'IMU par type LCZ (« LCZ1 » + « LCZ2 ») en IdF (IAU îdF)

102158 = Total Building Types						135003 = Total Land cover Types					
Building types		Building types		Building types		Land cover types		Land cover types			
LCZ	Nb d'IMU	LCZ	Nb d'IMU	LCZ	Nb d'IMU	LCZ	Nb d'IMU	LCZ	Nb d'IMU		
1	5	4	816	7	655	A	30 210	D	38 722		
1.2	1	4.2	23	7.5	2	A.2	0	D.2	9		
Total	6	4.3	14	7.6	1	A.3	0	D.3	9		
2	5 825	4.5	28	7.a	2	A.4	1	D.4	1		
2.3	102	4.6	37	7.b	14	A.5	6	D.5	54		
2.4	31	4.8	5	7.c	2	A.6	19	D.6	67		
2.5	314	4.9	1	7.d	5	A.7	3	D.7	10		
2.6	73	4.b	45	7.e	2	A.8	8	D.8	114		
2.7	1	4.e	21	7.f	2	A.9	67	D.9	81		
2.8	51	4.f	1	Total	685	A.b	75	D.10	6		
2.9	13	Total	991	8	10 556	A.c	105	D.a	153		
2.10	2	5	11 583	8.10	16	A.d	134	D.b	275		
2.a	1	5.10	6	8.2	53	A.e	9	D.c	149		
2.b	107	5.2	338	8.3	115	A.e.b	1	D.e	162		
2.c	3	5.3	188	8.4	6	A.f	3	D.E.b	1		
2.d	24	5.4	31	8.5	255	A.g	35	D.f	74		
2.e	50	5.6	553	8.6	270	Total	30 676	D.g	27		
2.f	27	5.8	246	8.7	1	B	24 868	Total	39 914		
Total	6 624	5.9	138	8.8	0	B.10	6	E	8 946		
3	5 561	5.a	6	8.9	87	B.2	64	E.2	34		
3.10	2	5.b	873	8.a	11	B.3	140	E.3	24		
3.2	131	5.c	28	8.b	253	B.4	43	E.4	15		
3.4	16	5.d	70	8.c	63	B.5	575	E.5	206		
3.5	235	5.e	335	8.d	126	B.6	2 122	E.6	80		
3.6	648	5.f	53	8.e	400	B.7	8	E.7	2		
3.7	1	5.g	1	8.f	352	B.8	208	E.8	534		
3.8	126	Total	14 449	8.g	1	B.9	2 801	E.9	64		
3.9	77	6	27 319	Total	12 565	B.a	63	E.10	8		
3.a	3	6.10	5	9	20 800	B.c	96	E.a	8		
3.b	233	6.2	71	9.2	17	B.d	239	E.b	1 046		
3.c	4	6.3	768	9.3	115	B.f	153	E.b.b	1		
3.d	11	6.4	47	9.4	5	B.e	259	E.b.c	1		
3.e	47	6.5	686	9.5	203	B.e.b	1	E.b.d	1		
3.f	16	6.6	0	9.6	897	B.g	28	E.b.e	2		
Total	7 111	6.7	3	9.7	1	Total	31 674	E.c	64		
		6.8	373	9.8	125	C	16 129	E.d	127		
		6.9	650	9.10	5	C.2	2	E.f	9		
		6.a	12	9.a	48	C.3	8	E.g	2		
		6.b	2 506	9.b	3 679	C.4	1	Total	11 174		
		6.c	25	9.c	57	C.5	24	F	1 016		
		6.d	88	9.d	128	C.6	23	F.10	1		
		6.e	99	9.e	74	C.7	4	F.2	5		
		6.f	82	9.f	78	C.8	59	F.3	10		
		6.g	2	9.g	3	C.9	36	F.4	1		
		Total	32 736	Total	26 235	C.10	1	F.5	18		
				10	710	C.a	93	F.6	36		
				10.5	2	C.b	69	F.8	92		
				10.6	3	C.d	113	F.9	26		
				10.8	15	C.e	67	F.a	0		
				10.9	1	C.f	18	F.b	71		
				10.b	8	C.g	30	F.c	16		
				10.c	3	Total	16 677	F.d	32		
				10.d	4			F.e	13		
				10.e	4			F.f	0		
				10.f	5			F.g	1		
				10.g	1			Total	1 338		
				Total	756			G	3 483		
								G.3	3		
								G.5	2		
								G.9	2		
								G.a	18		
								G.b	16		
								G.c	13		
								G.d	10		
								G.e	1		
								G.f	2		
								Total	3 550		

Annexe 11 : Illustration des principes des croisements géographiques SIG pour la détermination à l'IMU des attributs relatifs aux apports potentiels de fraîcheur par l'environnement immédiat de l'îlot

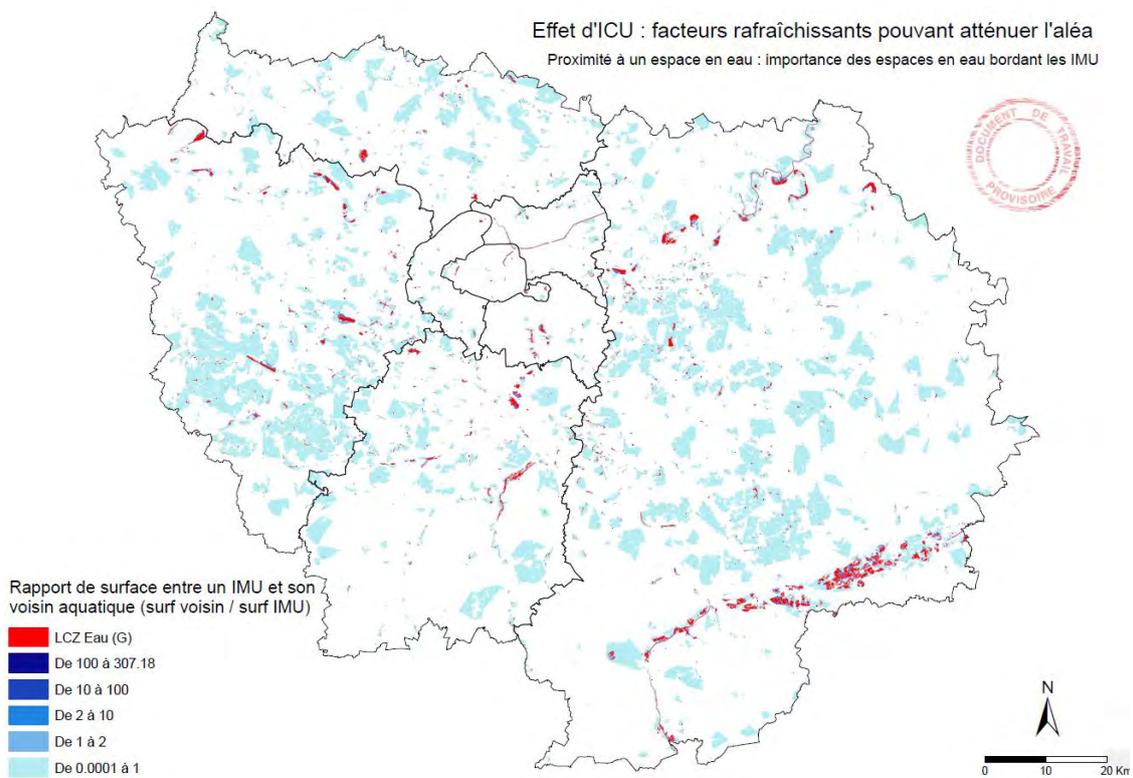
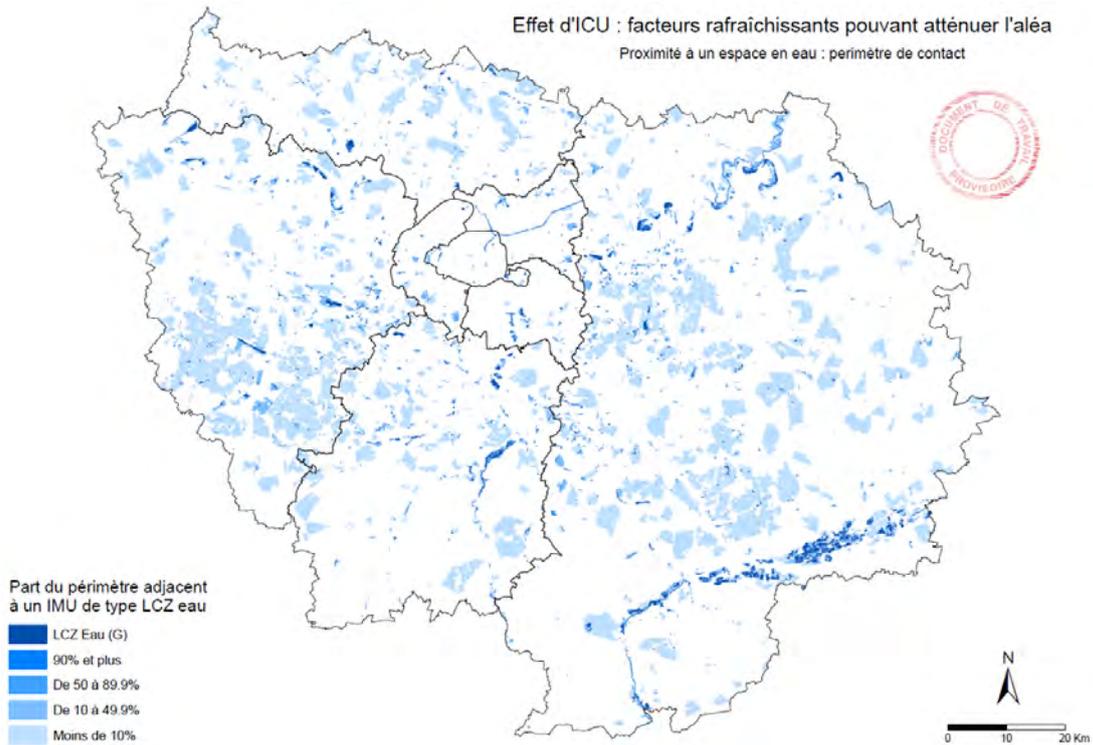
Etude des facteurs rafraîchissant : l'environnement boisé d'un îlot

Le bénéfice de rafraîchissement potentiel lié à la présence de végétation autour d'un îlot prend en compte le rapport de longueur de lisière forestière sur la longueur totale du contour du polygone îlot



Etude des facteurs rafraîchissant : les cours d'eau et plans d'eau dans l'environnement d'un îlot





Annexe 12 : Description des indicateurs « propriétés LCZ » associés à la classification des Zones climatiques locales (LCZ) et des indicateurs de « sensibilité » proposés par l'appli « Chaleur en ville » de l'IAU îdF



INSTITUT D'AMÉNAGEMENT ET D'URBANISME

ÎLE-DE-FRANCE

**COMPRENDRE LES PICTOGRAMMES ET LES INDICATEURS**

**Pictogramme : classification des îlots morphologiques urbains en zone climatique locale**

Le pictogramme correspond à l'un des 17 types du référentiel des « Zones climatiques locales (LCZ) », système de classification des sites urbains et ruraux selon leur différenciation thermique établi par Iain D. Stewart et Timothy R. Oke (Department of Geography, University of British Columbia, Vancouver, Canada).

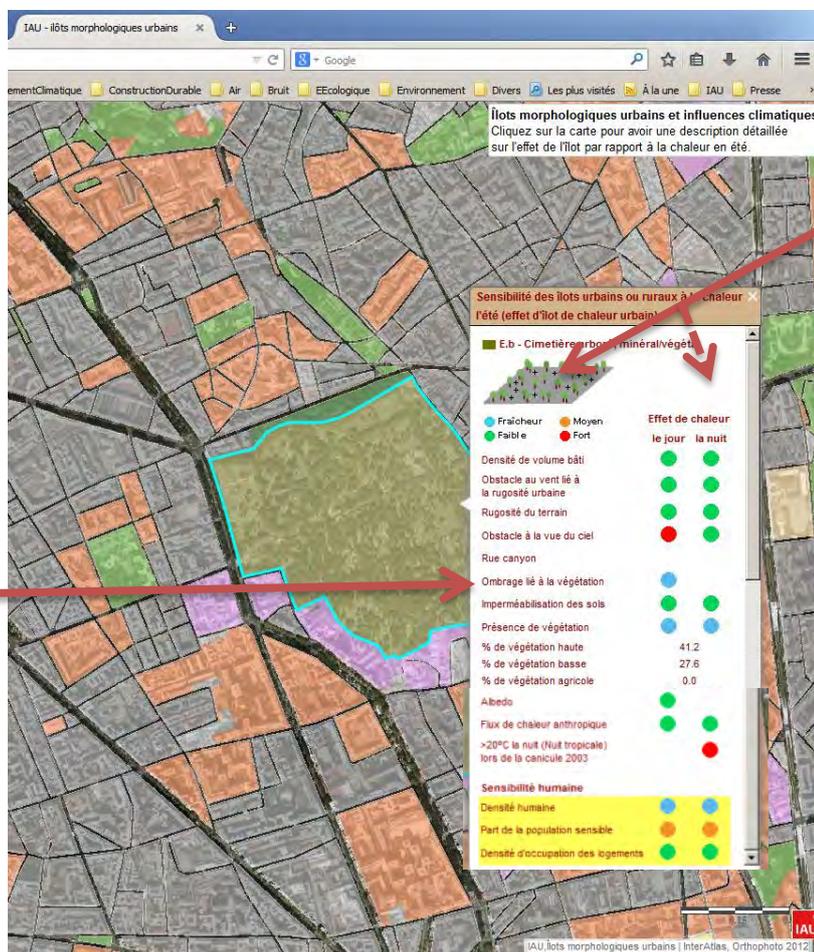
Les LCZ sont définies comme des entités spatiales uniformes pour leur distribution des températures de l'air et de surface comprise entre 100 et 1000 mètres sur un plan horizontal. Chaque LCZ exprime une géométrie caractéristique et une occupation du sol qui génère un climat spécifique – une température de surface unique – par temps calme et ciel dégagé. Les zones sont différenciées par leurs propriétés de surface qui influencent directement la température de référence (1,5 à 2 m au-dessus du sol), telle que la part de végétalisation, la hauteur et l'espacement du bâti et des arbres (rugosité/compacité), l'humidité du sol et les flux de chaleur anthropogéniques. Selon ces différenciations, le continuum urbain-rural aboutit à une hiérarchie de 17 zones climatiques : 10 LCZ de type « bâti » (« building ») ; 7 LCZ de type « non bâti » (« land cover »).

Les îlots morphologiques urbains (IMU) 2012 constituent un référentiel géographique numérique de la typo-morphologie des îlots sur toute l'Île-de-France, tant les îlots urbains (« pâtés de maisons ») que les îlots d'espaces ouverts sans bâti. A partir des caractéristiques de chaque IMU, un rapprochement avec la classification LCZ a pu être constitué afin d'en préciser son type d'influence climatique.

Un clic droit sur un îlot (cerné bleu) fait apparaître une fenêtre qui précise son type LCZ et sa sensibilité à la chaleur l'été : l'effet d'ICU et l'enjeu de présence humaine

Indicateurs de perturbations radiative, thermique, aérologique, hydrologique (propriétés LCZ...)

Ils sont décrits un par un en pages suivantes



Pictogramme = type LCZ de l'îlot morphologique urbain (IMU) de 1 à 10 ou de A à G avec son intitulé

à gauche, le LCZ dominant

à droite, le LCZ secondaire quand l'îlot est hétérogène

Effets potentiels d'îlot de chaleur ou de fraîcheur le jour et/ou la nuit en période d'été liés à chacune des propriétés :

● Fraîcheur ● Moyen ● Fort effet de chaleur  
● Faible ● Fort effet de chaleur

Sensibilité de l'îlot liée à la présence humaine :

● Aucune ● Moyen ● Fort

## Définition des indicateurs de perturbations radiative, thermique, aérologique, hydrologique

### Nombre de surfaces bâties

#### « Densité des volumes bâtis »

Densité rapportée à la surface de l'îlot de tous les volumes de bâti dépassant du sol révélant l'importance des surfaces de toits et de murs

Nature de l'effet : nombre de surfaces proposées à l'interception des rayonnements

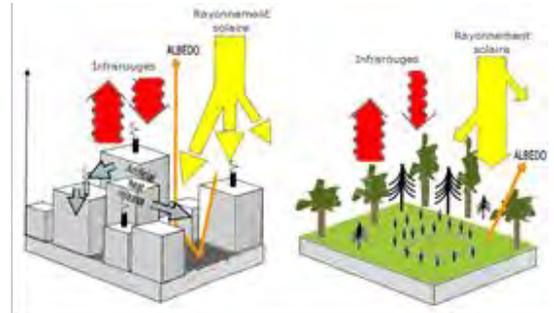


Plus il y a de bâti, plus grande est la surface d'absorption du rayonnement solaire par réflexion et piégeage des rayonnements par les surfaces verticales (**en rouge**)



Plus il y a de bâti, plus grande est la surface de restitution de la chaleur emmagasinée par la multiplication des surfaces verticales (**en rouge**)

Précision sur l'élaboration de l'indicateur : Volume (Hauteur x surface au sol) des masses construites (bâtiments et réservoirs) de la Bd\_Topo (V2 - janvier 2011) de l'IGN : Bâtiments surfaciques (Bâtiments + sel de Constructions légères) + Réservoirs (réservoirs non souterrains de +10m : château d'eau, réservoir d'eau, réservoir industriel)



Flux d'énergie et de rayonnement au-dessus d'une zone urbaine et d'une zone rurale - Source : Colombert, 2008 (simplifié)

### Hauteur du bâti

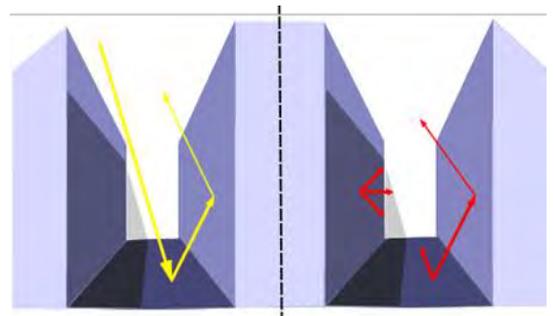
#### « Hauteur moyenne pondérée du bâti »

Valeur de la hauteur moyenne pondérée des éléments bâtis d'un îlot (en mètre)

Nature de l'effet : perturbations radiatives (ombrage, interception des rayonnements) et aérologiques (effet sur la circulation des masses d'air) ; valeur donnée à titre d'indication car les effets diurne et nocturne sont dépendants d'autres paramètres comme le coefficient d'occupation du sol

Précision sur l'élaboration de l'indicateur : Rapport entre le Volume des masses construites (bâtiments et réservoirs) de la BD TOPO (V2 - janvier 2011) de l'IGN et la surface au sol qu'elles occupent ; cet indicateur ne renseigne que la hauteur des éléments bâti au sein d'un îlot.

Propriété LCZ proche de cet indicateur : « Mean building/tree height » (ZH), de 0 à 50+ mètres, moyenne géométrique des hauteurs du bâti (LCZ de 1-10) et des hauteurs du couverts arbres/plantations (LCZ de A-G).



Rayonnement solaire et infrarouge en ville – Source : IAU îdF

## Ventilation de l'îlot

### « Rugosité urbaine »

La rugosité urbaine rend compte de l'occupation des sols, de la compacité au sol et de la hauteur des bâtiments et de la végétation d'un îlot.

Nature de l'effet : effets d'obstacle aux vents - notamment aux vents faibles (brises thermiques) en période de canicule - des îlots compacts bâtis ou des îlots densément arborés ; plus forte est la rugosité urbaine, plus l'écoulement de l'air est perturbé, ralenti, moins la ventilation de l'îlot est efficace. Outre la chaleur, la stagnation des masses d'air peut favoriser la concentration des polluants atmosphériques (absence de dispersion) en fonction des activités anthropiques.



Plus la rugosité est forte : obstacle à la circulation des vents faibles (brises thermiques), rafraîchissante ; faible dispersion de la chaleur et de la pollution (**en rouge**)



Plus la rugosité est forte : obstacle à la circulation des vents faibles (brises thermiques), rafraîchissante, faible dispersion de la chaleur et de la pollution (**en rouge**)

Précision sur l'élaboration de l'indicateur : Indicateur synthétique de rugosité par occupation du sol dominante : il est défini par le rapprochement d'un niveau de rugosité (compacité + hauteur) à un type d'occupation du sol.

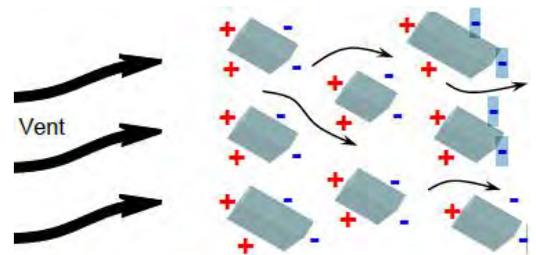
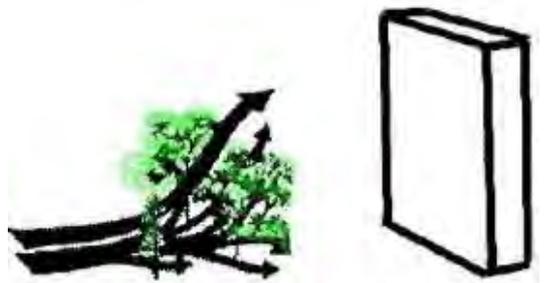


Schéma en quinconce – Source : ALTO Ingenierie



Protection végétale – Source : RUROS

## Nature du sol et écoulement de l'air

### « Rugosité du terrain »

La rugosité du terrain rend compte de la rugosité réelle du terrain (Z0) pour les villes et les paysages ruraux. Ce paramètre est implicitement lié aux effets d'agglomération sur le régime des vents de l'air et l'effet d'îlot de chaleur métropolitain (ICU métropolitain).

Nature de l'effet : Ce paramètre influe sur la réflectivité de surface, le régime des flux d'air, et la dispersion de chaleur au-dessus du sol. Plus forte est la rugosité, plus le frottement de l'air sur le sol est important, ralentissant la masse d'air.

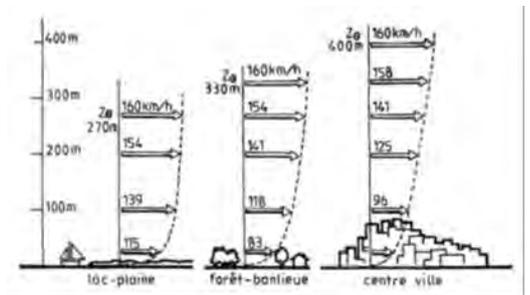


Plus le terrain est rugueux : obstacle à la circulation des vents, faible dispersion de la chaleur (**en rouge**)



Plus le terrain est rugueux : obstacle à la circulation des vents, faible dispersion de la chaleur (**en rouge**)

Précision sur l'élaboration de l'indicateur : défini d'après le type LCZ et la valeur forfaitaire de la propriété LCZ de classe de rugosité du terrain « Terrain roughness Class », de 1 à 8 de la classification de Davenport et al. (2000) relative à la rugosité réelle du terrain (Z0) pour les villes et les paysages ruraux.



Profil de la vitesse du vent pour différentes surfaces - Source : Chatelet et al., 1998 in. Colombert, 2008

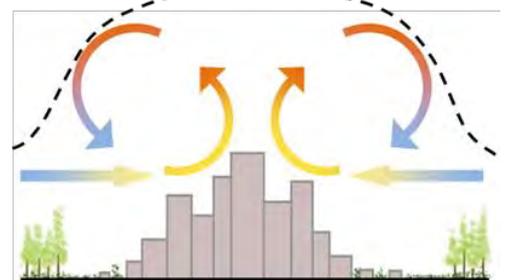


Schéma du phénomène de brise thermique de la campagne vers la ville. Ces brises de campagne engendrent un effet de dôme au-dessus de la ville particulièrement néfaste lors des pics de pollution - Source : IAU îdF

## Obstacle à la vue du ciel

### « Facteur vue du ciel »

Le Facteur de vue du ciel (SVF) correspond à la portion de ciel observable à partir de la surface considérée (fraction hémisphérique de ciel visible depuis le sol). Ce facteur est égal à 1 dans le cas d'une surface plane sans obstacle et varie entre 0 et 1.

Nature de l'effet : Le Facteur de vue du ciel permet d'évaluer la facilité avec laquelle se produit le refroidissement nocturne par échange radiatif avec le ciel.



Si la vue du ciel importante (exemple d'une prairie,  $SVF > 0,9$ ), le rayonnement solaire parvient sans obstacle : chaleur ressentie, éblouissement (**en rouge**)



Si le SVF est faible (cas des immeubles hauts et compacts), les rayonnements infra-rouge (IR) libérés vers le ciel par les surfaces prennent du temps et se dégagent car ils sont piégés par les surfaces verticales (**en rouge**). A contrario, quand le SVF tend vers 1, les rayonnements IR rejoignent le ciel sans obstacle (« rayonnement froid de la voûte céleste ») facilitant le refroidissement (**en vert**)

Précision sur l'élaboration de l'indicateur : SVF approché défini selon le type LCZ et les caractéristiques de rugosité minérale/végétale de l'IMU

Propriété LCZ proche de cet indicateur : « Skye view factor, SVF » ( $\psi_{sky}$ ), de 0 à 1, en fonction de la hauteur et de l'espacement des bâtiments et des arbres.



En ville (SVF faible), le refroidissement est contraint par la présence de bâtiments ; en zone rurale, plus le terrain est nu ou à végétation basse, il est maximum (SVF se rapprochant de 1). – Source : Apur

## Rues étroites bordées d'immeubles hauts

### « Rue canyon »

La configuration de canyon urbain se retrouve souvent dans les îlots d'ensembles compacts d'immeubles de moyennes ou de grandes hauteurs.

Nature de l'effet : ce type de configuration exclusivement urbaine perturbe les flux d'air en surface et les échanges de chaleur / de rafraîchissement radiatifs (ombrage).



Dans les rues Canyons : ombrage lié aux immeubles (**vert**)



Dans les rues Canyons : obstacle à la circulation des vents, faible dispersion de la chaleur (par piégeage des rayonnements IR) et de la pollution (**en rouge**)

Précision sur l'élaboration de l'indicateur : défini approché selon l'emprise des viaires (routes, fer, eau) délimitant l'IMU, sa compacité et sa hauteur moyenne

Propriété LCZ proche de cet indicateur : Indice Rue Canyon (Aspect ratio) H/W, de 0 à 3+, moyenne du rapport Hauteur-sur-Largeur des rues canyons (LCZ 1-7), de l'espacement entre les éléments bâti (LCZ 8-10) et de l'espacement entre les arbres (LCZ A-F).

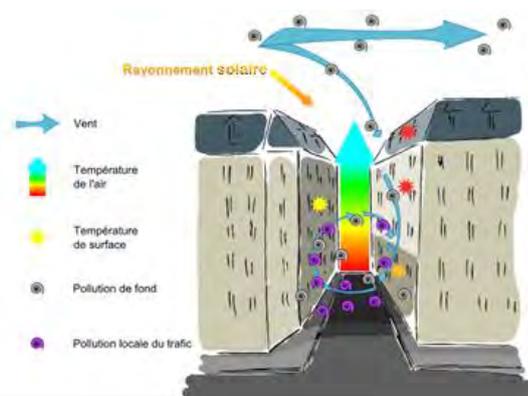


Schéma d'une rue canyon : le vent dominant s'engouffre dans la rue et est dévié par les obstacles que constituent les bâtiments. Les masses d'air ont alors un mouvement en spirale, renforcé par la convection due à la chaleur : l'air chaud des rues monte et est remplacé par l'air froid qui circule au-dessus de la ville ce qui permet de chasser la chaleur et les polluants de la ville et de la rue - Source IAU îdF

## Ombrage lié aux arbres

### « % de végétation haute »

La présence d'arbres, lorsque la surface couverte est significative rapportée à la surface de l'îlot, est un atout l'été pour l'atténuation de l'ensoleillement.

Nature de l'effet : la rugosité végétale liée à la présence d'arbre est source de perturbations radiatives (ombrage) ; à noter que les arbres peuvent aussi faire obstacles aux circulations des masses d'air.

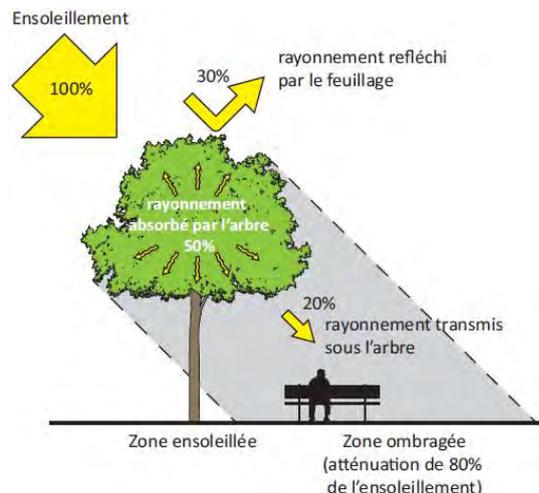


Le jour, plus la zone ombragée est importante, plus l'atténuation de l'ensoleillement est efficace (surface arborée entre 10 et 25%, **en vert** ; et >25%, **en bleu**, effet rafraîchissant)



La nuit, pas d'effet d'ombrage

Précision sur l'élaboration de l'indicateur : il est déterminé à partir du taux de végétation haute soit le % de surface planimétrique (projection verticale des houppiers) de végétation haute de type arbres, strate arbustive/arborée, (plus de 6 mètres) via calcul de l'indice de végétation par la BD ORTHO IRC 2008 et calcul de la stratigraphie par la BD ALTI 2012 de l'IGN, le MNT/MNE d'INTERATLAS ;



Atténuation de l'ensoleillement par un arbre - Source Apur

## Imperméabilisation des sols

### « % de surfaces imperméabilisées »

L'imperméabilisation des sols comprend les surfaces au sol revêtues et les emprises bâties. La carence en sols perméables traduit l'absence de potentiel d'évaporation ou d'évapotranspiration d'un îlot.

Nature de l'effet : Ce paramètre influe sur la réflectivité de surface, la disponibilité de l'humidité, le potentiel de chaleur/rafraîchissement (propriétés thermiques des matériaux et des surfaces avec ou sans eau).



Plus l'îlot est imperméable, plus il y a d'échauffement des surfaces (chaleur sensible) : baisse de l'évaporation en surface et emmagasinement de chaleur des matériaux les plus poreux (**en rouge**)



déstockage la nuit de la chaleur emmagasinée le jour selon l'inertie (effet retard) des matériaux (**en rouge**)

Précision sur l'élaboration de l'indicateur : Pourcentage d'imperméabilisation défini par la somme des surfaces au sol des bâtiments et des voiries revêtues connues par la BD TOPO (V2 - janvier 2011) ou le MOS, rapportée à la surface de l'IMU. Cet indice d'imperméabilisation dit "approché" ne rend pas compte de certaines surfaces revêtues imperméables mal identifiées par la BD TOPO (les cours d'école revêtues...)

Propriété LCZ proche de cet indicateur : Impervious surface fraction ( $I_i$ ), de 0 à 100%

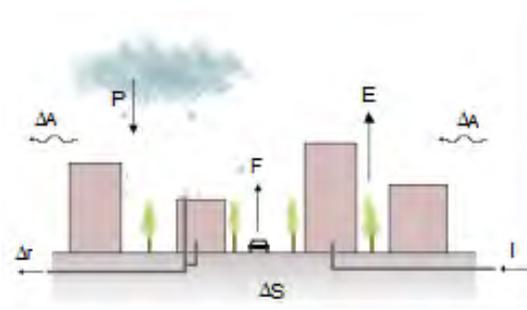


Schéma descriptif du bilan hydrique pour une zone urbaine – Source IAU IdF, réalisé à partir de Colombert, 2008

*P* : Précipitations ; *F* : vapeur d'eau provenant des processus de combustion ; *I* : eau apportée artificiellement par les canalisations ; *E* : vapeur d'eau des processus d'évaporation, d'évapotranspiration et de condensation ; *r* : ruissellement et évacuation ; *S* : emmagasinement dans la ville ; *A* : vapeur d'eau transportée par advection (déplacement horizontal des masses d'air).

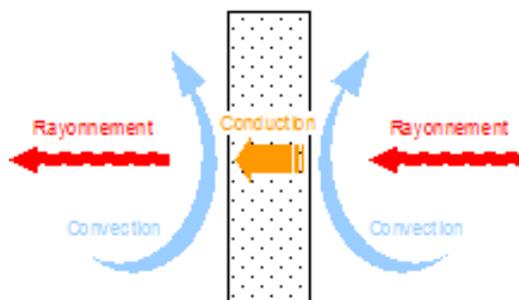
## Propriétés thermiques des matériaux

### « effusivité thermique »

Valeur forfaitaire moyenne (en  $J m^{-2} s^{1/2} K^{-1}$ ) rendant compte de la capacité de la surface à emmagasiner ou à dégager de la chaleur, selon les types de matériaux, leur porosité, leur humidité...

Nature de l'effet : Propriétés thermiques des matériaux et des surfaces avec ou sans eau. Ce paramètre influe sur le stockage de chaleur des surfaces et les taux/vitesses d'échauffement/refroidissement.

Précision sur l'élaboration de l'indicateur : valeur forfaitaire attribuée par LCZ d'après la propriété LCZ de Surface admittance ( $\mu$ ), de 0 à 3000+, en  $J m^{-2} s^{1/2} K^{-1}$  : Coefficient de transfert de chaleur / coefficient de transmission surfacique des matériaux de surface. Les valeurs donnent un spectre caractéristique des surfaces dans chaque LCZ (par exemple, des immeubles, des routes, des sols, de l'eau). Elles varient selon l'humidité du sol et la densité des matériaux.



Rayonnement, convection et conduction sur une paroi - Source IAU îdF

La chaleur se diffuse dans les matériaux par conduction : si un mur est chauffé par le soleil à l'extérieur, ou un système de chauffage à l'intérieur d'un bâtiment, cette chaleur va se diffuser à travers le matériau du mur. C'est pour cette raison que l'on observe des pertes de chaleur des bâtiments en hiver lorsque les logements et bureaux sont chauffés (La conduction vise à rétablir l'équilibre de température).

## Présence de végétation

### « Taux de végétation »

La présence de végétation, outre l'ombrage, est précieuse aussi pour sa capacité d'évapotranspiration.

Nature de l'effet : l'évapotranspiration s'accompagne d'une transformation de l'énergie lumineuse à fin de changement d'état physique de l'eau en vapeur (chaleur latente), donc sans changement de température.



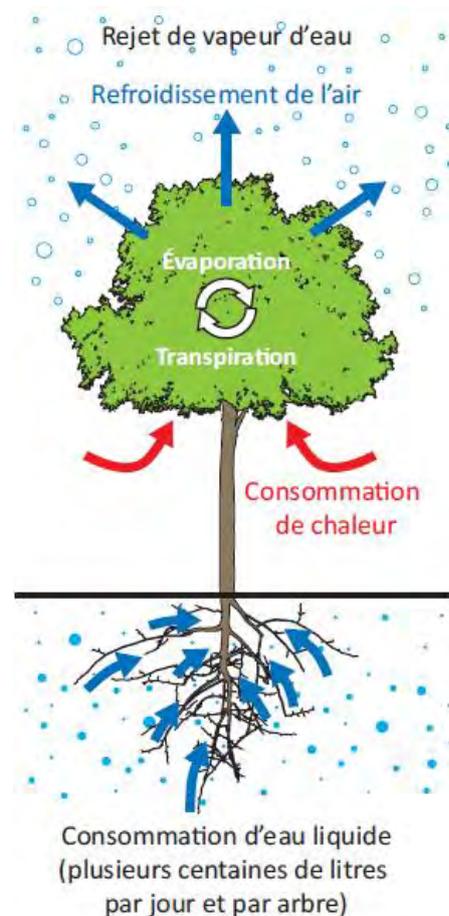
Plus la surface de végétation est importante et arborée, et hors condition de manque d'eau (stress hydrique), plus le rafraîchissement de l'air est efficace (en bleu)



L'évapotranspiration est moins importante que le jour, mais la surface se rafraîchit plus vite (en bleu)

Précision sur l'élaboration de l'indicateur : cumul des % de végétation haute, basse et agricole : surfaces planimétriques de végétation de type arbres (surface planimétrique de la projection verticale des houppiers des arbres de plus de 6 mètres), de type pelouse & mélange, strate herbacée/arbustive via le calcul de l'indice de végétation par la BD ORTHO IRC 2008 et calcul de la stratigraphie par la BD ALTI 2012 de l'IGN, le MNT/MNE d'INTERATLAS, plus le % de surface de type agricole, strate herbacée/arbustive (sélection à partir du MOS 2008 des terres agricoles : terres labourées ; surfaces en herbe à caractère agricole ; vergers, pépinières, maraîchage, horticulture)

Propriété LCZ proche de cet indicateur : Pervious surface fraction ( $\lambda_i$ ), de 0 à 100%



L'évapotranspiration - Source Apur

## Taux de végétation haute

« % de végétation haute »

## Taux de végétation basse

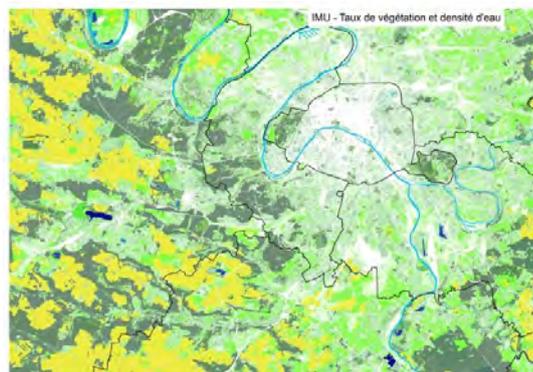
« % de végétation basse »

## Taux de végétation agricole

« % de végétation agricole »

Valeurs (en %) de la part dans l'IMU des surfaces occupées par la végétation :

- haute de type arbre (ombrage, capacité d'évapotranspiration très efficace, rugosité végétale) ;
- basse de type pelouse & mélange, strate herbacée/arbustive (ombrage moindre, capacité d'évapotranspiration) ;
- agricole, strate herbacée/arbustive (ombrage moindre, capacité d'évapotranspiration).



Taux de végétation des îlots morphologiques urbains (IMU) - Source IAU îdF

## Présence d'eau

« Densité d'eau »

Cumul des surfaces en eau présentes dans un IMU rapportées à sa surface. La présence d'eau est précieuse pour sa capacité d'évaporation rafraîchissant l'air.

Nature de l'effet : l'évaporation au-dessus des bassins et plans d'eau s'accompagne d'une transformation de l'énergie lumineuse pour le changement d'état physique de l'eau en vapeur (chaleur latente) donc sans changement de température.

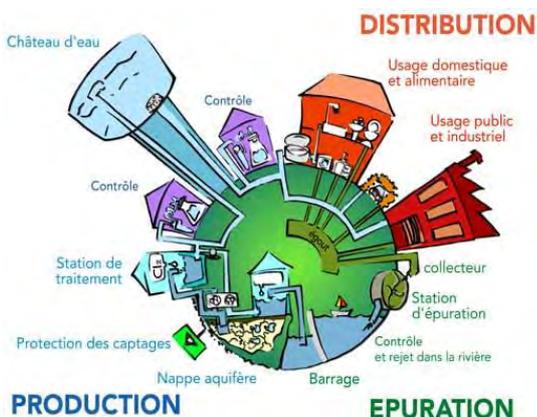


Plus la surface en eau de l'îlot est importante, plus le rafraîchissement de l'air par évaporation est efficace (**en bleu**)



Si le rafraîchissement de l'air par évaporation s'atténue, le dégagement des rayonnements infrarouges se fait sans obstacle au-dessus des masses d'eau ce qui accélère le refroidissement de la zone (**en bleu**)

Précision sur l'élaboration de l'indicateur : cumul des surfaces des postes 11.Eau fermée, 20.Baignade, 56.Piscine découverte du Mode d'occupation du sol (MOS) + Surface forfaitaire de 50 m<sup>2</sup> par mare localisée + Surface des Bassins ouverts de la BD TOPO, le total étant rapporté à la surface de l'IMU



En ville, l'eau est puisée dans les cours d'eau ou les nappes phréatiques, traitée et contrôlée avant d'entrer dans les réseaux de distribution d'eau. Une fois utilisée, elle rejoint les égouts, qui recueillent aussi les eaux de ruissellement, passe par une station d'épuration et est rejetée dans les rivières lorsque le réseau fonctionne de manière unitaire. Le cycle anthropique de l'eau - Source : [www.cile.ber](http://www.cile.ber)



« Le brumisateur naturel » - Source : Lo Giudice, Marquet, 2008

## Réfléchissement de la lumière

### « Albédo »

L'albédo est une valeur physique qui représente la part de l'énergie réfléchiée par rapport à l'énergie solaire reçue

Nature de l'effet : Réflectivité moyenne pondérée de la surface de la zone, à l'échelle locale, sous un ciel clair à la mi-journée; elle varie selon l'humidité des surfaces (la rugosité et les matériaux) : plus le rayonnement solaire est renvoyé vers l'espace (plus l'albédo tend vers 1), moins il sert à chauffer la planète.



Un îlot dont la valeur moyenne d'albédo est faible (surfaces/matériaux sombres) signifie qu'il provoque peu d'éblouissement mais présente beaucoup de surfaces qui s'échauffent (**en rouge**). A contrario, avec un albédo élevé (façades d'immeuble réfléchissantes, revêtements clairs dans l'espace public), les surfaces peuvent être très réfléchissantes et occasionner une gêne par effet d'éblouissements (mais **en vert**, car peu d'échauffement)



Cette propriété d'albédo ne signifie rien pour la période nocturne car la lumière du soleil n'est pas visible.

Précision sur l'élaboration de l'indicateur : valeur forfaitaire d'après le type LCZ de l'IMU reprenant la correspondance de la propriété LCZ d'Albédo ( $\alpha$ ).



Albédo en ville - Source : Colombert, 2008

*L'albédo correspond au rapport entre l'énergie reçue et l'énergie réfléchiée. L'albédo s'exprime en fraction de 0 à 1, où 1 représenterait une surface qui réfléchirait 100 % de l'énergie et 0 une surface qui absorberait entièrement les rayonnements sans aucune réflexion. Ainsi, une surface dont l'albédo est inférieur à 0,03 (ou 3 %) est perçue comme noire, celle dont l'albédo est supérieur à 0,8 (ou 80 %) est perçue comme blanche. Une surface parfaitement blanche ou un miroir parfait réfléchit 100 % de la lumière, et a donc un albédo de 1, à l'inverse, une surface parfaitement transparente ou d'un noir parfait a un albédo de 0.*

## Chaleur produite par l'activité humaine

### « Flux de chaleur anthropogénique »

Emission de chaleur anthropogénique dans l'îlot liée aux procédés Industriels, à la combustion des moteurs de véhicules, et aux rejets secs dans les rues par les systèmes de climatisation et d'extraction

Nature de l'effet : Flux de chaleur lié aux activités humaines qui aggrave le réchauffement de la ville, notamment au niveau des rues.



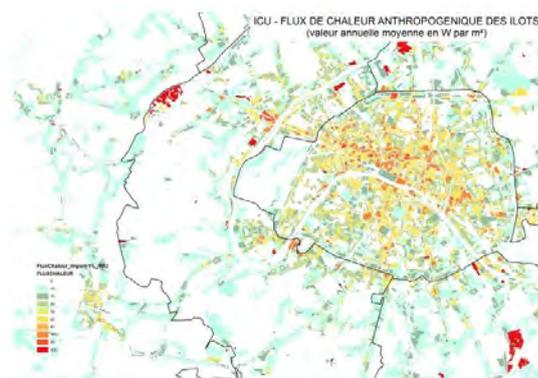
Emission de chaleur anthropogénique à même la rue et au sein de certains îlots, notamment à caractère industriel (**en rouge**)



Les émissions de chaleur anthropogénique peuvent continuer à se produire en soirée et la nuit même si certaines activités s'atténuent comme la circulation routière (**en rouge**)

Précision sur l'élaboration de l'indicateur : indicateur synthétique sur la base de la nature industrielle de l'IMU, du trafic routier l'entourant, et des consommations énergétiques du bâti tertiaire pour l'électricité spécifique, la cuisson, et la climatisation (en W/m<sup>2</sup>).

Propriété LCZ proche de cet indicateur : Intensité de flux de chaleur anthropogénique moyen annuel (QF), de 0 à 400+, en W/m<sup>2</sup> (comprend aussi le métabolisme humain).



Flux de chaleur anthropogénique (en W par m<sup>2</sup>) – Source IAU îdF

## Zone ICU nocturne lors de la canicule 2003

### « Indicateur de Nuit tropicale (>20°C) lors de la canicule 2003 »

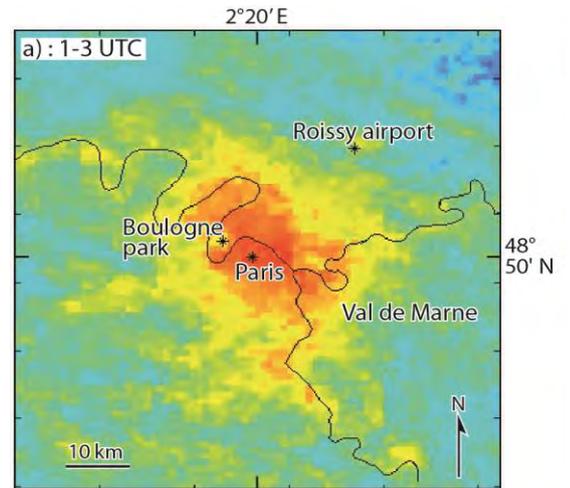
Indication rétrospective de l'extension de l'îlot de chaleur métropolitain nocturne - via les relevés de température de surface et l'indicateur de Nuit tropicale - qui s'est produit durant les 10 jours de canicule en 2003.

Nature de l'effet : lors de l'épisode de canicule 2003, contraste de nuit entre un îlot de chaleur étendu sur le centre de l'agglomération et la campagne environnante (avec le centre-ville, magnitude d'environ 8°C). La nuit étant normalement une période de récupération pour les organismes vivants, si la température reste « tropicale », ne descendant pas en-dessous de 20°C, ce territoire devient particulièrement sensible.



Lorsque l'IMU a été compris dans la zone de dépassement de l'indicateur de nuit tropicale, le contexte de sensibilité était plus marqué en 2003 (**en Rouge**), a contrario il l'était moins (**en vert**).

Précision sur l'élaboration de l'indicateur : croisement géographique entre les IMU et la zone >20°C lors de l'épisode de canicule survenu en 2003 : valeur de 1 si l'IMU est compris dans la zone, sinon valeur de 0.



*Température de surface en région parisienne obtenues à partir d'images thermiques des satellites NOAA-AVHRR 12, 16 et 17, durant la canicule du 4 au 13 août 2003. Températures moyennées sur 9 images, pour l'intervalle de temps compris entre 01 et 03 UT (3 et 5 heure locale) ; cette image révèle le contraste de nuit entre un îlot de chaleur sur le centre-ville d'une magnitude d'environ 8°C.*

Source : Figure reproduite de : Dousset et al. (2011), International Journal of Climatology, John Wiley & Sons. - InVS

## Définition des indicateurs de sensibilité humaine à l'effet d'îlot de chaleur l'été

Ce n'est qu'en s'intéressant à l'ensemble du diagnostic – zone à effet d'ICU, sensibilité, capacité à faire face – que des actions d'aménagement efficaces peuvent être proposées. Compte tenu du nombre d'enjeux associés au risque ICU (confort thermique et santé des populations, disponibilité de la ressource en eau, approvisionnement énergétique, fragilisation du bâti et des infrastructures, etc.), plusieurs registres de vulnérabilité seraient à étudier. Nous avons fait le choix de commencer par la vulnérabilité sanitaire.

Le défi méthodologique est là encore de pouvoir mobiliser les données à l'échelle de l'IMU pour opérer des croisements géographiques qui font sens. Pour les indicateurs de sensibilité, nous avons retenu la densité humaine (population résidente + emplois), les populations les plus sensibles aux vagues de chaleur soit la présence de jeunes enfants (0 à 5 ans) et de personnes âgées (65 ans et plus), ainsi que la densité moyenne d'occupation des logements.

La sensibilité de l'IMU est appréciée suivant les 4 classes suivantes :



## Densité humaine

Densité de population résidente et d'emplois par IMU. Forte densité humaine (**en rouge**), moyenne densité humaine (en orange), faible densité humaine (**en vert**) et aucune densité humaine (**en bleu**).

Précision sur l'élaboration de l'indicateur : Ventilation statistique par IMU des données relatives au recensement Insee de la population des ménages et hors ménages (habitat communautaire...) et de la localisation des emplois. Densité humaine "brute et basée" : Population (PopTot2009 de Densibati2009\_P ; populations des ménages et hors ménage) + Emploi (ALTARES 01.01.2013 : Emplois salariés géolocalisés des entreprises et établissements ; seuil bas des tranches d'effectifs) rapportée à la surface de l'IMU (Shape\_Area) : [ (DENSI\_HAB\_IMU + DENSI\_EMPLOI\_IMU) / Shape\_Area ]

## Part de la population sensible (5 ans et moins, plus de 65 ans)

Part de la population des ménages selon l'âge : total des jeunes enfants (5 ans et moins de 5 ans) et des personnes de 65 ans et plus. Plus de 30% (**en rouge**), de 20 à 30% (**en orange**), moins de 20% (**en vert**), sans population (**en bleu**)

Précision sur l'élaboration de l'indicateur : Ventilation statistique par IMU des données relatives au recensement Insee de la population des ménages (hors communautés).

### Les populations à risques

La canicule de 2003 a eu de lourdes conséquences sanitaires : plus de 15 000 décès supplémentaires par rapport à la mortalité habituelle sur cette période. Ces derniers sont directement imputables à la chaleur, en effet, 3 306 décès sont dus à des coups de chaleur, une hyperthermie ou une déshydratation.

C'est à partir de 45 ans que l'on remarque une réelle influence de la canicule sur la mortalité. On a ainsi enregistré 434 décès directement liés à la chaleur contre 9 les années précédentes. Cependant, c'est parmi les personnes âgées de plus de 75 ans que le risque apparaît le plus grand : + 70 % de décès dans cette classe d'âge, 2 852 décès de plus que les années précédentes liés à la chaleur, mais aussi à d'autres causes indirectement liées comme les maladies cardiovasculaires (+ 2633) ou les problèmes respiratoires (+ 1213).

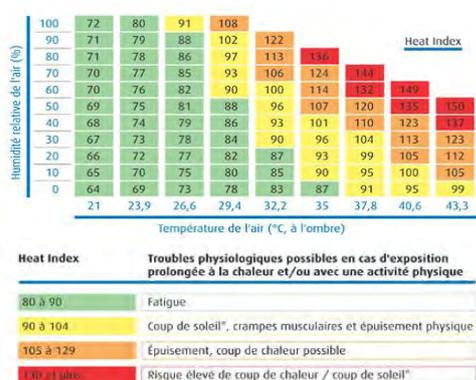
En dehors du facteur âge et santé (beaucoup de personnes souffrant déjà d'une maladie sont mortes à cause de la chaleur), on trouve également parmi les populations à risques des personnes dont les conditions de vie ou de travail les exposent particulièrement. C'est le cas par exemple des ouvriers du bâtiment, qui ont souvent des tâches physiques en extérieur. Ils ont ainsi une température de confort plus basse que les autres (cf. « Chaleur et populations », fiche n°1). De même, les SDF sont particulièrement exposés de par leurs conditions de vie, leur état de santé général et leurs faibles ressources.

### Pathologies liées à la chaleur

Niveau	Effets de la chaleur	Symptômes et conséquences
<b>Niveau 1</b>	Coup de soleil	Rougeur et douleur, œdème, vésicules, fièvre, céphalées
<b>Niveau 2</b>	Crampes de chaleur	Spasmes douloureux (jambes et abdomen), transpiration
<b>Niveau 3</b>	Epuisement thermique	Forte transpiration, faiblesse, froideur et pâleur de la peau, pouls faible, température normale
<b>Niveau 4</b>	Coup de chaleur	Température corporelle supérieure à 40,6 °C, peau sèche et chaude, pouls rapide et fort, perte de conscience possible. Décès possible par défaillance de la thermorégulation.

### Risques pour la santé d'une exposition à la chaleur : symptômes et niveaux de gravité

Source : inrs.fr



Afin d'anticiper les conséquences d'une canicule, on peut se référer au « Heat Index » qui, en combinant température et humidité relative de l'air permet d'évaluer le risque potentiel selon les conditions météorologiques. Cependant, ce diagramme est obtenu avec des températures prises à l'ombre avec un vent léger. En dehors de ces conditions, il faut ajouter 15 à l'indice pour évaluer le risque pour un travail en plein soleil.

Diagramme température / humidité, en relation avec les troubles physiologiques liés à la chaleur (Heat Index Chart)

Source : inrs.fr

Enfin, les pathologies, notamment respiratoires, liées à la pollution sont également à prendre en compte. Les ICU et particulièrement les canicules se caractérisent entre autre par une stagnation des masses d'air en ville ce qui concentre les polluants dans l'air et peut donc avoir des conséquences graves sur la santé.

## Densité d'occupation des logements

Densité de population des ménages 2009 par m<sup>2</sup> de planchers occupés par les ménages par IMU. Forte densité d'occupation (**en rouge**), moyenne densité d'occupation (**en orange**), faible densité d'occupation (**en vert**) et aucune population (**en bleu**).

Précision sur l'élaboration de l'indicateur : densité de population des ménages par m<sup>2</sup> de planchers "ménages" : population des ménages (POPMEN2009 de Densibati2009\_P) par Surface de m<sup>2</sup> planchers du bâti Habitat (COLL+INDIV) ; si absence de m<sup>2</sup> Habitat suffisant dans l'IMU, d'autres surfaces bâties de l'IMU servent au calcul (population résiduelle de ménages logés dans des équipements : administration, santé, école...).

---

## Annexe 13 : Les Balades thermiques en ville, sensibilisation et ressenti

### PROJET D'APPLICATIF/FILM 3D POUR LA COP21 « Balades thermiques en ville »

#### Quelques mots clés :

- vulnérabilité climatique (aléas, sensibilité, capacité à faire face) et atouts
- vagues de chaleur / canicule / dégradation de la qualité de l'air
- la ville, effet « aggravant » d'îlot de chaleur urbain (ICU) / blocs compact urbain / rue canyon / facteur de vue du ciel / surfaces minérales et imperméables / albédo / manque d'évapotranspiration...
- comportement des citoyens face à la chaleur / population dites sensibles / isolement / dernier étage d'immeuble / proximité médecin généraliste...
- atouts de la ville et solutions d'aménagement : îlots de fraîcheur / sol de pleine terre / ombrage / prévention (fichiers Chaleur Extrême pour le repérage des personnes âgées isolées et des personnes handicapées...)

#### Les grands principes

Une journée d'été, chaude, de lever au coucher, heure par heure

Dans des tissus urbains à la rugosité urbaine forte / contrastée, suivant 2 temps forts :

- le jour : l'ensoleillement de la ville le jour (apport d'énergie lumineuse), effet d'ombrage, d'éblouissement, de chaleur de matériaux...
- la nuit, le piégeage par les surfaces verticales des rayonnements infra-rouge dégagés par le sol et les matériaux

En privilégiant le ressenti des ambiances thermiques du point de vue du citoyen, son regard, son exposition à la chaleur, au fil de ses parcours urbains... ; dans l'espace public, à son lieu de résidence...

#### **Propositions de story-board**

3 profils (3 avatars) : une personne active, une femme et son enfant en bas âge, une personne âgée...

- Story-board 1 : le jour

L'actif / Secteur type « La Défense »

Sortir le midi de son immeuble pour rejoindre son lieu d'achat de restauration via la traversée d'un parvis très exposé au soleil et éblouissant (avec comportement d'évitement, recherche d'ombrage) et aller pique-niquer dans un espace vert ombragé ; climatisation avec rejets sec en façade de restaurants et d'immeubles de bureau ; chaleur dans les transports le soir, dans le train, le bus pour rentrer du travail (période crépusculaire la plus chaude)

Statistiques : parts modales des déplacements pendulaires ; consommations énergétiques du secteur tertiaire (climatisation...)

- Story-Board 2 : le jour

La femme et son enfant en bas-âge (population sensible de moins de 5 ans) / Secteur Val-de-Marne

Sortir avec la poussette pour se rendre en consultation chez un médecin généralistes en proximité ; avec comportement de recherche de parcours ombragé, rallongeant d'autant le trajet ; aller dans un îlot de fraîcheur (espace vert arboré, brumisateur...)

Statistiques : nb de Franciliens de moins de 5 ans, densité de médecin généralistes en proximité ; indice de végétation, carence en espace vert public...

- Story-Board 3 : la nuit

La personne âgée, isolée, au dernier étage d'un immeuble (sous les combles) / Secteur de bord de Seine à Paris

Lien avec les services de la Mairie ou la possibilité d'aller dans un espace de proximité ombragé : espace vert public ouvert exceptionnellement la nuit

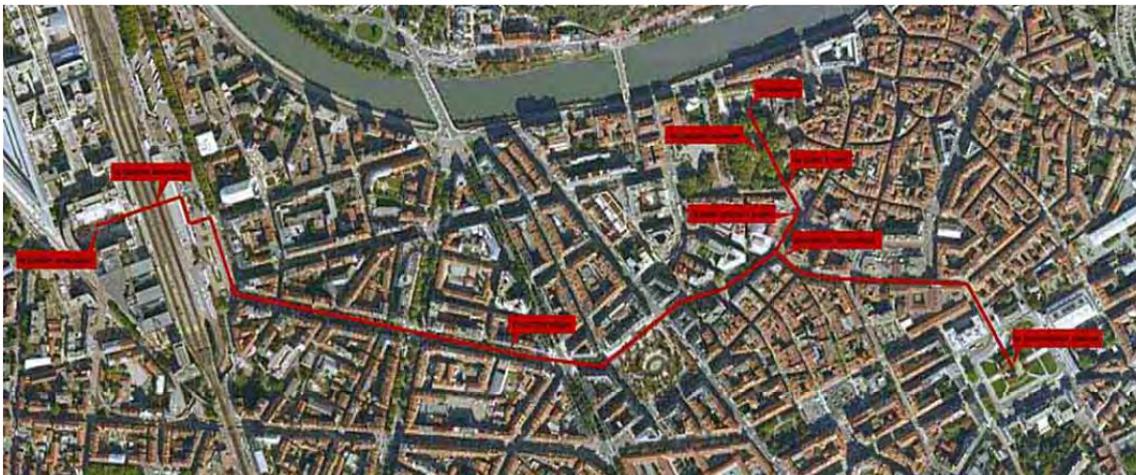
Statistiques : nb de personnes âgées (plus de 65, 75 ans) ; nb de personnes isolées ; précarité énergétique (climatique) ; surmortalités caniculaires et polluants atmosphériques... ; type de matériaux de toit ; nb de toitures végétalisées ; nb de personne inventorié par les fichiers de type Chalex ?...

Imaginer dans les trois cas de story-board la possibilité de confronter l'environnement urbain actuel et des améliorations par des nouveaux aménagements : plantations d'arbres, albédo, toitures végétalisées efficaces, résurgence d'eau en ville, réseaux de froid...

**Premier éléments de référence : les balades thermiques de Grenoble**

**La sensibilisation : les « balades thermiques », l'exemple de Grenoble**

Source : Lo Giudice G., Marquet E., mai 2008



Lorsque l'on envisage d'intervenir sur un espace ou un territoire en termes d'aménagement, la réalisation d'un diagnostic est primordiale (cf. « Chaleur et aménagement » fiche n°3). Cependant, en parallèle d'un diagnostic technique, notamment en ce qui concerne les ICU, un diagnostic in situ, du ressenti et des ambiances thermiques peut s'avérer être riche d'enseignements.

**Méthodologie**

Des élèves de l'école nationale supérieure d'architecture de Grenoble, par l'intermédiaire de Nicolas Tixier et Jean-Paul Thibaud, qui travaillent particulièrement sur les ambiances urbaines, ont réalisé un parcours thermique dans la ville de Grenoble pour identifier les différents phénomènes thermiques ressentis en ville. Les parcours ont été réalisés par sept groupes de deux à quatre personnes sur une durée allant d'une heure à une heure et demi. Neuf lieux ont ainsi été étudiés, chacun étant représentatif d'un phénomène, d'une ambiance thermique ou d'usages particuliers liés à la température. Ainsi, chaque lieu est décrit selon sa morphologie, sa place dans la ville, ses usages et le dispositif qu'il illustre. La perception microclimatique fait ensuite l'objet d'une description plus détaillée, notamment grâce aux témoignages de passants ou de personnes fréquentant régulièrement ou travaillant dans les lieux. Enfin, une dernière partie, « Le savoir », explique de façon technique les mécanismes à l'œuvre à l'origine des perceptions.

Exemple d'étude d'un lieu : l'Hôtel de l'Europe  
Source : Lo Giudice G., Marquet E., mai 2008

**L'hôtel de l'Europe**

**L'ASCENSION THERMIQUE**

Dispositif venant sur cage d'escalier : croissance de la chaleur, de la luminosité, ensoleillement.

La verticale horizontale en toiture capte les rayons du soleil d'été et les empêche d'entrer. C'est l'effet de serre. Une chaleur résiduelle est alors ressentie au dernier étage exposé au rayonnement. En conséquence les dégâts de la chaleur et la luminosité diminuent.

**L'hôtel de l'Europe**

Chercheurs locaux.

Il s'agit d'un immeuble, historiquement classé monument historique qui fut l'objet de la rue Félix Faure avec le boulevard Béranger. Le bâtiment relève sur 5 étages. Au rez-de-chaussée le bâtiment est ouvert sur le rue piétonne et sur la place de la Poste. Plus de 4 étages ont été construits au-dessus, ce qui change le terrain sous les conditions atmosphériques de la rue par le problème de l'air chaud.

Façade de l'immeuble, classé monument historique.

Accueil de l'immeuble.

Caractéristiques des fonctions et des usages.

Au rez-de-chaussée un petit commerce et un bureau d'accueil ont été aménagés à l'origine. Il s'agit d'un immeuble qui a été construit en 1900. Il a été rénové en 1990. Il est aujourd'hui un hôtel de 4 étoiles. Il y a un restaurant et un bar. Il y a aussi un espace de coworking. Il y a aussi un espace de réunion. Il y a aussi un espace de stockage. Il y a aussi un espace de parking.

**Le savoir**

**Vernière zénithale**

Les verrières zénithales constituent des ouvertures relativement importantes (surface toujours supérieure à 1 m²) présentes au niveau de la couverture.

Leur principal intérêt est de permettre un éclairage naturel des zones centrales éloignées des façades. Elles se présentent sous une grande variété de formes et de distributions de verre, au sol ou en sautoir. On les trouve traditionnellement placées au-dessus de cages d'escaliers formant un puits de lumière.

Ces dispositifs peuvent présenter un effet de serre (ensoleillement).

Enfin, au regard de la problématique, il est possible d'observer que l'orientation des verrières zénithales et l'éclairage qu'elles apportent sont très variables. Plus elles sont orientées vers le sud, plus elles sont exposées à la chaleur. In 21 juin est le 21<sup>e</sup> décembre est l'été. Plus nous sommes près une ligne verticale de la ligne équinoxiale plus forte est l'ensoleillement.

Vernière 21 décembre

Vernière 21 juin

Façade 21 décembre

Façade 21 juin

Vernière 21 juin

## L'importance du ressenti

« Quand nous parlons du temps qu'il fait, ce n'est pas de météo que nous parlons, mais de ce qu'il nous fait, donc de nous-même, nous le ressentons, nous nous en protégeons » (Martin de La Soudière, Au bonheur des saisons in. Lo Giudice, Marquet, 2008).

Cette citation reflète bien l'importance du ressenti et de sa prise en compte en aménagement. En effet, l'expérience montre facilement que le corps humain est beaucoup plus sensible aux changements de température qu'à la température absolue. Ainsi, si l'on se trouve dans un lieu frais et que l'on passe dans un endroit chaud on le trouvera d'autant plus chaud. Par exemple, le parcours de Grenoble montre comment le corps ressentait une plus forte humidité dans un jardin par rapport à d'autres endroits, alors que l'hygromètre ne décelait aucun changement.

C'est également ce que notent Sinda Haouès-Jouve et Aude Lemonsu lors de leur intervention au séminaire Les villes et l'adaptation au changement climatique (2010) : Le temps qu'il fait est « une expérience sensorielle et cognitive, singulière et relative, quotidienne et discontinue ; une perception des variabilités, à la fois spatiales et temporelles ; une expérience globale de l'environnement : la sensibilité aux ambiances ».

L'étude de ce ressenti, qui est propre à chaque personne mais d'où l'on peut tout de même tirer une règle générale comme pour le confort thermique (cf. « Chaleur et populations » fiche n°1), serait alors un atout non négligeable dans un projet d'aménagement.

## La nécessité d'avoir différentes ambiances thermiques

Les ambiances thermiques sont donc très différentes d'un lieu à l'autre de la ville. Tout en luttant contre les effets d'îlot de chaleur urbain, la préservation d'une certaine diversité de température dans la ville, selon des niveaux acceptables, afin de permettre une multiplicité d'usages de la part de personnes différentes, à différents moments de la journée ou de l'année est tout de même à considérer.

Il est par exemple important de conserver des endroits qui captent un peu de chaleur et où les gens pourront se réchauffer en hiver et, inversement, d'autres où ils pourront se rafraîchir à l'ombre en été.



Exemple d'une place aux usages différents selon les saisons

En hiver, les gens s'installent au soleil ; en été, ils se mettent à l'ombre

Source : Lo Giudice G., Marquet E., mai 2008

## Références :

Lo Giudice G., Marquet E., Balade thermique ? Sensations garanties !, mémoire du séminaire de Master 1 « Chaleurs urbaines », ENSAG, mai 2008

Haouès-Jouve S., Lemonsu A., « Formes urbaines, modes d'habiter et climat urbain dans le périurbain toulousain », Séminaire Les villes et l'adaptation au changement climatique, Paris, 27-28 avril 2010

**Second élément de référence : la notion de « parcours » de l'APUR pour ressentir les facteurs d'influence du climat urbain (Cf. illustrations pages suivantes)**

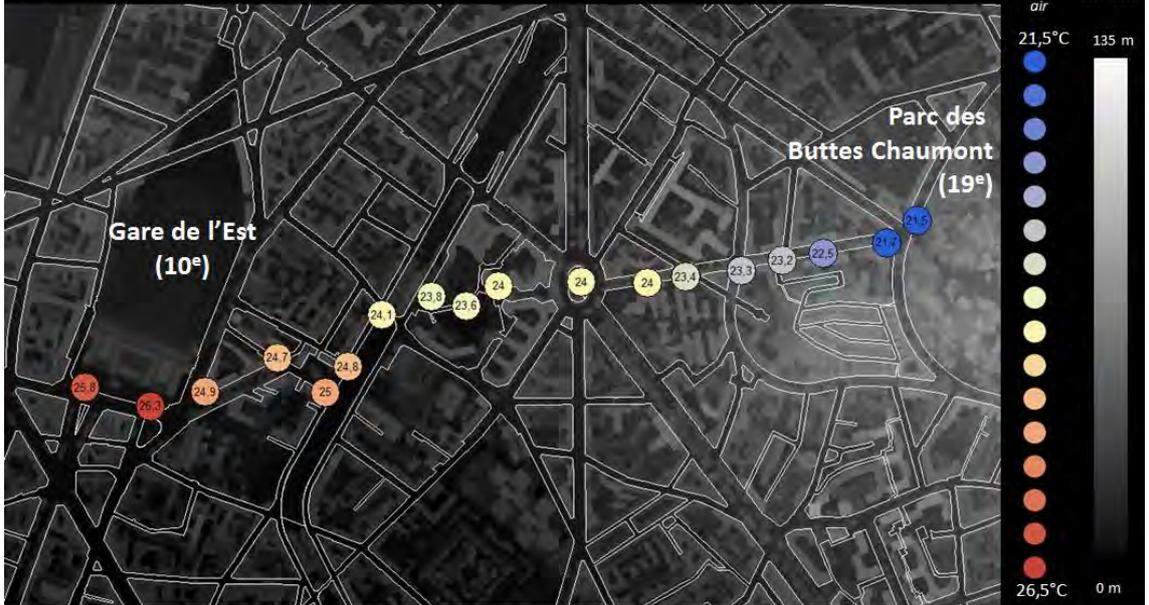
# Facteurs d'influence du climat parisien

Les Îlots de Chaleur Urbains à Paris.  
Volet 1 : Diagnostic.



## Végétation : évaporation, ombrage

Mesures de températures de l'air relevées entre la gare l'Est et le parc des Buttes Chaumont le 1 août 2011 vers 22h (20h UTC).



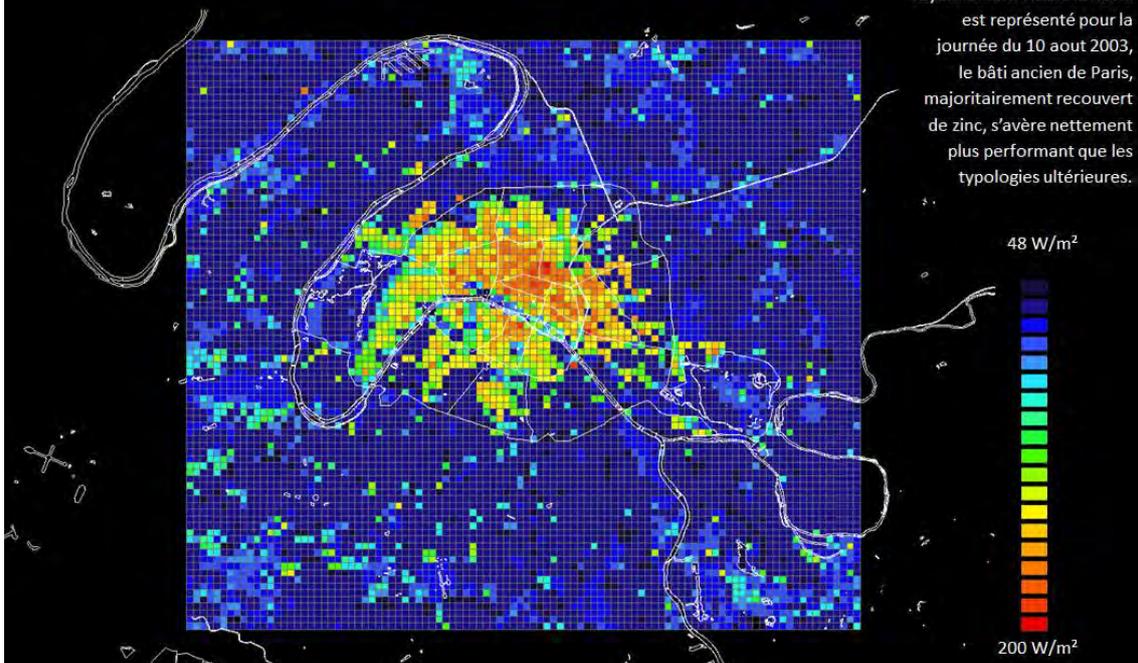
# Facteurs d'influence du climat parisien

Les Îlots de Chaleur Urbains à Paris.  
Volet 1 : Diagnostic.



## Revêtements des toits

Le flux quotidien de rayonnement visible réfléchi est représenté pour la journée du 10 août 2003, le bâti ancien de Paris, majoritairement recouvert de zinc, s'avère nettement plus performant que les typologies ultérieures.



## Facteurs d'influence du climat parisien

Les îlots de Chaleur Urbains à Paris.  
Volet 1 : Diagnostic.

apur  
ATELIER PARISIEN D'URBANISME

### Forme urbaine



Facteur de vue du ciel



← -80  
Espaces dégagés  
présentant une large  
vue sur ciel

← -40  
Rues étroites voyant peu le  
ciel



Rue Geoffroy Langevin : peu de vue sur le ciel  
(SFV < 40%).

Faible niveau d'ensoleillement en journée  
Faible potentiel de refroidissement nocturne



Parvis de Beaubourg : vue dégagée sur le ciel  
(SFV > 80%).

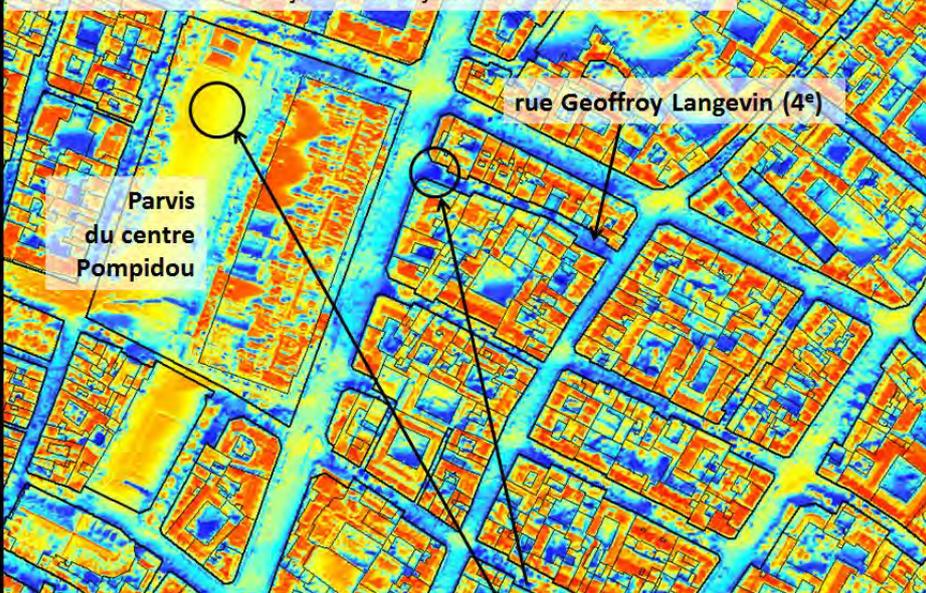
Fort niveau d'ensoleillement en journée  
Fort niveau de refroidissement nocturne

## Facteurs d'influence du climat parisien

Les îlots de Chaleur Urbains à Paris.  
Volet 1 : Diagnostic.

apur  
ATELIER PARISIEN D'URBANISME

Calcul de l'insolation reçue dans la journée du 1<sup>er</sup> août 2011



Insolation journalière

5kWh/m<sup>2</sup>

0kWh/m<sup>2</sup>

Une différence de 2°C est  
constatée en l'espace de 150 m

L'ensoleillement des deux types d'espaces publics au cours de la journée du 1<sup>er</sup> août est très différent. En fin de journée, une différence de 2°C est constatée entre la rue étroite Geoffroy Langevin et l'esplanade de Pompidou. Au cours de la nuit la température de l'esplanade redescendra vraisemblablement plus rapidement en raison d'une vue vers le ciel plus dégagée.

# Index des sigles et acronymes

## A

---

### ADEME

Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

### AEV

Agence des espaces verts de la Région Île-de-France

### APUR

Atelier parisien d'urbanisme

## C

---

### CIREN

Centre international de recherche en environnement et développement

### CO<sub>2</sub>

Dioxyde de carbone

### COP21

21e Conférence des parties de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC)

### COV

Composés organiques volatils

## E

---

### EPICEA

Etude pluridisciplinaire des impacts du changement climatique à l'échelle de l'agglomération parisienne

## G

---

### GIEC

Groupement d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (IPCC, sigle anglais)

## I

---

### IAU-îdF

Institut d'aménagement et d'urbanisme Île-de-France dénommé IAU Île-de-France

## ICU

Ilôt de chaleur urbain

## INSEE

Institut national de la statistique et des études économiques

## InVS

Institut de veille sanitaire

## M

---

### MApUCE

Modélisation Appliquée et droit de l'Urbanisme : Climat urbain et Énergie

### MOS

Mode d'occupation des sols

### MUSCADE

Modélisation urbaine et stratégie d'adaptation au changement climatique pour anticiper la demande et la production énergétique.

## O

---

### ORS

Observatoire régional de santé Île-de-France

## P

---

### PCAET

Plan Climat-Air Énergie territorial

### PLU

Plan local d'urbanisme

## S

---

### SCoT

Schéma de cohérence territoriale

### SDRIF

Schéma directeur de la région Île-de-France

### SRCAE

Schéma régional du Climat, de l'Air et de l'Énergie d'Île-de-France

# Glossaire

## Adaptation

---

« Ajustement des systèmes naturels ou des systèmes humains face à un nouvel environnement ou un environnement changeant. L'adaptation aux changements climatiques indique l'ajustement des systèmes naturels ou humains en réponse à des stimuli climatiques présents ou futurs ou à leurs effets, afin d'atténuer les effets néfastes ou d'exploiter des opportunités bénéfiques. On distingue divers types d'adaptation, notamment l'adaptation anticipée et réactive, l'adaptation publique et privée, et l'adaptation autonome et planifiée. » (GIEC, 2007). L'adaptation part du principe que qui que l'on fasse, le changement climatique est en cours et que l'on en ressentira les effets ; il s'agit de s'adapter au mieux pour réduire les conséquences néfastes de ces effets.

## Aménité

---

Agrément, ce qui fait qu'une chose est agréable. Il se dit particulièrement d'un lieu, d'une situation agréable, d'un air doux et agréablement tempéré. L'aménité d'un lieu. L'aménité de l'air. (Dictionnaire de l'Académie Française, 6e édition, 1832-5). Les aménités sont les attributs naturels ou façonnés par l'homme qui différencient un territoire d'un autre territoire et qui peuvent lui donner de la valeur. (cemagref.fr)

## Atténuation

---

« Intervention anthropique pour réduire les sources ou augmenter les puits de gaz à effet de serre. » (GIEC, 2007)

## Maladaptation

---

« La maladaptation (ou mauvaise adaptation) désigne des activités de développement correspondant à la poursuite des politiques actuelles qui, en faisant abstraction des impacts du changement climatique, augmentent par mégarde l'exposition et/ou la vulnérabilité au changement climatique. Elle peut aussi englober les initiatives d'adaptation aux effets climatiques qui accentuent la vulnérabilité au lieu de la diminuer. » (OCDE, 2009)

## Résilience

---

« Capacité d'un système social ou écologique d'absorber des perturbations tout en conservant sa structure de base et ses modes de fonctionnement, la capacité de s'organiser et la capacité de s'adapter au stress et aux changements » (GIEC, 2007)

## Risque

---

« Probabilité qu'un effet spécifique se produise dans une période donnée ou dans des circonstances déterminées. En conséquence, un risque se caractérise selon deux composantes : la probabilité d'occurrence d'un événement donné, la gravité des effets ou conséquences de l'événement supposé pouvoir se produire. » (Directive européenne Seveso 2, 1996)

## Vulnérabilité

---

« Degré par lequel un système risque de subir ou d'être affecté négativement par les effets néfastes des changements climatiques, y compris la variabilité climatique et les phénomènes extrêmes. La vulnérabilité dépend du caractère, de l'ampleur, et du rythme des changements climatiques auxquels un système est exposé, ainsi que de sa sensibilité, et de sa capacité d'adaptation. » (GIEC, 2007)

# Bibliographie

## OUVRAGES, RAPPORTS ET NOTES

- ADEME (2013), Indicateurs de vulnérabilité d'un territoire au changement climatique, Recueil de littérature internationale, février 2013, <http://www.ademe.fr/indicateurs-vulnerabilite-dun-territoire-changement-climatique-recueil-litterature-internationale>
- ADEME (2009), Guide méthodologique, Construire et mettre en place un Plan Climat-Energie Territorial, décembre 2009, <http://www.ademe.fr/construire-mettre-oeuvre-plan-climat-energie-territorial>
- COLOMBERT Morgane (2008), Contribution à l'analyse de la prise en compte du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville, Thèse de doctorat Génie urbain, Université Paris-Est, 2008, [en ligne] TEL, service de thèses multidisciplinaire, <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00470536/en/>
- CORDEAU Erwan, VALETTE Emmanuelle (2010), Les îlots de chaleur urbains : L'adaptation de la ville aux chaleurs urbaines, tome 1, et Répertoire de fiches connaissance, tome 2, IAU îdF, novembre 2010. <http://www.iau-idf.fr/savoir-faire/nos-travaux/edition/les-ilots-de-chaleur-urbains.html>
- DESCARTES (2009), Consultation internationale de recherche et de développement sur le grand pari de l'agglomération parisienne, livret chantiers 1 & 2, 19 février 2009 [en ligne] Le grand pari de l'agglomération parisienne, <http://www.legrandparis.culture.gouv.fr/equipesdetail/82>
- ESCOURROU Gisèle (1996), Climat et micro-climat urbain, pollution atmosphérique et nuisances météorologiques localisées, IAURIF, 1996
- GIGUERE Mélissa (2009), Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains, Institut national de santé publique du Québec, juillet 2009 [en ligne] INSPQ <http://www.inspq.qc.ca/publications/notice.asp?E=p&NumPublication=988>
- InVS (2004), Etude des facteurs de risque de décès des personnes âgées résidant à domicile durant la vague de chaleur d'août 2003, juillet 2004
- LO GIUDICE Gaëlle, MARQUET Emeline (2008), Balade thermique ? Sensations garanties !, mémoire du séminaire de Master 1 « Chaleurs urbaines » de Jean-Paul Thibaud, ENSAG, mai 2008 [en ligne] [http://www.grenoble.archi.fr/chaleursurbaines/atelier1\\_seminaire.php](http://www.grenoble.archi.fr/chaleursurbaines/atelier1_seminaire.php)
- OCDE (2009), Adaptation au changement climatique et coopération pour le développement : document d'orientation, OCDE, août 2009, <http://www.oecd.org/fr/cad/environnement-developpement/adaptation-au-changement-climatique-et-cooperation-pour-le-developpement-document-d-orientation-9789264060296-fr.htm>
- ORS Île-de-France (2003a), Conséquences sanitaires de la canicule d'août 2003 en Île-de-France, octobre 2003, <http://www.ors-idf.org/index.php/fr/publications/16-environnement-et-sante/canicule/65-consequences-sanitaires-de-la-canicule-d-aout-2003-en-ile-de-france>

## ARTICLES ET PERIODIQUES

- BARREIRO Sandrine (2014), « Le Sdrif : un modèle territorial pour anticiper le changement climatique », Septembre 2014, Note Rapide Environnement n°660, IAU Ile-de-France <https://www.iau-idf.fr/savoir-faire/nos-travaux/edition/le-sdrif-un-modele-territorial-pour-anticiper-le-changement-climatique.html>
- BOUTEFEU Emmanuel (2007), « Végétaliser les villes pour atténuer les îlots de chaleur urbains », 10 décembre 2007 [en ligne], CEREMA <http://www.territoires-ville.cerema.fr/vegetaliser-les-villes-pour-attenuer-les-ilots-de-a969.html>
- CANTAT Olivier (2004), « L'îlot de chaleur urbain parisien selon les types de temps », Norois, n°191, février 2004, [en ligne le 10 septembre 2008] Norois environnement, aménagement, société <http://norois.revues.org/index1373.html>

- CORDEAU Erwan (2014), « La vulnérabilité de la ville à la chaleur par l'approche des Zones climatiques locales », Septembre 2014, Note Rapide Environnement n°661, IAU Ile-de-France <http://www.iau-idf.fr/savoir-faire/nos-travaux/edition/la-vulnerabilite-de-la-ville-a-la-chaleur-par-lapproche-zones-climatiques.html>
- CORDEAU Erwan (2014), « Caractériser les zones sujettes aux îlots de chaleur urbains », Les Cahiers, n° 170-171, IAU îdF, septembre 2014, pp. 80-81, [www.ors-idf.org/dmdocuments/2015/cahier/N23.pdf](http://www.ors-idf.org/dmdocuments/2015/cahier/N23.pdf)
- CORDEAU Erwan (2013), « Caractériser l'environnement urbain à l'échelle de l'îlot », Les Cahiers, n° 168, IAU îdF, 2013, pp. 61-63, <http://www.iau-idf.fr/savoir-faire/nos-travaux/edition/mos-1982-2012-volume-1-du-ciel-a-la-carte.html>
- CORDEAU Erwan, ESCOURROU Gisèle (1995), « Climat et microclimat urbain, pollutions atmosphériques et nuisances météorologiques localisées », Note rapide, n° 6, laurif, 1995.
- DE MUNCK Cécile, LEMONSU Aude (CNRS / Météo France, 2014), « Les stratégies de végétalisation pour aider la ville à faire face à la canicule », Septembre 2014, Note rapide Environnement n°662, IAU Ile-de-France <https://www.iau-idf.fr/savoir-faire/nos-travaux/edition/les-strategies-de-vegetalisation-pour-aider-la-ville-a-faire-face-a-la-canicule.html>
- LOUP Jean (1971), « Dettwiller (J.). — Evolution séculaire du climat de Paris. Influence de l'urbanisation », Revue de géographie alpine, 1971, vol. 59, n° 3, pp. 382-383 [En ligne] Persée, portail de revues en sciences humaines et sociales, [http://www.persee.fr/doc/rqa\\_0035-1121\\_1971\\_num\\_59\\_3\\_1240\\_t1\\_0382\\_0000\\_1?q=Evolution+s%C3%A9culaire+du+climat+de+Paris](http://www.persee.fr/doc/rqa_0035-1121_1971_num_59_3_1240_t1_0382_0000_1?q=Evolution+s%C3%A9culaire+du+climat+de+Paris)
- MANSANET-BATALLER Maria (2010), « Les enjeux de l'adaptation aux changements climatique », Etude Climat n°21, cdc climat recherche, avril 2010 <http://www.i4ce.org/download/etude-climat-n21-les-enjeux-de-ladaptation-aux-changements-climatiques/>
- PIGEON Grégoire et alii (2008), « De l'observation du microclimat urbain à la modélisation intégrée de la ville », La Météorologie, n°62, août 2008 pp. 39-47, [en ligne] I-Revues, <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/19174>

#### DOCUMENTS DE REFERENCE

- Conseil régional d'Île-de-France, « Plan régional pour le climat d'Île-de-France », 23 juin 2011, <https://www.iledefrance.fr/rapports-votes/plan-regional-climat-ile-france>
- Conseil régional d'Île-de-France, « Le Schéma directeur Île-de-France 2030 », <https://www.iau-idf.fr/savoir-faire/planification/ile-de-france-2030.html>
- Les Carnets pratiques du SDRIF, N°6. « Redécouvrir la nature en ville ». IAU Ile-de-France, <https://www.iau-idf.fr/savoir-faire/nos-travaux/edition/redecouvrir-la-nature-en-ville.html>
- « Schéma régional du climat, de l'air et de l'énergie Ile-de-France (SRCAE) », co-élaboré par l'État et la Région, arrêté le 14 décembre 2012, <http://www.srcae-idf.fr/spip.php?rubrique1>

#### DOCUMENTS, SITES WEB ETRANGERS

- Baumüller J., Hoffmann U., Reuter U. (2007), Climate booklet for urban development online, References for zoning and planning, trad. Michael Dempsey, Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg (Ministère de l'économie du Bade-Wurtemberg), Stuttgart Amt für Umweltschutz (bureau de la protection de l'environnement de Stuttgart), 2007 <http://www.staedtebauliche-klimafibel.de/>
- Centre régional de l'environnement de Montréal (2007), Le verdissement montréalais pour lutter contre les îlots de chaleur urbains, le réchauffement climatique et la pollution atmosphérique, 2007 [en ligne] <http://www.cremtl.qc.ca/index.php?id=1001>
- Greater London Authority (2010), The draft climate change adaptation strategy for London, Public consultation draft, GLA, février 2010, Londres [en ligne] Greater London Authority, <https://www.london.gov.uk/WHAT-WE-DO/environment/environment-publications/managing-risks-and-increasing-resilience-our>



INSTITUT  
D'AMÉNAGEMENT  
ET D'URBANISME



**L'INSTITUT D'AMÉNAGEMENT ET D'URBANISME DE LA RÉGION D'ÎLE-DE-FRANCE**  
EST UNE FONDATION RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET DU 2 AOÛT 1960.

15, RUE FALGUIÈRE - 75740 PARIS CEDEX 15 - TÉL. : 01 77 49 77 49