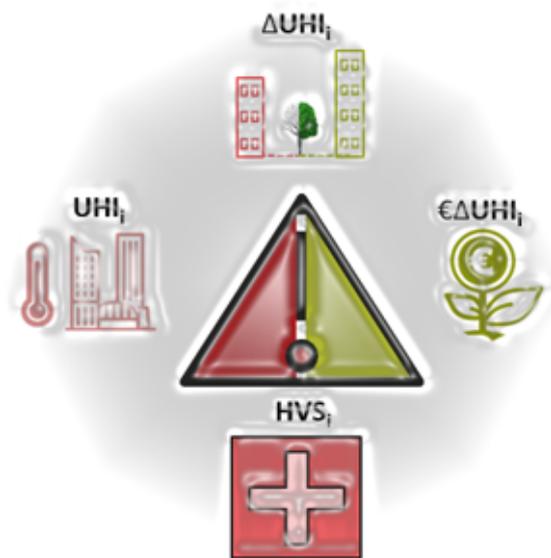


## *Cartographie nationale des indicateurs liés à l'îlot de chaleur urbain (ICU)*



### Contributors :

**KYRIAKODIS Georgios - Evrystheas**

Ingénieur Recherche et Expertise,  
Direction Énergie Environnement,  
Simulation Urbaine et Laboratoire pour les Systèmes (SIMULABS)

Auteur principal

**GUIOT Thierry**

Chef de division,  
Direction Énergie Environnement,  
Simulation Urbaine et Laboratoire pour les Systèmes (SIMULABS)

Relecteur

**Mots clés :** îlot de chaleur urbain, vulnérabilité à la chaleur, stratégies d'atténuation, albédo, SIG

---

### **CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT (CSTB)**

290 route des Lucioles – BP 209 – 06904 Sophia Antipolis Cedex

Tél. : +33 (0)4 93 95 67 00 – Siret 775 688 229 00068 – [www.cstb.fr](http://www.cstb.fr)

Siège social : 84 avenue Jean Jaurès – Champs-sur-Marne – 77447 Marne-la-Vallée Cedex 2

Établissement public à caractère industriel et commercial – RCS Meaux 775688229 – TVA FR 70775688229

MARNE-LA-VALLÉE / PARIS / GRENOBLE / NANTES / SOPHIA ANTIPOLIS

## Acknowledgements

Les données fournies sont le résultat du projet **Sat4BDNB**, financé par le **SCO** (Space for Climate Observatory) et la Direction de la Recherche du **CSTB**. Les auteurs tiennent à exprimer leur gratitude à **Lonjou Vincent** du CNES, **Roujean Jean-Luis** du CESBIO, **Haubourg Regis** et **Herrera Eunice** du CSTB, et **Bertrand Saulquin** pour leurs précieuses contributions.

# Table des matières

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>L'effet d'Ilot de Chaleur Urbain</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>Definitions - Indicateurs liés à la chaleur</b>                               | <b>2</b>  |
| 2.1      | IUHI . . . . .   | 2         |
| 2.2      | $\Delta$ UHI . . . . .   | 2         |
| 2.3      | $\in$ $\Delta$ UHI . . . . .   | 2         |
| 2.4      | $\Delta$ UHI <sub>efficiency</sub> . . . . .                                     | 2         |
| 2.5      | HVSi . . . . .   | 2         |
| <b>3</b> | <b>L'importance des indicateurs liés à la chaleur pour la résilience urbaine</b> | <b>3</b>  |
| 3.1      | Comprendre l'intensité des îlots de chaleur urbains . . . . .                    | 3         |
| 3.2      | Orienter les mesures d'atténuation et les investissements . . . . .              | 3         |
| 3.3      | Prioriser les interventions pour un impact maximal . . . . .                     | 3         |
| 3.4      | Lutte contre la vulnérabilité à la chaleur . . . . .                             | 3         |
| 3.5      | Le rôle des données SIG dans la lutte contre le changement climatique . . . . .  | 3         |
| <b>4</b> | <b>Exploitation des données</b>  | <b>4</b>  |
| <b>5</b> | <b>Sources de données</b>  | <b>5</b>  |
| 5.1      | Unités spatiales . . . . .   | 5         |
| 5.2      | Albédo . . . . .   | 6         |
| 5.3      | Végétation . . . . .   | 7         |
| 5.4      | Socio-économiques & Démographiques . . . . .                                     | 10        |
| 5.5      | Caractéristiques des bâtiments . . . . .   | 11        |
| 5.6      | Caractéristiques du Canyon urbain . . . . .                                      | 12        |
| 5.7      | Météorologiques . . . . .  | 13        |
| <b>6</b> | <b>Méthodologie</b>  | <b>14</b> |
| 6.1      | IUHI . . . . .   | 14        |
| 6.2      | $\Delta$ UHI . . . . .   | 14        |
| 6.2.1    | Solutions basées sur la végétation . . . . .                                     | 14        |
| 6.2.2    | Solutions basées sur l'albédo . . . . .  | 15        |
| 6.2.3    | Solutions combinées . . . . .  | 15        |
| 6.3      | $\in$ $\Delta$ UHI . . . . .   | 15        |
| 6.3.1    | Solutions basées sur la végétation . . . . .                                     | 15        |
| 6.3.2    | Solutions basées sur l'albédo . . . . .  | 15        |
| 6.4      | $\Delta$ UHI <sub>efficiency</sub> . . . . .                                     | 16        |
| 6.5      | HVSi . . . . .   | 16        |
| <b>7</b> | <b>Performance</b>   | <b>17</b> |
| <b>8</b> | <b>Métadonnées</b>   | <b>18</b> |
| 8.1      | Description des tables . . . . .   | 18        |
| 8.2      | Emprise . . . . .  | 19        |
| 8.3      | Période . . . . .  | 19        |
| 8.4      | Système de projection . . . . .  | 19        |
| 8.5      | Format . . . . .   | 19        |
| 8.6      | Représentation cartographique . . . . .  | 19        |
| 8.7      | Couverture . . . . .   | 19        |
| 8.7.1    | Libelle Commune . . . . .  | 19        |
| 8.7.2    | Code Grand-IRIS . . . . .  | 21        |
| 8.8      | Fréquence . . . . .  | 24        |
| 8.9      | Licence d'utilisation . . . . .  | 24        |
| 8.10     | Publications à citer . . . . .   | 24        |

## Table des figures

|    |   |    |
|----|---|----|
| 1  | Répartition de la températures de l'air de la ville et des zones rurales environnantes, source :[1]. . . . .      | 1  |
| 2  | Illustration du découplage spatial dans Grand-IRIS. . . . .   | 5  |
| 3  | Illustration de la carte nationale de l'albédo. . . . .   | 6  |
| 4  | Illustration de la couverture de la couche UASL. . . . .  | 7  |
| 5  | Illustration de la couverture de la couche OSO de classes non urbaines. . . . .                                   | 8  |
| 6  | Illustration de la carte d'occupation du sol à très haute résolution de la ville de Paris. . . . .                | 9  |
| 7  | Illustration de la couche de données de population absolue par Grand-IRIS. . . . .                                | 10 |
| 8  | Distribution des DPE dans le Grand-IRIS parisien. . . . .   | 11 |
| 9  | Largeur de routes par Grand-IRIS basée sur les données brutes de l'IGN. . . . .                                   | 12 |
| 10 | Localisation des fichiers météorologiques utilisés. . . . .   | 13 |
| 11 | Impact de chacun des 11 critères sur l'indicateur <b>IUHI</b> . . . . .   | 14 |
| 12 | Comparaison d'erreur absolue entre l'indicateur <b>IUHI</b> et les résultats de simulation basés sur UWG. . . . . | 17 |

## Liste des tableaux

|   |   |    |
|---|---|----|
| 1 | Sources de données et analyse PCA . . . . .   | 16 |
| 2 | Tableau d'erreur comparatif des résultats des simulations <b>IUHI</b> et UWG. . . . . | 17 |
| 3 | Description des attributs des données. . . . .  | 18 |

# 1 L'effet d'Ilot de Chaleur Urbain

Le phénomène d'îlot de chaleur urbain (ICU) fait référence à l'augmentation de la température ambiante des villes par rapport à leur environnement périurbain et rural environnant (Figure 1). L'augmentation de la température urbaine est le résultat du bilan thermique défavorable des villes causé par la chaleur supplémentaire dégagée et stockée dans la structure urbaine [2]. L'amplitude du phénomène varie en fonction des caractéristiques locales et de l'intensité des sources de chaleur et peut dépasser 6-7 °C [3].

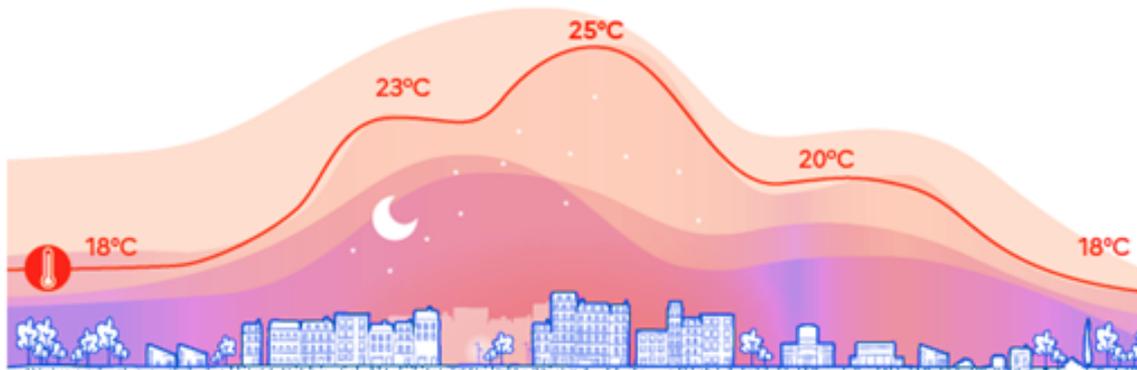


FIGURE 1 – Répartition de la températures de l'air de la ville et des zones rurales environnantes, source :[1].

La surchauffe urbain a un impact significatif sur la consommation énergétique des bâtiments, il augmente la concentration de polluants locaux, détériore les conditions de confort thermique intérieur et extérieur, accroît la vulnérabilité des populations à faible revenu et affecte les conditions de santé, tout en augmentant l'empreinte écologique globale des villes [4].

## 2 Définitions - Indicateurs liés à la chaleur

Les indicateurs suivants sont calculés pour les données météorologiques typiques les plus récentes<sup>1</sup>, couvrant les plus grandes villes françaises<sup>2</sup>. La méthodologie détaillée est présentée dans la Section : 6.

### 2.1 IUHI

L'indicateur **IUHI** quantifie le risque associé à l'intensité maximale absolue de l'effet d'îlot de chaleur urbain (ICU) en été. Il représente l'écart de température de l'air potentiel causé par l'effet ICU au sein d'une zone urbaine, par rapport à une zone de référence où l'influence de l'ICU est négligeable. L'indicateur est exprimé en degrés Celsius.

### 2.2 $\Delta$ UHI

L'indicateur  $\Delta$ **UHI** représente la réduction potentielle maximale de température atteignable grâce à la mise en œuvre de stratégies individuelles ou combinées de réduction des îlots de chaleur urbains (ICU). Les principales solutions évaluées comprennent :

1. L'augmentation de la densité de la végétation, optimisée en fonction de l'espace disponible.
2. L'amélioration de l'albédo des toits.

L'indicateur est exprimé en degrés Celsius.

### 2.3 $\epsilon\Delta$ UHI

L'indicateur  $\epsilon\Delta$ **UHI** représente le coût d'investissement nécessaire pour atteindre la réduction de température spécifiée par  $\Delta$ **UHI**. Les estimations de coûts sont calculées en millions d'euros (€) et sont dérivées des guides techniques fournies par l'ADEME [5], le +FMV [6] et l'EPA des États-Unis [7].

### 2.4 $\Delta$ UHI<sub>efficiency</sub>

L'indicateur  $\Delta$ **UHI**<sub>efficiency</sub> représente l'efficacité de chaque stratégie d'atténuation, évaluée en fonction du triptyque *Impact, Coût et nombre de personnes affectées*. Il fournit une approche fiable pour prioriser les projets d'atténuation des îlots de chaleur urbains. Il est normalisé au niveau du département et il est sans dimension.

### 2.5 HVS<sub>i</sub>

L'indicateur **HVS** exprime le risque de vulnérabilité des citoyens lié à la surchauffe urbaine. Il est normalisé au niveau national et il est sans dimension.

---

1. voir : 5.7

2. voir : 8.7

### **3 L'importance des indicateurs liés à la chaleur pour la résilience urbaine**

Alors que les villes continuent de croître et de s'adapter au changement climatique, comprendre et atténuer les impacts de la chaleur urbaine devient une priorité essentielle. Le développement et l'intégration d'indicateurs liés à la chaleur dans un système d'information géographique (SIG) permettent une approche basée sur les données pour lutter contre la surchauffe urbaine. Ces indicateurs, qui couvrent l'intensité de l'îlot de chaleur urbain (ICU), les mesures d'atténuation, les coûts d'investissement, la vulnérabilité à la chaleur et l'efficacité de la priorisation, sont des briques essentiels pour une prise de décision éclairée et une planification stratégique. En exploitant ces indicateurs, les villes peuvent faire des choix stratégiques éclairés pour réduire le stress thermique, protéger les populations vulnérables et créer des environnements urbains durables et vivables face à la hausse des températures mondiales.

#### **3.1 Comprendre l'intensité des îlots de chaleur urbains**

L'effet ICU met en évidence les différences de température importantes entre les zones urbaines et rurales, dues à des facteurs tels que la densité des matériaux de construction, le manque de végétation et les sources de chaleur anthropiques. En quantifiant l'intensité de l'ICU, les collectivités peuvent identifier les points chauds et cibler les interventions sur les zones où l'impact est le plus grave. Ces connaissances constituent la base pour lutter contre la surchauffe urbaine à sa source.

#### **3.2 Orienter les mesures d'atténuation et les investissements**

La mise en œuvre de solutions de refroidissement urbain, comme l'augmentation de la végétation, l'utilisation de matériaux réfléchissants ou la refonte des espaces urbains, nécessite une allocation stratégique des ressources. Les indicateurs liés aux mesures d'atténuation et aux coûts d'investissement associés permettent aux parties prenantes de :

- Évaluer la faisabilité des interventions proposées.
- Optimiser les budgets en identifiant des stratégies rentables.
- Équilibrer les coûts à court terme avec les avantages à long terme, garantissant ainsi un développement urbain durable.

#### **3.3 Prioriser les interventions pour un impact maximal**

Les ressources destinées à l'adaptation au changement climatique en milieu urbain sont souvent limitées, ce qui rend nécessaire l'établissement de priorités. Les indicateurs d'efficacité permettent aux décideurs de comparer les interventions potentielles en fonction de leur impact, de leur coût et de leur adéquation avec les objectifs plus larges de planification urbaine. En donnant la priorité aux actions à fort impact, les villes peuvent maximiser leur retour sur investissement et obtenir des améliorations mesurables en matière de confort thermique et de santé publique.

#### **3.4 Lutte contre la vulnérabilité à la chaleur**

Toutes les zones et populations ne sont pas affectées de la même manière par le stress thermique. Les indicateurs de vulnérabilité permettent d'identifier les groupes à risque, comme les personnes âgées, les ménages à faible revenu ou les quartiers où les bâtiments sont peu performants. L'intégration de ces facteurs dans la planification garantit que les mesures sont à la fois équitables et efficaces, protégeant les plus démunis tout en renforçant la résilience des communautés [8].

#### **3.5 Le rôle des données SIG dans la lutte contre le changement climatique**

L'intégration de ces indicateurs dans une plateforme SIG fournit un outil puissant pour l'analyse spatiale, la visualisation et la modélisation de scénarios. Les décideurs peuvent évaluer l'interaction entre l'intensité, les vulnérabilités et les efforts d'atténuation des ICU au-delà des frontières administratives, garantissant ainsi des réponses coordonnées et adaptées au contexte.

## 4 Exploitation des données

Les indicateurs développés sont conçus pour servir un large éventail d'utilisateurs impliqués dans la planification urbaine, la gestion de l'environnement mais aussi l'enseignement.

Les **autorités locales**, y compris les techniciens municipaux et les représentants élus, peuvent utiliser ces indicateurs pour identifier les points chauds, évaluer le coût et l'efficacité des stratégies de refroidissement proposées et établir des priorités en fonction du risque de vulnérabilité à la chaleur.

Les **agences gouvernementales** responsables de la planification urbaine et de la surveillance de l'environnement peuvent intégrer ces mesures dans leurs cadres de suivi du développement urbain, évaluer l'efficacité des mesures d'atténuation et assurer l'alignement sur les objectifs de durabilité. Les **spécialistes des SIG** travaillant dans les services publics, tels que le développement urbain et la planification des infrastructures vertes, peuvent utiliser ces indicateurs pour effectuer des analyses spatiales, permettant ainsi une allocation précise des ressources et des interventions ciblées.

Les **agences d'urbanisme** et les **bureaux d'études** peuvent exploiter ces indicateurs pour enrichir leurs bases de données, évaluer la faisabilité et la rentabilité des projets d'atténuation et affiner leurs propositions de conceptions adaptées au climat. Enfin, les **étudiants universitaires** dans des domaines tels que l'urbanisme, les sciences de l'environnement et les politiques publiques peuvent appliquer ces indicateurs dans le cadre de recherches universitaires et de projets pratiques, favorisant ainsi l'adoption d'approches pour relever les défis liés à la surchauffe urbaine.



## 5.2 Albédo

Les données d'albédo sont calculées à partir d'images satellite Sentinel-2, issu des résultats du projet SCO Sat4BDNB [9], [10]. Pour chaque pixel, la valeur d'albédo correspond à l'albédo moyen de l'été 2022.

- Info produit : <https://thisme.cines.teledetection.fr/home>
- Resolution : 10m
- Fournisseur : CESBIO/CNES

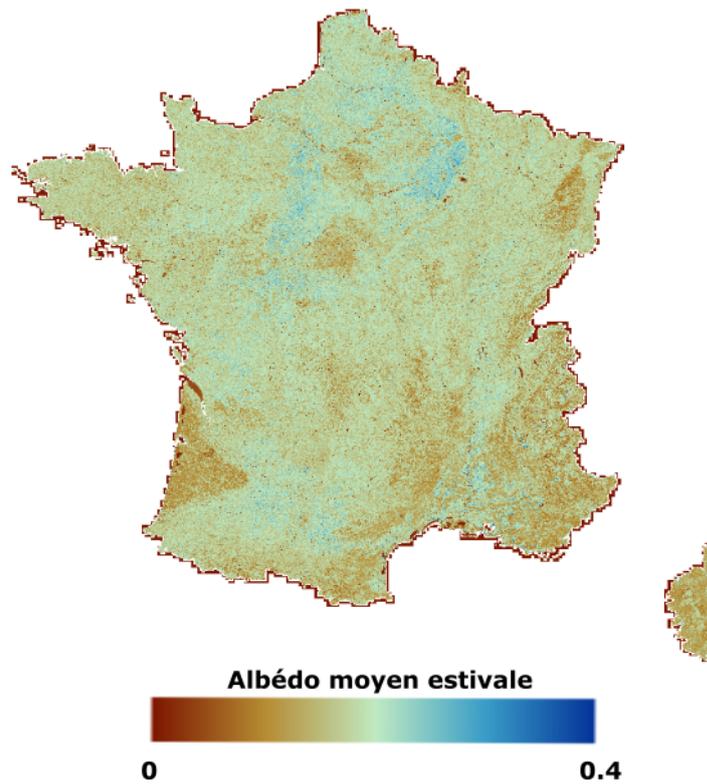


FIGURE 3 – Illustration de la carte nationale de l'albédo.

### 5.3 Végétation

Les données sur la végétation proviennent des données des satellites Sentinel-2 et PLEIADES, représentées par trois ensembles de données qui sont traités, à savoir :

- Urban Atlas Street Layer 2018
  - ★ Info produit : <https://land.copernicus.eu/en/products/urban-atlas/street-tree-layer-st1-2018>
  - ★ Resolution : 10m
  - ★ Fournisseur : Copernicus

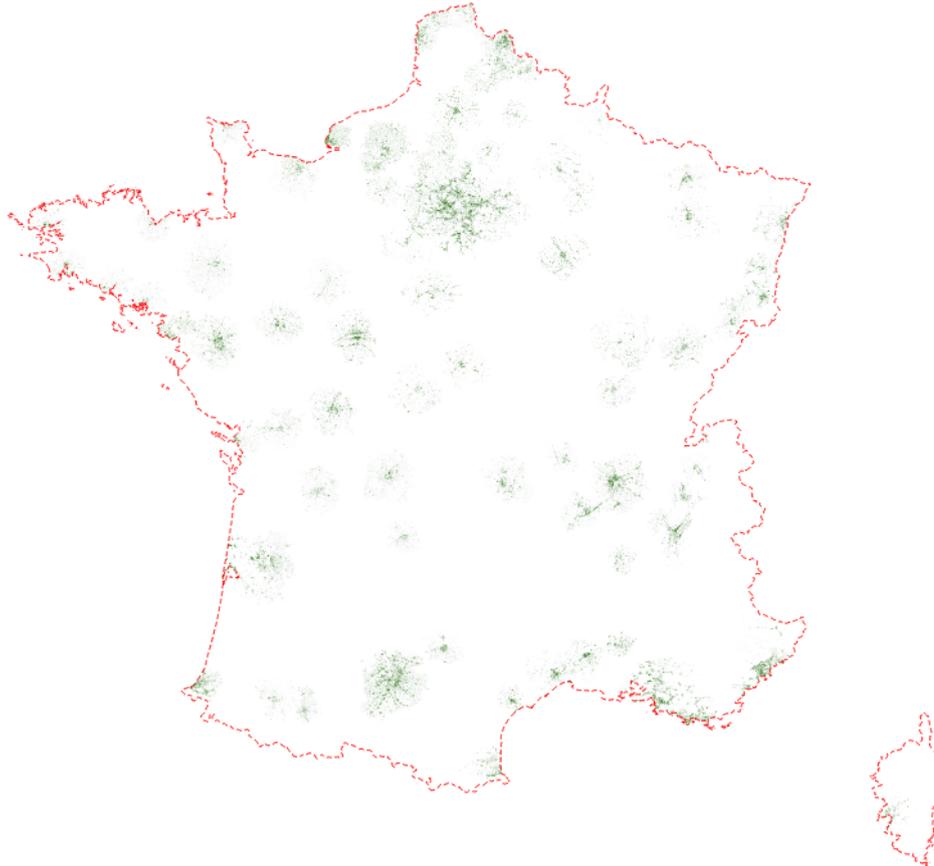


FIGURE 4 – Illustration de la couverture de la couche UASL.

- OSO 2022 Land cover map
  - \* Info produit : <https://www.theia-land.fr/product/carte-doccupation-des-sols-de-la-france-metropolitaine/>
  - \* Resolution : 10m
  - \* Fournisseur : CNES

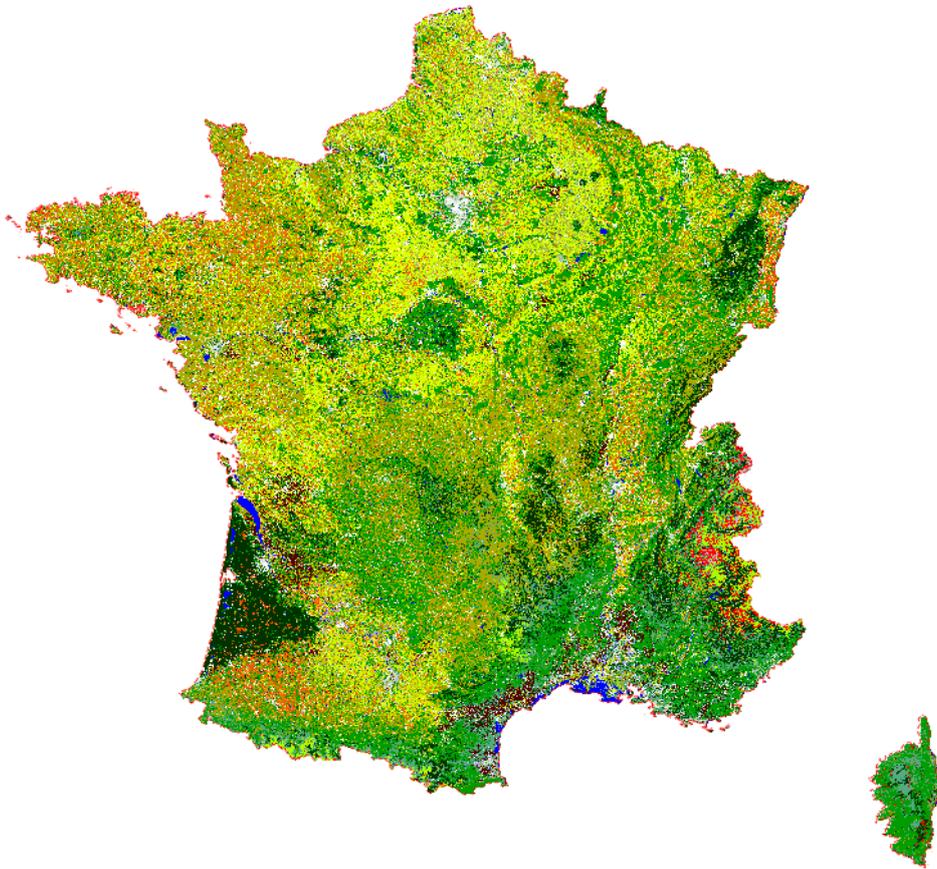


FIGURE 5 – Illustration de la couverture de la couche OSO de classes non urbaines.

- SLURP 2022

- ★ Info produit : <https://github.com/CNES/slurp>
- ★ Resolution : 0.5m
- ★ Fournisseur : CNES
- ★ Couverture : Marseille, Montpellier, Paris, Toulouse, Strasbourg



FIGURE 6 – Illustration de la carte d’occupation du sol à très haute résolution de la ville de Paris.

## 5.4 Socio-économiques & Démographiques

Les données de population brutes proviennent de la base de données Filosofi 2019 [11]. Ces données incluent des informations détaillées sur la répartition de la population, la structure par âge, ainsi que d'autres facteurs socio-économiques et géographiques.

- Info produit : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/7655515>
- Resolution : 200m
- Fournisseur : INSEE

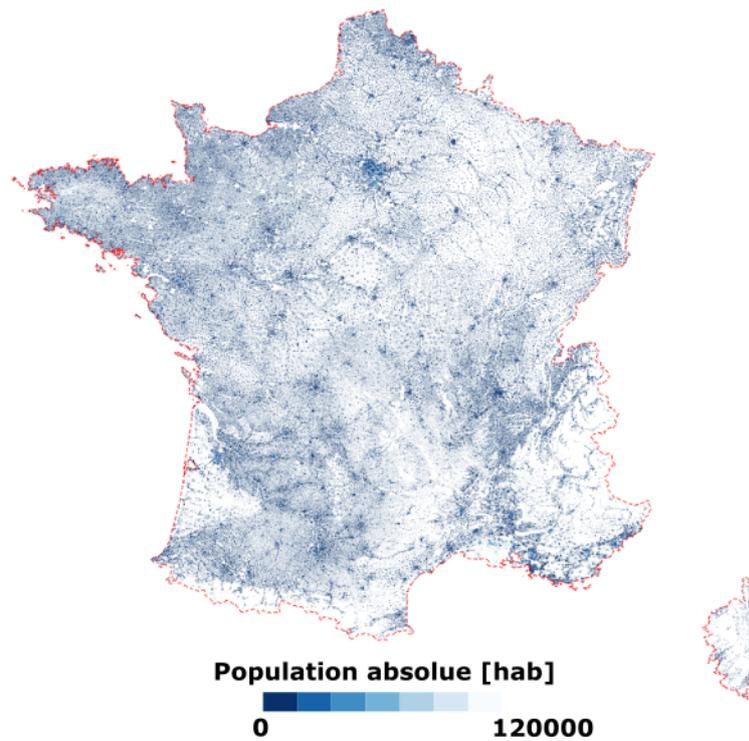


FIGURE 7 – Illustration de la couche de données de population absolue par Grand-IRIS.

## 5.5 Caractéristiques des bâtiments

Les caractéristiques des bâtiments sont extraites de la Base de données nationale des bâtiments (BDNB), et incluent notamment :

1. Surface de l’empreinte
2. Hauteur
3. Indicateur DPE (Diagnostic de Performance Énergétique)

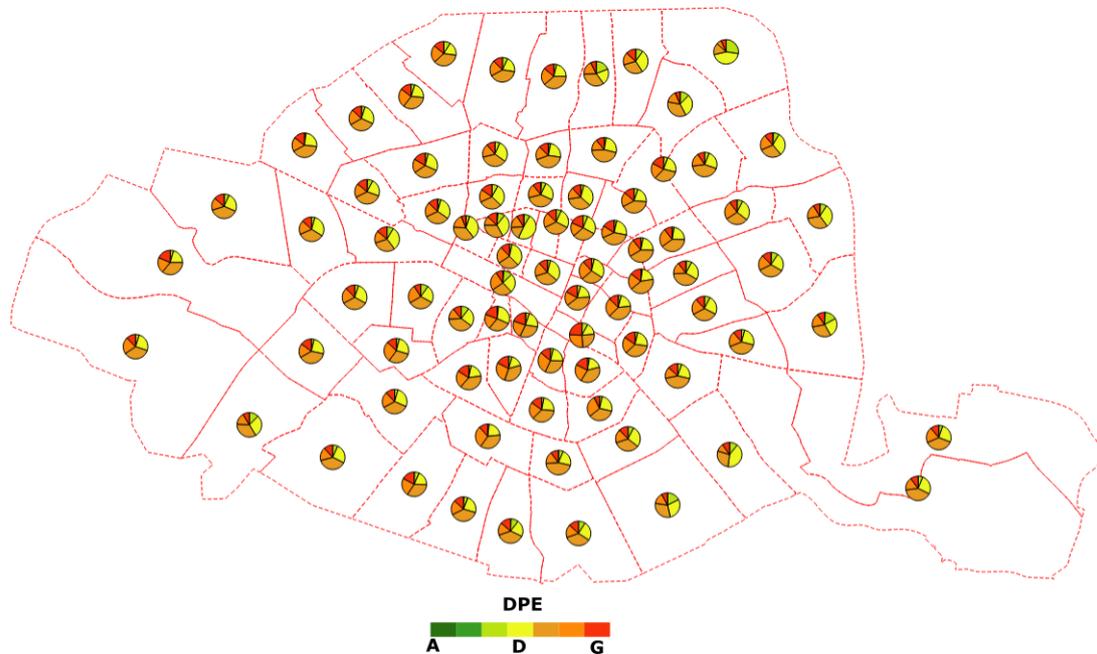


FIGURE 8 – Distribution des DPE dans le Grand-IRIS parisien.

- Info produit : <https://bdnb.io/>
- Resolution :  $\sim$  m
- Fournisseur : CSTB

## 5.6 Caractéristiques du Canyon urbain

Les caractéristiques des canyons, telles que la largeur caractéristique du canyon, son orientation et sa typologie, sont calculées à partir des données brutes des rues.

- Info produit : <https://geoservices.ign.fr/>
- Resolution :  $\sim$  m
- Fournisseur : IGN BD TOPO®

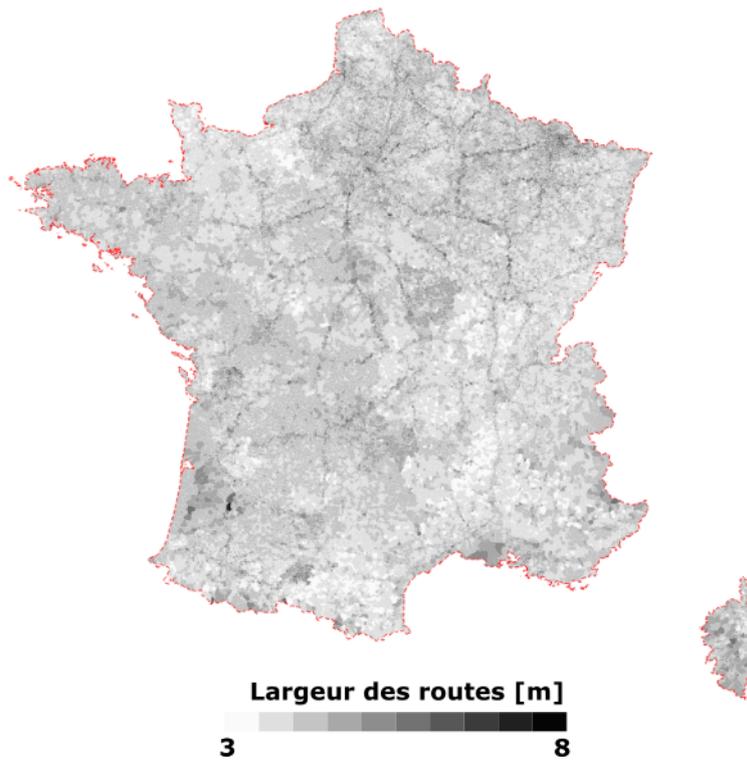


FIGURE 9 – Largeur de routes par Grand-IRIS basée sur les données brutes de l'IGN.

## 5.7 Météorologiques

Les données météorologiques correspondent aux 223 fichiers **TMY** (année météorologique typique) en format *.epw* de la dernière décennie.

- Info produit : <https://climate.onebuilding.org/>
- Resolution : deg
- Fournisseur : Climate.OneBuilding

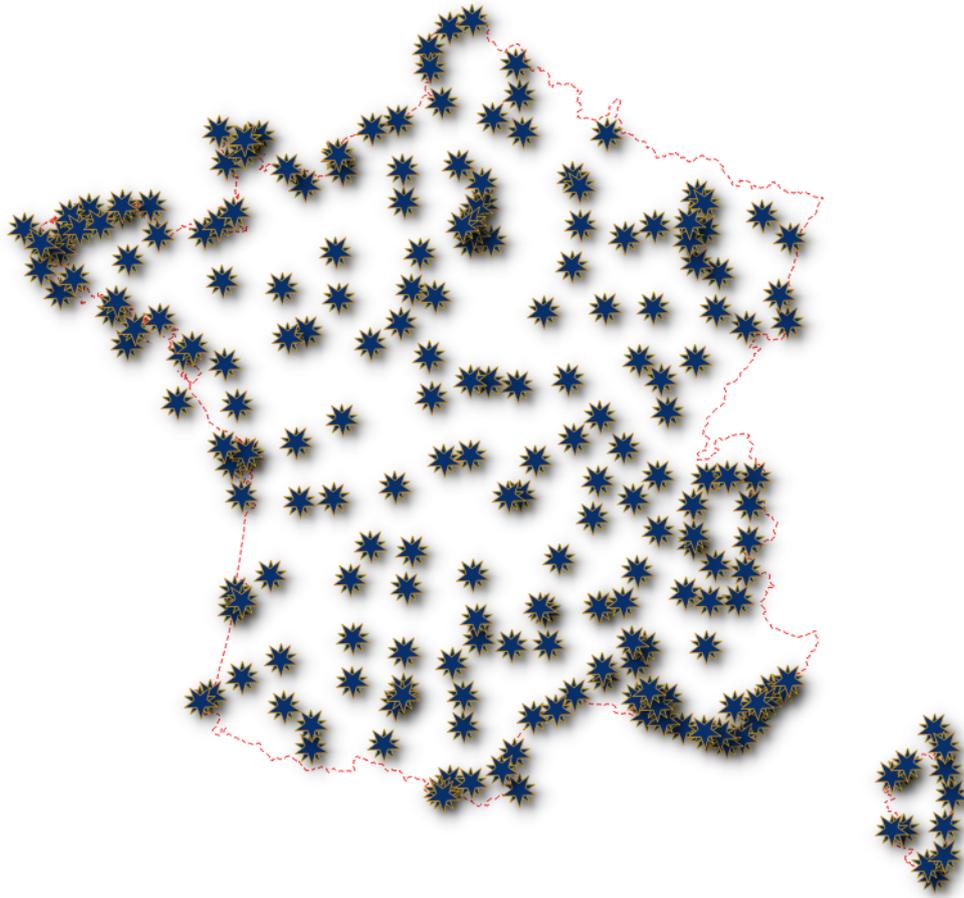


FIGURE 10 – Localisation des fichiers météorologiques utilisés.

## 6 Méthodologie

### 6.1 IUHI

Dans le cadre du projet SCO Sat4BDNB [9], [10], il a été développé un prototype de package python géospatial selon [12]. L'approche mise en œuvre s'appuie sur quatre macro-critères et onze sous-critères (Figure 11) impliquant tous les paramètres qui influencent la génération du phénomène de l'ICU, comme listés ci-dessous :

- Variables météorologiques, y compris les jours sans vent (v1), la température estivale maximale (v2), la température d'extrusion thermique estivale (v3), les jours de ciel clair (v4).
- Caractéristiques de la ville, y compris l'albédo (v5) et l'occupation du sol – Végétation (v6)
- Chaleur anthropique, y compris la densité de population (v7) et
- Caractéristiques de Canyon de la ville, notamment la hauteur des bâtiments (v8), la largeur des rues (v9), les orientations du canyon (v10), l'irrégularité de la ville (v11).

#### UHI Intensity

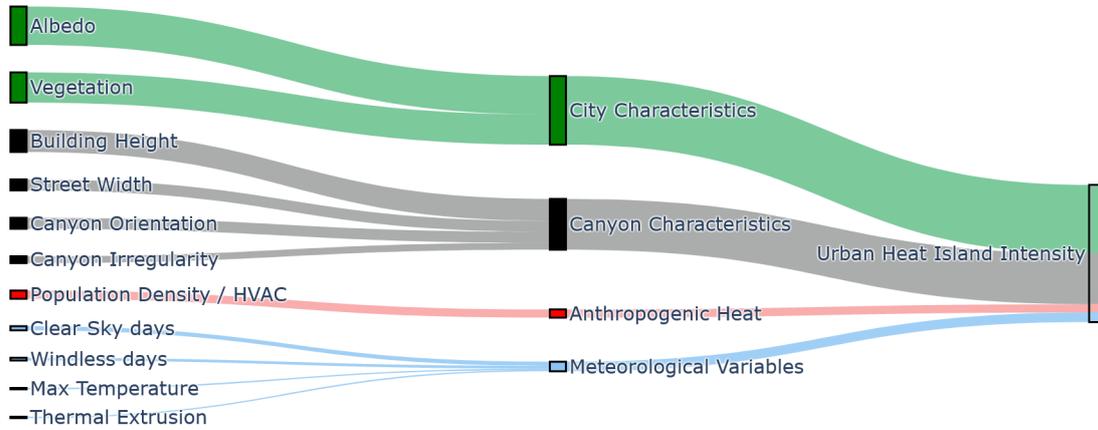


FIGURE 11 – Impact de chacun des 11 critères sur l'indicateur **IUHI**.

Les critères référencés sont calculés pour chaque unité spatiale sur la base de méthodes de géotraitement avancées, comme détaillé dans Kyriakodis et al. [13]. Chaque sous-critère est associé à un facteur de pondération ( $v_i$ ). Parallèlement, chaque sous-critère est classé en plusieurs plages d'intensité caractérisant son amplitude et il est associé à  $n$  facteurs de pondération secondaires ( $W_{ij}$ ). Le score final d'intensité des ICU est alors fourni par l'équation suivante :

$$IUHI_i = \sum_{i=1 \rightarrow 11}^{j=1 \rightarrow n} V_i W_{i,j} \quad (1)$$

où  $n$  dépend de chaque sous-critère (tend généralement vers 10). Le poids de chaque sous-critère a été estimé en utilisant le processus de hiérarchie analytique (AHP) combiné à la prise de décision multicritère (MCDM) dans un processus approfondi d'acquisition de données de mesures liées à l'ICU.

### 6.2 $\Delta UHI$

L'objectif s'est concentré sur la mise en œuvre de stratégies clés d'atténuation des îlots de chaleur urbains (ICU), principalement la revégétalisation des zones urbaines et l'augmentation de l'albédo urbain. Selon la littérature existante, ces approches offrent le plus grand potentiel d'atténuation des ICU.

#### 6.2.1 Solutions basées sur la végétation

1. **Identification des quartiers cibles :** Les quartiers urbains dont la densité de végétation est inférieure à 50% ont été identifiés afin de donner la priorité aux zones qui ont le plus besoin d'interventions de verdissement.

2. **Calcul de la surface de végétation disponible** : La surface potentielle de végétation supplémentaire a été déterminée en soustrayant la végétation existante et les zones construites de la surface totale du quartier. Cette approche permet de s'assurer que toutes les surfaces non construites et non végétalisées (y compris les routes et les espaces ouverts) sont prises en compte pour l'amélioration potentielle de la végétation.
3. **Évaluation de l'intensité de l'ICU** : Le score d'intensité de l'ICU a été recalculé sur la base du scénario de végétalisation décrit ci-dessus.
4. **Détermination de  $\Delta T$  (Delta T)** : La différence de la température de l'air ( $\Delta T$ ) a été calculée pour quantifier l'effet d'atténuation des interventions proposées sur l'intensité de l'ICU.

### 6.2.2 Solutions basées sur l'albédo

1. **Identification des quartiers cibles** : Les quartiers urbains dont la densité de végétation était inférieure à 50% ont été identifiés, ce qui a permis de sélectionner les zones où le refroidissement naturel est le plus faible.
2. **Sélection d'une valeur maximum d'albédo en toiture** : Une valeur maximum d'albédo de toiture à 0.6 a été considérée comme représentative de l'état de l'art réaliste pour les couvertures courantes (béton et les tuiles en terre cuite), qui sont répandus dans le parc immobilier national (76% couverture).
3. **Établissement d'un seuil d'albédo moyen** : Un seuil d'albédo moyen de 0.3 a été fixé pour la zone d'étude, sur la base des valeurs recommandées dans la littérature.
4. **Identification des pixels d'albédo pertinents** : Les pixels d'albédo croisant les toits des bâtiments ont été identifiés afin de repérer les surfaces pouvant faire l'objet d'ajustements de l'albédo.
5. **Ajustement des valeurs d'albédo** : L'albédo des pixels sélectionnés a été modifié pour refléter l'augmentation visée.
6. **Calcul du nouvel albédo moyen et de l'intensité de l'ICU** : L'albédo moyen et le score d'intensité de l'ICU ont été recalculés pour évaluer l'impact des modifications.
7. **Détermination de  $\Delta T$  (Delta T)** : La différence de la température de l'air ( $\Delta T$ ) a été calculée pour quantifier l'effet de refroidissement obtenu grâce à l'augmentation de l'albédo.

### 6.2.3 Solutions combinées

La procédure susmentionnée a été mise en œuvre de manière couplée.

## 6.3 $\text{€}\Delta\text{UHI}_i$

Les calculs du  $\Delta\text{UHI}_i$  fournissent la surface applicable pour chaque action, ce qui nous permet d'estimer le coût d'investissement sur la base d'un prix par mètre carré ( $\text{€}/\text{m}^2$ ).

### 6.3.1 Solutions basées sur la végétation

Pour les stratégies d'atténuation basées sur la végétation, nous supposons que la moitié de la surface disponible sera couverte d'arbres, tandis que l'autre moitié présentera une strates végétales arbustive basse ( $<1$  mètre). Pour les arbres, le coût d'investissement est généralement calculé par arbre et doit donc être converti en  $\text{€}/\text{m}^2$ . Nous supposons l'utilisation de « *Platanus orientalis* » (platanes d'Orient) avec une largeur de canopée moyenne de 5.5m, ce qui donne une surface de couverture de  $25\text{m}^2$  par arbre, comme spécifié par [14]. Pour la verdure courte, nous utilisons un coût moyen de  $95\text{€}/\text{m}^2$ , également basé sur les données de Plus Fraîche Ma Ville [15] et [5].

### 6.3.2 Solutions basées sur l'albédo

Pour les stratégies basées sur l'albédo, nous utilisons un coût moyen de  $33.9\text{€}/\text{m}^2$ , dérivé du prix des matériaux de toiture réfléchissants en béton et en tuiles d'argile, comme indiqué dans [7] (Tableau 2). Toutes les valeurs monétaires reflètent les estimations de septembre 2024.

## 6.4 $\Delta\text{UHI}_{\text{efficiency}}$

Les mesures d'atténuation produisent une valeur  $\Delta T$  (Delta T) associée à un coût. Pour classer par ordre de priorité les quartiers les plus efficaces pour les stratégies d'atténuation en milieu urbain, nous utilisons un indicateur d'efficacité défini par l'équation suivante :

$$\Delta\text{UHI}_{\text{efficiency}} = \frac{T_{\text{init}} - T_{\text{mitig}}}{\text{Coût}} \times \text{Densité de population}, \left[ \frac{^{\circ}\text{C hab}}{\text{€ km}^2} \right] \quad (2)$$

Dans l'équation : 2 les termes  $T_{\text{init}}$  et  $T_{\text{mitig}}$  expriment les températures initiale et post-atténuation, tandis que le terme €, le coût d'investissement associé. Les résultats sont échelonnés sur une plage [0, 1] basée sur la valeur maximale de chaque département, et les unités sont donc sans dimension.

## 6.5 HVSi

L'indice de vulnérabilité au stress thermique est basé sur la méthode du triangle de risque de Crichton [16] et est une fonction de trois paramètres principaux, l'**exposition**, la **vulnérabilité** et le **danger**, qui doivent coïncider spatialement pour qu'un risque existe. Cette méthode a été largement utilisée pour évaluer les indicateurs de risque environnementaux et sanitaires dans de nombreuses villes du monde [17].

Diverses études ont montré des augmentations significatives de la mortalité et de l'hospitalisation pendant les conditions de température urbaine accrue et les jours de canicule [18]. Par conséquent, il est pertinent de considérer comme un **danger** l'augmentation de la température liée à l'ICU. Dans notre cas, l'**exposition** est définie comme la population absolue, pertinente dans plusieurs études d'évaluation des risques [19], [20], car elle représente l'élément soumis à l'augmentation de la température urbaine. La **vulnérabilité** fait référence aux aspects des éléments exposés qui sont vulnérables à un danger donné. Certains groupes sont plus vulnérables au risque de chaleur, par exemple les personnes âgées et isolées [21]. Dans le même temps, la situation économique des ménages est un autre facteur influençant la vulnérabilité, compte tenu de diverses études sur la pauvreté énergétique [22]. Enfin, la performance énergétique du bâtiment, faute de mieux à date, estimée par l'indicateur DPE dans la BDNB est un indicateur de vulnérabilité majeur [23], [24] puisqu'il s'agit d'une métrique de l'exposition du bâtiment aux conditions extérieures.

Le tableau 1 présente les variables considérées et leur distribution, pour les 1954<sup>3</sup> Grand-IRIS considérés. Les variables correspondent à :

- Pourcentage de personnes âgées (>65 ans).
- Pourcentage de ménages considérés comme pauvres (revenu annuel inférieur au seuil de pauvreté de l'UE).
- Pourcentage de ménages composés d'une seule personne.
- Pourcentage de bâtiments avec un score DPE égal à 'E', 'F', 'G'.
- Intensité de l'îlot de chaleur urbain comprenant 11 paramètres tels que définis dans la Section 2.1.

TABLE 1 – Sources de données et analyse PCA

| <i>Sources et distribution des données</i> |               |       |       |        | <i>Principal Component Analysis</i> |                    |
|--|---------------|-------|-------|--------|-------------------------------------|--------------------|
| Variable                                   | Mean (SD)     | Min   | Max   | Median | Proportion Variance                 | Mean (range)       |
| Personnes âgées                            | 17.78 (5.36)  | 5.34  | 48.41 | 17.13  | 0.30                                | 0.00 (-4.04, 4.16) |
| Ménages pauvres                            | 18.94 (9.13)  | 1.98  | 59.97 | 17.21  | 0.26                                | 0.00 (-3.41, 3.77) |
| Personnes seules                           | 41.16 (10.11) | 10.96 | 67.97 | 40.96  | 0.22                                | 0.00 (-2.83, 3.38) |
| Faible énergie                             | 43.03 (16.45) | 0.00  | 92.84 | 43.18  | 0.13                                | 0.00 (-2.53, 3.16) |
| IUHI                                       | 7.03 (0.97)   | 4.49  | 10.11 | 7.00   | 0.09                                | 0.00 (-2.36, 2.65) |

Les scores des variables composantes ont été normalisés (moyenne de 0 et écart-type de 1) et ont été classés en six groupes sur la base de la moyenne et de l'écart-type des scores. Chaque catégorie s'est vu attribuer une note de 1 à 6, indiquant respectivement un risque de vulnérabilité faible et élevé. Le HVSi a ensuite été calculée en additionnant les scores des différentes composantes pour chaque Grand-IRIS (n=1944), le score final est donc compris entre 5 et 30 [17].

3. le nombre total est réduit d'une unité, en raison de l'absence de valeurs d'une variable de vulnérabilité

## 7 Performance

Bien que l'outil développé ait été calibré et validé pour 41 quartiers à travers l'Europe, il a démontré une précision moyenne d'environ 1°C, avec une erreur absolue moyenne (MAE) de 0.9°C et une erreur relative moyenne (MRE) inférieure à 15 (MRE = 14.5%) [12]. Afin d'évaluer plus rigoureusement les performances du modèle, ses résultats ont été comparés à ceux d'un modèle de microclimat largement reconnu, l'Urban Weather Generator (UWG) [25]. Dans le cadre du projet Sat4BDNB [9], [10], un module spécifique a été développé [26] pour convertir les données issues du projet dans un format compatible avec les fichiers d'entrée de l'UWG, permettant ainsi la réalisation de simulations à haute résolution pour la ville de Paris. Ces simulations ont couvert près de 80 zones Grand-IRIS, soit 2 639 mailles rectangulaires à une résolution spatiale de 250 × 250 mètres, sur l'ensemble de la période estivale. Les données simulées ont ensuite été post-traitées pour estimer l'intensité maximale absolue de l'îlot de chaleur urbain (ICU) et ont été moyennées en fonction des intersections spatiales entre les unités d'analyse de l'ICU et les mailles rectangulaires produites par l'UWG.

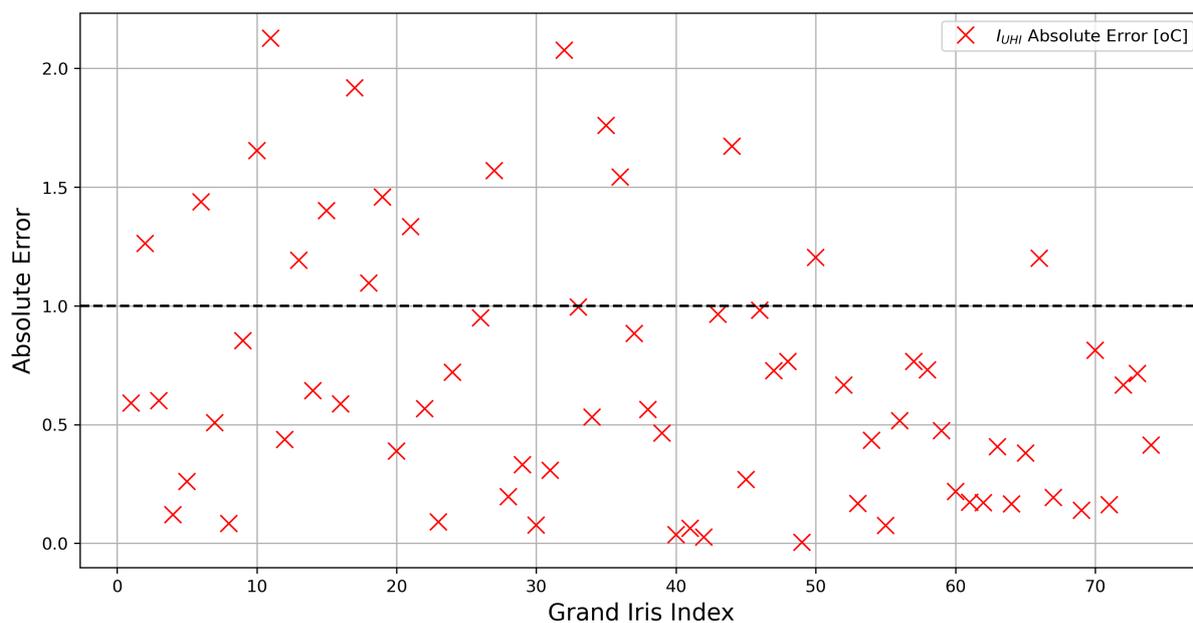


FIGURE 12 – Comparaison d'erreur absolue entre l'indicateur **IUHI** et les résultats de simulation basés sur UWG.

Comme l'illustre la Figure 12, 80% des quartiers simulés présentaient une erreur absolue inférieure à 1°C. Les performances globales du modèle ont atteint une erreur absolue moyenne (MAE) de 0.7°C, une erreur quadratique moyenne (RMSE) de 0.89°C, et une erreur relative moyenne (MRE) de 8.9%, comme le résume le Tableau 2.

| Error Type                     | Value |
|--------------------------------|-------|
| Mean Absolute Error (MAE)      | 0.70  |
| Mean Squared Error (MSE)       | 0.79  |
| Root Mean Squared Error (RMSE) | 0.89  |
| Mean Relative Error (MRE)      | 8.93% |

TABLE 2 – Tableau d'erreur comparatif des résultats des simulations IUHI et UWG.

## 8 Métadonnées

### 8.1 Description des tables

Toutes les données sont fournies dans un seul fichier. Le tableau est structuré comme suit :

| Colonne        | Description   | Unités        | Type         |
|----------------|---|---------------|--------------|
| fid            | Identifiant unique  | -             | Integer64    |
| code_giris     | L'identifiant du code Grand-IRIS                            | -             | String       |
| can_orient     | Orientation dominante de la route                           | -             | String       |
| city_irreg     | Typologie des routes  | -             | String       |
| wdh_str        | Largeur moyenne des routes                                  | m             | Real         |
| alb            | Albédo moyen  | -             | Real         |
| pop_den        | Densité de population                                       | hab/km2       | Real         |
| veg_den        | Densité de la végétation                                    | -             | Real         |
| bld_hgt        | Hauteur moyenne des bâtiments                               | m             | Real         |
| no_wind_d      | Pourcentage de jours de faible vitesse du vent              | -             | Real         |
| max_temp       | Température maximale moyenne en été                         | °C            | Real         |
| max_dtemp      | Différence de température moyenne quotidienne en été        | °C            | Real         |
| no_cloud       | Pourcentage de jours de ciel clair                          | -             | Real         |
| iuhi           | Intensité maximale absolue de l'îlot de chaleur urbain      | °C            | Real         |
| veg_dt         | Score d'atténuation basé sur la végétation                  | °C            | Real         |
| veg_cost       | Coût d'investissement basé sur la végétation                | Million Euros | Real         |
| veg_eff        | Score d'efficacité d'atténuation basé sur la végétation     | -             | Real         |
| alb_dt         | Score d'atténuation basé sur l'albédo                       | °C            | Real         |
| alb_cost       | Coût d'investissement basé sur l'albédo                     | Million Euros | Real         |
| alb_eff        | Score d'efficacité d'atténuation basé sur l'albédo          | -             | Real         |
| cmb_dt         | Score d'atténuation combiné                                 | °C            | Real         |
| cmb_cost       | Coût d'investissement combiné                               | Million Euros | Real         |
| cmb_eff        | Score d'efficacité d'atténuation combiné                    | -             | Real         |
| age_perc       | Pourcentage de la population âgée (> 65 ans)                | %             | Real         |
| pov_perc       | Pourcentage de ménages pauvres                              | %             | Real         |
| alone_perc     | Pourcentage de ménages composés d'une seule personne        | %             | Real         |
| dpe_perc       | Pourcentage de bâtiments ayant un mauvais score énergétique | %             | Real         |
| hvi            | Indice de vulnérabilité normalisé                           | -             | Real         |
| geometry_giris | WKT géométrie de l'unité spatiale                           | -             | MultiPolygon |

TABLE 3 – Description des attributs des données.

Les indicateurs ICU sont représentés par :

- $IUHI_i \equiv iuhi$
- $\Delta UHI_i \equiv \text{*stratégie*_dt}$
- $\text{€}\Delta UHI_i \equiv \text{*stratégie*_cost}$
- $\Delta UHI_{i_{\text{efficiency}}} \equiv \text{*stratégie*_eff}$

- HVS<sub>i</sub> ≡ hvi

## 8.2 Emprise

Chaque couche est filtrée spatialement sur l'emprise de son Unité Spatial (Grand-IRIS) d'appartenance.

## 8.3 Période

Le calcul est basé sur la période estivale : de **juin** à **août**.

## 8.4 Système de projection

Le système de référence de coordonnées (CRS) correspond à **EPSG :2154 - RGF93 v1 / Lambert-93**.

## 8.5 Format

Deux types de formats de données sont disponibles :

1. Géopackage (.gpkg)
2. Comma-separated values(.csv)

Un fichier *.qgs* est également fourni avec le géopackage, il s'agit d'un projet QGIS pré-configuré adapté aux données.

## 8.6 Représentation cartographique

Pour visualiser les résultats dans *QGIS*, il est recommandé de télécharger la carte des couleurs '*Roma*' depuis <https://doi.org/10.5281/zenodo.8409685> [27], selon la version de QGIS. Un style QGIS spécifique est attribué à chaque indicateur.

En fonction de la version de QGIS (v3.34.12 est recommandée) utilisée, après avoir extrait le dossier de données, l'utilisateur peut charger le fichier de projet '.qgs' ou le fichier GeoPackage (.gpkg). Le fichier GeoPackage doit être situé dans le même répertoire de travail que les fichiers de style QGIS.

## 8.7 Couverture

La couverture des données correspond aux unités spatiales (Grand-IRIS) dans lesquelles la densité de population est supérieure à 1000 hab/km<sup>2</sup> et la couverture végétale est inférieure à 45%. Le nombre total de Grand-IRIS est de 37012, dont 1955 répondent aux critères de sélection. Le HVS<sub>i</sub> comprend 1954 Grand-IRIS, car l'un d'entre eux est exclu en raison de valeurs nulles dans l'un des facteurs de vulnérabilité. Le nom de la commune et le code INSEE sont indiqués ci-dessous.

### 8.7.1 Libelle Commune

Abbeville, Ablon-sur-Seine, Agen, Aiguilhe, Aix-en-Provence, Aix-les-Bains, Albi, Alençon, Alfortville, Ambérieu-en-Bugey, Ambilly, Amiens, Amilly, Angers, Angoulême, Annecy, Annemasse, Annonay, Antibes, Antony, Anzin, Arcachon, Arcueil, Argenteuil, Armentières, Arnouville, Arpajon, Arras, Artigues-près-Bordeaux, Asnières-sur-Seine, Athis-Mons, Aubagne, Aubervilliers, Aubièze, Aucamville, Auch, Aulnay-sous-Bois, Auray, Avon, Avranches, Bagneux, Bagnolet, Bailleul, Bayeux, Bayonne, Beauchamp, Beaulieu-sur-Mer, Beaumont, Beauvais, Bègles, Belfort, Besançon, Béthune, Béziers, Bezons, Biarritz, Bihorel, Billère, Billy-Montigny, Bischheim, Blagnac, Blois, Bobigny, Bois-Colombes, Bollène, Bondoufle, Bondy, Bonneuil-sur-Marne, Bordeaux, Boulogne-Billancourt, Boulogne-sur-Mer, Bourg-en-Bresse, Bourges, Bourg-la-Reine, Bourgoin-Jallieu, Brest, Brignoles, Brive-la-Gaillarde, Bron, Brunoy, Bry-sur-Marne, Bully-les-Mines, Cachan, Caen, Cahors, Calais, Caluire-et-Cuire, Canteleu, Carbon-Blanc, Carcassonne, Carrières-sur-Seine, Castelnau-le-Lez, Castres, Caudebec-lès-Elbeuf, Cavaillon, Cenon, Châlons-en-Champagne, Chalon-sur-Saône, Chamalières, Chambéry, Champagne-au-Mont-d'Or, Champigny-sur-Marne, Champs-sur-Marne, Chanteloup-les-Vignes, Chantilly, Charenton-le-Pont, Charleville-Mézières, Chartres, Château-Renault, Châteauroux, Château-Thierry, Châtellerauld, Châtillon, Chatou, Chaumont, Chelles, Chennevières-sur-Marne, Cherbourg-en-Cotentin, Chevilly-Larue, Chilly-Mazarin, Choisy-le-Roi, Cholet, Clamart, Clermont, Clermont-Ferrand, Clichy, Clichy-sous-Bois, Cluses, Cognac, Colmar, Colombes, Colomiers, Combs-la-Ville, Compiègne, Conflans-Sainte-Honorine, Corbeil-Essonnes,

Cormeilles-en-Parisis, Cormelles-le-Royal, Cormontreuil, Coudekerque-Branche, Couëron, Courbevoie, Courchelettes, Craponne, Creil, Crépy-en-Valois, Créteil, Croissy-sur-Seine, Croix, Crosne, Cugnaux, Dammarie-les-Lys, Deuil-la-Barre, Déville-lès-Rouen, Dieppe, Dijon, Dinan, Dinard, Donville-les-Bains, Douai, Drancy, Dreux, Dugny, Dunkerque, Eaubonne, Échirolles, Écully, Éleu-dit-Leauwette, Enghien-les-Bains, Épernay, Épinay-sur-Orge, Épinay-sur-Seine, Éragny, Ermont, Étel, Évreux, Évry-Courcouronnes, Eybens, Eysines, Faches-Thumesnil, Firminy, Fleury-les-Aubrais, Floirac, Fontaine-lès-Dijon, Fontenay-aux-Roses, Fontenay-sous-Bois, Fougères, Francheville, Franconville, Fresnes, Frontignan, Gagny, Gaillard, Garches, Garges-lès-Gonesse, Gauchy, Gennevilliers, Gentilly, Gien, Givors, Gonesse, Gournay-sur-Marne, Gouvieux, Grand-Couronne, Grande-Synthe, Grand-Fort-Philippe, Granville, Grenay, Grenoble, Grigny, Groslay, Guilvinec, Guingamp, Hagondange, Haguenau, Halluin, Haubourdin, Heillecourt, Hem, Hendaye, Herblay-sur-Seine, Hérouville-Saint-Clair, Hesdin, Hœnheim, Houilles, Huningue, Igny, Illkirch-Graffenstaden, Illzach, Issy-les-Moulineaux, Ivry-sur-Seine, Jacou, Jarville-la-Malgrange, Joinville-le-Pont, Joué-lès-Tours, Juvisy-sur-Orge, Kingersheim, La Chapelle-Saint-Luc, La Courneuve, La Garenne-Colombes, Lagny-sur-Marne, La Madeleine, Lambersart, La Montagne, Lannoy, Laon, L'Arbresle, La Roche-Bernard, La Rochelle, La Roche-sur-Yon, La Seyne-sur-Mer, La Verrière, La Ville-du-Bois, Le Blanc-Mesnil, Le Bourget, Le Bouscat, Le Cannet, Le Chesnay-Rocquencourt, Le Crès, Le Grand-Quevilly, Le Havre, Le Kremlin-Bicêtre, Le Mans, Le Mée-sur-Seine, Lens, Le Pecq, Le Perreux-sur-Marne, Le Petit-Quevilly, Le Plessis-Bouchard, Le Plessis-Robinson, Le Plessis-Trévisé, Le Pont-de-Claix, Le Portel, Le Pouliguen, Le Pré-Saint-Gervais, Le Raincy, Le Relecq-Kerhuon, Les Lilas, Les Mureaux, Les Noës-près-Troyes, Les Pavillons-sous-Bois, Les Sables-d'Olonne, Les Ulis, Levallois-Perret, Le Vésinet, Lezennes, L'Hay-les-Roses, L'Hôpital, Libercourt, Liévin, Lille, Limeil-Brévannes, Limoges, Lingolsheim, Lisieux, Livry-Gargan, Lognes, Loison-sous-Lens, Longjumeau, Longueau, Longwy, Lons, Lons-le-Saunier, Loos, Lorette, Lorient, Lormont, Lucé, Luisant, Lyon 1er Arrondissement, Lyon 2e Arrondissement, Lyon 3e Arrondissement, Lyon 4e Arrondissement, Lyon 5e Arrondissement, Lyon 6e Arrondissement, Lyon 7e Arrondissement, Lyon 8e Arrondissement, Lyon 9e Arrondissement, Lys-lez-Lannoy, Magenta, Mainvilliers, Maisons-Alfort, Malakoff, Mantes-la-Jolie, Mantes-la-Ville, Marcq-en-Barœul, Margency, Margny-lès-Compiègne, Marquette-lez-Lille, Marseille 10e Arrondissement, Marseille 11e Arrondissement, Marseille 12e Arrondissement, Marseille 13e Arrondissement, Marseille 14e Arrondissement, Marseille 15e Arrondissement, Marseille 16e Arrondissement, Marseille 1er Arrondissement, Marseille 2e Arrondissement, Marseille 3e Arrondissement, Marseille 4e Arrondissement, Marseille 5e Arrondissement, Marseille 6e Arrondissement, Marseille 7e Arrondissement, Marseille 8e Arrondissement, Marseille 9e Arrondissement, Massy, Maubeuge, Meaux, Melun, Menton, Mérignac, Metz, Meudon, Meylan, Meyzieu, Mitry-Mory, Mondelange, Mondeville, Mons-en-Barœul, Montaigu-Vendée, Montargis, Montataire, Montauban, Montbrison, Montélimar, Montereau-Fault-Yonne, Montesson, Montfermeil, Montigny-en-Gohelle, Montigny-lès-Cormeilles, Montigny-lès-Metz, Montlhéry, Montluçon, Montmagny, Montmorency, Montpellier, Montreuil, Montrouge, Mont-Saint-Aignan, Morangis, Morsang-sur-Orge, Moulins, Mouvaux, Mulhouse, Nancy, Nanterre, Nantes, Narbonne, Nemours, Neuilly-Plaisance, Neuilly-sur-Marne, Neuilly-sur-Seine, Neuves-Maisons, Neuville-en-Ferrain, Nevers, Nice, Nilvange, Nîmes, Niort, Nogent-sur-Marne, Nogent-sur-Oise, Noisy-le-Grand, Noisy-le-Sec, Noyelles-sous-Lens, Noyon, Oignies, Olivet, Onet-le-Château, Orange, Orléans, Orly, Ormesson-sur-Marne, Oullins, Oyonnax, Ozoir-la-Ferrière, Palaiseau, Pantin, Paray-Vieille-Poste, Paris 10e Arrondissement, Paris 11e Arrondissement, Paris 12e Arrondissement, Paris 13e Arrondissement, Paris 14e Arrondissement, Paris 15e Arrondissement, Paris 16e Arrondissement, Paris 17e Arrondissement, Paris 18e Arrondissement, Paris 19e Arrondissement, Paris 1er Arrondissement, Paris 20e Arrondissement, Paris 2e Arrondissement, Paris 3e Arrondissement, Paris 4e Arrondissement, Paris 5e Arrondissement, Paris 6e Arrondissement, Paris 7e Arrondissement, Paris 8e Arrondissement, Paris 9e Arrondissement, Pau, Pérenchies, Périgueux, Pérols, Péronne, Perpignan, Pertuis, Petite-Forêt, Pierre-Bénite, Pierrefitte-sur-Seine, Poitiers, Pontault-Combault, Pontoise, Pont-Sainte-Maxence, Port-Louis, Puteaux, Reims, Rennes, Rezé, Rillieux-la-Pape, Ris-Orangis, Rive-de-Gier, Roanne, Rochefort, Rodez, Roissy-en-Brie, Romainville, Romans-sur-Isère, Ronchin, Roncq, Rosny-sous-Bois, Roubaix, Rouen, Rueil-Malmaison, Rungis, Saint-Alban, Saint-André-les-Vergers, Saint-André-lez-Lille, Saint-Aubin-lès-Elbeuf, Saint-Brieuc, Saint-Chamond, Saint-Denis, Sainte-Foy-la-Grande, Sainte-Foy-lès-Lyon, Sainte-Geneviève-des-Bois, Saint-Égrève, Saint-Étienne, Saint-Étienne-du-Rouvray, Saint-Fons, Saint-Genis-Laval, Saint-Germain-lès-Arpajon, Saint-Gratien, Saint-Herblain, Saint-Jacques-de-la-Lande, Saint-Jean-de-Braye, Saint-Jean-de-la-Ruelle, Saint-Jean-le-Blanc, Saint-Laurent-du-Var, Saint-Maixent-l'École, Saint-Malo, Saint-Mandé, Saint-Martin-d'Hères, Saint-Maur-des-Fossés, Saint-Maurice, Saint-Max, Saint-Michel, Saint-Michel-sur-Orge, Saint-Omer, Saint-Ouen-l'Aumône, Saint-Ouen-sur-Seine, Saint-Pierre-des-Corps, Saint-Priest, Saint-Priest-en-Jarez, Saint-Quentin, Saint-Sébastien-sur-Loire, Sallaumines, Sannois, Sarcelles, Sartrouville, Savigny-le-Temple, Savigny-sur-Orge, Sceaux, Schiltigheim, Se-

dan, Senlis, Sens, Serémange-Erzange, Sète, Sevran, Sochaux, Soissons, Soisy-sous-Montmorency, Sorgues, Sotteville-lès-Rouen, Stains, Stiring-Wendel, Strasbourg, Suresnes, Talange, Talence, Tarbes, Tassin-la-Demi-Lune, Terville, Thiais, Thourotte, Tinquieux, Torcy, Toulon, Toulouse, Tourcoing, Tours, Tréguier, Tremblay-en-France, Troyes, Valence, Valenciennes, Valenton, Valras-Plage, Valsérhône, Vandœuvre-lès-Nancy, Vannes, Vanves, Vaulx-en-Velin, Vauréal, Vénissieux, Versailles, Vesoul, Vichy, Vienne, Vierzon, Villefranche-sur-Saône, Villejuif, Ville-la-Grand, Villemoisson-sur-Orge, Villemomble, Villenave-d'Ornon, Villeneuve-d'Ascq, Villeneuve-la-Garenne, Villeneuve-le-Roi, Villeneuve-Saint-Georges, Villeneuve-sur-Lot, Villeparisis, Villepinte, Villers-Saint-Paul, Villeteuse, Villeurbanne, Villiers-sur-Marne, Villiers-sur-Orge, Vincennes, Viry-Châtillon, Vitry-le-François, Vitry-sur-Seine, Voisins-le-Bretonneux, Wasquehal, Wattignies, Wattrelos, Yvetot

### 8.7.2 Code Grand-IRIS

0100401, 0103302, 0105301, 0105302, 0105303, 0105305, 0105306, 0128301, 0216801, 0216805, 0234002, 0240801, 0240803, 0240804, 0240806, 0269101, 0269102, 0269105, 0272202, 0272203, 0272205, 0272206, 0272207, 0272209, 0318501, 0319001, 0331001, 0600401, 0601100, 0603001, 0608301, 0608801, 0608802, 0608803, 0608805, 0608806, 0608807, 0608810, 0608811, 0608812, 0608813, 0608814, 0608815, 0608816, 0608817, 0608818, 0608819, 0608821, 0608822, 0608823, 0608824, 0608825, 0608826, 0608827, 0608828, 0608829, 0608830, 0608831, 0612301, 0701001, 0810503, 0810504, 0810505, 0810507, 0810508, 0810509, 0840902, 0840903, 1008102, 1026500, 1033302, 1038701, 1038702, 1038703, 1038704, 1038705, 1038706, 1038707, 1038708, 1038709, 1038710, 1038711, 1106901, 1106902, 1106903, 1106904, 1106909, 1126201, 1126203, 1126204, 1126205, 1217601, 1220201, 1220202, 1220204, 1300101, 1300102, 1300103, 1300106, 1300501, 1300502, 1300503, 1300505, 1320101, 1320102, 1320103, 1320104, 1320105, 1320106, 1320202, 1320203, 1320204, 1320301, 1320302, 1320303, 1320304, 1320401, 1320402, 1320403, 1320404, 1320501, 1320502, 1320503, 1320504, 1320601, 1320602, 1320603, 1320604, 1320605, 1320606, 1320701, 1320702, 1320704, 1320706, 1320707, 1320801, 1320804, 1320805, 1320807, 1320808, 1320809, 1320810, 1320904, 1320908, 1321001, 1321002, 1321003, 1321006, 1321106, 1321201, 1321202, 1321203, 1321204, 1321205, 1321206, 1321301, 1321302, 1321303, 1321306, 1321308, 1321309, 1321310, 1321311, 1321401, 1321402, 1321403, 1321405, 1321503, 1321504, 1321505, 1321506, 1321509, 1321603, 1321604, 1404701, 1404702, 1404703, 1411801, 1411802, 1411803, 1411805, 1411806, 1411807, 1411808, 1411809, 1411811, 1411812, 1411813, 1411814, 1411815, 1411816, 1411817, 1411818, 1411819, 1411820, 1418101, 1432703, 1432704, 1432705, 1432706, 1436601, 1436603, 1436607, 1443701, 1601501, 1601502, 1601503, 1601504, 1601505, 1610202, 1610203, 1634100, 1729901, 1729902, 1730001, 1730003, 1730005, 1730006, 1730007, 1730008, 1730009, 1730010, 1803301, 1803302, 1803303, 1803304, 1803307, 1803308, 1803309, 1803310, 1803311, 1827901, 1827902, 1827908, 1827909, 1827910, 1903101, 1903102, 1903104, 2123101, 2123102, 2123103, 2123104, 2123105, 2123108, 2123109, 2123110, 2123112, 2123113, 2123114, 2123115, 2123116, 2123117, 2123118, 2123120, 2127801, 2205001, 2207001, 2227801, 2236200, 2432201, 2505604, 2505605, 2505607, 2505608, 2505610, 2505612, 2554701, 2619805, 2628101, 2628104, 2628105, 2636201, 2636202, 2636203, 2636204, 2722901, 2722903, 2722904, 2722905, 2722906, 2722907, 2808501, 2808502, 2808503, 2808505, 2808506, 2808507, 2813402, 2813403, 2813404, 2813405, 2821801, 2821802, 2821803, 2821804, 2822001, 2822901, 2822902, 2901901, 2907200, 2923501, 3018901, 3018902, 3018903, 3018904, 3018905, 3018906, 3018909, 3018914, 3018916, 3102201, 3106901, 3111601, 3114901, 3114902, 3114903, 3114904, 3114905, 3114908, 3115701, 3146701, 3155501, 3155502, 3155503, 3155504, 3155506, 3155508, 3155509, 3155510, 3155511, 3155512, 3155513, 3155515, 3155516, 3155518, 3155519, 3155520, 3155521, 3155522, 3155523, 3155524, 3155525, 3155526, 3155527, 3155528, 3155529, 3155530, 3155531, 3155532, 3155533, 3155534, 3155535, 3155537, 3155538, 3155539, 3155540, 3155542, 3155544, 3155551, 3155552, 3155553, 3155554, 3155557, 3155560, 3201301, 3201303, 3300901, 3301301, 3303901, 3306302, 3306303, 3306304, 3306305, 3306306, 3306307, 3306308, 3306309, 3306310, 3306311, 3306312, 3306313, 3306901, 3309601, 3311901, 3316201, 3316701, 3324901, 3328101, 3328102, 3328103, 3328104, 3328105, 3328106, 3328107, 3328108, 3328109, 3328110, 3328111, 3328112, 3340200, 3352201, 3355001, 3403201, 3403202, 3403205, 3403206, 3403208, 3405701, 3409001, 3410801, 3412001, 3417201, 3417204, 3417205, 3417206, 3417207, 3417208, 3417210, 3417211, 3417212, 3417213, 3417214, 3417215, 3417216, 3417217, 3417218, 3417220, 3417221, 3417223, 3417224, 3417225, 3417226, 3417227, 3417228, 3417229, 3417230, 3419801, 3430101, 3430102, 3430104, 3430106, 3430108, 3430109, 3430110, 3430112, 3432400, 3509301, 3511501, 3523801, 3523802, 3523803, 3523804, 3523806, 3523807, 3523808, 3523811, 3523812, 3528101, 3528801, 3528802, 3604401, 3604402, 3604404, 3604405, 3604408, 3604410, 3604412, 3706300, 3712201, 3712204, 3712206, 3712207, 3712208, 3723301, 3726101, 3726102, 3726105, 3726106, 3726107, 3726108, 3726109, 3726110, 3726111, 3726112, 3726113, 3726114, 3726117, 3726118, 3805301, 3815101, 3815102, 3815103, 3815801, 3818501,

3818502, 3818503, 3818504, 3818505, 3818506, 3822902, 3831701, 3838201, 3842101, 3842102, 3842103, 3842104, 3842106, 3854401, 3930001, 4101801, 4101802, 4101803, 4101804, 4101805, 4101806, 4101809, 4101811, 4209501, 4209503, 4212300, 4214701, 4214703, 4218601, 4218701, 4218702, 4218704, 4218706, 4218707, 4218708, 4218709, 4218710, 4220701, 4220703, 4221801, 4221802, 4221803, 4221804, 4221805, 4221806, 4221808, 4221810, 4221811, 4221812, 4221813, 4221814, 4221815, 4221816, 4221818, 4227501, 4300200, 4404701, 4410101, 4410901, 4410902, 4410903, 4410904, 4410905, 4410906, 4410907, 4410908, 4410910, 4410911, 4413501, 4414302, 4414303, 4414304, 4414305, 4414306, 4414307, 4416201, 4416202, 4416203, 4416204, 4416205, 4416206, 4419001, 4500402, 4514702, 4514703, 4514704, 4515501, 4520801, 4523202, 4523401, 4523402, 4523403, 4523404, 4523405, 4523406, 4523407, 4523408, 4523409, 4523410, 4523411, 4523412, 4523413, 4523414, 4523415, 4523416, 4523417, 4523418, 4523419, 4523420, 4528401, 4528402, 4528501, 4528601, 4604201, 4604202, 4700101, 4732301, 4900701, 4900702, 4900703, 4900704, 4900706, 4900708, 4900709, 4900710, 4900711, 4909901, 4909904, 4909906, 4909908, 4909910, 5002501, 5012901, 5012902, 5012904, 5012905, 5012907, 5012908, 5012910, 5012914, 5012915, 5016500, 5021801, 5110802, 5110803, 5110804, 5110805, 5110806, 5117201, 5123001, 5123003, 5123004, 5145401, 5145402, 5145403, 5145404, 5145405, 5145406, 5145407, 5145408, 5145410, 5145411, 5145412, 5145413, 5145414, 5145415, 5145416, 5145417, 5145418, 5145420, 5145421, 5145422, 5145423, 5145424, 5145425, 5145428, 5145429, 5145430, 5145431, 5145432, 5145433, 5145434, 5145435, 5145436, 5145438, 5145439, 5145440, 5145441, 5145443, 5145445, 5145446, 5145447, 5145448, 5157301, 5157302, 5164902, 5164903, 5166300, 5212102, 5425701, 5427401, 5432301, 5439502, 5439503, 5439504, 5439505, 5439506, 5439507, 5439508, 5439509, 5439510, 5439511, 5439512, 5439700, 5448201, 5454701, 5600701, 5605500, 5612101, 5612103, 5612104, 5612105, 5612106, 5612107, 5612109, 5618100, 5619500, 5626001, 5728301, 5733601, 5746301, 5746302, 5746304, 5746307, 5746308, 5746309, 5746310, 5747401, 5748001, 5750800, 5764700, 5766001, 5766301, 5766601, 5819401, 5900902, 5900905, 5900906, 5900907, 5901401, 5901702, 5901703, 5901704, 5904301, 5904302, 5904304, 5915501, 5915502, 5915504, 5915600, 5916301, 5916302, 5917801, 5918302, 5918303, 5918304, 5918305, 5918306, 5918307, 5918308, 5918309, 5918310, 5918311, 5918312, 5918315, 5918316, 5918317, 5918318, 5918319, 5918320, 5922001, 5922002, 5927102, 5927103, 5927104, 5927105, 5927201, 5927902, 5928601, 5929901, 5929903, 5932802, 5932803, 5932804, 5932805, 5933200, 5934600, 5935001, 5935002, 5935003, 5935004, 5935005, 5935006, 5935007, 5935008, 5935009, 5935010, 5935024, 5935025, 5935026, 5935027, 5935028, 5935029, 5935030, 5936001, 5936002, 5936701, 5936801, 5936802, 5936803, 5936804, 5937802, 5937803, 5937804, 5937805, 5937806, 5937807, 5938601, 5939203, 5939204, 5941001, 5941002, 5941003, 5941004, 5942101, 5942601, 5945701, 5945901, 5950701, 5950702, 5950703, 5950801, 5951201, 5951202, 5951203, 5951204, 5951205, 5951206, 5951207, 5951208, 5951209, 5951210, 5951211, 5951212, 5951213, 5952701, 5959901, 5959902, 5959903, 5959904, 5959905, 5959906, 5959907, 5959908, 5959909, 5959910, 5959911, 5959912, 5959913, 5959914, 5959915, 5960601, 5960602, 5960603, 5960604, 5964601, 5964602, 5964603, 5964802, 5965001, 5965002, 5965003, 5965004, 5965006, 6005701, 6005704, 6005705, 6014101, 6014102, 6014103, 6014104, 6015701, 6015703, 6015902, 6015903, 6015904, 6015905, 6015906, 6015907, 6015908, 6015909, 6015910, 6015912, 6015913, 6015914, 6015915, 6015916, 6017501, 6017502, 6017503, 6017504, 6017602, 6017603, 6017605, 6017606, 6028201, 6038202, 6038203, 6041401, 6041402, 6041403, 6046302, 6046303, 6046304, 6046305, 6047101, 6047102, 6047103, 6047105, 6050902, 6061201, 6061203, 6061207, 6063600, 6068401, 6100101, 6100102, 6100103, 6100104, 6204101, 6204102, 6204103, 6204104, 6204105, 6204106, 6204107, 6204108, 6204109, 6204110, 6204111, 6204112, 6204113, 6211901, 6213301, 6216001, 6216004, 6216005, 6216006, 6216007, 6216008, 6216009, 6216010, 6216011, 6218601, 6219302, 6219303, 6219304, 6219306, 6219307, 6219308, 6219310, 6219311, 6219315, 6219316, 6219317, 6219318, 6219319, 6219320, 6219321, 6229100, 6238601, 6244700, 6249801, 6249802, 6249803, 6251001, 6251002, 6251003, 6251004, 6251005, 6251006, 6252301, 6258701, 6262801, 6263701, 6266701, 6276502, 6276503, 6276504, 6277101, 6290701, 6301401, 6303201, 6307501, 6311301, 6311302, 6311303, 6311304, 6311305, 6311306, 6311307, 6311308, 6311309, 6311310, 6311311, 6311312, 6311313, 6311314, 6311315, 6311316, 6311317, 6311318, 6311321, 6311322, 6311323, 6410205, 6410206, 6410207, 6410210, 6410211, 6412201, 6412901, 6426001, 6434801, 6444501, 6444503, 6444504, 6444505, 6444506, 6544001, 6544002, 6544003, 6544004, 6544005, 6544007, 6544008, 6544011, 6544012, 6613601, 6613602, 6613603, 6613604, 6613605, 6613606, 6613607, 6613608, 6613609, 6613611, 6613616, 6704302, 6718001, 6718003, 6720401, 6721801, 6726701, 6726702, 6744702, 6744703, 6744704, 6744705, 6748201, 6748202, 6748203, 6748204, 6748205, 6748206, 6748208, 6748209, 6748210, 6748211, 6748212, 6748214, 6748215, 6748216, 6748217, 6748218, 6748219, 6748223, 6748224, 6748225, 6748226, 6748227, 6748228, 6748229, 6748230, 6806601, 6806602, 6806605, 6806607, 6806608, 6814901, 6815401, 6816601, 6822401, 6822402, 6822403, 6822404, 6822405, 6822406, 6822408, 6822411, 6822412, 6822413, 6822414, 6822416, 6822417, 6822418, 6901001, 6902901, 6902902, 6902903, 6902904, 6902905, 6902906, 6903401, 6903402, 6903404, 6903405, 6903406, 6904001, 6906901, 6908102, 6908103, 6908902, 6909102, 6914902, 6914903, 6914904,

6914905, 6915201, 6919902, 6919903, 6919904, 6920201, 6920202, 6920203, 6920402, 6920403, 6924402,  
6925602, 6925603, 6925604, 6925605, 6925606, 6925607, 6925901, 6925902, 6925904, 6925905, 6925906,  
6925907, 6925908, 6926402, 6926403, 6926404, 6926405, 6926406, 6926601, 6926603, 6926604, 6926605,  
6926606, 6926607, 6926608, 6926609, 6926610, 6926611, 6926612, 6926613, 6926614, 6926615, 6926616,  
6926617, 6926618, 6928201, 6928202, 6928203, 6928204, 6928602, 6928603, 6928604, 6928605, 6929001,  
6929003, 6929004, 6929005, 6929006, 6938101, 6938102, 6938103, 6938104, 6938105, 6938201, 6938202,  
6938203, 6938204, 6938205, 6938301, 6938302, 6938303, 6938304, 6938305, 6938306, 6938307, 6938308,  
6938309, 6938401, 6938402, 6938403, 6938404, 6938501, 6938502, 6938504, 6938505, 6938506, 6938602,  
6938603, 6938604, 6938605, 6938606, 6938607, 6938701, 6938702, 6938703, 6938704, 6938705, 6938706,  
6938707, 6938708, 6938801, 6938802, 6938803, 6938804, 6938805, 6938806, 6938807, 6938808, 6938809,  
6938902, 6938903, 6938904, 6938906, 7055001, 7107601, 7218101, 7218102, 7218103, 7218104, 7218105,  
7218106, 7218107, 7218108, 7218109, 7218110, 7218111, 7218112, 7218113, 7218114, 7218115, 7218117,  
7218118, 7218119, 7218120, 7218121, 7218122, 7218123, 7218124, 7218125, 7218126, 7218127, 7300801,  
7300803, 7306502, 7306503, 7306506, 7306508, 7306509, 7400801, 7401003, 7401004, 7401005, 7401006,  
7401010, 7401011, 7401012, 7401013, 7401014, 7401201, 7401202, 7401203, 7401204, 7401205, 7408101,  
7408102, 7408103, 7408104, 7408105, 7413301, 7430501, 7510101, 7510102, 7510103, 7510104, 7510205,  
7510206, 7510207, 7510208, 7510309, 7510310, 7510311, 7510312, 7510413, 7510414, 7510415, 7510416,  
7510517, 7510518, 7510519, 7510520, 7510621, 7510622, 7510623, 7510624, 7510725, 7510726, 7510727,  
7510728, 7510829, 7510830, 7510831, 7510832, 7510933, 7510934, 7510935, 7510936, 7511037, 7511038,  
7511039, 7511040, 7511141, 7511142, 7511143, 7511144, 7511247, 7511248, 7511349, 7511350, 7511351,  
7511352, 7511453, 7511454, 7511455, 7511456, 7511557, 7511558, 7511559, 7511560, 7511664, 7511765,  
7511766, 7511767, 7511768, 7511869, 7511870, 7511871, 7511872, 7511973, 7511974, 7511975, 7511976,  
7512077, 7512078, 7512079, 7512080, 7609501, 7615704, 7615705, 7616501, 7621601, 7621701, 7631902,  
7631903, 7631905, 7632201, 7632202, 7632203, 7635101, 7635102, 7635103, 7635104, 7635105, 7635106,  
7635107, 7635108, 7635109, 7635110, 7635111, 7635112, 7635113, 7635114, 7635116, 7635117, 7635118,  
7635120, 7635122, 7635123, 7645102, 7649801, 7654001, 7654002, 7654003, 7654004, 7654005, 7654006,  
7654007, 7654010, 7656101, 7657501, 7657502, 7657503, 7657504, 7657506, 7668101, 7675801, 7701401,  
7708302, 7710801, 7710803, 7710804, 7710805, 7710807, 7712202, 7712203, 7715201, 7715203, 7715204,  
7724301, 7724302, 7725801, 7725802, 7728402, 7728403, 7728404, 7728405, 7728407, 7728408, 7728409,  
7728502, 7728801, 7728802, 7728803, 7728804, 7728805, 7728806, 7729401, 7729402, 7730502, 7733302,  
7735002, 7735003, 7735004, 7737301, 7737302, 7737303, 7737304, 7739002, 7739003, 7739004, 7744502,  
7746802, 7751401, 7812401, 7813801, 7814601, 7815801, 7817201, 7819001, 7831101, 7831102, 7831103,  
7831104, 7831105, 7836101, 7836201, 7841801, 7844001, 7848101, 7858601, 7858602, 7858603, 7858604,  
7858605, 7858606, 7858607, 7858608, 7858609, 7858610, 7858611, 7858612, 7858613, 7864401, 7864601,  
7864602, 7864603, 7864604, 7864605, 7865001, 7868801, 7919101, 7919102, 7919104, 7927001, 8000101,  
8002102, 8002106, 8002110, 8002111, 8002112, 8002113, 8002114, 8002115, 8002116, 8002117, 8002118,  
8002119, 8002123, 8048900, 8062001, 8100401, 8100402, 8100404, 8100407, 8106501, 8106502, 8106503,  
8106504, 8106505, 8212101, 8212102, 8212103, 8212104, 8302301, 8302302, 8312601, 8312604, 8312605,  
8313701, 8313702, 8313705, 8313706, 8313708, 8313709, 8401901, 8403501, 8408701, 8408702, 8408901,  
8412902, 8514601, 8519101, 8519102, 8519103, 8519104, 8519105, 8519107, 8519401, 8606601, 8606602,  
8619401, 8619402, 8619404, 8619405, 8619407, 8619408, 8619409, 8708501, 8708502, 8708503, 8708504,  
8708505, 8708506, 8708507, 8708508, 8708509, 8708511, 8708512, 8708513, 8708515, 8938798, 9001002,  
9001003, 9001004, 9102101, 9102701, 9108601, 9111401, 9116101, 9117401, 9117402, 9117403, 9117405,  
9117406, 9117407, 9117408, 9119101, 9121601, 9122801, 9122802, 9128601, 9131201, 9132601, 9132602,  
9134501, 9137701, 9142500, 9143201, 9143401, 9147701, 9147901, 9152101, 9154901, 9155201, 9157001,  
9158901, 9166500, 9166700, 9168500, 9168701, 9169201, 9200201, 9200202, 9200203, 9200204, 9200401,  
9200402, 9200403, 9200404, 9200405, 9200406, 9200407, 9200701, 9200901, 9201201, 9201202, 9201203,  
9201204, 9201205, 9201206, 9201207, 9201401, 9202001, 9202301, 9202302, 9202303, 9202304, 9202401,  
9202402, 9202403, 9202404, 9202405, 9202406, 9202501, 9202502, 9202503, 9202504, 9202601, 9202602,  
9202603, 9202604, 9202605, 9202606, 9202607, 9203201, 9203301, 9203501, 9203601, 9203602, 9203603,  
9203605, 9204001, 9204002, 9204003, 9204004, 9204005, 9204006, 9204401, 9204601, 9204802, 9204901,  
9205001, 9205002, 9205003, 9205004, 9205005, 9205006, 9205007, 9205008, 9205101, 9205102, 9205103,  
9205104, 9206001, 9206201, 9206202, 9206203, 9206204, 9206301, 9206302, 9206305, 9206306, 9206307,  
9206308, 9207101, 9207301, 9207501, 9207801, 9300101, 9300102, 9300103, 9300104, 9300105, 9300106,  
9300107, 9300108, 9300109, 9300110, 9300111, 9300112, 9300501, 9300502, 9300503, 9300504, 9300505,  
9300506, 9300507, 9300508, 9300509, 9300601, 9300701, 9300801, 9301001, 9301002, 9301003, 9301004,  
9301301, 9301401, 9302701, 9302901, 9302902, 9302903, 9302904, 9302905, 9302906, 9302907, 9302908,  
9302909, 9303001, 9303101, 9303102, 9303103, 9303104, 9303105, 9303106, 9303201, 9303301, 9304501,

9304601, 9304701, 9304801, 9304802, 9304803, 9304804, 9304805, 9304806, 9304807, 9304808, 9304809, 9304810, 9304811, 9304901, 9305001, 9305101, 9305103, 9305104, 9305105, 9305301, 9305501, 9305502, 9305503, 9305504, 9305505, 9305506, 9305507, 9305508, 9305701, 9305901, 9306101, 9306201, 9306301, 9306401, 9306601, 9306602, 9306603, 9306605, 9306606, 9306607, 9306608, 9306609, 9306610, 9306611, 9306615, 9307001, 9307101, 9307201, 9307302, 9307303, 9307304, 9307305, 9307701, 9307801, 9307901, 9400100, 9400201, 9400202, 9400301, 9401101, 9401501, 9401601, 9401701, 9401702, 9401703, 9401704, 9401705, 9401706, 9401707, 9401708, 9401709, 9401710, 9401711, 9401712, 9401713, 9401714, 9401801, 9401901, 9402101, 9402201, 9402202, 9402801, 9402802, 9402803, 9402804, 9403301, 9403401, 9403701, 9403801, 9404101, 9404102, 9404103, 9404201, 9404301, 9404401, 9404601, 9404602, 9404603, 9404604, 9405201, 9405401, 9405501, 9405801, 9405901, 9406501, 9406701, 9406801, 9406802, 9406803, 9406804, 9406805, 9406806, 9406807, 9406808, 9406901, 9407301, 9407401, 9407601, 9407701, 9407801, 9407802, 9407901, 9408001, 9408002, 9408003, 9408004, 9408101, 9408102, 9408103, 9501801, 9501802, 9501803, 9501804, 9501805, 9501806, 9501807, 9501808, 9501809, 9501810, 9501901, 9505101, 9506301, 9517601, 9519701, 9520301, 9521001, 9521002, 9521003, 9521004, 9521801, 9521901, 9521902, 9521903, 9521904, 9521905, 9521906, 9521907, 9521908, 9525201, 9526801, 9527702, 9527703, 9528801, 9530601, 9536900, 9542401, 9542402, 9542403, 9542404, 9542701, 9542801, 9549101, 9550002, 9550003, 9550004, 9550005, 9550007, 9550008, 9555501, 9557201, 9558201, 9558501, 9559801, 9563701

## 8.8 Fréquence

La publication des indicateurs est prévue pour s'aligner sur les mises à jour des données d'albédo, de végétation et de population au cours des prochaines années. En particulier, les données d'albédo et de végétation seront mises à jour pour 2024 et 2025, en incorporant des données de végétation à très haute résolution pour dix villes de France métropolitaine.

## 8.9 Licence d'utilisation

L'ensemble de données et la documentation associée sont mis à disposition sous licence **Open License 2.0**. Pour plus d'informations, visitez : <https://www.etalab.gouv.fr/licence-ouverte-open-licence>

## 8.10 Publications à citer

GE., Kyriakodis, J-L., Roujean, V., Lonjou, B., Saulquin, T., Guiot (2023), Meta-National Database of Buildings in France. Integration of heat-related indicators of French administrative areas., 6th IC2UHI, Australia, December 2023.

## Références

- [1] H. Marie, S. Blanc, M. Breton, and K. Lapray, “Diagnostic de la surchauffe urbaine méthodes et retours d’expérience,” tech. rep., ADEME, 2024.
- [2] M. Santamouris, *Energy and climate in the urban built environment*. Routledge, 2013.
- [3] M. Santamouris and D. Kolokotsa, *Urban climate mitigation techniques*. Routledge, 2016.
- [4] G. Kyriakodis and M. Santamouris, “Using reflective pavements to mitigate urban heat island in warm climates-results from a large scale urban mitigation project,” *Urban Climate*, vol. 24, pp. 326–339, 2018.
- [5] H. Leroy, M. and Marie, K. Lapray, M. Musy, A. Rodier, and S. Guernouti, “Rafraîchir les villes des solutions variées,” tech. rep., ADEME, 2021.
- [6] “<https://plusfraichemaville.fr>,” 2024.
- [7] U. H. I. Basics, “Reducing urban heat islands : Compendium of strategies,”
- [8] M. Pascal, “Quels indicateurs pour faciliter la prise en compte de la santé publique dans les politiques d’adaptation au changement climatique?,” *Santé publique France*, 2020.
- [9] G. Kyriakodis, “Rapport final du projet sat4bdnb,” tech. rep., SCO, 2024.
- [10] “Sat4bdnb overview video,” 2024. Available at : [https://www.youtube.com/watch?v=W-Afe11B2eM&t=143s&ab\\_channel=SpaceforClimateObservatory](https://www.youtube.com/watch?v=W-Afe11B2eM&t=143s&ab_channel=SpaceforClimateObservatory).
- [11] L. Brière, “Filosofi, a new administrative data source on income poverty at local level in france,” *Statistical Journal of the IAOS*, vol. 33, no. 3, pp. 593–601, 2017.
- [12] V. Sangiorgio, F. Fiorito, and M. Santamouris, “Development of a holistic urban heat island evaluation methodology,” *Scientific reports*, vol. 10, no. 1, p. 17913, 2020.
- [13] G. Kyriakodis, J.-L. Roujean, B. Lonjou, V. and Saulquin, and T. Guiot, “Meta-national database of buildings in france. integration of heat-related indicators of french administrative areas.,” in *6th International Conference on Countermeasures to Urban Heat Islands (IC2UHI)*, 2023.
- [14] “<https://plusfraichemaville.fr/projet/arbres-alignement-paris>,” 2024.
- [15] “<https://plusfraichemaville.fr/fiche-solution/planter-un-arbre>,” 2024.
- [16] D. Crichton, “The risk triangle,” *Natural disaster management*, vol. 102, no. 3, pp. 102–103, 1999.
- [17] S. G. Nayak, S. Shrestha, P. Kinney, Z. Ross, S. Sheridan, C. Pantea, W. Hsu, N. Muscatiello, and S.-A. Hwang, “Development of a heat vulnerability index for new york state,” *Public health*, vol. 161, pp. 127–137, 2018.
- [18] S. J. Lindley, J. F. Handley, N. Theuray, E. Peet, and D. McEvoy, “Adaptation strategies for climate change in the urban environment : assessing climate change related risk in uk urban areas,” *Journal of risk research*, vol. 9, no. 5, pp. 543–568, 2006.
- [19] C. E. Reid, M. S. O’neill, C. J. Gronlund, S. J. Brines, D. G. Brown, A. V. Diez-Roux, and J. Schwartz, “Mapping community determinants of heat vulnerability,” *Environmental health perspectives*, vol. 117, no. 11, pp. 1730–1736, 2009.
- [20] M. Pascal, S. Gorla, V. Wagner, A. Guillet, M. Sabastia, E. Cordeau, C. Mauclair, and S. Host, “Influence de caractéristiques urbaines sur la relation entre température et mortalité en Île-de-france,” *Santé publique France*, 2020.
- [21] M. Santamouris, “Recent progress on urban overheating and heat island research. integrated assessment of the energy, environmental, vulnerability and health impact. synergies with the global climate change,” *Energy and Buildings*, vol. 207, p. 109482, 2020.
- [22] M. Santamouris, J. A. Paravantis, D. Founda, D. Kolokotsa, P. Michalakakou, A. M. Papadopoulos, N. Kontoulis, A. Tzavali, E. K. Stigka, Z. Ioannidis, *et al.*, “Financial crisis and energy consumption : A household survey in greece,” *Energy and Buildings*, vol. 65, pp. 477–487, 2013.
- [23] K. Laaidi, A. Ung, M. Pascal, and P. Beaudeau, “Vulnérabilité à la chaleur : actualisation des connaissances sur les facteurs de risque,” *Bull Epidemiol Hebd*, vol. 5, pp. 76–82, 2015.
- [24] D. Kolokotsa and M. Santamouris, “Review of the indoor environmental quality and energy consumption studies for low income households in europe,” *Science of the Total Environment*, vol. 536, pp. 316–330, 2015.

- [25] B. Bueno, L. Norford, J. Hidalgo, and G. Pigeon, "The urban weather generator," *Journal of Building Performance Simulation*, vol. 6, no. 4, pp. 269–281, 2013.
- [26] "[https://scm.cstb.fr/dee/renoptim/renoptim\\_uwg](https://scm.cstb.fr/dee/renoptim/renoptim_uwg)," 2024.
- [27] F. Crameri, G. E. Shephard, and P. J. Heron, "The misuse of colour in science communication," *Nature communications*, vol. 11, no. 1, p. 5444, 2020.

FIN DU RAPPORT D'ÉTUDE



## Le futur en construction

Établissement public au service de l'innovation dans le bâtiment, le CSTB, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, exerce quatre activités clés : la recherche, l'expertise, l'évaluation et la diffusion des connaissances, organisées pour répondre aux enjeux de la transition énergétique dans le monde de la construction.

Son champ de compétence couvre les produits de construction, les bâtiments et leur intégration dans les quartiers et les villes.

Avec plus de 900 collaborateurs, ses filiales et ses réseaux de partenaires nationaux, européens et internationaux, le groupe CSTB est au service de l'ensemble des parties prenantes de la construction pour faire progresser la qualité et la sécurité des bâtiments.

---

### **CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT (CSTB)**

290 route des Lucioles – BP 209 – 06904 Sophia Antipolis Cedex

Tél. : +33 (0)4 93 95 67 00 – Siret 775 688 229 00068 – [www.cstb.fr](http://www.cstb.fr)

Siège social : 84 avenue Jean Jaurès – Champs-sur-Marne – 77447 Marne-la-Vallée Cedex 2

Établissement public à caractère industriel et commercial – RCS Meaux 775688229 – TVA FR 70775688229

MARNE-LA-VALLÉE / PARIS / GRENOBLE / NANTES / SOPHIA ANTIPOLIS