

LES ÉTUDES

DE L'INSTITUT PARIS RÉGION



ENVIRONNEMENT

Juin 2024

ADAPTER L'ÎLE-DE-FRANCE À LA CHALEUR URBAINE - ACTE 2

IDENTIFIER LES ZONES À EFFETS D'ÎLOT DE CHALEUR URBAIN (ICU)
ET ÉTABLIR LEUR DEGRÉ DE VULNÉRABILITÉ
AFIN DE MIEUX ANTICIPER (MISE À JOUR 2022)



www.institutparisregion.fr

L'INSTITUT
PARIS
RÉGION

Résumé exécutif

ADAPTER L'ÎLE-DE-FRANCE À LA CHALEUR URBAINE - ACTE 2

Identifier les zones à effet d'îlot de chaleur urbain (ICU) et établir leur degré de vulnérabilité afin de mieux anticiper (mise à jour 2022)
Juin 2024

Le changement climatique à l'œuvre renforce la nécessité de mieux appréhender ses effets en Île-de-France. Marquée par une augmentation de la température moyenne de +2°C entre 1950 et aujourd'hui et la répétition de vagues de chaleur ces dix dernières années, la région relève de nombreux enjeux associés à la chaleur, au premier rang desquels se place la surmortalité humaine. Les planifications régionales, qu'elles soient volontaristes, comme le « Plan de protection, de résistance et d'adaptation de la Région Île-de-France face au changement climatique (Pracc) » adopté en septembre 2022 par le Conseil régional d'Île-de-France, ou réglementaire, comme le Schéma régional du climat, de l'air et de l'énergie en cours de révision, pointent la grande vulnérabilité de la région à la chaleur urbaine.

Les travaux de L'Institut, au carrefour des avancées de la recherche sur le climat et de l'expertise en aménagement et urbanisme et de ses effets sur la climatologie locale, nourrissent ce diagnostic. C'est la combinaison d'une canicule sévère et d'un effet îlot de chaleur urbain (ICU) marqué, propre aux grandes agglomérations urbaines, qui définit la hauteur de l'aléa climatique. Le risque climatique, lui, peut s'apprécier à partir d'une analyse de vulnérabilité qui met en lien l'aléa et sa géographie territoriale, l'exposition et la sensibilité du territoire impacté, enfin, sa difficulté à faire face. Cette étude propose de mettre à jour l'identification des zones sujettes à l'effet d'îlot de chaleur urbain (ICU) à l'échelle de l'îlot « pâtés de maisons », d'évaluer les enjeux et les vulnérabilités actuelles associées afin d'aider à mettre en place des stratégies robustes d'adaptation à la chaleur urbaine.

Comprendre les enjeux de vulnérabilité humaine associés à l'effet d'ICU, et plus largement, aux vagues de chaleur et canicules, est encore un sujet de recherche. Néanmoins, des éléments de connaissance sur la genèse des effets d'ICU, sur sa géographie territoriale (spatiale, temporelle, intensité), sur les rétrospectives et prospectives des événements climatiques extrêmes en lien avec le changement climatique, sur la surmortalité et les facteurs de risques pour la santé humaine en lien avec la chaleur, mais aussi sur les solutions « sans regret », sont déjà nombreux pour montrer et comprendre les enjeux pour l'Île-de-France et dans ses territoires. Les travaux de cartographie de la vulnérabilité à la chaleur urbaine que donnent à voir certaines villes dans le monde soulignent ce risque climatique propre aux grandes agglomérations. Les enseignements de ce parangonnage témoignent aussi d'une absence de normalisation en la matière et de la difficulté d'accès à des données géographiques de résolution suffisante qui s'avèrent précieuses pour aller jusqu'au bout de l'exercice d'appréciation des vulnérabilités pour l'aide à la décision.

L'identification des zones à effet d'ICU en Île-de-France en mettant à jour le référentiel géographique des îlots morphologiques urbains (IMU 2022), le référentiel des Zones climatiques locales (LCZ 2022) et en intégrant les différences de température nocturne modélisées de la recherche MApUCE (projet ANR piloté par le CNRM Météo France) pour une situation estivale propice à un fort îlot de chaleur est une première étape. Les effets d'ICU sont ainsi évalués pour partie à partir des caractéristiques des îlots – à caractère urbain ou à dominante naturelle – pour rendre compte des contrastes locaux sur tout le territoire francilien entre les pâtés de maisons à effet d'ICU potentiel et les îlots de fraîcheur (IFU) afin d'apprécier l'amplification potentielle d'un aléa vague de chaleur. Ainsi, plus d'un Francilien sur deux (51%) réside dans un « pâté de maisons » à effet d'ICU significatif (moyen à fort) la nuit.

L'appréciation de la vulnérabilité actuelle (2022) de l'Île-de-France à la chaleur urbaine s'appuie sur le principe du croisement à l'échelle de l'îlot des premières données géographiques pertinentes et mobilisables relatives aux trois composantes de la vulnérabilité : les effets d'ICU ; l'exposition et la sensibilité particulière des populations, notamment par la densité d'occupation humaine et par l'âge (moins de 5 ans et plus de 65 ans) ; enfin, les difficultés potentielles à faire face comme le taux de ménages pauvres ou la non proximité à un service d'urgence hospitalière. Dans chacune de ces trois composantes, pour chaque îlot francilien, le cumul de propriétés ou de critères défavorables est sommé pour définir un indice synthétique de vulnérabilité à la chaleur urbaine : de 1, très faiblement vulnérable - à 9, très vulnérable.

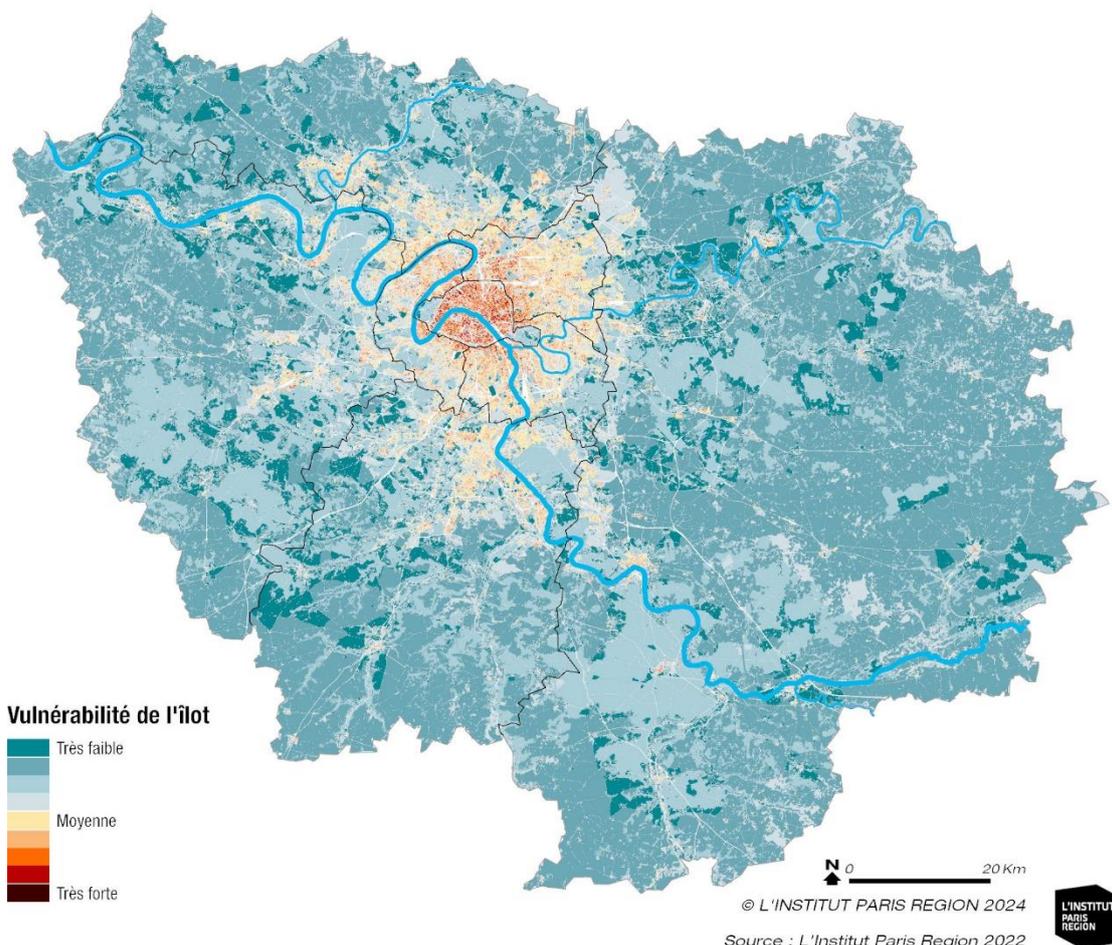
Ainsi, près d'un Francilien sur trois (31%) - plus de 3 685 000 habitants - vit dans un îlot présentant une vulnérabilité potentiellement forte la nuit (indice de niveau 7, 8 et 9), selon l'ensemble des critères socio-démo-urbains considérés. Si dans les zones à effet d'ICU marqué (moyen à fort), l'indicateur des « Populations sensibles par l'âge » n'apparaît pas surreprésenté, en revanche, des surreprésentations s'observent pour les critères de suroccupation potentielle des logements, de proportion de ménages pauvres ou de ménages composés d'un seul individu.

Les grands registres d'action, enfin, ont été étudiés : les solutions de lutte contre les effets d'ICU, la prise en compte de la sensibilité des habitants et des conditions de vie, le renforcement des ressources individuelles ou territoriales. Parmi ces trois registres, les types de solutions les plus pertinentes sont recommandés à l'échelle du « pâté de maisons », en fonction de ses caractéristiques et des résultats de l'étude de vulnérabilité à la chaleur.

Disposer d'outil de porter à connaissance de tout ou partie de ces résultats pour la sensibilisation des acteurs et l'aide à la décision est un autre défi. L'Institut Paris Region a fait le choix de donner accès à ces données géographiques via son open data et le développement d'un applicatif dédié de cartographie interactive – le Cartoviz « Chaleur en ville ». L'applicatif a été retravaillé pour restituer au sein d'un même outil l'interprétation des Zones climatiques locales et propriétés LCZ associées et l'intégralité des résultats du diagnostic de vulnérabilité des îlots à la chaleur urbaine avec une proposition des registres et types de solutions recommandés.

L'aménagement, l'urbanisme, les actions sanitaire et sociales... doivent intégrer ces enjeux de vulnérabilité à la chaleur urbaine. Qu'il s'agisse de planifier et de transformer la ville pour la rendre plus résiliente ou de prévenir pour mieux gérer les crises à venir, comme aider par exemple à définir des espaces refuges lors des canicules dans les zones à vulnérabilité forte, les perspectives d'utilisation de ces données d'expertises s'avèrent potentiellement nombreuses.

VULNÉRABILITÉ DES ÎLOTS À LA CHALEUR URBAINE LA NUIT



ADAPTER L'ÎLE-DE-FRANCE À LA CHALEUR URBAINE - ACTE 2

IDENTIFIER LES ZONES À EFFET D'ÎLOT DE
CHALEUR URBAIN (ICU) ET ÉTABLIR LEUR
DEGRÉ DE VULNÉRABILITÉ AFIN DE MIEUX
ANTICIPER (MISE À JOUR 2022)

Juin 2024

L'INSTITUT PARIS REGION

15, rue Falguière 75740 Paris cedex 15

Tél. : + 33 (1) 77 49 77 49

www.institutparisregion.fr

Directeur général : Nicolas Bauquet

Directeur général adjoint, coordination des études : Sébastien Alavoine

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

Étude réalisée par Erwan Cordeau et Marine Dore

Avec la collaboration de Cécile Mauclair

Cartographie réalisée par Erwan Cordeau et Marine Dore

Maquette réalisée par Erwan Cordeau

N° d'ordonnancement : 8.13.018

Crédit photo de couverture : Oleg/ Adobestock.com

En cas de citation du document, merci d'en mentionner la source :

Cordeau Erwan, Marine Dore / Adapter l'Île-de-France à la chaleur urbaine - Acte 2 / L'Institut Paris Region / 2024

Remerciements : Sylvain Braud, Sabine Host, Sandra Garrigou,
Laurie Gobled, Michel Médic, Stéphanie Sisoutham

Sommaire

Sommaire	1
Introduction	3
Comprendre les enjeux associés à l'effet d'ICU	5
1 - L'effet d'ICU, facteur aggravant des vagues de chaleur et des canicules	5
2 - La géographie de l'ICU métropolitain via la référence à la canicule 2003	12
3 - La géographie de la vulnérabilité à la chaleur urbaine : état de l'art des approches cartographiques	16
3.1 - L'indice de vulnérabilité à la chaleur, un élément central pour évaluer la vulnérabilité dans le monde entier	16
3.2 - Des méthodologies variables suivant les études	17
3.3 - Des cartographies au service de l'aide à la décision	21
3.4 - Un manque de données à l'origine de plusieurs limites	21
Identifier les zones à effet d'ICU en Île-de-France	23
1 - Rappel du principe méthodologique fondateur	23
2 - Utilisation du référentiel géographique des IMU 2022	23
2.1 - Délimitation de l'îlot : la couche des IMU 2022	24
2.2 - Caractérisation des IMU 2022	25
2.3 - Evolution du référentiel entre les IMU 2012 et les IMU 2022	27
3 - Classification des IMU 2022 en LCZ 2022	27
3.1 - Classification des Zones climatiques locales (LCZ)	27
3.2 - Propriétés associées à chaque LCZ	30
3.3 - Classification des îlots urbains et ruraux franciliens (IMU) en LCZ 2022	32
4 - Détermination des zones à effet d'ICU en 2022	44
4.1 - Rappel du principe méthodologique	44
4.2 - Résultats cartographiques et statistiques	46
Evaluer la vulnérabilité des territoires à la chaleur urbaine et proposer des registres de solutions d'adaptation	53
1 - Principe méthodologique	53
2 - Composantes de la vulnérabilité à la chaleur urbaine : aléa, sensibilité, difficulté à faire face	54
2.1 - Synthèse Jour/Nuit de l'aléa « effet d'ICU »	54
2.2 - Synthèse Jour/Nuit de la sensibilité des populations	54
2.3 - Synthèse Jour/Nuit des difficultés à faire face	64
3 - Vulnérabilité de l'Île-de-France à la chaleur urbaine	73
3.1 - Vulnérabilité à l'échelle de l'îlot	73
3.2 - Des liens entre populations fragiles et zones à effets d'ICU	80
3.3 - Vulnérabilité à l'échelle des communes et des entités territoriales du SDRIF-E	89
4 - Solutions d'aménagement adaptées à l'échelle de l'îlot	98

4.1 - Approche diagnostic des solutions types adaptées à l'îlot	98
4.2 - Analyse critique de l'outil cartographie des solutions d'adaptation à l'échelle des îlots ...	102
5 - Des outils de sensibilisation	111
5.1 - Outil de cartographie interactive « Chaleur en ville 2022 »	111
5.2 - Les films en 3D pour expliquer et sensibiliser : « Balades thermiques urbaines ».....	113
Conclusions et perspectives	115
Annexes	116
Index des sigles et acronymes	156
Glossaire	158
Bibliographie	159

Introduction

« La lumière surtout ! Chercher son rayonnement, la fulguration,
la condenser, la poursuivre dans sa chaleur. »

Eugène Boudin

L'Institut Paris Region a récemment publié un diagnostic des vulnérabilités au changement climatique du territoire francilien, pour accompagner la Région dans l'élaboration de son « Plan de protection, de résistance et d'adaptation de la Région Île-de-France face au changement climatique (Pracc) » qu'elle a adopté en septembre 2022.

Le rapport dédié à l'adaptation au changement climatique publié par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) le 28 février 2022 nous alerte sur une accélération sans précédent du réchauffement mondial, ce dernier s'illustrant par des événements climatiques majeurs.

Le changement climatique à l'œuvre 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), d'évaluer les enjeux et les vulnérabilités associés afin de mettre en place des stratégies robustes d'adaptation à la chaleur urbaine.

En septembre 2017, L'Institut publiait l'étude intitulée « Adapter l'Île-de-France à la chaleur urbaine ». Ces travaux permettaient d'identifier pour la première fois à l'échelle de l'Île-de-France les zones sujettes à effet d'îlot de chaleur urbain à l'échelle des « pâtés de maisons » (MICU, pour micro-îlot de chaleur urbain, versus IFU, pour îlot de fraîcheur) et d'établir leur degré de vulnérabilité.

La méthodologie mise au point a permis d'identifier - sans données d'observation météorologiques ou climatologiques - les zones supposées les plus sujettes à effet d'ICU en Ile-de-France à partir de leurs caractéristiques urbaines et de leur occupation des sols (données 2012). L'apparition d'un îlot de chaleur est en effet la manifestation climatique la plus connue de l'influence du milieu urbain sur son climat, comme le soulignent les chercheurs qui s'intéressent à la climatologie urbaine. Les enseignements de la Recherche à l'appui, le principe d'analyse des effets de chaleur ou de fraîcheur repose sur une classification « théorique » des îlots urbains via leurs caractéristiques typomorphologiques propices ou non à la formation et au renforcement de l'effet d'ICU.

S'appuyant sur une entité d'analyse territoriale fine - l'IMU, pour îlot morphologique urbain -, sur la classification du référentiel des Zones climatiques locales (LCZ, pour Local Climate Zone) et sur une définition de la Vulnérabilité à la chaleur urbaine (Vulnérabilité ICU), les couches d'informations géographiques 2012 ont été mises à jour en 2022 avec une approche méthodologique comparable.

Nous présentons ainsi les principaux enseignements observés en soulignant les quelques évolutions et améliorations méthodologiques qui ont été apportées. Certaines sont en lien avec l'amélioration intrinsèque des bases de données numériques urbaines sources, d'autres proviennent de l'ajustement à la marge des composantes de la vulnérabilité proposées avec la redéfinition de certains critères et la proposition de nouveaux.

Outre ces améliorations, les comparaisons entre les situations 2012 et 2022 s'avèrent aussi pour partie délicates en raison d'évolutions qui tiennent parfois, non pas à des changements de la ville, mais à des rectifications de tracés numériques - amélioration des tracés d'un millésime à l'autre - dans les bases sources - de l'IGN notamment - qui sont utilisées pour délimiter et caractériser l'entité IMU. En conséquence, ce nouvel état - 2022 - de la vulnérabilité à la chaleur urbaine en Île-de-France est à considérer en remplacement du premier exercice d'évaluation (état 2012).

Cette reprise - Acte 2 - est l'occasion, en définitive, de faire un point plus complet et actualisé sur l'enjeu francilien de chaleur urbaine en ville qui est amené à s'inscrire dans la durée des décennies à venir compte tenu du contexte de changement climatique.

Les éléments de connaissances et les résultats présentés s'inscrivent dans plusieurs registres :

Comprendre les enjeux associés à l'effet d'ICU, en expliquant le phénomène ICU, de sa genèse - les perturbations liées à la ville – aux conditions de sa variabilité – climatique, géographique et temporelle (effet d'ICU plus marqué et contrasté la nuit), en le resituant par rapport aux événements - la canicule 2003, pour exemple - et aux perspectives de vague de chaleur et de canicules. Des éléments de connaissance sur les risques pour la santé humaine de la chaleur sont rappelés, ainsi que les premiers constats de recherche sur l'augmentation de ces risques du fait de l'environnement urbain « minéral » (taux de végétation, en particulier). Enfin, au-delà des enjeux sanitaires, l'ensemble des enjeux est questionné, qu'il s'agisse de l'inconfort thermique dans les bâtiments et les espaces publics, de l'adaptation probablement nécessaire des équipements et des réseaux, jusqu'aux effets systémiques possibles consécutifs d'une combinaison des aléas vague de chaleur et sécheresse.

Comparer les travaux d'appréciation de la vulnérabilité à la chaleur urbaine par un état de l'art des approches de représentation - par la cartographie - de la vulnérabilité à la chaleur repéré dans le monde. Ce parangonnage donne à voir que les villes commencent à s'emparer de cette dimension pour avancer sur l'aide à la décision ; que les définitions, méthodologies et indicateurs proposées sont nuancés ou différents - cela témoigne d'une absence de normalisation en la matière - et que la difficulté d'accès à une donnée de résolution géographique suffisante constitue un écueil souvent partagé pour approcher de façon satisfaisante ce qui compose la vulnérabilité.

Actualiser l'identification des zones à effet d'ICU en Île-de-France en mettant à jour le référentiel géographique des îlots morphologiques urbains (IMU 2022), le référentiel des Zones climatiques locales (LCZ 2022) et en intégrant les différences de température nocturne modélisées du projet de recherche MApUCE pour une situation estivale propice à un fort îlot de chaleur comme élément de pondération supplémentaire pour la définition des MICU. Ainsi, plus d'un Francilien sur deux (51%) réside dans un « pâté de maisons » à effet d'ICU significatif (moyen à fort) la nuit. Ce chiffre est du même ordre de grandeur (en légère augmentation) par rapport à notre première étude sur la base des IMU 2012.

Réapprécier la vulnérabilité de l'Île-de-France à la chaleur urbaine – la vulnérabilité actuelle, 2022 – en reprenant le principe de croisement géographique à l'échelle de l'îlot des trois composantes : effet d'ICU (aléa), sensibilité et difficulté à faire face. Le choix des critères de sensibilité et de difficulté a été requestionné : si la plupart des critères a été maintenu (seul le millésime de la donnée source change), quelques-uns ont été définis différemment (les logements énergivores par la faible performance énergétique DPE ; l'accès aux soins par les zones d'intervention prioritaires ZIP+ pour l'offre en médecins généralistes et par le temps d'accès au service d'urgences le plus proche) ou ajoutés (l'isolement des personnes...). Ainsi, près d'un Francilien sur trois (31%) - plus de 3 685 000 habitants - vit dans un îlot présentant une vulnérabilité potentiellement forte la nuit, selon l'ensemble des critères socio-démo-urbains considérés.

Analyser les liens potentiels entre les populations fragiles et les zones à effet d'ICU, en confrontant les résultats statistiques à l'îlot agrégés à l'échelle de l'Île-de-France. Si dans les zones à effet d'ICU marqué (moyen à fort), l'indicateur des « Populations sensibles par l'âge » n'apparaît pas surreprésenté, en revanche, des surreprésentations s'observent (plus ou moins marquées selon les périodes jour/nuit et selon le niveau d'effet d'ICU moyen ou fort) pour les critères de « Suroccupation potentielle des logements », « Proportion de ménages pauvres » et « Proportion de ménages composés d'un seul individu ».

Proposer les registres et types de solutions – recommandations – les plus pertinentes à cette échelle du « pâté de maisons », en considérant, l'ensemble des caractéristiques de l'îlot et des résultats de l'étude de vulnérabilité à la chaleur, et les trois registres d'adaptation possibles : les solutions de lutte contre les effets d'ICU, la prise en compte de la sensibilité des habitants et des conditions de vie, le renforcement des ressources individuelles ou territoriales.

Définir des outils de porter à connaissance de ces résultats pour la sensibilisation des acteurs et l'aide à la décision, notamment par la cartographie interactive et l'accès aux données via l'open data de L'Institut Paris Region. Ainsi, nous avons redéfini l'outil Cartoviz « Chaleur en ville » pour le rendre plus complet et restituer – au-delà de l'interprétation des LCZ et propriétés associées – l'intégralité du diagnostic de vulnérabilité des îlots à la chaleur urbaine et des registres et types de solutions recommandés.

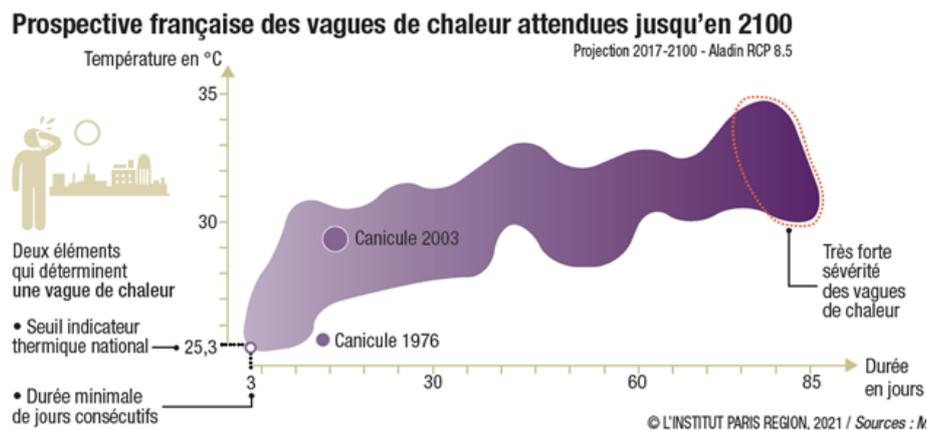
Comprendre les enjeux associés à l'effet d'ICU

1 - L'effet d'ICU, facteur aggravant des vagues de chaleur et des canicules

Vague de chaleur versus canicule, une prospective défavorable¹

Une **vague de chaleur**, terme générique, correspond à des températures anormalement élevées, observées pendant plusieurs jours consécutifs. Il n'existe cependant pas de définition universelle du phénomène, les niveaux de température et la durée de l'épisode qui permettent de caractériser une vague de chaleur varient selon les régions du monde et les domaines et objectifs considérés : caractérisation d'un point de vue climatologique, activité de recherche, dispositif de vigilance météorologique... En France, une vague de chaleur peut se définir comme le nombre de jours dont la température maximale est supérieure de plus de 5°C à la normale au moins 3 jours consécutifs (Météo France). Les vagues de chaleur tardives de septembre 2016, 2022 et 2023 ou précoces de juin 2019 et 2022 ont très vraisemblablement une probabilité extrêmement faible de se produire dans un climat non altéré par les émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique.

Illustration 1 : Prospective française des vagues de chaleur, trajectoire sans politique climatique (RCP 8.5), L'Institut d'après Météo France



Exemple d'une caractérisation par Météo France d'une vague de chaleur à partir de l'indicateur thermique national (moyenne des mesures quotidiennes de la température moyenne de l'air dans 30 stations météorologiques réparties de manière équilibrée sur le territoire métropolitain) : si la valeur quotidienne de cet indicateur atteint ou dépasse 25,3°C et reste élevée au moins 3 jours

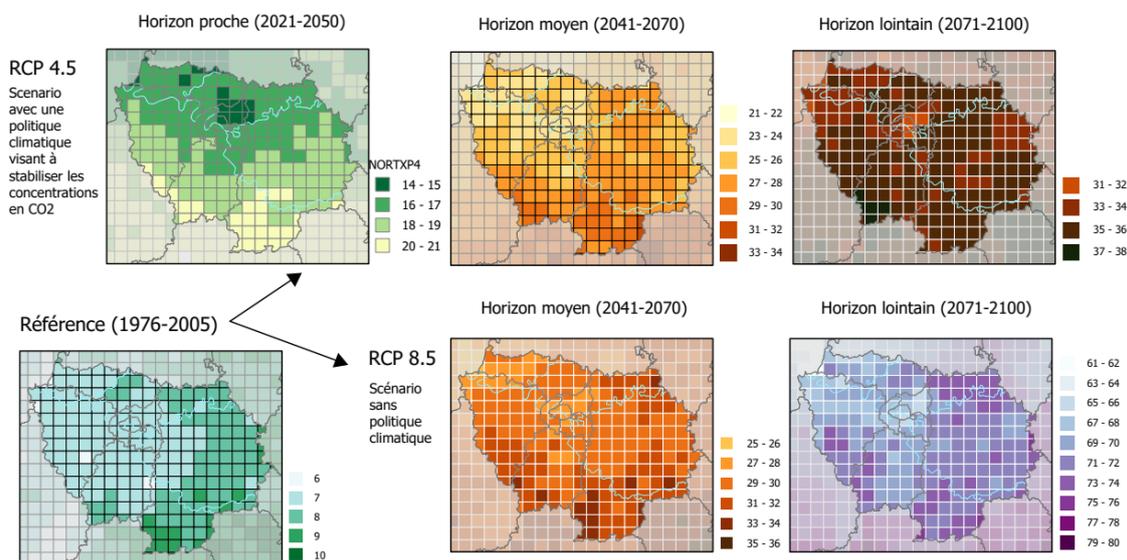
Les connaissances scientifiques récemment rassemblées pour l'Île-de-France (DRIAS, travaux du GREC francilien²) confirment les premiers enseignements de l'étude cadre régionale sur la vulnérabilité de 2012. L'Île-de-France est ainsi sujette à des extrêmes climatiques attribuables au changement climatique et des vagues de chaleur, comme celle de la canicule 2003, voire plus sévères, sont probables. Les vagues de chaleur récentes deviendront fréquentes si le réchauffement global dépasse 2°C. En Île-de-France, le portail de données DRIAS (Météo France), qui fournit notamment le Nombre de jours d'une vague de chaleur, définit cette dernière comme le nombre de jours dans une séquence de plus de 5 jours consécutifs où la température maximale quotidienne du jour est supérieure ou égale à la température maximale quotidienne de référence du jour i (calculée sur la période de référence) + 5°C.

1. Extrait tiré de l'étude « Vulnérabilités de l'Île-de-France aux effets du changement climatique », novembre 2022, L'Institut Paris Region
2. Groupe régional d'études du changement climatique et leurs impacts environnementaux en Île-de-France

Illustration 2 : Prospective territorialisée des vagues de chaleur en Île-de-France (L'Institut Paris Region d'après les données du portail DRIAS de Météo France, 2022)

Evolution du nombre de jour de vague de chaleur en Île-de-France

Indicateurs DRIAS 2020 - Simulations climatiques atmosphériques (modèle ALADIN63_CNRM_CM5), DRIAS 2022 indicateur NORTXHHWD, selon les Scenarii RCP 4.5 et 8.5, en jour(s)



Une canicule correspond à une chaleur intense pendant au moins trois jours consécutifs, sur la base de seuils de température diurnes et nocturnes construits pour chaque département français.

Ces seuils identifient des chaleurs inhabituellement fortes par rapport au climat local et qui présentent un risque pour une large partie de la population (Santé publique France) : notamment pour les personnes fragiles ou surexposées (canicule ; niveau de vigilance météorologique orange) et pour tout type de population (canicule extrême par sa durée, son intensité, son extension géographique ; niveau de vigilance météorologique rouge). Des critères d'environnement local et de vulnérabilité de la population entrent ainsi en ligne de compte. On calcule notamment à partir de quel seuil de température s'observe une surmortalité dans chaque département.

Les canicules - événements les plus sévères pour les enjeux de santé publique - méritent une attention toute particulière. Le système d'alerte canicule et santé (Sacs) du Plan national canicule (PNC) définit les canicules suivant une approche des températures minimales et maximales moyennées sur trois jours et comparées à des seuils départementaux qui identifient des chaleurs inhabituellement fortes par rapport au climat local. Entre les départements, ces seuils ont des valeurs et des écarts de température entre la nuit (minimale) et la journée (maximale) qui peuvent différer (par exemple, 21°C la nuit et 31°C en journée pour la Seine-Saint-Denis contre 18°C la nuit et 34°C en journée pour les Yvelines).

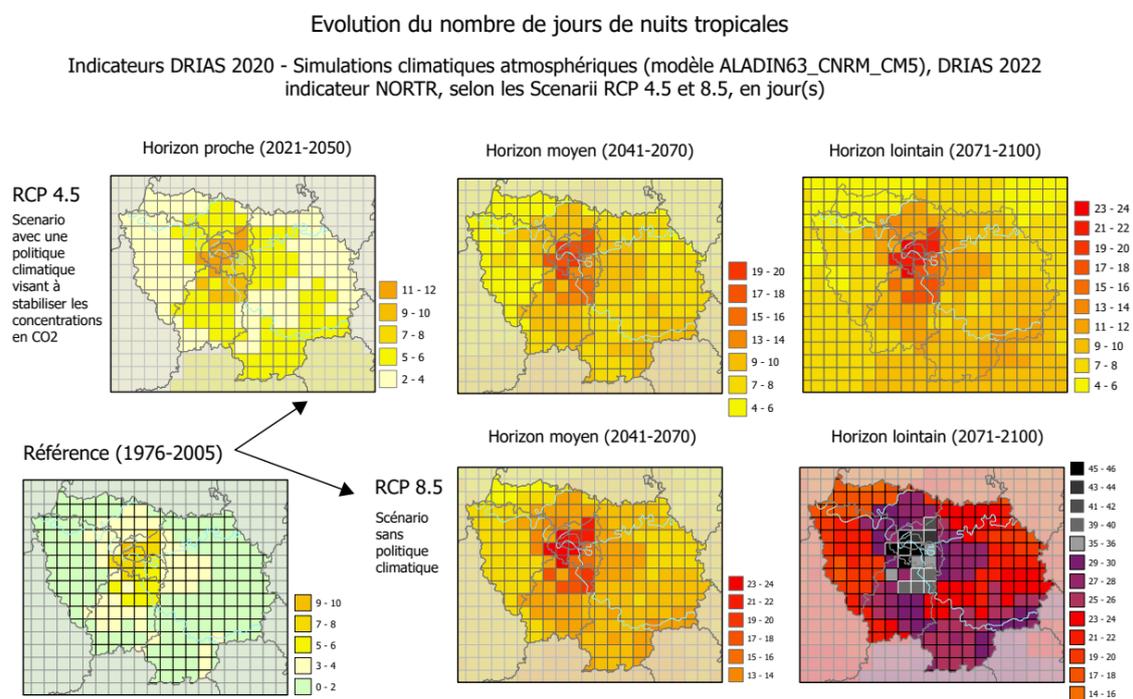
Les canicules les plus intenses et les plus longues sont concentrées en 1976, 1983, 2003, 2015 et fait nouveau, sur les cinq dernières années (2018, 2019, 2020 et 2022) la survenue de canicule significative en France a été répétée. Depuis 2013, on dénombre 10 années à canicule, soit pratiquement une tous les ans, avec parfois un caractère atypique, leur survenue de plus en plus précoce (en juin, comme en 2019 et 2022) ou tardive (en septembre 2023). Santé publique France fait état que la probabilité d'occurrence d'un événement comme la canicule de 2003 a été multipliée par un facteur au moins égal à 2 du fait du changement climatique d'origine humaine.

L'effet d'ICU, facteur aggravant en particulier la nuit

L'îlot de chaleur urbain (ICU) conduit à une surexposition de la population à la chaleur en zone urbaine. L'ICU désigne un microclimat généré par la concentration d'activités humaines, l'imperméabilisation et l'artificialisation des sols qui se traduisent par une élévation de la température en zone urbaine par rapport aux zones rurales voisines. Il résulte de la conjonction de situations météorologiques particulières, caractérisées notamment par un vent faible et un ciel dégagé, et de certaines caractéristiques urbaines du fait des propriétés physiques de la ville (par exemple : occupation des

sols, matériaux de construction, morphologie de la ville...) et d'activités anthropiques à l'origine de dégagement de chaleur (climatisation, trafic routier...).

Illustration 3 : Prospective territorialisée du nombre de nuits tropicales en Île-de-France (L'Institut Paris Region d'après les données du portail DRIAS de Météo France, 2022)



En cas de canicule, l'un des problèmes majeurs selon Météo France concerne les « nuits tropicales », c'est-à-dire les nuits pendant lesquelles les températures ne baissent pas en dessous de 20°C. Le nombre annuel de nuits tropicales est ainsi un indicateur climatique de la chaleur et du stress thermique. En moyenne annuelle, les différences de températures nocturnes sont de l'ordre de 2°C à 3°C entre Paris et les zones rurales voisines (Gruber, 2013) et pendant les nuits d'été, ces différences peuvent atteindre 7 à 8°C, voire jusqu'à 10°C lors de la canicule de 2003 (avec 25,5°C de record de température minimale associée les 11 et 12 août). L'indicateur de température de nuit tropicale observée lors de la canicule de 2003 (>20°C les nuits de la canicule), permet de visualiser la zone la plus sensible à l'effet d'îlot de chaleur métropolitain. Il en va de même de la reconstitution par la modélisation des effets des unités urbaines sur la température nocturne pendant une situation estivale propice à un fort îlot de chaleur urbain (type canicule de 2003), en situation de vent faible soit du sud-ouest, soit du nord-est. Le Centre national de recherches météorologiques (CNRM), unité de recherche de Météo-France et du CNRS, a ainsi coordonné la mise en œuvre du projet MApUCE. Celui-ci vise à intégrer dans les politiques urbaines et dans des documents juridiques des données quantitatives de microclimat urbain, climat et énergie, dans une démarche applicable à toutes les villes de France. La zone où des écarts de 1 à 7°C sont identifiés comprend tout le territoire de la Métropole du Grand Paris et une partie de ses franges, dans le continuum urbain, des vallées notamment (Cf. [Illustrations 5, 9 et 10, pages suivantes](#)).

Si le phénomène d'îlot de chaleur urbain (ICU) à l'échelle métropolitaine fait référence au fait que, dans un contexte et pour un jour donnés, les températures sont plus chaudes en ville qu'à la campagne, en lien avec l'emprise du bâti, les surfaces artificielles et l'étendue du continuum urbain, on observe également d'importantes variations de températures à l'intérieur même des villes constituant des micro-îlots de chaleur urbains (MICU). Nous le devons aux perturbations radiatives, thermiques, hydrologiques, anthropiques, aérodynamiques qui peuvent différer très localement d'un îlot à l'autre, d'une rue à l'autre, d'une façade à l'autre... L'ICU et les MICU peuvent ainsi varier rapidement au sein d'une journée et dans l'espace, jusqu'à des échelles de quelques mètres.

Les risques pour la santé humaine liés à la chaleur

Parmi les conséquences du changement climatique en Île-de-France, les impacts directs sur la santé liés aux évolutions de fréquence des vagues de chaleur sont déjà pour partie objectivables. Les effets

indirects à travers la modification des organisations humaines (santé au travail, fatigue, stress, santé mentale, etc.) sont plus difficiles à apprécier dans leur globalité.

En période de forte chaleur, le corps met en place des mécanismes de thermorégulation pour maintenir sa température interne autour de 36,8°C. Au-delà d'un certain seuil, variable selon les individus, l'organisme s'épuise, entraînant une dégradation rapide de l'état de santé. Même en dehors des épisodes caniculaires, les effets de la chaleur se manifestent, atteignant les populations les plus fragiles. Cette vulnérabilité résulte de la combinaison de facteurs sanitaires, socio-économiques et environnementaux, dont l'âge (les plus âgés et les plus jeunes sont les plus fragiles), la prise de médicaments, les conditions de travail, l'accès à l'information, les capacités cognitives et l'activité physique (ORS, Observatoire régional de santé en Île-de-France).

Les canicules, telles que définies par le plan national canicule, ont causé près de 38 000 décès entre 1973 et 2019 en France métropolitaine (Géodes, 2019). Elles sont de plus en plus fréquentes et étendues, ce qui se traduit par un accroissement de la population exposée au moins une fois par été à une canicule. La population française exposée à au moins une canicule par an a doublé entre 1974 - 1983 et 2004 - 2013 selon Santé publique France (SpF). L'Île-de-France n'est pas en reste, la canicule exceptionnelle de 2003 l'ayant particulièrement impactée avec des taux de surmortalité bien au-dessus de la moyenne française : représentant un tiers des cas nationaux, avec plus de 200% de décès en excès enregistrés à Paris et en petite couronne, et un record (+219%) pour le Val-de-Marne.

Les observations de Santé publique France distinguent, d'un côté **la chaleur habituelle**, correspondant à un risque faible, cumulé sur un nombre conséquent de jours, et de l'autre **la chaleur exceptionnelle**, correspondant à un risque très fort, cumulé sur un nombre réduit de jours :

L'augmentation rapide du risque de décès et de recours aux soins d'urgences lorsque la température augmente est mis en évidence par plusieurs études épidémiologiques (SpF). Elle survient à températures modérées, et suit une relation non-linéaire très sensible à l'intensité de la chaleur. Dans 18 villes métropolitaines françaises – dont Paris –, entre 2000 et 2010, l'effet de la chaleur sur la mortalité apparaissait à températures moyennes journalières variant de 13 à 21°C selon la ville. 1,2% de la mortalité totale annuelle était attribuable à la chaleur, soit environ 14 000 décès (Corso, Pascal, and Wagner, 2017). Des projections sous un climat plus chaud estiment que dans ces mêmes villes, sans adaptation de la population, la mortalité attribuable à la chaleur serait au moins de 1,7% sous un réchauffement de +1,5°C, 2,4% sous un réchauffement de +2°C et 6,5% sous un réchauffement de 4°C (Vicedo-Cabrera et al., 2018).

Le potentiel disruptif de certaines vagues de chaleur, avec des augmentations très rapides de la mortalité et du recours aux soins d'urgences, concentrées sur quelques jours, est l'autre enseignement principal de ces études. Par exemple, l'été 2003 totalise 50% de la mortalité associée aux vagues de chaleur en France entre 1970 et 2013 (SpF, Influence de caractéristiques urbaines sur la relation entre température et mortalité en Île-de-France). La mortalité en France associée aux vagues de chaleur entre 2014-2019 (5 500 décès en 5 ans) est déjà supérieure à celle observée entre 2004 et 2013 (2 200 décès en 10 ans) (Geodes, 2019).

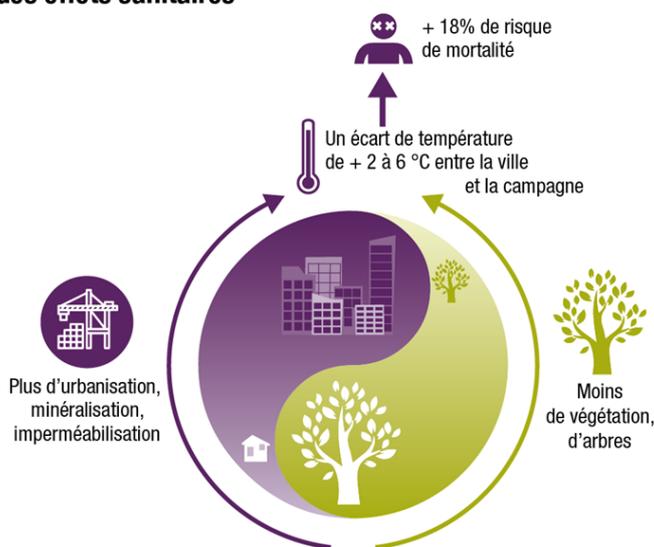
La surexposition aux températures élevées due à l'ICU et aux MICUs se répercute a priori en risque sanitaire ; globalement, vivre dans un MICU augmente le risque de décès pendant les vagues de chaleur (Benmarhnia, 2018 ; Schinasi, Benmarhnia, and De Roos, 2018). Pour l'influence de l'ICU sur la mortalité, si les canicules ont globalement été peu étudiées, celle de 2003 l'a en revanche beaucoup été. A Paris, la mortalité dans les quartiers les plus exposés en 2003 aux fortes chaleurs était le double de celle observée dans les quartiers les moins exposés alors que la différence de température (moyenne sur la durée de l'épisode) n'atteignait qu'un demi-degré (étude cas-témoin, Laaidi et al., 2012). A l'inverse, les domiciles ayant un environnement proche très végétalisé auraient bénéficié d'un effet protecteur (Bretin et al., 2005).

Une récente étude (*Cf. illustration 4*) montre que les caractéristiques urbaines contribuant à l'ICU (surface artificialisée non-végétalisée, couvert non-arboré, taux d'imperméabilisation) sont associées à un risque plus élevé de décès lié à la chaleur (*SpF, L'Institut Paris Region, ORS, Influence de caractéristiques urbaines sur la relation entre température et mortalité en Île-de-France, 2020*).

Ainsi, réduire l'ICU pourrait contribuer à réduire l'exposition, et donc l'impact sanitaire lié à la chaleur pendant une canicule similaire à celle de 2003. Des interventions sur ces caractéristiques, en particulier sur la végétalisation et l'imperméabilisation des sols, pourraient donc permettre de réduire les impacts sanitaires des fortes chaleurs.

Illustration 4 : Influence des caractéristiques urbaines sur la relation entre température et mortalité en Île-de-France (Santé publique France, L'Institut Paris Region & l'ORS)

L'environnement urbain augmente les risques des effets sanitaires



© L'INSTITUT PARIS REGION - ORS, 2021 / Source : Santé Publique France 2020

Enfin, d'autres composantes interviennent dans le principe de vulnérabilité aux vagues de chaleur. Au-delà de l'aléa amplifié par l'effet d'ICU et de l'exposition de l'ensemble de la population, d'autres registres de sensibilité interviennent. Sont notamment à considérer l'âge des personnes (plus de 65 ans et enfants en bas âge), la performance d'isolation des logements ou l'exposition à l'ozone³. En y ajoutant les capacités à faire face, qu'elles soient individuelles (faible revenus, précarité énergétique...), collectives ou territoriales (système sanitaire, accessibilité aux espaces verts publics...), le croisement de ces indicateurs est déterminant.

L'adaptation à la chaleur est devenue une priorité de santé publique. La prévention des effets de la chaleur se concentre actuellement sur la chaleur exceptionnelle susceptible de constituer un risque pour l'ensemble de la population exposée, via le Plan national Canicule (PNC) mis en place en 2004. Il cible les comportements individuels et l'identification et l'accompagnement des populations très vulnérables (Registres d'identification des personnes âgées, isolées ou handicapées). Malgré le PNC et l'instauration du système d'alerte canicule et santé (Sacs), il s'avère, d'après SpF, qu'un impact très important demeure possible en particulier si des intensités similaires ou supérieures à la canicule de 2003, qui demeure exceptionnelle à ce jour, devaient s'observer.

Il conviendrait 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 lorsque se produisent des événements extrêmes qui restent difficiles à prévoir (en durée et en intensité).

L'inconfort thermique dans les bâtiments et les espaces publics

La prévention des effets de la chaleur habituelle – à côté de celle relative à la chaleur exceptionnelle – couvre un large spectre de situations. L'enjeu est celui de la transformation structurelle du cadre de vie, à l'intérieur des bâtiments privés ou publics, des équipements recevant du public et dans l'espace public.

En ce qui concerne les bâtiments, les enjeux de confort d'été sont devenus importants et un nouveau sujet à considérer pour l'élaboration des réglementations thermiques et des systèmes de rafraîchissement. En période de chaleur, les besoins en froid augmentent pour rafraîchir ou maintenir à température constante les biens et les personnes pour raisons sanitaires, commerciales, industrielles, d'amélioration de la productivité ou de confort.

3. Cofacteur de risque pour la santé (le seuil de protection de la santé pour l'ozone - valeur cible – peut être dépassé en Île-de-France, en particulier dans les zones périurbaines et rurales, avec une intensité marquée en période de canicule)

Actuellement, les systèmes de refroidissement sont beaucoup plus répandus **pour les bâtiments tertiaires** que dans l'habitat et sont davantage des systèmes individuels « secs », qui rejettent de l'air chaud dans la rue, que des systèmes « humides » qui rejettent la chaleur sous forme de vapeur d'eau dans l'air ou directement dans l'eau (exemple des réseaux de froid de Fraîcheur de Paris, qui rafraîchissent de nombreux immeubles tertiaires à partir de pompes à chaleur et de l'eau de la Seine).

Les résultats du projet de recherche Clim² montrent qu'à Paris et ses environs les rejets du parc actuel de systèmes de refroidissement (secs et humides) provoquent une augmentation faible et locale de la température nocturne dans les rues (0,25 à 1°C par rapport à un cas de référence sans climatisation). Mais dans une situation future où la puissance globale de climatisation serait doublée et l'ensemble des rejets sous forme sèche, l'augmentation de la température nocturne serait de l'ordre de 0,5°C à 3°C et l'îlot de chaleur nocturne serait nettement plus étalé et plus intense (+1,75°C) par rapport à un cas de référence sans climatisation.

Pour l'habitat, la rénovation des passoires thermiques (entrée et déperdition de chaleur) est l'un des premiers enjeux. Les logements dans les quartiers à MICU, les logements non traversants, ceux des derniers étages des immeubles anciens méritent une attention toute particulière. En outre, la Commission Européenne prévoit un potentiel d'équipement en refroidissement résidentiel de 35% en France à l'horizon 2030 contre seulement 5% en 2015 (Construction 21, d'après étude préparatoire pour la révision des règlements Energy related Products des climatiseurs pour la Directive européenne Ecoconception). Si l'habitat des Franciliens suit cette tendance, l'offre et le choix des systèmes de refroidissement sera déterminant.

Les dualités (entre bâtiment neuf et bâtiment ancien, entre habitat et locaux d'activités, entre période d'hiver et période d'été, entre usage majoritaire du bâti le jour ou bien la nuit) obligent à traiter les risques d'inconfort thermique de façon adaptée. L'inconfort l'été étant un défaut souvent relevé de nombreux bâtiments construits selon la RT2012, la nouvelle Réglementation Environnement (RE2020, qui s'applique déjà aux bâtiments publics neufs depuis 2018 et entrera en vigueur pour tous les bâtiments neufs au 1er janvier 2022) impose une exigence spécifique. Les retours d'expérience sur la mise en place des systèmes de refroidissement dits passifs rendus possibles par la RE 2020 seront donc précieux.

Pour les équipements publics et leurs espaces associés, les enjeux sont doubles : recevant du public, s'ils ne sont pas adaptés à la chaleur, leur fréquentation occasionnelle ou permanente est source d'inconfort voire de risque sanitaire (en témoigne la perturbation de l'enseignement scolaire dans les écoles franciliennes lors des canicules précoce de juin 2019 et tardive de septembre 2020). S'ils sont adaptés, en revanche, certains peuvent servir d'espace de refuge – îlot de fraîcheur – pour des stratégies d'adaptation aux chaleurs urbaines. C'est le cas, par exemple, des établissements pour personnes âgées dépendantes (Ephad) qui ont l'obligation de comprendre une pièce rafraîchie depuis le plan canicule 2004, ou des initiatives de certaines communes franciliennes, comme Paris, d'expérimenter la transformation des cours d'écoles en oasis et d'envisager les conditions de leur ouverture au public pour le bénéfice fraîcheur.

Les enjeux de confort thermique dans **l'espace public** sont liés aux effets d'ICU et concernent l'ensemble de l'agglomération parisienne. Sa forte minéralité et les perturbations associées (radiatives, thermiques, hydrologiques, anthropiques, aérodynamiques...) interviennent dans ce phénomène. La désimperméabilisation des sols, la végétalisation, la présence d'eau et son usage rationnel, le choix des matériaux (réfléchissement du rayonnement incident, notamment) ou encore les ombrages sont autant de pistes pour atténuer les excès de chaleur et offrir du rafraîchissement (îlot de fraîcheur) durant l'été dans l'espace public (cheminements, parvis et places, espaces de ressourcement...).

Parmi les stratégies de rafraîchissement naturel du microclimat extérieur au sein de la ville, l'évaporation de l'eau (réouverture de rivières, bassins, fontaines...) et la végétalisation sont particulièrement plébiscitées. La végétation agit sur le milieu urbain par évapotranspiration (transpiration des plantes en journée au cours de la photosynthèse) et évaporation de l'eau interceptée par le sol et le feuillage. Plus la végétation est arborée et en pleine terre, plus ce rafraîchissement est efficace (les arbres ont une gestion plus efficace de l'eau du sol que la végétation herbacée). De plus, une partie du rayonnement solaire incident est réfléchi ou intercepté par les houppiers, créant des effets d'ombrage au sol et sur les bâtiments. Une diminution de la demande en climatisation, et de la consommation d'énergie associée, pourrait s'observer, variant avec le type de dispositif végétal, le taux de couverture associée et la disponibilité de la ressource eau (Cécile De Munck & Aude Lemonsu, projet MUSCADE). La désimperméabilisation de l'espace public semble incontournable pour améliorer l'accès à la ressource en eau pour les arbres urbains et notamment d'alignement dont l'espérance de vie reste très en-deçà de celle de leurs homologues forestiers.

Jusqu'aux effets systémiques (multiples, interdépendants) : aléas vague de chaleur et sécheresse combinés

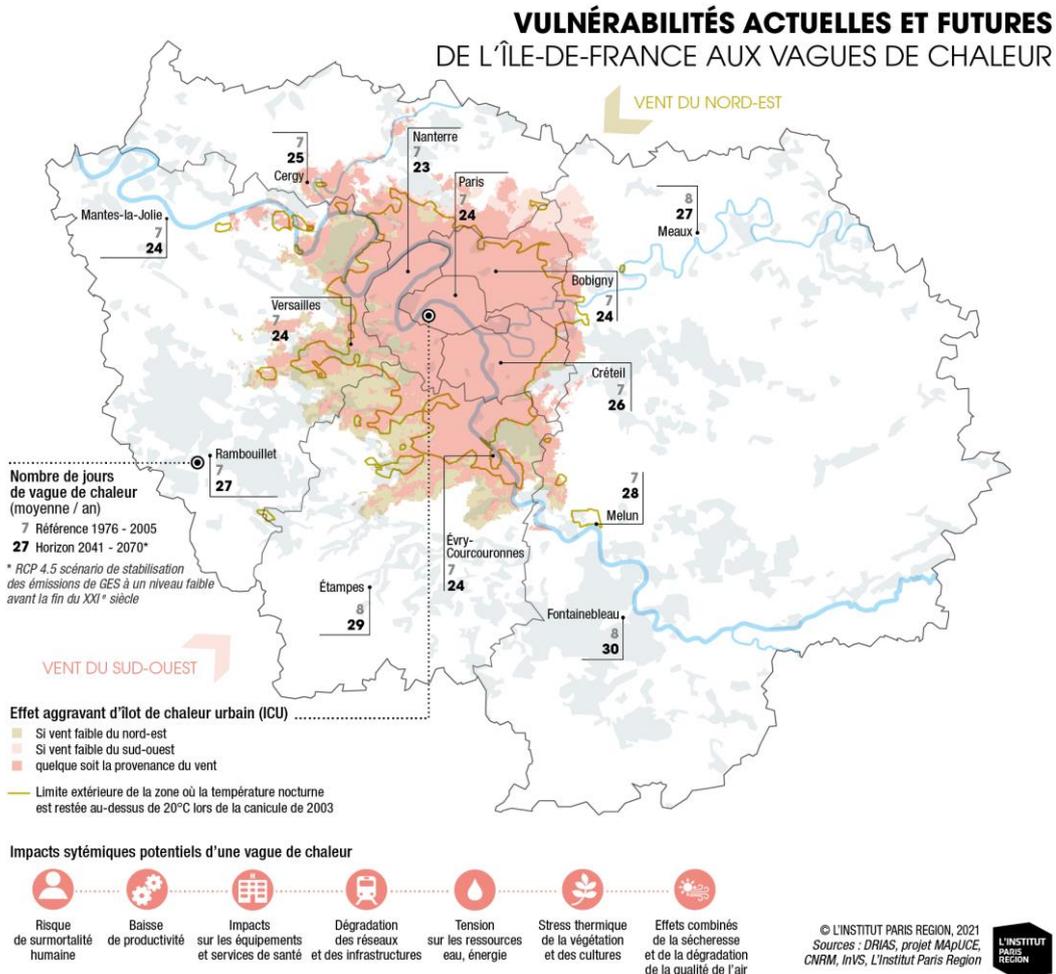
Une sécheresse historique et des vagues de chaleur à répétition, survenues durant le printemps et l'été 2022, en France et en Île-de-France, montrent une autre dimension des risques probables du changement climatique : la combinaison de plusieurs aléas climatiques !

La cascade d'événements, découlant de ces phénomènes, le confirme : des incendies d'ampleur partout en France, des orages violents d'été y compris à Paris intramuros, une surmortalité associée aux canicules et un coût des sinistres liés au risque de Retrait gonflement des argiles (RGA) et notre rapport à l'eau, bien commun et précieux, indispensable pour tous les êtres vivants et leurs milieux. L'eau est au cœur de l'alimentation, support aux activités économiques et sociales, ou encore, solution d'adaptation pour faire face aux excès du réchauffement (« Retour d'expérience sur la gestion de l'eau lors de la sécheresse 2022 », mars 2023, rapport du CGEDD).

Si la vulnérabilité des villes du cœur dense de l'Île-de-France aux vagues de chaleur estivales constitue un enjeu fort de santé publique, elle 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 (ozone) et du confort thermique, altération de la nature en ville, fragilisation du bâti et des infrastructures.

Les impacts sanitaires associés à cet extrême climatique chaud, renforcés par les problématiques d'ozone, généreront des tensions supplémentaires sur les systèmes de santé. Les problématiques de dilatation des rails dans les transports ferroviaires perturberont l'organisation économique (difficulté pour les travailleurs de se déplacer). Ces exemples « sommaires » illustrent les effets en cascade lors de la survenue d'un aléa et le fait que cet aléa concerne de multiples domaines et entraîne des dysfonctionnements à résoudre dans un même pas de temps.

Illustration 5 : Les impacts systémiques des vagues de chaleur en Île-de-France



* * * * *

Un premier enjeu est d'améliorer les services climatiques urbains pour soutenir l'action publique en matière de prévention de la chaleur dans la ville. C'est l'un des objectifs du projet de recherche Heat and Health in Cities (H2C, 2021 – 2024, piloté par le CNRM-Météo France et financé par l'ANR) qui vise à mieux comprendre en Île-de-France l'impact des zones urbaines (ICU, qualité de l'air, atmosphère et météo locale), à renforcer la synergie entre modélisation et observations multi-sources et à produire des informations d'exposition et de risque utiles aux décideurs pour l'aide à l'action.

Un second enjeu est d'engager l'adaptation des secteurs les plus vulnérables. Un intérêt particulier est porté, en zone urbaine, sur les actions de réductions de l'ICU qui semblent prometteuses pour réduire le risque en complément des interventions ciblées sur les comportements et les populations les plus vulnérables (Benmarhnia, 2018). Les registres d'adaptation pour diminuer les effets d'ICU sont bien connus, les solutions d'adaptation fondées sur la nature y prennent une place importante, aux côtés des matériaux et des modes constructifs (bâtiments et espaces publics), des travaux de rénovation des passoires thermiques et des systèmes de rafraîchissement.

2 - La géographie de l'ICU métropolitain via la référence à la canicule 2003

La géographie d'une vague de chaleur, d'une canicule, est dépendante des conditions météorologiques et climatiques. L'épisode de canicule d'août 2003 – considéré jusqu'à il y a peu comme exceptionnelle compte tenu de sa sévérité (durée + température maximale) – a, par exemple, touché la France entière.

D'autres épisodes survenus depuis ont concerné parfois quelques départements français parfois à nouveau la France entière, et avec des niveaux d'exposition et d'impact qui ont pu être différents suivant la latitude et les effets locaux d'ICU liés à l'importance de la minéralisation des agglomérations urbaines. La connaissance de la géographie de l'ICU métropolitain, en particulier la nuit, est donc déterminante pour évaluer l'aggravation des aléas météorologiques, vagues de chaleur et canicules.

Beaucoup étudiées en Île-de-France, en raison notamment de la surmortalité exceptionnelle associée, la canicule 2003 et sa géographie sont riches d'enseignement précieux. Nous présentons via les illustrations suivantes (Cf. *Illustrations 6 à 11*) des enseignements géographiques tirés de l'observation, l'analyse et la modélisation de l'été 2003 pour l'Île-de-France :

- En termes d'exposition, d'impact sur la population – la surmortalité humaine – Paris et les départements de petite couronne ont payé proportionnellement le plus lourd tribut en 2003 mais des surmortalités exceptionnelles ont été enregistrées aussi dans des cantons de la grande couronne ; Au-delà de l'effet d'ICU, d'autres paramètres sont également à considérer (effet de surprise, isolement, vétusté de l'habitat, fragilités de certaines populations...);
- Les amplitudes et la répartition géographique des températures de surface observées par satellite différent selon la période diurne (amplitude moins forte, plus d'anomalies spatialement plus étendues) ou nocturne (très forts contrastes entre les arrondissements centraux de Paris et la Grande couronne ; une géographie des excès de chaleur qui rejoint celle du continuum urbain et de son cœur dense et compact) ;
- L'indicateur de température de nuit tropicale observé – température moyenne des nuits entre 3 et 5 heures locales durant les 10 jours de canicule d'août 2003 – peut définir la zone d'effet d'ICU métropolitain soit la zone à l'intérieur de laquelle le refroidissement nocturne a été ralenti par la surchauffe et l'emmagasinement de la chaleur dans les matériaux le jour et le piégeage des dégagements de la chaleur la nuit.
- La modélisation des effets d'ICU la nuit par la recherche (projet « MApUCE » pour Modélisation Appliquée et droit de l'Urbanisme Climat urbain & Energie financé par l'ANR entre 2014 et 2019) qui a reconstitué suivant deux configurations de déplacements des masses d'air (sud-ouest ; nord-est) l'effet de l'agglomération francilienne lors d'un été caniculaire type 2003. Cette territorialisation à la maille de 250m x 250m des degrés supplémentaires par effet d'ICU, est en accès libre (plateforme OrbisGIS du CNRS) depuis 2020.

Illustration 6 : La surmortalité exceptionnelle en Île-de-France liée à la canicule de 2003 et sa sévérité (durée, température max) au regard de projections d'ici 2100, scénario sans politique climatique (RCP 8.5) de Météo France.

Canicule de 2003

la plus importante depuis 1947
 > 5 000 décès en excès en IdF
 surmortalité Hauts-de-Seine : + 214%

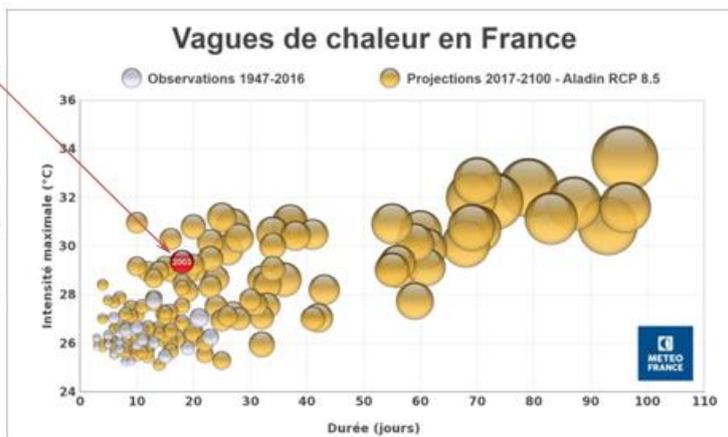


Environnement de la canicule de 2003 : une accumulation de phénomènes, dont le principal est l'augmentation de la densité urbaine, à cela s'ajoutent, l'augmentation de l'IdF, l'augmentation de l'IdF.

Effets de la canicule de 2003 : ratio élevé de surmortalité par quartier.

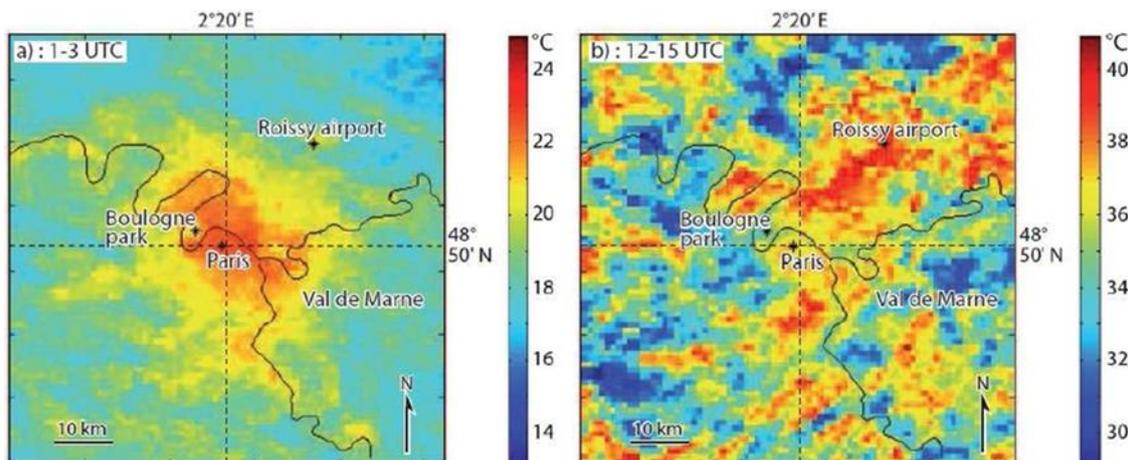
0 à 10% (jaune)
 10 à 20% (orange)
 20 à 30% (rouge)
 30 à 40% (rouge foncé)
 40 à 50% (rouge très foncé)

Source : Météo France, 2003



Vagues de chaleur observées en France entre 1947 et 2016 (en gris) et projetées entre 2017 et 2100 (en doré), dans un scénario de poursuite des émissions de gaz à effet de serre à leur rythme actuel. METEO FRANCE

Illustration 7 : cycles diurne et nocturne des températures de surface et leurs contrastes géographiques observés durant l'épisode de canicule 2003 (Source : InVS)



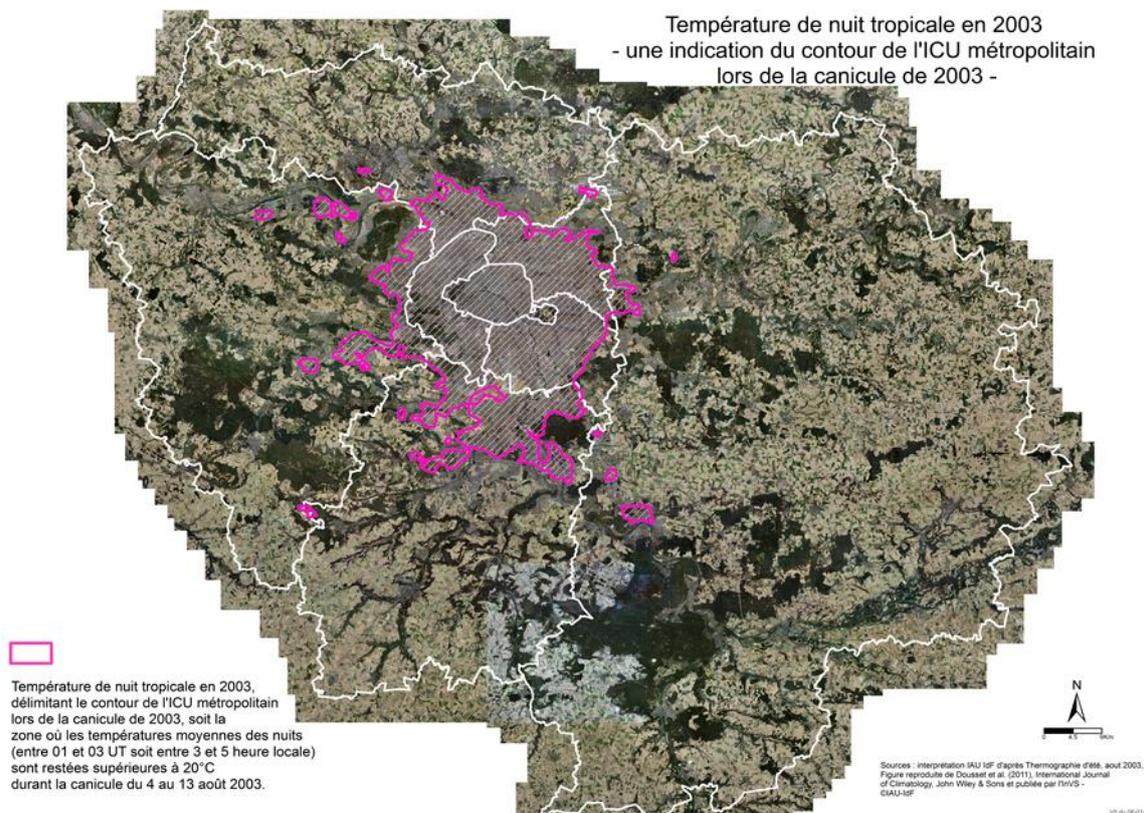
Nuit : îlot centré sur Paris = revêtements absorbants + densité urbaine qui piège la chaleur

Jour : îlots disséminés sur zones industrielles = propriétés des surfaces

Thermographie d'été, août 2003. Températures 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 Doussot et al. (2011), International Journal of Climatology, John Wiley & Sons - InVS

Illustration 8 : 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 : Traitement de L'Institut Paris Region d'après InVS

Illustration 9 : Effet de l'agglomération sur la température nocturne pendant une situation estivale propice à un fort îlot de chaleur urbain – configuration de vent du sud-ouest (MApUCE, ANR)

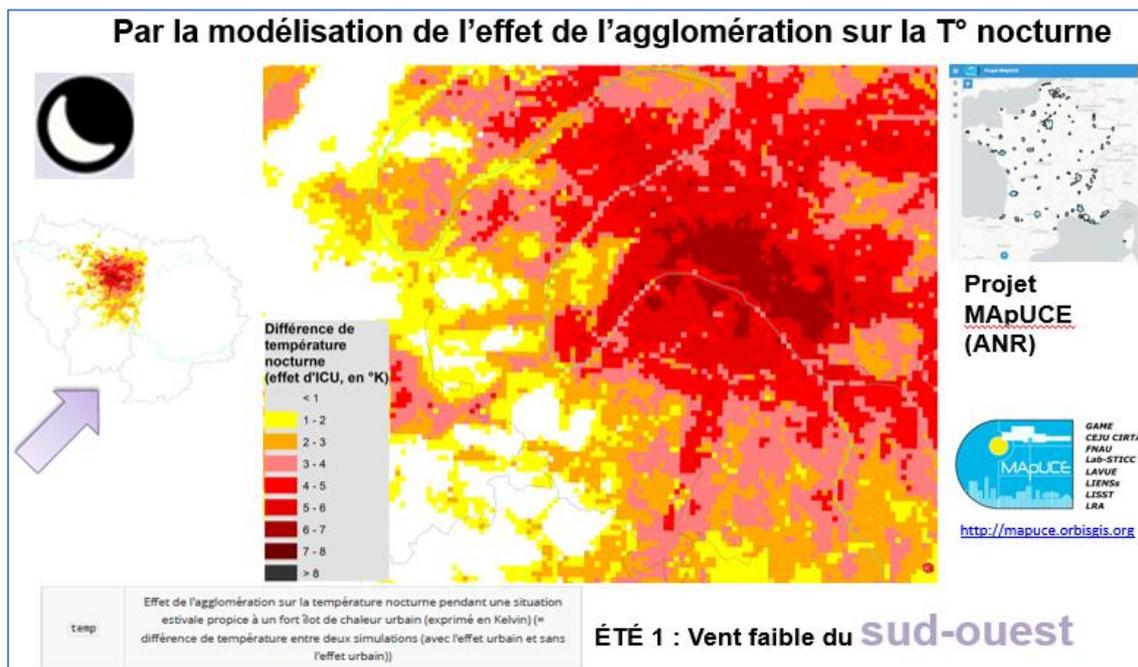


Illustration 10 : Effet de l'agglomération sur la température nocturne pendant une situation estivale propice à un fort îlot de chaleur urbain – configuration de vent du nord-est (MApUCE, ANR)

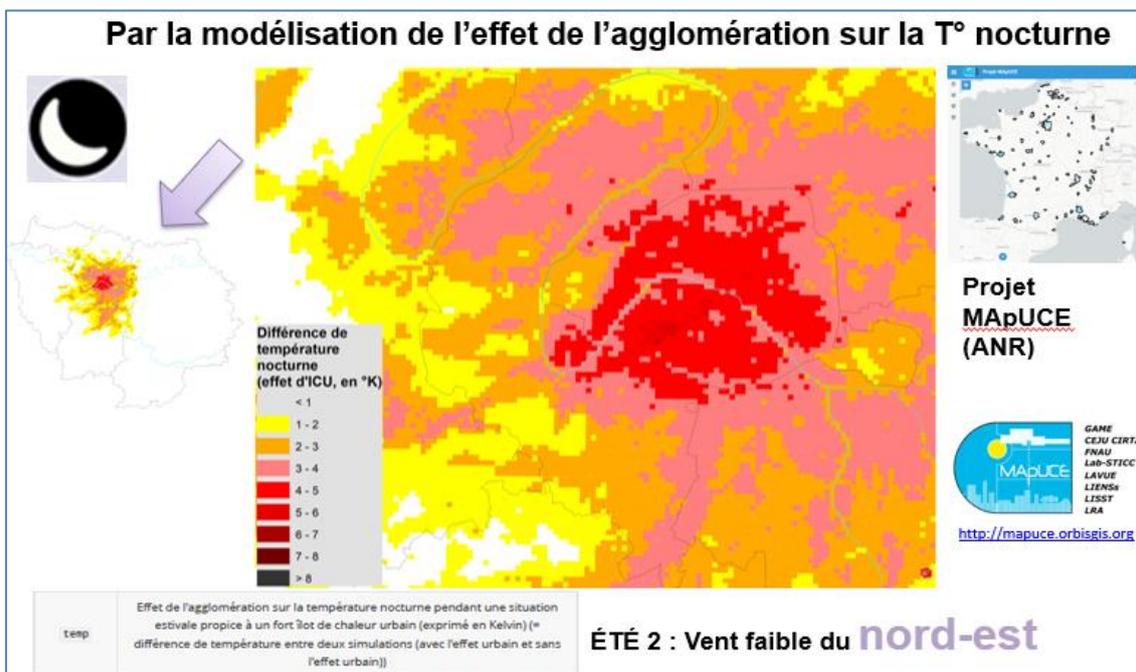
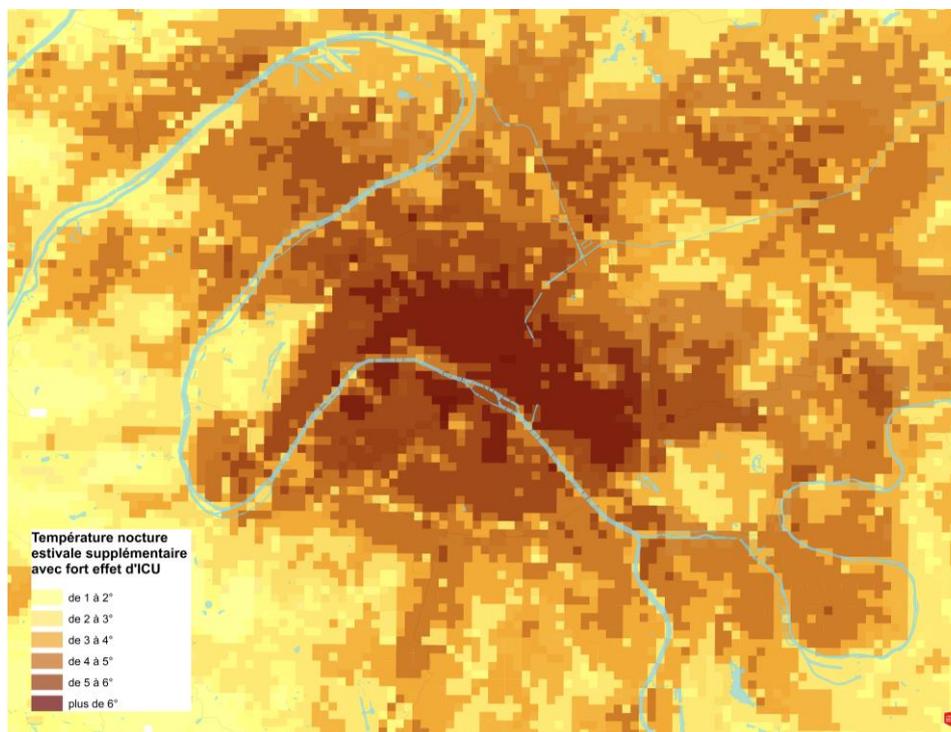


Illustration 11 : Reconstitution sous SIG de l'étendue spatiale - approche maximaliste - de l'ICU nocturne pendant une situation estivale propice à un fort îlot de chaleur urbain (type été 2003) via la superposition des résultats obtenus suivant les 2 configurations de vent des modélisations du projet MApUCE (Institut Paris Region)



La valeur de température nocturne la plus élevée pour chaque maille entre les 2 configurations est retenue pour la cartographie de l'extension « maximaliste » possible de l'effet d'agglomération sur la rétention de la chaleur la nuit (effet d'ICU) selon les données de référence d'un été caniculaire (type été 2003).

3 - La géographie de la vulnérabilité à la chaleur urbaine : état de l'art des approches cartographiques

Comment la vulnérabilité aux vagues de chaleur est évaluée dans le monde ? Avec quelles méthodologies et résultats cartographiques ? Cet état de l'art⁴ permet de mettre en exergue, à partir de l'analyse des différentes études existantes, les spécificités de l'approche empirique d'évaluation de la vulnérabilité de l'Île-de-France à la chaleur urbaine développée par l'Institut Paris Region (Cf. [Chapitres 2 et 3 du présent rapport](#)).

Si la cartographie des risques s'est imposée comme une composante de l'évaluation des risques liés aux événements hydrométéorologiques extrêmes, ce n'est que récemment qu'elle est apparue comme un champ de recherche clairement visible dans le domaine des événements de chaleur extrême (Wolf et McGregor, 2013). Une des mesures d'adaptation à la chaleur en tant que risque dans les villes a été le développement de systèmes d'alerte sanitaire en cas de chaleur (Hajat et al., 2010). Cependant, ces systèmes d'alerte manquent de spécificité géographique ou spatiale à une échelle fine. Ce sont les populations vulnérables, comme les personnes âgées, qui sont généralement ciblés au lieu de zones spécifiques avec des caractéristiques physiques ou sociales qui accroissent la vulnérabilité à la chaleur. Dans le cadre d'une gestion des risques climatiques, des informations sur la vulnérabilité à la chaleur à des résolutions spatiales plus fines que l'échelle de la région ou de la ville constituent un élément essentiel dans la prise de décision pour atténuer les effets des vagues de chaleur. Des informations fiables à l'échelle locale sont ainsi nécessaires pour aider les décideurs à allouer des ressources dans la prévention et la réponse aux événements de chaleur extrême. Ainsi, une carte spatiale de l'indice de vulnérabilité à la chaleur, fondée sur les facteurs pertinents qui influencent le risque de vagues de chaleur dans un endroit donné, est de plus en plus utilisée à des niveaux nationaux et régionaux. Une telle cartographie est considérée comme un outil spatial efficace pour la gestion des risques de vagues de chaleur.

3.1 - L'indice de vulnérabilité à la chaleur, un élément central pour évaluer la vulnérabilité dans le monde entier

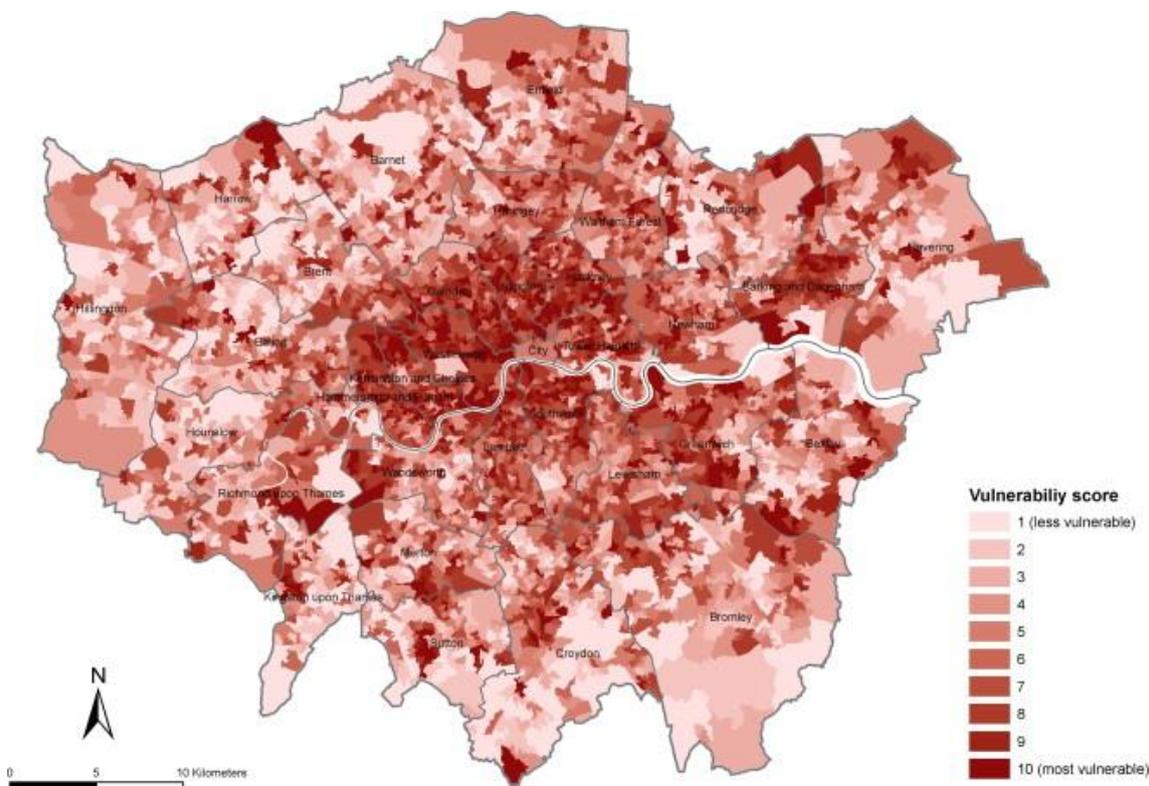
Dans la littérature scientifique, l'utilisation d'indices de vulnérabilité à la chaleur est l'approche la plus courante pour évaluer la vulnérabilité et produire une cartographie (Wolf et McGregor, 2013 ; Macnee et Tokai, 2016 ; Azhar et al., 2017 ; Kim et al., 2017 ; Barette et al., 2018 ; Mushore et al., 2018 ; Alonso et Renard, 2020). Développer un indice de vulnérabilité à la chaleur permet de localiser les zones les plus vulnérables pour concevoir des stratégies spécifiques d'atténuation et d'adaptation. Le but est de réduire la probabilité d'un impact lié à un événement de chaleur.

Les indices de vulnérabilité liés aux inondations, à la sécheresse ou à d'autres risques géophysiques ont traditionnellement fait l'objet d'une attention particulière de la part de la communauté des risques ; contrairement à la chaleur en tant que risque (Wolf et McGregor, 2013). Cependant, cette situation est aujourd'hui en train de changer. Le premier élément déclencheur est Smoyer (1998) qui a décrit et proposé des explications sur la variation spatiale des décès liés à la chaleur dans la ville de Saint-Louis (Etats-Unis). Cet article a suscité l'intérêt d'un certain nombre de chercheurs sur la question des déterminants sociaux de la vulnérabilité à la chaleur et des résultats sanitaires associés. Wilhelmi (2004) a notamment encouragé la communauté des risques liés à la chaleur à s'intéresser au pouvoir des systèmes d'information géographique et des indices associés pour comprendre la géographie de la chaleur et de la santé à diverses échelles spatiales.

En conséquence, un certain nombre d'études sur le développement et la cartographie d'indices de vulnérabilité à la chaleur a vu le jour ces dernières années (Cf. [Annexe 1 – Tableau comparatif](#)). L'application d'un indice de vulnérabilité à la chaleur a été faite pour la première fois au Royaume-Uni à l'échelle de la ville (Wolf et al., 2009) et aux Etats-Unis à l'échelle nationale (Reid et al., 2009).

4. D'après le mémoire de Master 1, Géomatique appliquée aux études urbaines et aux risques – CY Cergy Paris Université « Evaluer la vulnérabilité aux vagues de chaleur », 2022, Marine Dore

Illustration 12 : Exemple d'une cartographie d'un indice de la vulnérabilité à la chaleur – Londres (Wolf et McGregor, 2013)



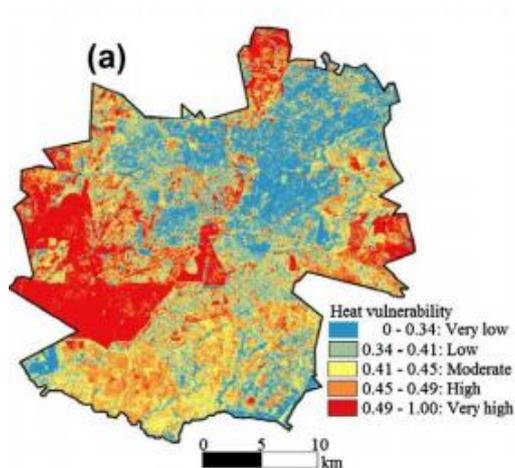
3.2 - Des méthodologies variables suivant les études

Dans la littérature scientifique, les principaux paramètres pris en compte pour évaluer la vulnérabilité aux vagues de chaleur sont l'exposition du territoire à un aléa climatique, la sensibilité des populations ou des écosystèmes naturels à des températures anormalement élevées et la capacité d'adaptation des populations concernées (Cf. [Tableau de l'Annexe 1](#)). Ainsi, une carte de vulnérabilité aux vagues de chaleur devrait être conçue comme un composite des facteurs dérivés des paramètres de l'exposition, de la sensibilité et de la capacité d'adaptation.

Les études pour évaluer et cartographier la vulnérabilité aux vagues de chaleur ont employé des facteurs de vulnérabilité variables et quelque peu différents, notamment pour le paramètre de la sensibilité. Cependant, la majorité des études ont considéré la répartition de la population âgée, en particulier les personnes âgées vivant seules, comme un facteur primordial d'augmentation du nombre de décès liés aux vagues de chaleur (Macnee et Tokai, 2016 ; Kim et al., 2017). La proportion de la population vivant sous le seuil de pauvreté semble également être un facteur primordial du paramètre « sensibilité ». Pour le paramètre de l'exposition, les études ont examiné les facteurs liés à la température comme le nombre de nuits tropicales, la température maximale ou encore l'indice de chaleur urbain, et les facteurs liés à la végétation comme l'indice de végétation normalisé (NDVI) ou encore la présence d'espaces verts. Seules quelques études ont examiné les facteurs du paramètre « capacité d'adaptation », en se concentrant principalement sur les infrastructures médicales (Kim et al., 2017 ; Barette et al., 2018).

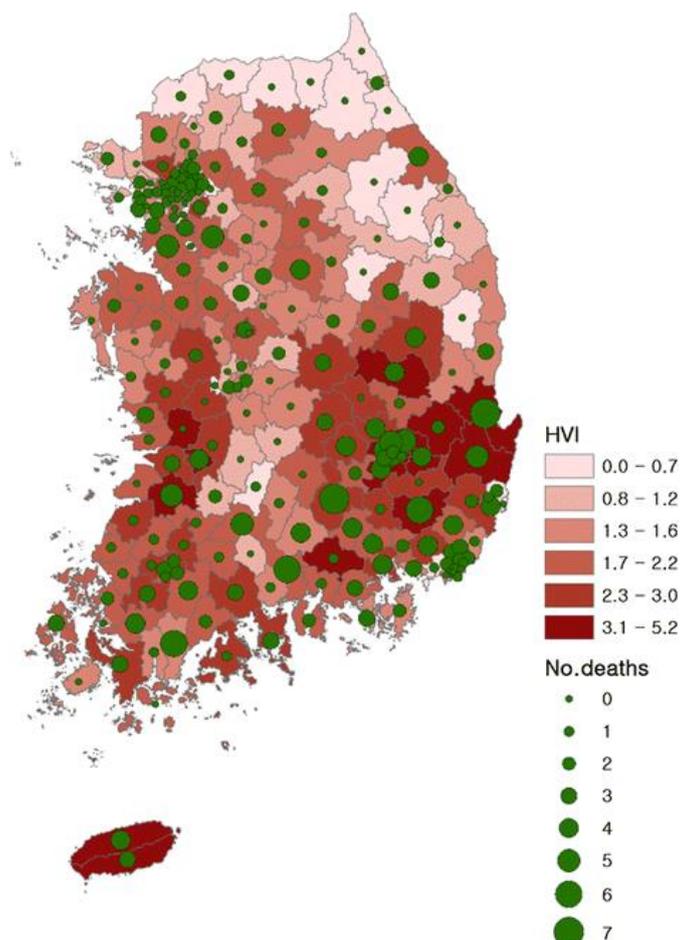
Comme le montre le tableau de l'Annexe 1, la plupart des études ont combiné les différents facteurs de vulnérabilité en un indicateur global de vulnérabilité à la chaleur au moyen d'une analyse de superposition. La méthode d'analyse de superposition la plus simple consiste à superposer toutes les couches de facteurs à une seule couche en leur appliquant le même poids. Une méthode plus avancée attribue plus de poids aux facteurs les plus importants. Une variété d'approches de pondération a ainsi été utilisée : analyse en composantes principales (Wolf et McGregor, 2013 ; Macnee et Tokai, 2016 ; Azhar et al., 2017 ; Barette et al., 2018 ; Alonso et Renard, 2020) enquête d'experts (Alonso et Renard, 2020) ou encore approche à poids égal (Mushore et al., 2018).

Illustration 13 : Cartographie de la vulnérabilité à la chaleur dans la ville d’Harare – Zimbabwe (Mushore et al., 2018)



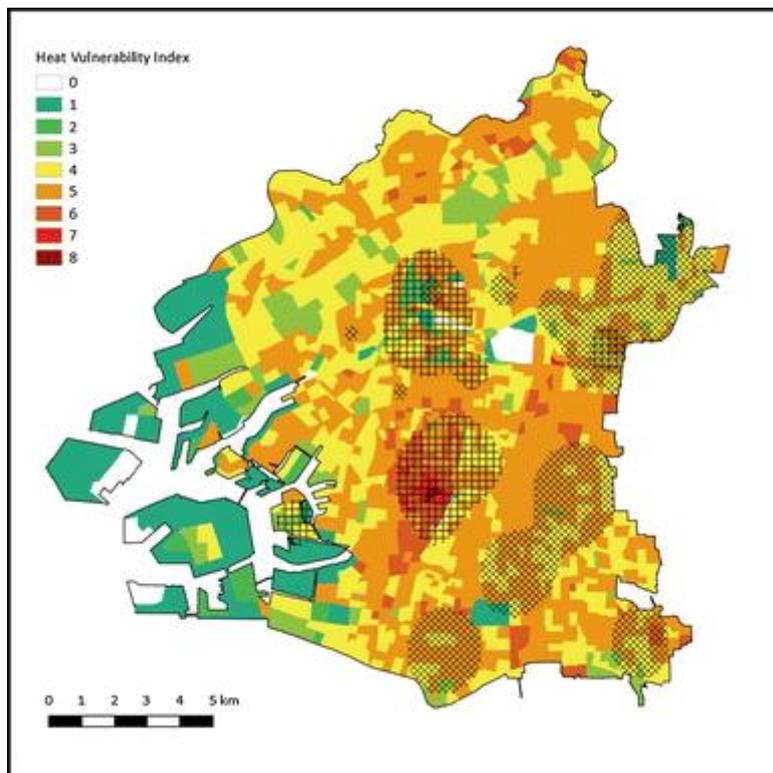
L’analyse de régression est, quant à elle, utilisée pour obtenir des résultats statistiquement plus probants lorsqu’on ne sait pas exactement quels facteurs sont liés aux résultats des dommages. Par exemple, Kim *et al.* (2017) ont utilisé une technique de régression et l’analyse spatiale pour associer le nombre de décès aux comtés administratifs de la Corée du Sud (Cf. *Illustration 14*). La régression peut être utilisée pour déterminer des facteurs plus significatifs en fonction de la force des relations statistiques entre la vulnérabilité et les résultats des dommages (décès liés aux vagues de chaleur par exemple).

Illustration 14 : Comparaison de la distribution spatiale de l’indice de vulnérabilité à la chaleur estimé et du nombre observé de décès liés à la canicule – Corée du Sud (Kim et al., 2017)



Macnee et Tokai (2016) ont cartographié sur une même carte l'exposition relative à la chaleur de jour et de nuit et les scores de l'indice de vulnérabilité aux vagues de chaleur. Cette étude combine une évaluation inductive de la vulnérabilité humaine avec une évaluation de l'exposition, basée sur les observations d'une saison estivale à une échelle journalière et horaire (Cf. *Illustration 15*). Les zones quadrillées indiquent plus de 50 jours avec une température minimum supérieure à 25°C et les zones quadrillées en diagonale indiquent plus de 1370 degrés-heures au-dessus de 30°C pour l'été 2007.

Illustration 15 : Cartographie de la vulnérabilité et de l'exposition aux vagues de chaleur de la ville d'Osaka – Japon (Macnee et Tokai, 2016)



Alonso et Renard (2020) ont utilisé deux méthodologies distinctes (procédure hiérarchique d'analyse et analyse en composantes principales) pour cartographier deux types de vulnérabilités. L'étude a permis de mettre en exergue la polysémie du concept de vulnérabilité. Les définitions et les manières d'appréhender le concept de vulnérabilité sont en effet multiples, de même que les modes opératoires pouvant être utilisés pour les spatialiser.

Dans cette étude, ce sont les vulnérabilités physiologiques (fondées sur les capacités du corps humain à répondre aux vagues de chaleur) et socio-économiques (fondées sur les capacités sociales et économiques de la population) qui ont été explorées. En raison de ces différences conceptuelles et méthodologiques, on remarque que les résultats sont différents d'un point de vue spatial. Si les zones de la métropole lyonnaise les plus vulnérables sur le plan physiologique aux fortes chaleurs se situent au centre (Cf. *Illustration 16, page suivante*), les zones les plus vulnérables sur le plan socio-économique se situent à la périphérie orientale de la zone urbaine (Cf. *Illustration 17, page suivante*).

Peu importe la zone d'étude concernée, toutes ces études ont validé quantitativement le potentiel de la cartographie de vulnérabilité aux vagues de chaleur pour rendre compte de la distribution spatiale des dommages réels liés aux vagues de chaleur, y compris les décès et les causalités graves comme les coups de chaleur.

Illustration 16 : Distribution spatiale de la vulnérabilité physiologique aux vagues de chaleur – Métropole de Lyon (Alonso et Renard, 2020)

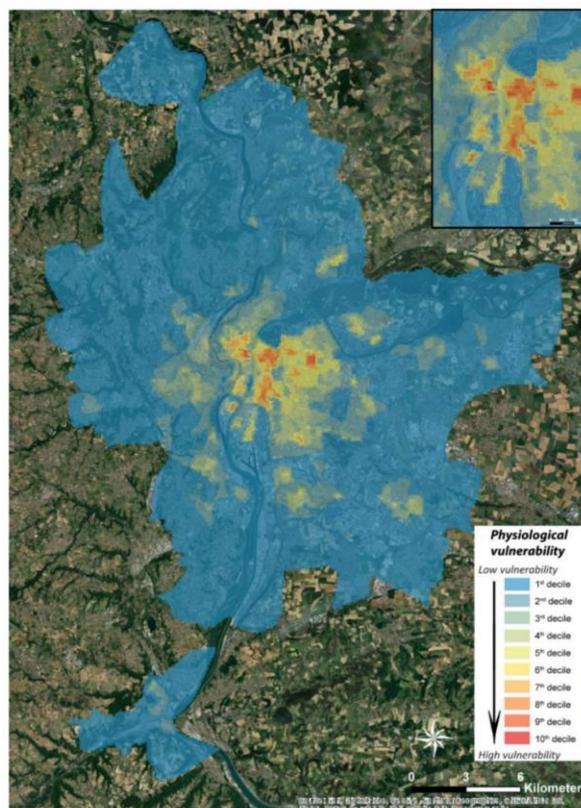
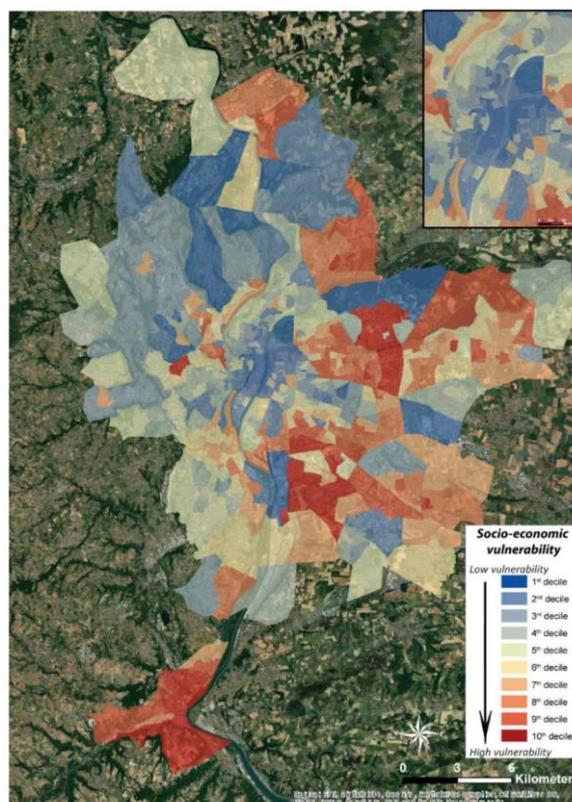


Illustration 17 : Distribution spatiale de la vulnérabilité socio-économique aux vagues de chaleur – Métropole de Lyon (Alonso et Renard, 2020)



3.3 - Des cartographies au service de l'aide à la décision

Pour la grande majorité des études, l'objectif est de faciliter la mise en place de stratégies d'adaptation personnalisée en matière de risque sanitaire. Il s'agit d'outils d'aide à la décision, notamment dans l'élaboration de plans d'urgence, le développement des infrastructures, la planification démographique, l'allocation de ressources médicales et sanitaires et l'élaboration de politiques.

Alors que la plupart des études a pour but de mettre à disposition des professionnels de l'aménagement du territoire un outil d'évaluation de la vulnérabilité aux vagues de chaleur, l'étude menée par Barette et al. (2018) trouve son originalité dans sa finalité. Depuis 2018, le département de géographie et le département des sciences géomatiques de l'Université Laval, en partenariat avec le consortium Ouranos et l'Institut national de santé publique du Québec, mettent à disposition un outil interactif en ligne⁵ permettant à tout utilisateur de se renseigner sur la distribution géographique des inégalités sociales face aux vagues de chaleur au Québec. Les cartes contiennent des informations sur la présence d'îlots de chaleur urbains, la sensibilité et la capacité à faire face à ces aléas ainsi d'un indicateur de climatisation et la vulnérabilité du fait de facteurs socioéconomiques, démographiques et de santé. Cette application de cartographie Web est destinée au grand public. Elle est particulièrement simple d'utilisation et pédagogique. Cet outil d'éducation et de sensibilisation s'inscrit donc dans une culture du risque (Cf. *Illustration 18*).

Illustration 18 : Capture d'écran de la cartographie interactive – Québec (Barette et al., 2018)



3.4 - Un manque de données à l'origine de plusieurs limites

Nous remarquons que dans la sélection de l'unité spatiale utilisée pour évaluer la vulnérabilité à la chaleur, la plupart des études ont fait le choix du district de recensement (Wolf et McGregor, 2013 ; Macnee et Tokai, 2016 ; Azhar *et al.*, 2017), du comté (Kim *et al.*, 2017), de l'aire de diffusion⁶ (Barette *et al.*, 2018) ou de l'IRIS (Alonso et Renard, 2020) en raison de la disponibilité des données. Par exemple, dans l'étude de Azhar *et al.* en Inde (2017), les chercheurs de RAND ont choisi d'utiliser le district (640 districts au total) car il s'agit de la plus petite unité pour laquelle ils disposaient de données fiables de sources multiples. La donnée est donc à une résolution peu précise (Cf. *Illustration 19, page suivante*).

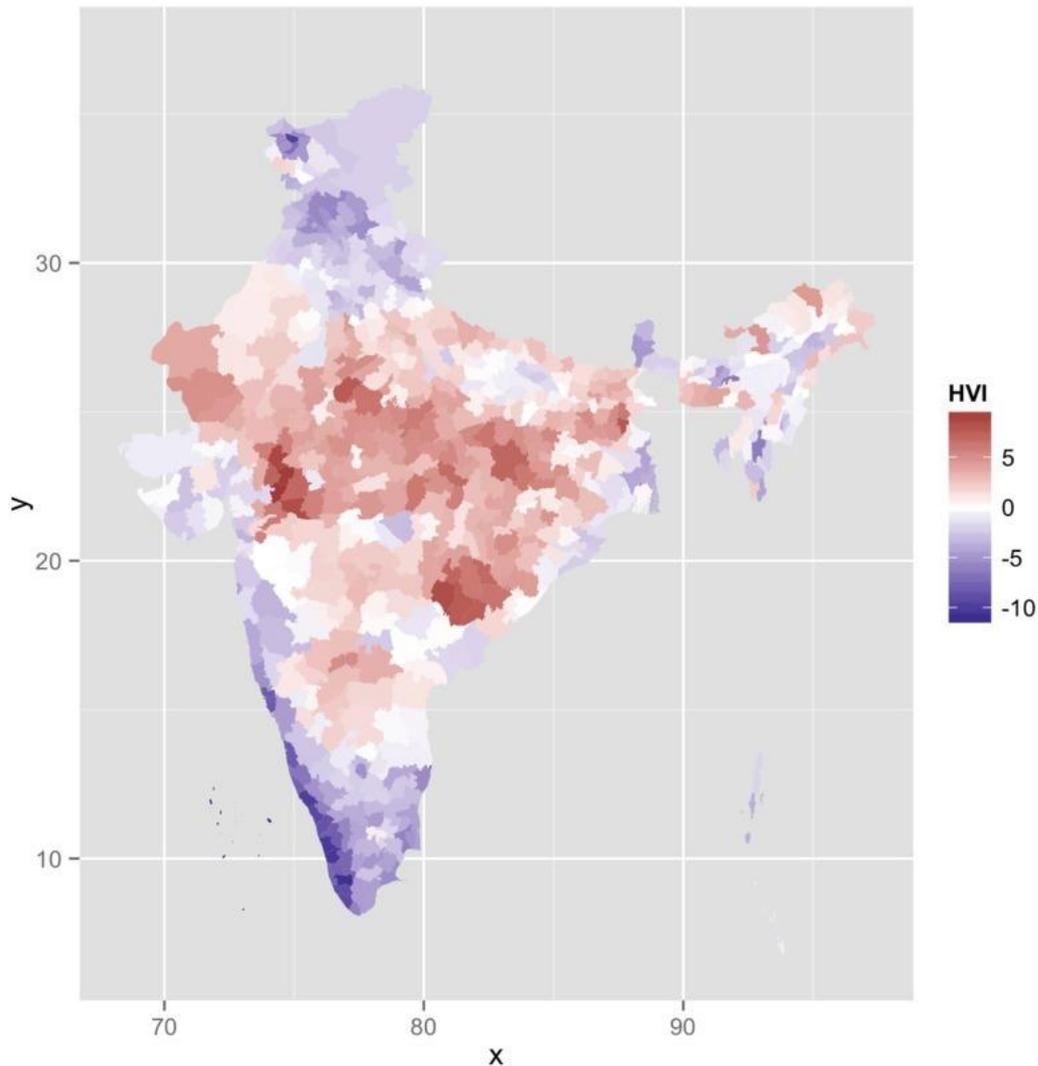
Nonobstant, ce choix d'unité spatiale crée des limites à l'étude. En effet, les données au niveau du district comprennent à la fois des zones rurales et urbaines. En les agrégeant, les différences entre ces modèles de vulnérabilité sont rendues invisibles, d'autant plus qu'en zone rurale indienne, la vulnérabilité peut être élevée étant donné l'importance de la pauvreté et des moyens de subsistance

5. <https://ulaval.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=00785fd406c34b1a906978af69074af7>

6 Plus petite région géographique normalisée du recensement canadien

agricole, ainsi que les difficultés d'accès à l'eau, dans la médiation de la relation entre la température et la mortalité.

Illustration 19 : Cartographie de l'indice de vulnérabilité à la chaleur en Inde (Azhar et al., 2017)



De plus, si les données étaient disponibles à un niveau plus fin, comme celui du bloc (Taluka), les zones vulnérables seraient plus identifiables. Les modèles de vulnérabilité intra-urbaine seraient également intéressants à observer si des données au niveau des quartiers urbains étaient disponibles. C'est d'ailleurs un des objectifs du travail de L'Institut Paris Region : identifier les zones à effet d'ICU et établir leur degré de vulnérabilité à une échelle très fine qui est celle de l'îlot morphologique urbain.

De nombreux facteurs conduisent ainsi à l'inexactitude d'un indicateur agrégé de la vulnérabilité à la chaleur. Certaines dimensions et déterminants de la vulnérabilité à la chaleur ne sont pas pris en compte en raison du manque de données.

De plus, certaines informations utiles et la différenciation spatiale sont perdues lors de l'agrégation. Le problème du MAUP (« modifiable areal unit problem »), c'est-à-dire l'influence du découpage spatial sur les résultats de traitements statistiques, et un biais statistique sont créés lors de l'agrégation d'autres données pour correspondre à l'unité spatiale des données de recensement. Enfin, les chercheurs ont utilisé différents facteurs de vulnérabilité à la chaleur en raison de la différence de disponibilité des données et de leurs préférences subjectives. Il en résulte un manque de comparabilité entre les différentes études.

Identifier les zones à effet d'ICU en Île-de-France

1 - Rappel du principe méthodologique fondateur

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.

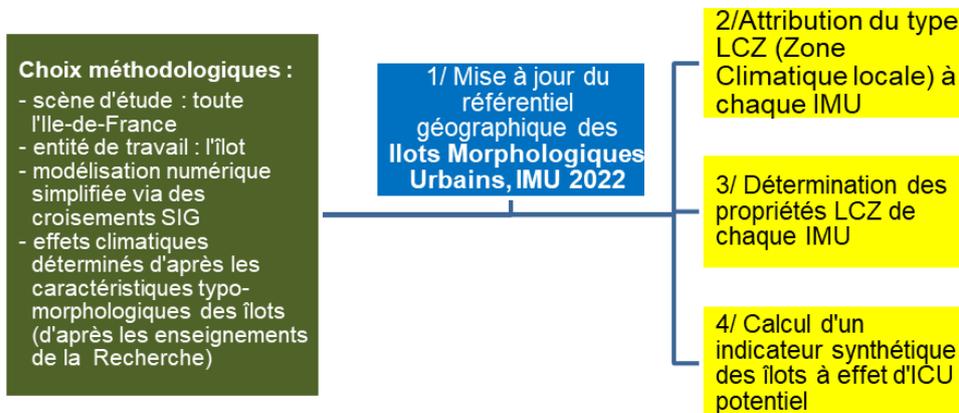
Nous utiliserons, tout d'abord, la mise à jour du référentiel géographique numérique des **îlots morphologiques urbains dénommés IMU** (IMU 2022, L'Institut) qui définit et caractérise les indicateurs typo-morphologiques principaux des îlots bâtis (« pâte de maisons ») et des îlots non bâtis (« espace ouvert⁷ » naturel, agricole ou forestier) sur toute l'Île-de-France (Cf. *Illustration 20, étape 1*).

Puis, à partir de ce référentiel IMU 2022, sans données d'observation météorologique ou climatologique, nous déterminerons à quelle classe du référentiel des **Zones climatiques locales (Local Climate Zones, LCZ)** de Iain D. Stewart et Timothy R. Oke, chaque IMU appartient. 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. *Illustration 20, 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 actualiserons les indicateurs spécifiques qui tendent à renseigner ces propriétés (Cf. *Illustration 20, étapes 3*).

Enfin, nous proposerons un indicateur synthétique d'effet d'ICU 2022 pour qualifier la nature de l'effet et son intensité pour chaque IMU (Cf. *Illustration 20, étapes 4*).

Illustration 20 : Principe méthodologique pour l'identification des zones à effet d'ICU (L'Institut)



2 - Utilisation du référentiel géographique des IMU 2022

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 mise à jour de la couche d'information géographique des IMU de L'Institut a été un préalable indispensable.

La méthode de délimitation de l'entité de référence « îlot morphologique urbain » – point clé de la caractérisation des zones sujettes à ICU - est appliquée à l'identique. Un rapport méthodologique

⁷ L'espace ouvert, selon la définition internationalement admise en aménagement et en environnement, représente l'ensemble des espaces au sol « non scellé », c'est-à-dire non bâti ou non revêtu, ou autrement dit l'ensemble des espaces de pleine terre, qu'ils soient ruraux ou urbains.

complet détaille la construction de ce référentiel⁸ ; nous rappellerons ci-après quelques éléments essentiels.

2.1 - Délimitation de l'îlot : la couche des IMU 2022

La délimitation de l'îlot résulte de multiples procédures utilisant une sélection de routes de la BD TOPO de l'IGN – Millésime 2022 - et des postes spécifiques du MOS 2021 de L'Institut Paris Region, 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.

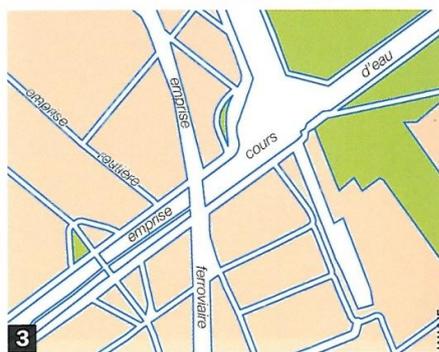
De manière similaire, dans le tissu urbain, certains grands îlots viaires le sont parce qu'ils associent des immeubles et un espace vert contigu sans qu'aucun viaire considéré (route, fer, eau) ne sépare la zone d'immeubles de la zone relative à l'espace vert. Ces grands îlots ont été redécoupés grâce 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 »).

Illustration 21 : Principe de création et délimitation de l'îlot morphologique urbain (L'Institut)



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. *Illustration 21, étapes 2 vers 3*) - à ce stade « jointifs » entre eux - les emprises de voies publiques qui ont servi 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 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. *Illustration 21, étape 3*). 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.

8. Voir Cordeau Erwan / Les îlots morphologiques urbains (IMU) – IAU idF / 2016

2.2 - Caractérisation des IMU 2022

La cinquantaine d'indicateurs – les attributs 2022 des IMU - a été mise à jour à partir des derniers millésimes exploitables des mêmes données numériques de référence : principalement, la BD TOPO 2022 de l'IGN pour la volumétrie du bâti (hauteur, surface), le MOS 2021 de L'Institut pour l'occupation du sol dominante, les fichiers fonciers MAJIC 2022 de la DGFIP pour la propriété foncière et les époques de construction.

DENSIBATI (millésime 2021) de L'Institut et SIRENE 2019 de l'INSEE ont été spécifiquement utilisées pour respectivement la population résidente et la localisation des emplois :

- DENSIBATI (millésime 2021) : autre couche référence de L'Institut après le MOS. En résumé, il s'agit d'une ventilation des données 2016 relatives à la « population » de l'INSEE (à l'échelle de l'IRIS) sur les entités bâties de la BD TOPO 2021 de l'IGN. De nombreux paramètres sont pris en compte pour ventiler cette donnée : superficie plancher, nombre d'étages, type d'activité, etc.
- SIRENE 2019 (en remplacement d'ALTARES 2013) : source de données relatives aux emplois salariés géolocalisés des entreprises et établissements à l'adresse sous forme de points. Une seule donnée a été prise en compte dans cette couche, il s'agit du champ « effectif des entreprises » (mise à jour de 2019).

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 2*).

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
- 2 paramètres topologiques de l'entité IMU (surface et périmètre) :
Shape_Area ; Shape_Lenght
- 1 indice synthétique typo-morphologique de rugosité urbaine :
CLASSE_IMU (Cf. Illustration 22)
- 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. Illustration 30, page suivante) ; HAUT_MAX ; HAUT_MIN ; + stratigraphie de la végétation
(via : IV_haute ; IV_basse ; IV_agri)
- 6 attributs complémentaires de surfaces planchers en m² :
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

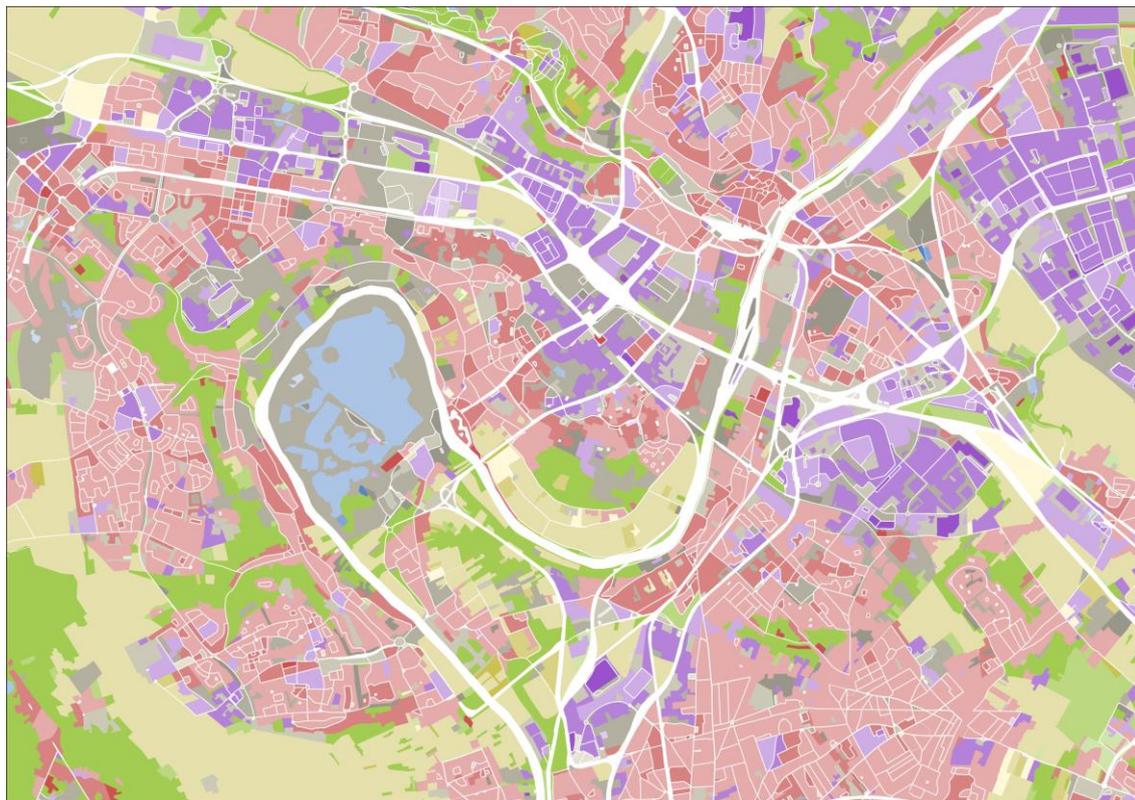
- 3 indicateurs complémentaires sur la dotation en végétation des IMU : IV_haute ; IV_basse ; IV_agri
- 2 enseignements sur la dotation en eau des IMU : DENSI_EAU ; SURF_EAU.

Focus sur l'indicateur synthétique de la base IMU 2022 : CLASSE IMU, l'indice de rugosité urbaine

En outre, un indicateur synthétique, déterminé à partir des caractérisations précédentes, a également été mis à jour. Il 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 MOS21_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. *Illustration 22*).

Illustration 22 : Représentation cartographique de l'indice de rugosité urbaine « CLASSE_IMU - 2022 »



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 (voiries, gares) ; forêts et milieux semi-naturels ; espace agricole ; eau.

Dominante MOS	Indice de rugosité					
	champ libre	très faible	faible	moyenne	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) – L'Institut Paris Region / 2022

2.3 - Evolution du référentiel entre les IMU 2012 et les IMU 2022

Sur le principe, avec le choix fait d'une méthodologie comparable pour l'élaboration des entités de référence IMU et pour la production des 50 mêmes indicateurs attributaires, nous pouvions supposer que les évolutions observées entre les deux années de référence ne pouvaient résulter que d'une évolution de l'aménagement du territoire (Cf. *Illustration 23*) et de la socio-démographie urbaine survenue dans la décennie.

Illustration 23 : Délimitation des îlots, comparaison entre 2012 et 2022 sur un quartier en renouvellement urbain du Fort d'Issy (en chantier en 2012, reconstruit en 2022)

Comparaison des contours d'IMU : l'exemple du nouveau quartier du Fort d'Issy (Issy-les-Moulineaux, 92)

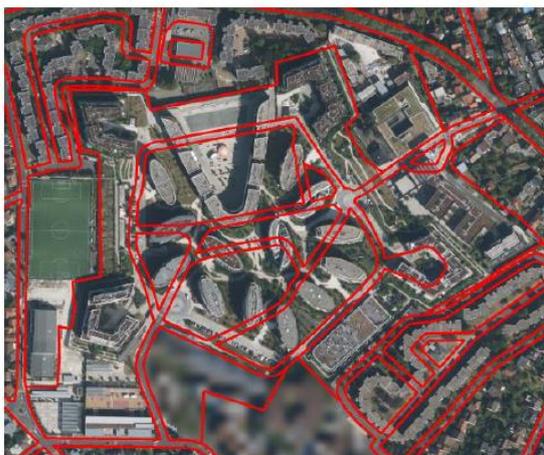


Figure 13 : Contours des IMU 2012
(orthophotographie 2021)



Figure 12 : Contours des IMU 2021
(orthophotographie 2021)

C'était sans compter sur l'évolution de la qualité des référentiels géographiques proprement dits qui ont été utilisés en amont pour les IMU.

Nous constatons ainsi que les comparaisons entre les situations 2012 et 2022 s'avèrent pour partie délicates en raison d'évolutions qui tiennent parfois, non pas à des changements de la ville et de son occupation, mais à des corrections de mauvais tracés numériques - amélioration des tracés d'un millésime à l'autre - dans les bases sources - de l'IGN notamment - qui sont utilisées pour délimiter et caractériser l'entité IMU.

Pour indication, les IMU 2012 et 2022 comportent respectivement 237 161 et 261 050 entités soit une augmentation de 10% entre les deux situations. L'analyse de sensibilité est également difficile - attribut par attribut - sur toute la chaîne de traitement aboutissant à la mise à jour des trois nouveaux référentiels (IMU, LCZ, ICU).

3 - Classification des IMU 2022 en LCZ 2022

Le suivi et l'accompagnement des travaux de Recherche (MUSCADE, MApUCE...) nous avaient 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 îlots de chaleur urbains et normalise les échanges au niveau mondial concernant les observations de température urbaine.

3.1 - Classification des Zones climatiques locales (LCZ)

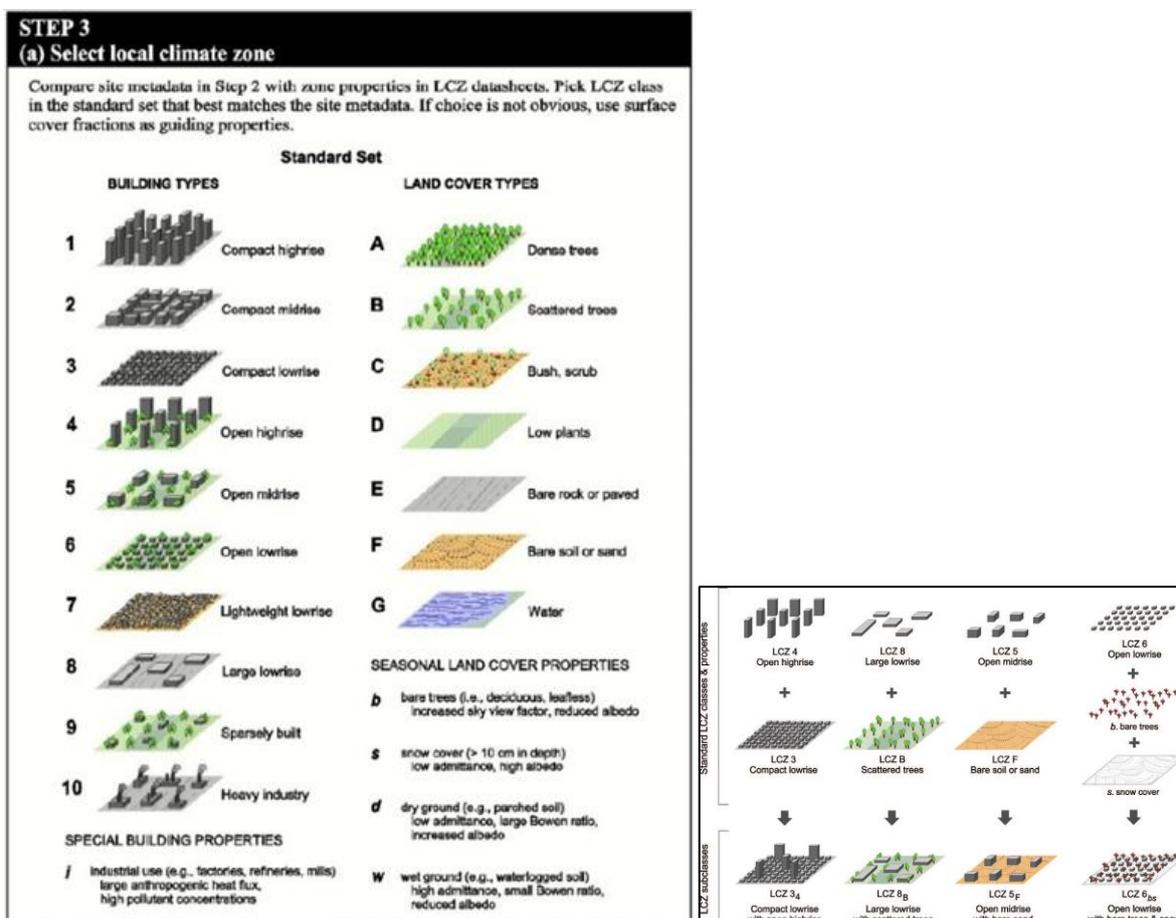
Le système de classification LCZ des sites urbains et ruraux selon leur différenciation thermique a été établi par Iain D. Stewart et Timothy R. Oke (Department of Geography, University of British Columbia, Vancouver, Canada).

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. *Illustration 24*) :

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

Illustration 24 : 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)

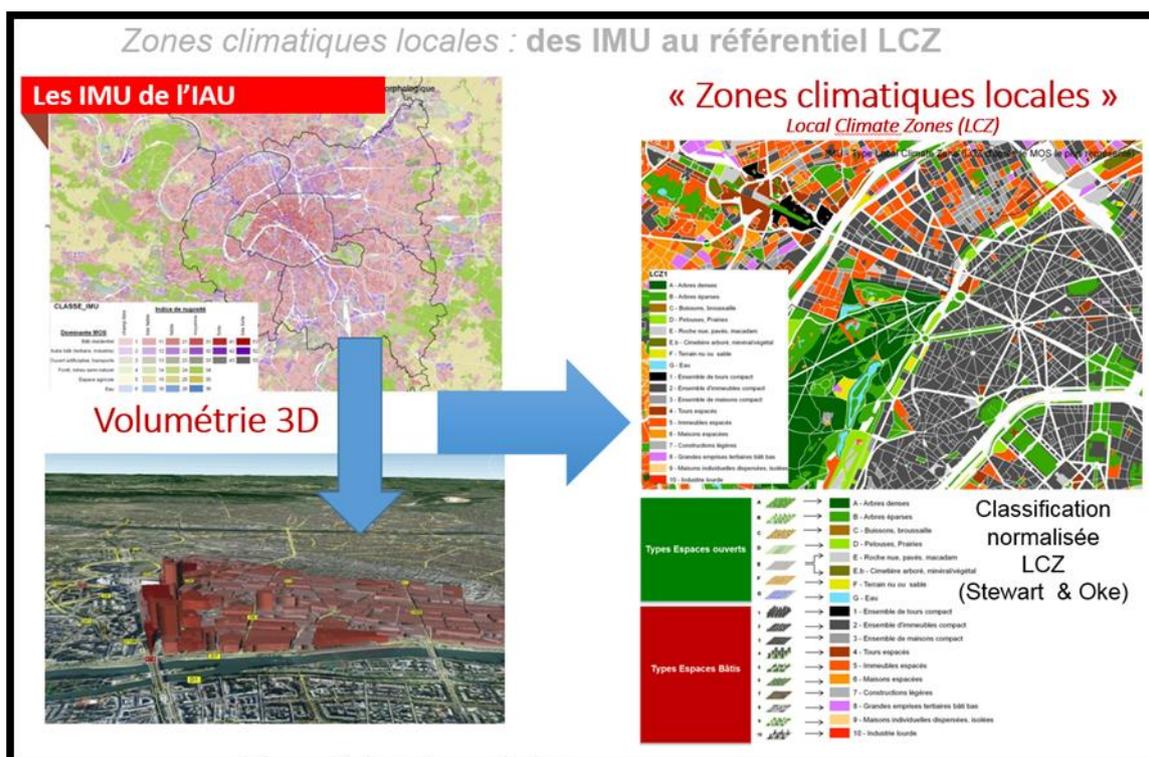


Source : "Local Climate Zones for urban temperatures studies", American Meteorological Society, décembre 2012, I. D. Stewart and T. R. Oke

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 souci 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. *Illustration 25, page suivante*).

Illustration 25 : Défi méthodologique, déterminer les LCZ de chaque entité IMU (L'Institut)



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 – l'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)⁹ – 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.

Nous continuons d'adopter cette suggestion de partir d'une connaissance de l'occupation du sol pour déterminer les LCZ ; L'Institut Paris Region disposant du MOS 2021 et des IMU 2022 (Cf. *Annexe 2*).

Comme autre interprétation de la méthode originelle, nous ne délimiterons donc 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

9. 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

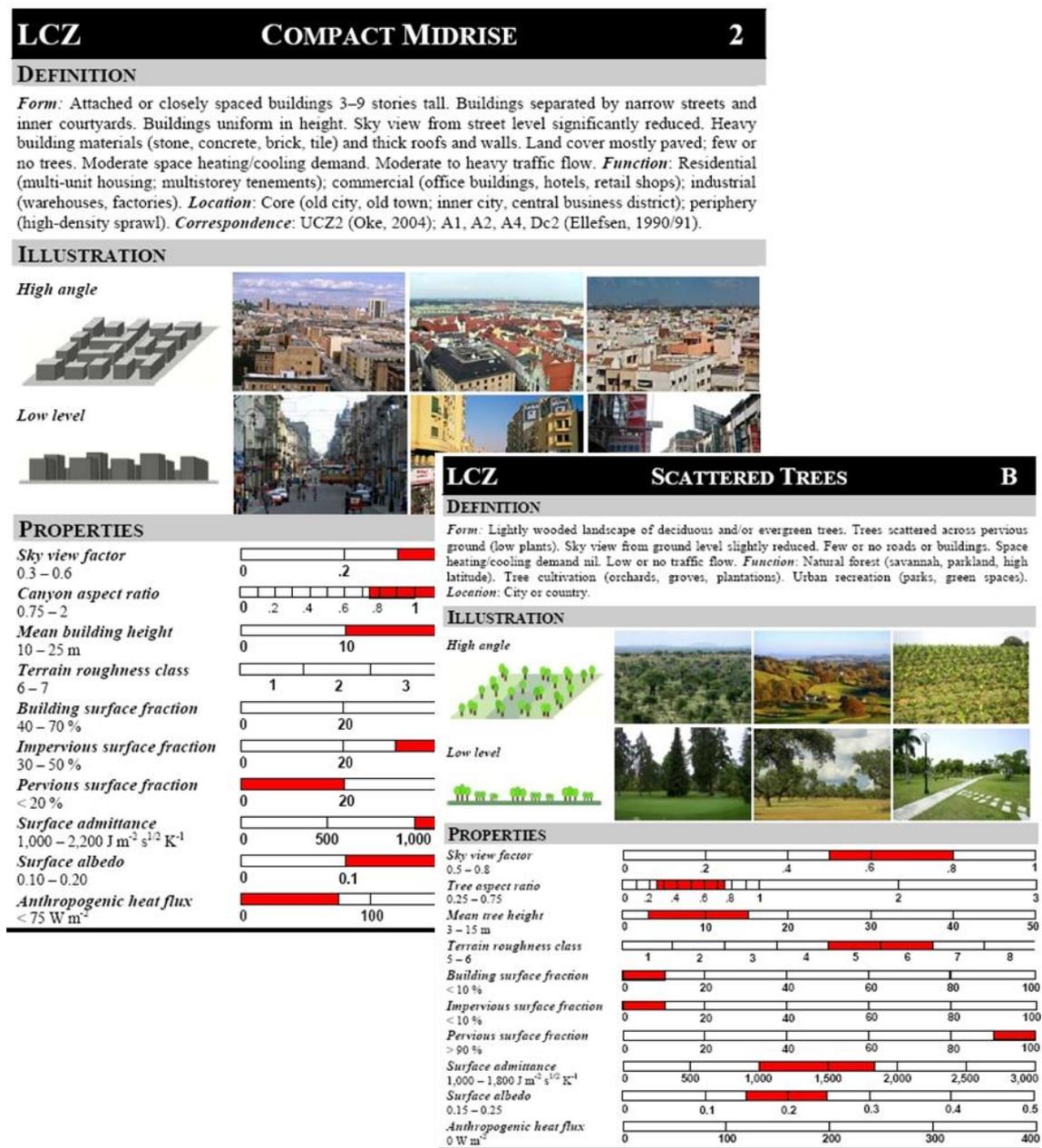
secondaire (« LCZ2 » pour LCZ de niveau 2), conformément au principe de combinaison défini par Stewart & Oke.

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 1, page suivante](#)).

Illustration 26 : 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)

Tableau1 : Description des 10 indicateurs relatifs aux propriétés LCZ (Stewart & Oke)

INDICATEURS	INDICATEURS
Skys view factor ψ_{skx} 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.
Aspect ratio 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.
Mean building/tree height 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.
Terrain roughness Class 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.
Building surface fraction λ_a % 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.
Impervious surface fraction λ_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
Pervious surface fraction λ_x % 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
Surface admittance μ 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>
Albédo α 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)
Flux de chaleur anthropogénique 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, L'Institut Paris Region

En travaillant à la définition de leur référentiel LCZ, Stewart et Oke ont expérimenté sur différentes villes à travers 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. [Illustration 26 page précédente](#)).

3.3 - Classification des îlots urbains et ruraux franciliens (IMU) en LCZ 2022

Pour la mise à jour des LCZ 2022, nous avons repris intégralement les enseignements conduisant à la méthodologie mise au point pour la première réalisation des LCZ 2012. Nous en rappelons ci-dessous les grands principes.

Pour l'étape de classification des îlots franciliens en LCZ et la définition des 10 propriétés associées, le MOS et les IMU 2022 sont utilisés 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. [Partie 1 - \[2.2\], p27, 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. [Illustration 26, fiche exemple](#)), nous avons recherché quel poste d'occupation du sol correspondait le mieux. Cela nous avait 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 avait aussi montré que le MOS n'était 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 en effet 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'îlot pourrait aider, ici, à différencier ces deux cas de figure.

Donc, en plus de l'occupation du sol, il avait 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 avait 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 étions de plus aidés des fourchettes de valeurs dressées par Stewart & Oke - par propriété et par type LCZ (Cf. [Tableau 2](#)) - pour définir ces seuils et les indicateurs à retenir.

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 résultait l'attribution pour chaque IMU d'un type « LCZ1 », en fonction de l'occupation du sol dominante (parmi 81 postes), et s'ils étaient hétérogènes, d'un type « LCZ1 » et d'un type « LCZ2 » quand l'occupation du sol secondaire était 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. [Illustration 27](#)).

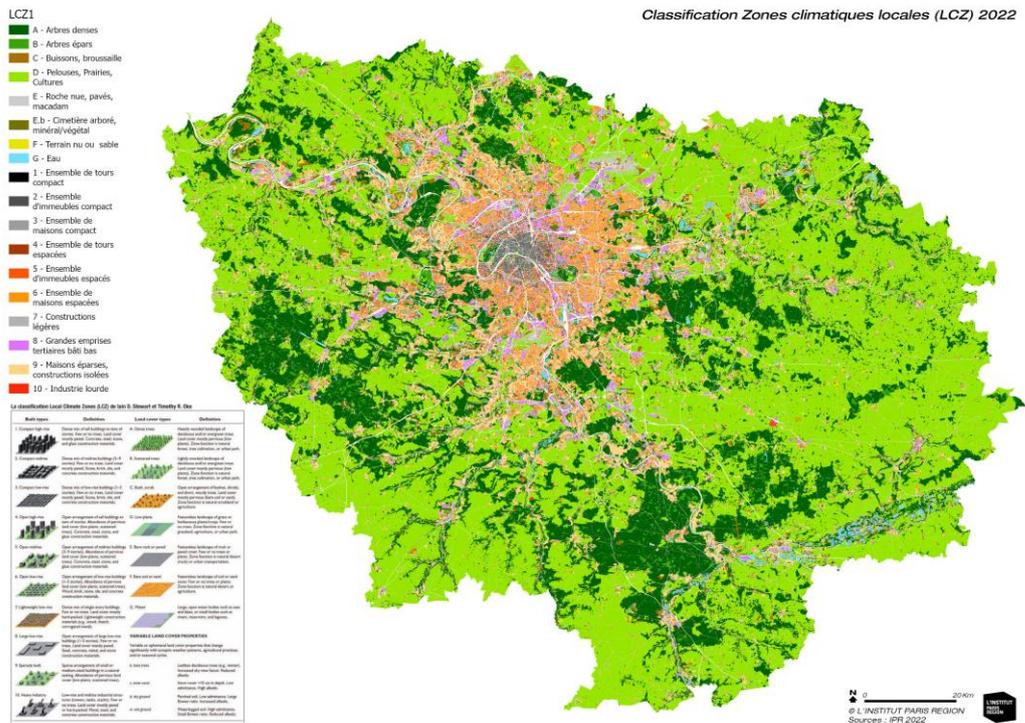
Tableau 2 : Valeurs standards des propriétés par type LCZ et analyse des types qui se démarquent

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 μ (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 α (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_F (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														0,1		
	Land cover Types																
	Type A =		Type B =		Type C =		Type D =		Type E =		Type F =		Type G =				
Indices	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	0,4	0,5	0,8	0,9	1	0,9	1	0,9	1	0,9	1	0,9	1	0,9	1
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	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	0	0,25
Classe de rugosité du terrain (de 1 à 8)	4	8	8	5	6	4	5	3	4	1	2	1	2	1	1	1	1
% de surface d'emprises bâties (de 0 à 100%)	5	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10
% 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	0	10
% de surface d'emprises perméables (de 0 à 100%)	7	90	100	90	100	90	100	90	100	0	10	90	100	90	100	90	100
Surface admittance μ (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	1500	1500
Albédo α (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	0,02	0,1
Flux de chaleur anthropogénique Q_F (de 0 à 400+ W/m²)	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Source : Institut Paris region, traitement d'après tableaux de résultats des études de villes de Stewart & Oke., 2011

Illustration 27 : Classification des Local Climate Zone - LCZ 2022 - en Île-de-France (L'institut)



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 2022. Il s'agit :

- du « Facteur de vue du ciel (SVF) » (Cf. Illustration 31, pages suivantes), 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. Illustration 32), 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. Illustrations 30 et 35), définie directement par la hauteur moyenne pondérée du bâti et le pourcentage de végétation haute ;
- du « Pourcentage de surfaces d'emprises bâties » (Cf. Illustration 36), 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. Illustration 36), 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. Illustrations 34, 35, 37), valeur déduite des 2 précédents indicateurs, le total des 3 surfaces totalisant 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 considérons les proportions de surface d'occupation du sol majoritaire et secondaire dans l'IMU que nous multiplions par la valeur unique correspondante (soit la valeur du centre de la fourchette des valeurs forfaitaires pour un LCZ et une propriété donnée) respectivement pour le « LCZ1 » et le « LCZ2 » (Cf. [Tableau 3, page suivante](#)). Il s'agit des propriétés LCZ suivantes :

- la « **Classe de rugosité du terrain** » (Cf. Illustration 38), 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 (Cf. Illustration 33) ;
- 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. [Illustration 29, page ci-après](#)) - est la résultante d'un indicateur composite qui a considéré la présence d'activité industrielle (Source MOS 2021, Institut Paris Region), les émissions linéaires de dioxyde de carbone (CO₂) 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, L'Institut Paris Region & AIRPARIF). Ces deux dernières composantes n'ont pas été mises à jour (faute de disponibilité de ces données à cette fine échelle).

Nous rappelons que pour la **composante de flux de chaleur liés aux moteurs de véhicules en circulation**, les données d'émission de CO₂, traceur de la combustion automobile, avaient été retenues sur les conseils d'AIRPARIF. Des traitements géographiques entre les brins routiers et les IMU avaient été opérés suivant une méthodologie adaptée (Cf. [Annexe 4](#)). Ainsi, à partir des valeurs

d'émission de CO₂ en 2010 du réseau routier francilien, les IMU à proximité se voyaient attribuer les notes d'« indice de combustion automobile » de 0 à 5 (Cf. *Illustration 28*).

Pour composer l'indicateur synthétique de Flux de chaleur anthropogénique, la note de 1 était 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 étaient multipliées par 2 dans le cas des IMU dont les ensembles bâtis s'avéraient compacts (cas des types LCZ 1, 2 et 3).

Tableau 3 : 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 Institut Paris Region d'après Stewart & Oke, 2011, L'Institut 2016

Illustration 28 : IMU et trafic routier au rejet potentiel de chaleur anthropogénique



Source : traitement SIG de L'Institut Paris Region d'après les Emissions linéaires de CO₂ du trafic routier d'Airparif, 2010 – L'Institut, 2016

Pour la **composante des pertes potentielles de chaleur liées à l'industrie lourde (procédés...)**, les postes du MOS 2021 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.

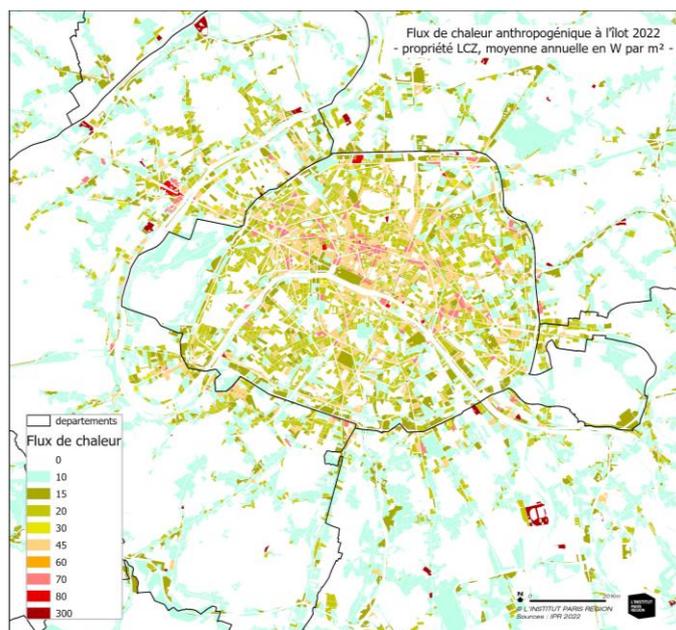
Pour la **composante de flux potentiels de chaleur anthropogénique liée au bâti**, le choix avait été fait de privilégier les consommations énergétiques du bâti tertiaire pour d'autres usages que la production d'eau chaude sanitaire et le chauffage en retenant tous les autres usages sans distinction 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 CENTER¹⁰ 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 avait 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 était comprise entre 1 500 et 10 000 MWh se voyaient attribuer 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 2, page 33](#)) sont utilisées pour proposer une correspondance entre des valeurs moyennes annuelles exprimées en W/m² 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 en raison de 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 potentiellement aussi dans l'augmentation de l'effet d'ICU (Cf. [Illustration 29](#)).

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 mises à jour pour les îlots 2022

Illustration 29 : Indice composite des « Flux de chaleur anthropogénique » à l'îlot 2022 (L'Institut)



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

Illustration 30 : Hauteur moyenne pondérée des immeubles à l'îlot, IMU 2022 (L'Institut)

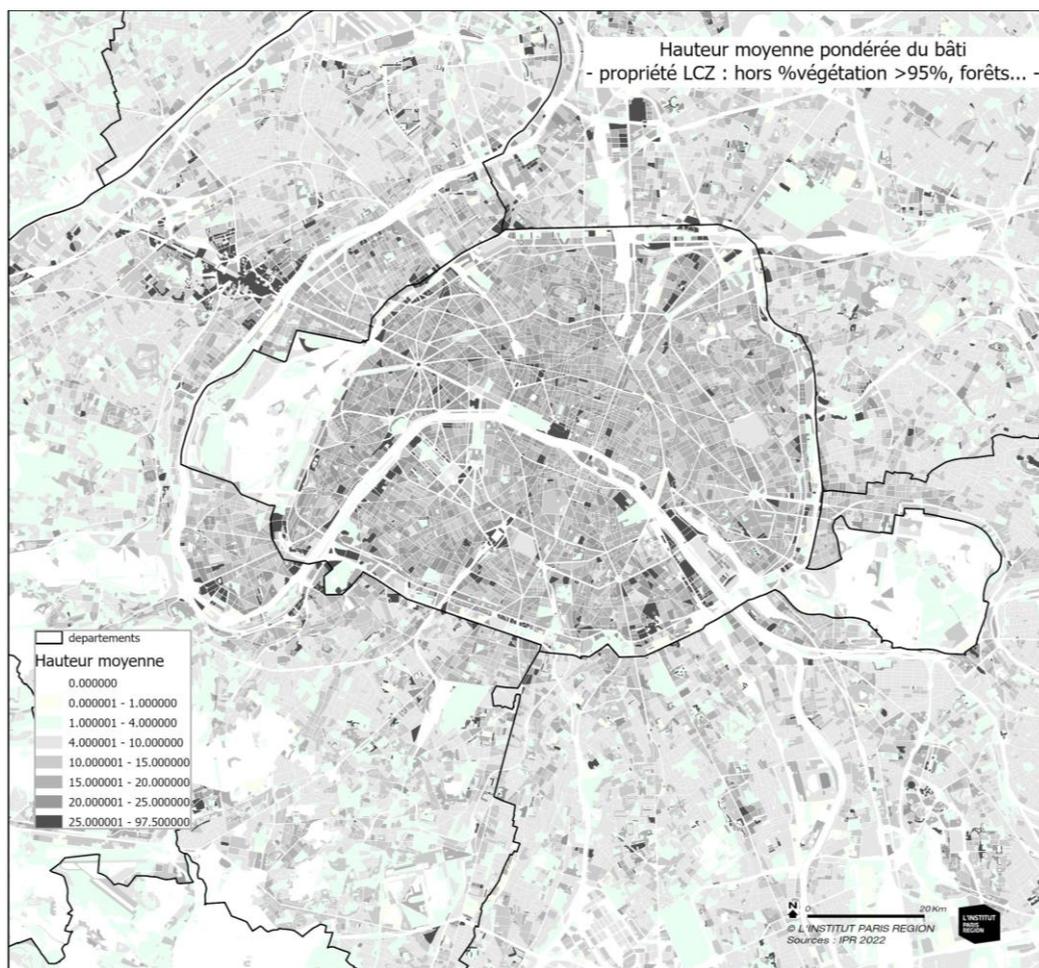


Illustration 31 : « Facteur de vue du ciel (SVF) » à l'îlot, IMU 2022 en Ile-de-France (L'Institut)

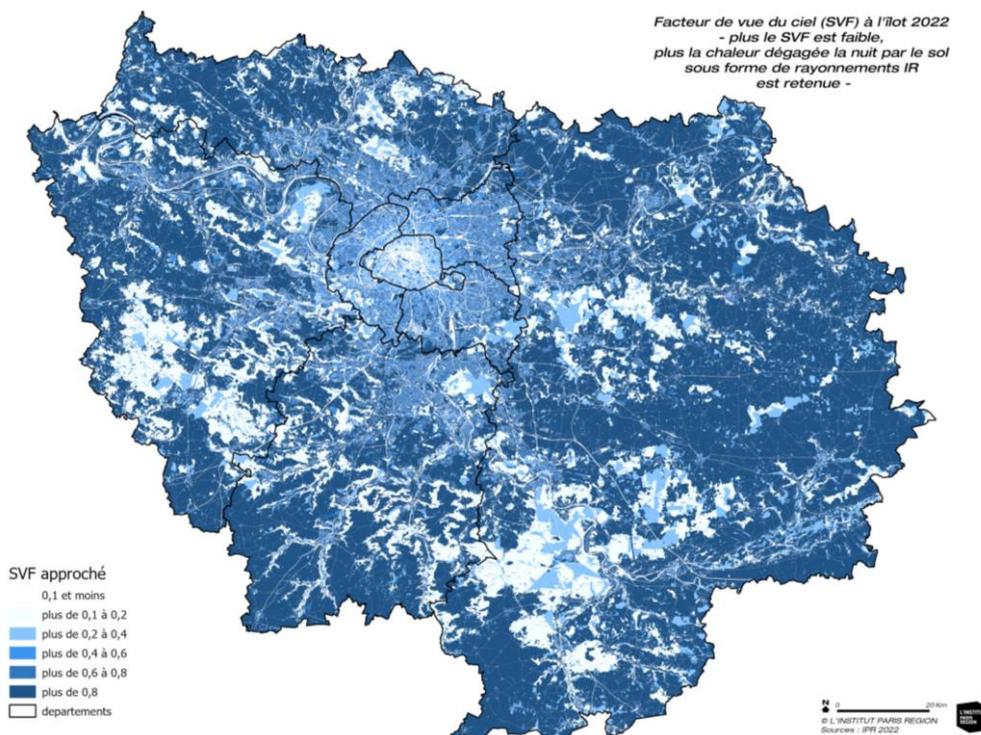


Illustration 32 : Indice de « rue canyon » à l'îlot, IMU 2022 en Ile-de-France (L'Institut)

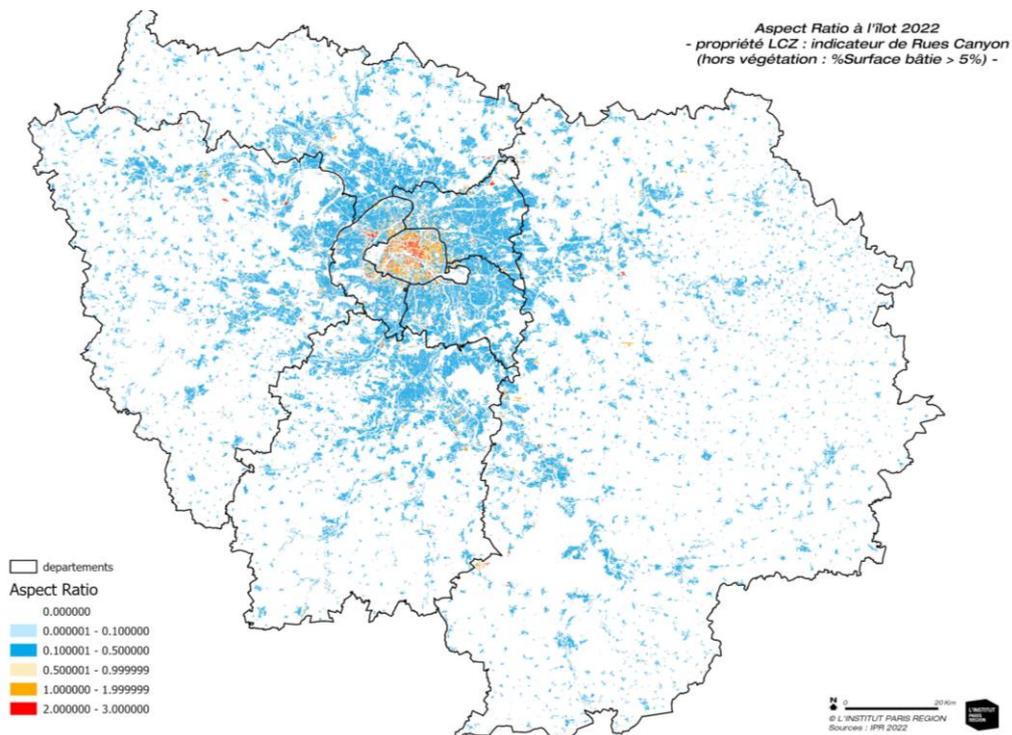


Illustration 33 : Représentation de l'albédo moyen à l'îlot, IMU 2022 (L'Institut)

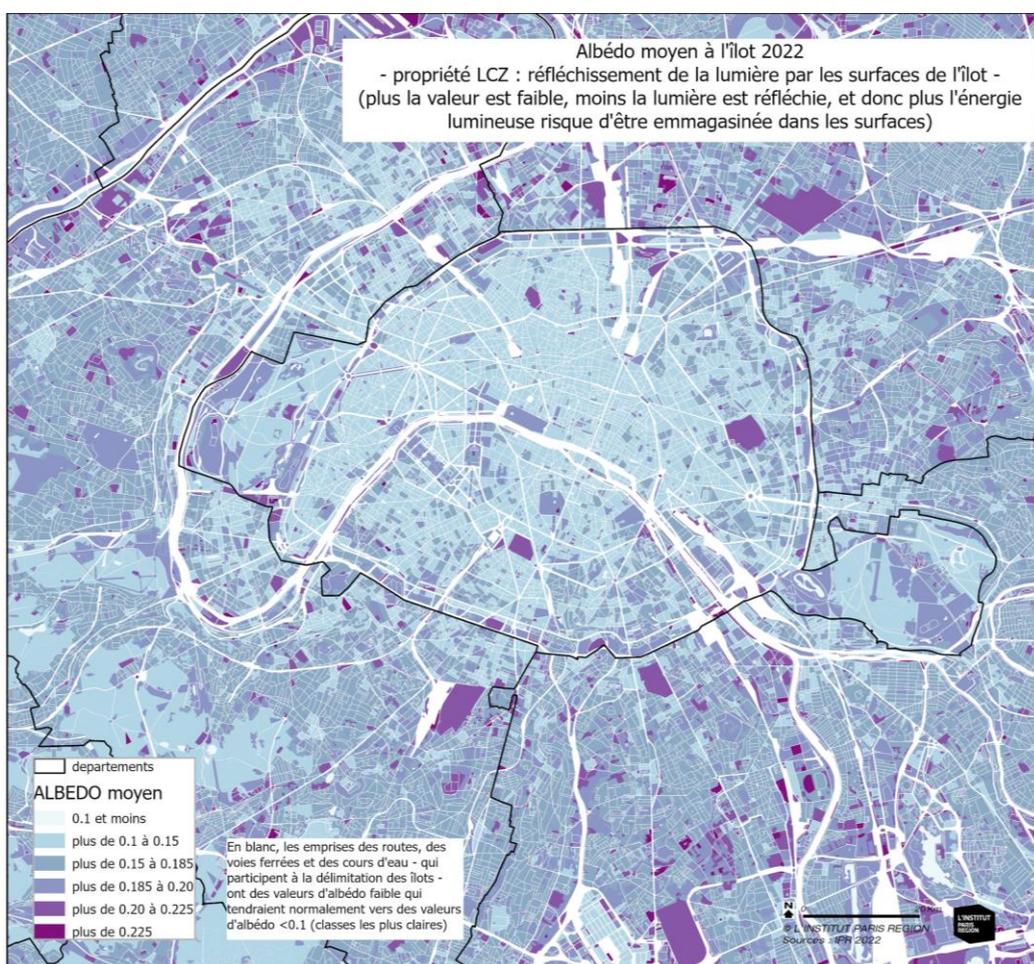


Illustration 34 : Taux de végétation par îlot, IMU 2022 (L'Institut)

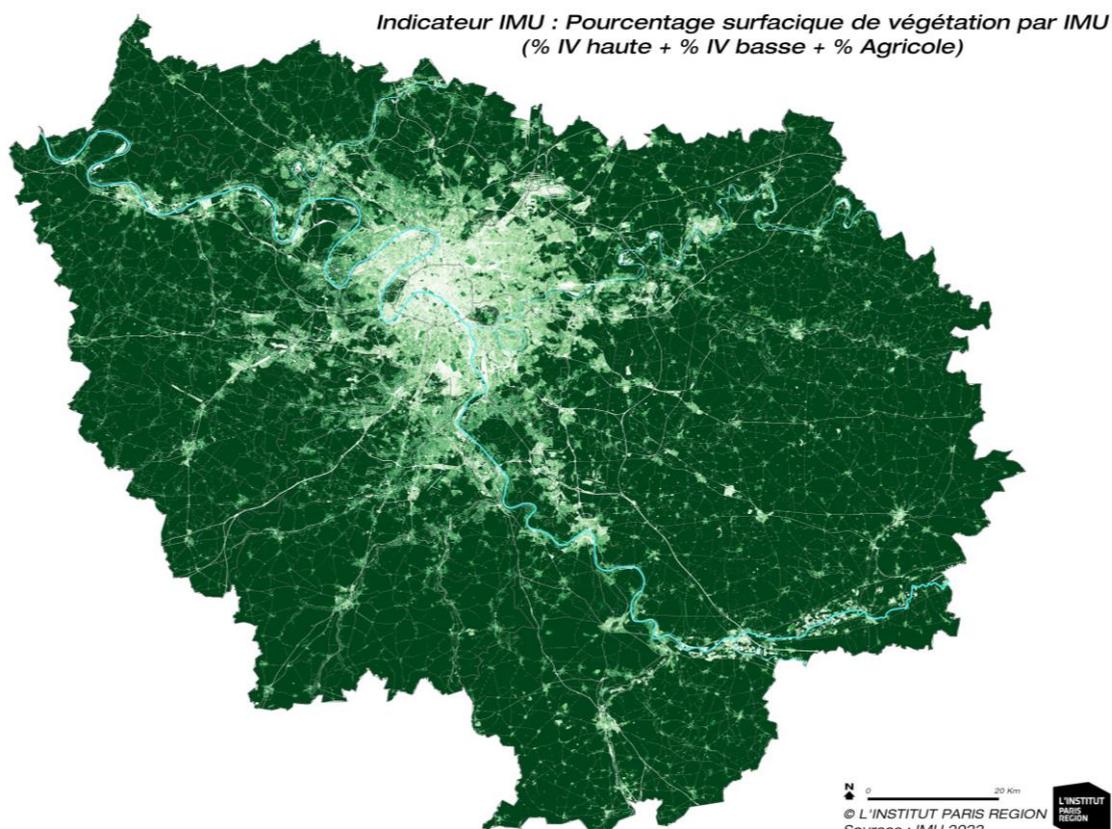


Illustration 35 : Représentation du taux de surface à l'îlot 2022 de la strate de végétation arborée parmi les différentes strates de végétation, d'après l'indice de végétation (L'Institut)

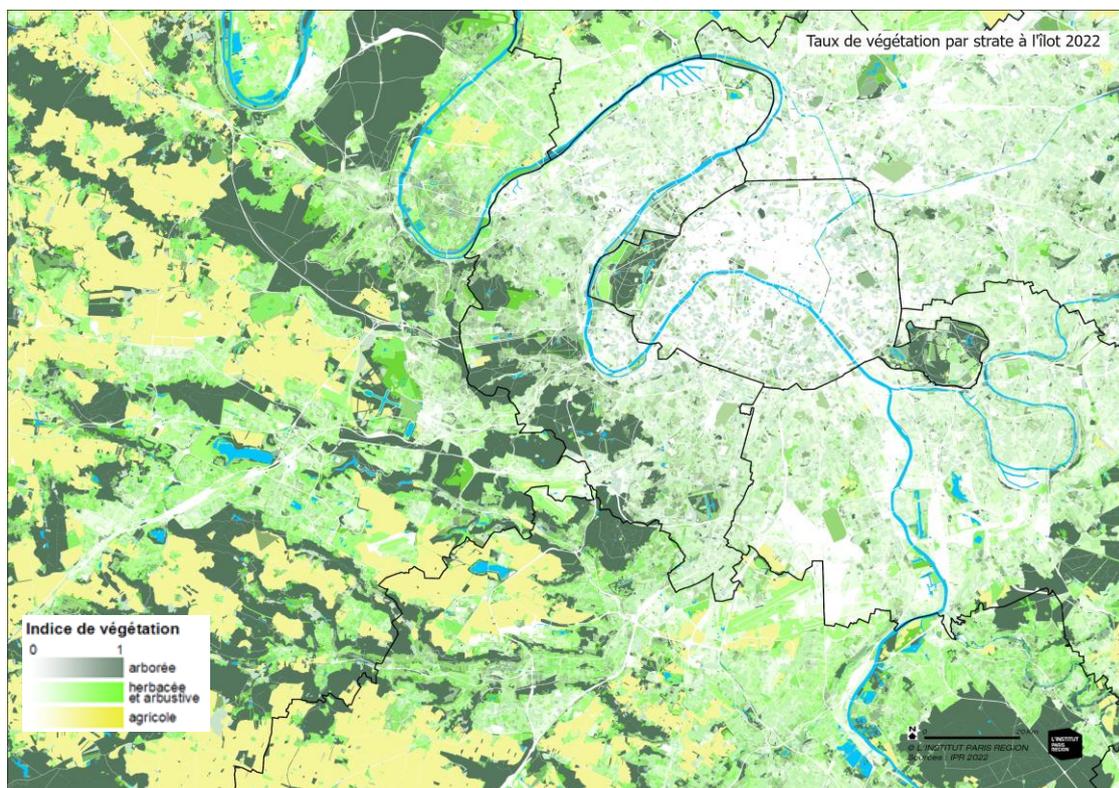
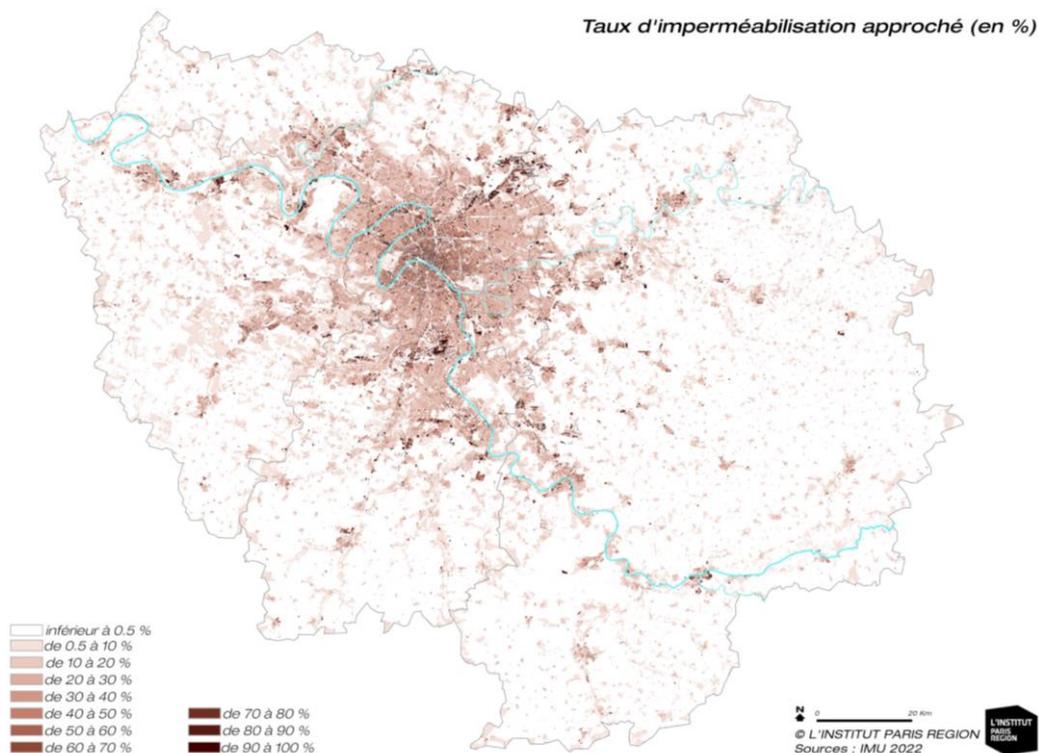


Illustration 36 : « Taux d'imperméabilisation approchée » (approche minimaliste, d'après le pourcentage des surfaces d'emprises bâties et de voiries revêtues) à l'îlot, IMU 2022 (L'Institut)



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 (liséré blanc des contours d'îlot)

Illustration 37 : Taux d'Imperméabilisation (approche corrigée par le taux de végétation) versus le taux de surface de pleine terre et d'eau à l'îlot, IMU 2022 (L'Institut)

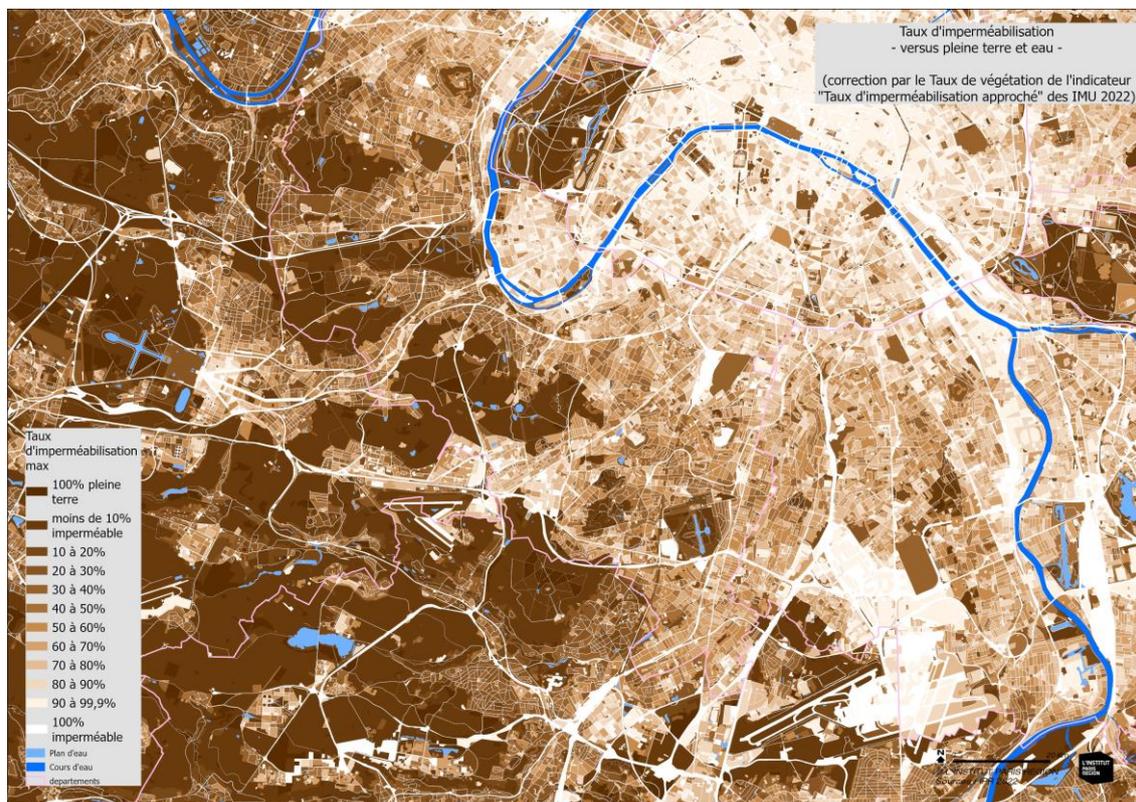
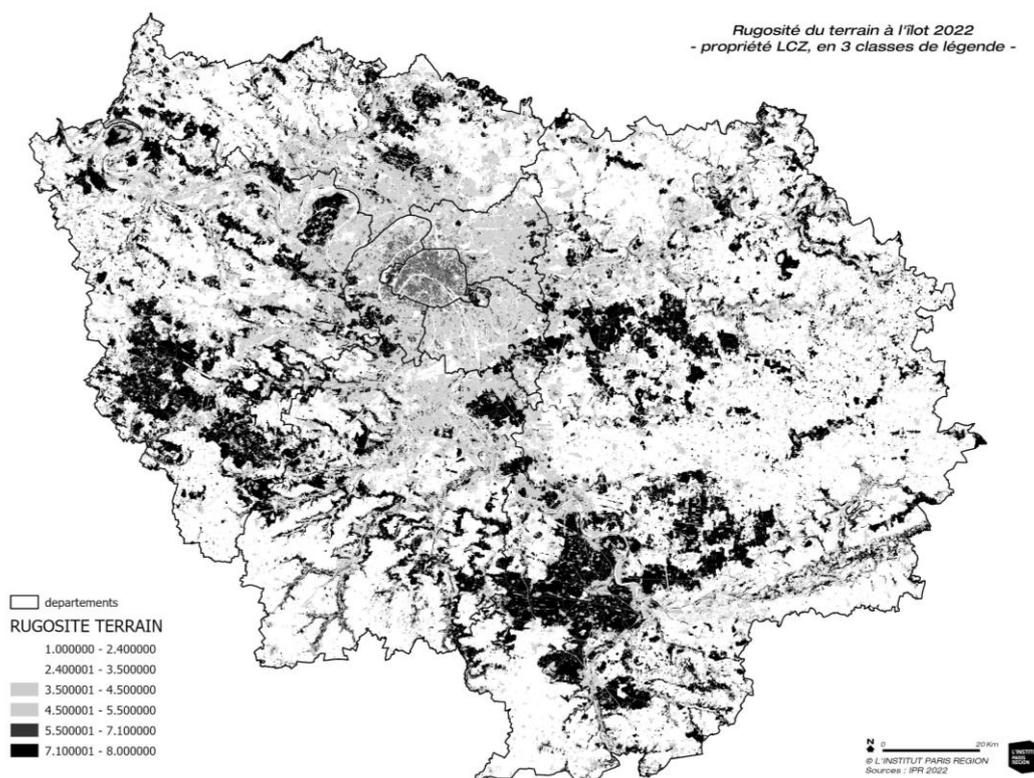


Illustration 38 : Représentation des « Classes de rugosité du terrain » par IMU 2022 (L'Institut)



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 4](#)). Les IMU de type « pâte de maisons » sont quatre fois plus petits en moyenne (1,4 ha) que les IMU d'espaces ouverts (6,5 ha).

Tableau 4 : Nombre et surface d'îlots par catégories LCZ urbain/ouvert en Île-de-France (L'Institut, 2022)

Total LCZ (Standard Set) des IMU - Ile-de-France			
	Nb d'IMU	Surface (ha)	Nb ha moyen par LCZ
Building types	109 511	157 219	1,4
Land cover types	151 533	989 622	6,5
Total	261 044	1 146 841	4,4

Le détail de l'ensemble des types « LCZ1 » est présenté dans les tableaux page suivante (Cf. [Tableaux 5 et 6](#)). 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 entreprises 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.

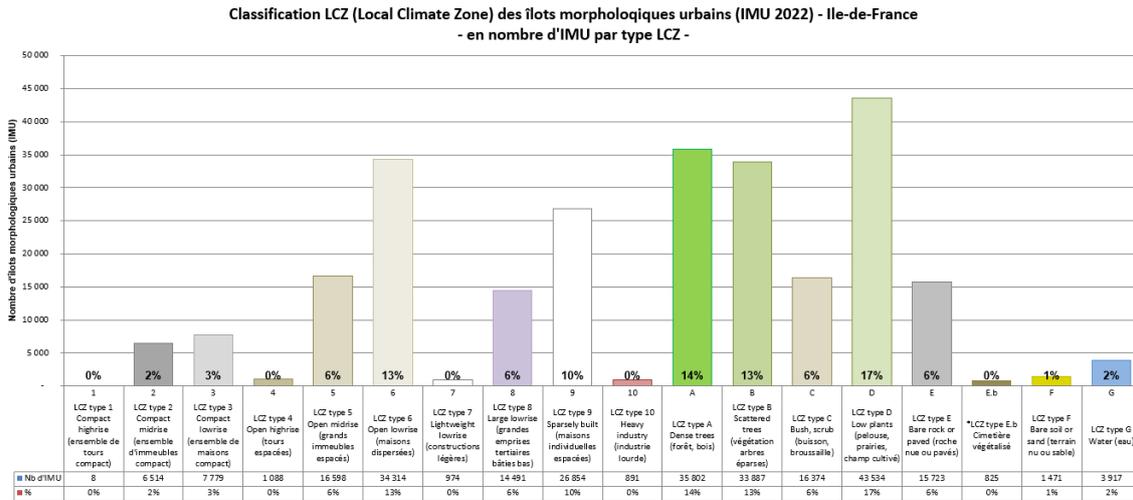
Tableau 5 : Nombre et surface d'îlots pour la catégorie LCZ « urbain » en Île-de-France (IMU 2022, L'Institut Paris Region)

Ile-de-France	Building types LCZ (Standard Set)				%
	LCZ1	Nb d'IMU	Surface (ha)	Nb ha moyen	
Type 1 = Compact highrise (ensemble de tours compact)	1	8	27	3,4	0,01
Type 2 = Compact midrise (ensemble d'immeubles compact)	2	6 514	6 854	1,1	5,95
Type 3 = Compact lowrise (ensemble de maisons compact)	3	7 779	6 107	0,8	7,10
Type 4 = Open highrise (tours espacées)	4	1 088	561	0,5	0,99
Type 5 = Open midrise (grands immeubles espacés)	5	16 598	19 266	1,2	15,16
Type 6 = Open lowrise (maisons dispersées)	6	34 314	45 021	1,3	31,33
Type 7 = Lightweight lowrise (constructions légères)	7	974	704	0,7	0,89
Type 8 = Large lowrise (grandes emprises tertiaires bâties bas)	8	14 491	20 215	1,4	13,23
Type 9 = Sparsely built (maisons individuelles espacées)	9	26 854	57 141	2,1	24,52
Type 10 = Heavy industry (industrie lourde)	10	891	1 322	1,5	0,81
Total		109 511	157 219	1,4	

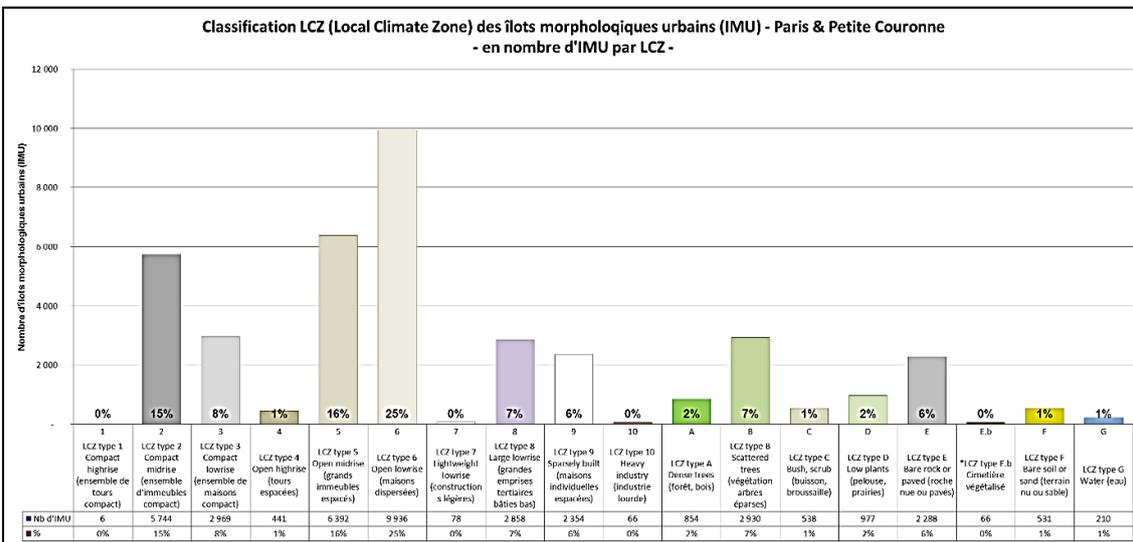
Tableau 6 : Nombre et surface d'îlots par catégories LCZ « ouvert » en Île-de-France (IMU 2022, L'Institut Paris Region)

Ile-de-France	Land cover types LCZ (Standard Set)				%
	LCZ1	Nb d'IMU	Surface (ha)	Nb ha moyen	
Type A = Dense trees (forêt, bois)	A	35 802	270 719	7,6	23,6
Type B = Scattered trees (végétation arbres éparses)	B	33 887	56 312	1,7	22,36
Type C = Bush, scrub (buisson, broussaille)	C	16 374	25 491	1,6	10,81
Type D = Low plants (pelouse, prairies)	D	43 534	609 994	14,0	28,73
Type E = Bare rock or paved (roche nue ou pavés)	E	15 723	13 964	0,9	10,38
*cimetière végétalisé	E.b	825	1 194	1,4	0,54
Type F = Bare soil or sand (terrain nu ou sable)	F	1 471	3 633	2,5	0,97
Type G = Water (eau)	G	3 917	8 315	2,1	2,58
Total		151 533	989 622	6,5	

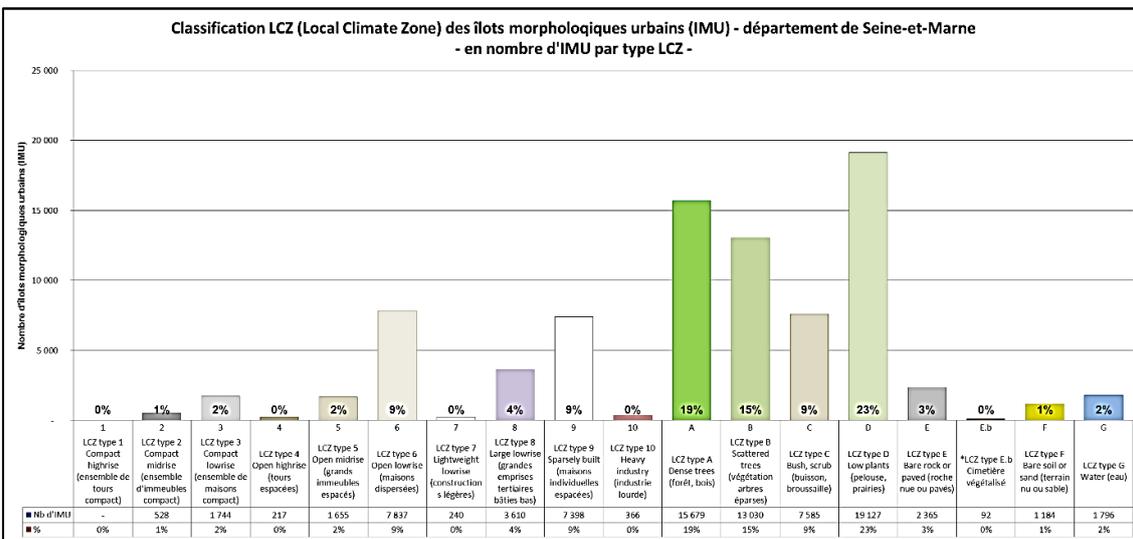
Graphe 1 : Distribution du nombre d'IMU 2022 par type « LCZ1 » en Île-de-France



Graphe 2 : Distribution du nombre d'IMU par type « LCZ1 » pour Paris & Petite couronne



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



4 - Détermination des zones à effet d'ICU en 2022

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). 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 14).

4.1 - Rappel du 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 7*).

Tableau 7 : Qualification des apports potentiels de fraîcheur via l'environnement immédiat de l'IMU

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% ET 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% ET 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 OU Proxi_MOS_Riviere = 1

Critère climatique supplémentaire : les données modélisées de l'effet d'ICU nocturne

Une pondération supplémentaire est ajoutée - uniquement pour la période nocturne - pour préciser le contexte d'augmentation de la température par l'effet d'ICU nocturne métropolitain tant en étendue spatiale qu'en intensité. La référence considérée est celle de la canicule sévère de 2003, à partir des données modélisées par la Recherche dans le cadre du projet MAPUCE, piloté par le CNRM-Météo France et financé par l'ANR (Cf. *pages 14 et 15*).

Les données initiales – croisées avec les IMU - sont des valeurs de degrés supplémentaires par maille de 250m x 250m- modélisées pendant une situation estivale propice à un fort îlot de chaleur urbain (type été 2003) et suivant deux configurations de vent (du sud-ouest, du nord-est). Cette pondération représente une valeur de 1 à 7 - par degré supplémentaire modélisés - sur un spectre de 29 valeurs possibles à l'issue du calcul arithmétique pour qualifier la hauteur de l'effet d'ICU la nuit.

Nous avons fait le choix de superposer les deux séries de résultats - par configuration de vent - en attribuant à chaque maille la valeur la plus élevée (Cf. *Illustration 11, p15*) ; cette approche s'avère

donc « maximaliste » tant en étendue spatiale qu'en intensité mais couvre l'intégralité du territoire potentiellement concerné par l'effet d'ICU métropolitain en lien avec l'étendue du continuum urbain de l'agglomération parisienne.

Ce critère vient en remplacement de l'indicateur de température de nuit tropicale observée lors de la canicule 2003 que nous avons précédemment utilisé (zone délimitée par l'isotherme plus 20°C la nuit) dont le zonage élevée (Cf. Illustration 8, p15) est proche des données modélisées MApUCE.

Principe de pondération

Nous avons retenu le principe de notation des effets propriété par propriété (effet de seuil et pondération) pour déterminer globalement l'effet de chaleur/fraîcheur 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 ci-dessous et page suivante (Cf. Tableaux 8 et 9).

Tableau 8 : Seuils et notations par propriété pour qualifier l'effet d'ICU diurne (L'Institut, 2022)

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_VOLUMIQUE	Nombre de surfaces bâties		<=1	>1à5	>5		0	2	4	
	CLASSE_IMU	Ventilation de îlot		<31	31 à 36	>36		1	2	3	
Rugosité minérale/végétale source de perturbations radiatives (ombrage) et d'obstacles aux circulations des masses d'air	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	DENSI_BATI_VOLUMIQUE > 1
	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 l'îlot	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 <=020	<= 0,15		-2	1	2	
Chaleur anthropogénique	FLUXCHALEUR	Chaleur produite par l'activité humaine		<=10	>10 à 30	>30		0	1	2	

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 24 la nuit, potentiellement effet d'ICU fort.

Tableau 9 : Seuils et notations par propriété pour qualifier l'effet d'ICU nocturne (L'Institut 2022)

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					0	2	4	
	CLASSE_IMU	<=1	>1 à 5	>5						
Rugosité minérale/végétale source de perturbations radiatives (ombrage) et d'obstacles aux circulations des masses d'air	SVF	Ventilation de l'îlot					1	2	3	
	ASPECTRATIO	>0,6	0,6 à 0,4	<0,4			-2	2	4	
	IV_haute	Obstacle à la vue du ciel								
		<=0,5	>0,5 à <2	2 à 3			0	2	4	DENSI_BATI_VOLUMIQUE > 1
Propriétés thermiques des matériaux et des surfaces avec ou sans eau (rafraîchissement)	F_SurfPermeable	Rues étroites bordées d'immeubles hauts								
	SURFADMITTANCE	>60	>30 à 60	<=30			-1	2	3	
	F_VEGETATION	Ombrage lié aux arbres								
	Proxi_LCZ_Arbres	66 à 100	33 à <66	10 à <33	<=10	-1	-1	0	0	
	DENSI_EAU	Impérialisation des sols								
Proxi_Eau	Proximité de l'îlot à un cours d'eau ou à un plan d'eau									
		>0,30	>0,15 à 0,30	0,05 à 0,15	<0,05	1	1	0	0	
		Proximité de l'îlot à un cours d'eau ou à un plan d'eau								
		oui		non		1		0		
		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					0	0	1	
		<=10	>10 à 30	>30						

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 60% des îlots franciliens, ces derniers représentant 38% en surface.

L'effet d'ICU la nuit est significatif à très significatif pour près de 13% et 3% respectivement en nombre d'îlot et en surface associée (effet d'ICU moyen ou fort). Nous observons une augmentation de ces chiffres par rapport à la première interprétation – sur la base des IMU 2012 – de l'effet d'ICU en Île-de-France. Les améliorations méthodologiques, d'une part, et l'évolution de l'urbanisation (densification) d'autre part, peuvent expliquer cette évolution. (Cf. Tableaux 10, 11, 12 et 13).

L'effet d'ICU fort - le plus prononcé - concerne nettement plus la période nocturne que celle diurne, près du double des îlots étant concernés tant en nombre qu'en surface correspondante. Ce résultat est comparable à ce que nous avons déjà observé (2012), avec cependant une réduction des écarts.

La classe d'effet ICU faible à neutre (classe 2) est la plus représentée en nombre d'îlot, le jour (55%) comme la nuit (47%) devant le nombre d'îlots à effet de fraîcheur (classe 1), avec 28% et 40%, respectivement le jour et la nuit.

Tableau 10 : Nombre d'îlots par nature d'effet ICU en Ile-de-France (L'Institut, 2022)

Nombre d'îlots (IMU)		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	-5 à 0	72 782	27,9%	83,1%	-4 à 0	104 552	40,1%
Faible effet d'ICU	Classe 2	1 à 6	144 027	55,2%		1 à 6	122 803	47,0%
Effet d'ICU moyen	Classe 3	7 à 12	37 648	14,4%	16,9%	7 à 12	21 613	8,3%
Effet d'ICU fort	Classe 4	13 à 18	6 593	2,5%		13 à 23	12 082	4,6%
total			261 050	100%		261 050	100%	

Tableau 11 : Rappel du nombre d'îlots en 2012 par nature d'effet ICU en Ile-de-France (IAU idF)

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%	
Total			237 161	100%	100%		237 161	100%	100%

En superficie, en revanche, nous observons une inversion des proportions entre le jour et la nuit entre les classes 1 et 2. Le jour, la classe 2 est sur-représentée (2 tiers de la superficie francilienne, 66% de la surface des IMU) et la classe 1 d'effet de fraîcheur concerne moins de 30% des IMU en superficie. La nuit, le rafraîchissement s'observe sur plus de 58% du territoire, et la classe 2 représente moins de 31% des IMU en superficie. Cela témoigne de contrastes de température par effet d'ICU moins marqués le jour entre la ville et la campagne ; en outre, l'effet d'ombrage – protecteur - est apporté principalement par les surfaces boisées tandis que les îlots de prairies et champs cultivés restent très exposés au soleil (Cf. Tableaux 12 et 13).

Tableau 12 : Superficie des îlots par nature d'effet ICU en Ile-de-France (L'Institut, 2022)

Surface d'îlots (IMU) en km²		Effet d'ICU le jour				Effet d'ICU la nuit			
Type d'effet	Regroupement	Notes	km² d'IMU	%		Notes	km² d'IMU	%	
Effet de fraîcheur	Classe 1	-5 à 0	3 400	29,6%	95,9%	-4 à 0	7 060	61,6%	96,8%
Faible effet d'ICU	Classe 2	1 à 6	7 599	66,3%		1 à 6	4 036	35,2%	
Effet d'ICU moyen	Classe 3	7 à 12	411	3,6%	4,1%	7 à 12	246	2,1%	3,2%
Effet d'ICU fort	Classe 4	13 à 18	58	0,5%		13 à 23	126	1,1%	
total			11 469	100%	100%		11 469	100%	100%

Tableau 13 : Rappel de la Superficie des îlots en 2012 par effet d'ICU en Ile-de-France (IAU idF)

Surface d'îlots en km²		Effet d'ICU le jour				Effet d'ICU la nuit			
Type d'effet	Regroupement	Notes	km² d'IMU	%		Notes	km² 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%	
Total			11 498	100%	100%		11 498	100%	100%

En anticipant quelque peu sur l'évaluation de la vulnérabilité à la chaleur urbaine, une première appréciation des populations résidant dans les îlots sujets à effet d'ICU (indicateur d'exposition de la population globale) ajoute une clé de lecture supplémentaire à la distribution de ces résultats précédemment décrits en nombre d'îlots et en superficie.

Ainsi, pour la nuit, plus d'un Francilien sur deux (51%) réside dans un « pâté de maisons » à effet d'ICU significatif (moyen à fort). Ce chiffre est de plus en légère augmentation par rapport à notre précédente étude sur la base de IMU 2012.

Illustration 39 : Amplification de l'aléa Vague de chaleur, Zones à effet d'ICU le jour (L'Institut, 2022)

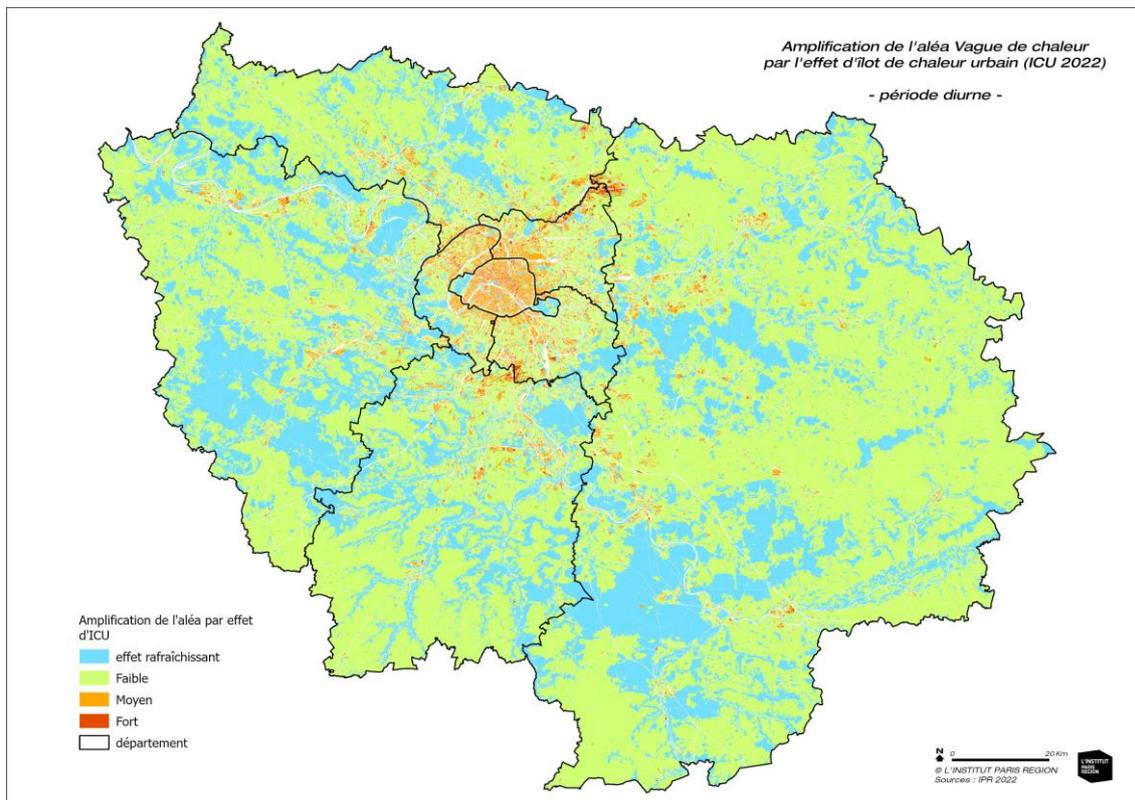
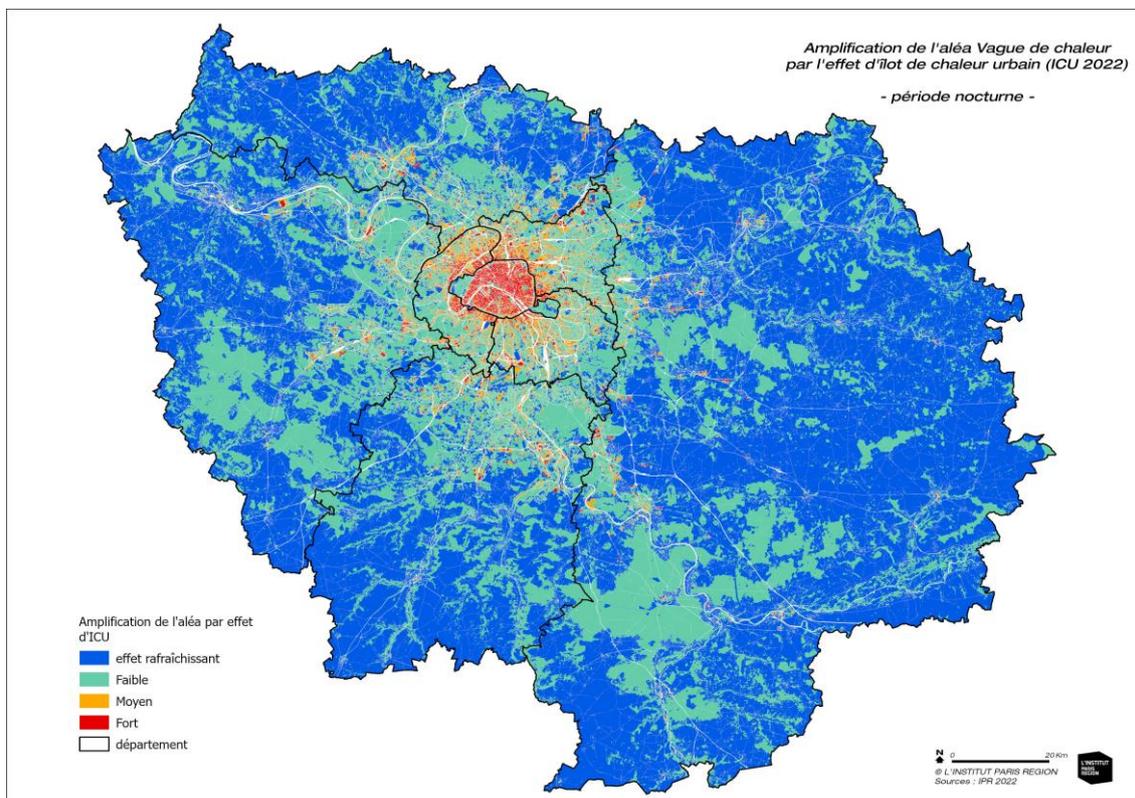


Illustration 40 : Amplification de l'aléa Vague de chaleur, Zones à effet d'ICU la nuit (L'Institut, 2022)



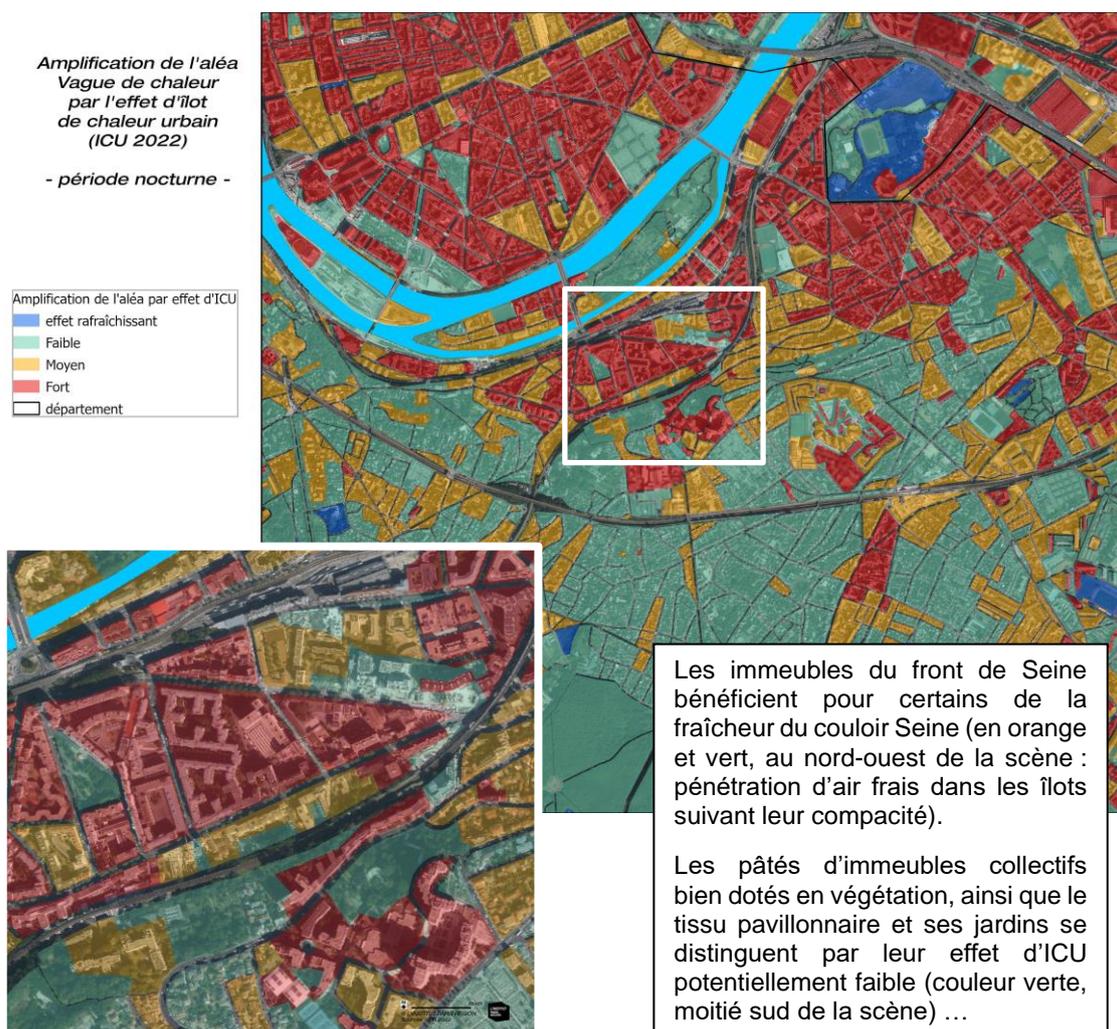
Ces différences d'exposition sont très contrastées la nuit entre l'ensemble Paris et petite couronne (99% et 63% de la population en îlot ICU moyen à fort) et la grande couronne. Paris est de loin le territoire le plus concerné pour l'exposition de la population aux effets d'ICU les plus forts.

Tableau 14 : Répartition territoriale des populations par effet d'ICU en Ile-de-France, la nuit (IMU 2022)

Population / ICU	Paris		Petite couronne		Grande couronne		Ile-de-France	
	%	%	%	%	%	%	%	%
Effet de fraîcheur	0,0%	0,7%	1,3%	36,8%	35,3%	79,0%	16,0%	48,9%
Faible effet d'ICU	0,6%		35,5%		43,7%		32,8%	
Effet d'ICU moyen	11,5%	99,3%	36,9%	63,2%	16,8%	21,0%	23,5%	51,1%
Effet d'ICU fort	87,9%		26,3%		4,2%		27,7%	

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 41).

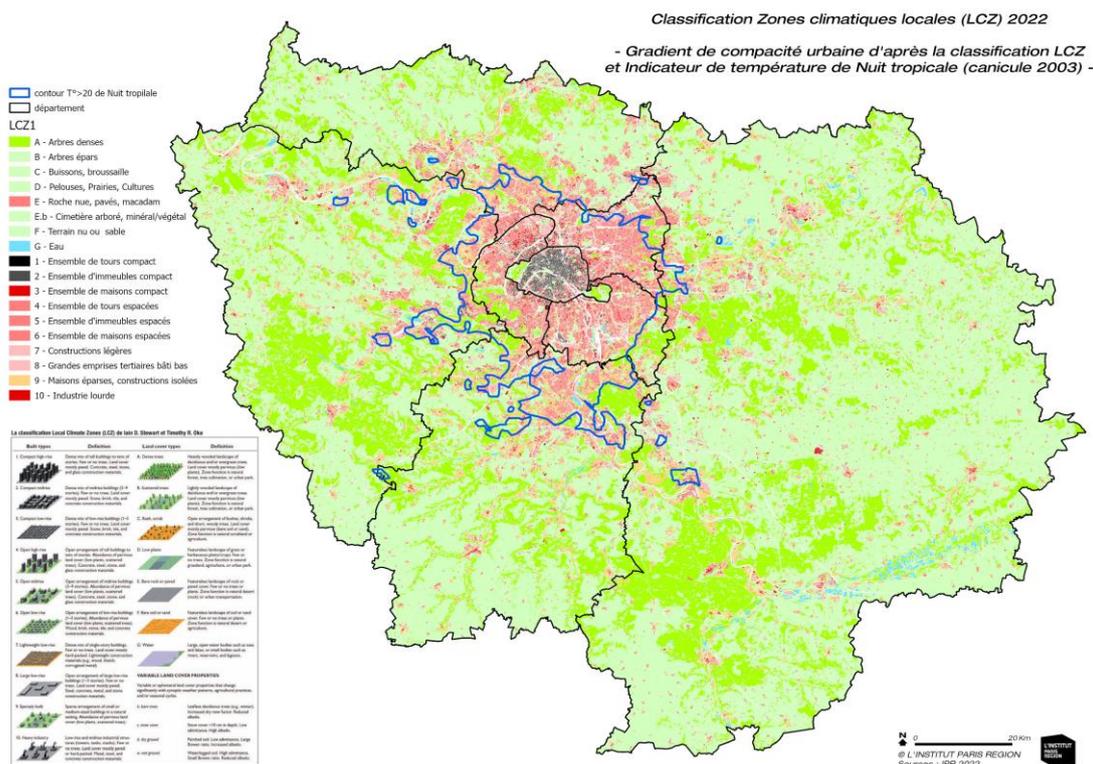
Illustration 41 : Amplification de l'aléa Vague de chaleur, Zones à effet d'ICU la nuit dans le secteur de Boulogne-Billancourt, Clamart, Issy-les Moulineaux, Meudon (L'Institut, 2022)



La considération de l'effet d'ICU métropolitain comme élément d'influence pouvant intervenir dans ce phénomène complexe de chaleur en excès (à l'exemple du transport de la chaleur générée par la ville par l'effet du vent, même faible) se justifie pour apprécier les interactions entre l'effet global du continuum urbain et les effets locaux des îlots - MICU versus IFU - liées aux caractéristiques typomorphologiques des îlots (IMU).

Si nous superposons le périmètre de température de nuit tropicale observée pendant toute la durée de la canicule de 2003 à la carte des LCZ, nous observons déjà une correspondance très marquée entre le gradient de densité et de compacité de l'urbanisation tel que l'exprime la classification LCZ et le périmètre de température de nuit tropicale (Cf. *Illustration 42*).

Illustration 42 : Gradient de compacité des LCZ et Limite de Température de nuit tropicale en 2003 (IMU 2022, L'Institut)



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.

Cette correspondance s'observe aussi avec les résultats issus de notre méthode d'interprétation des zones sujettes à effets d'ICU introduisant la donnée modélisée pour l'effet d'ICU nocturne de la canicule 2003 des données du projet MApUCE (Cf. *Illustration 43*). L'étendue spatiale correspondant à la limite extérieure de la zone de température de nuit tropicale observée en 2003 comprend la grande majorité des IMU à effets d'ICU moyen à fort.

Cette pondération intermédiaire, compte tenu de l'importante gamme de valeurs dans laquelle s'expriment les notes de synthèse d'effet d'ICU (de -4 à +23), ne peut à elle seule expliquer la bonne correspondance territoriale entre les deux géographies : entre celle de l'extension territoriale des températures nocturnes excessives modélisées pour la canicule de référence 2003, et celle, interprétée à partir des caractéristiques urbaines (propriétés LCZ) participant à déterminer les gradients d'effet d'ICU potentiel la nuit.

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

Illustrations 43 et 43 bis : Zones à effet d'ICU la nuit et limite - en rose - de température de nuit tropicale observée lors de la canicule de 2003 : du gradient au regroupement en classes d'effet d'ICU (ICU 2022, L'Institut Paris Region)

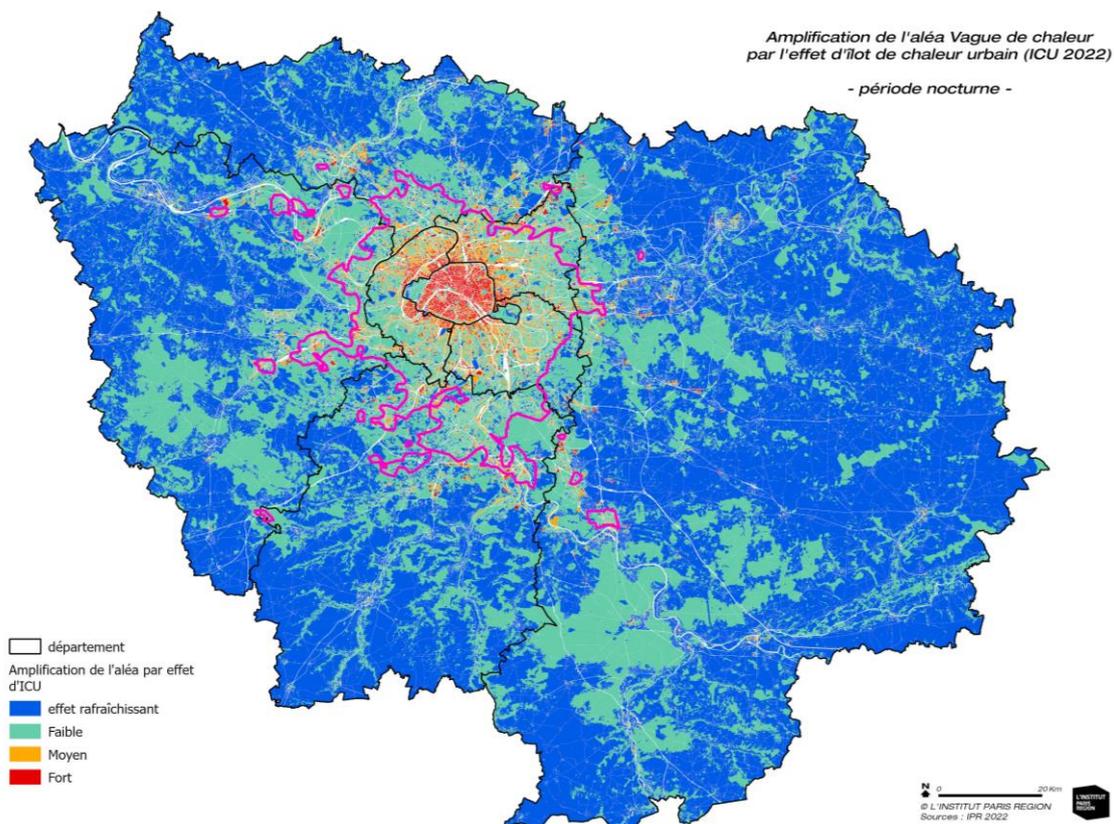
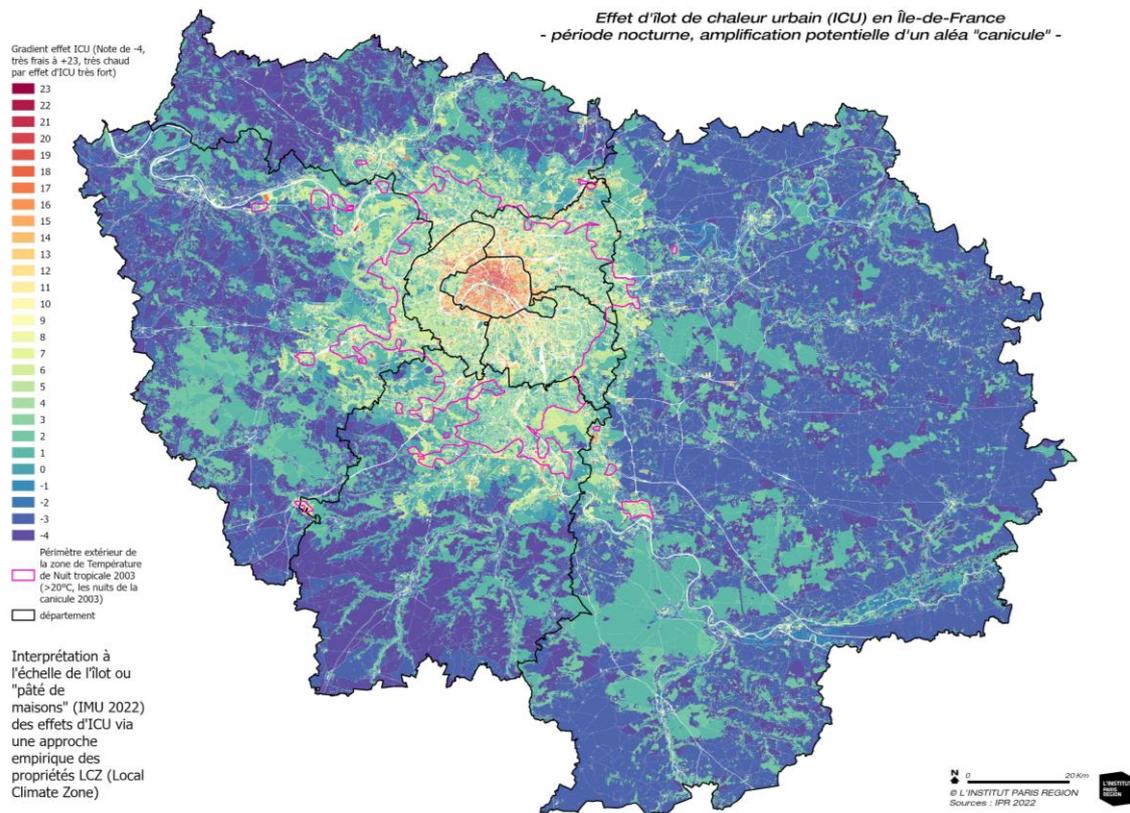
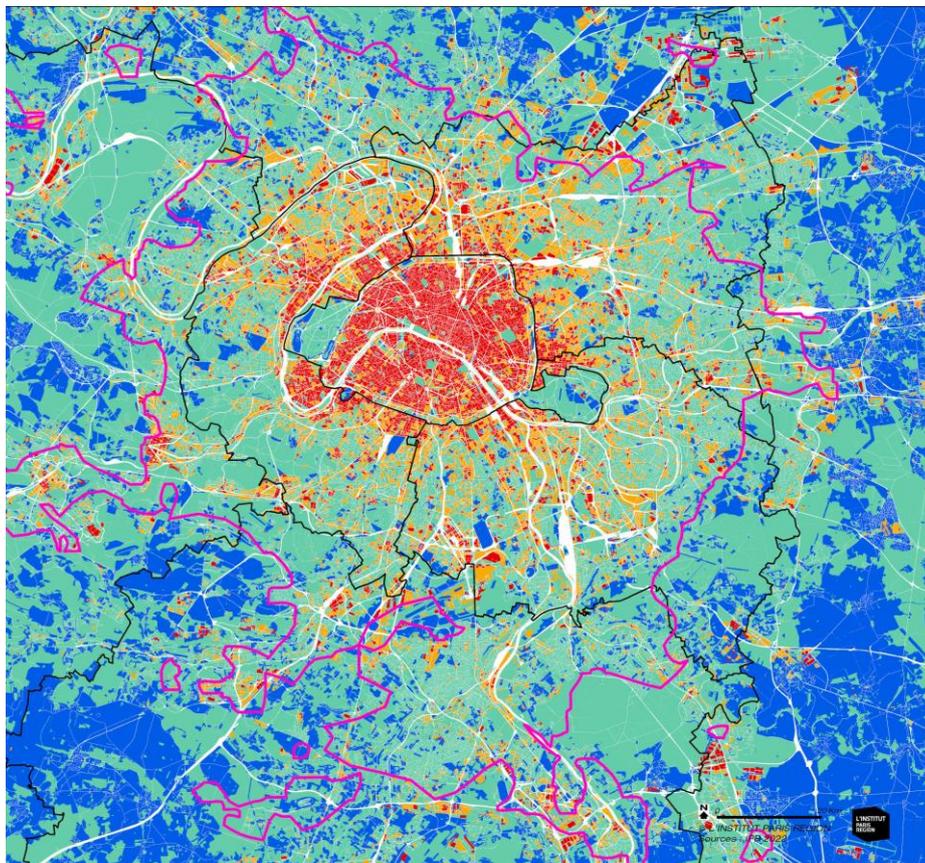


Illustration 43 ter : Zoom sur l'agglomération parisienne des classes d'effet d'ICU la nuit et limite - en rose - de température de nuit tropicale observée lors de la canicule de 2003 (ICU 2022, L'Institut Paris Region)



Zones à effet d'ICU faible, moyen et fort la nuit (vert, orange et rouge) versus zones de rafraîchissement nocturne (en bleu) comparées à la limite extérieure (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).

Evaluer la vulnérabilité des territoires à la chaleur urbaine et proposer des registres de solutions d'adaptation

1 - Principe méthodologique

Le principe théorique d'étude de la vulnérabilité à la chaleur urbaine en lien avec les enjeux est présenté dans le premier chapitre de ce rapport (Cf. pages 5 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 :

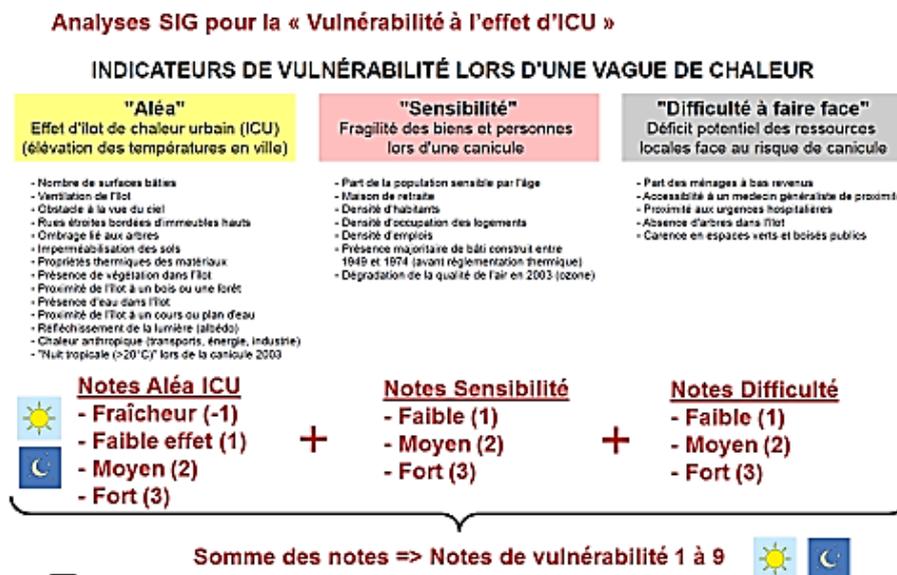
- l'aléa « vague de chaleur » via son amplification par l'effet d'ICU (aléa effet d'ICU) ;
- la sensibilité des biens et des populations à la chaleur urbaine : fragilités humaine et de l'habitat
- la difficulté à faire face : ressources territoriales disponibles et capacité à affronter les conséquences 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)



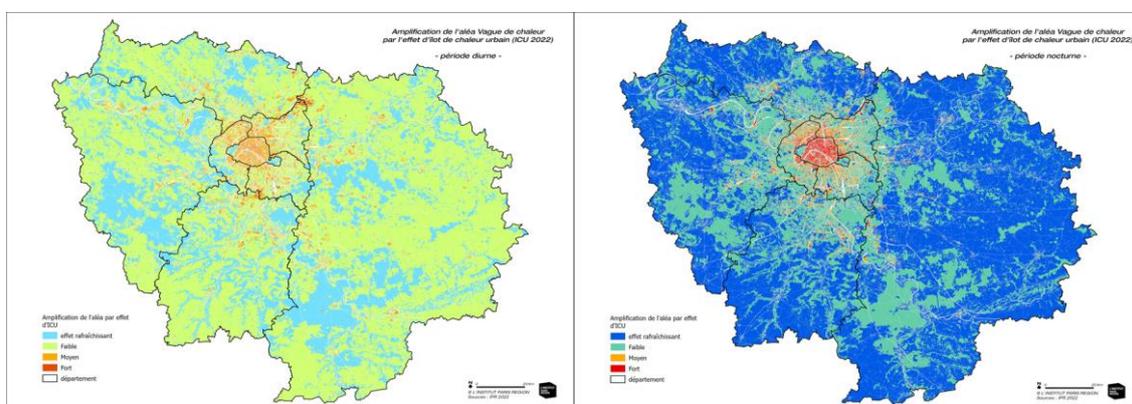
2 - Composantes de la vulnérabilité à la chaleur urbaine : aléa, sensibilité, difficulté à faire face

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).

Illustrations 39 et 40 : Amplification de l'aléa Vague de chaleur par effet ICU, le jour et la nuit (L'Institut)



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 \[3\], pages 16 à 22](#)) 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 utilisé. 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, 2016 et 2019) ; issus de la couche IMU 2022 (Cf. [description page 25](#)), les attributs « DENS_EMPLOI_IMU » et « DENS_HAB_IMU » sont directement utilisables (Cf. [Illustrations 44 et 45, page 57](#)) ;

- 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 Filosofi maille 2017) ;

...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 2018 de la base Equipement (BDEQIF_01_09_2020.gdb) de l'Institut, pour informer de la présence de ce type d'établissement dans un îlot (attribut « Maison_Retraite »).

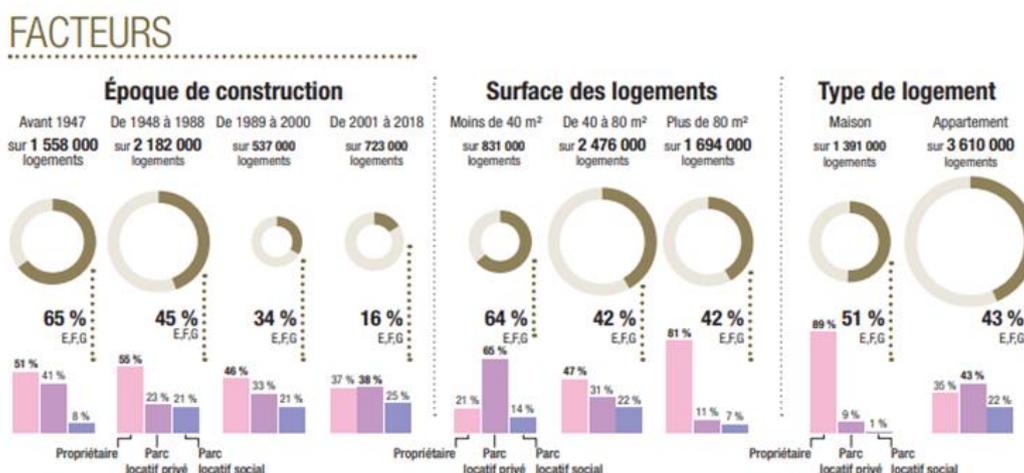
Pour les données statistiques relatives à l'âge, elles proviennent d'un traitement des données de la couche carroyée de l'INSEE - base Filosofi 2017 (maille 200 ; couches de carreaux et de rectangles et tables attributaires) avec une répartition des effectifs de chaque variable d'un rectangle vers tous 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. Illustration 46, page 60) - la densité de population étant déjà un critère utilisé (DENS_HAB_IMU) - afin de ne pas sureprésenter 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. [Illustration 47, page 58](#)).

- l'inconfort potentiel de l'habitat,

au regard, d'une part, de la **densité d'occupation des logements** – pour apprécier le risque potentiel d'inconfort lié à la sur occupation humaine dans le logement – via la couche IMU 2022 et son indicateur « DENS_POPMEN_M2PLANCHER » ;

et d'autre part, d'un indicateur approché des **logements énergivores ou logements à faible performance énergétique (DPE)** pour apprécier les risques d'entrée de chaleur dans le bâtiment ; pour déterminer cet indicateur, deux facteurs principaux qui interviennent dans la distribution des logements à faible performance (étiquettes DPE E,F ou G) d'après l'analyse du parc francilien ont pu être considérés : les époques de construction et le type de logement (individuel ou collectif).



Source : Note Rapide n°957, AREC, L'Institut Paris Region

Ainsi, pour les îlots présentant plus de 33% de surfaces planchers d'habitat (collectif + individuel) sur le total de surfaces plancher du bâti, un jeu de pondération permet de mettre en avant les îlots présentant potentiellement un parc de logements à faible performance (étiquettes énergétiques E, F, G) : selon l'époque de construction majoritaire (avant 1948, pondération 4 ; entre 1949 et 1989, pondération 2) et selon le type d'habitat (maison, pondération 2, appartement, pondération 1). Les attributs « AGE_BATI_MAJORITAIRE », SURF_M2PLANCHER_BATI_SURFACIQUE, SURF_M2PLANCHER_BATI_HABINDIV ; SURF_M2PLANCHER_BATI_HABCOLL de la couche IMU 2022 (Cf. [description page 25](#)) ont été utilisés (Cf. [Illustrations 48 et 49, page 59](#)).

A noter, pour la précédente évaluation 2012 du critère des logements économes, nous n'avions retenu que l'époque de construction (« AGE_BATI_MAJORITAIRE ») entre 1949 et 1989 pour souligner la probabilité potentielle de « passoires thermiques ».

- **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). Cet indicateur reste inchangé pour cette mise à jour 2022.

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. [Illustration 51, page 60](#)).

- L'isolement des personnes (quel que soit l'âge de l'individu)
Un critère supplémentaire de sensibilité a été ajouté dans cette mise à jour parce qu'il est fréquemment retrouvé parmi les indicateurs de sensibilité : il s'agit de l'isolement des personnes. Nous avons retenu la donnée des ménages de l'INSEE à la maille (base INSEE Filosofi maille 2017, Cf. [Annexe 6](#)). Le nombre de ménages isolés est approché par l'indicateur du nombre de ménages composés d'un individu (Cf. [Illustration 50, page 60](#)).

Illustration 44 : Représentation de l'attribut « DENSI_EMPLOI_IMU » 2019 à l'îlot (L'Institut)

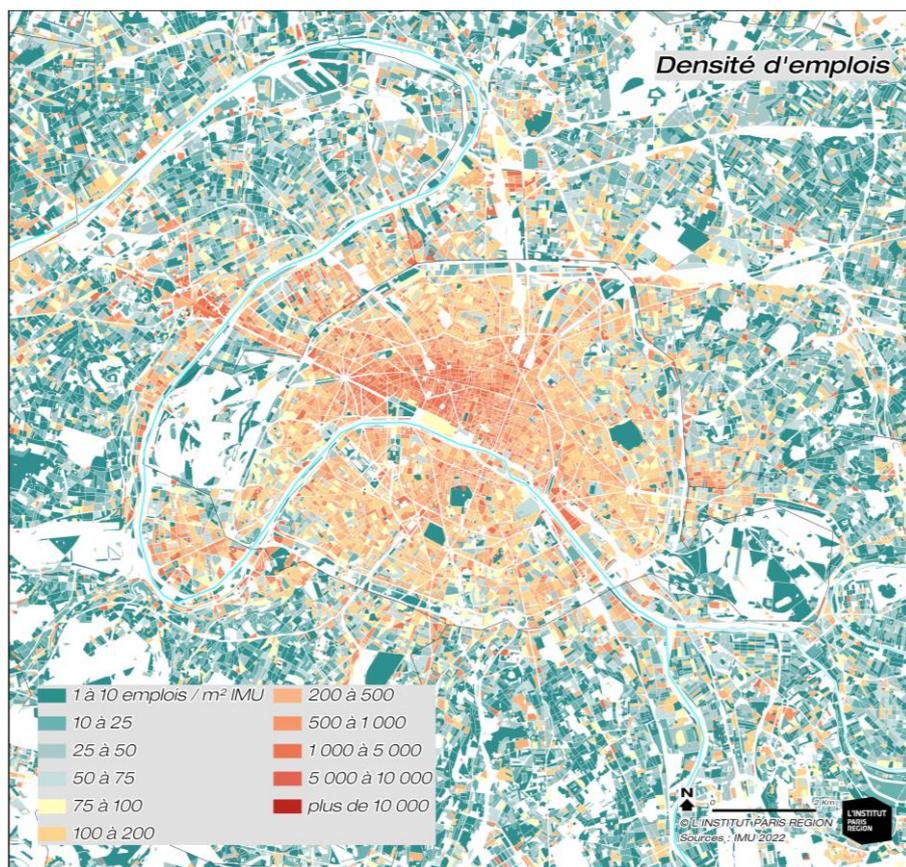


Illustration 45 : Représentation de l'attribut « DENSI_HAB_IMU » à l'îlot (IMU 2022 – L'Institut)

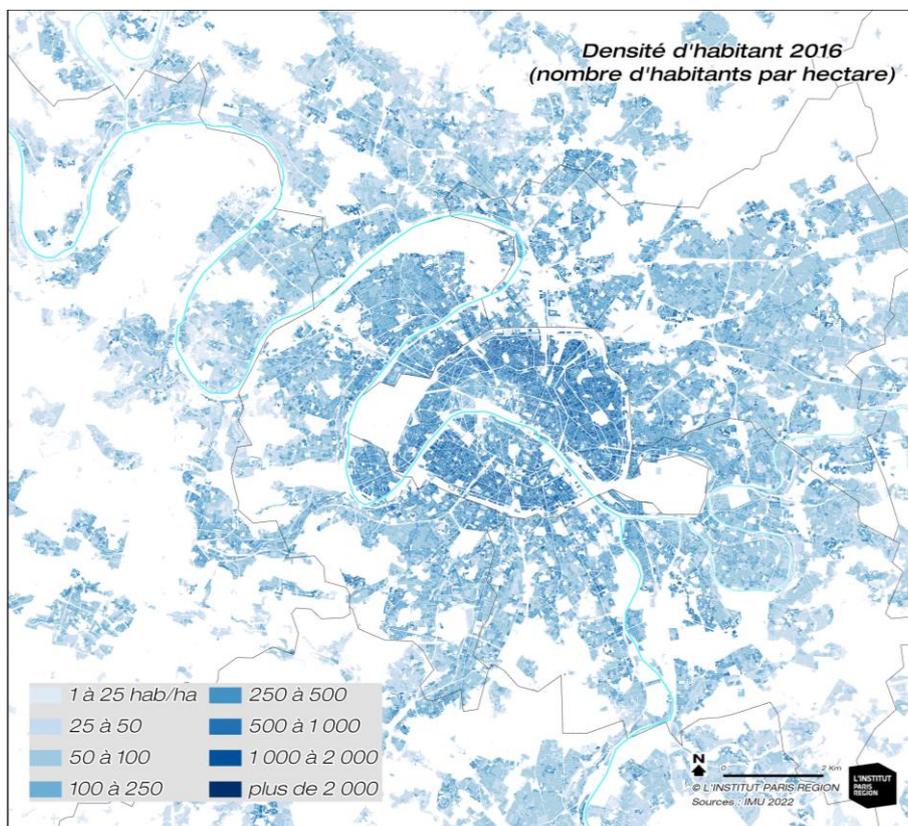


Illustration 46 : Représentation des effectifs de personnes sensibles à l'îlot IMU 2022 (2022, L'Institut)

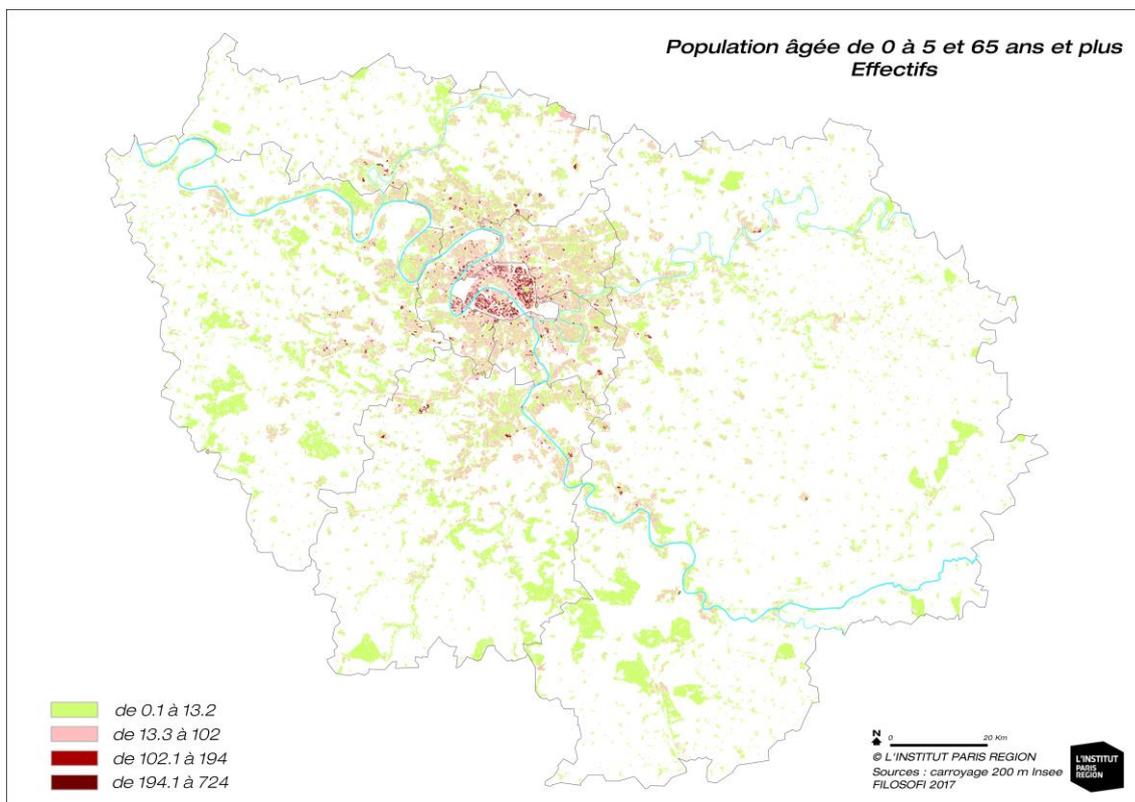


Illustration 47 : Représentation de l'attribut « PART_0_5_ET_65_PLUS » à l'îlot IMU 2022 – part des effectifs de personnes sensibles par rapport à la population totale de l'îlot (2022, L'Institut)

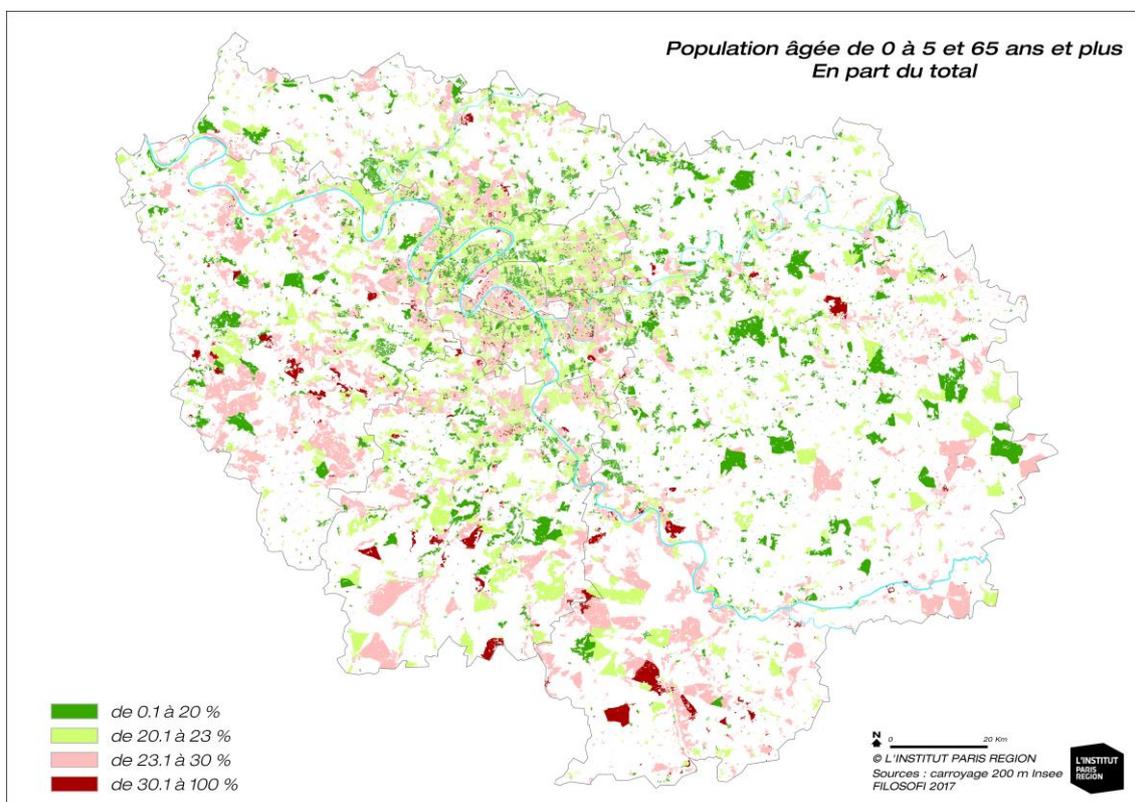


Illustration 48 : Représentation de l'époque de construction majoritaire des bâtiments d'un îlot via l'exploitation des données MAJIC (IMU 2022 – L'Institut)



Illustration 49 : Représentation de la sur-occupation de logements à l'îlot (IMU 2022, L'Institut)

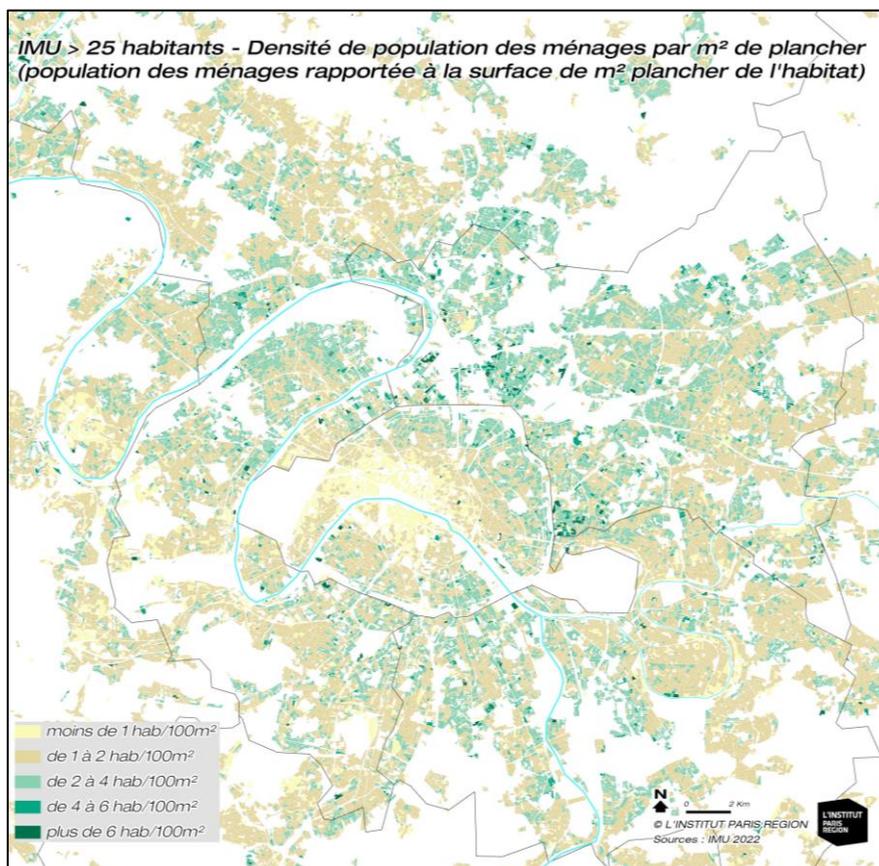


Illustration 50 : Données carroyées de l'Insee des ménages d'un seul individu (IMU 2022, L'Institut)

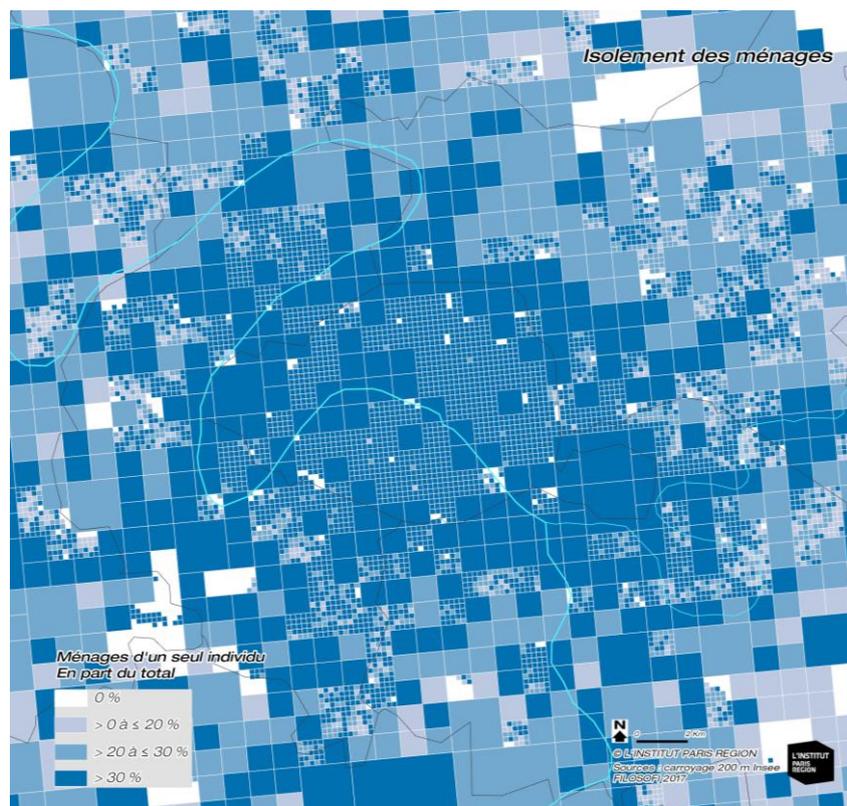
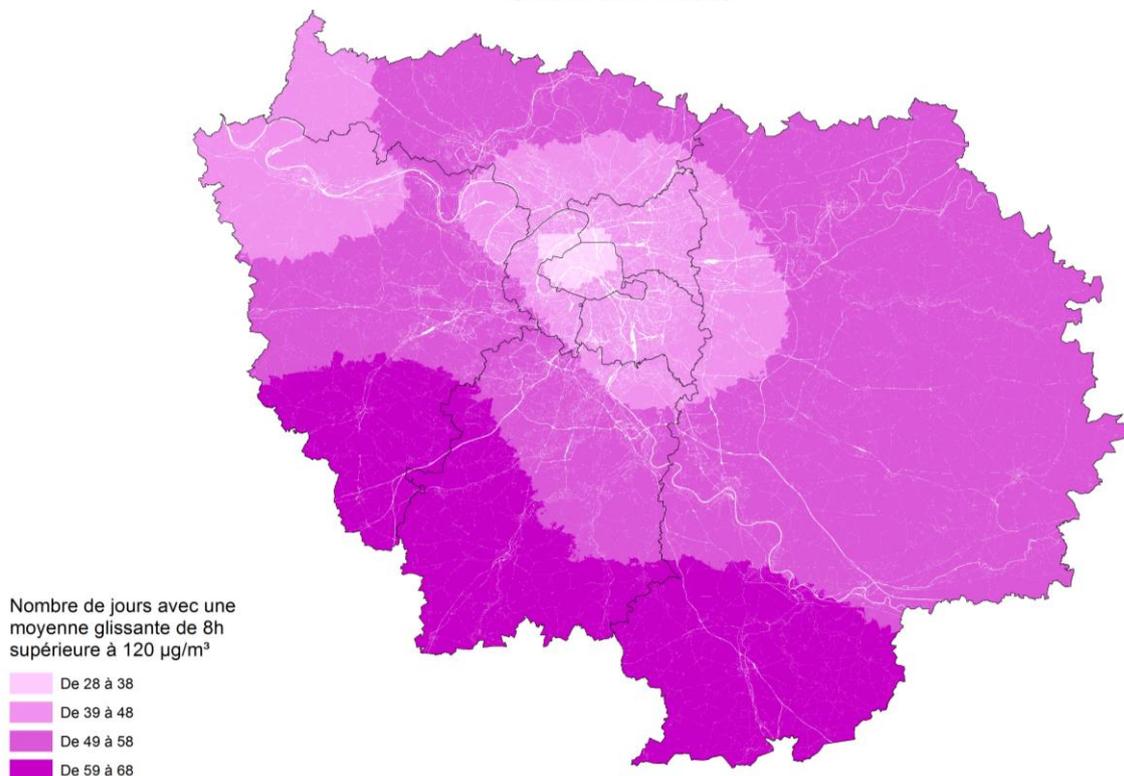


Illustration 51 : Nombre de jours de dépassement du seuil Ozone en 2003 rapporté à l'IMU (L'Institut)

Dégradation de la qualité de l'air en 2003 Exposition à l'Ozone (O₃)



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](#)).

Tableau 15 : Seuils et notations par attribut pour qualifier la sensibilité (L'Institut Paris Region)

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	Densité emploi	<=0,0001	<=0,0010	<=0,0050	>0,0050	0	1	2	3	
	Densité habitant	nulle	>0 et <0,0025	>=0,0025 & <0,025	>=0,025	0	1	2	3	NB_HAB_IMU > 0
	DPE (valeurs du calcul DPE)	0	0 - 1 - 2	3 - 4	5 - 6	0	0 - 1 - 2	3 - 4	5 - 6	CES > 0,005
	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 de retraite	0	0	0	1	0	0	0	3	
	Part de population sensible	0	>0 à <=20	>20 à 30	>30	0	1	4	6	CES > 0,005
	Isolement	0	>0 à <=20	>20 à <=30	>30	0	1	3	5	
Dégradation de la qualité de l'air 2003	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	Densité emploi									
	Densité habitant	nulle	>0 et <0,0025	>=0,0025 & <0,025	>=0,025	0	2	4	6	NB_HAB_IMU > 0
	DPE (valeurs du calcul DPE)	0	0 - 1 - 2	3 - 4	5 - 6	0	0 - 1 - 2	3 - 4	5 - 6	CES > 0,005
	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 de retraite	0	0	0	1				3	
	Part de population sensible	0	>0 à <=20	>20 à 30	>30	0	1	4	6	CES > 0,005
	Isolement	0	>0 à <=20	>20 à <=30	>30	0	1	3	5	
Dégradation de la qualité de l'air 2003	Dégradation ozone	28 à 38	39 à 48	49 à 58	59 à 68	1	2	3	4	

Pour chaque îlot, nous faisons *in fine* la somme des notes obtenues attribut par attribut, 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 d'un tiers des îlots franciliens** respectivement le jour (38,1%) et la nuit (37,8%) est sensible (sensibilité moyenne ou forte), à la chaleur urbaine selon les critères proposés (Cf. [Tableaux 16 et 17, page suivante](#)). Ces îlots en sensibilité moyenne à forte représentent 14% en surface.

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 72% (effet d'ICU faible à fort) et 17% (effet d'ICU moyen à fort), et la nuit, entre 60% (effet d'ICU faible à fort) et 13% (effet d'ICU moyen à fort).

Tableau 16 : Nombre d'îlots par hauteur de sensibilité à la chaleur en Ile-de-France (IMU 2022)

Nombre d'îlots (IMU)		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	0 - 10	161 574	61,9%	0 - 10	162 485	62,2%
Moyenne	Classe 3	11 - 20	83 138	31,8%	11 - 20	82 372	31,6%
Forte	Classe 4	21 - 31	16 338	6,3%	21 - 29	16 193	6,2%
total			261 050	100%		261 050	100%

Tableau 17 : Superficie des îlots par hauteur de sensibilité à la chaleur en Ile-de-France (IMU 2022)

Surface d'îlots (IMU) 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	0 - 10	9 861	86,0%	0 - 10	9 873	86,1%
Moyenne	Classe 3	11 - 20	1 420	12,4%	11 - 20	1 406	12,3%
Forte	Classe 4	21 - 31	187	1,6%	21 - 29	190	1,7%
total			11 469	100%		11 469	100%

Les cartes régionales de la sensibilité des biens et des personnes à la chaleur pour le jour et pour la nuit sont présentées ci-dessous et page suivante (Cf. *Illustrations 52 et 53*).

Illustration 52 : Sensibilité des biens et des personnes à l'îlot, le jour (ICU 2022, L'Institut)

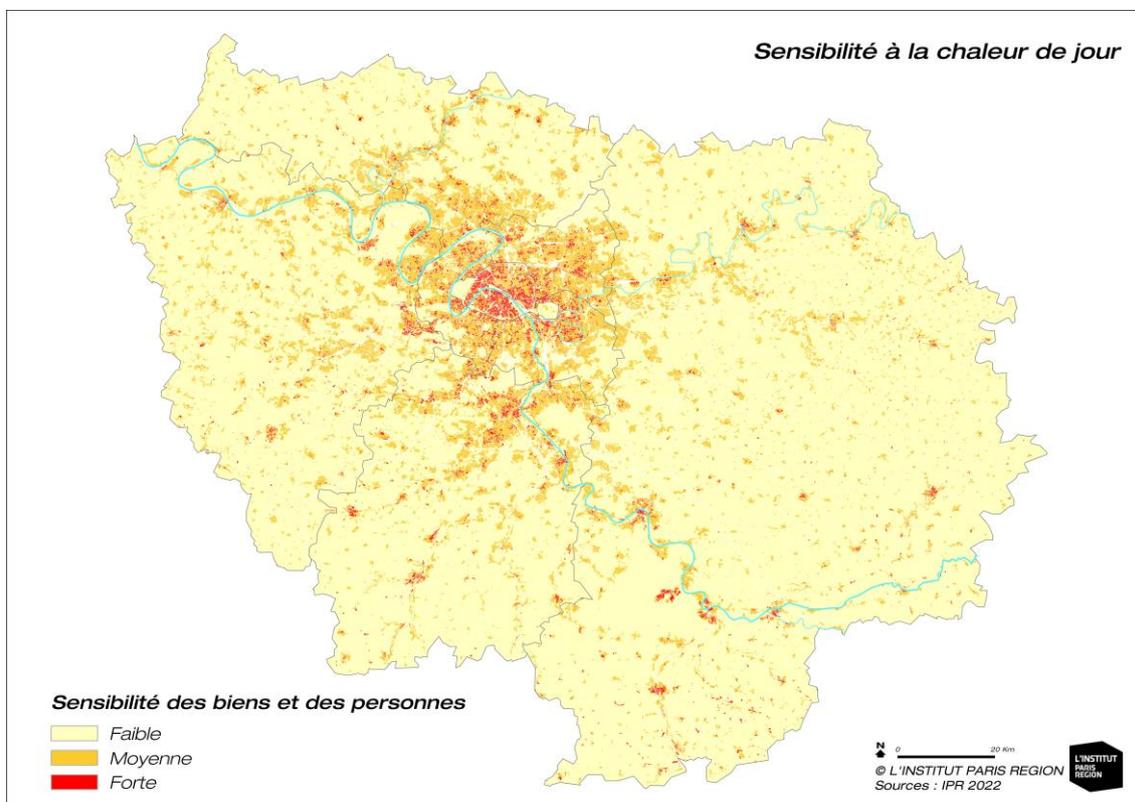
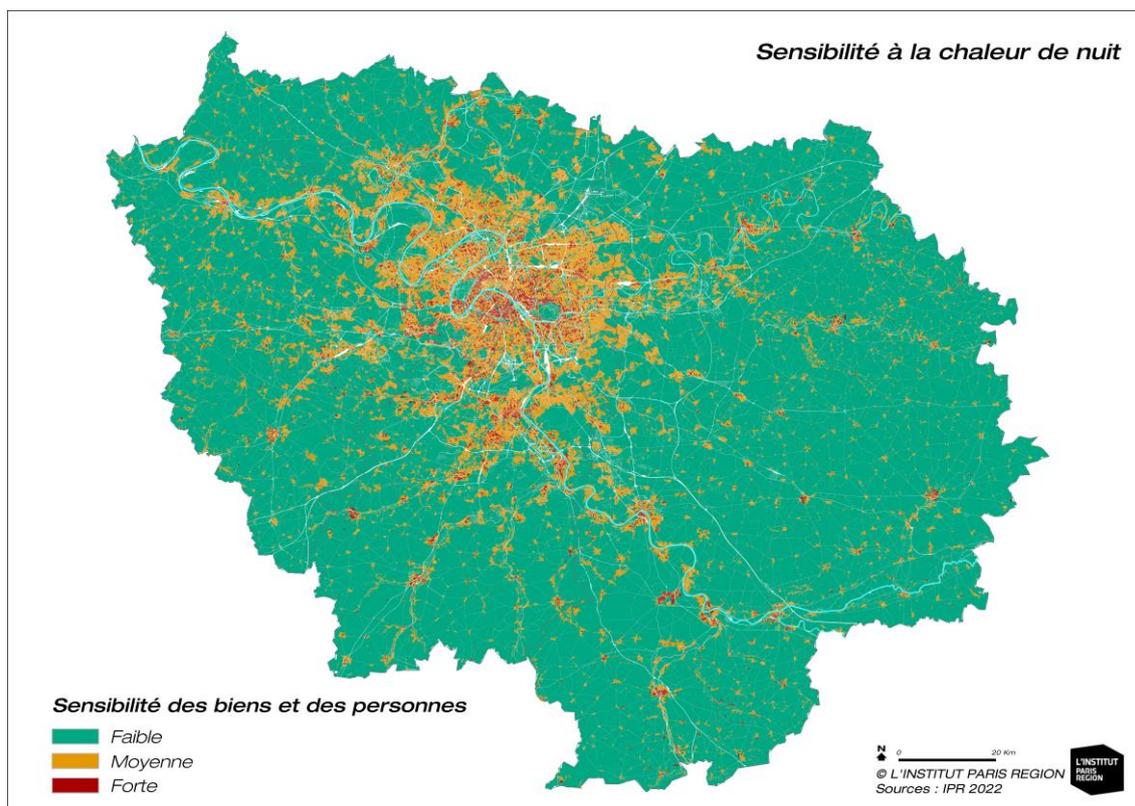


Illustration 53 : Sensibilité des biens et des personnes à l'îlot, la nuit (ICU 2022, L'Institut)



Nous observons que les résultats statistiques d'exposition entre le jour et la nuit des niveaux de sensibilité, quelques soient les classes, sont du même ordre de grandeur tant en nombre qu'en surface correspondante d'îlot.

Le critère de densité de population résidente dont la pondération diffère entre le jour et la nuit (pondération double, la nuit) et la prise en compte uniquement pour le jour du critère de densité d'emplois semblent se compenser au bilan d'exposition, même si la géographie à l'échelle des îlots rend compte de plus de différence.

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 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 pauvres évalué via les données du « Fichier Localisé Social et Fiscal », Filosofi, millésime 2017, de l'INSEE (*Cf. Illustration 54 page 66 et Annexe 6*) ; cet indicateur remplace l'indicateur de population à bas revenu de l'étude précédente (source Insee). 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 pauvres (*Cf. Illustration 55, page 68*) afin de ne pas surreprésenter le poids de population des îlots densément peuplés. Nous préférons qualifier les différences territoriales de proportion des ménages pauvres 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 56, page 67*).
- **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 ; nous avons retenu les données de l'ARS relatives aux Zones d'intervention prioritaires ZIP+ qui illustrent les zones les plus en tension, notamment du fait de nombreux départs en retraite et de l'absence totale de nouvelles installations (*Cf. Illustration 57, page 67, et Annexe 7*) ; cet indicateur remplace l'indicateur de déficit en médecin généraliste de l'étude précédente (source L'Institut Paris Region) ;
 - ...d'autre part, l'existence d'une proximité territoriale à un service d'urgence hospitalière, critère défini à partir du Temps d'accès en Ile-de-France au service d'urgences le plus proche (Source : FINESS 2022, METRIC), dont la géographie est différenciée suivant le jour (Heure pleine) ou la nuit (Heure creuse) en considérant deux niveaux de difficultés : pondération 1 pour un temps compris entre 10 et 20 minutes et pondération 2 pour un temps supérieur à 20 minutes (*Cf. Illustrations 58 et 59, page 68, et Annexe 8*) ; cet indicateur remplace l'indicateur d'accès aux services d'urgence de l'étude précédente (source L'Institut Paris Region) ;
- **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 2022, tiré d'un traitement de l'indice de végétation pour évaluer la présence d'arbre au sein de l'IMU (*Cf. Illustration 35, page 39*) ; 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 (*Cf. Illustration 60, page 69*) ; 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 bibliothèques ou les cinémas....- fait partie des éléments à considérer comme le soulignent les recommandations du Plan communal de sauvegarde (PCS) à l'adresse des Maires.

Tableau 18 : Principe d'élaboration à l'îlot IMU des indicateurs géographiques de difficulté à faire face grâce aux fonctionnalités du SIG (L'Institut Paris Region)

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 pauvres et le nombre total de ménages : <ul style="list-style-type: none"> • Valeur 2 : Taux supérieur à 33,3% : part de ménages pauvres très supérieure à la moyenne ; • Valeur 1 Taux entre 10,5% et 33,3% : part de ménages pauvres au-dessus de la moyenne.
Proxi_Medecin	0 ou 1 (1 quand critère vérifié)	Appartenance de l'IMU – uniquement pour le jour - à une zone ZIP+ de plus grande tension pour l'offre en médecins généralistes. Classe 1 : pondération 2 pour une offre de jour en médecins généralistes définie comme en tension, sinon valeur 0.
Proxi_Urgences	0, 1 ou 2 quand critère vérifié	Temps d'accès en voiture à un service d'urgence (croisement des IMU avec les géographies « Heure pleine » pour le jour et « Heure creuse » pour la nuit) : <ul style="list-style-type: none"> • Classe 0 (pondération 0) : moins de 10 minutes • Classe/pondération 1 : entre 10 et 20 minutes • Classe/pondération 2 : supérieur à 20 minutes
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"> • 250 mètres pour un espace vert de 1 à 10 ha ; • 500 mètres pour un espace vert de 10 à 30 ha ; • 1000 mètres pour un espace vert de plus de 30 ha. Pour les espaces linéaires de plus de 300 mètres, les buffers ont été établis de la façon suivante : <ul style="list-style-type: none"> • 300 mètres pour les espaces de 300 m à 1 km ; • 600 mètres pour les espaces de 1 à 5 km ; • 1200 mètres pour les espaces de plus de 5 km. 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 2022 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 donné, 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.

Illustration 54 : Données carroyées de l'Insee sur les ménages pauvres (IMU 2022, L'Institut)

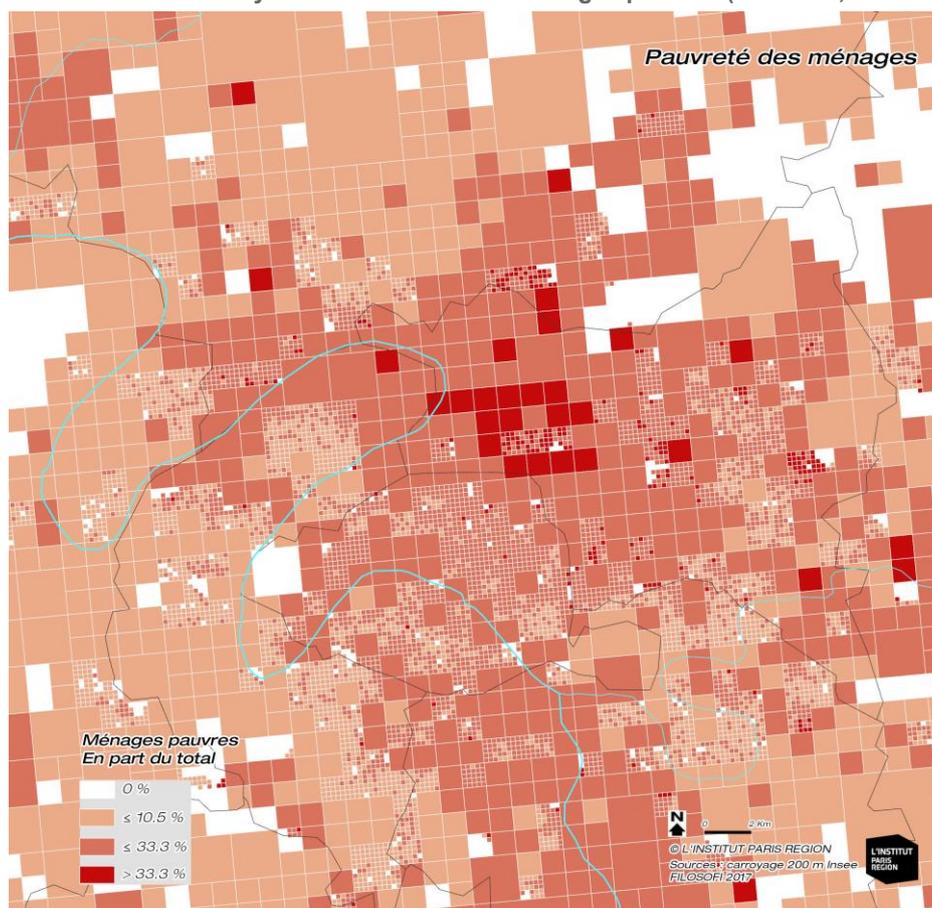
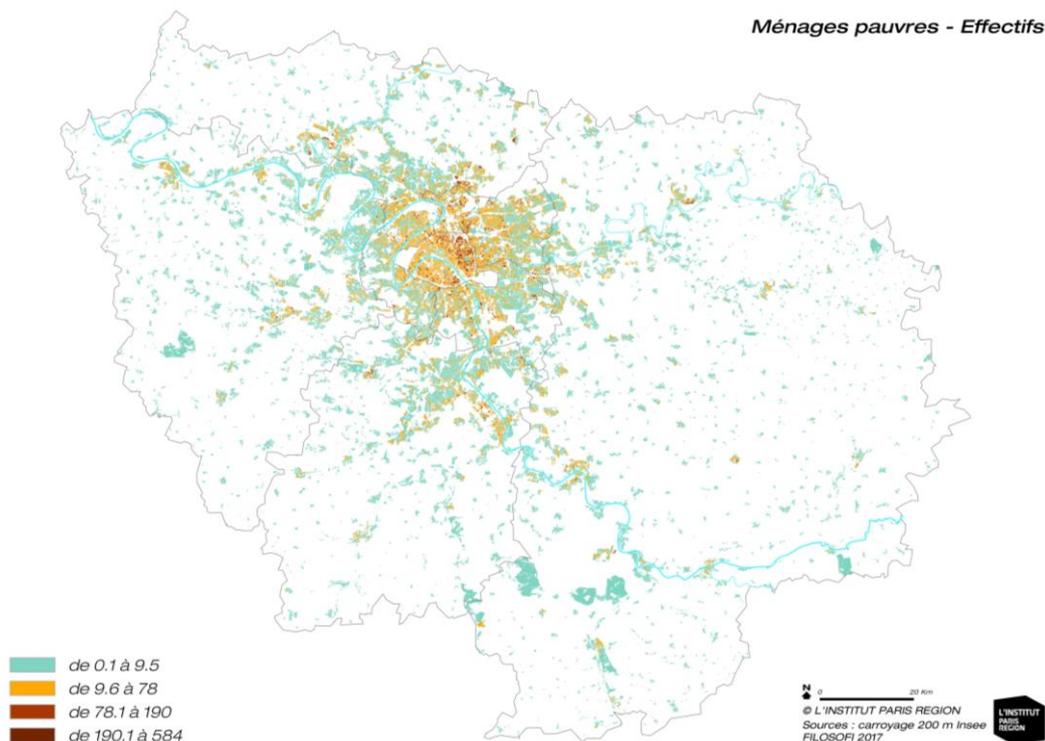


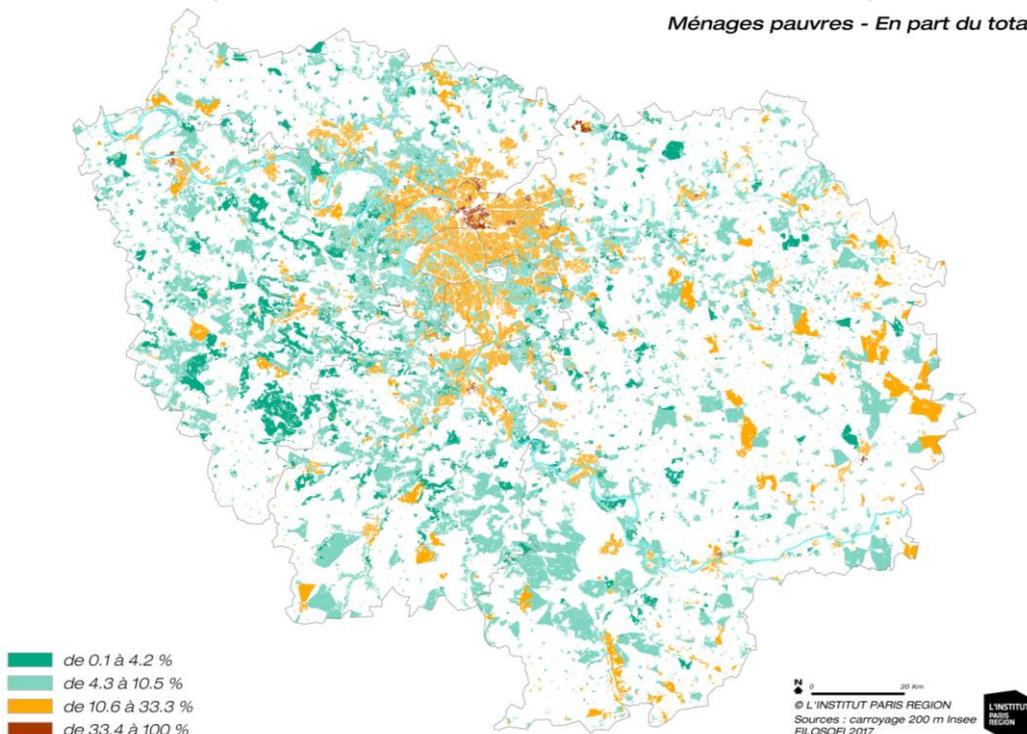
Illustration 55 : Représentation du nombre de ménages à bas revenu à l'îlot (IMU 2022, L'Institut)



Source : traitement SIG d'après les données carroyées – 200m de l'Insee 2017 – Institut Paris Region

Illustration 56 : Représentation de l'attribut « PART_BAS-REVENU » à l'îlot (IMU 2022, L'Institut)

Ménages pauvres - En part du total



Source : traitement SIG d'après les données carroyées – 200m de l'Insee 2017 – Institut Paris Region

Illustration 57 : Zones d'intervention prioritaires ZIP+ (offre en médecins généralistes), ARS 2018 (ICU 2022, L'Institut)

Zones d'intervention prioritaires (ZIP) +

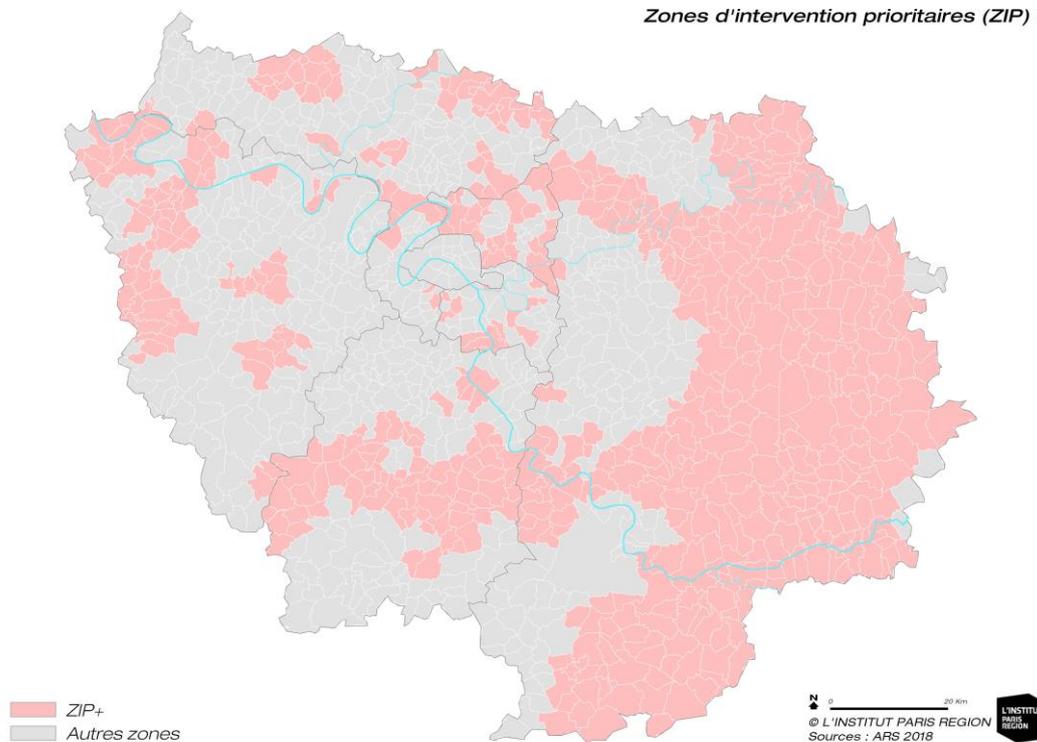


Illustration 58 : Accessibilité territoriale aux services d'urgences hospitalières pour la définition de l'attribut « Proxi_urgences » - Temps d'accès en voiture le jour, ARS 2022 (ICU 2022, L'Institut)

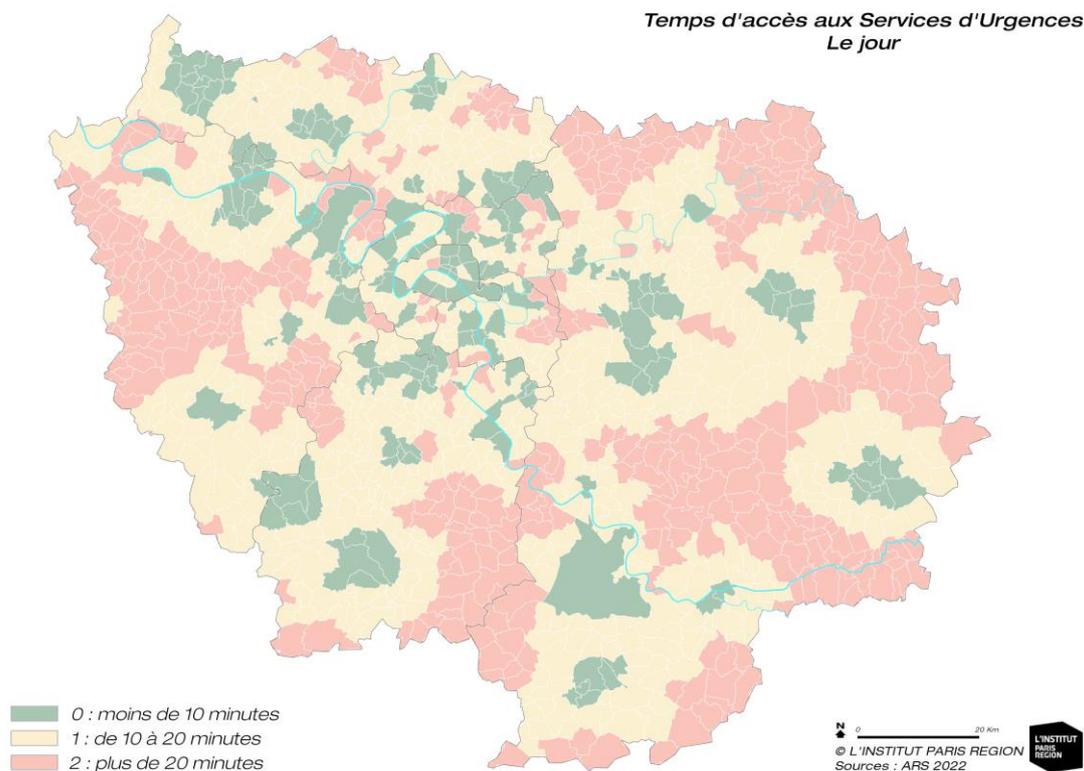


Illustration 59 : Accessibilité territoriale aux services d'urgences hospitalières pour la définition de l'attribut « Proxi_urgences » - Temps d'accès en voiture la nuit, ARS 2022 (ICU 2022, L'Institut)

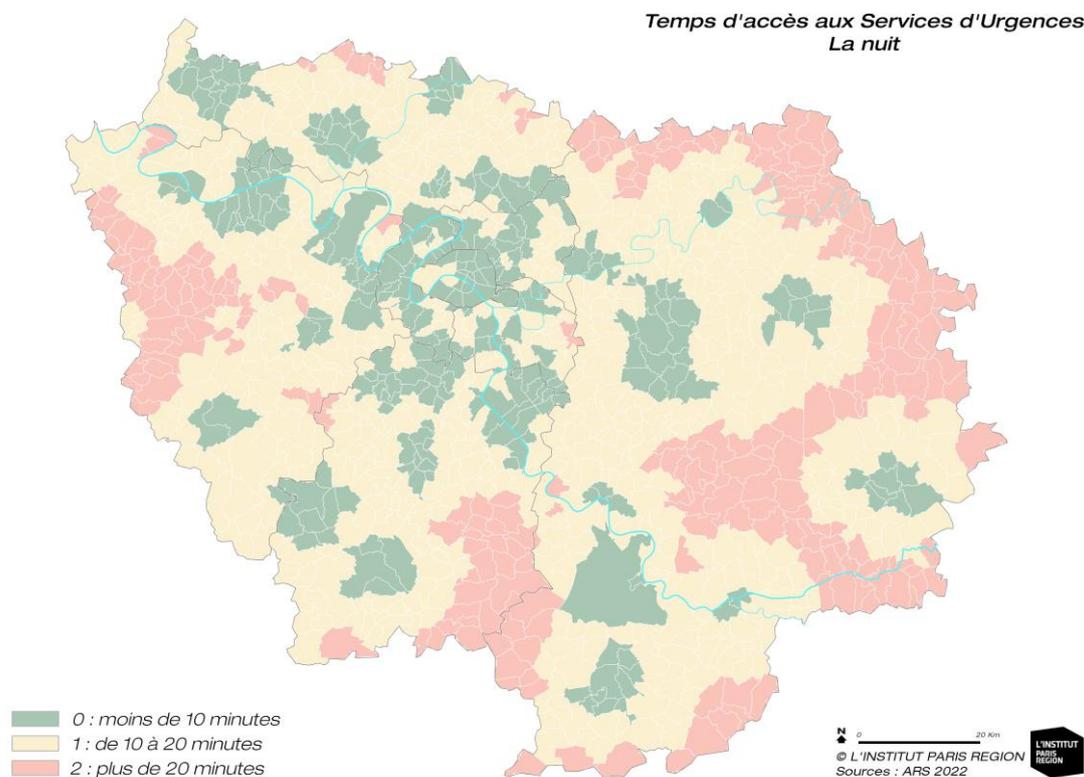


Illustration 60 : Représentation de l'attribut « Proxi_EV_public » ; accessibilité piétonne aux espaces verts ouverts au public (ICU 2022, L'Institut Paris Region)

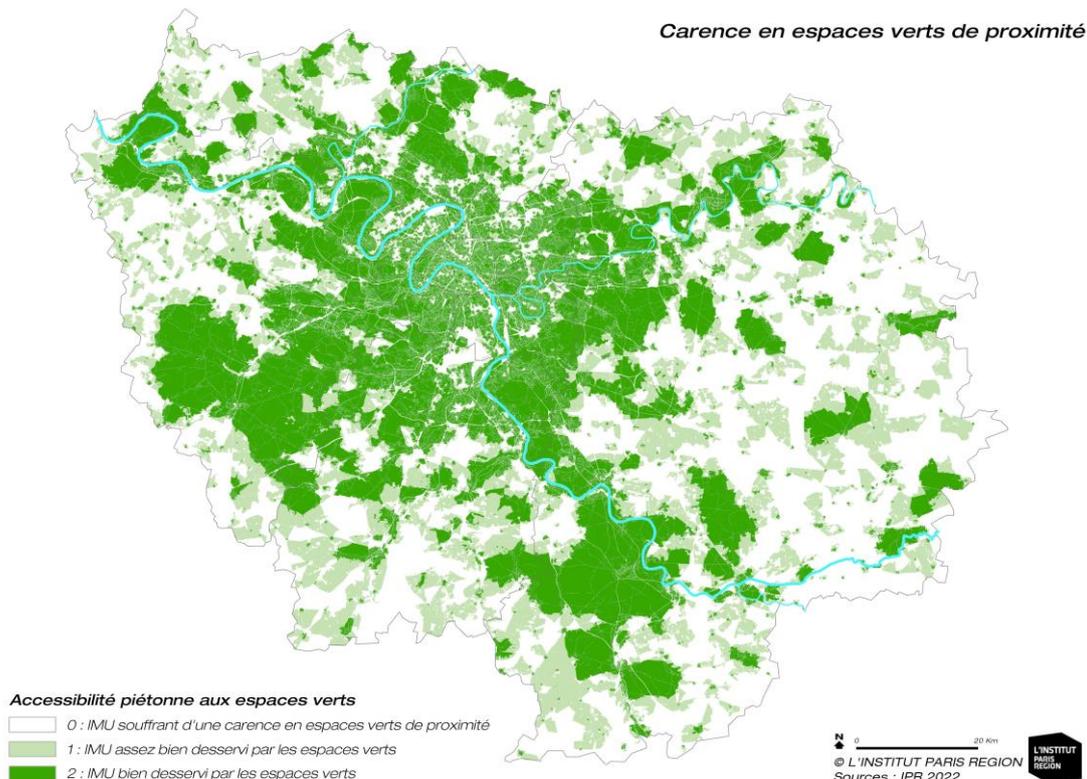


Tableau 19 : Seuils et notations par propriété pour qualifier la difficulté potentielle à faire face, le jour et la nuit (L'Institut Paris Region)

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	0	0	1	2	0	0	1	2	
	Proxi_EV_Public	2	2	1	0	0	0	1	2	
	IV_haute	66 à 100	33 à <66	10 à <33	<=10	0	0	1	2	
	Proxi_Medecin	0	0	0	1	0	0	0	2	CES > 0,005
	Part_Bas_Revenus	0	<=10,5%	<=33,3	<=33,3	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	0	0	1	2	0	0	1	2	
	Proxi_EV_Public	2	2	1	0	0	0	1	2	
	IV_haute	66 à 100	33 à <66	10 à <33	<=10	0	0	1	2	
	Proxi_Medecin									
	Part_Bas_Revenus	0	<=10,5%	<=33,3	>33,3	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 ont la capacité d'affronter la vague de chaleur.

Pour la période diurne, la gamme de résultats s'étant de 0 à 14 ; pour la période nocturne, de 0 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 4, le jour et de 0 à 3 la nuit, faible difficulté à faire face potentielle ;

- de 5 à 9, le jour et de 4 à 7, la nuit, difficulté moyenne à faire face potentielle;
- de 10 à 14, le jour et de 8 à 11, la nuit, forte difficulté à faire face potentielle.

Résultats cartographiques et statistiques

Le choix de donner un même niveau de pondération entre le déficit de ressources individuelles (taux de ménages pauvres) et le déficit de ressources territoriales (espaces verts publics de proximité, arbres en cœur d'îlot, accessibilité aux ressources sanitaires) révèle au bilan que le niveau de difficulté à faire face le plus fort est déterminé pour grande partie par la géographie de la pauvreté¹¹. Pour les niveaux moyen ou faible, l'ensemble des critères participe davantage de la note agrégée finale.

L'analyse des difficultés à faire face à la chaleur urbaine révèle qu'en nombre d'îlot comme en surface, les difficultés moyenne et forte sont plus identifiées la nuit que le jour, notamment pour la classe moyenne (Cf. Tableaux 20 et 21). Le nombre d'îlots classés en forte difficulté à faire face chute drastiquement, d'un ordre de grandeur bien moindre que ceux observés pour la classe la plus forte des deux autres composantes de vulnérabilité : 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 Île-de-France (ICU 2022, L'Institut)

Nombre d'îlots (IMU)		Difficulté à faire face le jour			Difficulté à faire face la nuit		
Niveau de difficulté	Regroupement	Notes	Nb d'IMU	%	Notes	Nb d'IMU	%
Faible	Classe 1	0 - 4	167 346	64,1%	0 - 3	151 654	58,1%
Moyenne	Classe 3	5 - 9	91 817	35,2%	4 - 7	106 836	40,9%
Forte	Classe 4	10 - 14	1 887	0,7%	8 - 11	2 560	1,0%
total			261 050	100%		261 050	100%

Tableau 21 : Superficie des îlots par niveau de difficulté à faire face en Ile-de-France (ICU 2022, L'Institut)

Surface d'îlots (IMU) en km ²		Difficulté à faire face le jour			Difficulté à faire face la nuit		
Niveau de difficulté	Regroupement	Notes	km ² d'IMU	%	Notes	km ² d'IMU	%
Faible	Classe 1	0 - 4	6 907	60,2%	0 - 3	5 127	44,7%
Moyenne	Classe 3	5 - 9	4 533	39,5%	4 - 7	6 305	55,0%
Forte	Classe 4	10 - 14	28	0,2%	8 - 11	36	0,3%
total			11 469	100%		11 469	100%

Les cartes régionales de la difficulté à faire face pour le jour et pour la nuit sont présentées page suivantes (Cf. Illustrations 61 et 62). Elles montrent de fortes disparités pour la classe moyenne tant au sein de l'agglomération urbaine que dans l'espace rural.

Le poids du critère de taux de ménages pauvre semble assez déterminant pour expliquer les plus fortes disparités territoriales dans les résultats observés.

¹¹ Les ménages à bas revenus sont généralement sur-représentés dans les secteurs dépourvus d'aménités vertes (cf. Note rapide n°749).

Illustration 61 : Difficulté à faire face des populations lors une vague de chaleur à l'îlot, le jour (ICU 2022, L'Institut)

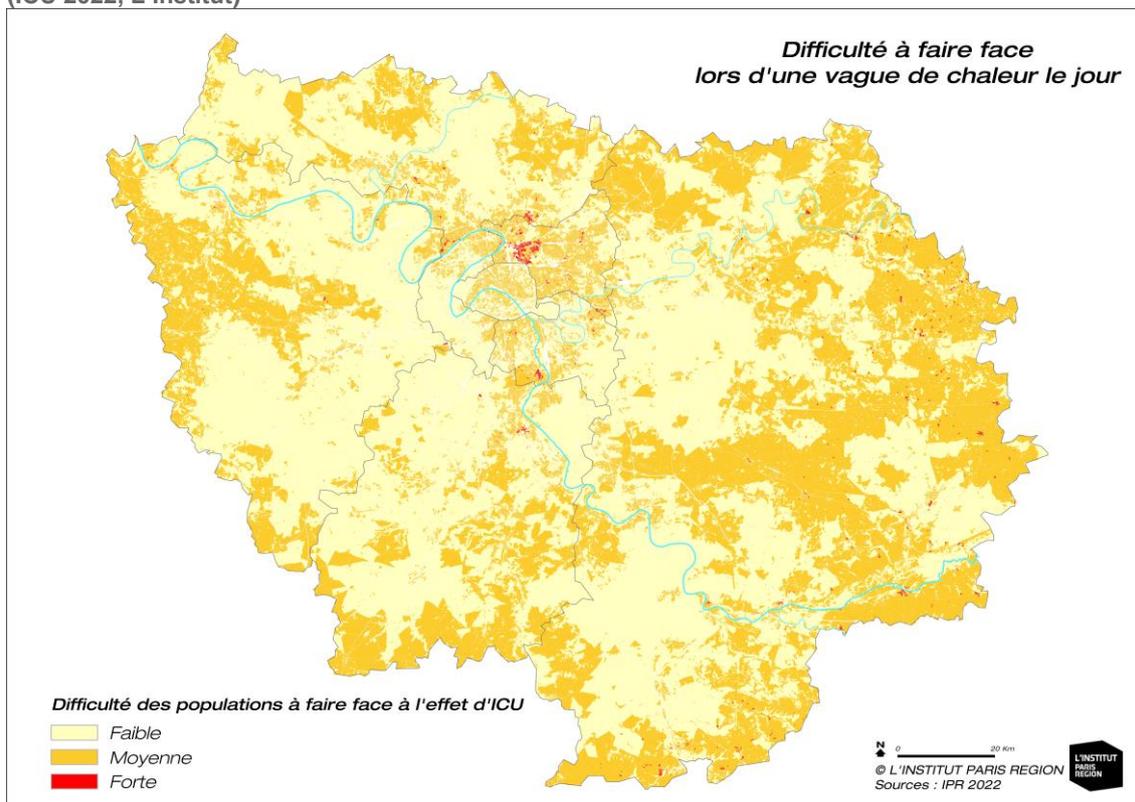
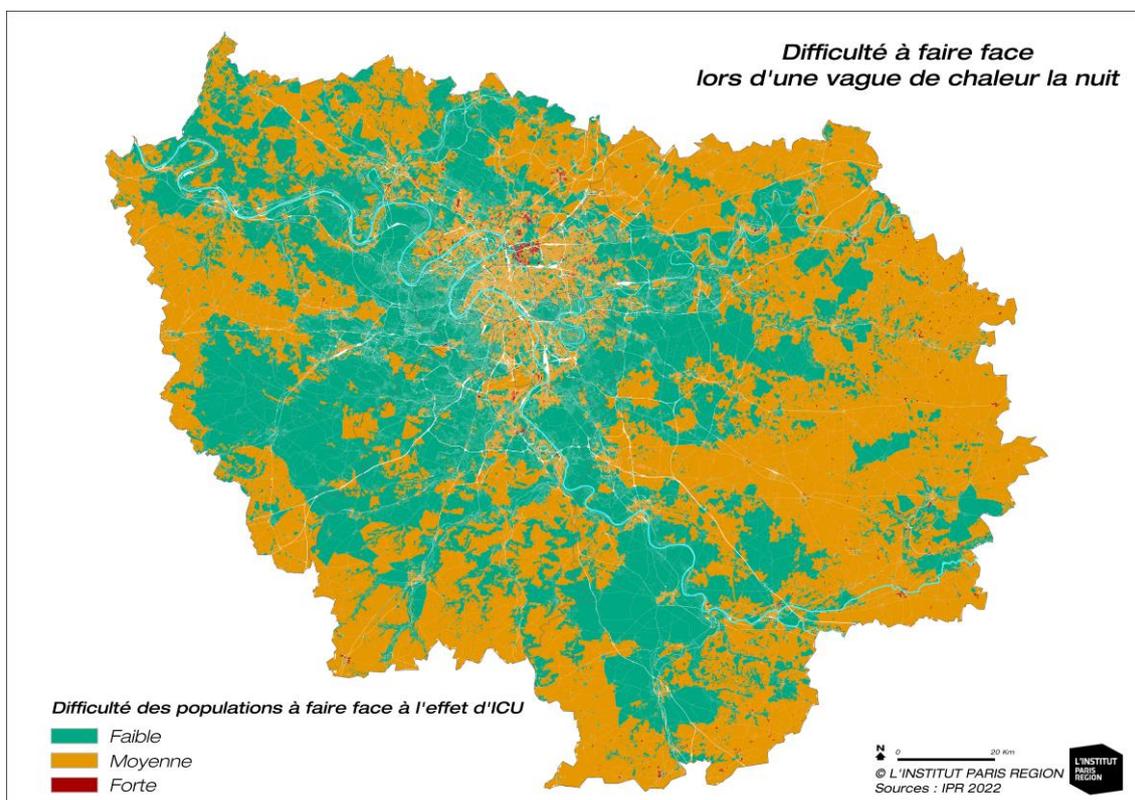


Illustration 62 : Difficulté à faire face des populations lors une vague de chaleur à l'îlot, la nuit (ICU 2022, L'Institut)



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 53) 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 pages suivantes. La première carte est obtenue par superposition des résultats de vulnérabilités diurnes et nocturnes suivant un principe de transparence cartographique (Cf. Illustration 63). 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 maintient un stress thermique pour les organismes étant l'enjeu de santé publique prépondérant.

La vulnérabilité de jour (Cf. Illustration 64) et celle de nuit (Cf. Illustration 65) rendent compte de disparités différentes, entre les niveaux les plus faibles (distributions très différentes) et ceux les plus élevés.

Illustration 63 : Vulnérabilité des îlots lors d'une vague de chaleur, superposition jour sur nuit (ICU 2022, L'Institut)

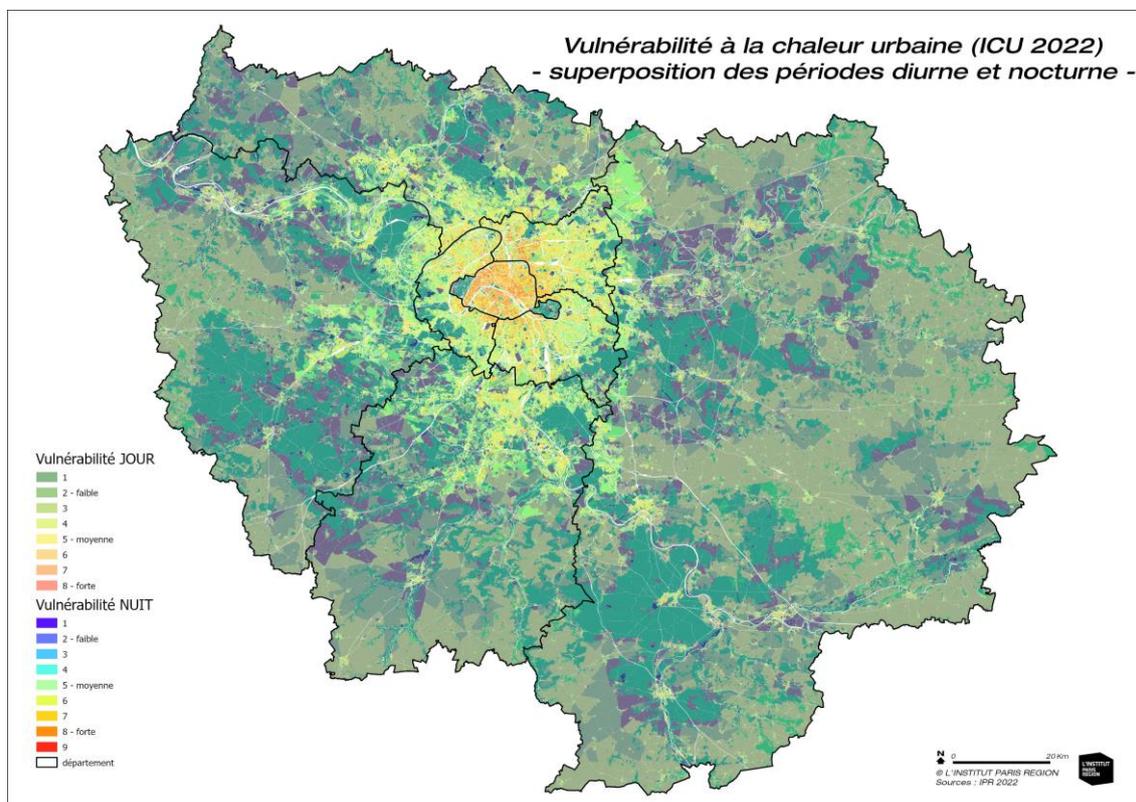


Illustration 64 : Vulnérabilité des îlots lors d'une vague de chaleur, le jour (ICU 2022, L'Institut)

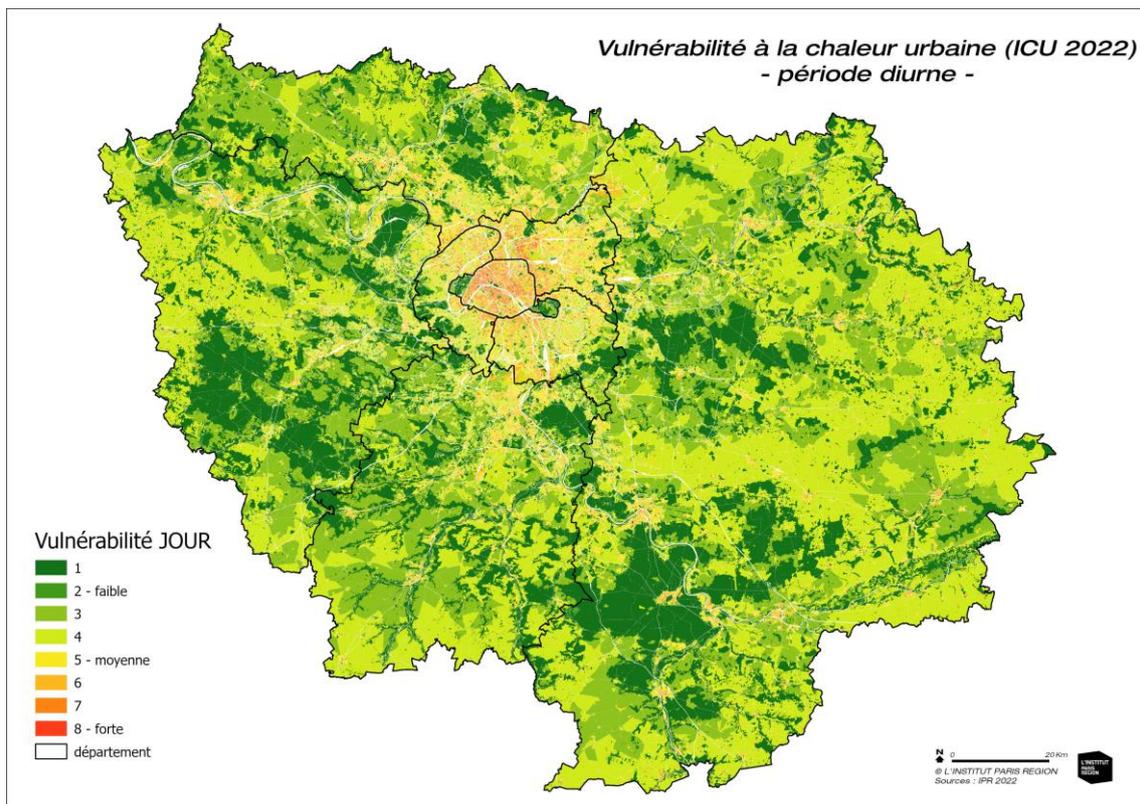
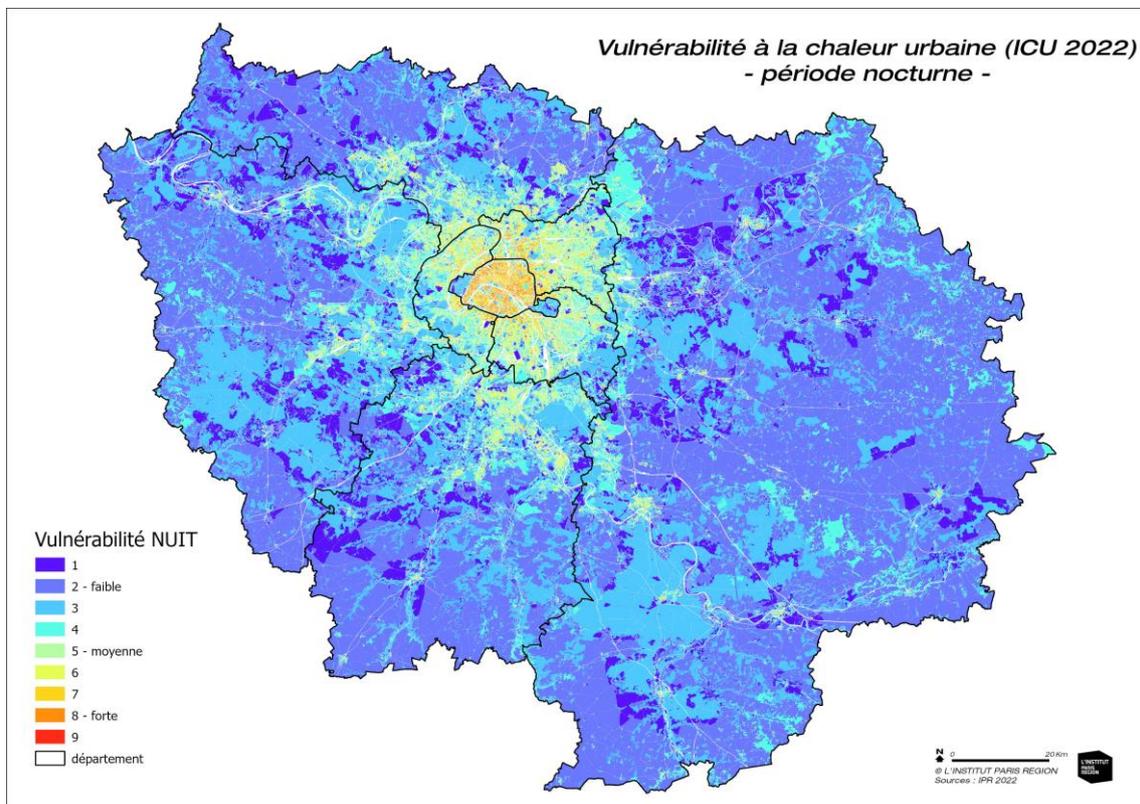


Illustration 65 : Vulnérabilité des îlots lors d'une vague de chaleur, la nuit (ICU 2022, L'Institut)



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, les classes de vulnérabilité faible et moyenne sont majoritaires – vulnérabilités faible pour 54% en surface d'îlot et moyenne pour 53% en nombre d'îlots. Nous notons une sur-représentativité de la note 4, en nombre comme en surface d'îlot, ce qui permet de relativiser le regroupement en 3 classes des notes de vulnérabilité et le potentiel effet de seuil associé ;
- Pour la nuit, la classe de vulnérabilité faible domine et plus largement encore que dans le cas du jour (65% en nombre et 87% en surface). Les îlots concernés la nuit par la classe de vulnérabilité moyenne prennent la deuxième place (31% en nombre et 12% en surface), soit plus de 81 000 îlots et près de 1400 km².
- La **classe de vulnérabilité forte**, cependant, **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 **plus de 10 500 îlots totalisant 100 km², la nuit**, contre un peu plus de 5 600 îlots pour environ 50 km², le jour.

Tableau 22 : Nombre d'îlots par niveau de vulnérabilité à la chaleur en Ile-de-France (ICU 2022)

Nombre d'îlots (IMU)		Vulnérabilité à la chaleur le jour			Vulnérabilité à la chaleur la nuit		
Niveau de vulnérabilité	Notes	Nb d'IMU	%		Nb d'IMU	%	
Faible	1	58 601	22,4%	45,2%	28 238	10,8%	64,7%
	2	10 484	4,0%		56 010	21,5%	
	3	48 893	18,7%		84 632	32,4%	
Moyenne	4	70 910	27,2%	52,6%	45 028	17,2%	31,3%
	5	49 203	18,8%		24 248	9,3%	
	6	17 301	6,6%		12 360	4,7%	
Forte	7	5 150	2,0%	2,2%	7 430	2,8%	4,0%
	8	506	0,2%		3 075	1,2%	
	9	2	0,0%		29	0,0%	
total		261 050	100%	100%	261 050	100%	100%

Tableau 23 : Superficie des îlots par niveau de vulnérabilité à la chaleur en Ile-de-France (ICU 2022)

Surface d'îlots (IMU) en km ²		Vulnérabilité à la chaleur le jour			Vulnérabilité à la chaleur la nuit		
Niveau de vulnérabilité	Notes	km ² d'IMU	%		km ² d'IMU	%	
Faible	1	3 106	27,1%	54,4%	1 262	11,0%	86,8%
	2	219	1,9%		5 436	47,4%	
	3	2 919	25,5%		3 256	28,4%	
Moyenne	4	4 235	36,9%	45,1%	911	7,9%	12,3%
	5	723	6,3%		348	3,0%	
	6	213	1,9%		157	1,4%	
Forte	7	50	0,4%	0,5%	74	0,6%	0,9%
	8	4	0,0%		26	0,2%	
	9	0	0,0%		0,2	0,0%	
total		11 469	100%	100%	11 469	100%	100%

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, du Val-de-Marne et du nord des Hauts-de-Seine, jusqu'à l'ensemble du territoire de la Métropole du Grand Paris. Des poches de vulnérabilité sont également apparentes en différents territoires de la Grande couronne (Vallée de la Seine...).

Interprétation des résultats de vulnérabilité par rapport à la population

Il convient maintenant d'apprécier le poids de population résidente dans l'îlot (ventilation statistique fine de la population 2016 du recensement de l'Insee à l'échelle des bâtiments) dans les résultats de vulnérabilité (Cf. [Tableau 24](#)). Comme précédemment, un focus spécifique sera fait pour la période nocturne et pour les îlots les plus concernés par la vulnérabilité forte.

Tableau 24 : Population des îlots par niveau de vulnérabilité à la chaleur en Ile-de-France (ICU 2022)

Population		Vulnérabilité à la chaleur le jour		Vulnérabilité à la chaleur la nuit	
Niveau de vulnérabilité	Notes	Nb d'habitants	%	Nb d'habitants	%
Faible	1	15 359	0,1%	19 552	0,2%
	2	309 119	2,6%	953 094	8,0%
	3	184 672	1,6%	802 024	6,8%
Moyenne	4	2 566 823	21,6%	1 623 797	13,7%
	5	4 245 780	35,8%	2 464 975	20,8%
	6	2 958 410	24,9%	2 308 738	19,5%
Forte	7	1 428 865	12,0%	2 415 335	20,4%
	8	148 435	1,3%	1 260 601	10,6%
	9	466	0,0%	9 813	0,1%
total		11 857 929	100%	11 857 929	100%

Ce sont plus de 3 685 000 habitants – près d'un Francilien sur trois (31%) – qui vivent dans un îlot présentant - par l'ensemble des critères de socio-démographie-urbaine considérés - une vulnérabilité potentiellement forte la nuit. La vulnérabilité moyenne reste largement dominante et concerne plus de 82% des habitants le jour et 54% la nuit. Enfin, nous observons que 4% des habitants le jour et 15% la nuit résident dans des îlots présentant une faible vulnérabilité.

Les résultats d'exposition de la population résidente à l'effet d'ICU indiquaient que **plus de 6 000 000 de Franciliens - 51% de la population - résidaient la nuit dans un îlot à effet d'ICU marqué, moyen ou fort** (Cf. [Tableau 14, page 49](#)), nettement plus élevé que le résultat des 3 685 000 habitants fortement vulnérables : d'autres paramètres interviennent donc dans cette dimension de la vulnérabilité nocturne que la seule composante de l'exposition de la population résidente à la chaleur additionnelle par effet d'ICU.

Cet ordre de grandeur de la vulnérabilité forte, bien que plus élevé, s'approche par contre de celui observé pour l'exposition nocturne de la population à **l'effet d'ICU le plus fort ; avec près de 3 280 000 habitants, plus de 27% des Franciliens**, potentiellement concernés. Ce constat est somme toute logique qui montre les liens ténus entre densité de population, compacité du tissu urbain et effet d'ICU.

Focus sur les 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, en nombre de personne (Cf. [Tableau 25, page suivante](#)) et en sur-représentativité potentielle pour les niveaux de vulnérabilité les plus forts (Cf. [Tableau 26, page suivante](#)).

Près de 2 700 000 personnes sont dites potentiellement sensibles par l'âge en Île-de-France (base ménage 2017) (près de 23%) - sur près de 11 860 000 habitants – lorsque nous considérons la population des ménages de 0 à 5 ans, d'une part, et de 65 ans et plus, d'autre part.

Parmi cette population potentiellement sensible par l'âge, **près de 845 000 personnes résident dans des îlots présentant une vulnérabilité forte la nuit, soit plus de 31% des populations sensibles et 7% des Franciliens** (versus, pour le jour, respectivement moins de 369 000 personnes, 14% des populations sensibles et 3% des Franciliens).

Tableau 25 : Population sensible des îlots par niveau de vulnérabilité à la chaleur en Ile-de-France (ICU 2022, L'Institut)

Population sensible par l'âge		Vulnérabilité à la chaleur le jour			Vulnérabilité à la chaleur la nuit		
Niveau de vulnérabilité	Notes	Nb d'habitants sensibles	%		Nb d'habitants sensibles	%	
Faible	1	3 131	0,1%	4,3%	3 568	0,1%	14,9%
	2	73 574	2,7%		216 224	8,0%	
	3	38 983	1,4%		181 960	6,7%	
Moyenne	4	589 475	21,8%	82,1%	375 869	13,9%	53,9%
	5	961 486	35,6%		560 215	20,7%	
	6	667 124	24,7%		519 921	19,2%	
Forte	7	333 214	12,3%	13,6%	541 610	20,0%	31,3%
	8	35 379	1,3%		300 906	11,1%	
	9	105	0,0%		2 198	0,1%	
total		2 702 471	100%	100%	2 702 471	100%	100%

Tableau 26 : Part de population sensible rapportée à la population résidente des îlots par niveau de vulnérabilité à la chaleur en Ile-de-France (ICU 2022, L'Institut)

% Population sensible / Pop		Vulnérabilité à la chaleur le jour			Vulnérabilité à la chaleur la nuit		
Niveau de vulnérabilité	Notes	% PopSensible	/moy	%	%PopSensible	/moy	%
Faible	1	20,4%	<<	22,7%	18,2%	<<<	22,6%
	2	23,8%	>		22,7%	=	
	3	21,1%	<		22,7%	=	
Moyenne	4	23,0%	=	22,7%	23,1%	=	22,8%
	5	22,6%	=		22,7%	=	
	6	22,6%	=		22,5%	=	
Forte	7	23,3%	>	23,4%	22,4%	<	22,9%
	8	23,8%	>>		23,9%	>>	
	9	22,5%	=		22,4%	<	
total		22,8%			22,8%		

En revanche, nous observons que le taux de population sensible parmi l'ensemble de la population francilienne n'est pas sur-représenté dans la classe de forte vulnérabilité. Les résultats dans chacune des classes de vulnérabilité sont sensiblement du même ordre de grandeur, proche de la moyenne régionale (22,8% de la population Francilienne potentiellement sensible par l'âge).

Un élément d'explication pourrait provenir d'un phénomène de compensation statistique entre les proportions de ménages avec jeunes enfants et de ménages âgés lorsque nous agrégeons les résultats : si des disparités entre îlots peuvent se voir à cette échelle locale, elles s'atténuent aux échelles supérieures, de la commune à la région.

Focus sur les résultats de vulnérabilité par rapport aux proportions de ménages d'un seul individu et densité moyenne par îlot d'occupation des logements

Les tableaux suivants (Cf. Tableaux 27 et 28, pages suivantes) montrent que la proportion dans les îlots classés en vulnérabilité forte la nuit est plus importante pour les ménages isolés (730 000 ménagées concernés) et pour la « suroccupation potentielle des logements » à l'îlot. Ce constat est également vrai le jour pour l'indicateur du taux de ménages isolés, dans des proportions très proches. En revanche, le jour, la proportion de suroccupation est plus importante dans les îlots à vulnérabilité moyenne (1 350 000 ménages).

Ces résultats sont assez attendus puisque chacun de ces critères intervient – bien que pour partie seulement - dans la hauteur de la note de vulnérabilité (la probabilité est donc plus élevée d'avoir une correspondance entre les vulnérabilités fortes et les proportions les plus élevées pour le critère considéré). Il est préférable de se reporter aux analyses de ces critères par rapport à la géographie des niveaux d'effet d'ICU (pages suivantes).

Tableau 27 : Part des ménages isolés sur le nombre de ménages de l'îlot par niveaux de vulnérabilité à la chaleur en Ile-de-France (ICU 2022, L'Institut)

% Ménages isolés / Ménages		Vulnérabilité à la chaleur le jour			Vulnérabilité à la chaleur la nuit		
Niveau de vulnérabilité	Notes	% Ménages Isolés	/moy	%	% Ménages Isolés	/moy	%
Faible	1	17,1%	<<<	22,8%	14,9%	<<<	23,9%
	2	23,5%	<<		22,8%	<<	
	3	22,1%	<<		25,3%	<<	
Moyenne	4	28,8%	<	33,7%	28,5%	<	32,0%
	5	31,9%	<		31,2%	<	
	6	40,0%	>		35,3%	>	
Forte	7	44,8%	>>	45,0%	42,7%	>>	44,0%
	8	47,0%	>>>		46,4%	>>>	
	9	31,9%	<		38,9%	>	
total		34,9%			34,9%		

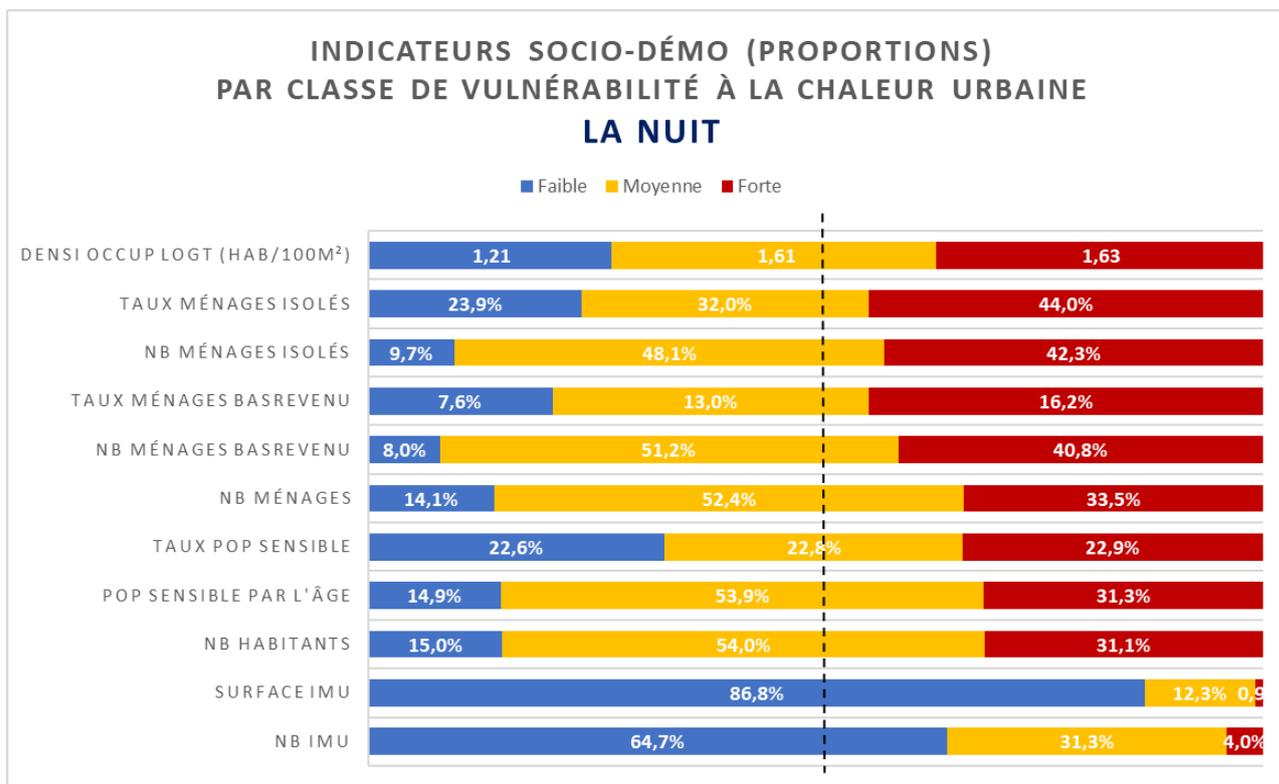
Tableau 28 : Densité moyenne d'occupation des logements (Indicateur de « suroccupation potentielle du logement ») de l'îlot par niveaux de vulnérabilité à la chaleur en Ile-de-France (ICU 2022, L'Institut)

Densité occupation logement		Vulnérabilité à la chaleur le jour			Vulnérabilité à la chaleur la nuit		
Niveau de vulnérabilité	Notes	Densité Occup Logement	/moy	Densi	Densité Occup Logement	/moy	Densi
Faible	1	1,04	<<	1,15	0,76	<<<	1,21
	2	1,17	<<		1,24	<<	
	3	1,12	<<		1,21	<<	
Moyenne	4	1,44	<	1,58	1,41	<	1,61
	5	1,61	>		1,64	>	
	6	1,67	>		1,77	>>	
Forte	7	1,52	=	1,49	1,63	>	1,63
	8	1,27	<<		1,63	>	
	9	3,72	>>>		2,43	>>>	
total		1,54			1,54		

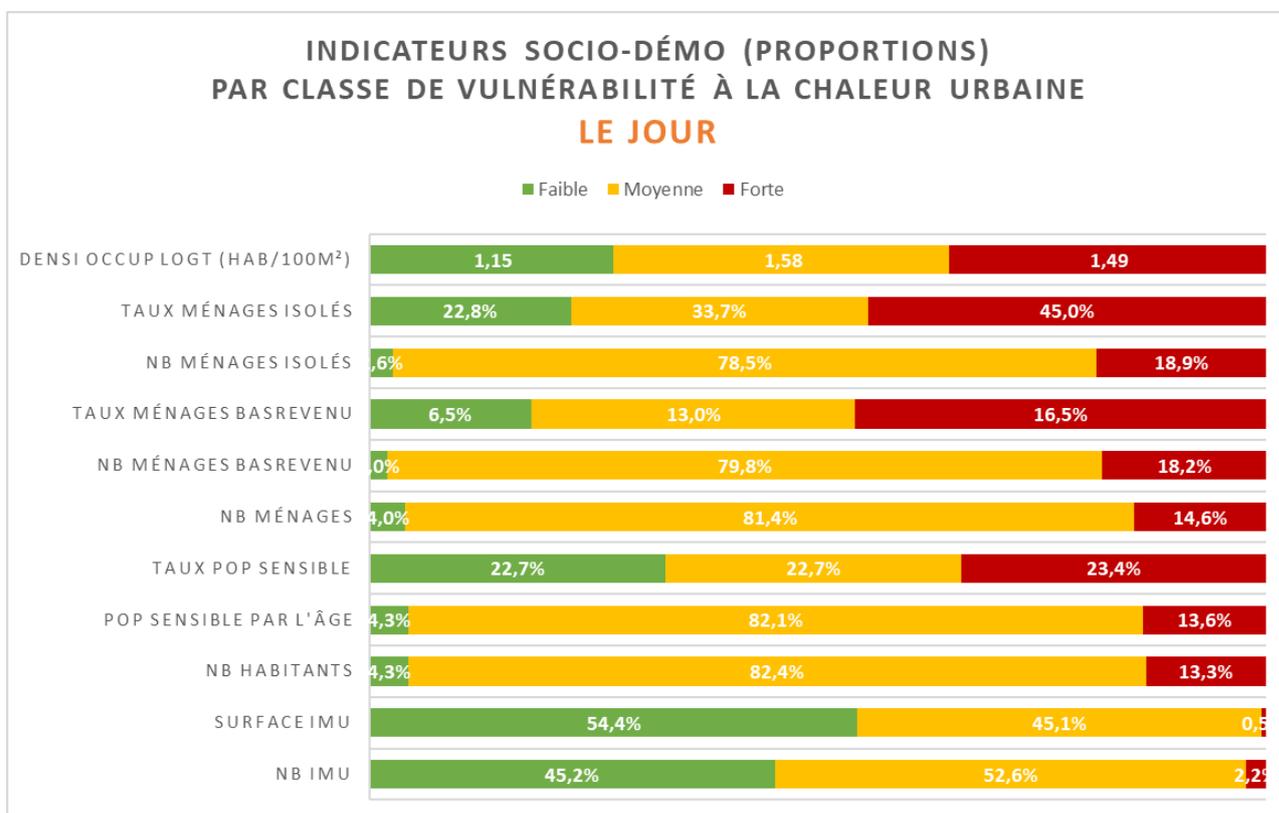
Synthèse des indicateurs étudiés pour interpréter la vulnérabilité de l'Ile-de-France à la chaleur urbaine

Sont présentés de manière synthétique, page suivante, les principaux indicateurs d'enjeux étudiés – le nombre d'îlots ou « pâtés de maisons », la superficie du territoire concerné, la population des îlots et les principaux critères de sensibilité (par l'âge, l'isolement, la suroccupation du logement) et de difficultés à faire face (les ménages pauvres) par niveaux de vulnérabilité (faible, moyenne ou forte) à la chaleur urbaine (effet d'ICU, facteur d'aggravation des aléas « vague de chaleur » et canicules) (Cf. Graphes 4 et 5).

Graphe 4 : Indicateurs socio-démographiques par classe de vulnérabilité, la nuit (ICU 2022, L'Institut)



Graphe 5 : Indicateurs socio-démographiques par classe de vulnérabilité, le jour (ICU 2022, L'Institut)



3.2 - 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 (densité de population, population sensible, suroccupation des logements) et de difficulté à faire face (ménages à bas revenu), nous pouvons évaluer ces liens à l'échelle de l'Île-de-France (Cf. [Tableau 29 ci-dessous](#) ; [Graphes 6 et 7, page suivante](#)) et faire les constats suivants :

- Les populations sensibles par l'âge (moins de 5 ans, plus de 65 ans) sont représentées à même hauteur (environ 22,8% de la population totale des îlots) que les classes d'effet d'ICU soient rafraîchissant, faible, moyen ou fort ; la proportion dans chacune des classes des effectifs bruts de population résidente et de population sensible par l'âge sont identiques, et ce, pour la nuit comme pour le jour (à noter cependant, une légère sur-représentation de la population sensible par l'âge le jour en îlot de fraîcheur, mais avec des effectifs bruts cependant très faibles) ;
- Les îlots se distinguant par une plus grande suroccupation potentielle des logements en leur sein (indicateur Densi occup logement) sont surreprésentés uniquement la nuit dans la classe 3 d'effet ICU moyen ;

Tableau 29 : Indicateurs de fragilité étudiés par niveau d'effet d'ICU (L'Institut Paris Région, 2022)

% Population sensible / Pop		Effet d'ICU le jour				Effet d'ICU la nuit			
Type d'effet	Classe	Notes	% Pop Sensible	/moy	%	Notes	% Pop Sensible	/moy	%
Effet de fraîcheur	1	-5 à 0	23,6%	>>	22,8%	-4 à 0	22,8%	=	22,8%
Faible effet d'ICU	2	1 à 6	22,8%	=		1 à 6	22,8%	=	
Effet d'ICU moyen	3	7 à 12	22,7%	<	22,7%	7 à 12	22,6%	<	22,8%
Effet d'ICU fort	4	13 à 18	22,6%	<		13 à 23	22,9%	>	
moyenne IDF			22,8%			22,8%			

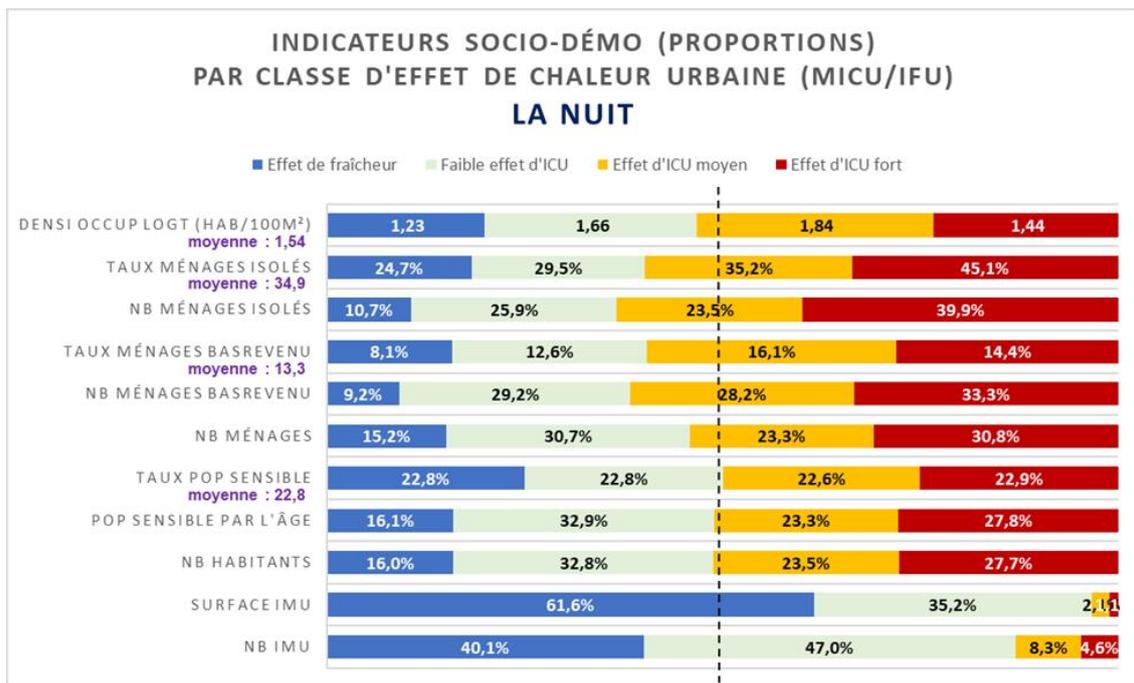
% Men. Pauvres / Ménages		Effet d'ICU le jour				Effet d'ICU la nuit			
Type d'effet	Classe	Notes	% Men. Pauvres	/moy	%	Notes	% Men. Pauvres	/moy	%
Effet de fraîcheur	1	-5 à 0	6,7%	<<	12,0%	-4 à 0	8,1%	<<	11,1%
Faible effet d'ICU	2	1 à 6	12,4%	<		1 à 6	12,6%	<	
Effet d'ICU moyen	3	7 à 12	14,9%	>	14,9%	7 à 12	16,1%	>>	15,1%
Effet d'ICU fort	4	13 à 18	14,7%	>		13 à 23	14,4%	>	
moyenne IDF			13,3%			13,3%			

% Ménages isolés / Ménages		Effet d'ICU le jour				Effet d'ICU la nuit			
Type d'effet	Classe	Notes	% Mén. Isolés	/moy	%	Notes	% Mén. Isolés	/moy	%
Effet de fraîcheur	1	-5 à 0	24,0%	<<<	29,1%	-4 à 0	24,7%	<<<	27,9%
Faible effet d'ICU	2	1 à 6	29,4%	<<		1 à 6	29,5%	<<	
Effet d'ICU moyen	3	7 à 12	41,9%	>>	42,2%	7 à 12	35,2%	=	40,8%
Effet d'ICU fort	4	13 à 18	46,7%	>><		13 à 23	45,1%	>>>	
moyenne IDF			34,9%			34,9%			

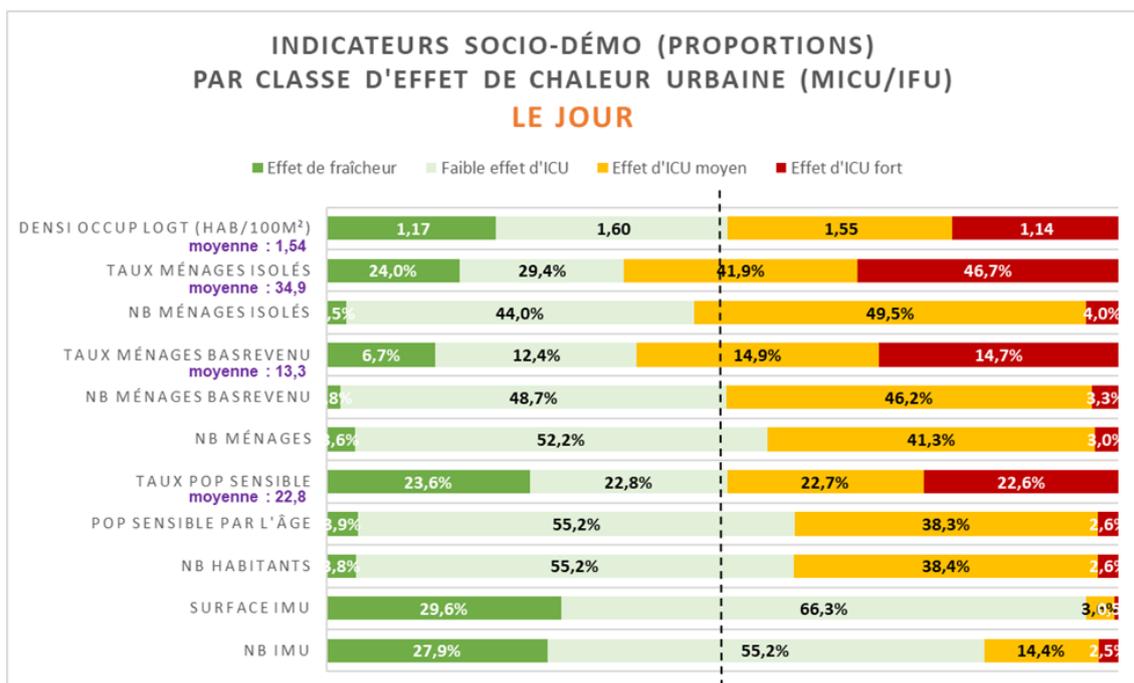
Densité Occupation Logement		Effet d'ICU le jour				Effet d'ICU la nuit			
Type d'effet	Classe	Notes	Densi OccupLgt	/moy	Densi	Notes	Densi OccupLgt	/moy	Densi
Effet de fraîcheur	1	-5 à 0	1,17	<<	1,56	-4 à 0	1,23	<<	1,49
Faible effet d'ICU	2	1 à 6	1,60	>		1 à 6	1,66	>	
Effet d'ICU moyen	3	7 à 12	1,55	=	1,52	7 à 12	1,84	>>	1,60
Effet d'ICU fort	4	13 à 18	1,14	<<		13 à 23	1,44	<	
moyenne IDF			1,54			1,54			

- La proportion de ménages isolés par îlot est plus élevée dans les îlots à effet d'ICU moyen ou fort, le jour comme la nuit. Si cette surreprésentation est très marquée, le facteur d'isolement - représenté ici par un « ménage composé d'un seul individu » - peut renvoyer à des enjeux de sensibilité potentiellement différents qu'il s'agisse par exemple d'un jeune actif socialement bien intégré ou d'une personne très isolée (et pouvant présenter d'autres fragilités) ;
- Les ménages pauvres sont surreprésentés dans les zones à effet d'ICU moyen à fort, le jour et plus encore la nuit, avec 16,1% et 14,4% de ménages pauvres respectivement en zone à effet d'ICU moyen et fort, contre 13,3% en moyenne régionale. A contrario, la sous-représentation de ménages pauvres se vérifie le jour comme la nuit dans les îlots à effet de fraîcheur avec respectivement 6,7% et 8,1% de ménages pauvres, contre 13,3% en Ile-de-France, toute zone.

Graph 6 : Indicateurs socio-démographiques par classe d'effet ICU/IFU, la nuit (ICU 2022, L'Institut)



Graph 7 : Indicateurs socio-démographiques par classe d'effet ICU/IFU, la nuit (ICU 2022, L'Institut)



A l'échelle territoriale, nous constatons que la sur-représentation francilienne des ménages pauvres dans les îlots à effet d'ICU marqués (moyen à fort) est plus que nuancée entre les territoires de Paris, de Petite couronne et de Grande couronne.

Si nous considérons les résultats pour la période nocturne (Cf. [Tableau 30](#)), la sur-représentation constatée à l'échelle régionale se retrouve en Petite couronne - avec 17,4% et 15,3% en effet d'ICU respectivement moyen et fort, au-dessus du chiffre moyen régional (13,3%). A Paris, le nombre de ménages pauvres est sur-représenté dans toute les classes d'effet d'ICU/IFU par rapport à la moyenne régionale. Nous pouvons noter que la surreprésentation est plus forte dans les classes à effet de fraîcheur/faible effet d'ICU (16,3%) – avec des effectifs cependant très faibles - que dans celles à effet d'ICU marqué (14,1%). Dans les villes de Grande couronne, nous observons une sur-représentation du nombre de ménages pauvres uniquement dans la classe d'effet d'ICU moyen et une forte sous-représentation dans les îlots de fraîcheur ou sans effet d'ICU marqué.

Ces éléments concourent à souligner que la proportion de ménages pauvres est plus significative dans les villes. En Petite couronne - en Seine-Saint-Denis notamment – comme à Paris, c'est la classe d'effet d'ICU moyen qui totalise le plus de surreprésentation de la fragilité des ménages par l'indicateur de pauvreté.

Néanmoins, en effectifs bruts de ménages, pour Paris et les Hauts-de-Seine, c'est la classe d'effet d'ICU fort qui présente le plus de ménages pauvres ; pour les départements de Seine-Saint-Denis et du Val-de-Marne, c'est la classe d'effet d'ICU moyen ; pour les départements des Yvelines, de l'Essonne et du Val-d'Oise, c'est la classe d'effet d'ICU faible à neutre ; enfin, pour le département de Seine-et-Marne, c'est la classe d'effet de fraîcheur.

Tableau 30 : Répartition territoriale par classe d'effet d'ICU la nuit de la part de ménages pauvres rapportée à l'ensemble des ménages (ICU 2022, L'Institut)

Taux Ménages Pauvres	Paris		Petite couronne		Grande couronne		Ile-de-France	
	%	%	%	%	%	%	%	%
Effet de fraîcheur	18,4%	16,3%	11,5%	14,8%	8,0%	9,7%	8,1%	11,1%
Faible effet d'ICU	16,2%		14,9%		11,0%		12,6%	
Effet d'ICU moyen	15,3%	14,1%	17,4%	16,5%	14,1%	14,0%	16,1%	15,1%
Effet d'ICU fort	13,9%		15,3%		13,4%		14,4%	
Total général	14,1%		15,9%		10,6%		13,3%	

Si l'on s'intéresse à la période nocturne, les résultats par commune sont riches d'enseignements complémentaires (Cf. [Illustrations 66 et 77, page suivante](#)).

Pour Paris et quasiment l'ensemble de ses communes limitrophes - l'hypercentre - plus d'un tiers de leurs ménages pauvres résident la nuit dans un îlot à effet d'ICU fort (Cf. [illustration 66](#)). Pour certaines d'entre-elles, cette proportion dépasse les deux tiers ; il s'agit de :

- tous les arrondissements de Paris ;
- six communes du département des Hauts-de-Seine : Boulogne-Billancourt, Clichy, Courbevoie, Levallois-Perret, Montrouge et Puteaux ;
- et deux communes du département du Val-de-Marne : Vincennes et Saint-Mandé.

En effectifs bruts de ménages pauvres (Cf. [Illustration 67](#)), les arrondissements les plus périphériques de Paris et les communes d'Aubervilliers et de Saint-Denis présentent le plus grand nombre de ménages pauvres résidant la nuit dans un îlot à effet d'ICU moyen ou fort (entre 8 000 et 15 000 ménages).

Enfin, les résultats par niveau de vulnérabilité à la chaleur urbaine des proportions (Cf. [Tableau 31, page 84](#)) et des effectifs bruts (Cf. [Tableau 32, page 84](#)) de ménages pauvres en Île-de-France, amènent aux constats suivants :

- La proportion de ménages pauvres en zone de vulnérabilité forte à la chaleur représente environ le double de celle en zone de vulnérabilité faible, et ce, le jour comme la nuit ;

- Le nombre de ménages pauvres la nuit en zones à effet de vulnérabilité forte à la chaleur représente près de 41% des effectifs de ménages pauvres franciliens, contre 18% pour le jour.
- Nous pouvons ainsi supposer qu'à la fragilité des ménages pauvres se cumulent d'autres critères de sensibilité et de difficultés territoriales à faire face parmi ceux que nous avons considérés (ménages isolés, suroccupation potentielle des logements, non proximité à des espaces verts ouverts au public, en zones d'intervention prioritaires (ZIP+) pour l'offre en médecins généralistes...).

Illustration 66 : Proportion de ménages pauvres en îlots à fort effet d'ICU, la nuit (ICU 2022, L'Institut)

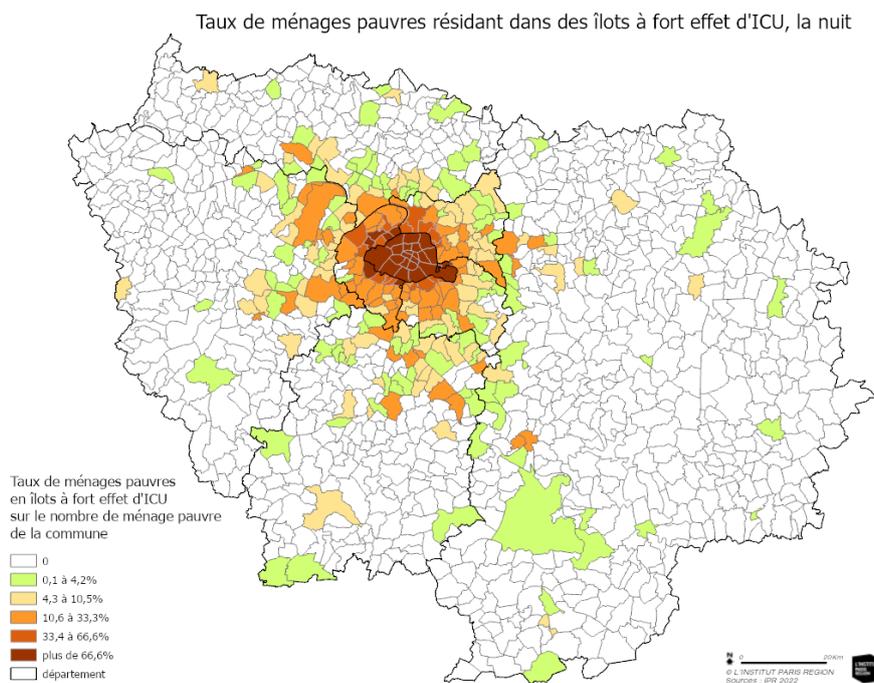


Illustration 67 : Nombre de ménages pauvres en îlot à effet ICU moyen à fort, la nuit (ICU 2022)

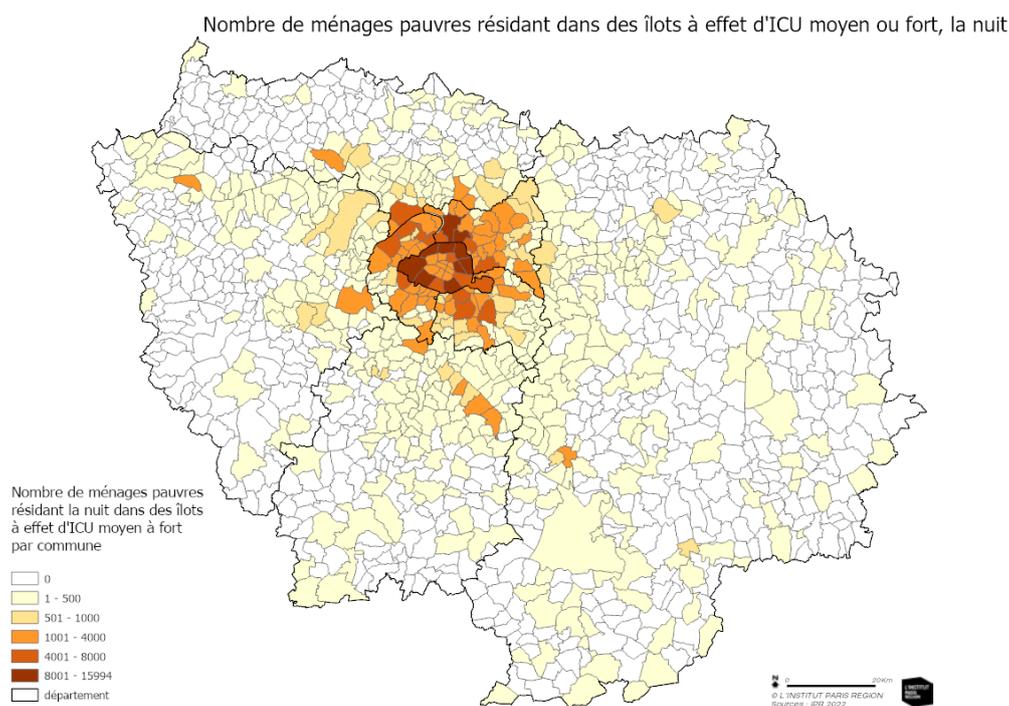


Tableau 31 : Part des ménages pauvres rapportés au nombre de ménages des îlots par niveau de vulnérabilité à la chaleur en Ile-de-France (ICU 2022, L'Institut)

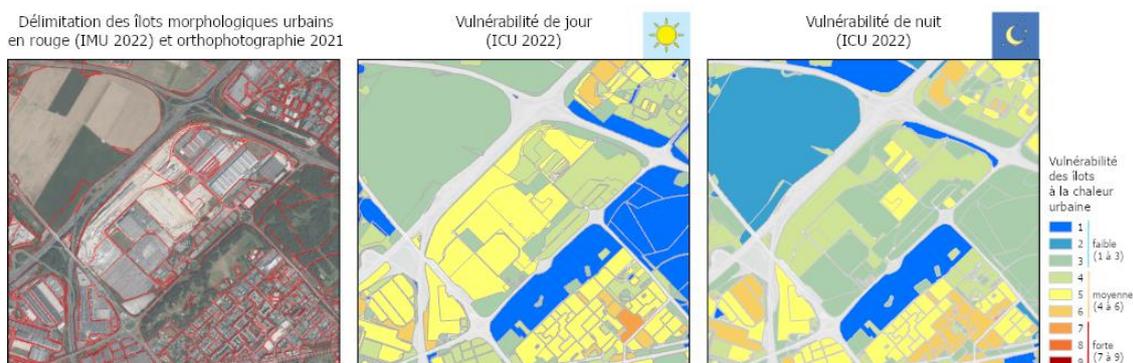
% de Ménages Pauvres / Ménages		Vulnérabilité à la chaleur le jour			Vulnérabilité à la chaleur la nuit		
Niveau de vulnérabilité	Notes	% Men. Pauvres	/moy	%	% Men. Pauvres	/moy	%
Faible	1	4,7%	<<	6,5%	4,7%	<<	7,6%
	2	5,8%	<<		5,9%	<<	
	3	7,9%	<		9,6%	<	
Moyenne	4	8,2%	<	13,0%	7,8%	<	13,0%
	5	13,7%	=		13,6%	=	
	6	16,0%	>		15,9%	>	
Forte	7	16,6%	>	16,5%	16,4%	>	16,2%
	8	16,2%	>		15,7%	>	
	9	35,3%	>>>		29,0%	>>>	
total		13,3%			13,3%		

Tableau 32 : Nombre de ménages pauvres des îlots par niveau de vulnérabilité à la chaleur en Ile-de-France (ICU 2022, L'Institut).

Nombre Ménages Bas revenu		Vulnérabilité à la chaleur le jour			Vulnérabilité à la chaleur la nuit		
Niveau de vulnérabilité	Notes	Nb MenBasRevenu	%		Nb MenBasRevenu	%	
Faible	1	321	0,0%	2,0%	366	0,1%	8,0%
	2	6 887	1,1%		21 618	3,3%	
	3	5 606	0,9%		30 695	4,7%	
Moyenne	4	84 894	13,0%	79,8%	50 827	7,8%	51,2%
	5	233 756	35,7%		133 071	20,3%	
	6	204 153	31,2%		151 209	23,1%	
Forte	7	108 038	16,5%	18,2%	174 075	26,6%	40,8%
	8	11 186	1,7%		91 920	14,0%	
	9	83	0,0%		1 143	0,2%	
total		654 924	100%	100%	654 924	100%	100%

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)

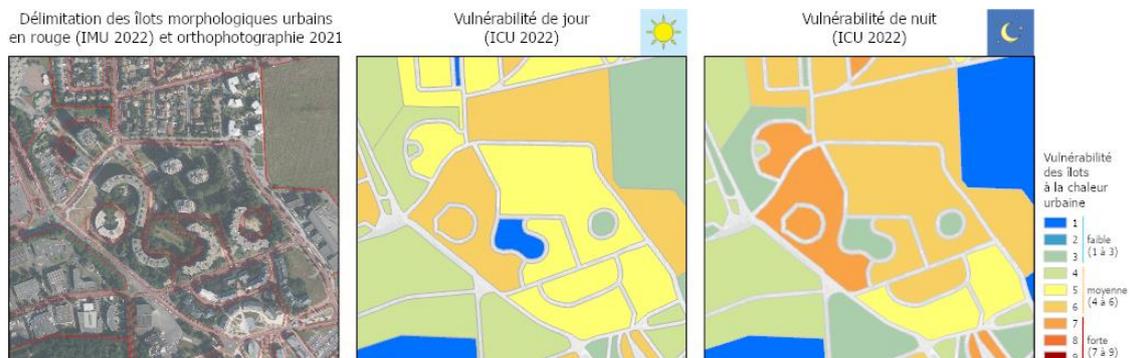


Pénétrante agricole (en haut, à gauche de la scène) au contact de l'agglomération : de l'ancienne usine Citroën et du quartier de la Rose des vents d'Aulnay-Sous-Bois.

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)

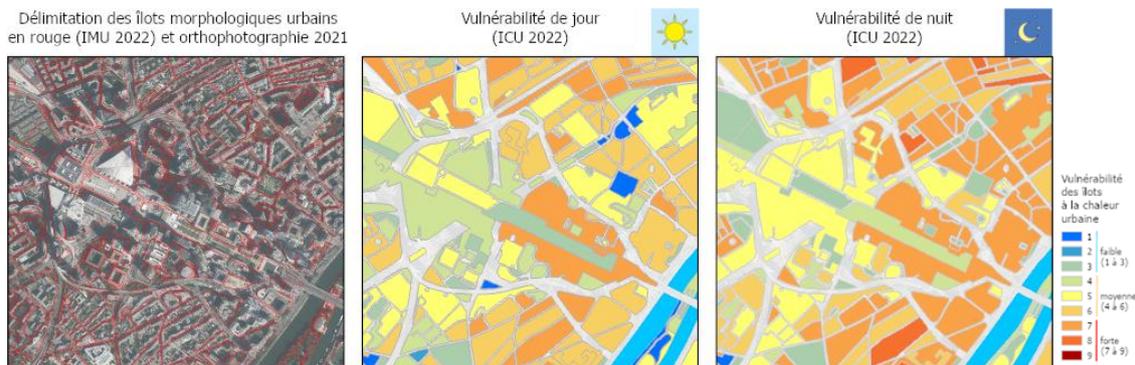


Le quartier Montceuleux est composé en son centre d'ensembles d'immeubles d'habitat plus ou moins espacés.

La vulnérabilité de ces îlots d'habitat, moyenne le jour, augmente la nuit (moyenne à forte) ; elle est surtout liée à une proportion importante de personnes sensibles (personnes âgées, enfants en bas âge) et/ou à bas revenu. Si le quartier Montceuleux présente majoritairement la nuit une note de vulnérabilité moyenne à l'est et au sud (classe 5 et 6), 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 3 îlots à l'ouest, en vulnérabilité forte (classe 7), le doivent 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 proportion élevée de population à bas revenu.

⇒ Dans le cas des îlots de classe 7, 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 identifié 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, le jour comme la nuit, 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 et des rues en piégeant les rayonnements infrarouges liés aux dégagements de chaleur accumulée par les matériaux. L'autre élément à considérer est l'absence de sol de pleine terre (urbanisme sur dalle) et la faible présence de plantations. Dans la moitié est du quartier (côté Seine), la vulnérabilité est plus importante la nuit (classes 7 et 8), c'est le fait d'une présence importante de population résidente contrairement aux tours de bureaux.

⇒ 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)

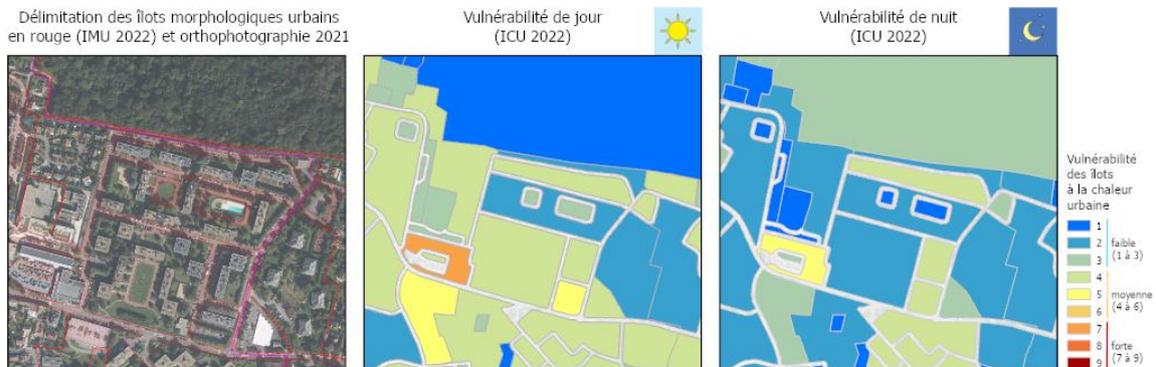


Ces îlots du cœur de Paris, situés sur la rive gauche de la Seine, sont tous des ensembles d'immeubles compacts. Ils constituent néanmoins deux secteurs relativement distincts : au nord, longeant le Quai d'Orsay, les bâtiments sont de densité moyenne (diverses ambassades...) ont été construits entre 1915 et 1953, alors que plus au sud, de part et d'autre 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 sont moyennes ou fortes (5,6 et 7) du fait aussi de la densité de population moindre. En revanche, les apports de fraîcheur ne leur bénéficient que peu la nuit, chaque îlot augmentant d'une classe. Pour les îlots de la rue Saint-Dominique, le degré de vulnérabilité est fort (effet d'ICU marqué lié à la compacité du tissu et à la densité de population), le jour comme la nuit (classes 7 et 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)

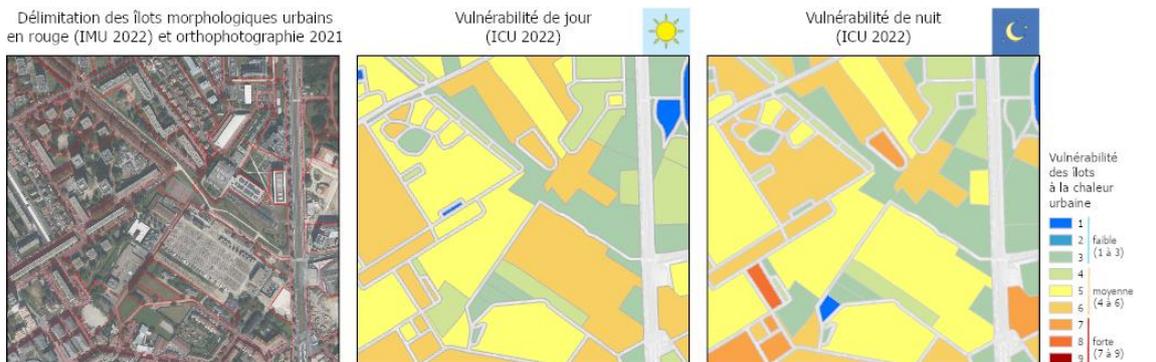


Secteur résidentiel de l'Orée de Marly en limite de la Forêt domaniale de Marly-le-Roi, de densité moyenne à faible, composé pour grande partie d'îlots d'ensemble d'immeubles espacés (résidence l'Orée de Marly) mais aussi d'îlots de maisons dispersées (à l'ouest, allée de la Clairière).

Si la vulnérabilité des îlots de ce secteur est globalement 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...). En revanche, 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)



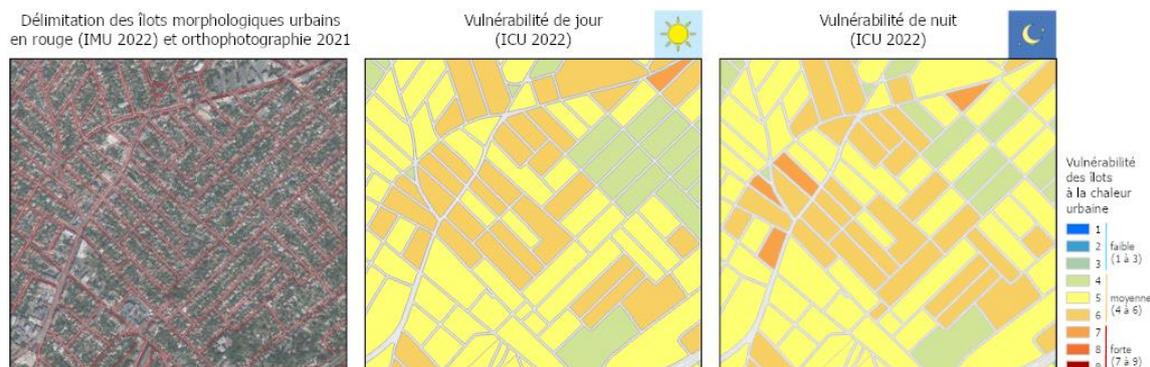
Quartier de La Saussay (habitat social), ensemble d'immeubles espacés d'époque de construction d'après-guerre (1954-1974) et de forte densité.

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)

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

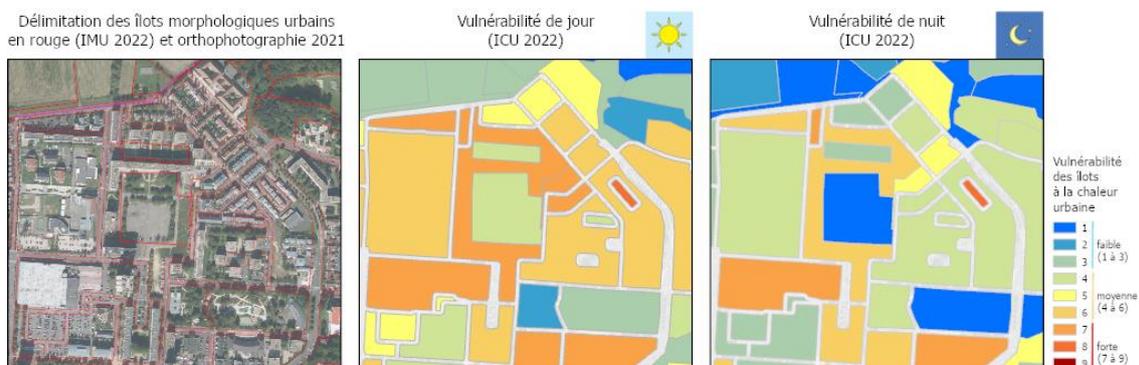


Ce tissu urbain est composé très majoritairement d'ensembles de maisons espacées, mais qui suivent un gradient de densité allant en diminuant de l'ouest (parcelles de maisons peu espacées, à proximité du Boulevard Aristide Briand) vers le sud-est (maisons éparées avec jardins très arborés). Les contrastes 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), les îlots de ce quartier peuvent être aussi très concernés ; ils accueillent des logements sociaux et présentent une vulnérabilité forte, de jour qui perdure pour certains, la nuit. Cette vulnérabilité est liée notamment à la minéralité et compacité de ses ensembles continus 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* des grandes surfaces de parking et des surfaces imperméables dédiées au cheminement piétonnier.

3.3 - Vulnérabilité à l'échelle des communes et des entités territoriales du SDRIF-E

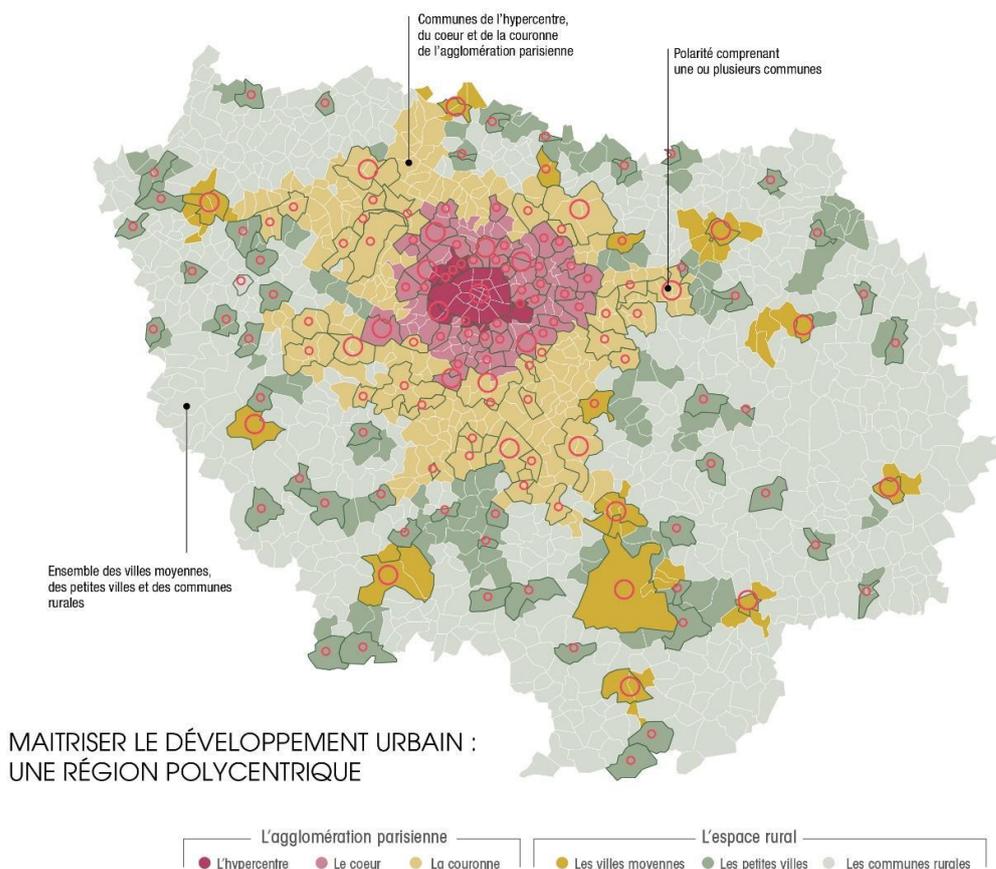
Le diagnostic de vulnérabilité s'appuie sur une base de données géographique constituée à l'îlot morphologique urbain (IMU). Chaque entité IMU étant référencée par son appartenance principale à une commune (numéro INSEE), des indicateurs synthétiques communaux et intercommunaux peuvent être proposés pour rendre compte des disparités territoriales à ces échelles de lecture. Pour l'échelon intercommunal, nous ferons un focus spécifique sur les entités territoriales du projet de SDRIF-E, Schéma directeur régional d'Île-de-France en cours de révision (Cf. *Illustration 68*).

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 suivants : le nombre d'îlot, la superficie des îlots, le nombre d'habitants 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...).

Illustration 68 : Les entités territoriales du SDRIF-E et les polarités (L'Institut Paris Region 2023)



© L'INSTITUT PARIS REGION, 2023
Source : L'Institut Paris Region

Répertoire des cartes communales (ICU 2022, L'Institut)

- Proportion de ménages pauvres en îlots à fort effet d'ICU, la nuit (Cf. Illustration 66, pages précédentes)
- Nombre de ménages pauvres en îlot à effet ICU moyen à fort, la nuit (Cf. Illustration 67, pages précédentes)
- Communes concernées par au moins un îlot fortement vulnérable, le jour et/ou la nuit (Cf. Carte 69)

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. 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. *Illustration 70, Principaux enseignements de la canicule 2003*).

- Nombre d'habitants par commune résidant dans des îlots à vulnérabilité forte face à la chaleur, la nuit (Cf. Illustration 71)
- 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'habitants par commune résidant dans des îlots à vulnérabilité forte face à la chaleur, la nuit (Cf. Illustration 72)
- 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. Illustration 73)
- 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. Illustration 74)
- 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. Illustration 75)
- 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.

Illustration 69 : Communes concernées par au moins un îlot fortement vulnérable, le jour et/ou la nuit (IMU 2022, L'Institut)

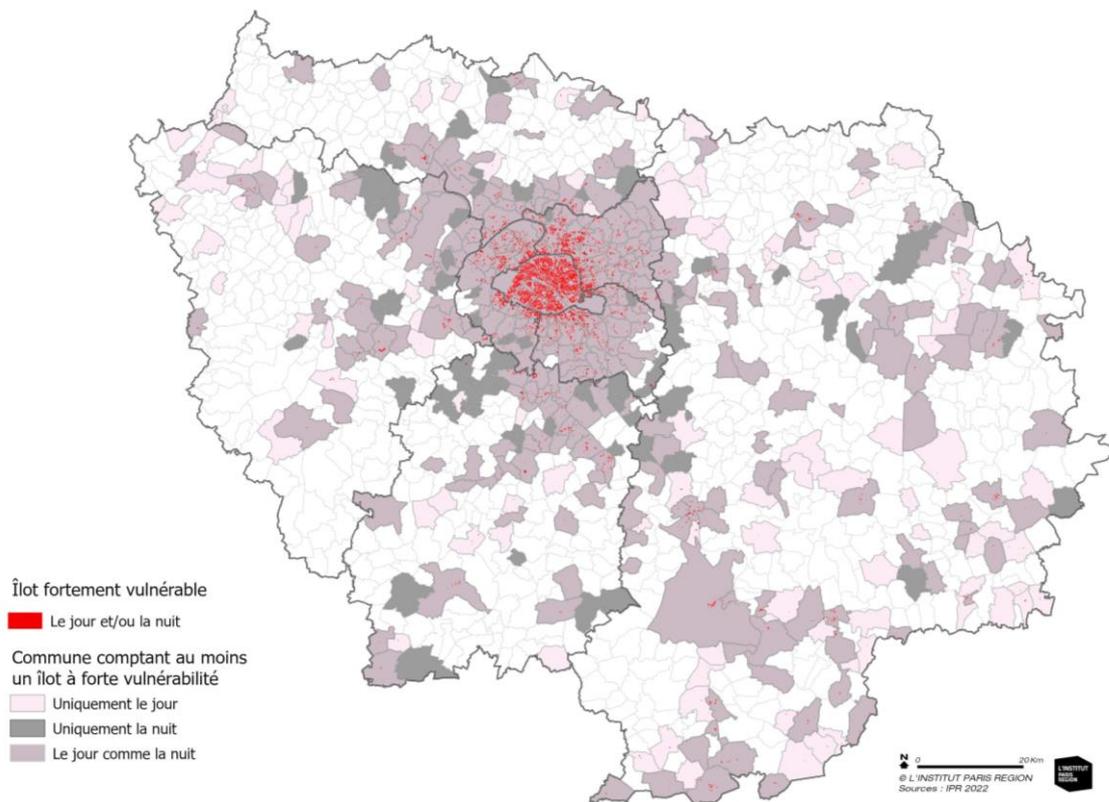
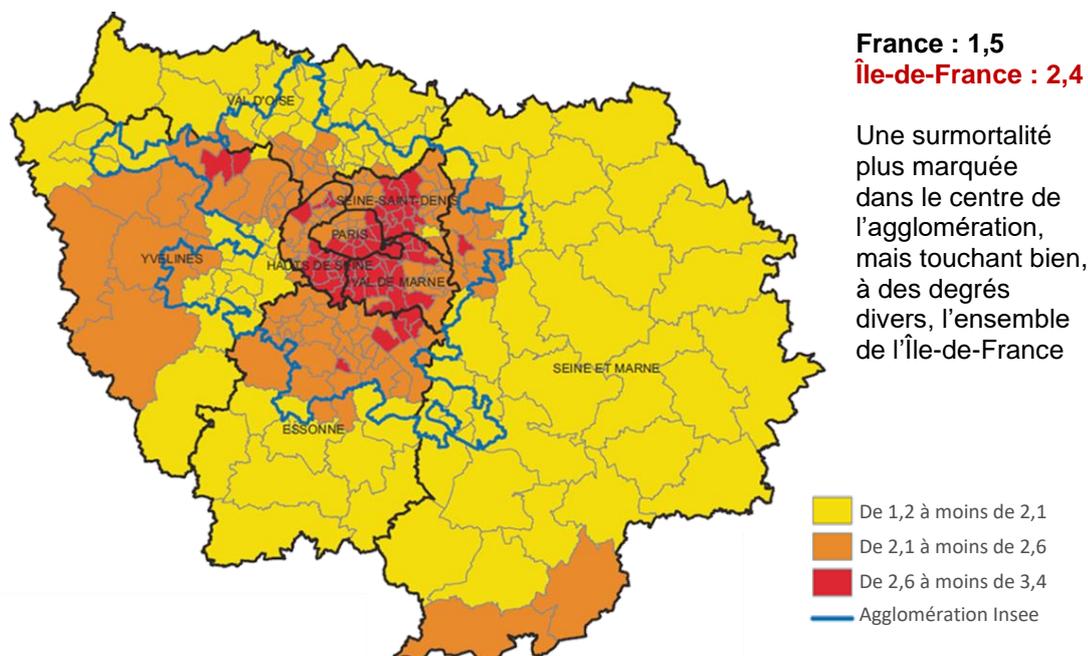


Illustration 70 : Rappel des « Principaux enseignements de la canicule 2003 : Ratio lissé de surmortalité par canton ».



Source : Insem CépidC, Insee, Exploitation ORS Île-de-France

Illustration 71 : Nombre d'habitants par commune résidant dans des îlots à vulnérabilité forte face à la chaleur, la nuit (IMU 2022, L'Institut)

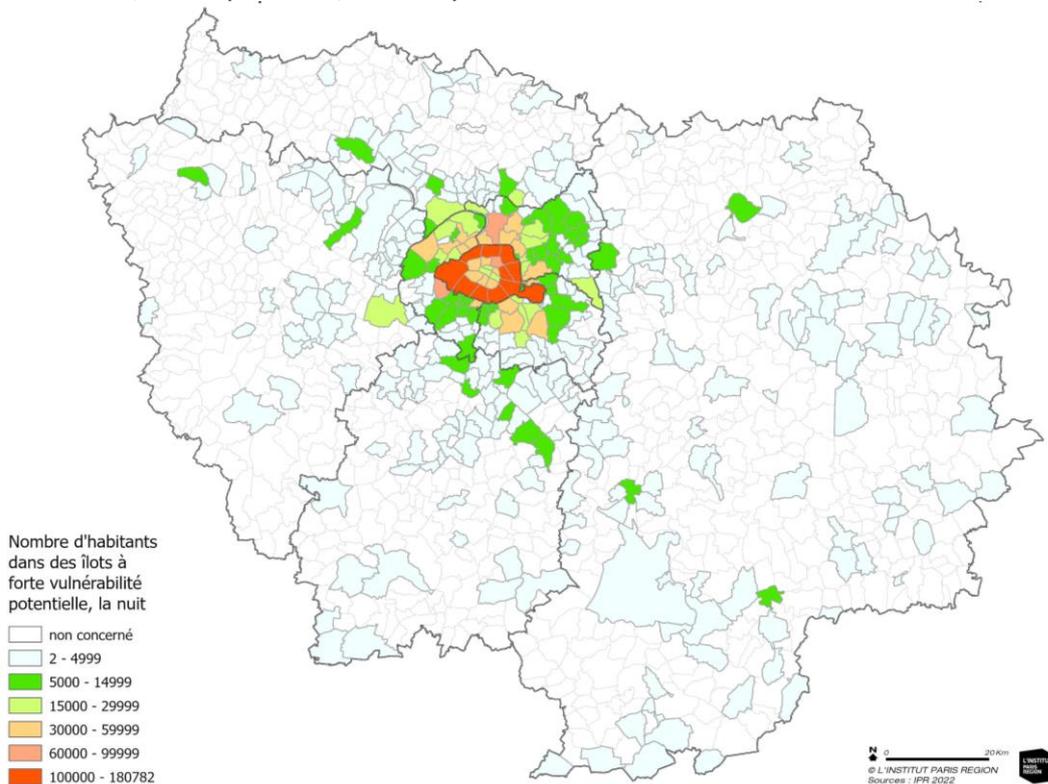


Illustration 72 : Proportion du nombre d'habitants par commune résidant dans des îlots à vulnérabilité forte face à la chaleur, la nuit (IMU 2022, L'Institut)

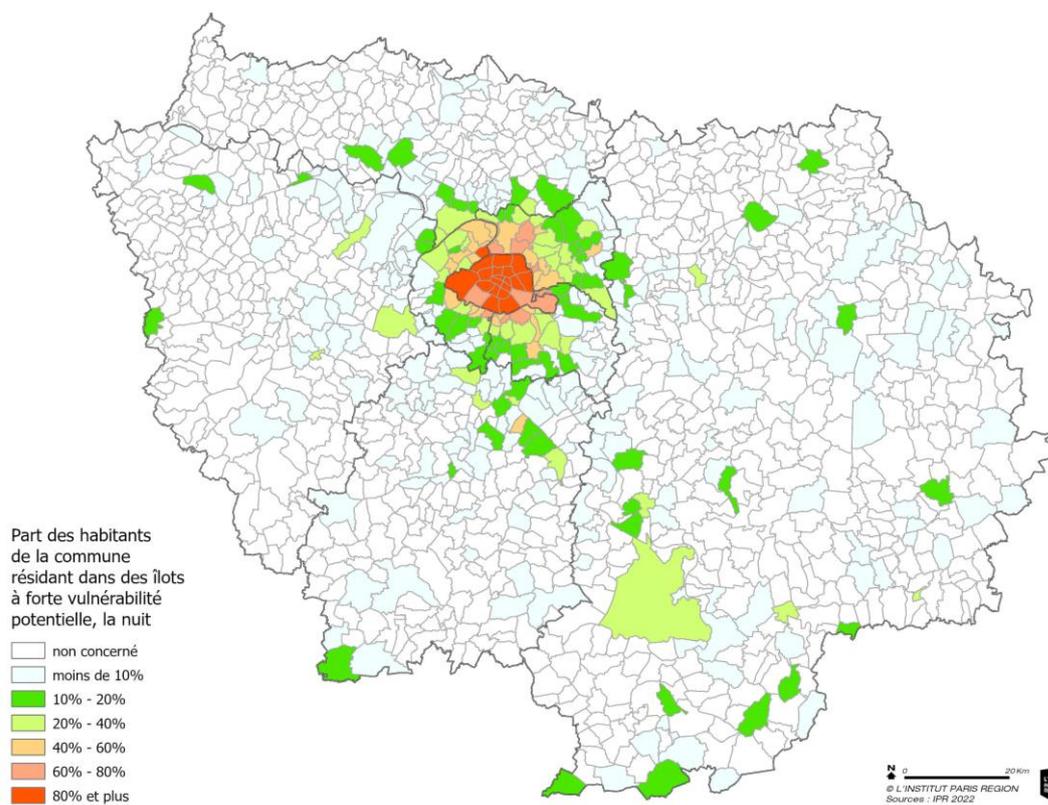


Illustration 73 : Effectif par commune de population sensible par l'âge (moins de 5 ans et plus de 65 ans) résidant dans des îlots à vulnérabilité forte face à la chaleur, la nuit (IMU 2022)

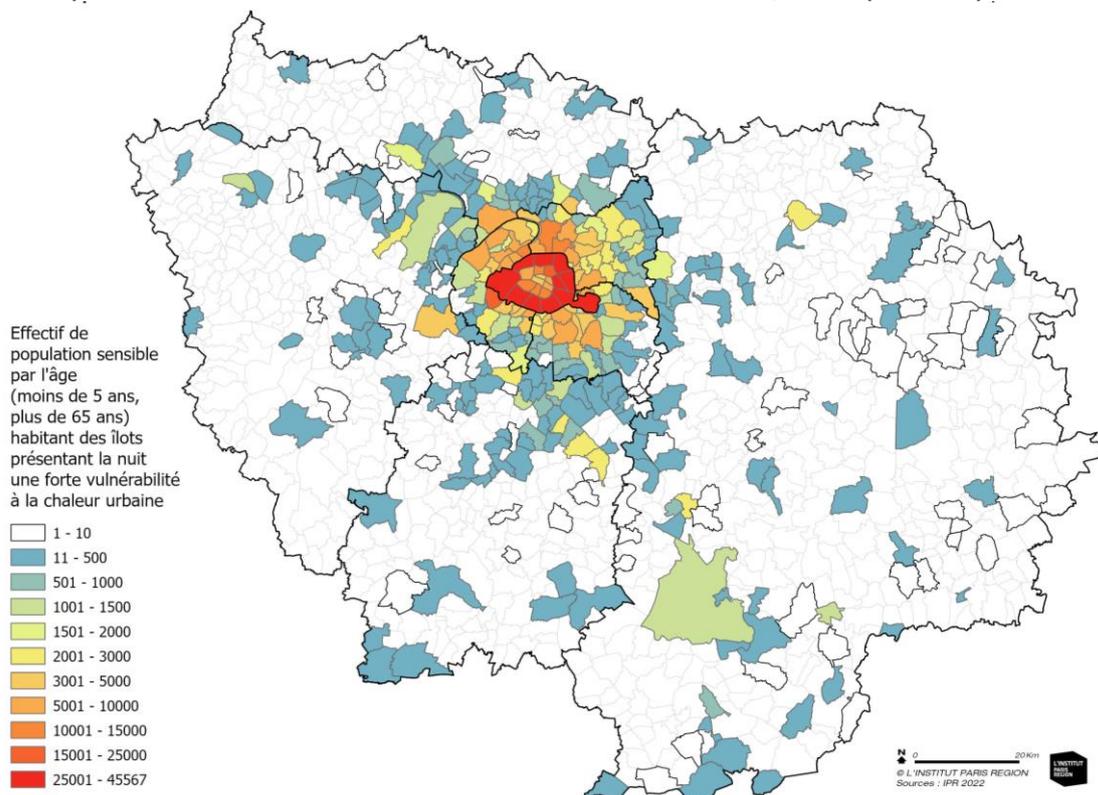


Illustration 74 : Effectif par commune de population sensible par l'âge (moins de 5 ans et plus de 65 ans) résidant dans des îlots à vulnérabilité moyenne ou forte face à la chaleur, la nuit (IMU 2022)

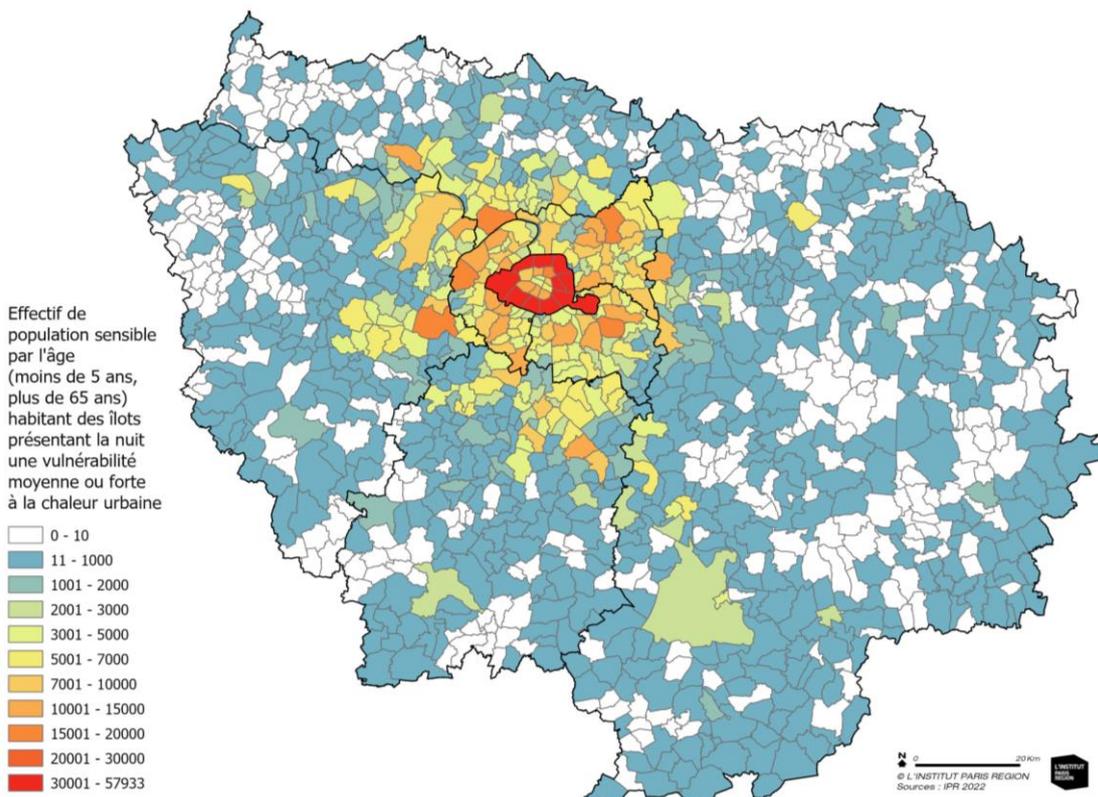
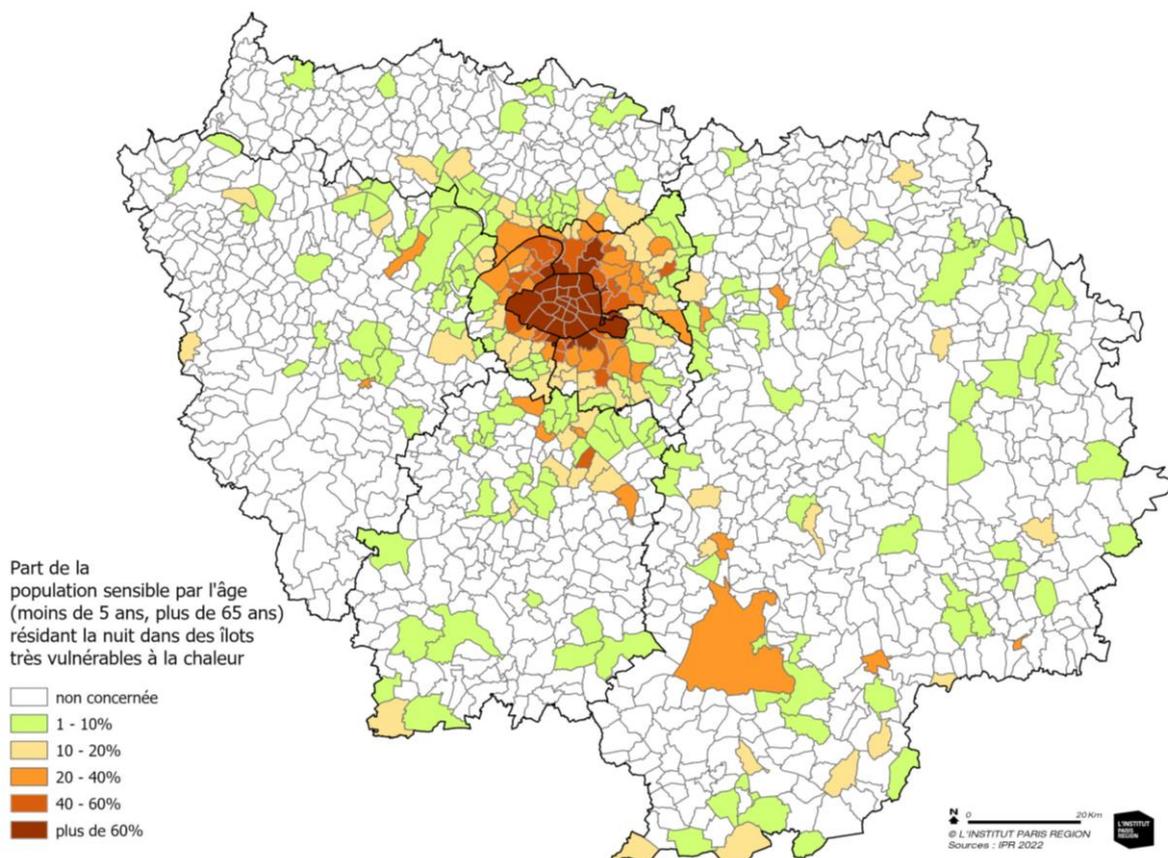


Illustration 75 : Part de la population sensible par l'âge (moins de 5 ans et plus de 65 ans) résidant dans des îlots à vulnérabilité forte face à la chaleur, la nuit (IMU 2022, L'Institut)



Focus territorial : révision du Sdrif-e Ile-de-France 2040

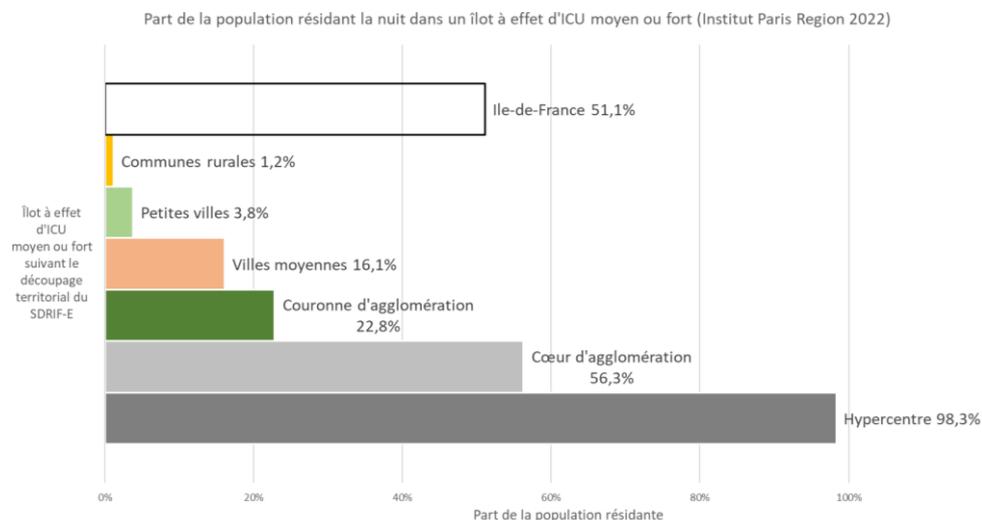
Le lancement de la révision du Schéma directeur régional d'Île-de-France (Sdrif-e) a été acté par délibération du conseil régional le 17 novembre 2021. Le nouveau Schéma directeur de la Région Île-de-France a été arrêté le 12 juillet 2023 par le Conseil régional, avant l'adoption du document à l'été 2024, puis son approbation par décret en Conseil d'Etat.

Comme pour le précédent schéma directeur (Schéma directeur Île-de-France 2030), les enseignements de la présente mise à jour de l'étude de vulnérabilité à la chaleur urbaine ont nourri les travaux d'élaboration du Sdrif-e pour évaluer ses incidences sur l'adaptation au changement climatique.

Pour ce focus spécifique relatif à la lutte contre les effets d'îlot de chaleur urbain, le profil des entités territoriales a été étudié au regard de la part de la population résidant dans un quartier soumis la nuit à l'effet d'îlot de chaleur urbain – effet d'ICU moyen et fort). Il s'avère hétérogène, avec un gradient centre-périphérie très marqué (Cf. [Graphe 8](#)).

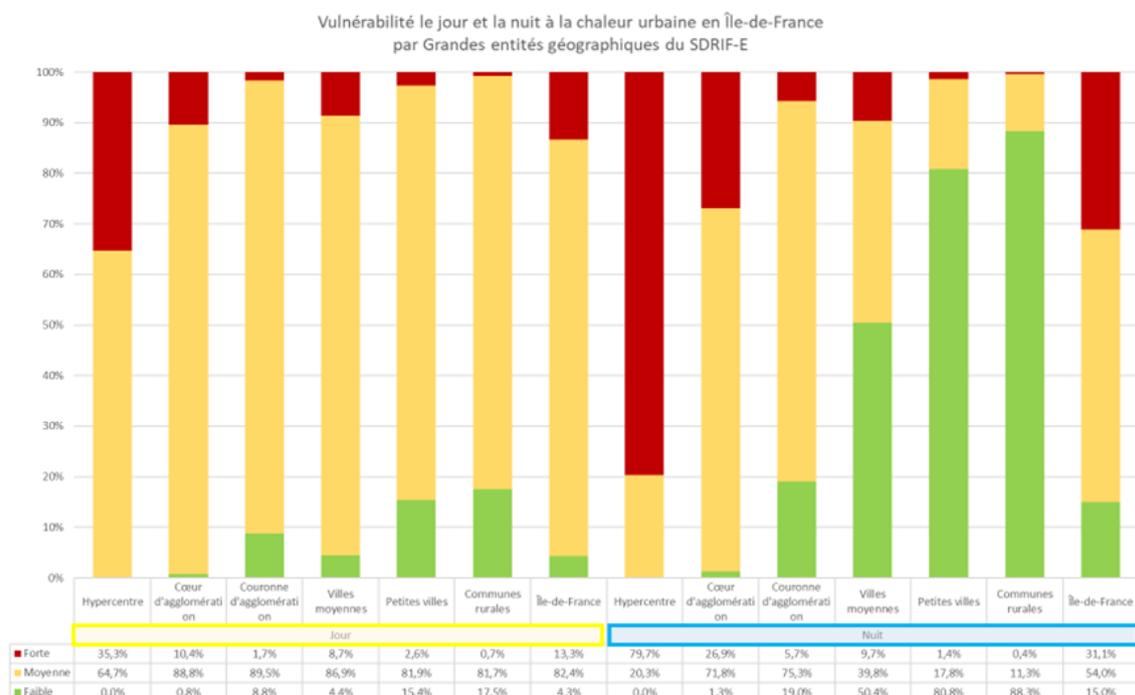
L'hypercentre constitue en effet de loin l'entité territoriale la plus exposée à ce phénomène qui devrait s'accroître avec l'évolution en cours du climat. La quasi-totalité de l'entité et de sa population (98 %) sont affectées par l'effet d'ICU, et ce, de manière forte (82 % de la population soumise à un aléa fort). Avec 56 % de sa population soumise au phénomène à un niveau d'aléa fort (18 %) et moyen (38 %), le cœur d'agglomération est la seconde entité la plus concernée. Plus d'un habitant sur cinq de la couronne d'agglomération (très majoritairement en aléa moyen), est soumis à la chaleur urbaine, et légèrement moins sur les villes moyennes. A l'opposé, les communes rurales et les petites villes sont très peu affectées (moins de 4 % de leur population, surtout en aléa moyen). Sur ces deux dernières entités, les espaces ouverts sont bien plus développés, et les densités urbaines moindres, expliquant le fait qu'elles sont moins concernées par l'effet d'ICU.

Graphe 8 : Part de la population résidant la nuit dans des quartiers à effet d'ICU moyen à fort selon les entités territoriales du Sdrif-e (exploitation ICU 2022 de L'Institut Paris Region pour le Projet pour arrêt Île-de-France 2040, rapport d'Evaluation environnementale stratégique, 04/07/2023)



En termes de vulnérabilité au phénomène d'îlot de chaleur urbain (Cf. *Graphe 9 et Tableau 33*), « l'analyse des profils des entités territoriales montre qu'il est fondamental d'orienter le développement urbain vers les entités où les densités humaines et urbaines sont moins fortes, où la minéralisation des espaces et leur imperméabilisation sont moins élevées, de façon à ne pas aggraver des situations déjà critiques sur l'hypercentre, et relativement difficiles sur le cœur d'agglomération. Il apparaît également essentiel que le développement urbain s'accompagne d'une action d'aménagement des quartiers et espaces en faveur de leur adaptation à la chaleur urbaine » (Extrait EES, 04/07/2023).

Graphe 9 : Pourcentage de population par entités territoriales du Sdrif-e par classes de vulnérabilité à la chaleur urbaine, le jour versus la nuit (ICU 2022, L'Institut Paris Région)



« Sur cet enjeu, les incidences probables du Sdrif-e seront modérées et contrastées territorialement. En effet, celui-ci flèche le développement régional autour de l'armature du réseau des polarités. Celles-ci sont nombreuses dans le cœur d'agglomération, particulièrement bien desservi en transports en commun, mais relativement vulnérable aux épisodes de chaleur qui devraient s'accroître dans les années à venir. Ces polarités sont également bien présentes dans la couronne d'agglomération. De

nombreuses villes moyennes sont également des polarités autour desquelles le développement doit se concentrer ; l'exposition au phénomène d'ICU y est plutôt moyenne. »

Tableau 33 : Nombre d'habitants par entités territoriales du Sdrif-e et classes de vulnérabilité la nuit

Population		Hypercentre			Cœur d'agglomération			Couronne d'agglomération		
Niveau de vulnérabilité	Notes	Nb d'hab.	%		Nb d'hab.	%		Nb d'hab.	%	
Faible	1	18	0,0%	0,0%	559	0,0%	1,3%	7 253	0,2%	19,0%
	2	34	0,0%		17 734	0,4%		415 087	12,6%	
	3	1 088	0,0%		36 197	0,9%		204 173	6,2%	
Moyenne	4	24 152	0,8%	20,3%	510 687	12,3%	71,8%	927 927	28,2%	75,3%
	5	120 133	4,1%		1 205 612	29,1%		1 035 050	31,4%	
	6	447 558	15,3%		1 255 419	30,3%		516 329	15,7%	
Forte	7	1 359 816	46,6%	79,7%	843 220	20,4%	26,9%	164 262	5,0%	5,7%
	8	963 743	33,0%		263 032	6,4%		21 934	0,7%	
	9	2 818	0,1%		6 928	0,2%		-	0,0%	
total		2 919 360	100%	100%	4 139 388	100%	100%	3 294 219	100%	100%

Population		Villes moyennes			Petites villes			Communes rurales		
Niveau de vulnérabilité	Notes	Nb d'hab.	%		Nb d'hab.	%		Nb d'hab.	%	
Faible	1	929	0,2%	50,4%	4 128	0,8%	80,8%	6 659	1,5%	88,3%
	2	119 133	22,8%		215 709	40,0%		184 104	41,5%	
	3	143 331	27,4%		215 940	40,0%		200 821	45,3%	
Moyenne	4	69 082	13,2%	39,8%	53 883	10,0%	17,8%	37 966	8,6%	11,3%
	5	69 823	13,4%		25 343	4,7%		9 009	2,0%	
	6	69 143	13,2%		16 936	3,1%		3 353	0,8%	
Forte	7	40 553	7,8%	9,7%	5 869	1,1%	1,4%	1 615	0,4%	0,4%
	8	10 170	1,9%		1 572	0,3%		150	0,0%	
	9	-	0,0%		67	0,0%		-	0,0%	
total		496 372	100%	100%	564 913	100%	100%	443 677	100%	100%

Population		Ile-de-France		
Niveau de vulnérabilité	Notes	Nb d'hab.	%	
Faible	1	19 552	0,2%	15,0%
	2	953 094	8,0%	
	3	802 024	6,8%	
Moyenne	4	1 623 797	13,7%	54,0%
	5	2 464 975	20,8%	
	6	2 308 738	19,5%	
Forte	7	2 415 335	20,4%	31,1%
	8	1 260 601	10,6%	
	9	9 813	0,1%	
		11 857 929	100%	100%

En 2022, plus de 6 000 000 de Franciliens - 54% de la population - résidaient dans un îlot (« pâté de maison ») à effet d'ICU potentiellement moyen à fort, avec logiquement l'hypercentre (98,3%) et le Cœur d'agglomération (56,3%) beaucoup plus concernés. Le potentiel de fraîcheur s'observe en effet dès la Couronne d'Agglomération (près de 78% des habitants ne sont pas dans un îlot à effet d'ICU marqué, 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 marqué ne sont, cependant, pas tous vulnérables. Ce sont plus de 3 685 000 habitants – près d'un tiers des Franciliens (31%) – qui vivent dans un îlot présentant - par l'ensemble des critères de socio-démographie-urbaine considéré - une vulnérabilité potentiellement forte la nuit, dont 845 000 personnes sensibles par l'âge - moins de 5 ans et plus de 65 ans - soit moins de 7% de la population francilienne. Si dans l'hypercentre, près de 80% des habitants présentent la nuit des critères de vulnérabilité forte, ils ne sont plus que 27% dès le Cœur d'agglomération.

Pour limiter les incidences du choix spatial du SDRIF-E, ce dernier « comprend de nombreuses mesures d'accompagnement. En premier lieu, il prévoit une orientation spécifique sur l'enjeu de lutte contre l'effet d'îlot de chaleur urbain (OR36). Il privilégie un accroissement du parc de logement sur l'hypercentre prioritairement à partir du bâti existant (OR57), cette mesure apparaissant fondamentale pour limiter l'accroissement de l'exposition à l'ICU dans cette entité. Un autre levier majeur relève du développement de la nature en ville avec des dispositions en faveur de la désimperméabilisation des espaces, de l'augmentation de la part des sols de pleine terre et de la végétalisation des villes, de la création d'espaces verts et de loisirs et de la prise en compte des règles de construction bioclimatiques dans les documents d'urbanisme (cf. incidences sur les espaces ouverts, les paysages et les

patrimoines). Par ailleurs, le Sdrif-e sanctuarise l'armature verte, protège de manière générale les espaces ouverts et vise leur reconquête dans les entités territoriales où l'ICU est plus marqué, ce qui aura des incidences positives sur l'environnement.

Il convient de souligner que les incidences évolueront d'autant plus positivement ou négativement que les processus de renaturation seront effectivement mis en œuvre dans les espaces denses (et plus particulièrement dans l'hypercentre). » (extrait EES, 04/07/2023).

**« Préparer l'Île-de-France à faire face aux épisodes de chaleur »
(extrait du rapport des Orientations réglementaires du Projet
pour arrêt Île-de-France 2040 : un nouvel équilibre, 04/07/2023)**

« Les risques de chaleur extrême, dans un contexte où le nombre de jours de vagues de chaleur et d'épisodes de canicule augmentent, constituent un enjeu de santé publique pour les politiques d'aménagement, notamment en zone urbaine où la vulnérabilité humaine est accentuée du fait des effets aggravants d'îlots de chaleur urbains liés à la forte minéralisation.

36. Pour lutter contre l'effet d'îlot de chaleur urbain, outre les espaces verts à maintenir et développer (OR 26 et s.), les documents d'urbanisme doivent :

- maximiser le pouvoir rafraîchissant de la nature en ville, en développant les surfaces végétalisées (en privilégiant la pleine terre, cf. OR 29) et en restaurant le cycle de l'eau par la création de milieux humides qui constituent des zones d'infiltration naturelle (mares, noues, plans d'eau, berges naturelles) ;
- définir les conditions favorisant un aménagement bioclimatique (orientation des bâtiments /exposition au soleil et ventilation, matériaux biosourcés, ombrage, récupération eaux pluviales) et la rénovation énergétique des bâtiments.

Les zones accueillant des établissements recevant un public sensible (jeunes enfants, personnes âgées, établissements de santé...) ou des activités sportives constituent des zones d'intervention prioritaires. »

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) conduisent à pouvoir proposer un panel de solutions d'adaptation qui tienne 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 climatique consécutifs de la sécheresse (manque d'eau, retrait-gonflement des argiles, risque d'incendie, crues d'orage l'été) peuvent affecter d'autres lieux en Ile-de-France que les zones à effet d'ICU les plus marqués, l'augmentation des capacités à faire face - les ressources des populations et des territoires – reste un des registres d'action les plus déterminants (*Cf. Illustration 76*).

Illustration 76 : Les difficultés à faire face aux effets du changement climatique (L'Institut)

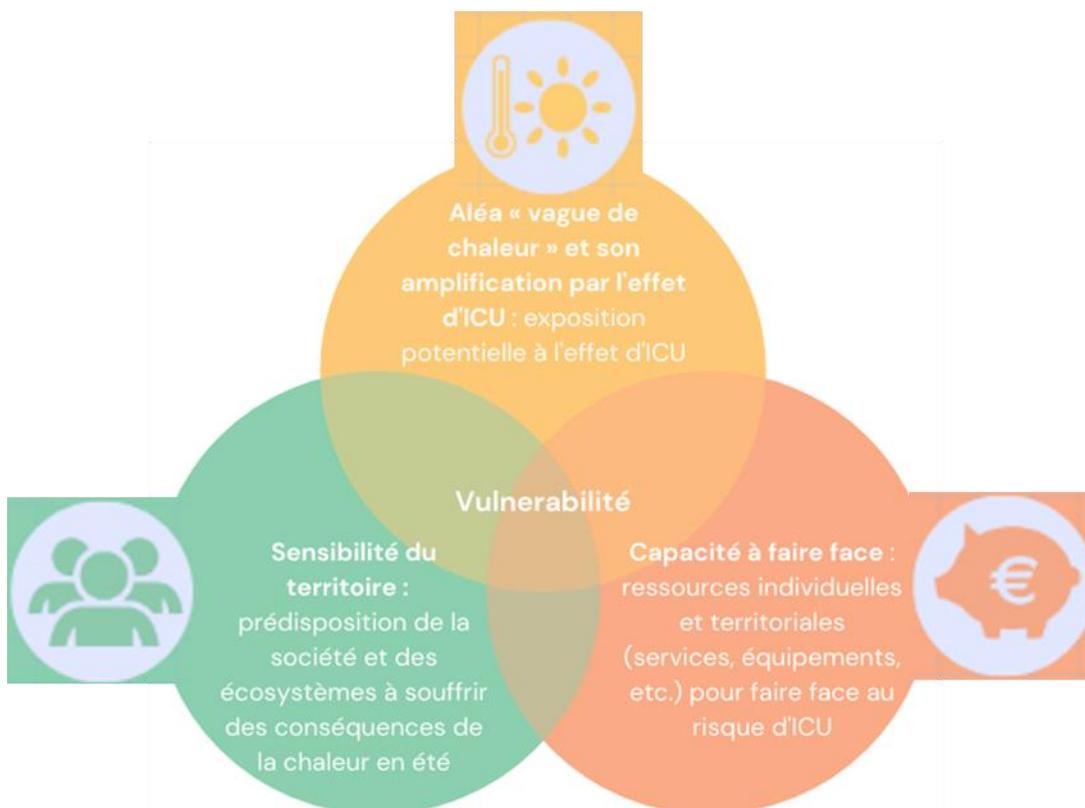


Source : « Éviter la ségrégation climatique et les nouvelles formes d'inégalité, Journée régionale pour le climat » 4 mai 2015, E. Cordeau, N. Laruelle – L'Institut

A 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.

Ces préconisations de solutions types, identifiées par de nombreuses sources de référencement - études, travaux de recherche, guides de recommandation, planifications, référentiels aménagement et construction durable, portails de solutions et d'expérimentations... – sont classées suivant les 3 registres d'action - aléa, sensibilité, difficulté (*Cf. Tableau 34, page 100*).

Illustration 77 : Les 3 registres de solutions d'adaptation à la chaleur urbaine (L'Institut Paris Région)



Un panel d'une trentaine de solutions a été constitué. Parmi ces solutions, 17 dans le registre des solutions de lutte contre l'effet d'ICU, 5 dans le registre des solutions de prise en compte de la sensibilité des habitants et des conditions de vie et 8 dans le registre des solutions de renforcement des capacités à faire face.

L'objectif est de définir un arbre des choix (*Cf. Annexe 11*) pour chaque îlot qui s'appuie sur ses caractéristiques intrinsèques – les propriétés LCZ, notamment -, sur les indicateurs discrets de chacune de ses composantes de vulnérabilité à la chaleur urbaine - effet d'ICU, indicateurs de sensibilité, indicateurs de difficulté à faire face – et des résultats d'effet d'ICU et de vulnérabilité à la chaleur urbaine interprétés par cet îlot.

La création d'un outil cartographique d'aide à la décision permettrait aux parties prenantes qui décident des solutions d'adaptation, tous les acteurs qui interviennent dans la ville (élus, décideurs, aménageurs, services publics, associations...), de faire des choix en tenant compte et en faveur du climat. Lorsque l'on parle de solutions, il s'agit en réalité d'orientations de pistes de solutions les plus adaptées à l'échelle de l'îlot, du pâté de maisons.

Appuyé sur le référentiel francilien des îlots morphologiques urbains (IMU 2022, L'Institut Paris Région), ce diagnostic cartographique permet de renseigner le type de solutions d'adaptation à déployer au niveau local lorsque cela s'avère nécessaire, les îlots étant impactés différemment selon la nature des perturbations engendrées par les caractéristiques urbaines et selon les données socio-démographiques-urbaines (sensibilités particulières des habitants et de leur cadre de vie et difficultés à faire face, individuelles ou territoriales).

Une première forme de cet outil des solutions avait été créée en marge de la première étude de vulnérabilité à la chaleur urbaine (L'Institut Paris région, 2017). Par sa forme de développement, il a servi comme outil d'expertise interne (non diffusé). Le principe de mettre à jour cet outil avec une nouvelle forme de développement a fait l'objet du projet de cartographie interactive « Citad'Apt » (Dore M., mémoire de M2, 2023). Une analyse critique des résultats de ce diagnostic des solutions a pu être menée sur la commune de Vitry-Sur-Seine par une confrontation avec une expertise de terrain.

Tableau 34 : Typologie des préconisations d'action pour l'adaptation (L'Institut Paris Region)

Indicateur	Registre	Type de solutions	Solutions à privilégier	Critères pour l'élaboration de l'indicateur
SA_ev	 Solution d'atténuation de l'effet d'ICU	Augmentation de la couverture végétale	Plus de végétation de pleine terre : espaces verts, trames vertes...	<ul style="list-style-type: none"> Concerné* = 1 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 (toits, terrasses, murs, pieds d'immeubles...)	<ul style="list-style-type: none"> Concerné* = 1 IV haute + IV basse < 33% Proxi LCZ Arbre = 0 CES + IV Haute + IV Basse >= 0.6
SA_vegtoit			Potentiel de végétalisation des toitures terrasses	<ul style="list-style-type: none"> Concerné* = 1 IV haute + IV basse < 33% Proxi LCZ Arbre = 0 Part des toits "plats" >= 33 % (avec vérification sur le dénominateur pour éviter de diviser par 0)
SA_perm		Augmentation des surfaces en eau et récupération d'eau	Plus de sols perméables (rétention d'eau par le sol)	<ul style="list-style-type: none"> Concerné* = 1 Classe Alea nuit > 1 ou Classe Alea jour > 1 MOS 81 majoritaire différent de 78 Part de sol perméable < 60% Part de sol imperméable non bâti >= 15% Densité en eau < 5% Proximité eau = 0
SA_eau			Plus d'aires de rafraîchissement de proximité : aires aquatiques, bassins, brumisateurs, miroirs d'eau, fontaines...	<ul style="list-style-type: none"> LCZ1 = 4 ou 5 OU LCZ1 = 1, 2 ou 3 ET LCZ2 = B, C, D, E OU LCZ1 = B, C, D, E ET LCZ2 = 1, 2, 3, 4 ou 5 CES <= 50% Classe Alea nuit > 1 ou Classe Alea jour > 2 Densité en eau < 5% Proximité eau = 0
SA_recupsol			Potentiel de récupération d'eau en pied d'immeuble, amélioration de la gestion de l'eau	<ul style="list-style-type: none"> Concerné* = 1 Classe Alea nuit > 1 ou Classe Alea jour > 1 MOS 81 majoritaire différent de 78 Part de sol perméable < 60% Part des toits "pentus" > 67 % (avec vérification sur le dénominateur pour éviter de diviser par 0)
SA_recuptoit			Potentiel d'usage de l'eau pour toitures végétalisées	<ul style="list-style-type: none"> Concerné* = 1 Classe Alea nuit > 1 ou Classe Alea jour > 1 MOS 81 majoritaire différent de 78 Part de sol perméable < 60% Part des toits "plats" >= 33 % (avec vérification sur le dénominateur pour éviter de diviser par 0)
SA_arbre	Augmentation de la surface d'ombrage		Plus d'arbres	<ul style="list-style-type: none"> Concerné* = 1 SVF >= 0.4 IV haute < 33% MOS 81 majoritaire différent de 78 Classe Alea nuit > 1 ou Classe Alea jour > 2 (CES + IV haute < 0.5 ET Haut Moy Pond > 10m) OU (CES + IV haute < 0.6 ET Haut Moy Pond <= 10m)
SA_ombre		Plus de protections solaires du bâti : ombrières solaires, pergolas...	<ul style="list-style-type: none"> Concerné* = 1 SVF <= 0.3 IV haute < 33% 	
SA_albedo_sol		Utilisation de matériaux à propriétés thermiques/optiques plus adaptées	Augmentation de l'albédo des surfaces au sol (revêtements des chaussées...)	<ul style="list-style-type: none"> Classe Alea nuit > 1 ou Classe Alea jour > 1 LCZ1 = E ou LCZ2 compris entre 1 et 10 ET LCZ2 = E
SA_albedo_toit	Augmentation de l'albédo des toitures terrasses		<ul style="list-style-type: none"> Classe Alea nuit > 1 ou Classe Alea jour > 1 LCZ1 compris entre 1 et 10 Planéité > 50% de la surface totale de toit 	
SA_materiau	Diminution des sources de chaleur anthropique	Plus d'inertie des matériaux (confort thermique dans le logement...)	<ul style="list-style-type: none"> Concerné* = 1 Époque de construction = après 2nd guerre mondiale Classe Alea nuit > 1 	
SA_trafic		Facilitation des circulations douces, encouragement TC, plus de fluidité du trafic	<ul style="list-style-type: none"> Concerné* = 1 Combustion automobile > 0 	
SA_clim		Moins de climatisation en mode sec, privilégier les systèmes collectifs (réseaux de froid...) ou individuels (VMC double flux, puits Canadien...)	<ul style="list-style-type: none"> Consommation en électricité spécifique (climatiseur) > 0 	

Indicateur	Registre	Type de solutions	Solutions à privilégier	Critères pour l'élaboration de l'indicateur	
SA_process	 Solution d'atténuation de l'effet d'ICU	Diminution des sources de chaleur anthropique	Récupération de la chaleur perdue par les procédés industriels (chaleur fatale)	<ul style="list-style-type: none"> Présence d'industrie lourde = 1 	
SA_vent		Adaptation de la morphologie urbaine (position et orientation du bâti)	Plus de ventilation de l'îlot (meilleure circulation des masses d'air, front urbain moins continu)	<ul style="list-style-type: none"> Concerné* = 1 Classe IMU (rugosité urbaine) >= 31 	
SA_svf			Moins d'obstacles à la vue du ciel (accélération du refroidissement nocturne)	<ul style="list-style-type: none"> Concerné* = 1 Classe Alea nuit > 1 SVF <= 0.4 	
SS_confort	 Solution de prise en compte de la sensibilité des habitants et des conditions de vie		Confort thermique au travail (bâti tertiaire, espaces extérieurs, enceintes de transports collectifs) à considérer attentivement	<ul style="list-style-type: none"> Densi emploi > 0.001 	
SS_bati			Isolation des bâtiments, ventilation naturelle, inertie et albédo des matériaux (façades, toits) à considérer attentivement	<ul style="list-style-type: none"> Âge du bâti majoritaire = "1949_1974" (bâti d'après guerre) Nombre d'habitants >= 11 CES > 0.005 	
SS_sensible			Risque sanitaire lié à la proportion de personnes sensibles à considérer attentivement	<ul style="list-style-type: none"> ((Nombre d'habitants de la classe 0-5 & 65+ >= 50 individus (calcul dynamique) OU (Nombre d'habitants >= 11 ET Part population sensible > 20%)) ET CES > 0.005) OU maison retraite = 1 	
SS_densite			Risque sanitaire lié à la suroccupation potentielle des logements à considérer attentivement	<ul style="list-style-type: none"> Densité habitant >= 0.03 hab/m² plancher habitat Nombre d'habitants > 25 	
SS_pollair		Solution de prise en compte de la sensibilité des habitants et des conditions de vie		Diminution de la pollution de l'air (cofacteur de surmortalité) : diminution du trafic automobile et des vitesses de circulation...	<ul style="list-style-type: none"> [Densi emploi > 0.001 (classe moyenne) OU (Densi hab imu >= 0.0025 (cl moy) ET Nombre d'habitants >= 11) ET (Proximité trafic routier > 0 OU Niveau d'Ozone > classe 2) ET CES > 0.005] OR (ASPECTRATIO >=1 ET CES > 0.01 ET IV haute < 0.5)
SI_medecin		 Solution de renforcement des capacités à faire face		Soutien à l'amélioration de l'offre en médecine généraliste (présence, accessibilité)	<ul style="list-style-type: none"> Nombre d'habitants >= 11 Proximité médecin généraliste = 1 CES > 0.01
SI_urgence			Soutien à l'amélioration de l'offre en services d'urgences (présence, accessibilité)	<ul style="list-style-type: none"> Nombre d'habitants >= 11 Proximité urgences = 2 CES > 0.005 	
SI_habitat			Soutien à l'amélioration des conditions d'habitat insalubre (ménages pauvres, suroccupation logement)	<ul style="list-style-type: none"> Part ménages pauvres > 12.4% Densité de population par m² plancher > 0.03 	
SI_chalex			Incitation à l'inscription volontaire au Registre nominatif confidentiel des personnes fragiles (personnes âgées de 80 ans et plus)	<ul style="list-style-type: none"> Nombre d'habitants >= 11 ET CES > 0.005 ET Nombre d'individus de 80 ans et plus >= 11 OU Part des individus de 80 ans et plus >= 10% 	
SI_fragile			Accompagnement/sensibilisation à la mise en œuvre du Plan canicule des personnes fragiles (ménages pauvres)	<ul style="list-style-type: none"> Nombre d'habitants >= 11 Part des ménages pauvres > 33.4% 	
SI_evprox			Promouvoir l'îlot de fraîcheur que constitue l'espace vert ouvert au public de proximité ; identifier les possibilités de son ouverture exceptionnelle la nuit	<ul style="list-style-type: none"> Nombre d'habitants >= 11 Proxi EV publics > 0 IV haute < 0.2 IV haute + IV basse < 50 % CES > 0.005 	

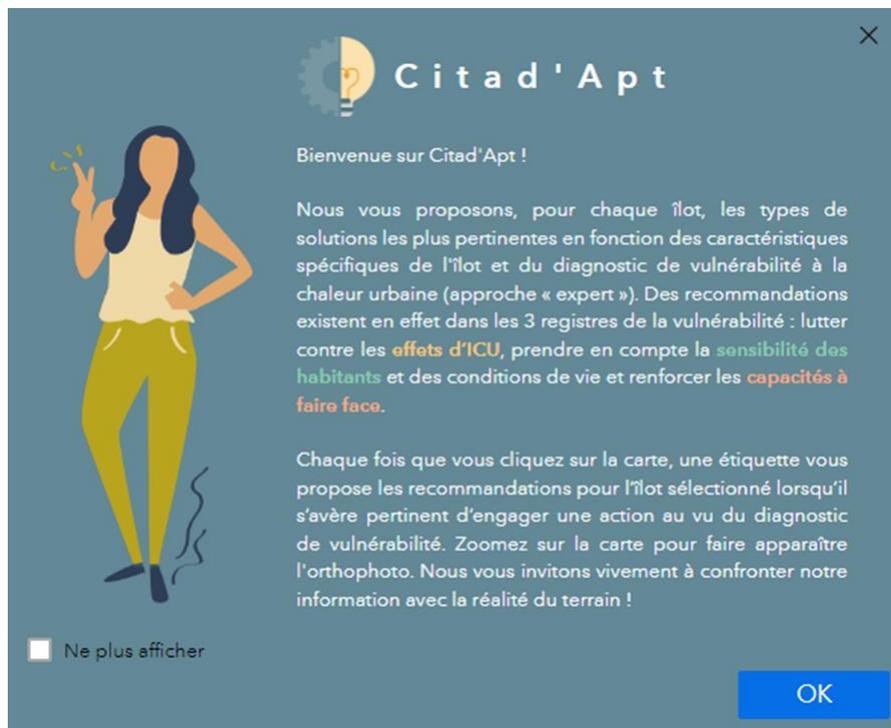
Indicateur	Registre	Type de solutions	Solutions à privilégier	Critères pour l'élaboration de l'indicateur
SI_ evcarence	 Solution de renforcement des capacités à faire face		Améliorer l'accessibilité aux espaces verts de proximité ouverts au public ; sinon identifier les possibilités de création d'un nouvel îlot de fraîcheur de proximité	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre d'habitants >= 11 • Proxi EV publics = 0 • IV haute < 0.2 • IV haute + IV basse < 50 % • CES > 0.005
SI_ frais			Apporter des solutions de rafraîchissement dans les cœurs d'îlots, les cours et pieds d'immeuble	<ul style="list-style-type: none"> • Concerné* = 1 • Nombre d'habitants >= 11 • IV haute < 0.1 • IV haute + IV basse < 20 % • Proxi LCZ Arbre = 0 • Classe Alea nuit > 1 ou Classe Alea jour > 2 • Densité en eau < 5% • Proximité eau = 0

*Sélection préalable des postes LCZ bâti (1 à 10) ou ouverts revêtus E. Il s'agit d'une condition pour éliminer les îlots d'espaces ouverts à caractère naturel qui ont de très faibles surfaces bâties par effets de bord.

4.2 - Analyse critique de l'outil cartographie des solutions d'adaptation à l'échelle des îlots

Nous présentons une analyse critique des préconisations d'adaptation à l'échelle des îlots en confrontant les résultats de notre diagnostic des solutions – les registres et solutions de l'outil Citad'Apt (Cf. Illustration 78) - avec une expertise faite sur le terrain à l'occasion d'un parcours d'observation « sensible » effectué dans un secteur en bord de Seine dans la commune de Vitry-Sur-Seine.

Illustration 78 : projet Citad'Apt (Marine Dore, Mémoire de M2, L'Institut Paris Region)



In fine, il serait intéressant de confronter Citad'Apt avec une approche plus sensible auprès des habitants et des usagers de ces espaces pour caractériser les usages de la ville lors de fortes chaleurs. Et au-delà de cette première approche à l'îlot, il conviendrait de poursuivre ce diagnostic jusqu'à l'échelle individuelle des bâtiments et de leurs occupants.

Vulnérabilité des îlots lors d'une vague de chaleur la nuit à Vitry-sur-Seine



Secteur 1

Le secteur 1 est constitué de plusieurs îlots : un îlot correspondant à un ensemble d'immeubles compact et à la partie ouest du square Charles Fourier, un îlot correspondant à la partie est du square Charles Fourier et un îlot correspondant à des berges de Seine.

Le premier îlot évoqué est principalement composé de bâtiments tertiaires et d'habitation (Cf. photos 1 & 2).



Photo 1 : Bâtiment tertiaire



Photo 2 : Bâtiment d'habitation



Quelques éléments de l'aménagement participant à la lutte contre la chaleur urbaine peuvent tout de même être soulignés.

Nous pouvons observer - à gauche dans la photo 3 - une allée arborée avec des houppiers très couvrants, bien que taillés, qui apportent de l'ombrage sur le trottoir, facilitant le confort des piétons.

Photo 3 :
Rue Charles Fourier

L'architecture de l'école maternelle Eva Salmon (Cf. photos 3 & 4) a une fonction esthétique mais également une fonction de lutte contre la chaleur urbaine. Une résille claire en béton fibré ultra haute performance - à la thématique végétale - protège du soleil la façade Sud et ses baies vitrées teintées.

Le choix de couleur claire sur la façade permet de réfléchir une partie de l'énergie solaire reçue, ce qui réduit son échauffement, et qui par conséquent, améliore le confort thermique du bâtiment.



Photo 4 :
Ecole maternelle
Eva Salmon



Nous remarquons également le parti pris de la couleur blanche sur certaines façades de bâtiments tertiaires de l'îlot (Cf. photo 5).

Photo 5 : Couleur
blanche sur la façade

Par ailleurs, sur certains immeubles neufs d'habitation (Cf. Photo 2), nous observons des dispositifs de protections solaires extérieures comme des persiennes et des débords de balcons.

L'îlot est également composé de la partie ouest du square Charles Fourier. Le square Charles Fourier constitue le seul espace vert du quartier. On y trouve des bancs à l'ombre (Cf. photo 6).

Concernant la végétation de cette partie ouest, nous observons la présence de quelques arbres avec des houppiers relativement couvrants permettant d'apporter de l'ombrage.



Photo 6 :
Bancs à l'ombre

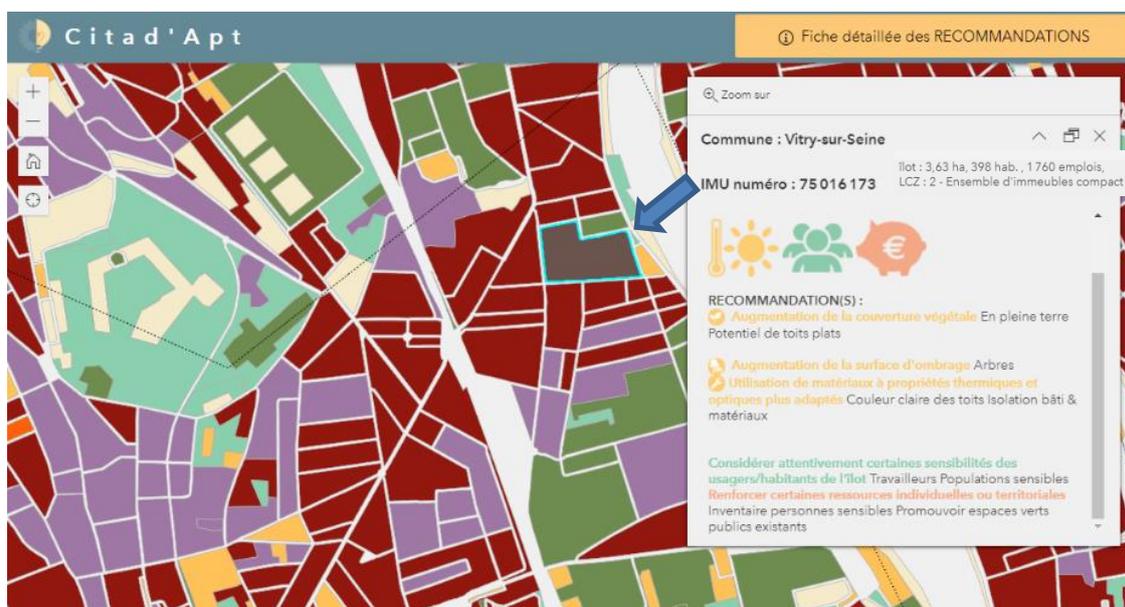
Les solutions recommandées par l'application Citad'Apt (Cf. [Illustration 80](#)) sont plutôt cohérentes avec la réalité du terrain. En effet, l'outil propose de promouvoir l'îlot de fraîcheur que constitue l'espace vert ouvert au public de proximité (square Charles Fourier) et d'identifier les possibilités de son ouverture exceptionnelle la nuit.

Composé de nombreux bâtiments tertiaires, l'outil préconise avec cohérence de considérer attentivement la sensibilité des travailleurs de l'îlot. L'outil préconise également la prise en compte des personnes sensibles ainsi que l'incitation à l'inscription au Registre nominatif confidentiel des personnes fragiles : âgées, isolées, handicapées.

Ces deux recommandations ne peuvent se vérifier au moyen d'une visite de terrain car elles mettent en lumière la présence significative de personnes d'une certaine tranche d'âge (5 ans et moins, 65 ans et plus, 80 ans et plus) révélée par les bases de données statistiques de l'Insee.

Etant donné que la partie ouest du square Charles Fourier ne constitue pas un îlot en soi mais fait partie d'un îlot plus composite incluant des bâtiments tertiaires et d'habitation, Citad'Apt recommande d'augmenter la couverture végétale de l'îlot (en pleine terre et végétalisation des toitures terrasses) ainsi que de planter des arbres pour augmenter sa surface d'ombrage. Enfin, l'application propose d'utiliser des matériaux permettant d'augmenter l'albédo des toitures terrasses ainsi que des matériaux permettant une meilleure isolation du bâti.

Illustration 80 : Recommandations de Citad'Apt pour l'îlot « Ensemble d'immeubles compact et partie ouest du square Charles Fourier » du secteur 1



Contrairement à la partie ouest, la partie est du square Charles Fourier compose un îlot à elle seule. Cette partie est beaucoup moins arborée que la partie ouest. La végétation est en effet essentiellement basse. Il en résulte que la partie est du square est ensoleillée par manque d'ombrage (Cf. [photo 8](#)).



Photo 7 : Partie ouest du Square Charles Fourier



Photo 8 : Partie est du square Charles Fourier

La partie est du square a également un potentiel de surface au sol non bâti et non végétalisée. Autrement dit, l'îlot a un potentiel de végétation de pleine terre. Une solution envisageable serait de planter des arbres en pleine terre pour végétaliser l'îlot et apporter de l'ombrage.



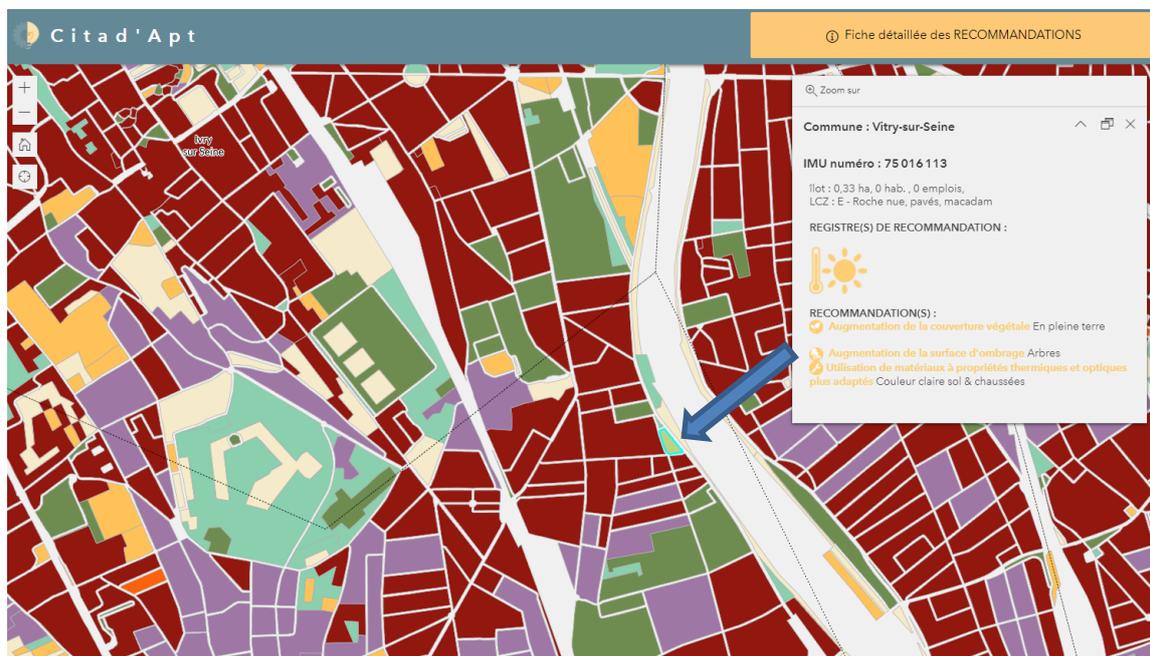
Photo 8 : Discontinuité des revêtements au sol

Devant le square Charles Fourier, nous pouvons remarquer une discontinuité dans le choix des matériaux des revêtements au sol (Cf. photo 9).

En effet, une petite partie du revêtement au sol se distingue par sa couleur claire (albédo fort). Cependant, le reste du revêtement reste sombre, piégeant la chaleur la journée et la restituant la nuit. Selon l'ONERC (2023), pour lutter contre la surchauffe urbaine et simplifier l'entretien des rues, des mosaïques de pavés drainants de différentes couleurs claires constituent les revêtements au sol les plus efficaces.

Pour cet îlot, les recommandations de Citad'Apt sont en adéquation avec la réalité du terrain. L'application conseille en effet (Cf. Illustration 81) d'augmenter la couverture végétale de l'îlot par de la végétation de pleine terre ainsi que d'augmenter la surface d'ombrage par des plantations d'arbres. De plus, Citad'Apt préconise l'utilisation de matériaux de couleur claire pour le sol et les chaussées.

Illustration 81 : Recommandations de Citad'Apt pour l'îlot « partie est du square Charles Fourier » du secteur 1



La Seine est la seule présence manifeste d'eau de surface de la ville (Cf. photo 10). Au début du parcours, nous constatons que les berges de Seine sont arborées et accessibles au public (Cf. photo :11) ; en prolongement, le cheminement continue le long d'une berge à dominante minérale et non arborée (Cf. photo 12). Sur le tronçon arboré, cette berge constitue un espace ouvert ombragé et rafraîchissant, ouvert au public. Pour la partie de berge plus minérale, les piétons étant très proches de la surface en eau peuvent bénéficier d'une fraîcheur relative (évaporation de l'eau, effet de brise), malgré l'absence d'arbre.

L'îlot, englobant ces berges, n'a donc pas besoin de solution pour lutter contre la chaleur urbaine compte tenu de la fraîcheur apportée par les berges arborées.



Photo 10 : La Seine (vue sur Alfortville)



Photo 11 : berge arborée, voie d'accès au public



Photo 12 : berge accessible aux vélos et piétons

Cette visite de terrain confirme les résultats fournis par Citad'Apt qui ne recommande aucune solution pour cet îlot classé LCZ C – Buissons, broussaille (Cf. *Illustration 82*).

Illustration 82 : Recommandations de Citad'Apt pour l'îlot « berges de Seine » du secteur 1

Citad'Apt ① Fiche détaillée des RECOMMANDATIONS

Zoom sur

Commune : Vitry-sur-Seine

IMU numéro : 75 023 678

îlot : 1,35 ha, 0 hab., 0 emplois,
LCZ : C - Buissons, broussaille

REGISTRE(S) DE RECOMMANDATION :

RECOMMANDATION(S) :

Secteur 2

Le secteur 2 est composé d'un îlot moyennement vulnérable lors d'une vague de chaleur la nuit (Cf. [Illustration 79](#)). L'îlot est constitué de différents tissus très « minéraux » composés d'anciennes activités industriels et tertiaires et d'équipements, pour certains neufs ou réhabilités (collège Josette et Maurice Audin...).



Photo 14 : aménagement d'un îlot de fraîcheur



Photo 15 : Parvis à dominante minérale

Photo 13 : Collège Josette et Maurice Audin



Photo 16 : Usagère assise sur l'un des bancs de l'îlot de fraîcheur, dans la partie sous ombrage



Photo 17 : Carré de végétation basse

Le collège Josette et Maurice Audin paraît sec avec son parvis très minéral (Cf. [photos 13 à 16](#)). Nous pouvons observer cependant un préau couvert apportant de l'ombrage, un aménagement sur le parvis d'un îlot de fraîcheur constitué de végétation mixte arborée et de bancs pouvant bénéficier de l'ombrage des arbres, enfin, un carré de végétation basse (Cf. [photo 17](#)).

Les élèves peuvent de fait trouver quelques points épars de rafraîchissement et d'abris climatique. Ce banc et le carré de végétation basse situé sur le côté est du collège sont quasiment les seuls endroits de l'îlot où l'on peut observer de la végétation.



Photo 18 : Travaux d'aménagement



Photo 19 : Projet de bassin de pluie en creux)

Devant le collège Josette et Maurice Audin, nous constatons la présence d'espaces en chantier. Des travaux sont prévus qui visent à créer notamment un bassin de pluie en profondeur (Cf. photos 18 et 19). Ce futur bassin en creux permettra l'infiltration d'eau lors de fortes pluies d'en retenir une partie au bénéfice de la végétation (apport de fraîcheur potentiel par évapotranspiration).

C'est bien à l'occasion de travaux de réhabilitation et de nouveaux aménagements et équipements – comme un collège - que l'intervention dans un îlot urbain fortement minéral peut être une occasion de renaturer et de végétaliser les sols imperméables. Le taux de surfaces arborés - sur des sols de pleine terre – doit cependant être étudié attentivement, notamment dans les espaces publics de forte fréquentation (bénéficie de l'ombrage...).

Dans son ensemble, cet îlot en requalification s'avère à ce jour très peu arboré et doté d'un espace public (rues, parvis, places) fortement minéralisé, ce qui donne cette impression d'îlot « sec ».

Avec son tissu majoritairement industriel et d'activités, l'outil Citad'Apt préconise pour cet îlot la prise en compte de la sensibilité des travailleurs (Cf. Illustration 83). Citad'Apt recommande en effet de prendre en compte le confort thermique au travail, en plus de la prise en compte du risque sanitaire potentiel lié à la part de personnes sensibles à la chaleur (5 ans et moins et 65 ans et plus) décelé par les données statistiques sur les zones d'habitat de l'îlot.

L'outil recommande également – compte-tenu de la carence en espace vert de proximité, bien identifié – de renforcer les ressources territoriales par une offre d'espace vert public (possibilités de création d'un nouvel îlot de fraîcheur de proximité, par exemple).

Illustration 83 : Recommandations de Citad'Apt pour le secteur 2

Citad'Apt Fiche détaillée des RECOMMANDATIONS

Zoom sur

Commune : Vitry-sur-Seine

IMU numéro : 75 015 728

îlot : 4,56 ha, 22 hab., 634 emplois, LCZ : 8 - Grandes emprises tertiaires bâti bas

REGISTRE(S) DE RECOMMANDATION :

RECOMMANDATION(S) :

Considérer attentivement certaines sensibilités des usagers/habitants de l'îlot
Travailleurs Populations sensibles
Renforcer certaines ressources individuelles ou territoriales
Offre d'espace vert public

Dans l'îlot voisin, au droit du collège, nous remarquons la présence d'un camp de migrants (Cf. photo 20). Leurs habitats informels en font des personnes particulièrement exposées aux fortes chaleurs. L'application cartographique Citad'Apt ne prend pas en compte l'urbanisme transitoire et, par conséquent, ne prend pas compte ces populations alors qu'elles sont particulièrement vulnérables aux vagues de chaleur. Avoir une connaissance du terrain en complément de l'outil trouve ici un sens certain.



Photo 20 : habitat précaire d'un camp de migrants

Secteur 3 : un îlot non habité de Vitry-sur-Seine, classé LCZ B – Arbres épars

Le troisième et dernier secteur est un îlot classé très peu vulnérable aux vagues de chaleur le jour comme la nuit (Cf. Illustration 79). En effet, l'îlot englobe la totalité du parc municipal Irène et Frédéric Joliot Curie. Ce parc de 3,2 hectares apporte beaucoup de fraîcheur et d'ombrage. Les arbres - notamment ceux aux houppiers de fortes densités - sont très couvrant ; ils offrent des espaces d'ombrage importants (Cf. Photo 21). Le plan d'eau - une pièce d'eau alimentée par une source naturelle - présent au milieu du parc, comporte en son sein une fontaine à jet d'eau, rafraîchissant l'air ambiant (Cf. Photo 22)

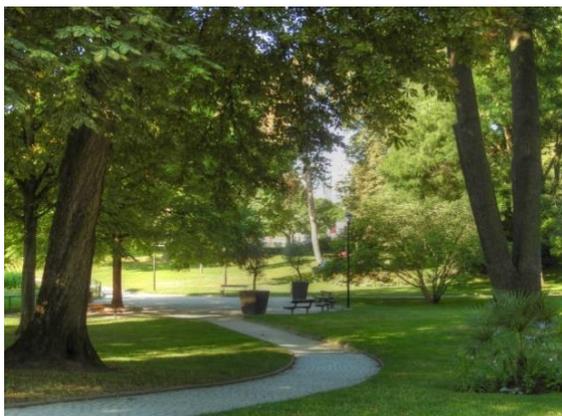


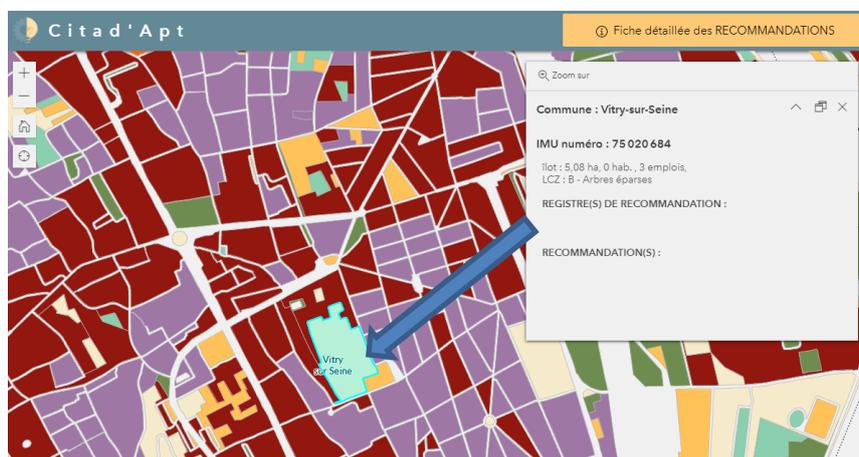
Photo 21 : arbres couvrant, Parc Joliot Curie



Photo 22 : pièce d'eau et fontaine, Parc Joliot Curie

Ce parc constitue en définitive un espace ouvert naturel ombragé et rafraîchissant, qui plus est, ouvert au public. Au regard des qualités de fraîcheur apportée par cet abri climatique, il s'agit avant tout de le préserver (Cf. Illustration 84).

Illustration 84 : Recommandations de Citad'Apt pour le secteur 3 :



5 - Des outils de sensibilisation

5.1 - Outil de cartographie interactive « Chaleur en ville 2022 »

Pour porter à connaissance et sensibiliser aux effets d'îlots de chaleur en Ile-de-France, L'Institut a proposé un premier outil d'analyse par cartographie interactive web, dénommé « Chaleur en ville » et accessible sous Cartoviz depuis octobre 2014.

Cet outil – dans une version enrichie – est repropoé avec la présente mise à jour de l'étude de la vulnérabilité de l'Île-de-France à la chaleur urbaine. L'appliicatif « Chaleur en ville » est ainsi accessible via un appareil connecté (ordinateur et smartphone) par le lien suivant :

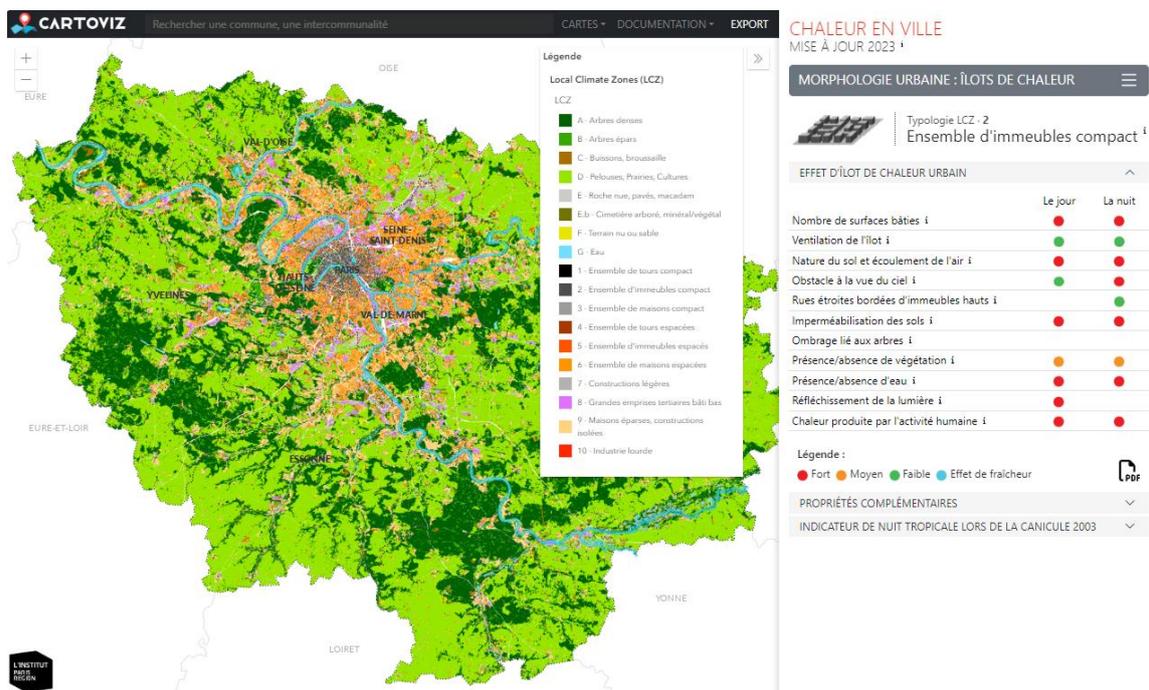
⇒ [Cartoviz - Chaleur en ville \(iau-idf.fr\)](http://iau-idf.fr)

L'onglet Chaleur en ville – Zones climatiques locales

Le nouvel interface propose - dans un premier onglet - la mise à jour de l'outil « Chaleur en ville », tel quel, cet outil de sensibilisation tout public qui donne à voir l'influence climatique des îlots naturels ou construits en Ile-de-France en exprimant les résultats de la classification des îlots en 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 2022 en LCZ 2022], page 30).

Dans cet onglet, l'appliicatif présente, en prime abord, la cartographie du LCZ dominant (type « LCZ1 ») par souci de lisibilité, via un code couleur par type LCZ (Cf. Illustration 85).

Illustration 85 : Applicatif Chaleur en Ville (premier onglet) présentant les zones climatiques locales en Île-de-France (types et propriétés LCZ)



Lors de la consultation de cette carte interactive, en cliquant, nous pouvons sélectionner un îlot de notre choix et faire apparaître sur le bandeau à droite, toutes les informations relatives aux propriétés LCZ. Outre la représentation du pictogramme relatif au LCZ1, 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 bleu, effet de fraîcheur ; pastille verte, impact faible/neutre de chaleur ou fraîcheur ; 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 (format pdf) téléchargeable dans la rubrique « Comprendre les indicateurs » (Cf. Annexe 10).

L'onglet Adaptation à la chaleur urbaine

Dans un second onglet, l'appliquet Chaleur en Ville propose la visualisation du diagnostic de vulnérabilité à la chaleur urbaine et les registres d'adaptation associés à l'échelle du « pâté de maisons ».

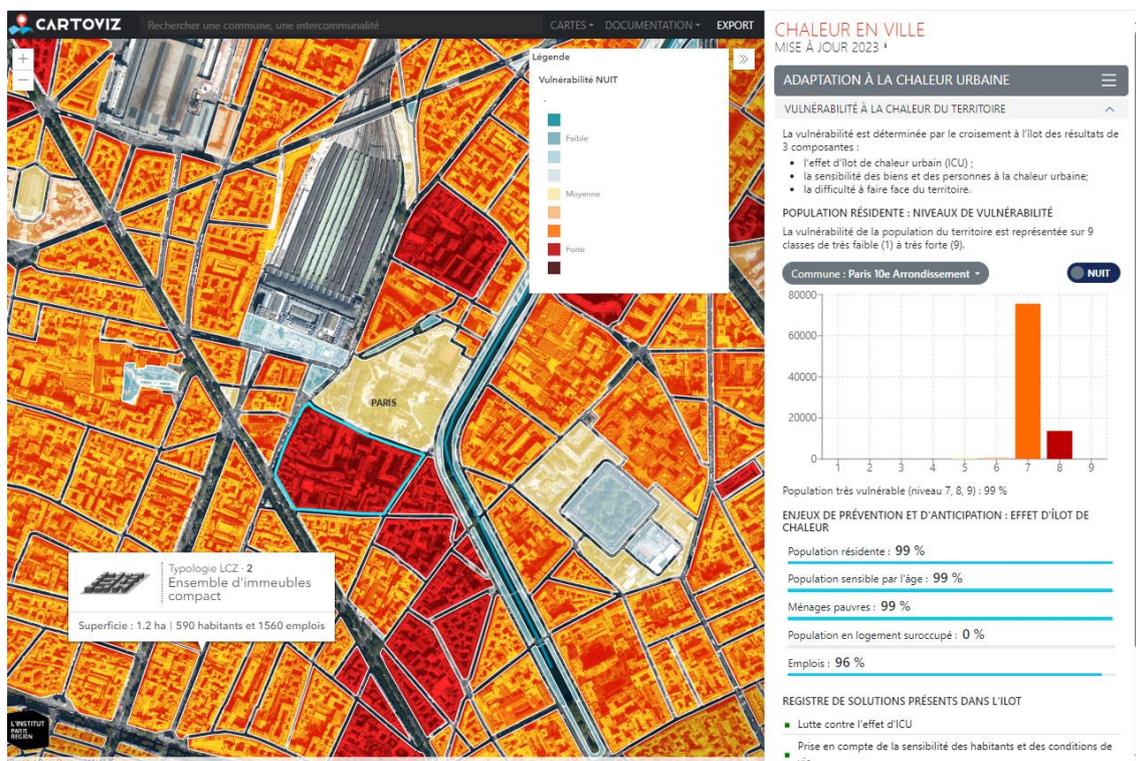
Dans sa version d'origine (2014), l'outil « Chaleur en ville » ne permettait pas d'accéder, en effet, ni à la synthèse globale des effets de chaleur/fraîcheur tirée des propriétés LCZ et d'autres caractéristiques de l'environnement de l'îlot - la note globale d'aléa « effet d'ICU » -, ni au diagnostic complet de vulnérabilité, intégrant en plus les composantes de sensibilité et de difficultés à faire face.

Dans l'onglet Adaptation à la chaleur urbaine (Cf. *Illustration 86*), l'outil propose de consulter la cartographie de la vulnérabilité à la chaleur urbaine, le jour ou la nuit, soit le résultat de l'interprétation de la hauteur de vulnérabilité de chaque îlot en 9 classes (de très faible à très forte).

Il associe, en lien avec l'îlot interrogé et la cartographie interactive affichée, un volet de droite comprenant :

- Un histogramme représentant le nombre d'habitants par classe de vulnérabilité, aux différents échelons territoriaux : de la commune d'appartenance de l'îlot interrogé, à son intercommunalité, à son département, ainsi que la synthèse pour le territoire de la Métropole du Grand Paris (MGP) et en dehors de la MGP, enfin, pour la région d'Île-de-France dans son ensemble ;
- Dans les zones à effets de chaleur moyen à fort, pour tous les échelons territoriaux précités, des indicateurs d'enjeux : les proportions de population résidente, d'emplois, de population sensible par l'âge, de suroccupation logements et de ménages pauvres exposés ;
- Les registres de solutions dans l'îlot interrogé que nous suggérons à partir de ses caractéristiques
- L'accès aux 3 composantes de la vulnérabilité - Effet d'ICU, Sensibilité et Difficulté – qui permet pour chacune d'exprimer, dans le volet gauche de l'appliquet, la cartographie associée des résultats (regroupement des notes en classe) et dans le volet droit de l'appliquet, la mise en avant des critères déterminants de la note, ainsi que le détail des recommandations de solutions d'adaptation dans le registre concerné.

Illustration 86 : Appliquet Chaleur en Ville (second onglet) présentant la vulnérabilité à la chaleur urbaine et ses composantes



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'Institut (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 :

Scenarii 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)



Cop21_scenario1

- Indicateurs clés : parts modales des déplacements pendulaires ; consommations énergétiques du secteur tertiaire (climatisation et énergie...) ; carence en espace vert public



Cop21_scenario2

- Lien internet : <https://youtu.be/sCC5Zz2-w84?t=5>



Cop21_scenario3

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, brumisateurs...)
- 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 ans, 75 ans) ; nombre de personnes isolées ; précarité énergétique (climatique) ; surmortalités caniculaires et polluants atmosphériques... ; type de matériaux de toit ; nombre de toitures végétalisées ; nombre de personnes fragiles inventorié par les fichiers des registres municipaux d'identification des personnes âgées, isolées, handicapées (exemple du fichier « Reflex », anciennement « Chalex », pour la Ville de Paris)...
- Lien internet : 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)

Conclusions et perspectives

Le changement climatique est à l'œuvre. Dans ses effets en Île-de-France, il est déjà perceptible. Depuis 10 ans, les événements de canicule reviennent régulièrement, parfois de façon atypique, plus précoces comme les mois de juin 2019 et 2022 ou plus tardifs comme en septembre 2023.

Les effets d'îlot de chaleur urbain (ICU), facteurs aggravants et dépendant des événements de vague de chaleur et de canicule, s'inscrivent comme un particularisme prégnant de la région d'Île-de-France, et particulièrement en son sein, de la Métropole du Grand Paris et de la ville capitale, Paris. En cause, l'urbanisation métropolitaine - sa compacité, sa minéralité et l'étendue de son continuum urbain - à l'origine d'une différence de température de l'air les nuits d'été entre la ville, plus chaude, et la campagne.

Actualiser l'étude de la vulnérabilité de l'Île-de-France à la chaleur urbaine - définie et publiée en 2017 pour la situation 2012 - trouve ainsi sa justification dans la hauteur du défi actuel et pour demain. Le parti pris est le même, celui d'utiliser les enseignements de la Recherche et de proposer par une approche empirique fondée sur les caractéristiques socio-démo-urbaines à l'échelle du « pâté de maisons » de déterminer une géographie de la vulnérabilité actuelle à la chaleur urbaine en Île-de-France - acte 2, situation 2022.

Ainsi, plus d'un Francilien sur deux (51%) réside dans un « pâté de maisons » à effet d'ICU significatif (moyen à fort) la nuit. Nous montrons aussi qu'il existe des inégalités sociales environnementales puisque les ménages pauvres, la suroccupation potentielle des logements ou les ménages composés d'un seul individu s'avèrent surreprésentés dans ces îlots exposés. En définitive, c'est près d'un Francilien sur trois (31%) - plus de 3 685 000 habitants - qui vit dans un îlot présentant une vulnérabilité potentiellement forte la nuit, selon l'ensemble des critères socio-démo-urbains considérés.

Cette étude ne prétend toujours pas à l'exhaustivité sur le sujet, ni à une démonstration scientifique d'une vulnérabilité pour chaque Francilien à la chaleur urbaine, compte tenu de la simplification de l'approche, des outils et des données statistiques utilisées. L'échelle de restitution - l'îlot - ne permet pas non plus une individualisation des résultats à chaque bâtiment et à leurs occupants. Le but recherché est néanmoins atteint : pouvoir sensibiliser à ce risque climatique, apporter des éléments de priorisation pour l'intervention territoriale et donner à voir des préconisations d'actions d'adaptation à la chaleur urbaine qui s'appuient sur les particularismes locaux - les atouts et les faiblesses - de chaque pâté de maisons.

L'amélioration d'outils de porter à connaissance comme le Cartoviz « Chaleur en ville - version 2023 » et la mise en open data de L'Institut de l'ensemble des données géographiques de l'étude permettra, d'une part, de partager ce diagnostic - conforter ou nuancer certains résultats - avec les parties prenantes et leurs propres connaissances issues du terrain. D'autre part, ces nouvelles données, nous l'espérons, pourront nourrir d'autres réflexions, à l'image de l'outil développé par l'Agence régionale de la biodiversité en Île-de-France (ARB) pour aider les collectivités à identifier les zones urbaines à fort potentiel de renaturation en considérant tant la reconquête de la biodiversité que l'adaptation au changement climatique et l'amélioration de la santé (projet européen H2020 « REGREEN »).

Le partage des retours d'expérience sur les solutions d'adaptation est une autre voie prometteuse. Des travaux comme le projet Artisan (Life intégré) piloté par l'Office français de la biodiversité sur les Solutions d'adaptation fondées sur la Nature (SaFN) ou l'initiative portée par l'Agence parisienne du climat « AdaptaVille », plateforme commençant à répertorier les solutions d'adaptation au changement climatique, montrent la voie.

Les travaux de planification comme la révision du Sdrif-e et du SRCAE, les nouvelles ambitions du Pracc ou du PRSE4, sont autant de pistes pour encadrer les actions territoriales allant dans le sens d'une prise en compte du défi de la chaleur urbaine et de l'adaptation des territoires en Île-de-France. Le Giec, comme la recherche française, avancent sur cette dimension des vulnérabilités à la chaleur urbaine et continue à en explorer les principaux déterminants, notamment de santé. Le projet H2C « Chaleur et santé en ville » (CNRM Météo France et 7 autres partenaires, 2021/2024, ANR) est un exemple de partenariat de recherche qui vise à mieux comprendre l'impact des zones urbaines, à renforcer la synergie entre modélisation et observations multi-sources et à produire des informations utiles aux décideurs pour l'aide à l'action. L'Institut, en étant associé, continuera d'apprendre de la recherche académique et d'aider à vulgariser ses enseignements à l'adresse des parties prenantes.

Annexes

Annexe 1 : Tableau de comparaison des études sur l'évaluation et la cartographie de la vulnérabilité à la chaleur dans le monde (Dore M., Mémoire de M1, CY Cergy Paris Université)	p113
Annexe 2 : Présentation des attributs de la couche IMU 2022 (métadonnées, L'Institut Paris Region)	p115
Annexe 3 : Méthodologie pour l'évaluation de la présence de végétation dans les îlots IMU 2022	p120
Annexe 4 : Méthodologie pour le calcul de la chaleur dégagée par la combustion automobile	p121
Annexe 5 : 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	p122
Annexe 6 : Données carroyées FILOSOFI 2017 – INSEE	p124
Annexe 7 : Données relatives à l'offre de soins de l'ARS Île-de-France – « les zones d'interventions prioritaires + » (ZIP+), ARS Île-de-France	p125
Annexe 8 : Données relatives aux temps d'accès aux services d'urgence, ARS Île-de-France	p126
Annexe 9 : Présentation des attributs de la couche Ilots de chaleur Urbains (ICU) : classification des IMU en zone climatique locale (LCZ), Aléas et Vulnérabilités à la chaleur de Jour et de Nuit en Île-de-France (métadonnées ICU LCZ 2022, L'Institut Paris Region)	p127
Annexe 10 : 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'Institut Paris Region	p132
Annexe 11 : Arbre logique des préconisations de solutions par îlot	p144
Annexe 12 : Les Balades thermiques en ville, sensibilisation et ressenti	p147

Annexe 1 : Tableau de comparaison des études sur l'évaluation et la cartographie de la vulnérabilité à la chaleur dans le monde (Dore M., Mémoire de M1, CY Cergy Paris Université)

Auteur et année	Zone d'étude	Objectif	Unité spatiale	Méthode	Catégorie	Facteurs de vulnérabilité	Figure
Wolf et McGregor, 2013	Londres (Royaume-Uni)	Aide à la décision	District de recensement	Superposition / ACP*	E*	ICU*, location, appartement, densité de population, nombre de climatiseurs	4
					S*	Personnes âgées*, maladie, isolement*, pauvreté*, minorité ethnique	
Macnee et Tokai, 2016	Osaka (Japon)	Aide à la décision	District de recensement	Superposition / ACP*	E*	Densité de population, espaces verts/eaux libres	7
					S*	Personnes âgées*, chômage, éducation, isolement*, personnes âgées isolées*, population recevant des soins à domicile	
Azhar et al., 2017	Inde	Aide à la décision	District	Superposition / ACP*	E*	NDVI*, pourcentage de végétation	11
					S*	Personnes âgées*, enfants*, castes, tribus, alphabétisation, salariés, quintile de richesse le plus bas, eau potable, vivre dans une bonne maison, posséder des téléviseurs, des radios, uniquement des portables, enfants (12-23 mois) complètement vaccinés, villages ayant un sous-centre < 3 km	
Kim et al., 2017	Corée du Sud	Aide à la décision	Comté	Superposition / Régression	E*	Taux d'urbanisation, température maximale, vague de chaleur, nuit tropicale	6
					S*	Population, personnes âgées*, personnes âgées isolées*, travailleurs agricoles, ouvriers, pauvreté*	
					A*	Hôpitaux	
					D*	Décès causés par la canicule	

*Les abréviations sont renseignées à la fin du tableau

(Suite)

Auteur et année	Zone d'étude	Objectif	Unité spatiale	Méthode	Catégorie	Facteurs de vulnérabilité	Figure
Barette <i>et al.</i> , 2018	Québec (Canada)	Éducation et sensibilisation	Aire de diffusion	Superposition / ACP*	S*	Isolement*, familles monoparentales, location, ICU*, faible revenu, personnes d'âges sensibles, inactivité, éducation, logements nécessitant des réparations majeures, résidences construites avant 1975, personnes immigrantes récentes, personnes ne connaissant pas une langue officielle	10
					A*	Distance au plus proche hôpital / caserne de pompier / piscine publique et jeux d'eau / pharmacie / station de police / CLSC / service de santé	
Mushore <i>et al.</i> , 2018	Harare (Zimbabwe)	Aide à la décision	Pixel de 30 m	Superposition / APE*	E*	NDVI*, NDBI* et NDWI*	5
					S*	Densité de population, personnes âgées*, enfants*, chômage, revenu moyen des ménages	
Alonso et Renard, 2020	Lyon (France)	Aide à la décision	IRIS	PHA*	S*	Personnes âgées*, pathologies chroniques ou aiguës, enfants*	8
				ACP*	S*	Logements sociaux, pauvreté*, emplois peu qualifiés ou sans qualification, natalité et mortalité prématurée, population féminine	9

E : Exposition

S : Sensibilité

A : Capacité d'adaptation

D : Dommages

ACP : Analyse en composantes principales

APE : Approche à poids égal

PHA : Procédure hiérarchique d'analyse

ICU : intensité de l'îlot de chaleur urbain

NDVI : indice de végétation par différence normalisé

NDBI : indice de bâti par différence normalisé

NDWI : indice d'eau/d'humidité par différence normalisé

Personnes âgées : population ≥ 65 ans

Isolement : ménages composés d'une seule personne

Personnes âgées isolées : ménages composés d'une personne ≥ 65 ans

Enfants : population ≤ 5 ans

Pauvreté : population vivant sous le seuil de pauvreté

Éducation : population n'ayant pas obtenu de diplômes

Annexe 2 : Présentation des attributs de la couche IMU 2022 (métadonnées, L'Institut Paris Region)

NOM DE L'ATTRIBUT	DEFINITION DE L'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 artificialisé, 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 (2022) avant la création de l'IMU jointif ; il permet de faire le lien avec le Shape "IDF_îlots_viaires" via son champs ID.
CODE_IMU_JOINTIF	Identifiant unique de l'IMU jointif	Code unique à chaque IMU jointif à l'origine de la construction de l'IMU ; il permet de faire le lien avec le Shape "IDF_IMU_jointifs" via son champs ID.
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 2021	Caractère urbain ou rural d'un IMU d'après le MOS 2021
MOS11_MAJORITAIRE	MOS 11 postes 2021 majoritaire	Poste MOS 2021 majoritaire en superficie dans un IMU (MOS en 11 postes).
HETEROGENEITE_MOS	Indicateur d'hétérogénéité MOS 2021	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)

NOM DE L'ATTRIBUT	DEFINITION DE L'ATTRIBUT	INFORMATIONS DE PRECISION DE LA VALEUR D'ATTRIBUT
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 ² des impasses/chemins	[SURF_VOIRIE_REVETUE + SURF_CHEMINSSENTIER] : Emprise des routes dans un IMU (cumul des surfaces au sol des chemins, sentiers et voies revêtues de la BD TOPO 2022)
SURF_VOIRIE_REVETUE	Surface au sol des impasses revêtues (m ²)	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 (2022))
SURF_CHEMINSSENTIER	Surface au sol des chemins (m ²)	Emprise (valeur forfaitaire) des chemins et des sentiers de la BD TOPO (2022) dans chaque IMU
SURF_SOL_MASSESCONSTRUITES	Surface au sol des volumes construits (m ²)	[SURF_SOL_BATIMENTS + SURF_RESERV] : Emprise au sol en m ² des bâtiments et des réservoirs non souterrains de +10m (château d'eau, réservoir d'eau, réservoir industriel) de la BD TOPO (2022)
SURF_SOL_BATIMENTS	Surface au sol des bâtiments (m ²)	Emprise au sol en m ² des bâtiments (Surface au sol de toutes les entités dénommées "Bâtiments surfaciques" de la BD TOPO (2022) dont les bâtis légers)
SURF_SOL_EMPRISESCONSTRUITES	Surface au sol en m ² des emprises bâties/construites/revêtues	Surface au sol en m ² des emprises construites dans un IMU (cumul des emprises au sol des bâtiments et des réservoirs, des constructions surfaciques (dalles) de la BD TOPO (2022), du MOS "sélection Imperméable" et des routes revêtues BD TOPO (2022)) = 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 la somme des surfaces au sol des bâtiments et des voiries revêtues connues par la BD TOPO (2022) 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 bâti dénommé "CES" en % ; % de 0 à 1 représentant la surface au sol des masses construites rapportée à la surface de l'IMU
DENSI_BATI_SURFACIQUE	Densité bâtie, COS approché	[SURF_M2PLANCHER_BATI_SURFACIQUE / Shape_Area] : Surface totale de m ² 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)

NOM DE L'ATTRIBUT	DEFINITION DE L'ATTRIBUT	INFORMATIONS DE PRECISION DE LA VALEUR D'ATTRIBUT
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 (2022) 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 LOG2016 de Densibati2016_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 (2020) 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)] : Densité humaine "brute et basée". Population (POPMEN2016 de Densibati2016_P) + Emploi (SIRENE 2019 : Emplois salariés géolocalisés des entreprises et établissements) rapportée à la surface de l'IMU (Shape_Area)
DENSI_HAB_IMU	Densité d'habitants en 2016	[POPMEN_IMU / Shape_Area] : Densité d'habitants en 2016 par m ² d'IMU ; POPMEN2016 de Densibati2016_P rapportée à la surface de l'IMU (Shape_Area)
DENSI_POPMEN_M2PLANCHER	Densité de population des ménages 2016 par m ² de planchers "ménages"	Densité de population des ménages par m ² de planchers "ménages" : population des ménages (POPMEN2016 de Densibati2016_P) par Surface de m ² planchers du bâti Habitat (COLL+INDIV) ; si absence de m ² Habitat suffisant dans l'IMU, d'autres surfaces bâties de l'IMU servent au calcul (population résiduelle de ménages logés dans des équipement, administration, santé, école...)
DENSI_EMPLOI_IMU	Densité d'emplois	[NB_EMPLOI / Shape_Area] : Densité d'emploi à l'IMU (SIRENE 2019 : nombre d'emplois salariés des entreprises et établissements rapporté à la surface de l'IMU)
VOLUME_MASSESCONSTRUITES	Volume du bâti et des réservoirs (m3)	Volume (Hauteur x surface au sol) en m3 des masses construites - bâtiments et réservoirs non souterrains de +10m (château d'eau, réservoir d'eau, réservoir industriel) - de la BD TOPO (2022)
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 (2022) et la surface au sol qu'elles occupent
HAUT_MAX	Hauteur maximale du bâti (mètre)	Hauteur en mètre du bâtiment BD TOPO (2022) de plus grande hauteur dans un IMU
HAUT_MIN	Hauteur minimale du bâti (mètre)	Hauteur en mètre du bâtiment BD TOPO (2022) de plus faible hauteur dans un IMU
SURF_M2PLANCHER_BATI_SURFACIQUE	Surface totale de plancher (m ²)	[SURF_M2PLANCHER_BATI_HABINDIV + SURF_M2PLANCHER_BATI_HABCOLL + SURF_M2PLANCHER_BATI_LEGER + SURF_M2PLANCHER_BATI_INDUS + SURF_M2PLANCHER_BATI_TERTIAIRE] : Surface totale en m ² des planchers des bâtiments résidentiels, légers, tertiaires, industriels (dont agricoles) de la BD TOPO (2022)

NOM DE L'ATTRIBUT	DEFINITION DE L'ATTRIBUT	INFORMATIONS DE PRECISION DE LA VALEUR D'ATTRIBUT
SURF_M2PLANCHER_BATI_HABINDIV	Surface de plancher de l'habitat individuel (m²)	Sélection du bâti "Indifférencié" de Densibati2016_P avec interprétation habitat individuel de Densibati2016_P
SURF_M2PLANCHER_BATI_HABCOLL	Surface de plancher de l'habitat collectif (m²)	Sélection du bâti "Indifférencié" de Densibati2016_P avec interprétation habitat collectif de Densibati2016_P
SURF_M2PLANCHER_BATI_LEGER	Surface de plancher du bâti léger (m²)	Sélection du bâti "leger" de Densibati2016_P (hauteur inférieure ou égale à 10 mètres (barraquement, cabane, grange...))
SURF_M2PLANCHER_BATI_INDUS	Surface de plancher du bâti industriel (m²)	Sélection des bâtiments "Industriel, agricole ou commercial" de Densibati2016_P
SURF_M2PLANCHER_BATI_TERTIAIRE	Surface de plancher du bâti tertiaire (m²)	Sélection du bâti "Indifférencié" hors bâti interprété Habitat par Densibati2016_P + Bâti remarquable de Densibati2016_P
NB_PARCELLES	Nombre de parcelles	Nombre de parcelles des fichiers fonciers MAJIC III (2020) de la DGFIP
NB_LOGEMENTS	Nombre de logements 2016	Nombre de logements 2016 dans un IMU (LOG2016 de Densibati2016_P)
POPMEN_IMU	Population des ménages en 2016	Population des ménages en 2016 par IMU, correspondant à POPMEN2016 de Densibati2016_P
NB_EMPLOI	Nombre d'emploi 2019	Nombre d'emplois par IMU (SIRENE 2019 : emplois salariés et auto-entrepreneurs, des entreprises et établissements géolocalisés)
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 (2020) de la DGFIP : P pour public, E pour équipements et réseaux publics, C pour habitat collectif, I pour personne physique, M pour entreprise, N pour NAF, A pour aucun
AGE_BATI_MAJORITAIRE	Epoque de construction majoritaire	Epoque de construction majoritaire des fichiers fonciers MAJIC III (2020) 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 / 2000-2006 / 2006-2012 / 2013-plus
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 (2020) 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 (2020) de la DGFIP
IV_haute	Taux de végétation haute (%)	% de surface planimétrique de végétation haute de type arbres, strate arbustive/arborée (via calcul de l'indice de végétation par la sélection du poste 1 (Forêt) du MOS 2021 en 11 postes et de la végétation arborée (Zone de végétation : forêt + couvert arboré, > 5 m) de la BD TOPO 2019 de l'IGN)
IV_basse	Taux de végétation basse (%)	% de surface de végétation basse de type pelouse & mélange, strate herbacée/arbustive (via calcul de l'indice de végétation par les images IRC 2021 pour Paris Petite Couronne, les images IRC 2008 pour l'ensemble de l'Île-de-France et la couche DENSIBATI 2016 de L'Institut Paris Region)
IV_agri	Taux végétation agricole (%)	% de surface de végétation de type agricole, strate herbacée/arbustive (sélection du poste 3 (Espaces agricoles) du MOS 2021 en 11 postes)

NOM DE L'ATTRIBUT	DEFINITION DE L'ATTRIBUT	INFORMATIONS DE PRECISION DE LA VALEUR D'ATTRIBUT
DENSI_EAU	Taux de surface en eau (en %, de 0 à 1)	[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 m ² par mare localisée + Surface des Bassins ouverts de la BD TOPO rapportée à la surface de l'IMU
SURF_EAU	Surface en eau (m ²)	Surfaces MOS des postes 11.Eau fermée, 20.Baignade, 56.Piscine découverte + Surface forfaitaire de 50 m ² 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_Lenght	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 m ² 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)

Annexe 3 : Méthodologie pour l'évaluation de la présence de végétation dans les îlots IMU 2022

Décembre 2022

Pour calculer les pourcentages de végétation (haute, basse et agricole) nous avons constitué 3 rasters à la résolution de 1 mètre.

Les données sont regroupées dans : O:\Geodata\DEUR\divers\donnees\IV\vegetation_2022.gdb

Végétation haute

Pour la végétation haute, une couche a été réalisée mixant le MOS 2021 (code11 = 1 Forêts) et la végétation arborée (Zone de végétation : forêt + couvert arboré, > 5 m) de la BD TOPO 2019 de l'IGN. Puis, la couche a été transformée en raster (résolution de 1 m) : VegHaute_IDF

Végétation agricole

Pour l'agriculture, il s'agit simplement de la rastérisation du poste 3 (Espaces agricoles) du MOS 2021 en 11 postes (résolution de 1 m) : Agri_21_IDF

Végétation basse

Pour la végétation basse, nous avons utilisé deux sources d'images IRC : les images IRC de 2021 pour Paris Petite Couronne (PPC) et les images IRC de 2008 pour l'ensemble de l'Île-de-France.

Sur l'ensemble de l'IDF, nous avons soustrait à la donnée raster réalisée en 2012 à partir des images IRC de 2008, les éléments rastérisés à la même résolution relatifs aux bâtiments de la couche DENSIBATI 2016 de L'Institut Paris Region (base BD TOPO), à la végétation agricole et à la végétation haute : VegetationBasse_IDF

Pour la zone urbaine, un traitement complémentaire a été réalisé : le catalogue des images IRC 2021 (IGN) de résolution de 0.15 m a été utilisé pour calculer un indice NDVI colorisé (fonction arcgis). Cette image a été exportée pour la zone de Paris et de la petite couronne à une résolution de 1 m, puis reclassifiée en 1 pour les valeurs > 100, 0 pour les autres).

De cette couche de végétation (veg_21_PC), nous avons exclu les bâtiments de la couche DENSIBATI 2016 de L'Institut Paris Region (rastérisés à la même résolution), la végétation agricole (quelques espaces agricoles seulement dans cette zone urbaine), ainsi que la couche de la végétation haute réalisée à l'échelle régionale pour réaliser le raster : VegBasse_PC

Données utilisées

O:\Geodata\DEUR\divers\travaux\2019_vegetation\travail_vert.gdb\couches\ZONE_VEGETATION_b dtopo (données 2017)

"K:\Sigr\DonneesCommunes\DEMOGRAPHIE\POPULATION.gdb\POPULATION_BATIMENT\densibati" "Etag > 0"

R:\SIGR\DonneesCommunes\FONDS\ORTHOPHOTO\IRC2021\irc2021.gdb\irc2021

Annexe 4 : Méthodologie pour le calcul de la chaleur dégagée par la combustion automobile

Source des données : AIRPARIF

Nature des données : Emissions linéaires de CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ afin de déterminer des classes pertinentes.

Classes retenues :

- Classe 1, dite « moyenne » : ≥ 1 & < 3 (de 1 (inclus) à 3 (exclus) KT/an/Km)
 - Classe 2, dite « haute » : ≥ 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
 ≥ 1 & ≤ 50 (De 1% inclus à 50% inclus) : 1
 > 50 (De 50% inclus à 100% inclus) : 2
- Classe 2, dite « haute » : 40 mètres de rayon
 ≥ 1 & ≤ 50 (De 1% inclus à 50% inclus) : 2
 > 50 (De 50% inclus à 100% inclus) : 3

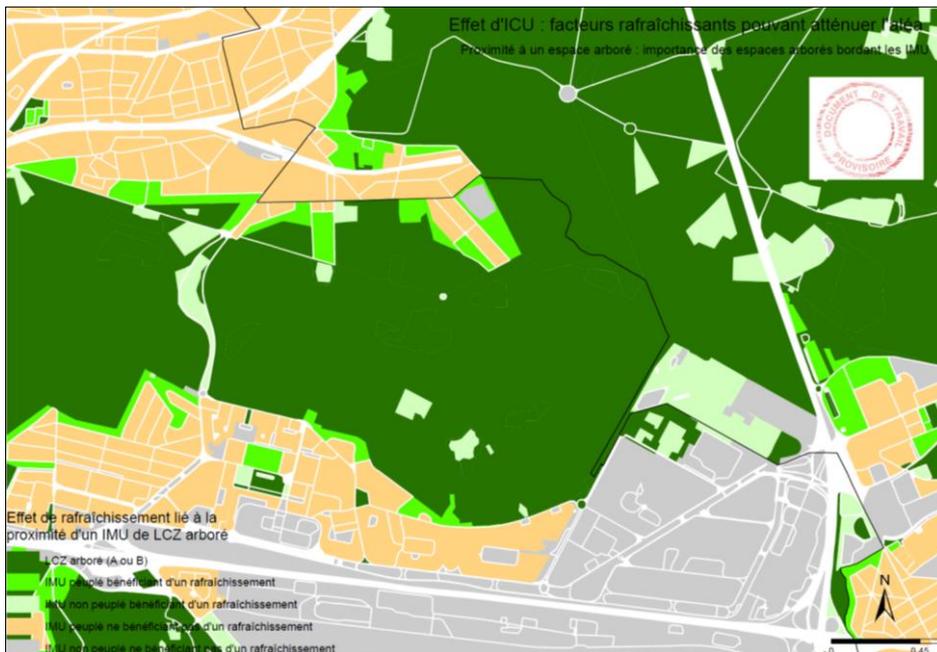


- Etape 10 : Somme des deux indices pour obtenir un indice unique final par IMU. Les résultats obtenus de l'indice se situent dans une gamme de valeurs de 0 à 5 (Cf. Carte ci-contre).

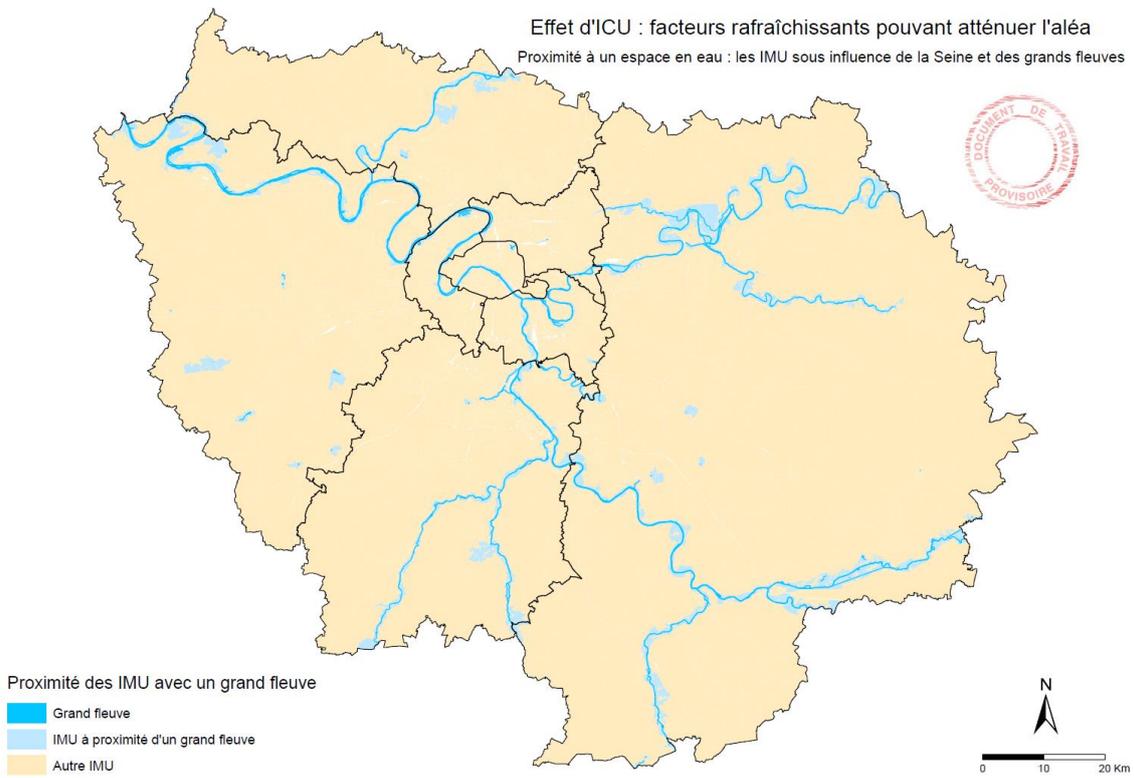
Annexe 5 : Illustration des principes des croisements géographiques SIG pour la détermination à l'IMU des attributs relatifs aux apports potentiels de fraîcheur par l'environnement immédiat de l'îlot

Etude des facteurs rafraîchissants : l'environnement boisé d'un îlot

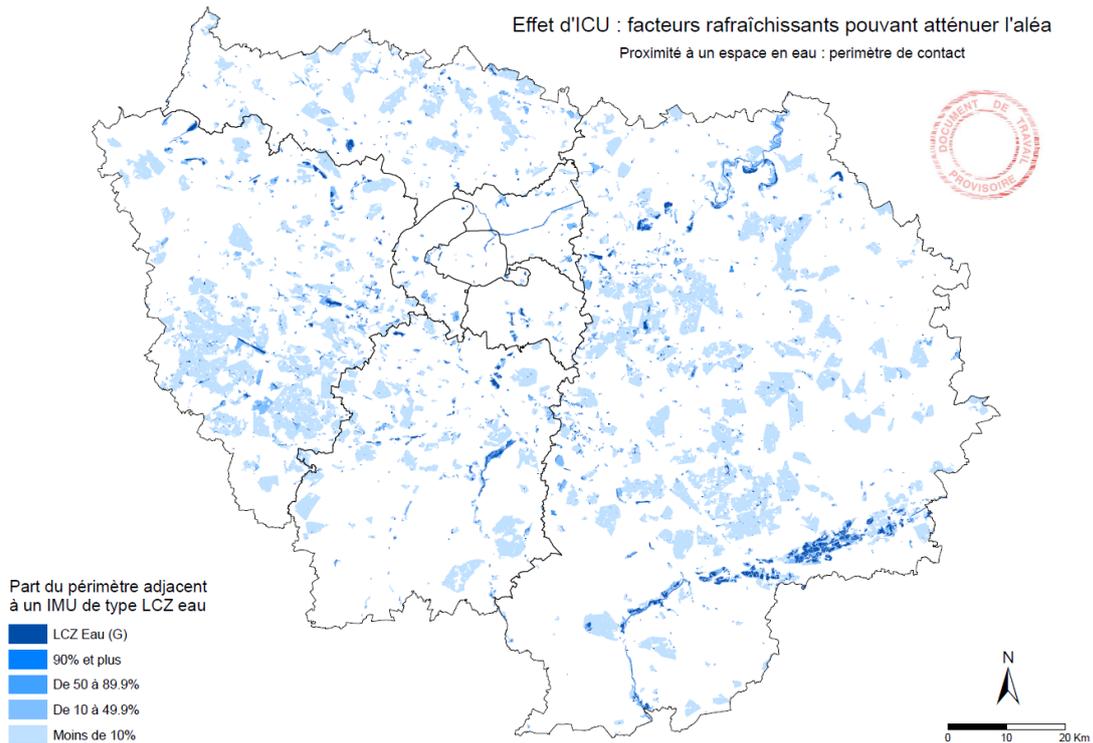
Le bénéfice de rafraîchissement potentiel lié à la présence de végétation autour d'un îlot prend en compte le rapport de longueur de lisière forestière sur la longueur totale du contour du polygone îlot



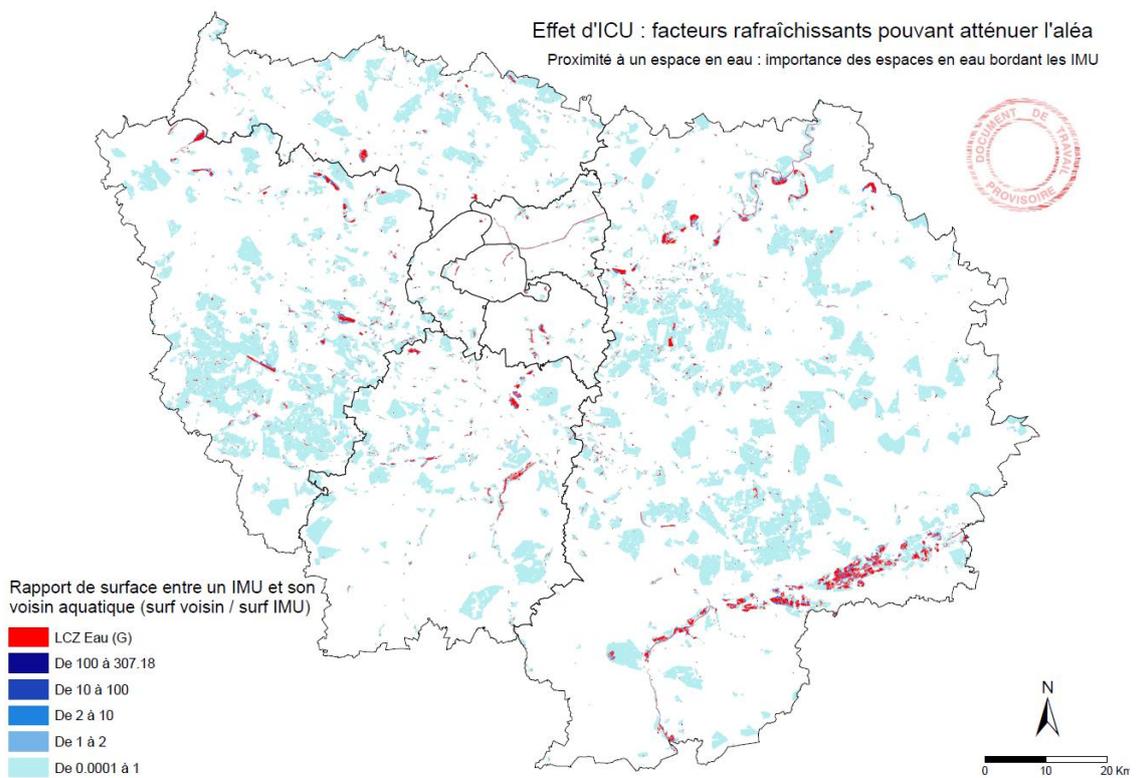
Etude des facteurs rafraîchissants : les cours d'eau et plans d'eau dans l'environnement d'un îlot



Effet d'ICU : facteurs rafraîchissants pouvant atténuer l'aléa
Proximité à un espace en eau : périmètre de contact



Effet d'ICU : facteurs rafraîchissants pouvant atténuer l'aléa
Proximité à un espace en eau : importance des espaces en eau bordant les IMU



Annexe 6 : Données carroyées FILOSOFI 2017 - INSEE

Source : Documentation des données carroyées Filosofi 2017

Ménages pauvres et Ménages d'un seul individu

« Le carroyage est une technique de quadrillage consistant à découper le territoire en carreaux pour y diffuser de l'information statistique à un niveau faiblement agrégé. Le maillage du territoire qui en résulte est plus ou moins fin selon la taille de carreau choisie. Le carroyage nécessite de disposer initialement de données pour lesquelles on connaît précisément la position géographique de chaque observation. Les carreaux permettent de s'affranchir des limites administratives habituelles et peuvent être assemblés pour construire ou approcher n'importe quelle zone d'intérêt. L'information statistique sur un tel zonage peut ensuite être facilement retrouvée en rassemblant les données des carreaux qui le constituent. L'Insee a diffusé une première fois en 2013 des données issues de la source fiscale Revenus Fiscaux Localisés (RFL) 2010 à la maille de carreaux de 200 m de côté. En 2019, un deuxième jeu de données carroyées a été publié, à partir d'une source différente (Filosofi 2015 – Fichier localisé social et fiscal) et d'une nouvelle méthodologie (les grilles superposées, voir infra). La nouvelle publication des données carroyées de l'Insee, réalisée à partir de Filosofi 2017, reprend la méthodologie utilisée pour Filosofi 2015.

La source « Fichier Localisé Social et Fiscal » (Filosofi) permet une observation du revenu disponible des ménages (ce dont ils disposent au cours d'une année pour consommer et épargner) à un niveau territorial infra-communal. La source Filosofi permet en outre de disposer de caractéristiques socio-démographiques ou de caractéristiques au niveau des logements occupés. Au niveau national, l'enquête Revenus fiscaux et sociaux (ERFS) reste la source de référence pour l'observation du revenu disponible, des inégalités de niveaux de vie et de la pauvreté. En effet, il existe de légères différences méthodologiques entre ERFS et Filosofi qui ne permettent pas d'avoir les mêmes résultats au niveau national.

Le millésime Filosofi de l'année 2017 est élaboré à partir des revenus perçus en 2017 qui ont été déclarés en 2018 et de la taxe d'habitation au 1er janvier 2018.

Le revenu disponible est le revenu à la disposition du ménage pour consommer et épargner.

Le revenu disponible par unité de consommation (ou **niveau de vie**) est le revenu disponible du ménage rapporté au nombre d'unités de consommation qui le composent.

Les données Filosofi 2017 sont produites à partir de données fiscales. Leur diffusion doit donc respecter la règle d'au moins 11 ménages par unité géographique d'observation. Lorsque ce seuil n'est pas atteint, l'information n'est pas diffusée en l'état.

Les données carroyées sont disponibles sur trois niveaux de grille :

- Grille de carreaux au niveau naturel : elle correspond à un partitionnement du territoire en carreaux de différentes tailles (de 200 m jusqu'à 32 km) permettant de diffuser toutes les informations sans imputation des données, tout en respectant le secret fiscal
- Grille de carreaux de 1 km de côté
- Grille de carreaux de 200 m de côté »

⇒ **Vers l'utilisation des variables suivantes pour les indicateurs de sensibilité et de difficultés à faire face sont :**

- **Nombre de ménages** : Men
- **Nombre de ménages pauvres** (potentiellement tronqué à 80 %) : Men_pauv
- **Nombre de ménages d'un seul individu** : Men_1ind
- **Nombre d'individus par âge** : ind_0_3 et ind_4_5 pour le nombre d'individus de 5 ans et moins ; ind_65_79 et ind_80p pour le nombre d'individus de 65 ans et plus

Annexe 7 : Données relatives à l'offre de soins de l'ARS Île-de-France – « les zones d'interventions prioritaires + » (ZIP+), ARS Île-de-France

Source : Documentation de l'Agence régionale de Santé (ARS) d'Île-de-France

Zonage médecins 2022 : carte des zones concernées par les aides à l'installation et au maintien des médecins généralistes pour l'Île-de-France

« L'Île-de-France fait face depuis plusieurs années à une importante diminution du nombre de médecins généralistes libéraux, conséquence d'une pyramide des âges défavorable avec de nombreux départs en retraite, d'une faible installation de nouveaux médecins et globalement d'une attractivité jugée moindre par les jeunes médecins de la région pour cette spécialité médicale. Pour lutter contre ce phénomène et améliorer l'accès aux soins, l'Agence détermine, au moins tous les trois ans, les zones géographiques caractérisées par une offre médicale insuffisante ou par des difficultés dans l'accès aux soins. Du fait de la pandémie, la carte de 2018 a été exceptionnellement prolongée d'un an. L'ARS a donc établi, après avis de la CRSA et de l'URPS Médecins Libéraux et une large concertation de ses partenaires, une nouvelle cartographie des territoires présentant des difficultés d'accès aux soins médicaux.

Une méthodologie adaptée au territoire francilien

La méthodologie nationale repose principalement sur l'indicateur d'« Accessibilité Potentielle localisée (APL) » qui est calculé chaque année par la DREES, en considérant notamment l'activité par praticien (nombre de consultations ou visites effectuées dans l'année), le temps d'accès au praticien et la consommation de soins par classe d'âge. L'ARS Île-de-France a fait le choix d'adapter la méthodologie nationale, pour tenir pleinement compte des spécificités de la région, avec la création d'un score reposant sur 7 critères : deux reposant sur les caractéristiques de la population de chaque territoire, qui ne sont pas prises en compte dans le score national, avec les caractéristiques sociales (Indicateur de Développement Humain 2017, un outil d'évaluation du développement humain en Île-de-France qui réunit trois dimensions : santé, éducation, revenu), la morbidité (part des affections de longue durée – ALD) ; 5 qui recouvrent, de manière fine, la situation des médecins, avec la densité des médecins généralistes par territoire, l'évolution des effectifs, la dynamique d'installation, l'âge des médecins généralistes et la densité des médecins spécialistes.

Aujourd'hui, la part de population francilienne éligible au titre des **ZIP (Zones d'Interventions Prioritaires, bénéficiaires des aides Assurance Maladie et Etat)** passe ainsi de 37,6% en 2018 à 62,4%, soit 7,6 millions d'habitants. La part de population francilienne éligible au titre des ZAC (Zones d'Actions Complémentaires, bénéficiaires des aides de l'Etat uniquement) représente 33,9% soit 4,1 millions d'habitants (39,5% en 2018). Pour les autres territoires (3,7%), aucune aide individuelle n'est prévue. Ces nouveaux résultats reflètent des difficultés d'accès aux soins primaires très inquiétantes dans les territoires franciliens et actent une dégradation forte en quelques années. **C'est au total plus de 96,3% de la population francilienne qui vit dans un territoire insuffisamment doté en médecins généralistes, soit 3,7% (450 000 habitants) qui bénéficierait d'un accès à un médecin généraliste satisfaisant.** »

- ⇒ **Vers l'utilisation d'un critère plus discriminant : le nouveau zonage médecins avec la création inédite d'une « zone d'intervention prioritaire + »**

Si tous les territoires franciliens classés en ZIP sont touchés par la **difficulté d'accès à un médecin généraliste, notamment du fait de nombreux départs en retraite**, pour certaines zones, en particulier rurales ou défavorisées, cette difficulté est encore accrue par **l'absence totale de nouvelles installations**.

C'est pourquoi l'ARS Île-de-France a fait le choix de distinguer, au sein des zones classées en ZIP, des **zones dénommées ZIP+**, afin de les soutenir encore davantage par des incitations financières complémentaires et également par des soutiens à leur exercice dans ces zones les plus en tension.

Cf. <https://www.iledefrance.ars.sante.fr/zonage-medecins-2022-carte-des-zones-concernees-par-les-aides-linstallation-et-au-maintien-des>

Annexe 8 : Données relatives aux temps d'accès aux services d'urgence – ARS Île-de-France

Source : Documentation de l'Agence régionale de Santé (ARS) d'Île-de-France

Temps d'accès services d'urgence, Heure creuse (nuit) et Heure pleine (jour)

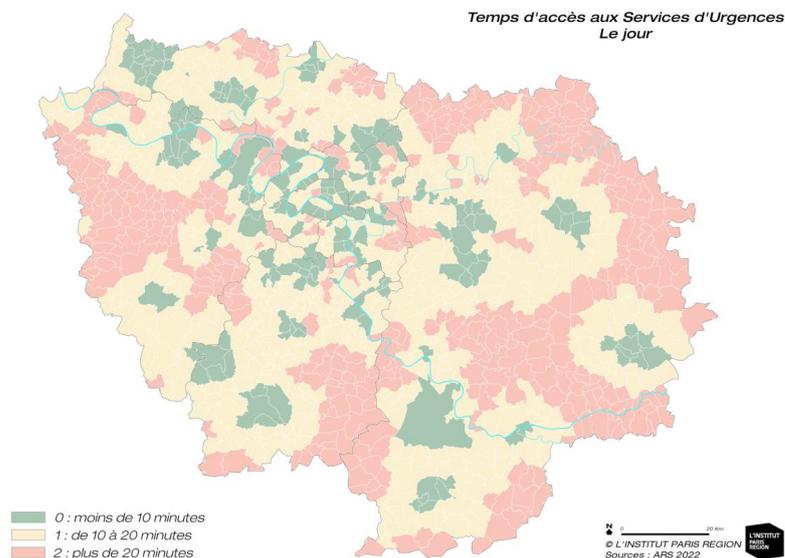
<https://santegraphie.fr/geonetwork/srv/fre/catalog.search#/metadata/bd820c70-39bd-4780-b797-c8fcef1af580>

Temps d'accès en Ile-de-France au service d'urgences le plus proche (Source : FINESS 2022, METRIC)

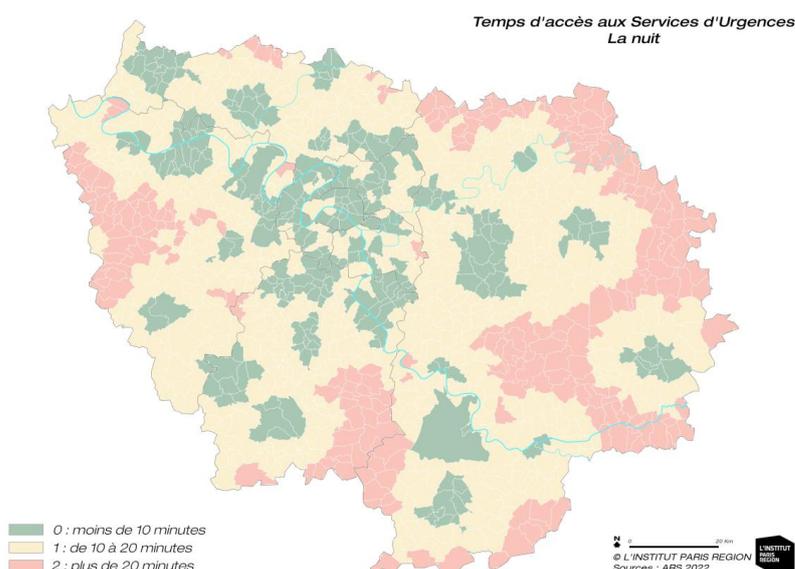
Critères et seuils retenus pour la composante Difficulté à faire face – Accès aux services d'urgence

- < 10 minutes : 0, sans difficulté
- $\geq 10 < 20$ minutes : niveau 1 de difficulté
- ≥ 20 minutes : niveau 2 de difficulté

Temps d'accès aux services d'urgences en heure pleine



Temps d'accès aux services d'urgences en heure creuse



Annexe 9 : Présentation des attributs de la couche Ilots de chaleur Urbains (ICU) : classification des IMU en zone climatique locale (LCZ), Aléas et Vulnérabilités à la chaleur de Jour et de Nuit en Île-de-France (métadonnées ICU LCZ 2022, L'Institut Paris Region)

Tableau des métadonnées ICU LCZ 2022, Institut Paris Region

Nom du champ	Description	Signification complète
CODE_IMU	Identifiant unique de l'IMU	Un îlot morphologique urbain (IMU) est un "pâté de maison" de villes ou de village où un îlot d'espaces ouverts artificialisé, 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
type_LCZ	Type Local Climate Zone cartographiable, correspond au LCZ1	LCZ type 1 Compact highrise (ensemble de tours compact) ; LCZ type 2 Compact midrise (ensemble d'immeubles compact) ; LCZ type 3 Compact lowrise (ensemble de maisons compact) ; LCZ type 4 Open highrise (tours espacées) ; LCZ type 5 Open midrise (grands immeubles espacés) ; LCZ type 6 Open lowrise (maisons dispersées) ; LCZ type 7 Lightweight lowrise (constructions légères) ; LCZ type 8 Large lowrise (grandes emprises tertiaires bâties bas) ; LCZ type 9 Sparsely built (maisons individuelles espacées) ; LCZ type 10 Heavy industry (industrie lourde) ; LCZ type A Dense trees (forêt, bois) ; LCZ type B Scattered trees (végétation arbres éparses) ; LCZ type C Bush, scrub (buisson, broussaille) ; LCZ type D Low plants (pelouse, prairies, champ cultivé) ; LCZ type E Bare rock or paved (roche nue ou pavés) ; *LCZ type E.b Cimetière végétalisé ; LCZ type F Bare soil or sand (terrain nu ou sable) ; LCZ type G Water (eau)
LCZ1	Type Local Climate Zone dominant	Type Local Climate Zone <u>dominant</u> (déterminé à partir du poste d'occupation du sol le plus représenté dans l'IMU) de la classification normalisée LCZ de Stewart et Oke
LCZ2	Type Local Climate Zone secondaire	Type Local Climate Zone <u>secondaire</u> (déterminé à partir du second poste d'occupation du sol le plus représenté dans l'IMU, s'il est suffisamment représentatif en superficie) de la classification normalisée LCZ de Stewart et Oke. Dans nombre de cas, il peut ne pas y avoir de valeur de LCZ2, quand le mode d'occupation du sol est identique.
LCZ_12	Type Local Climate Zone complet	Type Local Climate Zone complet qui tient compte de la terminologie employée par Stewart et Oke : type LCZ1 en majuscule, type LCZ2 en minuscule

(Suite)

Nom du champ	Description	Signification complète
SVF	Facteur de vue du ciel (SVF) (de 0 à 1)	Cet indicateur est déterminé d'après les valeurs de Coefficient d'emprise au sol (CES), de Hauteur moyenne pondérée du bâti et de Pourcentage de végétation haute de l'IMU ; 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. Dans la définition LCZ de Stewart & Oke, il s'approche de la propriété Skye View Factor (SVF) ou 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.
AspecRatio	Indice Rue Canyon (Aspect ratio) (de 0 à 3+)	Cet indicateur est déterminé 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). Dans la définition LCZ de Stewart & Oke, il s'approche de la propriété Aspect Ratio , définie par la 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/rafraichissement radiatifs.
HauteurMoy	Hauteur moyenne des immeubles/arbres (de 0 à 50+ mètres)	Cet indicateur est déterminé directement d'après la hauteur moyenne pondérée du bâti et le pourcentage de végétation haute. Dans la définition LCZ de Stewart & Oke, il s'approche de la propriété Mean building/tree height définie par la moyenne géométrique des hauteurs du bâti (LCZ 1-10) et des hauteurs des 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.
Perméable	% de surface d'emprises perméables (de 0 à 100%)	Cet indicateur est déterminé d'après la valeur déduite des 2 indicateurs suivants, le total des 3 surfaces totalisant obligatoirement 100%. Dans la définition LCZ de Stewart & Oke, il s'approche de la propriété Pervious surface fraction définie par la 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/rafraichissement

(Suite)

Nom du champ	Description	Signification complète
Voirie	% de surface d'emprises voiries revêtues (de 0 à 100%)	Cet indicateur est déterminé d'après le taux d'imperméabilisation et les valeurs d'emprises de voiries revêtues dans l'IMU. Dans la définition LCZ de Stewart & Oke, il s'approche de la propriété Impervious surface fraction définie par la proportion de la surface de la zone couverte par des matériaux imperméables (pavés, roche, macadam...). Ce paramètre influe sur la réflectivité de surface, la disponibilité de l'humidité, et le potentiel de chaleur/rafraîchissement
Bati	% de surface d'emprises bâties (de 0 à 100%)	Cet indicateur est déterminé d'après le taux d'imperméabilisation et les valeurs de Surface au sol des masses construites. Dans la définition LCZ de Stewart & Oke, il s'approche de la propriété Building surface fraction définie par la 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.
Rugosite_T	Classe de rugosité du terrain (de 1 à 8)	Cet indicateur est déterminé d'après les valeurs forfaitaires renseignées pour chaque type LCZ par Stewart et Oke. Dans la définition LCZ de Stewart & Oke, il correspond à la propriété Terrain roughness Class définie par la Classification de Davenport et al. (2000) de la rugosité réelle du terrain (Z0) pour les villes et les paysages ruraux : 1-« mer » (Z0=0,0002 m) ; 2-« lisse » (Z0=0,005 m) ; 3-« ouvert » (Z0=0,03 m) ; 4-« ouvert-rugueux » (Z0=0,10 m) ; 5-« rugueux » (Z0=0,25 m) ; 6-« très rugueux » (Z0=0,5 m) ; 7-« effleurement/skimming » (Z0=1.0 m) ; 8-« désordre/chaotic » (Z0=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.
Admittance	Surface admittance μ (de 0 à 3000+ J m-2 s1/2 K-1)	Cet indicateur est déterminé d'après les valeurs forfaitaires renseignées pour chaque type LCZ par Stewart et Oke. Dans la définition LCZ de Stewart & Oke, il correspond à la propriété Surface admittance définie par la 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.
ALBEDO	Albédo α (de 0 à 0,5 (jusqu'à 1 ?))	Cet indicateur est déterminé d'après les valeurs forfaitaires renseignées pour chaque type LCZ par Stewart et Oke. Dans la définition LCZ de Stewart & Oke, il correspond à la propriété Albédo définie par la 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)

(Suite)

Nom du champ	Description	Signification complète
FluChaleur	Flux de chaleur anthropogénique QF (de 0 à 400+ W/m ²)	Cet indicateur composite a considéré la présence d'activité industrielle (Source MOS, Institut Paris Region), les émissions linéaires de dioxyde de carbone (CO ₂) 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, Institut Paris Region & AIRPARIF). Dans la définition LCZ de Stewart & Oke, il s'approche de la propriété Flux de chaleur anthropogénique défini par l'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.
AleaJ_note	Note d'effet d'ICU diurne aggravant potentiellement un aléa « Vague de chaleur »	Note possible entre -5 et 18 obtenu par la somme des notes de jour des différents critères qui composent l'aléa de jour
AleaN_note	Note d'effet d'ICU nocturne aggravant potentiellement un aléa « Vague de chaleur »	Somme des notes de nuit des différents critères qui composent l'aléa de nuit
Alea_J_cl	Classe d'intensité de l'effet d'ICU diurne, facteur d'aggravation d'un aléa « Vague de chaleur »	Attribution d'une classe d'intensité de l'effet d'ICU diurne en fonction de la note d'aléa de jour : -1 = effet rafraîchissant (note de -5 à 0) ; 1 = faible effet d'ICU (note de 1 à 6) ; 2 = effet d'ICU moyen (note de 7 à 12) ; 3 = effet d'ICU fort (note de 13 à 18)
Alea_N_cl	Classe d'intensité de l'effet d'ICU nocturne, facteur d'aggravation d'un aléa « Vague de chaleur »	Attribution d'une classe d'intensité de l'effet d'ICU nocturne en fonction de la note d'aléa nocturne : -1 = effet rafraîchissant (note de -4 à 0) ; 1 = faible effet d'ICU (note de 1 à 6) ; 2 = effet d'ICU moyen (note de 7 à 12) ; 3 = effet d'ICU fort (note de 13 à 23)
Sensi_J_cl	Classe d'intensité de la fragilité diurne des personnes et du lieu de vie	Attribution d'une classe de sensibilité de jour en fonction de la note de sensibilité de jour (1 = faible, 2 = moyen, 3 = fort)
Incap_J_cl	Classe d'intensité du déficit potentiel diurne des ressources locales face au risque de canicule	Attribution d'une classe d'incapacité à faire face de jour en fonction de la note d'incapacité à faire face de jour (1 = faible, 2 = moyen, 3 = fort)

(Suite et fin)

Nom du champ	Description	Signification complète
Sensi_N_cl	Classe d'intensité de la fragilité nocturne des personnes et du lieu de vie	Attribution d'une classe de sensibilité de nuit en fonction de la note de sensibilité de nuit (1 = faible, 2 = moyen, 3 = fort)
Incap_N_cl	Classe d'intensité du déficit potentiel nocturne des ressources locales face au risque de canicule	Attribution d'une classe d'incapacité à faire face de nuit en fonction de la note d'incapacité à faire face de nuit (1 = faible, 2 = moyen, 3 = fort)
VulnJ_note	Note finale de vulnérabilité le jour à une vague de chaleur aggravée par l'effet d'ICU potentiel	Somme arithmétique des 3 valeurs de classes d'aléa, de sensibilité et d'incapacité de jour ; notes de 1 (vulnérabilité très faible) à 8 (vulnérabilité très forte)
VulnN_note	Note finale de vulnérabilité la nuit à une vague de chaleur aggravée par l'effet d'ICU potentiel	Somme arithmétique des 3 valeurs de classes d'aléa, de sensibilité et d'incapacité de nuit ; notes de 1 (vulnérabilité très faible) à 8 (vulnérabilité très forte)
Shape_Leng	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 m ² 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)

Annexe 10 : Description des indicateurs « propriétés LCZ » associés à la classification des Zones climatiques locales (LCZ) et des indicateurs de « sensibilité » proposés par l'appliquatif « Chaleur en ville » de L'Institut Paris Region



CARTE « CHALEUR EN VILLE - LES ÎLOTS DE CHALEUR URBAINS »

https://cartoviz2.institutparisregion.fr/?id_appli=icv

COMPRENDRE LES PICTOGRAMMES ET LES INDICATEURS

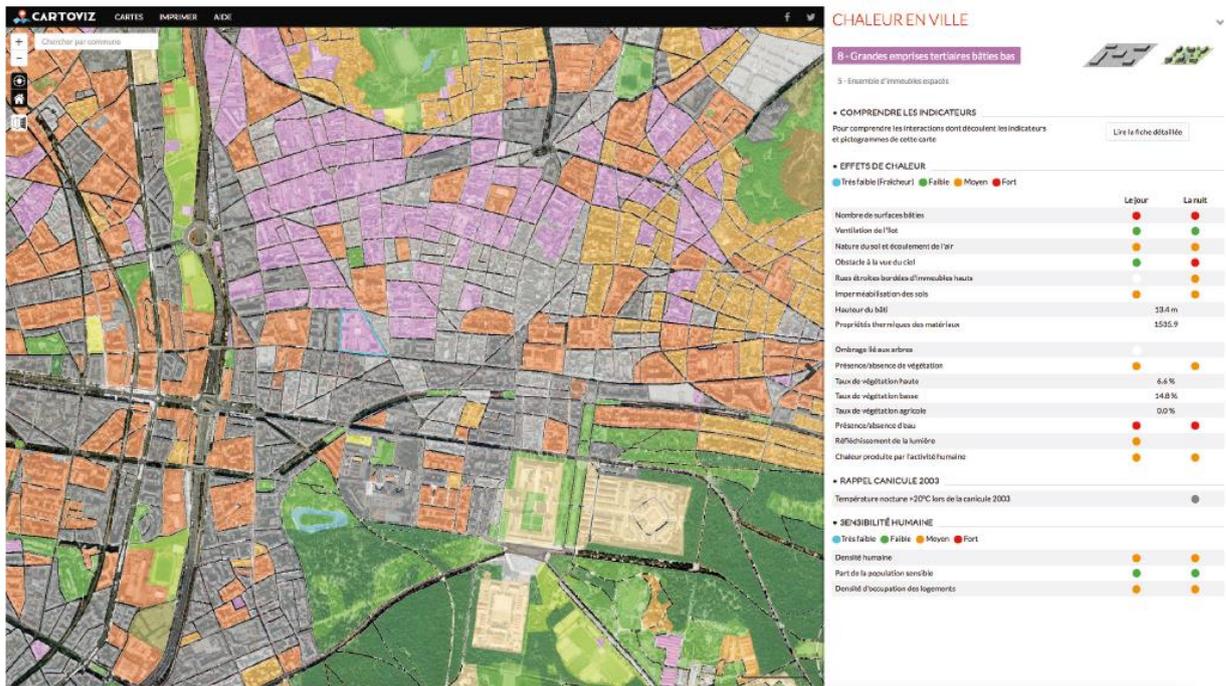
PICTOGRAMME : CLASSIFICATION DES ÎLOTS MORPHOLOGIQUES URBAINS EN ZONE CLIMATIQUE LOCALE

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) 2022 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.





PICTOGRAMME = type LCZ de l'îlot morphologique urbain de 1 à 10 ou de A à G avec son intitulé

 cartouche de couleur en lien avec la couleur de l'îlot sur la carte

 le type LCZ secondaire quand l'îlot est hétérogène

EFFETS DE CHALEUR = effets potentiels d'îlot de chaleur ou de fraîcheur le jour ☀ et/ou la nuit 🌙 en période d'été liés à chacune des propriétés (indicateurs de perturbations)

● effet de fraîcheur ● aucun ou faible effet de chaleur ● effet de chaleur moyen ● effet de chaleur fort

Indicateurs de perturbations radiative, thermique, aérologique, hydrologique (propriétés LCZ...)

Ils sont décrits un par un en pages suivantes

DÉFINITION DES INDICATEURS DE PERTURBATIONS RADIATIVES, 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

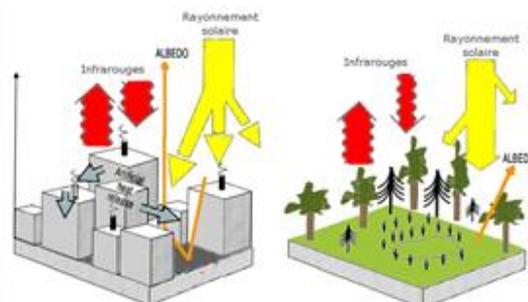


Plus il y a de bâti, plus grande est la surface d'absorption du rayonnement solaire par réflexion et piégeage des rayonnements par les surfaces verticales (en rouge)



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 (2022) 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

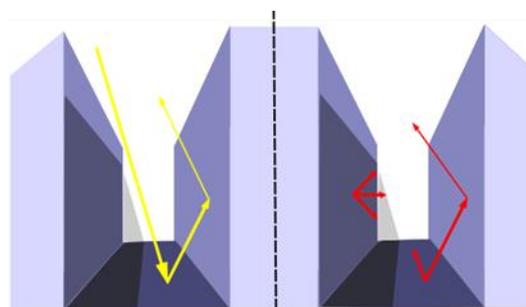
« Hauteur moyenne pondérée du bâti »

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 (2022) 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 : L'Institut Paris Region

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.

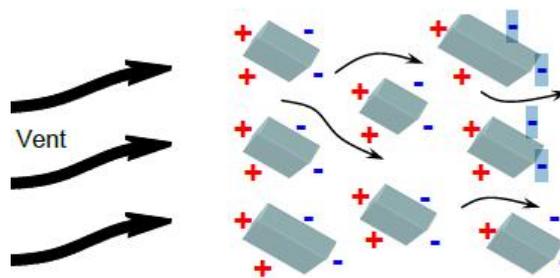
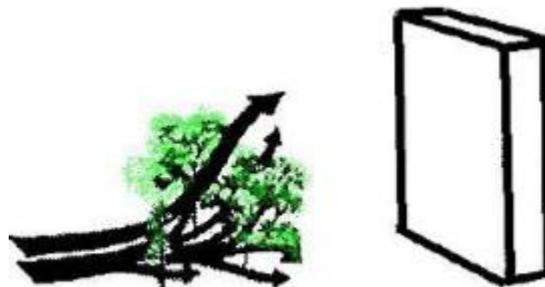


Schéma en quinconce – Source : ALTO Ingenierie



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.

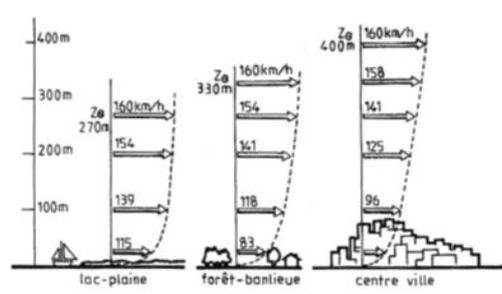


Plus le terrain est rugueux : obstacle à la circulation des vents, faible dispersion de la chaleur (en rouge)



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

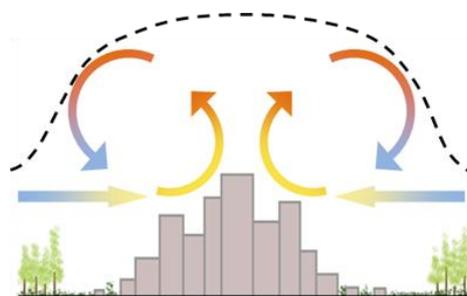


Schéma du phénomène de brise thermique de la campagne vers la ville. Ces brises de campagne engendrent un effet de dôme au-dessus de la ville particulièrement néfaste lors des pics de pollution
Source : L'Institut Paris Region

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.



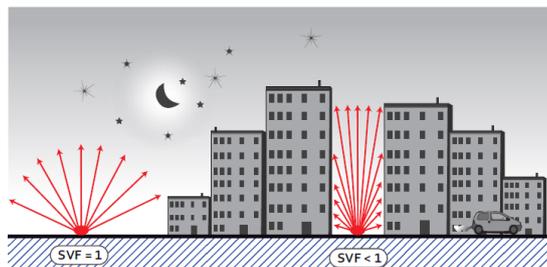
Si la vue du ciel importante (exemple d'une prairie, SVF > 0,9), le rayonnement solaire parvient sans obstacle : chaleur ressentie, éblouissement (en rouge)



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 (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 : « Sky view factor, SVF » (ψ_{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, (en 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).

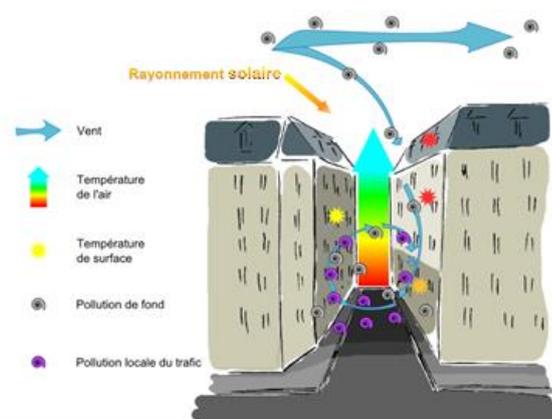


Schéma d'une rue canyon : le vent dominant s'engouffre dans la rue et est dévié par les obstacles que constituent les bâtiments. Les masses d'air ont alors un mouvement en spirale, renforcé par la convection due à la chaleur : l'air chaud des rues monte et est remplacé par l'air froid qui circule au-dessus de la ville ce qui permet de chasser la chaleur et les polluants de la ville et de la rue.

Source : L'Institut Paris Region

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.

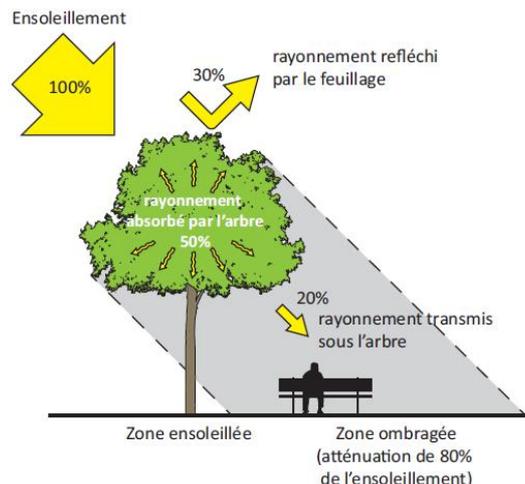


Le jour, plus la zone ombragée est importante, plus l'atténuation de l'ensoleillement est efficace (surface arborée entre 10 et 25%, **en vert** ; et >25%, **en bleu**, effet rafraîchissant)



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 les entités du MOS 2021 de L'Institut Paris Region (poste 1 Forêts, MOS 11 postes) et la végétation arborée (Zone de végétation : forêt + couvert arboré > 5 m) de la BD TOPO 2019 de l'IGN.



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 (2022) ou le MOS 2021, rapportée à la surface de l'IMU. Cet indice d'imperméabilisation dit « approché » ne rend pas compte des surfaces revêtues imperméables mal identifiées par la BD TOPO (cours d'école...).

Propriété LCZ proche de cet indicateur : Impervious surface fraction (λ_i), de 0 à 100%

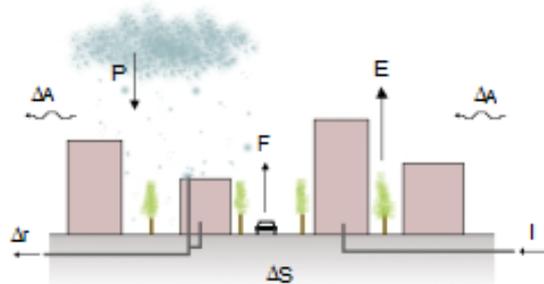


Schéma descriptif du bilan hydrique pour une zone urbaine.

Source L'Institut Paris Region, 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 ; Δr : ruissellement et évacuation ; ΔS : emmagasinement dans la ville ; ΔA : vapeur d'eau transportée par advection (déplacement horizontal des masses d'air).

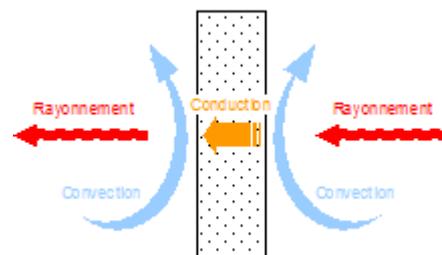
Propriétés thermiques des matériaux

« 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 (μ), 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 : L'Institut Paris Region

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 fins de changement d'état physique de l'eau en vapeur (chaleur latente), donc sans changement de température.



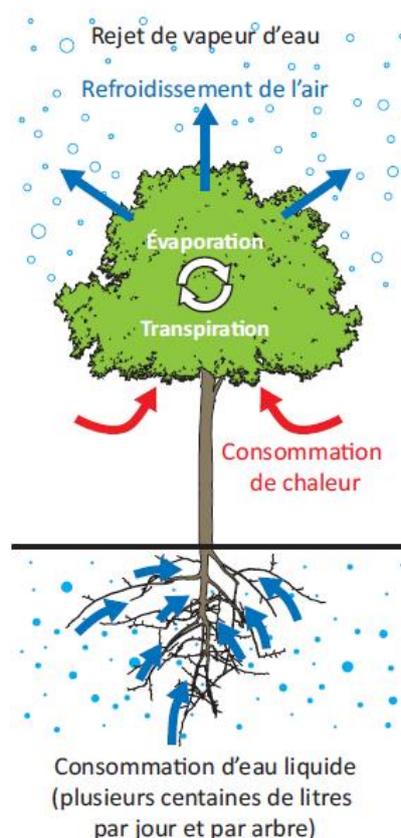
Plus la surface de végétation est importante et arborée, et hors condition de manque d'eau (stress hydrique), plus le rafraîchissement de l'air est efficace (en bleu)



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 au sol de végétations : arborée (surface planimétrique de la projection verticale des houppiers des arbres de plus de 5 mètres via les entités du MOS 2021 de L'Institut Paris Region (poste Forêts du MOS 11 postes) et végétation arborée de la BD TOPO 2019 de l'IGN (forêt + couvert arboré > 5 mètres) ; basse de type pelouse & mélange, strate herbacée/arbustive via le calcul de l'indice de végétation par la BD ORTHO IRC 2021, et agricole, (sélection à partir du MOS 2021 des terres agricoles : terres labourées ; surfaces en herbe à caractère agricole ; vergers, pépinières, maraîchage, horticulture)

Propriété LCZ proche de cet indicateur : Pervious surface fraction (λ_i), de 0 à 100%



L'évapotranspiration

Source : Apur

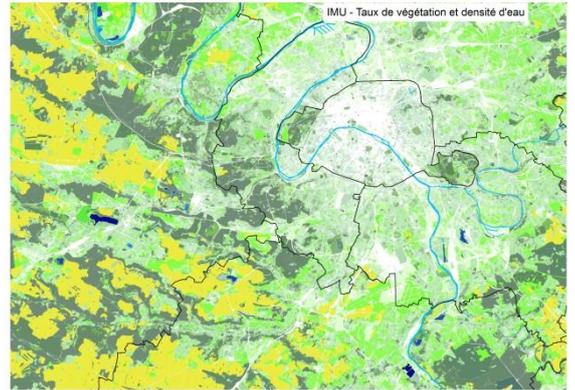
Taux de végétation haute
« % de végétation haute »

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 de 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 2022).

Source : L'Institut Paris Region

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.

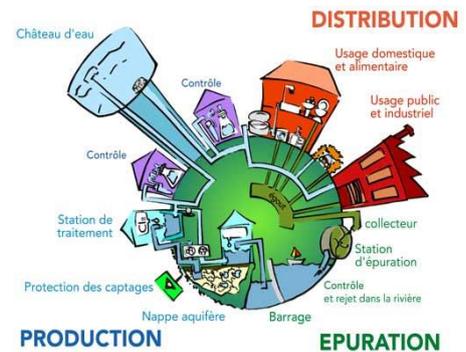


Plus la surface en eau de l'îlot est importante, plus le rafraîchissement de l'air par évaporation est efficace (en bleu)



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, 2021) + Surface forfaitaire de 50 m² par mare localisée + Surface des Bassins ouverts de la BD Topo (2022), 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



« Le brumisateur naturel ».

Source : Lo Giudice, Marquet, 2008

Réfléchissement de la lumière

« Albedo »

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 (α).



Albedo 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.



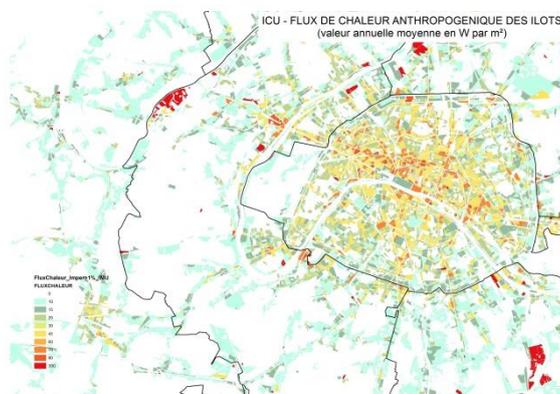
Emission de chaleur anthropogénique à même la rue et au sein de certains îlots, notamment à caractère industriel (**en rouge**)



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^2).

Propriété LCZ proche de cet indicateur : Intensité de flux de chaleur anthropogénique moyen annuel (QF), de 0 à 400+, en W/m^2 (comprend aussi le métabolisme humain).



Flux de chaleur anthropogénique (en W par m^2).

Source : L'Institut Paris Region

Zone ICU nocturne de la canicule 2003

« Indicateur de Nuit tropicale (>20°C) lors de la canicule 2003 »

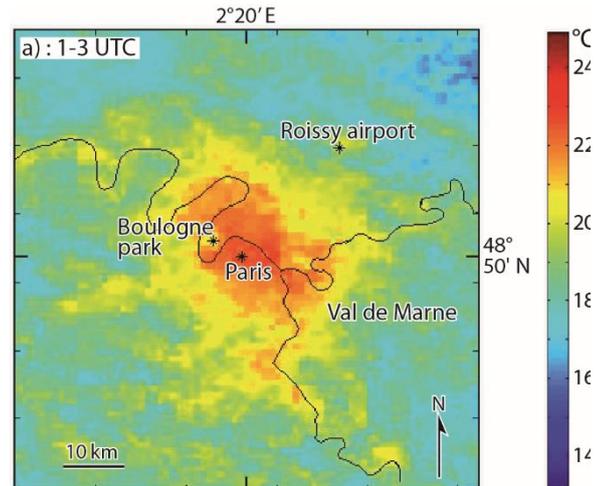
Indication rétrospective de l'extension de l'îlot de chaleur métropolitain nocturne – via les relevés de température de surface et l'indicateur de Nuit tropicale – qui s'est produit durant les 10 jours de canicule en 2003.

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 et plus). 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.



Le contexte d'indicateur de nuit tropicale est mentionné pour tous les îlots (construits ou naturels) situés à l'intérieur de la zone > 20°C observée pendant la canicule 2003 (en gris foncé) ; les îlots hors zone apparaissent en blanc.

Précision sur l'élaboration de l'indicateur : croisement géographique entre les IMU actuel 2022 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.

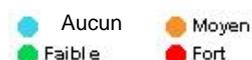
Source : Figure reproduite de : Dousset et al. (2011), *International Journal of Climatology*, John Wiley & Sons. *Albedo en ville*

DÉFINITION DES INDICATEURS DE SENSIBILITÉ HUMAINE À L'EFFET D'ICU 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 humaine et le risque de santé publique associé.

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 :

Pour la construction de la densité humaine "brute et basée", la population résidente est déterminée à partir de POPMEN2016 de Densibat2016_P de L'Institut Paris Region (ventilation statistique fine de la population du recensement INSEE sur le bâti de la BD Topo de l'IGN 2021). Pour les emplois, la base SIRENE 2019 (emplois salariés géolocalisés des entreprises et établissements) a été utilisée. Les chiffres population et emploi sont rapportés à la surface de l'IMU.

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), Filocom.

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).

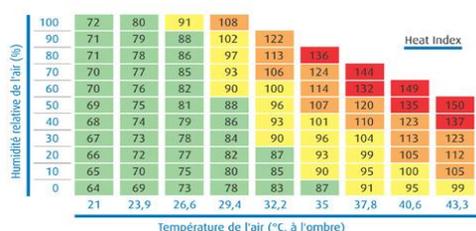
En dehors du facteur âge et santé (beaucoup de personnes souffrant déjà d'une maladie sont mortes à cause de la chaleur), on trouve également parmi les populations à risques des personnes dont les conditions de vie ou de travail les exposent particulièrement. C'est le cas par exemple des ouvriers du 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
Niveau 1	Coup de soleil	Rougeur et douleur, œdème, vésicules, fièvre, céphalées
Niveau 2	Crampes de chaleur	Spasmes douloureux (jambes et abdomen), transpiration
Niveau 3	Épuisement thermique	Fort transpiration, faiblesse, froideur et pâleur de la peau, pouls faible, température normale
Niveau 4	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



Heat Index	Troubles physiologiques possibles en cas d'exposition prolongée à la chaleur et/ou avec une activité physique
80 à 90	Fatigue
90 à 104	Coup de soleil*, crampes musculaires et épuisement physique
105 à 129	Épuisement, coup de chaleur possible
130 et plus	Risque élevé de coup de chaleur / coup de soleil*

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 m² 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 2016 par m² de planchers "ménages" : population des ménages (POPMEN2016 de Densibati2016_P) par Surface de m² planchers du bâti Habitat (COLL+INDIV). Si absence de m² Habitat suffisant dans l'IMU, d'autres surfaces bâties de l'IMU servent au calcul (population résiduelle de ménages logés dans des équipement, administration, santé, école...).

Annexe 11 : Arbre logique des préconisations de solutions par îlot

Solutions à privilégier	Nb d'îlots	Explication des îlots cibles des recommandations de solution
Plus de végétation de pleine terre : espaces verts, trames vertes...	9 240	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, présentant un potentiel de surface au sol encore non bâtie ou non végétalisée (plus de 40% de la surface)
Plus de végétation sur le bâti (toits, terrasses, murs, pieds d'immeubles...)	14 060	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, présentant peu de surface au sol encore non bâtie ou non végétalisée (moins de 40%)
Potentiel de végétalisation des toitures terrasses	17 382	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, présentant une part significative (plus d'un tiers) de toitures potentiellement planes
Plus de sols perméables (rétention d'eau par le sol)	14 783	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, présentant un taux d'imperméabilisation supérieur à 40% et un potentiel de surface au sol encore non bâtie de 15% minimum
Plus d'aires de rafraîchissement de proximité : aires aquatiques, bassins, brumisateurs, miroirs d'eau, fontaines...	5 122	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 constitués d'ensembles de maisons compactes, 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 <= 50%)
Potentiel de récupération d'eau en pied d'immeuble, amélioration de la gestion de l'eau	7 292	Cas des îlots bâtis ou construits, hors installation aéroportuaire, avec un effet d'ICU moyen ou fort le jour comme la nuit, présentant un taux d'imperméabilisation supérieur à 40% et un potentiel majoritaire (2/3 minimum) de toitures à toits en pente
Potentiel d'usage de l'eau pour toitures végétalisées	22 941	Cas des îlots bâtis ou construits, hors installation aéroportuaire, avec un effet d'ICU moyen ou fort le jour comme la nuit, présentant un taux d'imperméabilisation supérieur à 40% et une part significative (plus d'un tiers) de toitures potentiellement planes
Plus d'arbres	20 076	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 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 l'effet d'ombrage lié au bâtiments haut)
Plus de protections solaires du bâti : ombrières solaires, pergolas...	7 694	Cas des îlots bâtis ou construits, peu pourvus en végétation arborée (moins d'un tiers de leur surface) et présentant un Facteur de vue du ciel (SVF) inférieur ou égal à 0,3 (tissu urbain très compact)
Augmentation de l'albédo des surfaces au sol (revêtements des chaussées...)	16 146	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, présentant une part potentiellement significative de surfaces revêtues artificielles et minérales (macadam, pavés...)
Augmentation de l'albédo des toitures terrasses	20 951	Cas des îlots bâtis, avec un effet d'ICU moyen ou fort le jour comme la nuit, présentant une part majoritaire (plus de 50%) de toitures potentiellement planes
Plus d'inertie des matériaux (confort thermique dans le logement...)	14 885	Cas des îlots bâtis ou construits, avec un effet d'ICU moyen ou fort la nuit, présentant une majorité de leur bâti construit après 1948 (post Seconde Guerre Mondiale)
Facilitation des circulations douces, encouragement TC, plus de fluidité du trafic	19 098	Cas des îlots bâtis ou construits, présentant à leur pourtour un trafic routier significatif source de chaleur anthropique (chaleur des moteurs)
Moins de climatisation en mode sec, privilégier les systèmes collectifs (réseaux de froid...) ou individuels (VMC double flux, puits Canadien...)	1 740	Cas des îlots bâtis du secteur tertiaire, présentant en leur sein une part significative de consommation d'électricité spécifique par le bâti tertiaire (bureaux, commerces, équipements...) source potentielle de chaleur anthropique (rejet de chaleur par les systèmes de climatisation)

Solutions à privilégier	Nb d'îlots	Explication des îlots cibles des recommandations de solution
Récupération de la chaleur perdue par les procédés industriels (chaleur fatale)	300	Cas des îlots bâtis du secteur industriel présentant en leur sein d'une présence significative d'industries lourdes source potentielle de chaleur anthropique (rejet de chaleur fatale par les procédés)
Plus de ventilation de l'îlot (meilleure circulation des masses d'air, front urbain moins continu)	7 413	Cas des îlots bâtis ou construits, présentant une rugosité urbaine (minérale/végétale) significative
Moins d'obstacles à la vue du ciel (accélération du refroidissement nocturne)	14 102	Cas des îlots bâtis ou construits, avec un effet d'îlot moyen ou fort la nuit, présentant un Facteur de vue du ciel (SVF) inférieur ou égal à 0,4 (tissu urbain compact)
Confort thermique au travail (bâti tertiaire, espaces extérieurs, enceintes de transports collectifs) à considérer attentivement	91 086	Cas des îlots présentant une densité significative d'emplois salariés
Isolation des bâtiments, ventilation naturelle, inertie et albédo des matériaux (façades, toits) à considérer attentivement	17 404	Cas des îlots habités (plus de 10 habitants) présentant une majorité de leur bâti construit entre 1949 et 1974, 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
Risque sanitaire lié à la proportion de personnes sensibles à considérer attentivement	67 867	Cas des îlots habités (plus de 10 habitants) présentant une part significative de population dite sensible à la chaleur (5 ans et moins, plus de 65 ans) : au moins 50 individus sensibles ou plus de 10 habitants dont 20% sont sensibles ou la présence d'une maison de retraite
Risque sanitaire lié à la suroccupation potentielle des logements à considérer attentivement	4 595	Cas des îlots habités (plus de 25 habitants) présentant une densité importante de logements potentiellement sur-occupés
Diminution de la pollution de l'air (cofacteur de surmortalité) : diminution du trafic automobile et des vitesses de circulation...	57 811	Cas des îlots avec une densité significative d'emplois salariés ou avec une densité significative de population résidente et 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)
Soutien à l'amélioration de l'offre en médecine généraliste (présence, accessibilité)	25 797	Cas des îlots habités (plus de 10 habitants) situés en zone d'intervention prioritaire + (ZIP +)
Soutien à l'amélioration de l'offre en services d'urgences (présence, accessibilité)	17 379	Cas des îlots habités (plus de 10 habitants) situés à plus de 20 minutes d'un hôpital disposant d'un service d'urgence
Soutien à l'amélioration des conditions d'habitat insalubre (ménages pauvres, suroccupation logement)	3 638	Cas des îlots cumulant une densité importante de logements potentiellement sur-occupés et une proportion significative (12,4%) de ménages pauvres
Incitation à l'inscription volontaire au Registre nominatif confidentiel des personnes fragiles (personnes âgées de 80 ans et plus)	11 417	Cas des îlots habités (plus de 10 habitants) présentant une part significative de personnes âgées de 80 ans et plus (population potentiellement plus isolée et sensible à la chaleur) : au moins 10 personnes âgées ou représentant au moins 10% de la population résidente de l'îlot
Accompagnement/sensibilisation à la mise en œuvre du Plan canicule des personnes fragiles (ménages pauvres)	1 098	Cas des îlots habités (plus de 10 habitants) dont plus du tiers de sa population se compose de ménages pauvres
Promouvoir l'îlot de fraîcheur que constitue l'espace vert ouvert au public de proximité : identifier les possibilités de son ouverture exceptionnelle la nuit	29 066	Cas des îlots habités (plus de 10 habitants), 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)

Solutions à privilégier	Nb d'îlots	Explication des îlots cibles des recommandations de solution
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	4 172	Cas des îlots habités (plus de 10 habitants), 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)
Apporter des solutions de rafraîchissement dans les cœurs d'îlots, les cours et pieds d'immeuble	6 410	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, 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 cours d'eau et/ou de plans d'eau

Annexe 12 : 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, brumisateurs...)

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

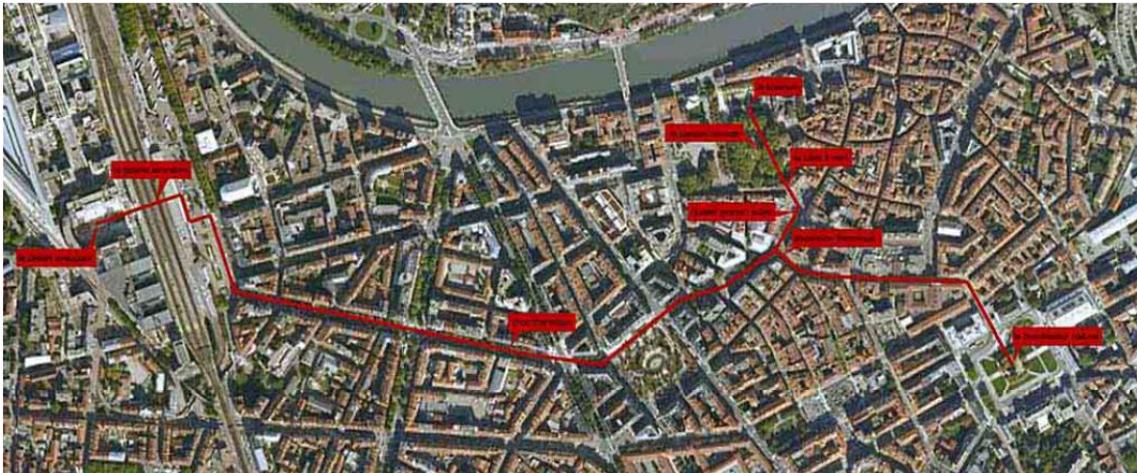
Statistiques : nb de personnes âgées (plus de 65, 75 ans) ; nb de personnes isolées ; précarité énergétique (climatique) ; surmortalités caniculaires et polluants atmosphériques... ; type de matériaux de toit ; nb de toitures végétalisées ; nb de personne inventorié par les fichiers de type Chalex ?...

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 élément 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 demie. 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, croissence de la chaleur, de la luminosité, échauffement.

La verrière horizontale en toiture capte les rayons du soleil d'été et les emprisonne. C'est l'effet de serre. Une chaleur étouffante est alors ressentie au dernier étage exposé au rayonnement. En descendant les dégâts la chaleur et la luminosité diminuent.

L'hôtel de l'Europe

Chaudières solaires.

Il s'agit d'un immeuble historiquement classé monument historique qui fait l'angle de la rue Félix Faure avec la rue René Bréchet. Le bâtiment est situé sur 3 étages. Au rez-de-chaussée le bâtiment est ouvert sur le rue piétonne et sur la rue de tram. Plus de 4 étages ont été construits au-dessus, ce qui a entraîné une dégradation des caractéristiques thermiques de la rue par la présence de chaudières solaires. On se dirige en train vers les centres commerciaux depuis la rue.

On a une verrière au-dessus du toit, active la cage d'escalier et crée un courant d'air avec les vents.

Chaudières des fondations et des usages.

Les niveaux de l'escalier ont été créés autour de et une banque d'accueil ont été aménagés. A l'extérieur on trouve une terrasse pour la plage de la piscine.

Il y a un escalier, ce qui permet l'accessibilité aux personnes à mobilité réduite.

Les chaudières solaires ont été remplacées par des panneaux solaires, cela a permis d'économiser et d'être rentable.

Le dispositif peut provoquer un effet de serre (inhabitants).

Quelle est la façon de gérer l'habitat, vous pouvez obtenir des informations sur l'habitat et l'énergie qui reçoit une parcelle d'habitat.

Plusieurs autres chaudières thermiques sont sur le toit et à l'étage au-dessus de la terrasse. In 21 juin en été et la 21 décembre est l'hiver. Plus nous avons plus une façade verticale de même orientation pour faire une comparaison.

Façade 21 déc, Façade 21 juin, Verrière 21 juin

Le savoir

Verrière zénithale

Les verrières zénithales constituent des couvertures relativement importantes (surfaces toujours importantes) et très problématiques au niveau de la couverture.

Leur principal intérêt est de permettre un éclairage naturel des zones centrales éloignées des façades. Elles ne permettent pas une grande variété de formes et de distributions de niveaux de la couverture. On les trouve traditionnellement placées au-dessus de cages d'escaliers formant un point de jonction.

Ces dispositifs peuvent provoquer un effet de serre (inhabitants).

Quelle est la façon de gérer l'habitat, vous pouvez obtenir des informations sur l'habitat et l'énergie qui reçoit une parcelle d'habitat.

Plusieurs autres chaudières thermiques sont sur le toit et à l'étage au-dessus de la terrasse. In 21 juin en été et la 21 décembre est l'hiver. Plus nous avons plus une façade verticale de même orientation pour faire une comparaison.

Façade 21 déc, Façade 21 juin, Verrière 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.

Place Grenette

DUALITE

Ombre - Soleil

Dispositif: place minérale ceinturée de bâtiments, orientée sud-ouest



Les bâtiments de la place procurent à terre des ombres qui modifient le comportement des passants. Suivant la chaleur, les passages à l'ombre sont très prisés afin de se protéger du soleil.

L'hiver c'est le côté au soleil qui va être très paisible. Dès qu'un rayon de soleil vient taper sur le sol, les gens s'assient à une terrasse avec leur manteau ouvert et les lunettes de soleil afin de profiter de quelques rayons.

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

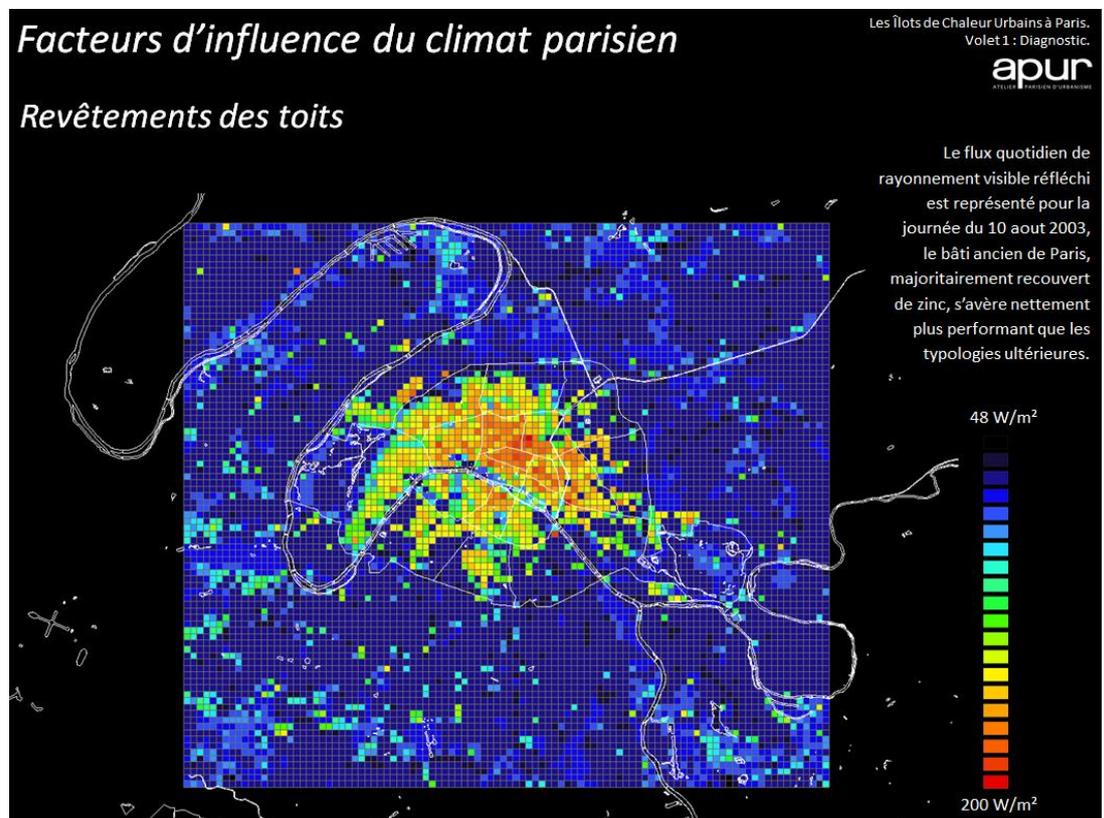
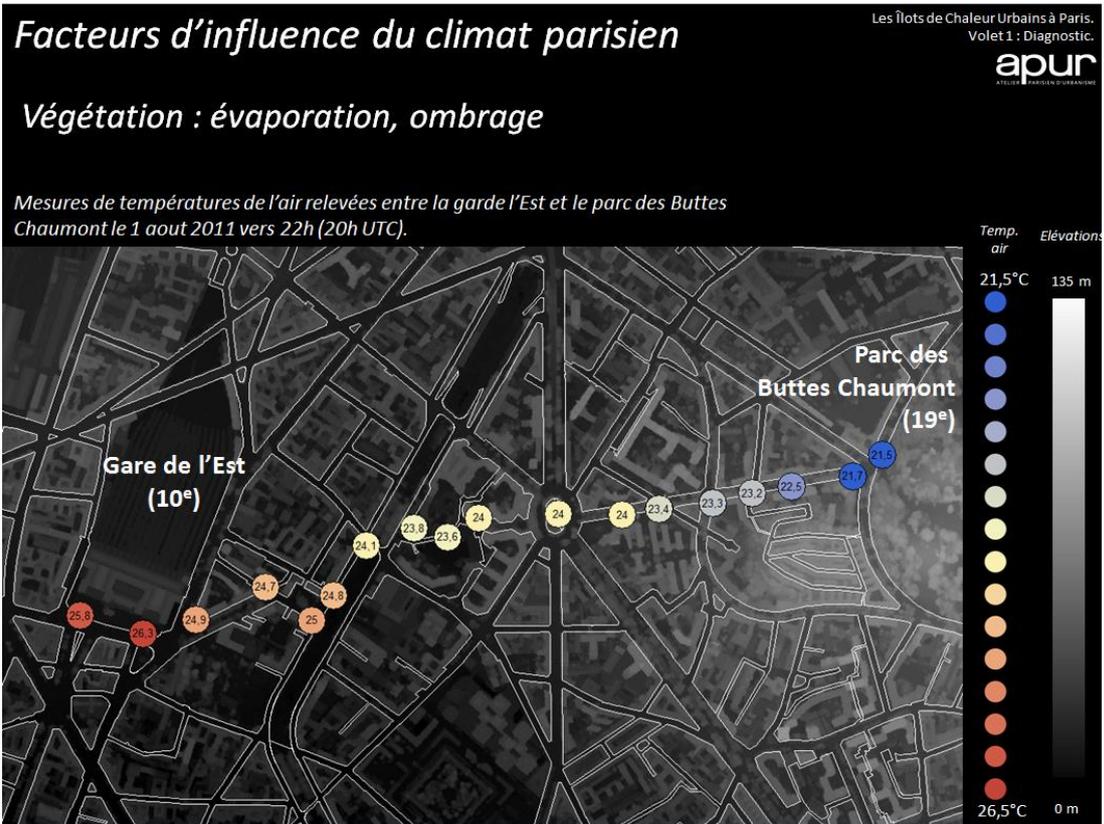
Source : Lo Giudice G., Marquet E., mai 2008

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)



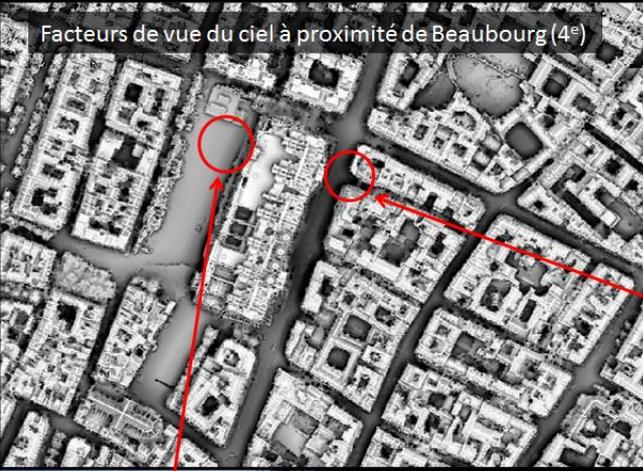
Facteurs d'influence du climat parisien

Les îlots de Chaleur Urbains à Paris.

Volet 1 : Diagnostic.



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

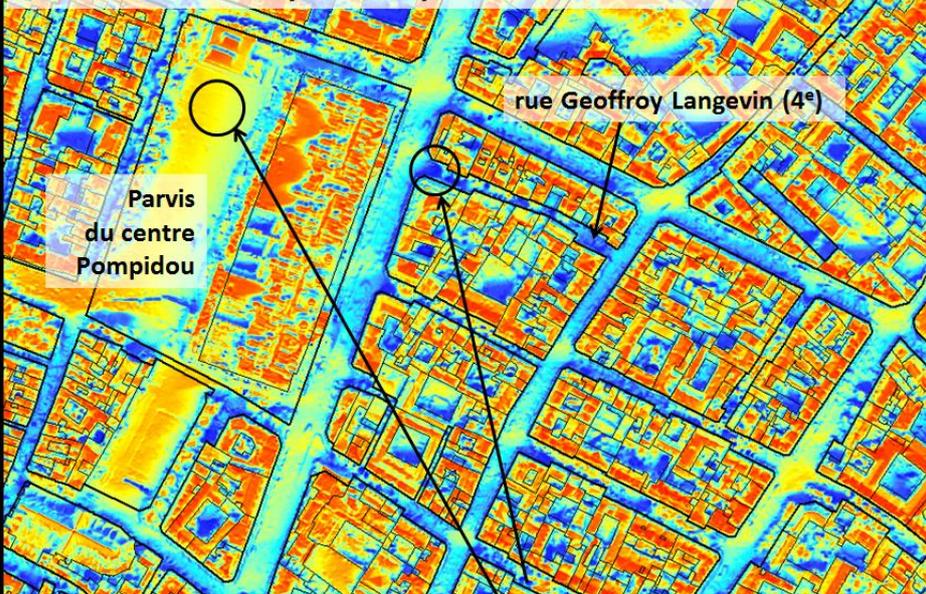
Facteurs d'influence du climat parisien

Les îlots de Chaleur Urbains à Paris.

Volet 1 : Diagnostic.



Calcul de l'insolation reçue dans la journée du 1^{er} août 2011



Insolation journalière

5kWh/m²

0kWh/m²

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^{er} 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

ARB îdF

Agence régionale de la biodiversité en Ile-de-France (département biodiversité de L'Institut Paris Region)

ANR

Agence nationale de la recherche

APC

Agence parisienne du climat

Apur

Atelier parisien d'urbanisme

Arec îdF

Agence régionale énergie climat Île-de-France (département énergie-climat de L'Institut Paris Region)

ARTISAN

Accroître la Résilience des Territoires au changement climatique par l'Incitation aux Solutions d'adaptation fondées sur la Nature (projet LIFE intégré, 2020-2027)

C

CO₂

Dioxyde de carbone

Cop21

21e Conférence des parties de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC)

E

EES

Évaluation environnementale stratégique

G

GIEC

Groupement d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (IPCC, sigle anglais)

GREC francilien

Groupe régional d'études du changement climatique et leurs impacts environnementaux en Île-de-France

H

H2C

Heat and Health in Cities – Chaleur et santé en ville (projet ANR, 2021-2024)

I

ICU

Ilot de chaleur urbain

IGN

L'Institut national de l'information géographique et forestière

Imu

Îlot morphologique urbain (*L'Institut Paris Region*)

Insee

Institut national de la statistique et des études économiques

InVS

Institut de veille sanitaire

L

L'Institut

L'Institut Paris Region

M

MApUCE

Modélisation Appliquée et droit de l'Urbanisme : Climat urbain et Énergie (projet ANR, 2014-2018)

Mos

Mode d'occupation des sols (*L'Institut Paris Region*)

MUSCADE

Modélisation urbaine et stratégie d'adaptation au changement climatique pour anticiper la demande et la production énergétique (projet ANR, 2009-2012)

O

ORS

Observatoire régional de santé Île-de-France (département santé de L'Institut Paris Region)

P

PCAET

Plan Climat-Air Energie territorial

Pracc

Plan de protection, de résistance et d'adaptation de la Région Île-de-France face au changement climatique

S

Sdrif-e

Schéma directeur de la région Île-de-France

SpF

Santé publique France

SRCAE

Schéma régional du Climat, de l'Air et de l'Energie 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

Agréement, 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 (2021), Rafrâichir les villes, des solutions variées, mai 2021, <https://librairie.ademe.fr/changement-climatique-et-energie/4649-rafraichir-les-villes.html>
- 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>
- AREC îdf, ADEME Île-de-France, AMIF (2022), Bonnes pratiques et recommandations aux élus locaux – Comment s'adapter au changement climatique ?, juin 2022, <https://www.arec-idf.fr/nos-travaux/publications/comment-sadapter-au-changement-climatique/>
- 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, GARRIGOU Sandra, HUART Gabrielle (2022), Vulnérabilités de l'Île-de-France aux effets du changement climatique, novembre 2022, L'Institut Paris Region, <https://www.institutparisregion.fr/nos-travaux/publications/vulnerabilites-de-lile-de-france-aux-effets-du-changement-climatique/>
- CORDEAU Erwan (2017), 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, L'Institut Paris Region, <https://www.institutparisregion.fr/nos-travaux/publications/adapter-lile-de-france-a-la-chaleur-urbaine/>
- 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
- ESCOURROU Gisèle (1996), Climat et micro-climat urbain, pollution atmosphérique et nuisances météorologiques localisées, IAURIF, 1996
- 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
- ORS Île-de-France (2003a), Conséquences sanitaires de la canicule d'août 2003 en Île-de-France, octobre 2003, <https://www.ors-idf.org/nos-travaux/publications/sur-mortalite-liee-aux-vagues-de-chaleur-en-ile-de-france/>
- PASCAL Mathilde, GORIA Sarah, WAGNER Véréne, GUILLET Agnès, SABASTION Marine, CORDEAU Erwan, MAUCLAIR Cécile, HOST Sabine (2020), Influence de caractéristiques urbaines sur la relation entre température et mortalité en Île-de-France, septembre 2020, Santé publique France <https://www.santepubliquefrance.fr/view/content/286723/full/1/343680>

ARTICLES ET PERIODIQUES

- BARRA Marc, DEBOEUF DE LOS RIOS SERRANO Gaëtane, GRANDIN Gwendoline (2022), « Quel potentiel de renaturation en Île-de-France ?, décembre 2022, Note rapide Biodiversité, n° 966, Agence régionale de la biodiversité en Île-de-France, <https://www.arb-idf.fr/nos-travaux/publications/quel-potentiel-de-renaturation-en-ile-de-france/>
- 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>
- 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

<https://www.institutparisregion.fr/nos-travaux/publications/la-vulnerabilite-de-la-ville-a-la-chaaleur-par-lapproche-zones-climatiques-locales/>

- CORDEAU Erwan (2014), « Caractériser les zones sujettes aux îlots de chaleur urbains », Les Cahiers, n° 170-171, IAU îdF, septembre 2014, pp. 80-81
- 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.institutparisregion.fr/nos-travaux/publications/les-strategies-de-vegetalisation-pour-aider-la-ville-a-faire-face-a-la-canicule/>

DOCUMENTS DE REFERENCE

- Conseil régional d'Île-de-France (2023), « Île-de-France Objectif 2040, Projet de nouveau Schéma directeur de la Région d'Île-de-France, SDRIF-E », <https://www.institutparisregion.fr/planification/ile-de-france-2040/sdrif-e-2040/>
- Conseil régional d'Île-de-France (2022), Plan de protection, de résistance et d'adaptation de la Région Île-de-France face au changement climatique (Pracc) », septembre 2022, [Environnement : le Plan régional d'adaptation au changement climatique | Région Île-de-France \(iledefrance.fr\)](#)
- « 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/>
- 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>

LES ÉTUDES

DE L'INSTITUT PARIS REGION



L'INSTITUT PARIS REGION
ASSOCIATION LOI 1901.

15, RUE FALGUIÈRE - 75740 PARIS CEDEX 15 - TÉL. : 01 77 49 77 49

ISBN 978 2 7371 2392 4