



Est  
Ensemble  
Grand Paris

Pour le climat  
et la justice sociale!

# Révision du Plan Climat Air Énergie Territorial d'Est Ensemble

Annexe – Etude des ilots de  
chaleur urbains (ICU)

Étude complémentaire sur la vulnérabilité au  
changement climatique et propositions pour  
un territoire plus résilient

2022



## Table des matières

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1   | Contexte d'élaboration du diagnostic .....                        | 3  |
| 2   | Analyse critique des travaux existants .....                      | 4  |
| 2.1 | Cartographie de l'Institut Paris Région .....                     | 4  |
| 2.2 | Etude de la Seine Saint Denis.....                                | 9  |
| 3   | Méthodologie de l'étude .....                                     | 12 |
| 3.1 | Modélisation théorique.....                                       | 13 |
| 3.2 | Observations terrain.....   | 24 |
| 4   | Conclusion .....  | 58 |
| 5   | Annexes .....   | 59 |
| 5.1 | Annexe 1 : Représentation des LCZ 1 sur Est Ensemble.....         | 60 |
| 5.2 | Annexe 2 : Détail de la pondération du croisement théorique ..... | 61 |
| 6   | Glossaire .....   | 62 |

# 1 Contexte d'élaboration du diagnostic

Dans le contexte actuel de dérèglement climatique, les risques auxquels sont exposés les territoires se complexifient. D'après les scénarios compilés par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), les vagues de chaleur vont s'intensifier dans de nombreuses régions du globe dans les prochaines décennies. En France, la fréquence des canicules devrait doubler d'ici 2050 et comme l'a démontré celle de 2003, Est Ensemble et plus généralement l'ensemble de l'Île-de-France y sont particulièrement vulnérables. D'autant plus que le phénomène d'îlots de chaleur urbains (ICU) accentue les vagues de chaleur en ville et leurs impacts sur la population. Afin d'élaborer une stratégie de résilience cohérente face à ce risque, il convient de réaliser un diagnostic des îlots de chaleur urbains afin de mettre en place des actions spécifiques. Ce dernier doit également s'étendre aux îlots de fraîcheur urbains (IFU) pour identifier les morphologies urbaines à conserver sur le territoire.

Ce document présente en premier lieu la littérature existante sur les îlots de chaleur à l'échelle de l'Île-de-France et du département de la Seine Saint-Denis. Il détaille ensuite la méthodologie du diagnostic à l'échelle d'Est Ensemble, réalisé en deux temps : une cartographie théorique du risque d'ICU basée sur un croisement de données relatives à la morphologie et la population du territoire, puis sa validation par une **campagne de mesure** avec l'installation d'un réseau de capteurs de température sur neuf points stratégiques. Enfin, le diagnostic est alimenté de **recommandations** pour **lutter contre les îlots de chaleur** observés lors de la campagne de mesure.



## La chaleur urbaine : un enjeu de santé publique

Les vagues caniculaires s'intensifient partout en France depuis plusieurs années. Ces vagues de chaleur, dont les effets sont décuplés par les phénomènes d'îlots de chaleur, ont un impact fort sur la surmortalité. Le dernier bilan de Santé Publique France « Bilan canicule 2020 » en fait le constat au travers de la publication des chiffres des **bilans sanitaires des canicules les plus intenses depuis 2003**. Les bilans du **nombre de décès causés par les vagues de chaleurs sont alarmants** et pointent des surmortalités de +1 924 décès en 2020, + 1 739 décès en 2015, + 1 641 décès en 2018 et + 1 462 décès en 2019. Sur les 3 derniers étés, de 2018 à 2020, les vagues de chaleur ont donc occasionné plus de 5 000 décès en excès.

## 2 Analyse critique des travaux existants

### 2.1 Cartographie de l'Institut Paris Région

#### ✦ A retenir : cartographie de l'Institut Paris Région

Le travail de l'Institut Paris Région (IPR) est issu d'une commande régionale destinée à identifier les zones sujettes à l'effet d'ICU. Pour des questions de complexité de mise en œuvre, de moyens et d'échelle du diagnostic, les données climatologiques n'ont pas été prises en compte pour qualifier l'effet d'ICU. **L'objectif est de caractériser la typo-morphologie urbaine de manière à évaluer les propriétés qui contribuent théoriquement à un effet de chaleur ou de fraîcheur** et donc de distinguer les zones a priori favorables à un développement de ce phénomène sur la métropole. **Une expérimentation ou une observation plus fine du terrain aurait néanmoins été un moyen fiable de préciser ces hypothèses théoriques.**

L'un des points forts de cette étude est la transmission de la méthodologie précise, ainsi que l'accessibilité aux données produites. En effet, le site Cartoviz permet au grand public d'accéder à une carte en ligne de la classification **Local Climate Zone (LCZ)** de la région ainsi qu'aux différentes données calculées par l'IPR, en libre accès.

En 2010, l'IPR<sup>1</sup> s'est intéressé au phénomène d'ICU dans une synthèse concernant la problématique des ICU en général et en Ile-de-France en particulier (cf : « L'adaptation de la ville aux chaleurs urbaines », « Répertoire de fiche connaissance »). **Ces documents définissent la notion d'ICU et soulignent les interrelations avec de nombreux enjeux urbains.** En 2017, l'IPR a publié un nouveau rapport<sup>2</sup> identifiant les zones les plus sujettes aux ICU en Île-de-France grâce à **la création d'une couche d'informations géographiques régionales** et d'une **appréciation de la vulnérabilité du territoire**. Ce diagnostic ne comprend pas de données d'observations météorologiques ou climatologiques, il s'agit d'une étude théorique des caractéristiques typo-morphologiques d'un territoire, de la sensibilité et des ressources existantes autour de l'enjeu de surchauffe en zone urbaine.

#### 2.1.1 L'échelle de l'IMU

L'étude définit tout d'abord l'échelle utilisée tout au long de l'analyse : **l'îlot Morphologique Urbain (IMU)**. L'IMU est un référentiel élaboré par l'IPR en Île-de-France en 2012. Chaque îlot est construit à partir d'un croisement de la base de données TOPO de l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN) 2011 et des postes spécifiques du MOS 2012<sup>3</sup>. En résulte un découpage à l'échelle d'îlots de parcelles cadastrales, hors réseau viaire public délimitant. Chaque IMU est caractérisé par une cinquantaine d'indicateurs. C'est également à cette échelle que la présente étude a été réalisée.

<sup>1</sup> Institut d'aménagement et d'urbanisme d'Ile-de-France devenu en 2019 l'Institut Paris Région (IPR)

<sup>2</sup> Institut d'aménagement et d'urbanisme, 2017, Adapter l'Ile-de-France à la chaleur urbaine : Identifier les zones à effet d'îlot de chaleur urbain (ICU) et établir les degrés de vulnérabilité afin de mieux anticiper.

<sup>3</sup> Le Mode d'Occupation du Sol (MOS) est un inventaire numérique de l'occupation du sol de l'Île-de-France, produit par l'Institut Paris Région.

## 2.1.2 La classification LCZ

Afin de qualifier les influences climatiques des IMU, les auteurs ont utilisé un référentiel international élaboré par D. Stewart et Timothy R. Oke : la classification en **Local Climate Zone (LCZ)**. Cette classification établit une caractérisation de la géométrie et de l'occupation du sol de zones urbaines à l'origine d'un climat urbain spécifique. Selon la méthodologie officielle, il existe 17 types de LCZ, tel que décrits dans la figure 1 ci-dessous.



Figure 1 : Classification des local climates zones<sup>4</sup>

L'IPR a donc entrepris le travail de classification des IMU en LCZ en se basant sur les connaissances de l'occupation du sol, tirées en partie du MOS 2012 et des IMU 2012. Les LCZ ne sont pas délimitées par le périmètre d'une zone homogène mais bien par l'échelle de l'îlot morphologique urbain. Certaines zones sont définies par un LCZ majoritaire (LCZ 1) ainsi qu'un LCZ secondaire (LCZ 2), lorsque ce dernier représente plus du tiers de la surface du MOS majoritaire. **Chaque LCZ est décrit par 10 propriétés qui précisent l'influence climatique de chaque zone.** Au sein de la présente étude, la classification LCZ issue de ce travail est utilisée (voir annexe 1 : classification LCZ sur le territoire d'Est Ensemble).

## 2.1.3 Analyse de la vulnérabilité aux îlots de chaleur urbains

Afin d'expliquer sa démarche, l'IPR définit la vulnérabilité comme un risque, constitué de l'aléa et de la sensibilité, et de la difficulté à faire face.

<sup>4</sup> T. Samsonov, K. Trigub, 2017; *Toward computation of urban locales climates zones* : <http://www.geog.leeds.ac.uk/groups/geocomp/2017/papers/72.pdf>

Figure 2 : Schéma de la vulnérabilité à un risque climatique <sup>5</sup>

En effet, l'étude globale du phénomène de vulnérabilité permet de prioriser l'action, afin d'adopter de meilleures réponses dans la lutte contre les ICU. Le parti pris de l'IPR était donc de **localiser les zones les plus vulnérables** de la métropole par un croisement théorique des trois composantes de la **vulnérabilité** : l'**aléa d'ICU**, la **sensibilité** de la population et sa **difficulté à faire face**. Ces croisements ont été réalisés à partir de cartographies SIG.

### 2.1.4 L'aléa

Après avoir établi une classification LCZ du territoire, l'IPR a déterminé les zones sujettes à l'**effet d'ICU**. Pour cela, les propriétés LCZ propres à chaque îlot ont été sélectionnées et croisées, de façon **différenciée le jour et la nuit**. Pour prendre en compte les potentiels apports de fraîcheur de la végétation arborée et des plans d'eau, des indicateurs de proximité ont été élaborés en fonction de la distance avec les LCZ identifiées comme rafraîchissantes (LCZ arboré, LCZ eau).

Un critère d'influence de l'effet d'ICU métropolitain a été intégré aux indicateurs en se basant sur une observation de la **canicule de 2003**. Tous les IMU situés dans une zone d'une température nocturne dépassant les 20 degrés ont été pris en compte. Pour croiser l'ensemble de ces indicateurs et afin d'obtenir un diagnostic de l'effet d'ICU, les propriétés sont **notées de 1 à 4** selon leur influence dans la création de l'effet de chaleur (et sont notés -2 ou -1 si elles génèrent un effet de fraîcheur). Ces notations sont ensuite additionnées par IMU puis classées selon leur effet d'ICU : **effet de fraîcheur, faible effet d'ICU, effet d'ICU moyen et effet d'ICU fort**.

### 2.1.5 La sensibilité

La cartographie de la sensibilité du territoire est exécutée de manière similaire. Différentes propriétés, relatives à la fragilité des biens et des personnes lors d'une canicule, ont été croisées avec le même principe de notation comme la part de population sensible, la présence de maisons de retraites ou encore les densités d'occupation des logements.

**Les IMU sont donc classés selon leur sensibilité (faible, moyenne et forte).**

<sup>5</sup> E. Cordeau, N. Laruelle, 2015; *Eviter la ségrégation climatique et les nouvelles formes d'inégalités* : <https://fr.slideshare.net/IAUIDF/journee-rationale-pour-le-climat-du-4-mai-2015>





## 2.2 Etude de la Seine Saint Denis

### ✦ A retenir : étude de la Seine Saint Denis

L'étude menée à l'échelle du département de la Seine Saint-Denis par le Laboratoire Population Environnement Développement (LPED) confirme que **les mesures ont globalement conforté les hypothèses concernant l'impact des morphologies urbaines sur la chaleur**, même si **quelques disparités spatiales et temporelles existent**. L'étude retient **quatre facteurs principaux qui influencent l'effet d'ICU** :

- **La densité de construction ;**
- **L'ouverture ou la fermeture du tissu urbain ;**
- **L'éclairage direct ou l'ombre ;**
- **L'absence ou la présence de végétaux.**

Des recommandations visant à limiter l'effet de ces facteurs ont été émises. Cependant, les leviers d'action sont génériques donc non spécifiques aux zones identifiées.

Cette étude a été réalisée par le Laboratoire Population Environnement Développement (LPED). Son objectif était de comprendre et **d'analyser la distribution spatiale et temporelle des températures lors des situations météorologiques favorables à l'apparition d'ICU<sup>8</sup>**. Ce diagnostic étant assez ancien par rapport à la compréhension actuelle du phénomène d'ICU, l'enjeu était principalement **d'identifier les facteurs** à l'origine de sa distribution spatiale et temporelle. Depuis cette étude, de nombreuses expérimentations ont été réalisées et les facteurs à l'origine du phénomène d'ICU sont bien mieux connus. L'enjeu pour les territoires est aujourd'hui axé sur la localisation plutôt que la compréhension du phénomène.

L'analyse se compose de deux parties : **une analyse géographique** du phénomène d'ICU par **traitement géomatique** de sources de données numériques pour formuler des hypothèses sur la répartition des ICU sur le territoire, ainsi qu'une **phase d'observation** exécutée par l'installation de capteurs de température lors des étés 2013 et 2014.

### 2.2.1 Analyse théorique

La première partie est elle-même scindée en deux phases. **Une analyse topo climatologique** a été réalisée pour prendre connaissance de l'ensemble du département et de ses grandes répartitions morphologiques afin d'émettre les premières hypothèses sur la répartition et la localisation des ICU. Le type de surface exerçant une influence primordiale dans le phénomène d'ICU, l'étude n'utilise pour cette partie que des données relatives à l'occupation du sol :

- **CORINE LANDCOVER (2006)** : cette base de données permet de distinguer les modes d'occupation du sol entre les différentes communes.

<sup>8</sup> Laboratoire Population Environnement Développement, 2015, *étude des Ilots de Chaleur Urbains du département de la Seine Saint Denis*.

- **Des images satellites LANDSAT 7** : ces images permettent, après traitement, d'analyser des variations spatiales plus fines à l'échelle d'îlots et de quartiers au travers d'indices comme le NDVI (végétation), NDBI (construction), NDUI (urbain) et l'indice de brillance.<sup>9</sup>
- Une base de données urbaine fournie par le conseil général 93, qui concerne essentiellement le bâti, le cadastre, la voirie et la végétation.

Le croisement et l'observation de ces différentes sources de données ont permis d'établir une première grande tendance : un gradient d'occupation du sol semble se distinguer d'ouest en est.

Pour affiner l'analyse, **une observation micro climatologique a été réalisée**. Parmi l'ensemble des solutions de diagnostic existantes, l'exploitation et le croisement de différentes classifications du sol, à une échelle plus fine que les données précédemment exploitées, a été retenu :

- La **classification 44 postes de CORINE LANDCOVER** : bien qu'elle ne réponde pas à elle seule au critère de l'échelle spatiale, elle est utilisée pour affiner l'étude.
- **La typologie LCZ** de Stewart et Oke (2009). (Cf 2.1.2)
- **Merlin (2002)**, décomposition de l'espace urbanisé en 6 points : réseau viaire, parcellaire, rapport plein/vide, bâti (dimension, forme et style). Bien que ce ne soit pas une méthode propre à la climatologie urbaine, l'analyse de facteur de forme y semble mieux prise en compte que dans la classification LCZ par exemple.

Etant donné la complexité du calcul, certains indicateurs de la classification LCZ n'ont pas été pris en compte comme la classe de rugosité, la chaleur anthropogénique et l'admittance de surface. A noter que les observations des LCZ ont été réalisées à la même échelle que pour l'étude de l'IPR : l'îlot morphologique urbain (IMU).

Pour analyser les particularités du territoire, les indicateurs ont été étudiés un par un pour en tirer des conclusions (distribution du bâti, de la voirie, parcelles cadastrales). Certaines couches (surface bâti et voirie) ont ensuite été combinées afin d'identifier les zones propices à l'implantation de capteurs.

Le croisement des différentes classifications n'est donc pas basé sur une analyse scientifique précise et aucune pondération, telle qu'imaginée par l'IPR, n'est mise en place.

## 2.2.2 Mesures

La sélection de zones susceptibles d'engendrer un ICU par modélisation a mené à **l'implantation de 25 capteurs de température** sur le territoire, positionnés à une hauteur de 3m à 4m. Sur l'ensemble du réseau, 19 points ont pu être analysés à la fin de l'été 2013. Pour chaque capteur, l'analyse des températures se base sur :

- Une moyenne des températures sur la période
- Le nombre de fois où le point est le plus chaud (parmi les 25) ;
- Le nombre de fois où le point est le plus frais (parmi les 25) ;

---

<sup>9</sup> L'indice de brillance permet de mesurer si l'élément de surface observé est clair ou foncé. Il caractérise donc l'albédo des matériaux.

**L'une des principales observations est que les points les plus chauds en journée ne sont pas forcément les plus chauds la nuit.** Dans l'ensemble, les relevés valident la modélisation effectuée dans la première partie de l'étude.

La deuxième campagne de mesure, effectuée durant l'été 2014, a mobilisé 32 capteurs pour compléter les premières observations. Chaque donnée a été mesurée avec un pas de temps de 5min et des traitements ont été effectués pour permettre la comparaison :

- Calcul du min et du max à chaque date ;
- Calcul de l'amplitude thermique instantanée (pas de temps de 5 minutes).

L'analyse fait ressortir les points les plus chauds et les plus froids, selon l'heure de la journée. Ces résultats seront à comparer avec ceux de l'étude ICU réalisée à l'échelle d'Est Ensemble, en fonction de la localisation des points de mesure.

L'étude retient **quatre facteurs principaux qui influencent l'effet d'ICU** :

- **La densité de construction ;**
- **L'ouverture ou la fermeture du tissu urbain ;**
- **L'éclairage direct ou l'ombre ;**
- **L'absence ou la présence de végétaux.**

**L'analyse des études réalisées aux échelles régionales et départementales et de leurs spécificités fait ressortir deux méthodologies différentes et complémentaires. Le choix a été fait pour le diagnostic ICU du territoire d'Est Ensemble de définir un mode opératoire combinant les points forts de ces deux études : le croisement théorique très détaillé de l'IPR et la combinaison d'une réflexion théorique avec une observation terrain riche, sur le modèle du travail du LPED.**

### 3 Méthodologie de l'étude

Comme évoqué précédemment, l'objectif de l'étude ICU d'Est Ensemble est d'établir une cartographie du risque de surchauffe urbaine sur le territoire, en ne se limitant pas à une cartographie de l'aléa, mais en **prenant en compte la vulnérabilité afin de prioriser le plan d'action**.

La **notion de risque**, définie par le GIEC en 2014 comme étant la **combinaison des aléas, de la vulnérabilité et de l'exposition**, a été retenue pour cette étude et pour l'ensemble de l'étude de résilience.

La réalisation de zooms spécifiques a permis de préconiser des leviers d'actions contextualisés.

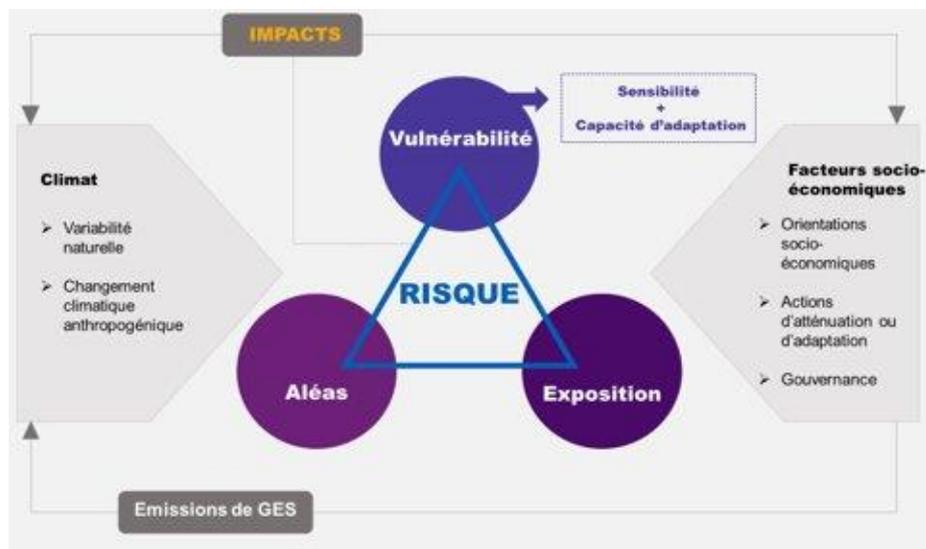


Figure 5 : Définition du risque (Aléa + Exposition + Vulnérabilité), (Suez Consulting, adapté de la définition du GIEC de 2014)

La méthode retenue **débute à une échelle macroscopique** du territoire, afin de détecter les zones de chaleur et de cibler les zones nécessitant une échelle d'analyse plus fine. Cette première étape est une **modélisation numérique**, inspirée du travail réalisé par l'IPR. Les cartographies qui en résultent permettent d'identifier des zones très représentatives des morphologies du territoire. Ces zones, croisées avec les enjeux de renouvellement urbain du territoire, ont permis de choisir l'emplacement des **9 zooms** pour lesquels des **mesures de température** ont été effectuées et **des leviers d'actions spécifiques proposés**. Les mesures physiques effectuées sur les 9 emplacements des zooms ont également permis de valider le classement théorique des LCZ, et donc la pertinence de la méthodologie appliquée.

L'ensemble de la méthodologie employée est schématisé ci-dessous et décrit précisément ci-après.

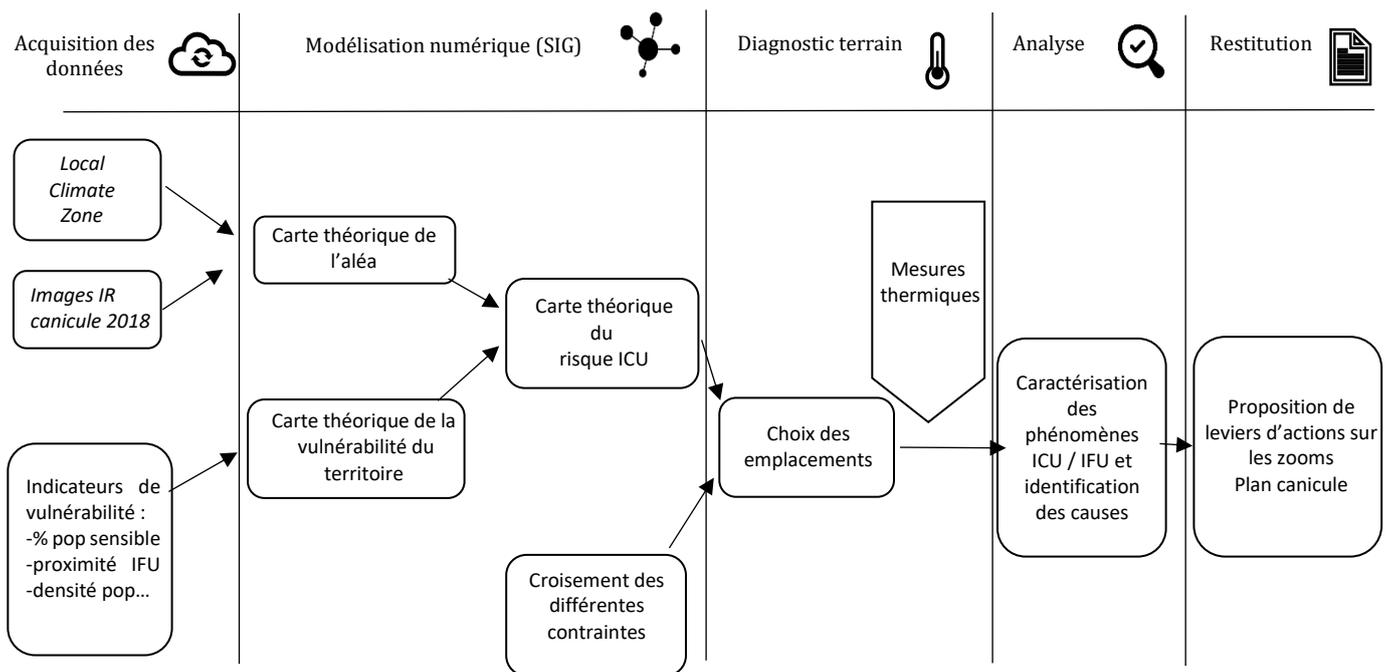


Figure 6 : Schéma de la méthodologie de diagnostic, Suez Consulting

### 3.1 Modélisation théorique

Selon la définition du risque présentée précédemment, une simulation numérique du risque d'ICU a été effectuée grâce au croisement de deux cartographies : une cartographie théorique de l'aléa ainsi qu'une cartographie de la vulnérabilité du territoire, elle-même définie par la sensibilité et la difficulté à faire face d'une zone étudiée.

La construction de la cartographie de l'aléa d'ICU à l'échelle des 9 communes du territoire est présentée ci-dessous, suivie de celle de la vulnérabilité et celle du risque.

#### 3.1.1 Aléa potentiel

##### ★ A retenir : aléa potentiel

La cartographie de l'aléa potentiel classe le territoire selon 4 catégories : aléa nul, faible, moyen et fort. Les zones à fort aléa sont les plus touchées par les vagues de chaleur, tandis que les points à l'aléa nul sont plus susceptibles d'être des points de fraîcheur.

Pour l'obtenir, une carte théorique de l'aléa basée sur l'utilisation de la classification LCZ a été croisée avec une image satellite de l'été 2018, révélatrice des zones les plus chaudes en surface sur le territoire.

**De grandes tendances théoriques se dégagent : l'ouest du territoire semble plus concerné par le phénomène de chaleur urbaine et les zones de fraîcheur sont liées aux grands espaces verts.**

**Parmi les facteurs favorisant l'apparition de l'îlot de chaleur urbain se trouve l'intensification de l'activité humaine et sa concentration dans les grandes villes, mais aussi la surface au sol et la morphologie des villes.** Pour étudier ce deuxième facteur, la théorie des Local Climate Zone de Stewart et Oke est utilisée. Cette méthode de classification a déjà été utilisée sur le territoire au travers des études de l'IPR et du LPED, présentées précédemment. La classification d'un territoire selon ces 17 types de LCZ est un travail conséquent, nécessitant la mobilisation de nombreuses données et de calculs complexes. **Les travaux de l'IPR, accessibles en open data sur la plateforme CARTOVIZ, ont donc été réutilisés.**

Sur l'ensemble du territoire d'Est Ensemble, les 17 types de LCZ, dont 7 *landscapes*, sont présents. **Afin de pouvoir mobiliser cette classification dans l'estimation de l'aléa, les LCZ représentant les surfaces urbanisées sont classifiées selon leur influence potentielle sur la climatologie locale.** Pour cela, diverses thèses contenant des expérimentations sont utilisées : le document original de Stewart et Oke<sup>10</sup> présentant le concept des LCZ et les résultats de mesures de température mobiles ayant été effectuées à Vancouver (Canada), à Uppsala (Suisse) et Nagano (Japon). Ces observations ont également été confrontées à celle d'une campagne de mesures effectuée à Dijon, ayant justement pour objectif **d'observer la pertinence de la classification LCZ et de comparer les LCZ entre elles.**<sup>11</sup>

Les LCZ sont réparties selon quatre classes :

**Tableau 1: Classification des LCZ selon leur effet climatique potentiel (Suez Consulting 2021)**

| Classe | LCZ                 | Effet climatique potentiel |
|--------|---------------------|----------------------------|
| 1      | 1, 10,2,3           | Fort                       |
| 2      | 4,5,8               | Moyen                      |
| 3      | 6,7,9               | Faible                     |
| 4      | A, B, C, D, E, F, G | Rafraîchissant             |

<sup>10</sup> I.D. Stewart and T.R. Oke, 2012, *Local Climate Zones for Urban Temperature Studies* [en ligne]: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/93/12/bams-d-11-00019.1.xml>

<sup>11</sup> Yves Richard, Justin Emery, Julita Dudek, Julien Pergaud, Carmela Chateau-Smith, et al., 2018; *How relevant are local climate zones and urban climate zones for urban climate research? Dijon (France) as a case study*. Urban Climate, Elsevier 26, pp.258-274.

La répartition cartographique de cette classification donne la cartographie ci-dessous :

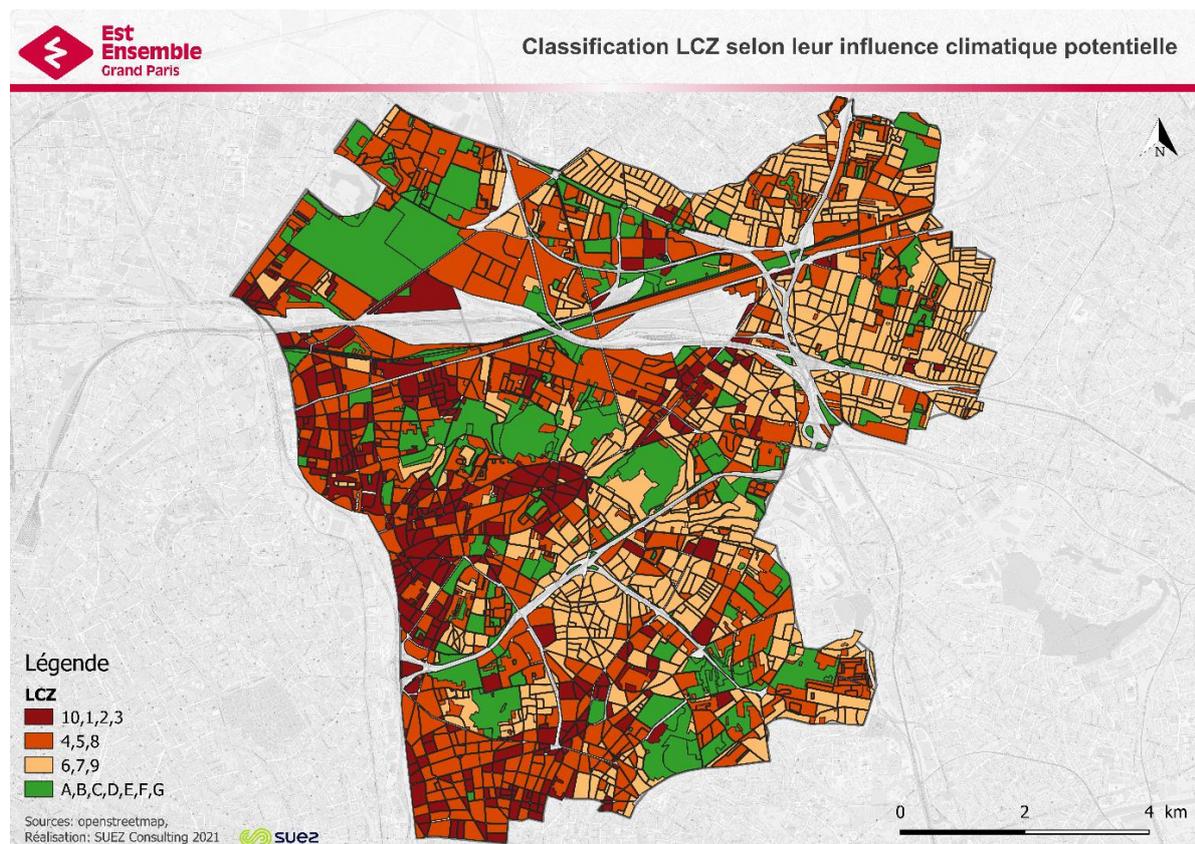


Figure 7 : Cartographie de la classification des LCZ selon leur effet climatique potentiel (Suez Consulting, 2021)

Les observations sont trop peu nombreuses pour pouvoir affirmer que la classification est irréfutable. De plus, au vu des spécificités climatiques et morphologiques des différentes villes du monde, il est très difficile d'établir une classification universelle. **Le diagnostic de l'aléa ICU a donc été renforcé par l'observation d'une image satellite d'Est Ensemble.**

Un traitement a été effectué sur les images satellites Landsat 8, et plus particulièrement la bande 10 qui fournit des images infrarouges. La date d'observation retenue est le 14 août 2018 à 10h39 étant donné que l'été 2018 est le deuxième été caniculaire le plus chaud de ces dernières années après 2003. Le satellite Landsat est l'un des seuls satellites infrarouges exploitable sur une résolution très fine, il fait le tour de la terre en 16 jours exactement. Malheureusement, il n'existe pas de satellite infrarouge passant de nuit au-dessus d'Est Ensemble, l'étude théorique résulte de la production d'une cartographie thermographique de jour. Les différences thermiques diurnes et nocturnes seront observées à travers la campagne de mesures.

De l'image infrarouge, un traitement SIG permet d'aboutir à une cartographie des températures de surface sur Est Ensemble.

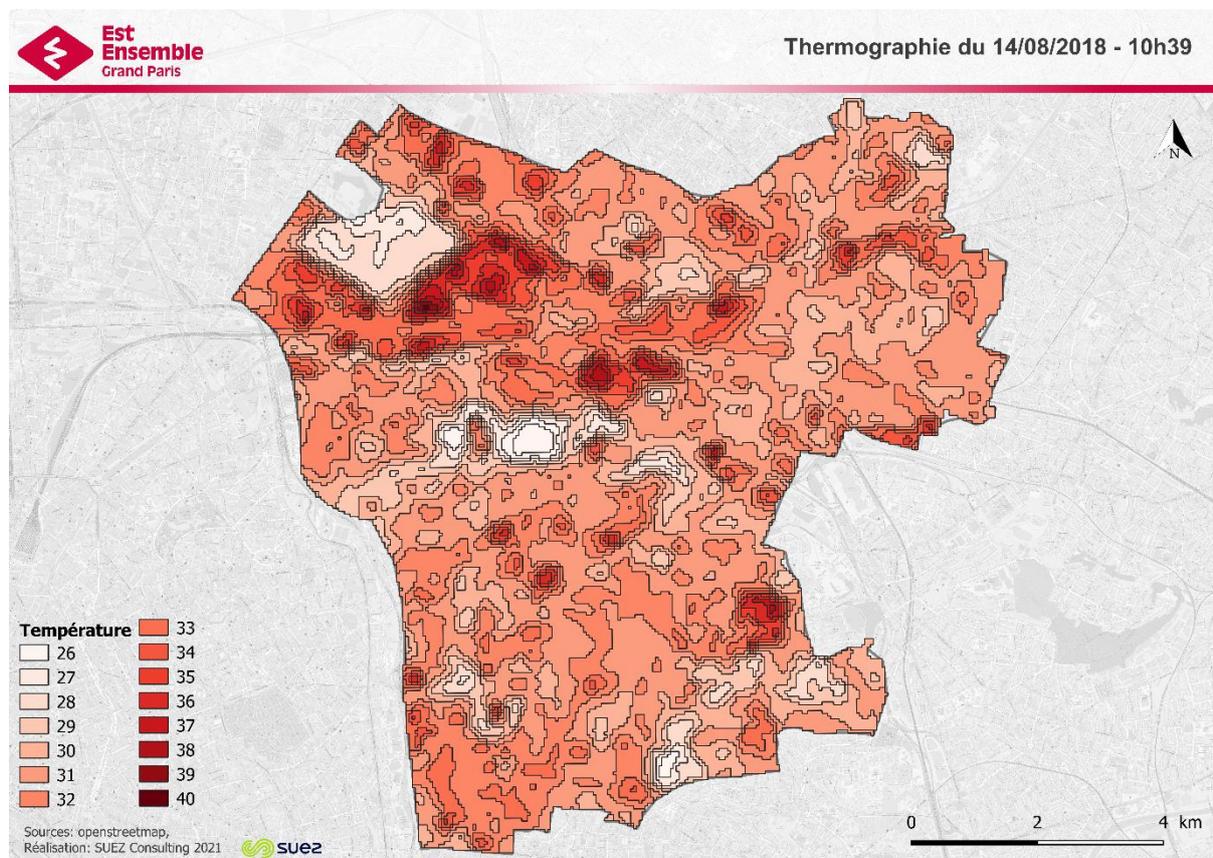


Figure 8 : Carte des températures de surface du 14/08/2018 à 10h39<sup>12</sup> (Suez Consulting, 2021)

<sup>12</sup> Données du satellite Landsat 8, consulté en mai 2021 : [https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-8?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con)

La classification des valeurs de température a été réalisée en 4 classes, afin d'effectuer un croisement avec celle des LCZ :

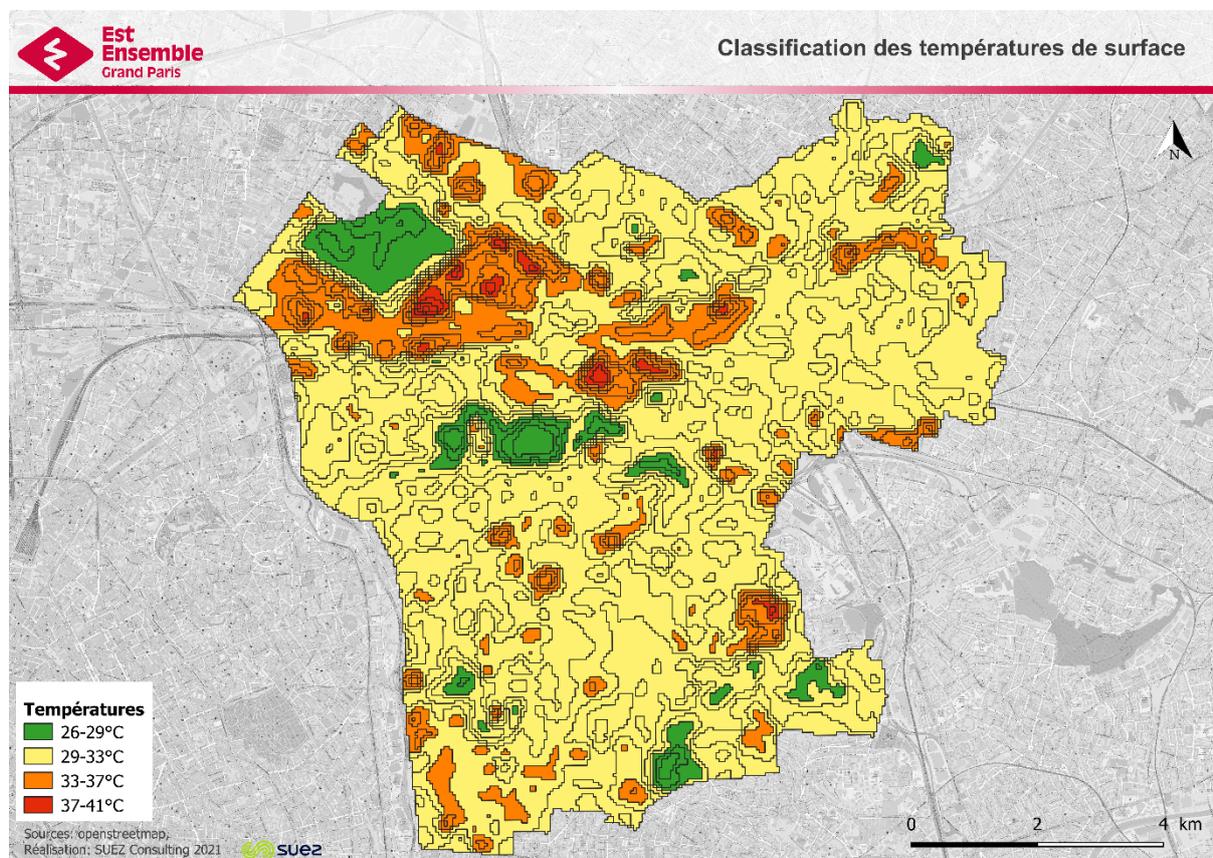


Figure 9 : Carte des températures de surface classifié du 14/08/2018 à 10h39<sup>13</sup> (Suez Consulting, 2021)

Le résultat de ce croisement (classement LCZ et classement thermographie) est l'aléa potentiel d'îlot de chaleur.

<sup>13</sup> Ibid.

Ce résultat est cartographié, toujours réparti en 4 classes (aléa nul, aléa faible, aléa moyen, aléa fort).

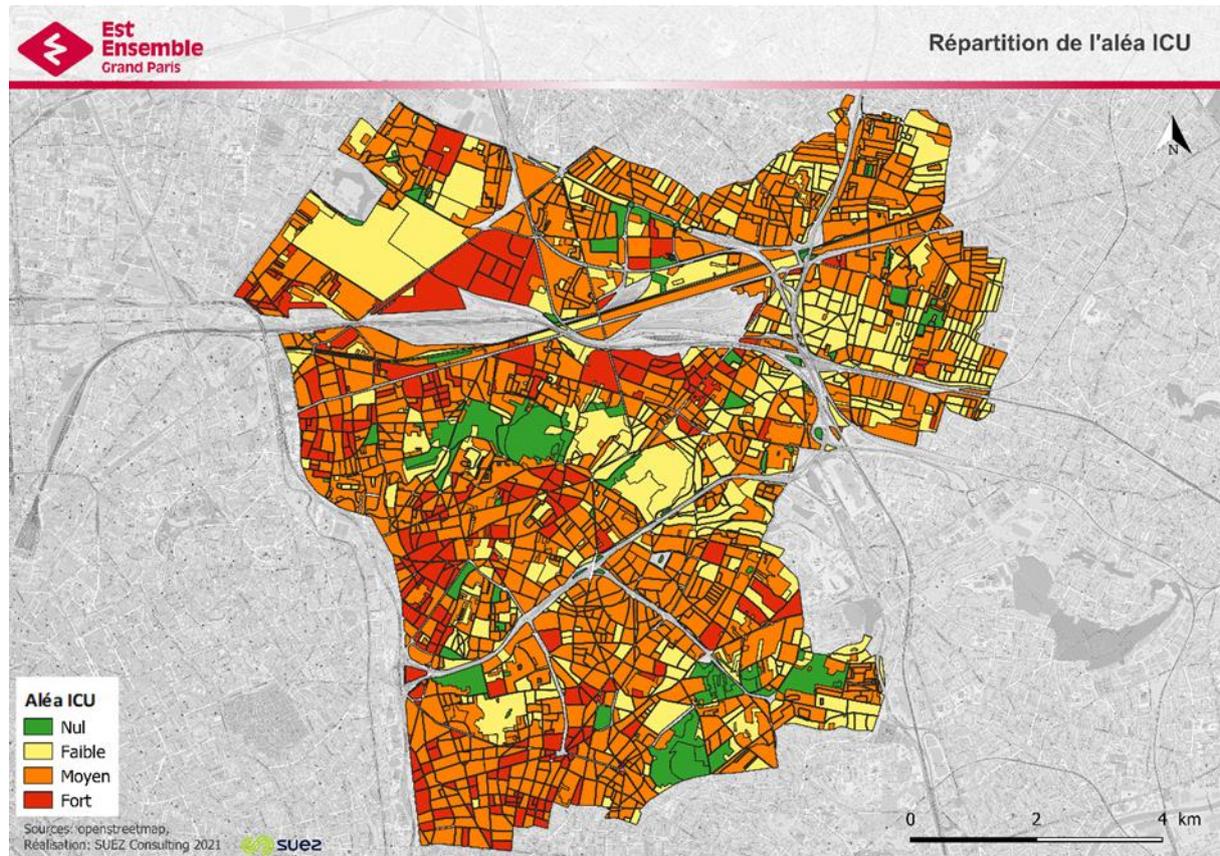


Figure 10 : Carte de la répartition de l'aléa ICU (Suez Consulting, 2021)

**De grandes tendances, bien que théoriques, s'expriment déjà sur les différences d'influence thermique des morphologies du territoire.** Des entités, comme le parc des hauteurs à Romainville, sont identifiées comme étant des îlots de fraîcheur urbains (IFU). En comparant cette cartographie avec celle du PLUi (qui présente la cartographie de l'aléa d'ICU), des constats généraux similaires peuvent être tirés : **l'ouest du territoire semble plus concerné par le phénomène et la quasi-totalité des IMU « rafraichissants » sont des IMU fortement végétalisés.**

Cependant l'aléa n'est pas le seul paramètre à prendre en compte dans la définition du risque. Afin de pouvoir prioriser les zones nécessitant un aménagement rafraîchissant, **la vulnérabilité est un indicateur à ne pas omettre.**

### 3.1.2 Vulnérabilité du territoire

#### ✦ **A retenir : vulnérabilité du territoire**

La vulnérabilité, telle que définie dans cette étude, regroupe deux caractéristiques : la sensibilité de la population (nombre d'établissements sensibles, pourcentage de population sensible, densité, etc.) et sa difficulté à faire face aux vagues de chaleur (distance par rapport à une zone de fraîcheur, accessibilité aux offres de soins et d'urgence, etc.).

La carte de vulnérabilité réalisée permet de visualiser le territoire avec un indice de vulnérabilité allant de nulle à forte. Les zones **les plus vulnérables** et **les plus exposées à l'aléa** sont **les plus critiques** pour les habitants **lors des vagues de chaleur et donc des zones d'actions prioritaires**.

**La vulnérabilité moyenne à forte est remarquée à l'ouest du territoire, ainsi que dans le nord-est.** Les zones très peu denses voire non habitées (tel que les grands parcs), apparaissent comme des zones non vulnérables.

Un croisement est réalisé sur le même modèle que ce qui a été fait par l'IPR dans l'étude de la sensibilité, en utilisant **des données plus récentes** et en **modifiant certaines pondérations** pour **adapter** l'étude à l'**échelle** d'Est Ensemble. Pour cela, des indicateurs relatifs à la sensibilité des IMU, et à leur capacité d'adaptation pour faire face au phénomène d'ICU, notamment en période de canicule, ont été sélectionnés.

#### 3.1.2.1 Sensibilité des IMU

##### 💡 **Qui sont les personnes sensibles aux îlots de chaleur ?**

La surmortalité caniculaire est un enjeu de santé publique, qui touche toute la population. La tranche d'âge des plus de 75 ans représente plus de 70% des cas de surmortalité caniculaire de l'été 2020. Cependant, ces dernières années la surmortalité augmente chez les **plus de 45 ans**, avec 11% des décès caniculaires dans la tranche 45–64 ans pour l'été 2020 (à comparer aux valeurs des étés de 2016 à 2019 qui se situent entre 2 et 8%).

Les enfants sont également particulièrement touchés, notamment en dessous de 5 ans.

Pour évaluer la sensibilité des IMU, différents indicateurs ont été identifiés et analysés :

- **Pourcentage de population sensible** : pourcentage de population de moins de 5 ans et de plus de 65 ans (d'après les données INSEE).
- **Etablissements sensibles** : nombre d'établissements sensibles (crèches et hébergements pour personnes âgées) par IMU. Contrairement à l'IPR, une pondération graduée a été choisie pour différencier le niveau de risque des IMU comptant un seul établissement et ceux en comptant plusieurs.
- **Age du bâti majoritaire** : les IMU contenant du bâti construit entre 1945 et 1970 ont été identifiés, car il est statistiquement plus probable que les constructions comportant des problèmes d'isolation soient plus à même de comporter des problèmes d'isolation.

- **Densité emploi** : densité des travailleurs sur le lieu de travail (selon l'effectif des entreprises).
- **Densité habitants** : nombre d'habitants par surface IRIS, rapporté à l'échelle de l'IMU.
- **Densité d'occupation des logements** : nombre de personnes par ménage rapporté à la surface du logement.

La pollution de l'air à l'ozone n'a pas été prise en compte, car il n'y a pas de données suffisamment précises disponibles et cet indicateur aurait pu biaiser les résultats.

### 3.1.2.2 Difficulté à faire face

En ce qui concerne les capacités d'adaptation des IMU, des indicateurs relatifs à l'accès à des zones de fraîcheurs et aux soins et aux ressources disponibles pour faire face en cas de forte chaleur (facteur aggravant le phénomène d'ICU) ont été identifiés. Compte-tenu de l'échelle du territoire d'Est Ensemble et de la mise à jour des données, la méthode choisie s'écarte de celle de l'IPR sur plusieurs points.

- **Proximité d'un espace de fraîcheur** : proximité de l'espace vert ou du point d'eau le plus proche permettant de se rafraîchir ponctuellement en période de canicule. Il a été choisi de prendre en compte l'ensemble des IMU végétalisés et des points d'eau et de baignade. Pour pondérer l'accessibilité d'un IMU à un espace vert, une note est accordée en fonction de la part surfacique de l'IMU recouverte par une zone tampon prédéfinie autour des espaces vert. Sur ce point, la méthode choisie s'éloigne des critères de proximité établis par l'IPR, qui ne correspondaient pas à l'échelle plus zoomée du territoire d'Est Ensemble.

Ainsi, l'IPR avait défini les zones tampons suivantes :

- 250 m pour un espace vert de 1 à 10ha
- 500 m pour un espace vert de 10 à 30 ha
- 1000 m pour un espace vert de plus de 30ha

La méthode retenue prend en considération les plus petits espaces de fraîcheur et définit les zones tampons de la façon suivante :

- 150m pour un espace vert de moins de 5000m<sup>2</sup>
- 300m pour un espace vert de 5000m<sup>2</sup> à 1ha
- 500m pour un espace vert de plus de 1ha

- **Accès à un médecin** : concernant l'offre de soin disponible, la cartographie de l'ARS de 2018 a été reprise. Elle classe le territoire en fonction de l'accès au soin grâce aux zones d'interventions prioritaires et aux zones d'actions complémentaires.

- **Proximité d'un service d'urgences** : la zone tampon a été restreinte à 2,5km contre 5km dans l'étude de l'IPR, pour mettre en exergue les zones prioritaires (5km peuvent être long à parcourir si la personne concernée par l'urgence ne possède pas de véhicule personnel).
- **Pourcentage de bas revenus** : part des ménages touchant moins de 60% du revenu médian, données INSEE.

Comme pour le travail réalisé par l'IPR, la plage de valeur de chacun de ces indicateurs a été découpée en quatre intervalles afin de pouvoir pondérer chaque classe, en estimant l'influence que ce facteur aurait sur la vulnérabilité de l'îlot.

Le croisement cartographique de ces indicateurs permet alors de visualiser la répartition de la vulnérabilité sur le territoire, (figure 11).

**La vulnérabilité est nulle** dans les **zones non habitées** (parcs, cimetières, etc.) ou **peu denses**. Elle est au contraire **particulièrement forte** dans les zones où la **part de la population avec un bas revenus est importante** (supérieure à 33,4%), où le pourcentage de **population sensible** y est supérieur à 30% et où la **densité d'occupation des logements est élevée**.

**Quatre zones vulnérables se distinguent particulièrement, à l'extrémité nord de la commune de Bondy, sous la place de l'Escadrille-Normandie-Niémen de la commune de Bobigny, l'extrémité nord de Pantin, à Montreuil sous le croisement de l'autoroute A3 et de la départementale D20, et juste au-dessus à Bagnolet, proche de l'autoroute également.**

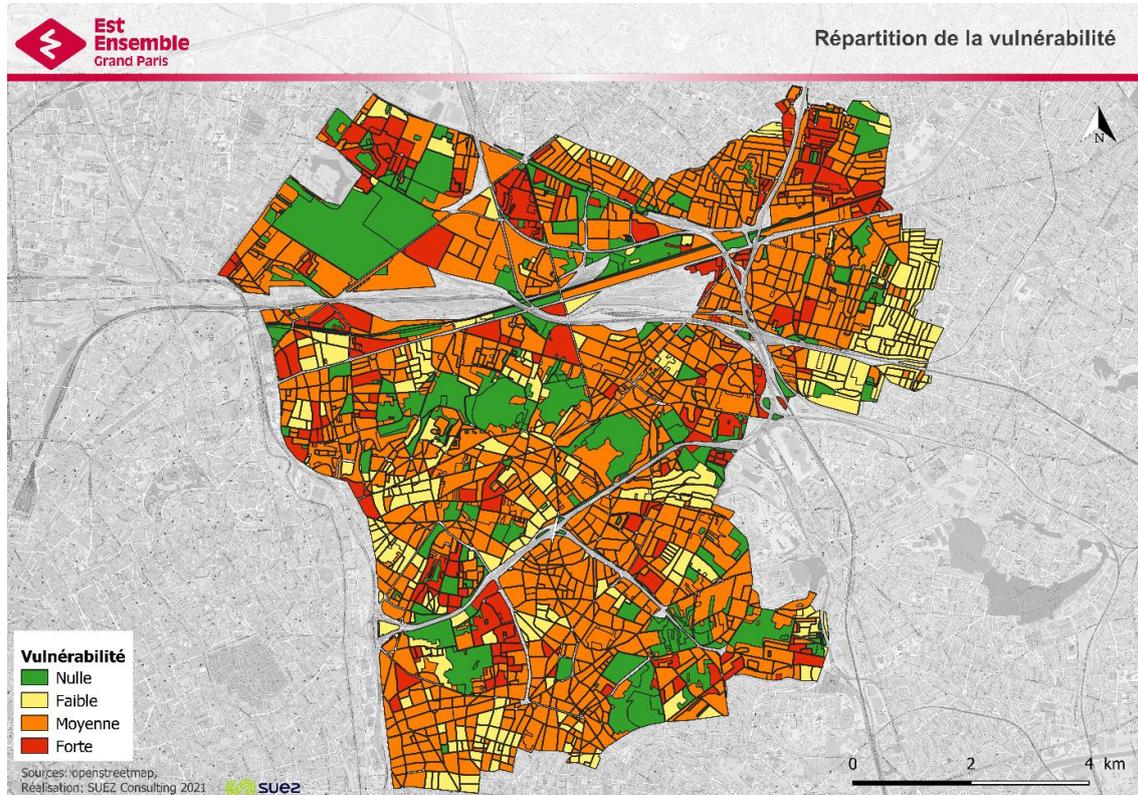


Figure 11 : Carte de la répartition de la vulnérabilité (Suez Consulting, 2021)

### 3.1.3 Risque d'îlot de chaleur

#### ✦ A retenir : risque d'îlot de chaleur

Le risque d'îlot de chaleur est la combinaison entre la vulnérabilité du territoire et l'exposition à l'aléa chaleur. La carte réalisée permet de visualiser le risque d'îlot de chaleur du territoire avec un indice allant de 0 à 6 ; 0 représentant un risque nul et 6 un risque très élevé.

Le risque d'îlot de chaleur est particulièrement élevé à l'ouest du territoire. A l'inverse, les zones très peu denses ainsi que les grands espaces verts ont un risque nul ou très faible (0 ou 1) puisque l'aléa de chaleur y est faible (végétation des espaces permettant un rafraîchissement) et l'exposition de la population à la chaleur est faible voire nulle (zones peu ou pas habitées comme des parcs, cimetières, zones peu denses etc.).

Cette analyse théorique a permis de cibler des zones clés pour la campagne de mesure terrain. Cependant, elle comporte plusieurs biais (prise en compte des images satellites de jour uniquement, données de morphologie du territoire (LCZ) assez anciennes, territoire qui évolue rapidement, etc.) et nécessitait donc une prise de recul sur les résultats obtenus. C'est ce qu'a permis la **campagne de mesure en complétant et validant l'analyse**.

Selon la définition exploitée, le croisement de la vulnérabilité et de l'aléa permet d'obtenir la cartographie du risque. Il est réalisé en effectuant la somme des classes de la carte de vulnérabilité et de la représentation de l'aléa. La plage de résultat est évaluée en 7 classes, notées de 0 à 6. La note 0 correspond à un risque nul, la note 2 correspond à un risque faible, la note 4 un risque élevé, et enfin la note 6 un risque très élevé.

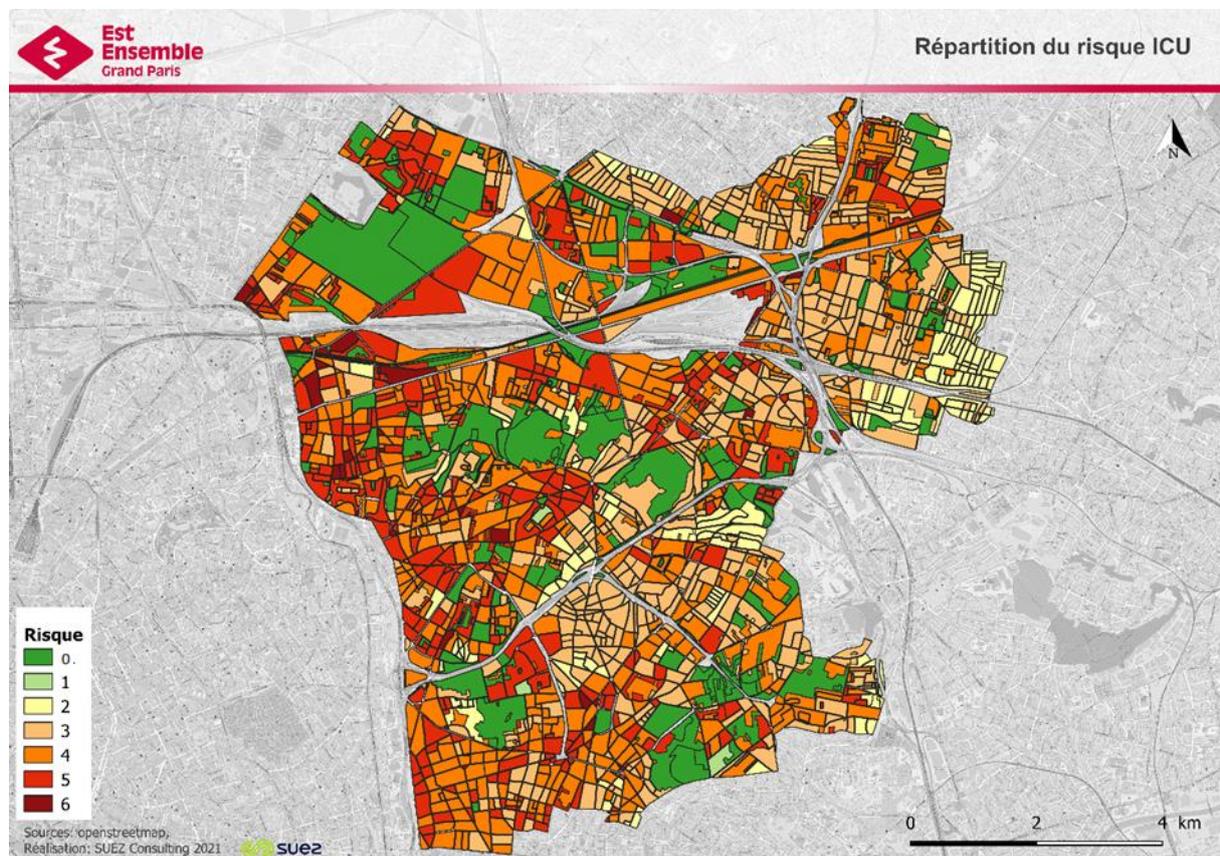


Figure 12 : Carte du risque ICU (Suez Consulting, 2021)

Cette cartographie est difficilement comparable aux cartographies déjà existantes. En effet, les cartographies de l'IPR et du LPED sont établies sur des territoires plus grands, et la cartographie du PLUi 2020 réalisée par Indigo ne prend pas en considération la vulnérabilité du territoire. Les résultats des autres études se rapprochent plutôt de la cartographie de l'aléa.

De manière générale, **le risque de surchauffe urbaine semble plus élevé à l'ouest d'Est Ensemble et la majorité des IMU de risque nul sont des zones non urbanisées (vulnérabilité et exposition nulle) et/ou des zones fortement végétalisées (faible aléa).**

Il est important de noter que cette modélisation est issue d'une approche théorique, la localisation des zones ne représente à ce stade qu'une hypothèse (que l'analyse empirique sur le territoire a ensuite permis de valider). De plus, la construction LCZ réalisée par l'IPR est assez ancienne, la morphologie du territoire exploitée n'est donc pas entièrement à jour. **Enfin, les analyses découlent d'images satellite de températures en journée mais ne prennent pas en compte les températures de nuit.** Une attention particulière sera donc apportée **aux mesures réalisées pour les zooms afin de prendre localement du recul sur les conclusions, la situation actuelle de certains îlots ainsi que les différences observées entre le jour et la nuit.**

## 3.2 Observations terrain

### ✦ A retenir : Observations terrain

Les observations terrain se sont déroulées en deux phases, sur une période d'environ 4 mois. Des sondes de température et d'humidité ont été installées sur des candélabres, à une hauteur approximative de 3 mètres, exposés au sud et au soleil, avec le moins d'ombre portées possible.

Neuf zones spécifiques ont été ciblées sur le territoire, en concertation avec les équipes stratégiques et techniques d'Est-Ensemble :

- **Un point de référence**, fixe durant les 4 mois d'expérimentation, dans une zone de fraîcheur [*dans le parc des Beaumont*].
- **Deux points pour l'évaluation d'aménagements réalisés récemment** : l'un apparaissant comme un endroit frais et l'autre plutôt chaud [*respectivement dans l'îlot d'Engelhard et sur la place devant le Paddock*].
- **Trois points à risques élevés, identifiés comme étant de potentiels futurs projets d'aménagements** [*à la ZAC du port, sur la dalle de l'Ilot 27 et sur la dalle Paul Eluard*].
- **Un point à risque élevé**, avec des problématiques de **cumul de nuisances et notamment de qualité d'air** [*situé au pont de Bondy, devant le lycée Madeleine Vionnet*].
- **Deux points** complétant la diversité des points déjà choisis, avec des **typologies morphologiques très présentes** sur le territoire [*situés rue des Ormes à Romainville et rue de Romainville aux Lilas*].

Les résultats de l'étude ont permis d'émettre des recommandations, en classant les zooms en 3 catégories :

- Les îlots de chaleur ayant un fort impact la nuit : cette classification regroupe trois sites (ZAC du port, dalle Paul Eluard, Ilot 27) pour lesquels il est préconisé **des leviers d'actions prioritaires**. Ces sites nécessitent un **réaménagement pérenne pour les transformer en espaces rafraichissants** et ainsi réduire l'impact sur les logements et habitants proches.
- Les îlots de chaleur ayant un fort impact le jour : cette classification regroupe deux sites (*la place du Paddock et le pont de Bondy/lycée Madeleine Vionnet*) pour lesquels les préconisations portent **sur du mobilier, potentiellement modulable, choisis en adéquation avec les usages et la fréquentation de jour**.
- Les sites dont les morphologies impactent peu les températures ou ont une action rafraichissante : cette classification regroupe 3 sites (*la rue des Ormes, la rue des Bruyères et l'Ilot d'Engelhard*) pour lesquels **il n'est pas préconisé d'actions prioritaires**. Il est important de préserver ces sites et de veiller à lutter contre leur densification.

Afin de caractériser le phénomène de surchauffe urbaine, de préciser la hiérarchisation des zones estimées comme étant à risque et de façon générale de valider la modélisation théorique de la répartition du risque d'ICU, une campagne de mesures a été réalisée sur 9 points du territoire au cours de l'été 2021.

### 3.2.1 Le matériel

Le matériel utilisé provenait de la société Agralis. Cette entreprise propose des mini-stations météo adaptées au diagnostic expérimental des îlots de chaleur urbains. Ces capteurs avaient déjà été utilisés à Agen notamment, pour une étude similaire. Les stations étaient composées d'un capteur de température d'une précision de 0,1°C, placé sous un abri anti-radiations. Le matériel était alimenté par une pile d'une autonomie d'un an et transmettait les données en temps réel, par ondes radio.

L'installation de ces capteurs a été réalisée entre 3m et 4m de hauteur afin d'éviter le vandalisme. Il faut noter qu'entre 2m et 5m de hauteur, le gradient vertical de température est faible : il n'existe pas de grandes différences entre la température de l'air à 2m ou à 5m, d'autant plus quand l'espace est très aéré. Dans la mesure du possible, les capteurs ont donc été installés **sans obstacle direct au vent**. De plus, cette étude vise à caractériser le **phénomène d'ICU** et non le **ressenti thermique** du piéton. En effet, ce dernier est composé d'une multitude de facteurs et concerne une approche différente de celle du risque d'ICU et les mesures effectuées pour cette étude avaient pour objectif d'obtenir la **température ambiante** afin de valider l'analyse théorique du risque d'îlot de chaleur du territoire.

Pour assurer la fiabilité des mesures, les capteurs ont été placés dans des abris anti-radiations, eux-mêmes écartés des zones d'ombres portées et orientés plein sud. Ils étaient également éloignés des grandes surfaces (murs, bâtiments) qui auraient pu biaiser les résultats. Tous les capteurs étaient installés sur des mâts urbains afin de limiter les rayonnements et d'homogénéiser l'étude.

Ces mesures ont permis par la suite une analyse plus fine et une comparaison de ces zooms, afin de prioriser les interventions pour la réduction des phénomènes et de proposer des leviers d'actions spécifiques.



Figure 13 : installation d'un capteur de température Agralis au sein de l'îlot d'Engelhard

### 3.2.2 Choix des zooms

Pour cette expérimentation, la campagne de mesures thermiques a été réalisée en deux temps : une première phase de juin à août 2021 sur quatre points, puis un changement d'emplacement en août sur quatre nouvelles zones, jusqu'en octobre. Il y a donc 8 points mesurant les températures sur une période d'environ 8 semaines chacun, et un **point de référence fixe** durant toute l'expérimentation (de juin à octobre).

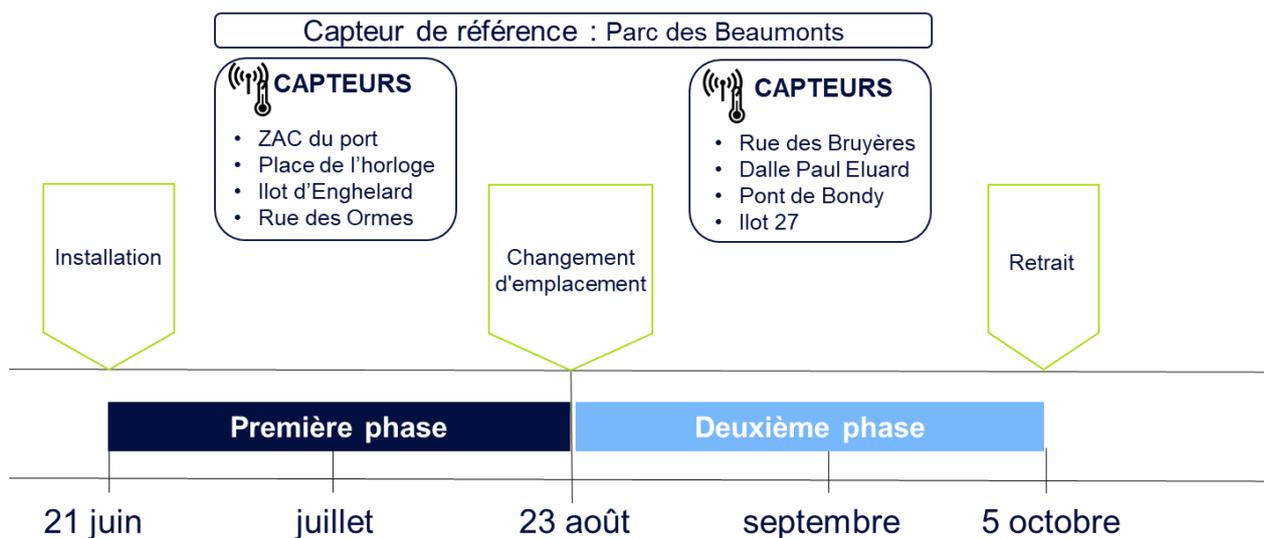


Figure 13 : calendrier de la campagne de mesure, Suez Consulting

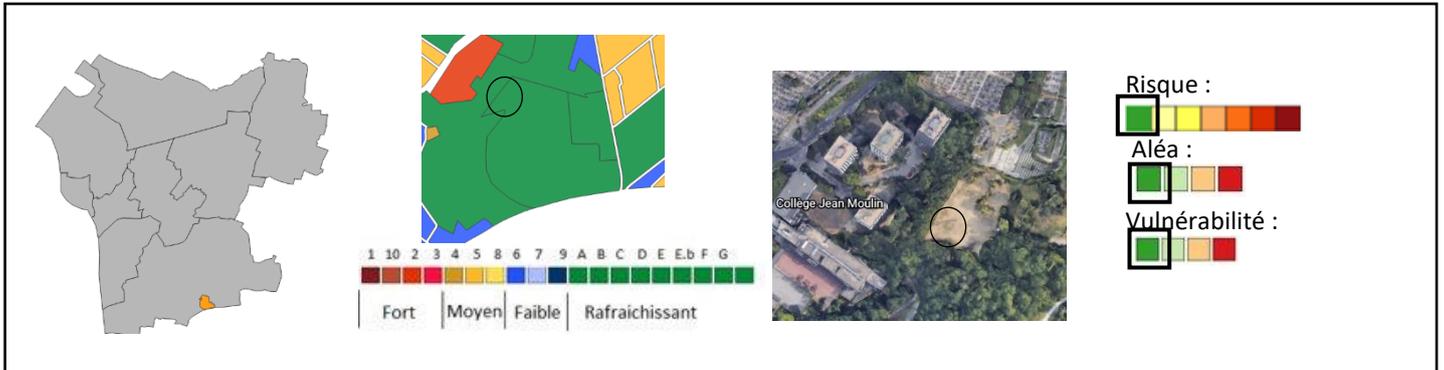
Les zooms sur lesquels les mesures thermiques ont été réalisées devaient répondre à différents enjeux :

- **Validation de la modélisation théorique** : afin de pouvoir valider la cartographie théorique de l'aléa, il s'agissait de sélectionner des points représentatifs de la diversité des LCZ du territoire.
- **Priorisation des zones à aménager** : la modélisation établie était encore trop générale pour identifier les zones sur lesquelles agir en priorité. L'enjeu était donc d'analyser différents IMU identifiés comme étant à risque élevé afin d'affiner la priorisation des actions.
- **Cohérence entre les deux campagnes de mesure** : afin de pouvoir comparer facilement les résultats des deux campagnes de mesures, un capteur fixe de référence a été installé sur les quatre mois de mesures.

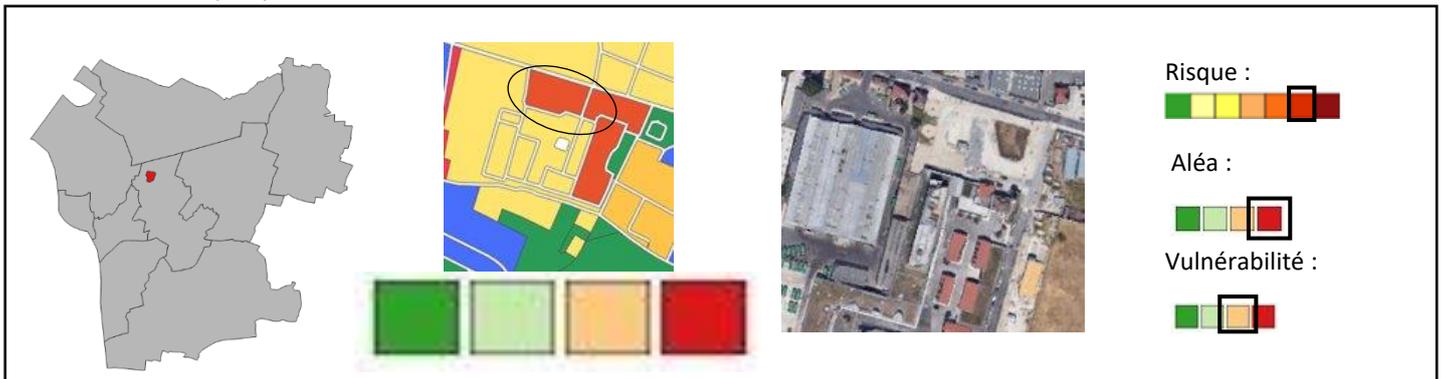
Pour le choix final de localisation de ces zooms, l'ensemble des enjeux a été pris en considération, ainsi qu'une liste de points pré-identifiés par l'administration d'Est Ensemble. À la suite d'un échange avec la collectivité, 9 points de mesures ont été sélectionnés. Le détail visuel de chacun de ces points comporte respectivement une localisation de la zone à l'échelle d'Est Ensemble, un aperçu de sa classification morphologique (LCZ), une image satellite ainsi qu'une synthèse de l'évaluation du risque, de la vulnérabilité et de l'aléa (issue de la phase de modélisation théorique).

**Juin – août :**

- **Parc des Beaumont, Montreuil :** le type de LCZ concerné est un LCZ B, il s’agit donc d’un point de fraîcheur de référence qui était fixe durant les quatre mois. Il a permis de quantifier l’amplitude des ICU et de conserver une cohérence d’interprétation des résultats des deux phases de mesure. Le risque identifié à cet endroit est nul.



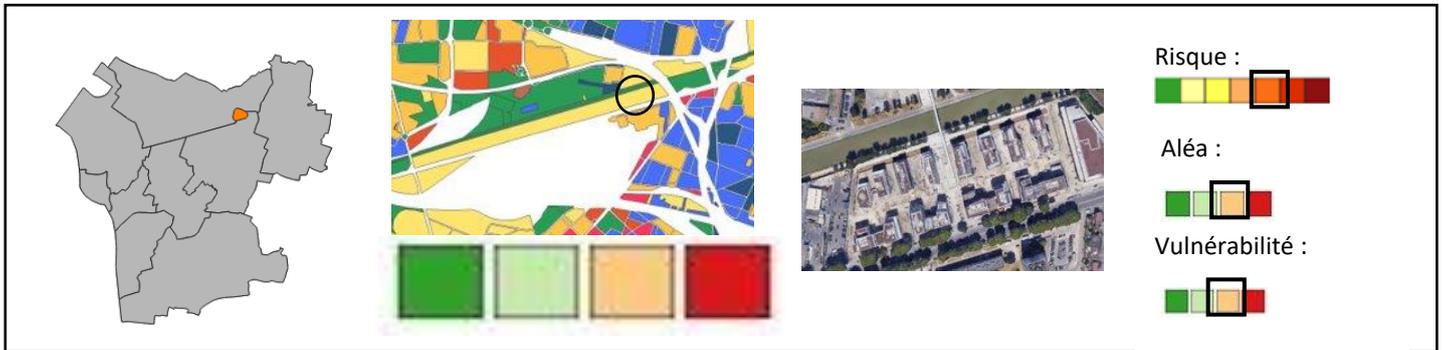
- **Place du Paddock, Romainville :** suggérée par Est Ensemble, cette zone a récemment été réaménagée. Cependant l’espace public reste imperméabilisé, l’expérimentation présente un enjeu d’alerte pour l’amélioration des futurs secteurs de la ZAC. Le risque évalué est élevé (5/6).



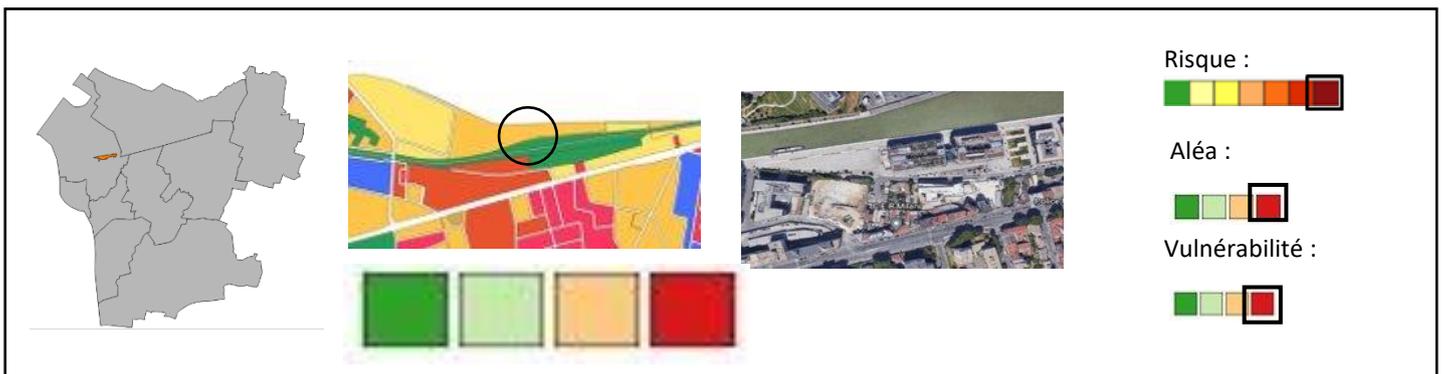
- **Rue des Ormes - zone pavillonnaire annexe à l’échangeur, Romainville :** cette zone a été identifiée car il s’agit d’une zone représentative du type de LCZ 6 (Open low-rise). Ce type de morphologie est très présent sur le territoire. Le capteur a été positionné rue des Ormes. Le risque évalué est moyen (3/6).



- **Ilot d’Engelhard, Noisy-le-Sec** : suggéré par Est Ensemble, cet îlot a récemment été réaménagé avec un projet de végétalisation important. Les mesures de température serviront d’évaluation pour éventuellement faire de cet aménagement une référence pour les projets d’aménagement à venir. Le risque identifié était de 4/6 avant l’aménagement.

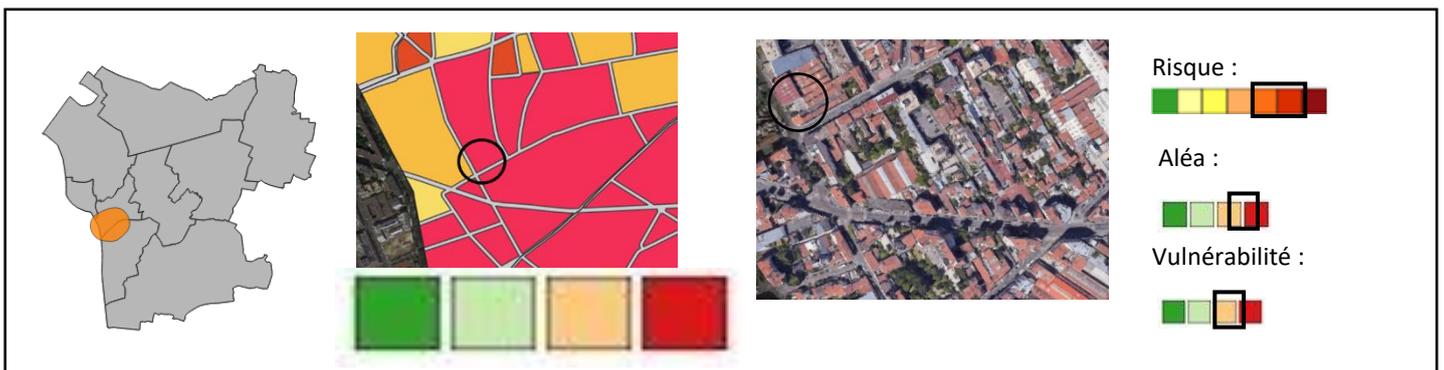


- **Lot 7 de la ZAC du port, Pantin** : suggéré par Est Ensemble, cette zone a été identifiée comme étant de risque élevé (6/6). Le type de LCZ concerné est le LCZ 2 (Compact midrise).



**Aout – octobre :**

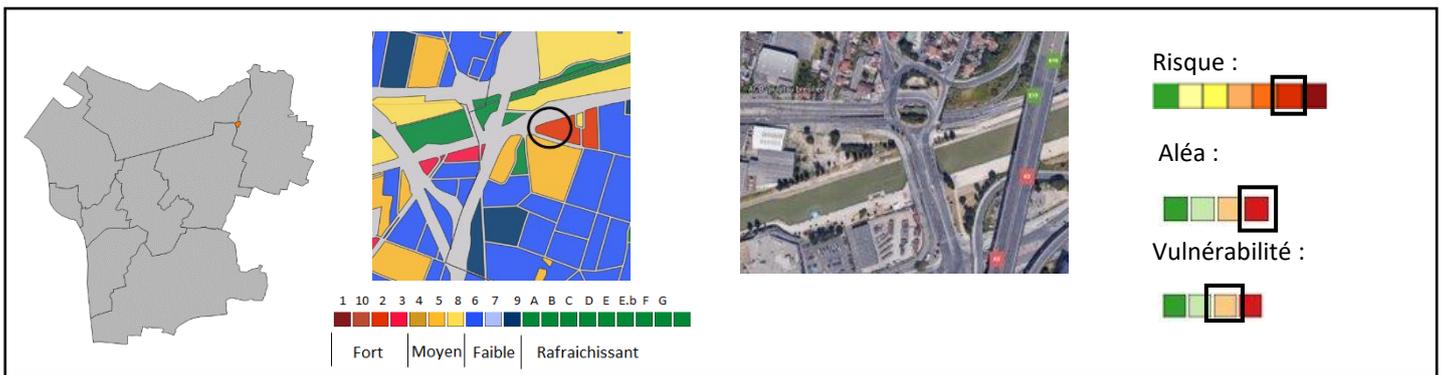
- **Rue des Bruyères, les Lilas** : ce type de morphologie est représentatif du territoire (LCZ 3, Compact low-rise). Le risque identifié y est de 4/6 et 5/6.



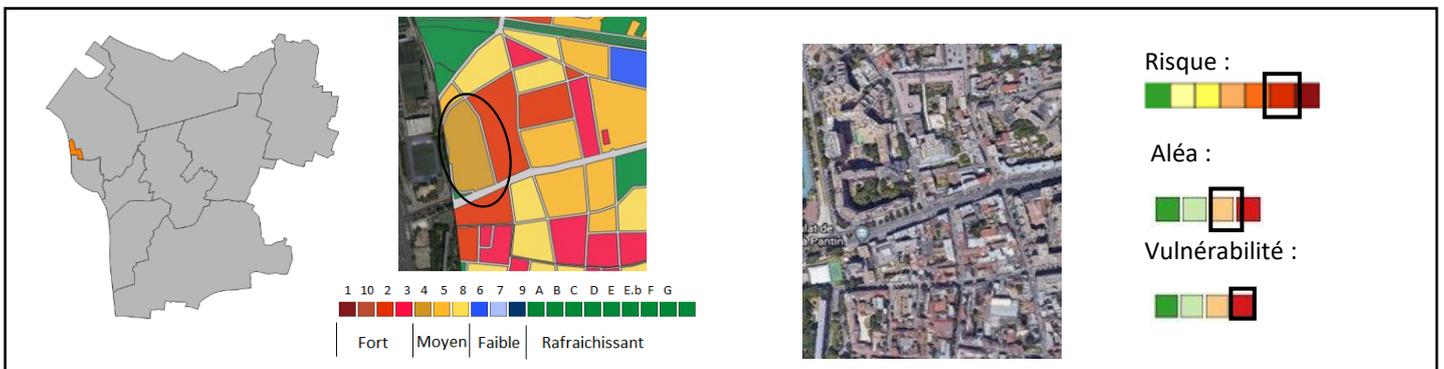
- **Dalle Paul Eluard, Bobigny** : suggéré par Est-Ensemble, ce site est en projet de restructuration. Le risque identifié est élevé (4/6).



- **Pont de Bondy, Bondy** : suggéré par Est Ensemble, ce site est très observé car il cumule les nuisances (bruit, qualité de l'air, manque de végétalisation, etc.). Le capteur a été installé devant le lycée Madeleine Vionnet. Ce lieu représente un risque élevé (5/6).



- **Ilot 27, Pantin** : suggéré par Est-Ensemble, l'îlot 27 a été identifié comme étant à risque élevé (5/6). Le capteur a été installé au sein de l'îlot 27, comportant de grands enjeux de sensibilité car étant situé près d'une école.



### 3.2.3 Les analyses

Les deux sessions de mesures se sont déroulées durant l'été 2021, du 21 juin au 23 août pour la première session de mesures, puis du 23 août au 5 octobre pour la deuxième.

**Cette campagne s'étant déroulée en deux phases distinctes, les analyses qui figurent ci-dessous compareront les points de mesure entre eux, uniquement sur une même période.** 5 capteurs ont donc été étudiés pour chaque campagne, avec comme unique point commun le point de référence : le Parc des Beaumonts.

Ce point de référence a été choisi selon plusieurs critères :

- Il est situé sur le territoire d'Est Ensemble, il est donc soumis aux mêmes conditions météorologiques que les autres points.
- Il correspond à un espace préservé de la bétonisation, localisé au cœur d'un espace vert.
- Le site est présumé « frais », ne bénéficie d'aucune ombre portée, et est localisé dans un espace dégagé propice à une bonne circulation de l'air.

L'été 2021 n'a pas été très chaud dans son ensemble et sans alerte canicule particulièrement marquante. Cependant, l'étude globale des quatre mois a fait ressortir **deux périodes particulièrement chaudes, une pour chaque session de mesure.**

Lorsque l'on observe les moyennes de températures journalières :

- La température du parc des Beaumonts atteint entre 23°C et 24°C de moyenne (calculée sur 24h, comprenant les températures de jour et de nuit), **entre le 18 et le 24 juillet**, visible sur la figure 14 ci-dessous.
- La température du parc des Beaumonts atteint entre 22°C et 23°C de moyenne (calculée sur 24h, comprenant les températures de jour et de nuit), **entre le 4 et le 9 septembre**, visible sur la figure 15 ci-dessous.

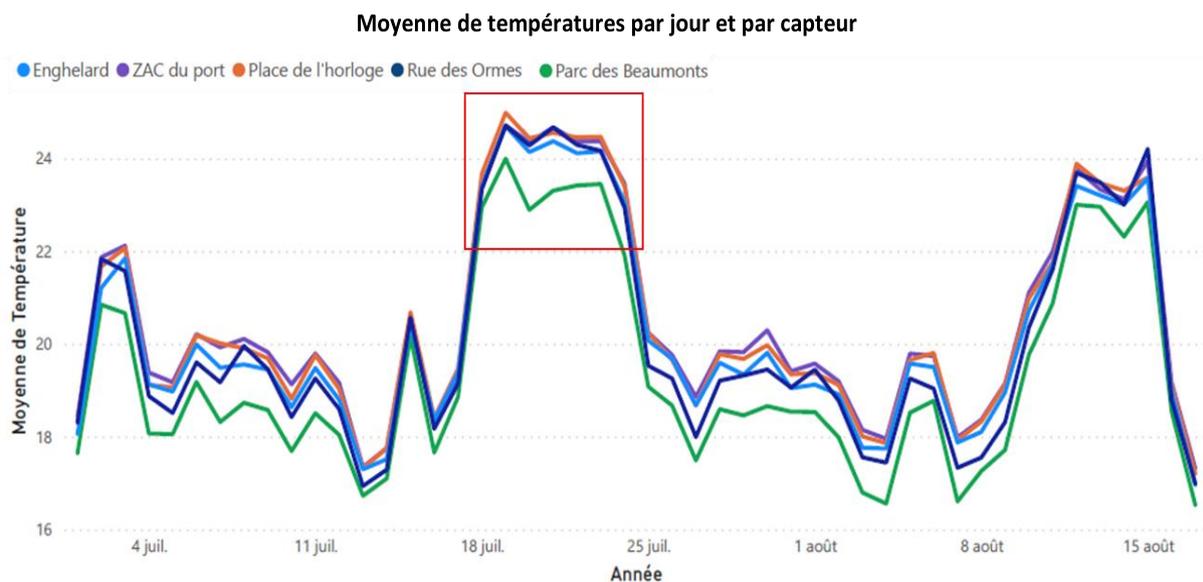


Figure 14 : Moyennes des températures journalières de la première campagne de mesures

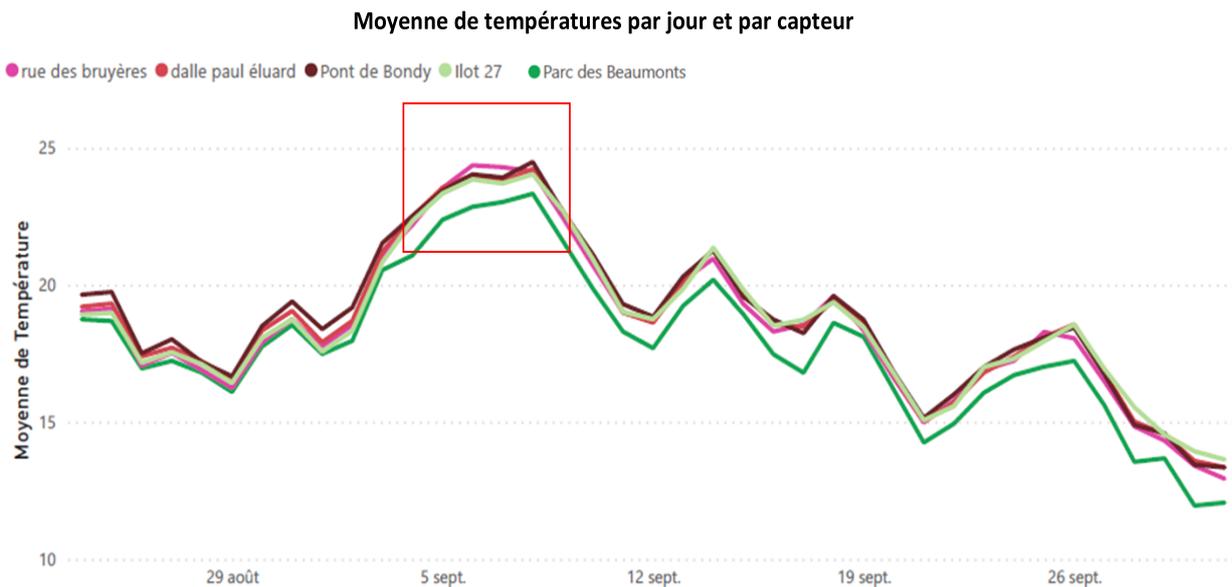


Figure 25 : Moyennes des températures journalières de la deuxième campagne de mesures

Ayant émis l’hypothèse que les effets d’îlots de chaleur étaient plus marqués durant les périodes les plus chaudes, les analyses se sont concentrées sur les deux phases mentionnées précédemment : **du 18 au 24 juillet pour la première campagne, et du 4 au 9 septembre pour la deuxième campagne.**

### 3.2.3.1 Les méthodes d’analyse

Pour chacun des 9 zooms, plusieurs méthodes d’analyse ont été sélectionnées et croisées. Ces méthodes sont éprouvées et ont notamment été utilisées pour les campagnes de mesure de la Seine Saint-Denis<sup>14</sup> et de Metz<sup>15</sup>. Il s’agit de :

- **La comparaison entre la moyenne de température horaire** du point et les autres points sur la même période.
- **L’analyse de l’effet d’îlot de chaleur urbain** : cette valeur exprimée en °C correspond au delta de température horaire du point par rapport à la station de référence (différence entre la température du capteur et la température mesurée au Parc des Beaumonts). Une valeur positive (+2°C par exemple) traduit un effet d’îlot de chaleur, tandis qu’une valeur neutre ou négative (-0,5°C) indique un effet d’îlot de fraîcheur. Le Parc des Beaumonts en tant que point de référence ne figure pas dans cette analyse.
- **Le nombre de fois où le capteur relève la température la plus élevée** parmi les 5 capteurs de la campagne, pour chaque heure (à partir des températures moyennes horaires de chaque capteur).
- **Le nombre de fois où le capteur relève une température la plus basse** parmi les 5 capteurs de la campagne, pour chaque heure (à partir des températures moyennes horaires de chaque capteur).

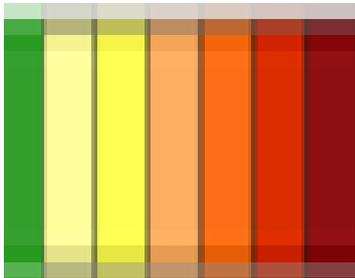
<sup>14</sup> Etude des îlots de chaleur urbains du Laboratoire Population Environnement Développement (LPED)

<sup>15</sup> Mesure et spatialisation de l’îlot de chaleur urbain dans l’aire urbaine de Metz Métropole : premiers résultats de la campagne de mesure 2019

### 3.2.3.2 Les résultats pour chaque site d'étude

Session 1 & 2

## Parc des Beaumonts

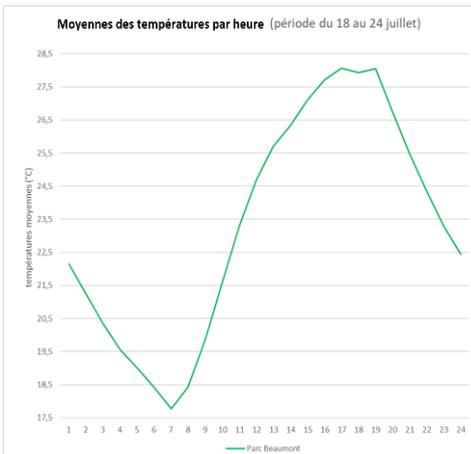


#### Contexte :

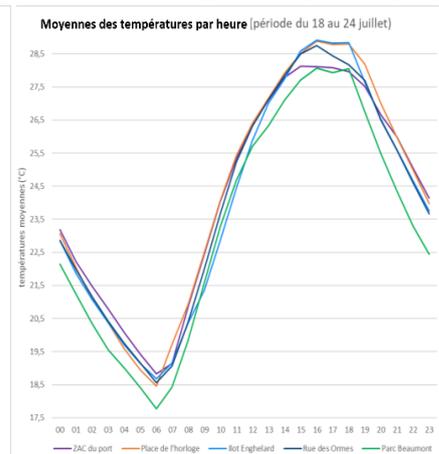
Le capteur était positionné à une hauteur estimative de 4 mètres, orienté sud, en contre-bas du parc des Beaumonts, sur une structure en métal. Il se situait au milieu d'une zone dégagée et aérée, entièrement perméable (herbe). Derrière le parc se trouve une zone d'immeubles denses. Une « barrière » d'arbres coupe le plateau des immeubles, permettant ainsi de lui attribuer le rôle de point de référence, semblable à une zone non urbanisée.

#### Moyennes des températures :

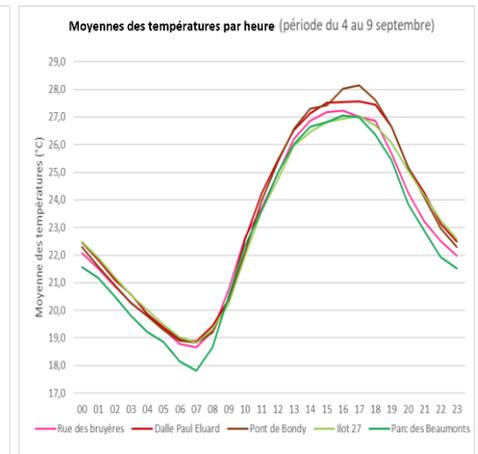
Les écarts de températures dans une même journée peuvent atteindre 10°C au parc des Beaumonts. Dès la fin de journée (vers 18h), la température chute jusqu'à 7h. Durant la 1ère session, les températures les plus fraîches des sites analysés ont été observées sur le parc, sauf entre 9h et 13h, où l'îlot d'Enghelard est le plus frais. Entre 18h et 23h, l'écart de température avec les autres stations est marqué, car la température du parc redescend bien plus vite que sur les autres sites. La même tendance est observée durant la 2ème session. L'écart de température reste marqué jusqu'à 7h. En journée, l'îlot 27 est légèrement plus frais jusqu'à 16h (ce résultat est dû à une ombre).



Campagne de mesure n°1



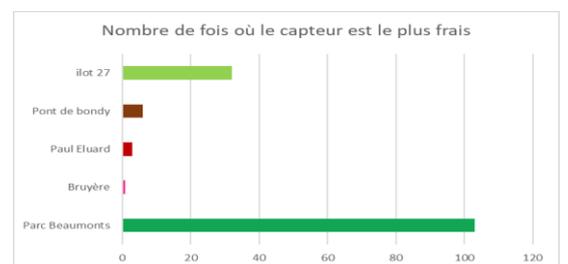
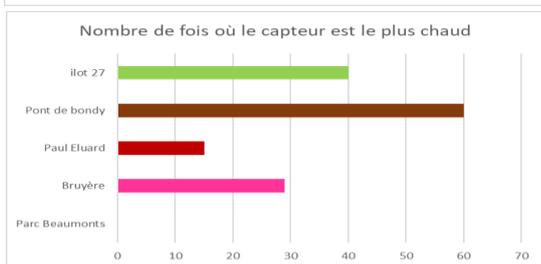
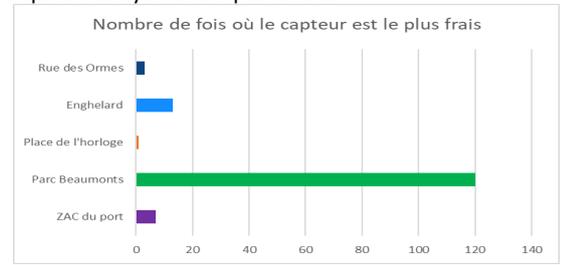
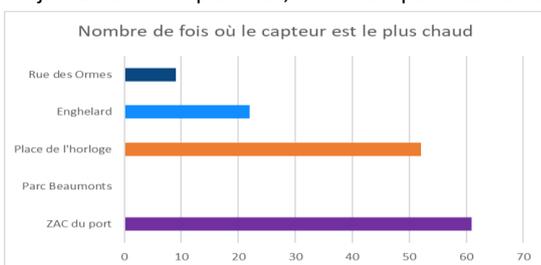
Campagne de mesure n°1



Campagne de mesure n°2

#### Nombre de fois où le capteur relève la température la plus chaude/fraîche :

Le parc n'est jamais le point le plus chaud, ni sur la première, ni la deuxième session de mesure. Sur les deux sessions, le parc est majoritairement le plus frais, et cela est particulièrement notable la nuit et le soir, d'après l'analyse heure par heure.

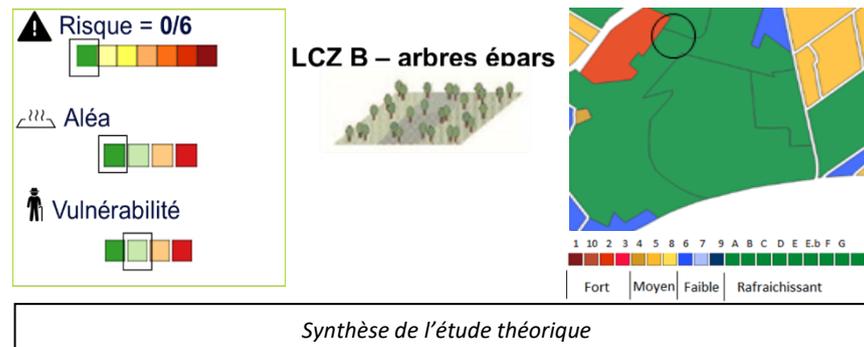


**Effet d'ICU (delta de température par rapport à la référence) :**

Il n'y a pas de calcul de l'effet d'ICU pour le parc puisqu'il est le point de référence.

**Comparaison au modèle théorique :**

Validation de la classification de la LCZ B en rafraichissant et du risque 0 d'ICU.



Synthèse de l'étude théorique

**Conclusion :**

Le statut du parc des Beaumonts comme site de référence est validé :

- il est identifié comme un "îlot de fraîcheur" (risque 0 d'ICU)
- les relevés montrent qu'il est majoritairement le plus frais.

Le parc permet donc de comparer les écarts et les variations de température avec les autres sites.

Session 1

Lot 7 de la ZAC du port



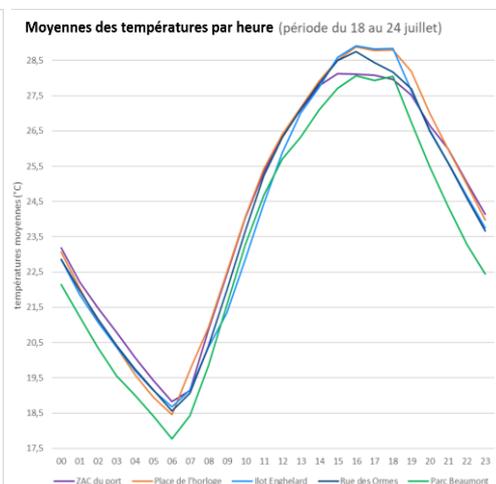
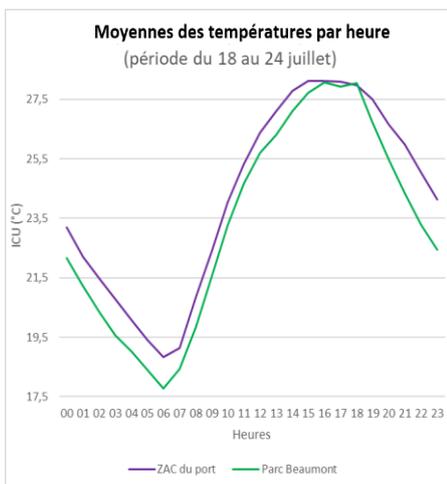
**Contexte :**

Le capteur était positionné à une hauteur d'environ 3 mètres, orienté sud. D'un côté se situait le lot 7, en friche avant le démarrage de travaux. De l'autre, un bâtiment dont la façade est recouverte de brise-soleil en verre. Ce bâtiment faisait de l'ombre au capteur en fin de journée, vers 18h. Au bout de l'allée se situe le canal de l'Ourcq. Une attention particulière doit être portée sur le fait que l'étude théorique repose sur des données du bâti datant d'avant la déconstruction du lot 7 et la construction du bâtiment en verre.

**Moyennes des températures :**

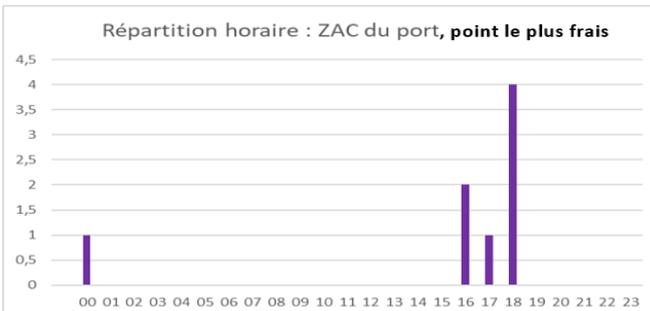
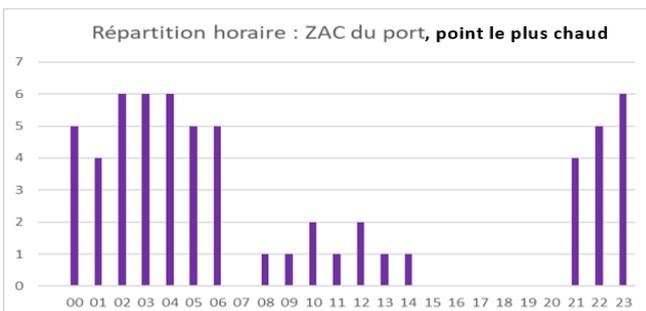
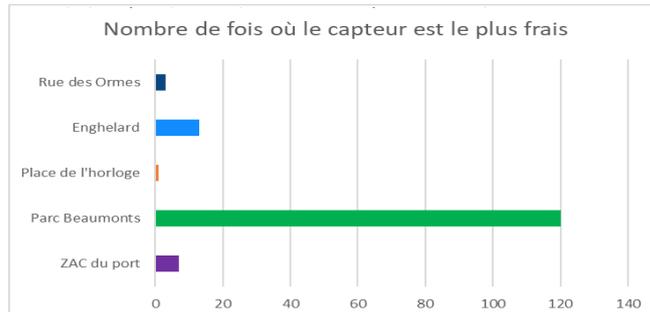
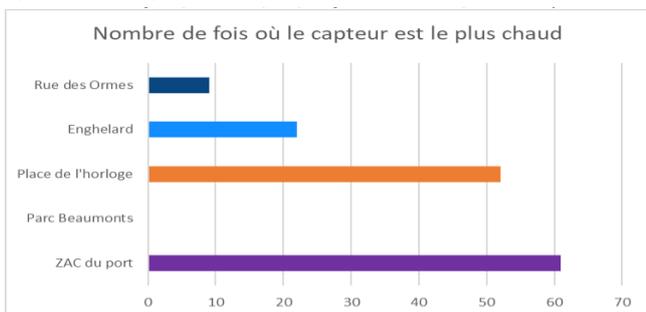
L'écart des températures avec le point de référence se creuse surtout la nuit. En journée la ZAC est plus chaude que le parc mais la différence est moins marquée. Vers 18h, les températures sont très proches de celles du parc (cela est lié à l'ombre du bâtiment sur le capteur).

Durant la nuit, entre minuit et 6h, c'est le moment où la ZAC est la plus chaude par rapport au point de référence. Pour autant, il n'y a pas de pic de chaleur intense à 17h comme sur les autres sites.



**Nombre de fois où le capteur relève la température la plus chaude/fraîche :**

La ZAC du port est 61 fois le point le plus chaud, soit 42% des températures maximales horaires de la période. Le plus souvent, c'est entre 23h et 4h. La ZAC du port est donc le site présentant le plus souvent les températures les plus élevées. Toutefois, il n'est jamais le site le plus chaud l'après-midi.

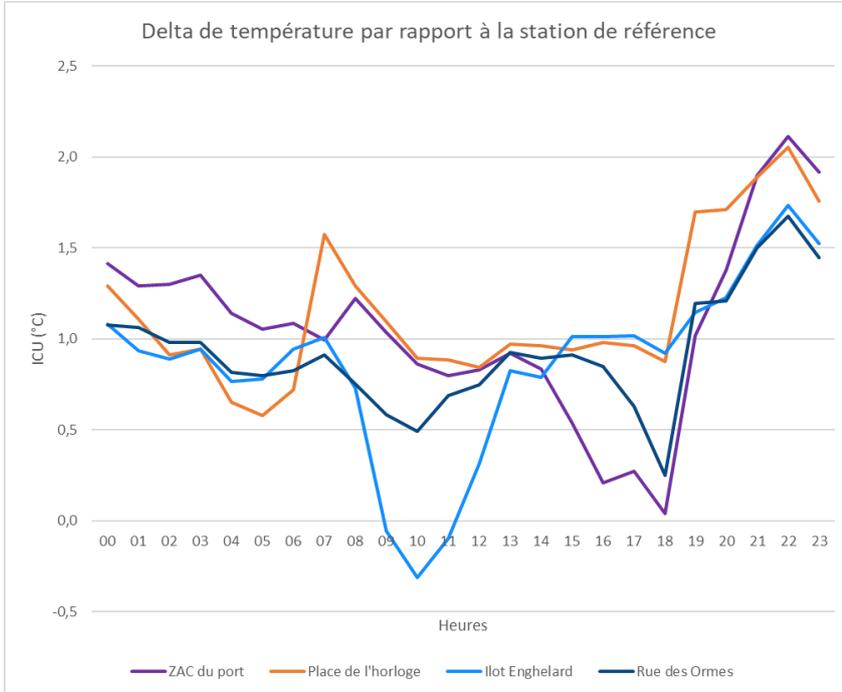


Session 1

Lot 7 de la ZAC du port

**Effet d'ICU (delta de température par rapport à la référence) :**

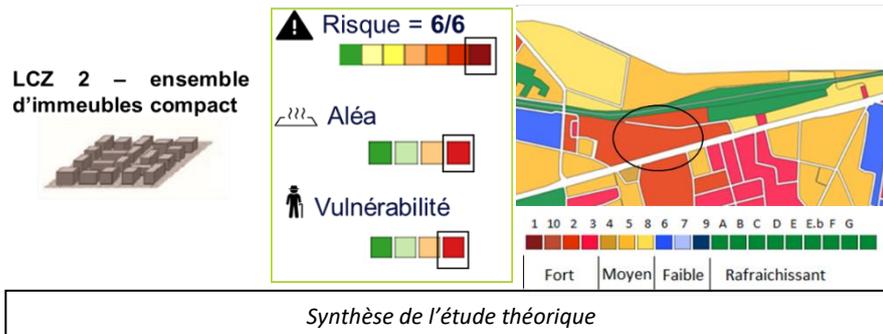
L'effet d'ICU de la ZAC du port est en moyenne de 1,1°C, avec un maximum de 2,1°C atteint à 22h et un minimum à 0°C à 18h (capteur à l'ombre).



|               | moyenne (en °C) | min (en °C) | max (en °C) |
|---------------|-----------------|-------------|-------------|
| ZAC du port   | 1,1             | 0,0         | 2,1         |
| Paddock       | 1,1             | 0,6         | 2,1         |
| Engelhard     | 0,9             | -0,3        | 1,7         |
| Rue des ormes | 0,9             | 0,2         | 1,7         |

**Comparaison au modèle théorique :**

Ici, l'étude théorique est différente de la réalité car le site est occupé par un nouveau bâtiment et une friche. La classification en LCZ 2 (ensemble d'immeubles compact) ne correspond pas à l'état actuel d'une friche. Cependant, l'hypothèse d'un impact fort de la morphologie urbaine actuelle sur la chaleur, et donc l'aléa, est validée. **Validation du risque ICU 6/6.**



**Conclusion :**

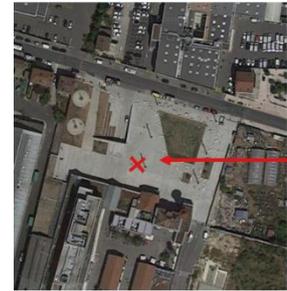
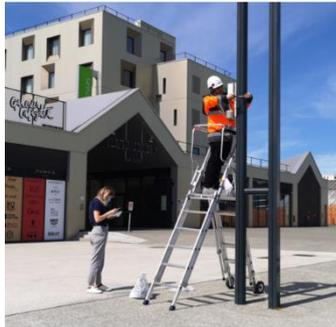
**La ZAC du port est un îlot de chaleur.** L'effet d'îlot de chaleur est visible de nuit, avec un ICU entre 1 et 2°C par rapport à la station de référence.

L'air ambiant monte moins en température que sur d'autres stations, l'hypothèse émise est donc la suivante : les matériaux stockent la chaleur en la reflétant peu. Elle est donc accumulée en profondeur dans les matériaux plutôt que directement émise. Cette hypothèse explique également que la ZAC du port **se rafraichisse moins bien que les autres points la nuit** (entre 22h et 6h) car les matériaux ont du mal à descendre en température et que le manque d'espaces végétalisés ralentit le processus de rafraichissement (il n'y a pas d'évapotranspiration à proximité immédiate).

Compte-tenu de la présence de logements autour du lot 7, **l'ICU observé de nuit a donc un impact sur les habitants vivant autour du site.** Il est nécessaire de mettre en œuvre une action pérenne, principalement pour rafraichir cette zone la nuit, mais aussi pour offrir aux habitants un lieu de fraîcheur en journée.

Session 1

Place du Paddock



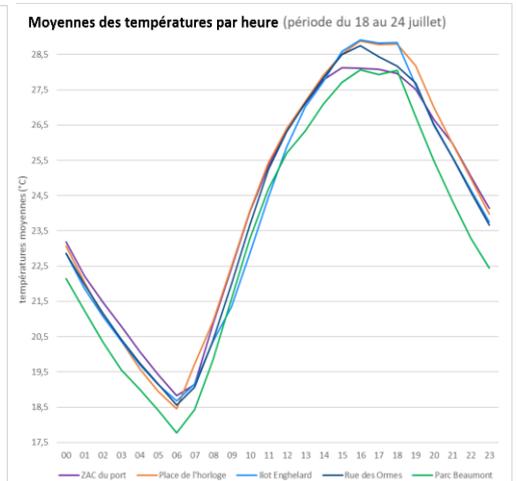
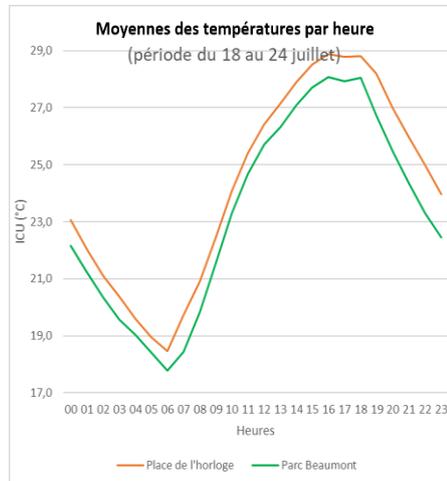
**Contexte :**

Le capteur se situait entre 2,5 et 3m de haut, orienté sud au cœur d'une place imperméable, aérée, à proximité d'un centre commercial extérieur, le Paddock, et d'une petite zone perméable.

**Moyennes des températures :**

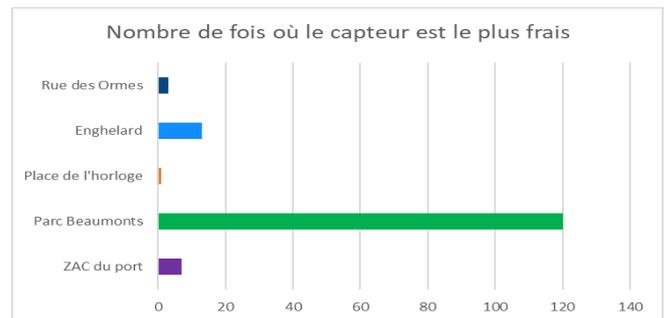
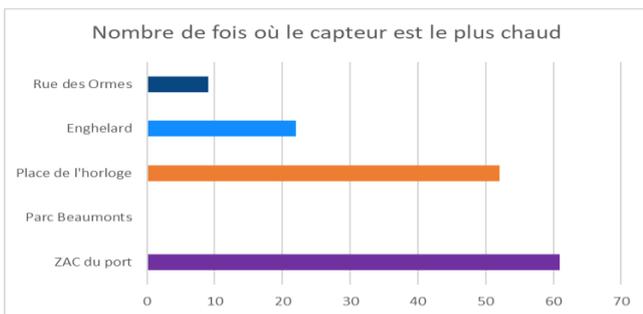
L'écart des températures est plus important en fin de journée, et se réduit durant la journée.

Le capteur de la place du Paddock (appelée sur les graphiques « Place de l'horloge ») semble être le point le plus chaud en fin de journée, même s'il se rafraîchit en fin de nuit. Il est plutôt frais le matin de 4h à 6h.



**Nombre de fois où le capteur relève la température la plus chaude/fraîche :**

La place est la plus chaude 52 fois, soit 36% des températures maximales. Elle est particulièrement chaude le matin et le soir (21h/22h). Cependant, elle n'est jamais la plus chaude la nuit. La place est uniquement une fois la plus fraîche, soit moins d'1% des températures minimales.

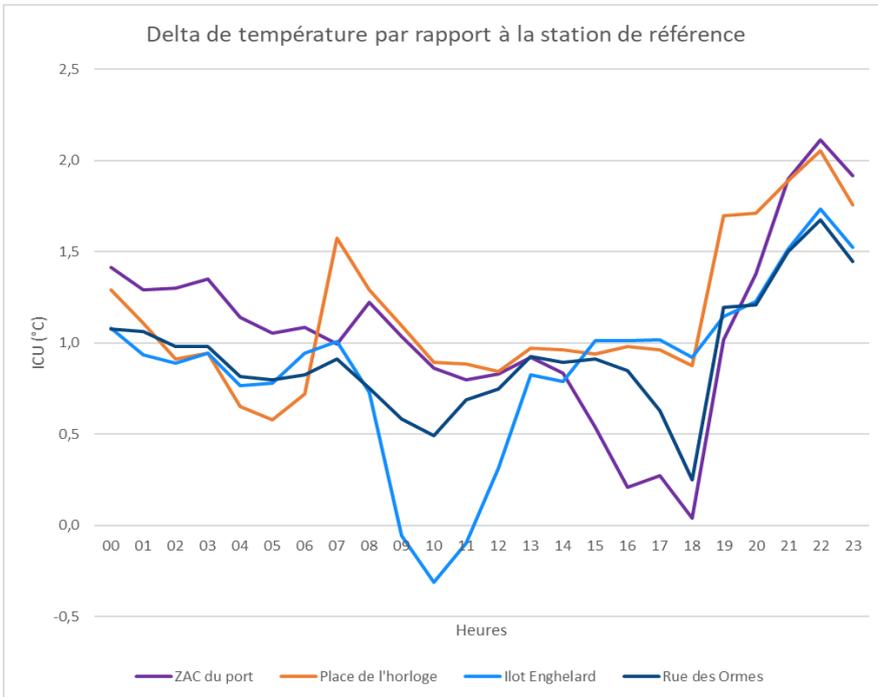


Session 1

Place du Paddock

**Effet d'ICU (delta de température par rapport à la référence) :**

L'effet d'ICU de la place du Paddock est en moyenne de 1,1°C, avec un maximum de 2,1°C atteint à 22h et un minimum de 0,6°C à 5h.

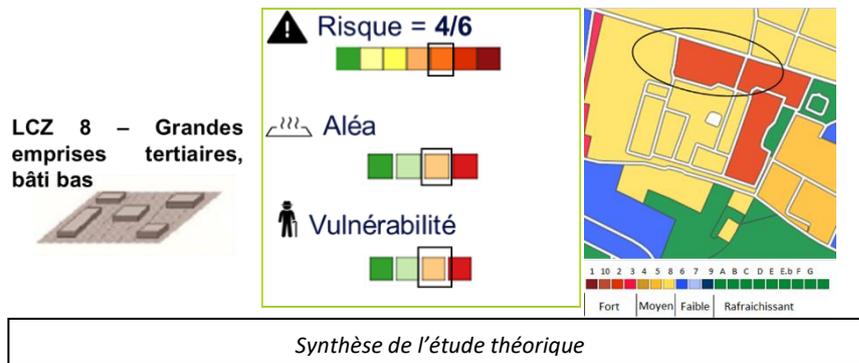


|               | moyenne (en °C) | min (en °C) | max (en °C) |
|---------------|-----------------|-------------|-------------|
| ZAC du port   | 1,1             | 0,0         | 2,1         |
| Paddock       | 1,1             | 0,6         | 2,1         |
| Engelhard     | 0,9             | -0,3        | 1,7         |
| Rue des ormes | 0,9             | 0,2         | 1,7         |

**Comparaison au modèle théorique :**

L'étude théorique est ici contestable, car l'aménagement actuel de la place du paddock est très récent (fin 2019). La typologie LCZ 8 de grandes emprises tertiaires semble tout de même correspondre. Par ailleurs, comme il est possible de le voir sur la carte LCZ, la place se situe entre deux typologies (LCZ 8 et LCZ 2, classifiées différemment).

Il est tout de même possible de conclure que la morphologie urbaine a un impact fort sur la chaleur, grâce aux mesures. **Le risque ICU 4/6 est validé de nuit.**



**Conclusion :**

La place du Paddock est **très chaude durant la journée**, elle émet de la chaleur jusqu'au moment du coucher de soleil. **Son effet d'ICU est quantifié à +2,1°C à 22h, et à +1,6°C à 7h.** Elle est très souvent le point le plus chaud en journée, notamment à 9h et à 21h-22h. Cette montée en température intense de jour et sa diminution rapide dès la disparition du soleil permet d'émettre l'hypothèse que ses matériaux reflètent la chaleur plutôt que de l'accumuler (grâce à l'albédo d'un revêtement clair).

Il y a peu de logements autour de la place, **l'ICU n'a donc pas d'impact majeur sur les habitants qui vivent autour du site.** Cependant, elle est située devant le Paddock, centre commercial à forte affluence en journée. **L'inconfort des utilisateurs est majeur en journée en été,** lorsque les températures sont les plus chaudes.

Session 1

Ilot d'Engelhard



Capteur

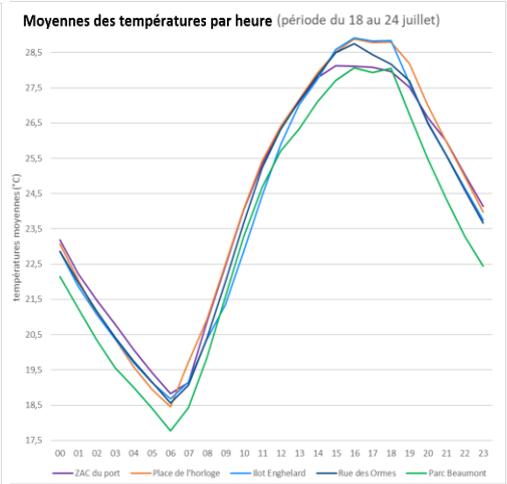
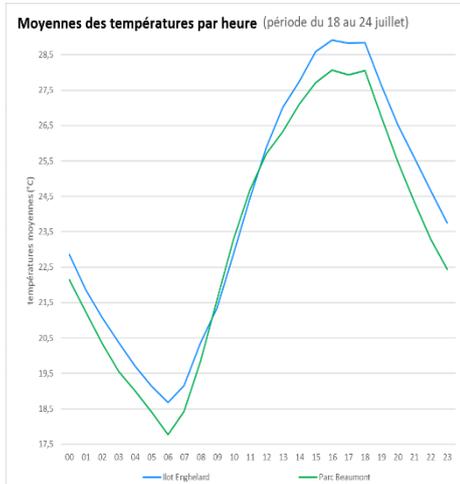
**Contexte :**

Le capteur était positionné à environ 2,5 m de haut, orienté sud, au cœur d'un îlot de logements épars, **très végétalisé** en son cœur (beaucoup de surface perméable et de végétaux). L'îlot se situe à proximité du canal de l'Ourcq, du pont de Bondy (forte circulation de véhicules thermiques) et d'une ligne de chemin de fer, notamment utilisée pour du fret.

La construction est récente, sa morphologie n'est donc pas celle identifiée dans l'étude théorique.

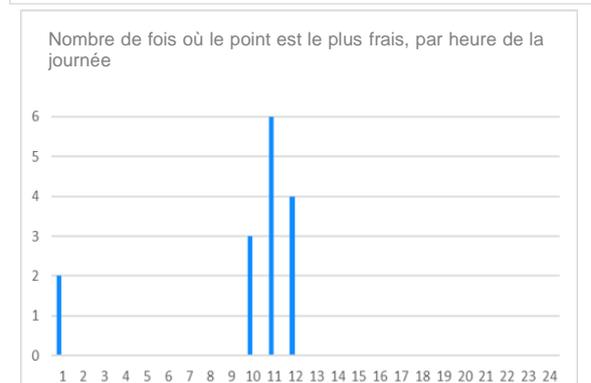
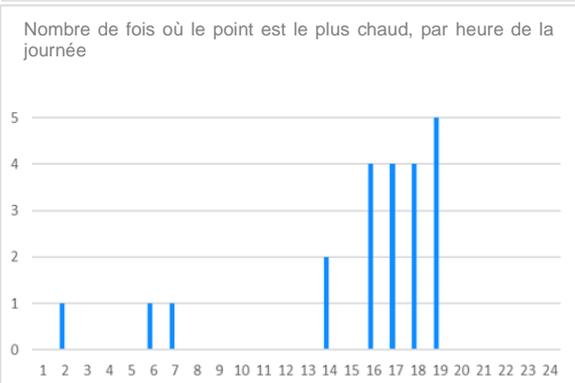
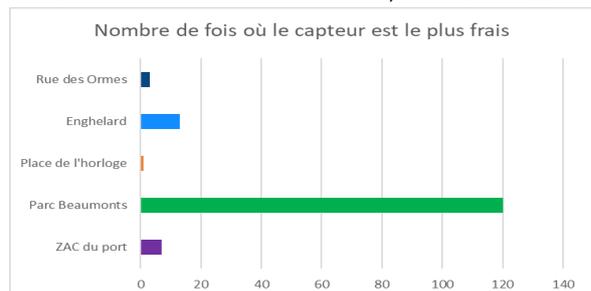
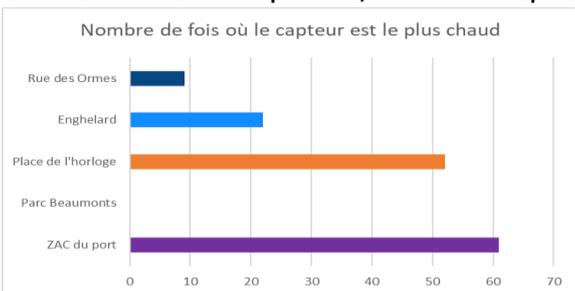
**Moyennes des températures :**

Les moyennes de température de l'îlot d'Engelhard sont généralement plus élevées que celles du capteur de référence, avec un écart plus important en fin d'après-midi et le matin avant le lever du soleil. En fin de matinée, l'îlot est en moyenne plus frais que le parc des Beaumonts. **C'est donc le point le plus frais dans la matinée mais également l'un des plus chauds en fin d'après-midi.**



**Nombre de fois où le capteur relève une température la plus chaude/fraîche :**

L'îlot d'Engelhard est **22 fois le plus chaud**, soit 15% des températures maximales. Il est le plus chaud en majorité en fin d'après-midi, entre 16h et 19h. Il est **13 fois le plus frais**, soit 9% des températures minimales. La fraîcheur est identifiée le matin, entre 10h et 12h.

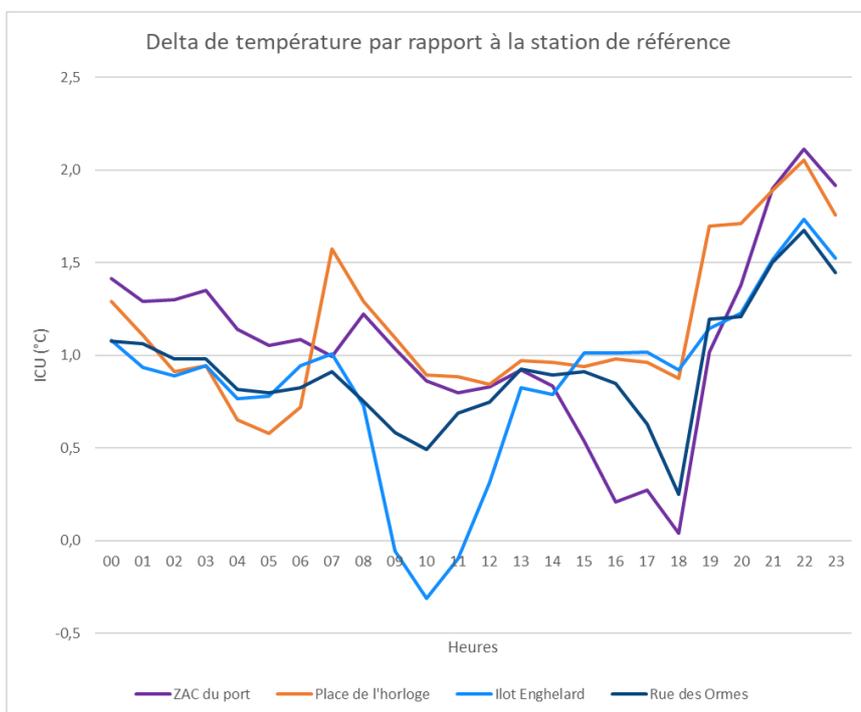


## Session 1

## Ilot d'Engelhard

**Effet d'ICU (delta de température par rapport à la référence) :**

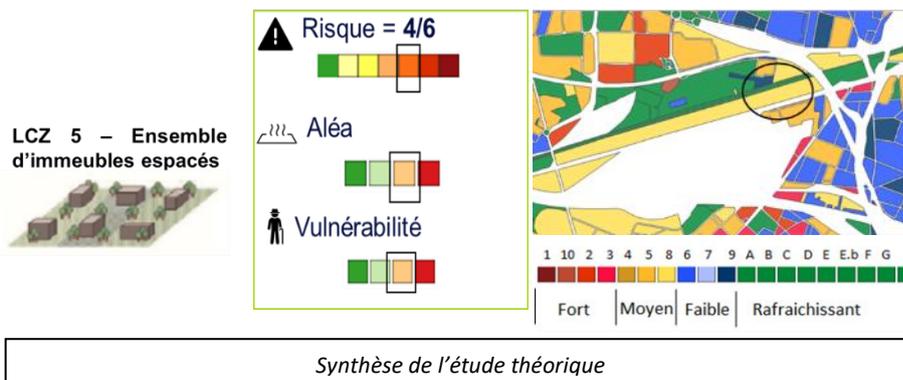
L'effet d'ICU de l'îlot d'Engelhard est en moyenne de 0,9°C, avec un maximum de 1,7°C atteint à 22h et un minimum de -0,3°C à 10h.



|               | moyenne<br>(en °C) | min<br>(en °C) | max<br>(en °C) |
|---------------|--------------------|----------------|----------------|
| ZAC du port   | 1,1                | 0,0            | 2,1            |
| Paddock       | 1,1                | 0,6            | 2,1            |
| Engelhard     | 0,9                | -0,3           | 1,7            |
| Rue des ormes | 0,9                | 0,2            | 1,7            |

**Comparaison au modèle théorique :**

L'étude théorique n'est pas alignée avec la réalité du terrain, car le site a changé depuis la date des données d'entrée. L'îlot peut être considéré comme un îlot de fraîcheur en matinée, puisqu'il est plus frais que le parc des Beaumonts. Son risque de 4/6 devrait être reclassifié en 3/6, avec une LCZ à faible impact sur la chaleur. La LCZ 8 « grandes emprises tertiaires » ne correspond pas à la réalité. Le LCZ représenté correspondrait à un LCZ 5 « ensemble d'immeubles espacés ».

**Conclusion :**

L'îlot d'Engelhard est l'un des points qui est le plus à l'équilibre : 15% des températures maximales et 9% des températures minimales. Le matin, il est généralement plus frais que les autres points de mesure, y compris le parc, c'est donc un îlot de fraîcheur (jusqu'à -0,25°C d'effet ICU). Il devient cependant chaud en fin de journée (+1,7°C d'effet ICU), même si cela reste bien moins chaud que les autres points (aux alentours de +2,2°C). L'hypothèse émise est que cela est dû aux matériaux et végétaux qui n'accumulent pas la chaleur mais la reflètent. Cette hypothèse pourrait se confirmer par le rafraîchissement rapide dès le coucher du soleil (22h). Ainsi, l'intensité du pic de chaleur le soir est limitée grâce à la fraîcheur accumulée le matin.

Session 1

Rue des Ormes



Capteur

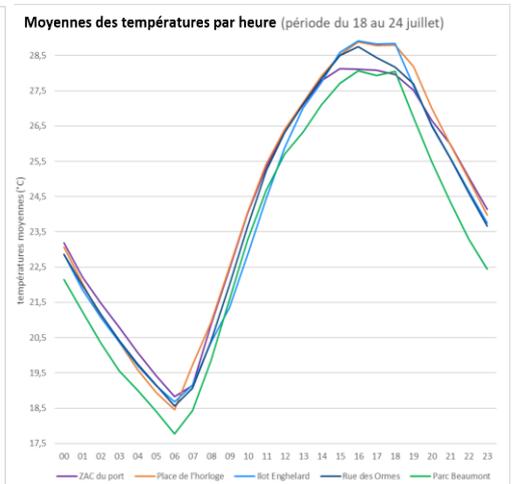
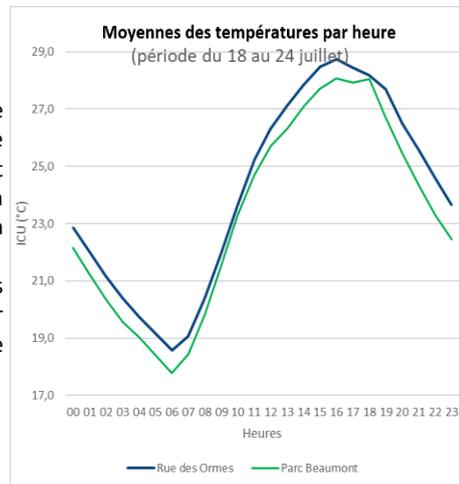
**Contexte :**

Le capteur était situé à 3m de hauteur environ, orienté sud, dans la rue des Ormes au sein d'un tissu résidentiel composé de maisons individuelles avec jardins.

**Moyennes des températures :**

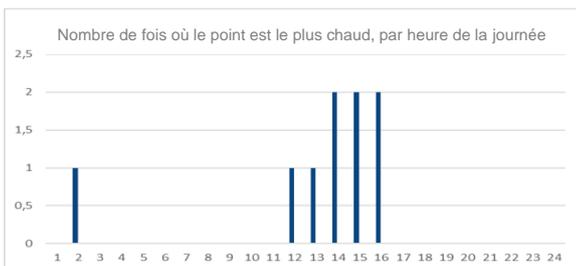
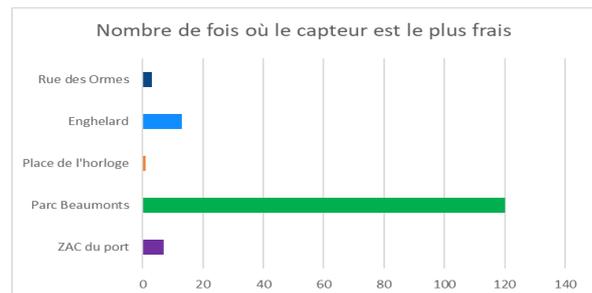
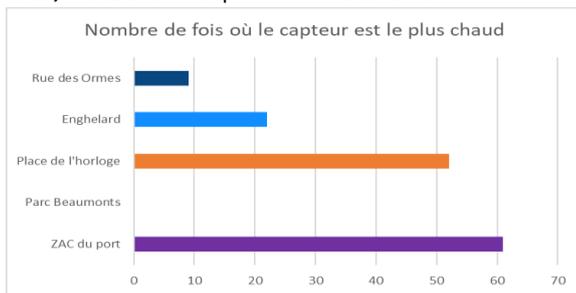
On remarque un léger écart entre 13h et 16h entre les moyennes de températures de la rue des Ormes et celles du parc. Cela correspond à la chaleur ambiante l'après-midi en période de forte chaleur.

Le point ne se distingue pas particulièrement. Un pic de chaleur est visible en fin de journée mais il se dissipe très rapidement.



**Nombre de fois où le capteur relève la température la plus chaude/fraîche :**

Le capteur rue des Ormes est 9 fois le plus chaud (6% des températures maximales, majoritairement entre 14h et 16h) et 3 fois le plus frais, soit 2% des températures minimales.

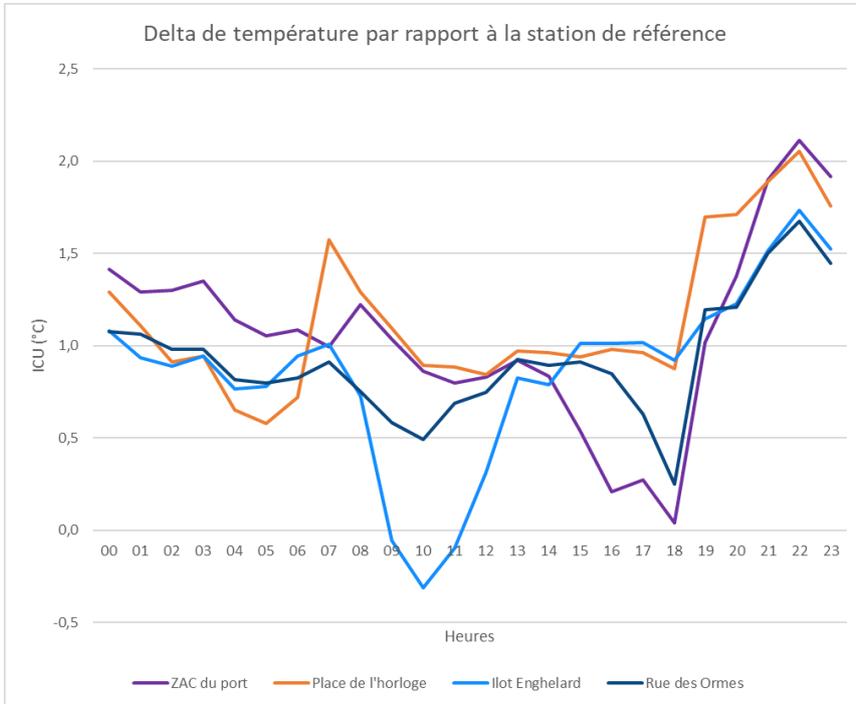


Session 1

Rue des Ormes

**Effet d'ICU (delta de température par rapport à la référence) :**

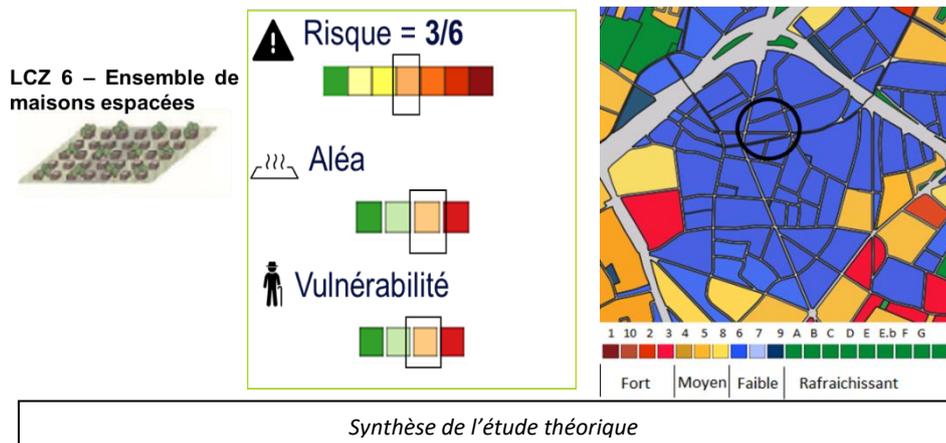
L'effet d'ICU de la rue des Ormes est en moyenne de 0,9°C, avec un maximum de +1,7°C atteint à 22h et un minimum de +0,2°C à 18h.



|               | moyenne (en °C) | min (en °C) | max (en °C) |
|---------------|-----------------|-------------|-------------|
| ZAC du port   | 1,1             | 0,0         | 2,1         |
| Paddock       | 1,1             | 0,6         | 2,1         |
| Engelhard     | 0,9             | -0,3        | 1,7         |
| Rue des ormes | 0,9             | 0,2         | 1,7         |

**Comparaison au modèle théorique :**

La classification de la LCZ 6 en impact faible est validée par la campagne de mesure. **Le risque 3/6 est validé.**



**Conclusion :**

Le capteur de la rue des Ormes **ne relève pas d'effet d'ICU** : il ne dépasse que très rarement +1°C hormis le soir vers 22h mais la température redescend ensuite progressivement. **L'hypothèse est que l'aménagement urbain a un faible impact sur les effets de variation de température** ou de rétention de chaleur. Les variations semblent être naturellement régulées : températures élevées après une journée au soleil et baisse des températures la nuit car il n'y a pas d'accumulation ni de stockage de chaleur.



**Contexte :**

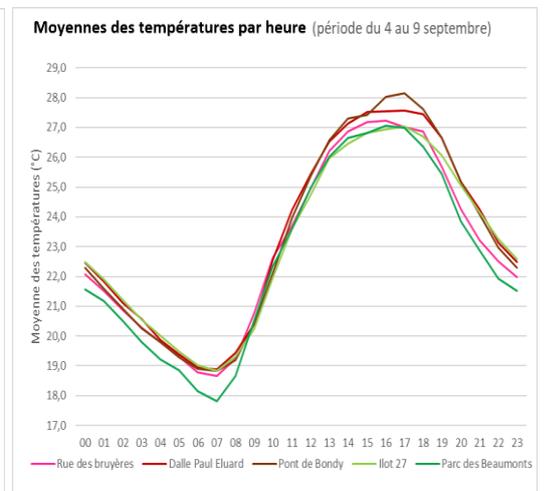
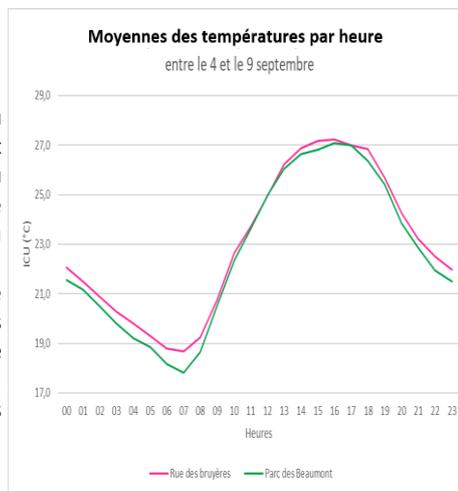
Le capteur est situé à environ 4 m de haut, orienté sud, dans la rue des Bruyères au sein d'un quartier résidentiel composé d'immeubles compacts.

Les résultats doivent être analysés avec précaution car le capteur a bénéficié de l'ombre portée des bâtiments l'entourant (notamment le matin).

**Moyennes des températures :**

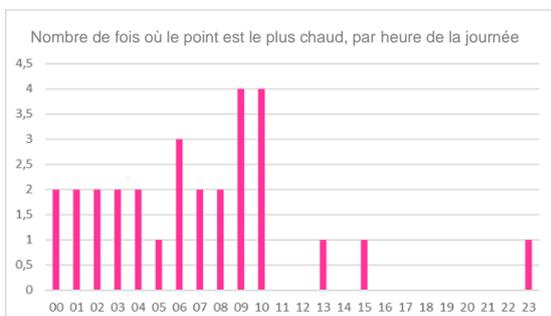
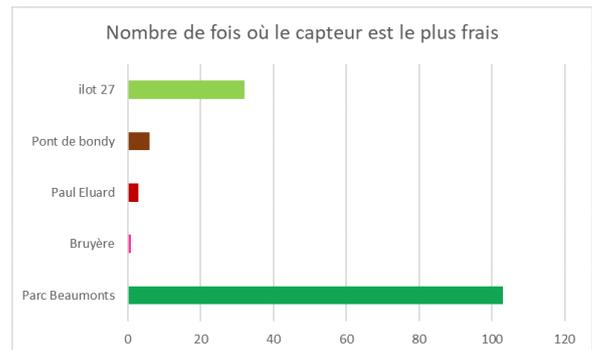
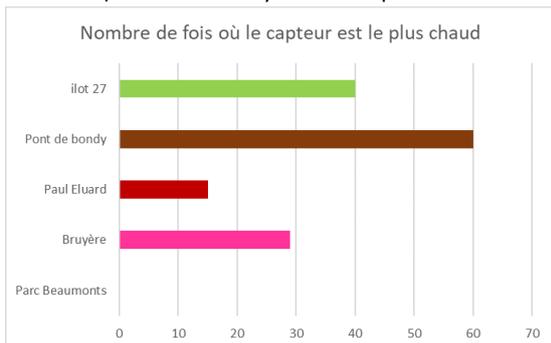
Les relevés de températures du capteur de la rue des Bruyères sont relativement similaires à ceux du parc des Beaumonts. L'écart se creuse très légèrement vers 7h du matin.

La rue des Bruyères ne se démarque pas particulièrement des autres sites, à part entre 9h et 11h où le capteur est en moyenne plus chaud, et vers 23h où il est l'un des plus frais.



**Nombre de fois où le capteur relève la température la plus chaude/fraîche :**

La rue des Bruyères est 29 fois le site le plus chaud (20% des températures maximales, notamment durant la nuit et particulièrement entre 9h et 10h). La rue des Bruyères n'est qu'une seule fois le site le plus frais.

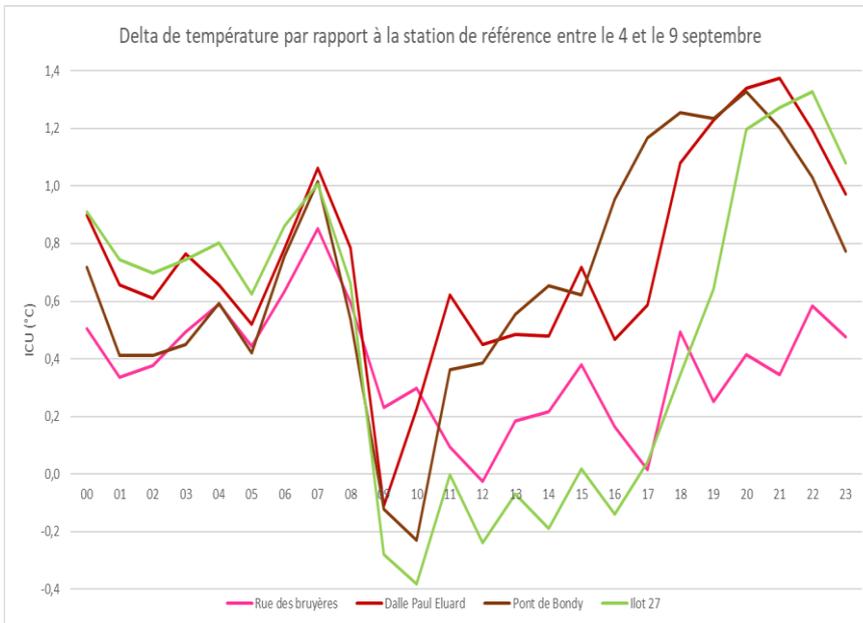


## Session 2

## Rue des Bruyères

**Effet d'ICU (delta de température par rapport à la référence) :**

L'effet d'ICU de rue des Bruyères est en moyenne de 0,4°C, avec un maximum de +0,9°C atteint à 7h et un minimum de 0°C à 12h.

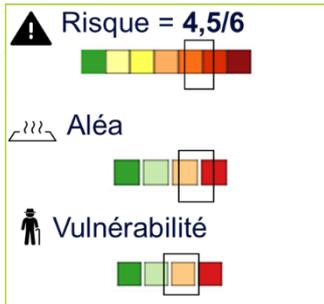


|                   | moyenne (en °C) | min (en °C) | max (en °C) |
|-------------------|-----------------|-------------|-------------|
| Rue des Bruyères  | 0,4             | 0,0         | 0,9         |
| Dalle Paul Eluard | 0,7             | -0,1        | 1,4         |
| Pont de Bondy     | 0,7             | -0,2        | 1,3         |
| Ilot 27           | 0,5             | -0,4        | 1,3         |

**Comparaison au modèle théorique :**

L'impact de la LCZ est considéré dans le modèle théorique comme fort. Cependant, l'analyse terrain indique plutôt un niveau moyen. Par ailleurs, la thermographie relève une chaleur moyenne, même si la zone est à la limite entre une classe 1 (faible) et une classe 2 (moyen). La classification en faible est choisie, selon les mesures de températures relevées. Ces modifications entraînent une reclassification du risque d'ICU (3/6). Cet écart par rapport au modèle théorique s'explique par la position du capteur, qui contrainte par les autorisations d'installation, n'est pas idéale. Le capteur se situe en effet entre deux différentes typologies de LCZ (LCZ 5 et LCZ3) qui n'ont pas les mêmes impacts (respectivement moyen et fort).

LCZ 3 – Ensemble de maisons compact



Synthèse de l'étude théorique

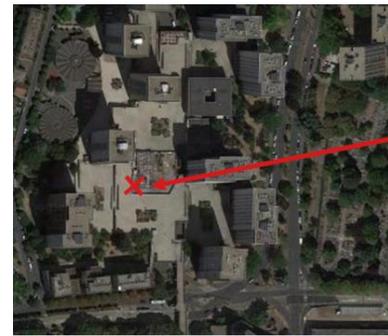
**Conclusion :**

Contrairement aux autres sites, la rue des Bruyères ne monte pas en température l'après-midi ni durant le début de la nuit. Le site reste relativement proche des températures du parc des Beaumonts. En revanche, un pic est observé en fin de nuit / début de matinée (+0,8°C).

**Le capteur de la rue des Bruyères montre que le site bénéficie de températures plutôt stables en moyenne sur la période observée (entre +0,8°C et 0°C d'effet ICU). L'impact de l'aménagement urbain est donc considéré comme moyen.**

Session 2

Dalle Paul Eluard



Capteur

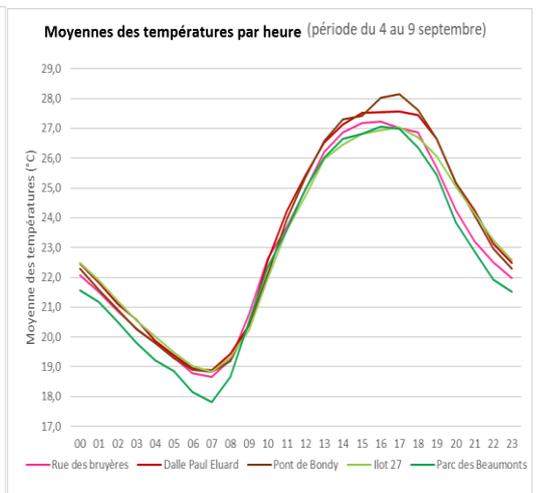
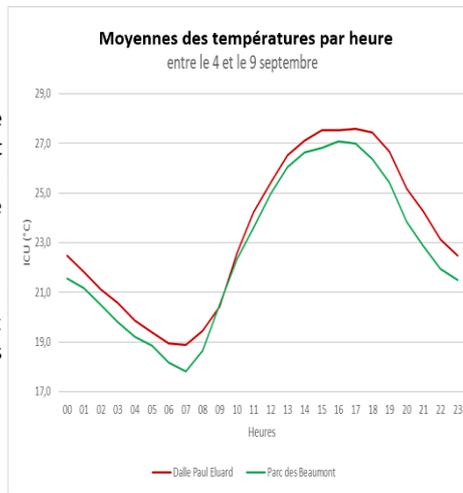
**Contexte :**

Le capteur était situé à environ 2.5 m de haut, orienté sud, sur une dalle au sein d'un quartier résidentiel composé d'immeubles hauts. Les résultats doivent être analysés avec précaution car il a bénéficié de l'ombre portée des bâtiments qui l'entourent (notamment le matin).

**Moyennes des températures :**

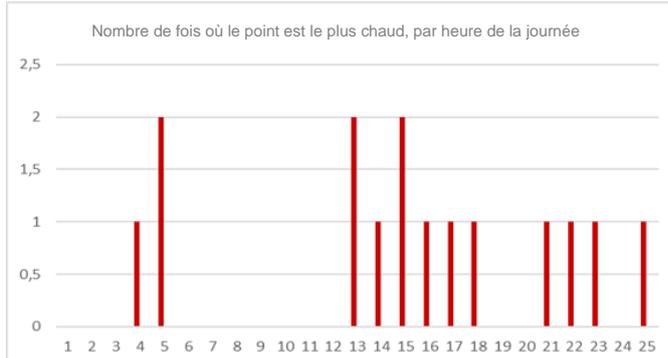
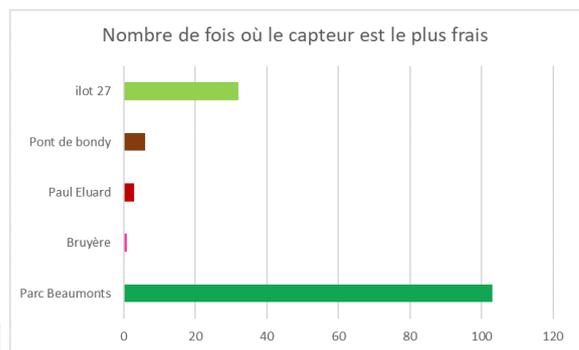
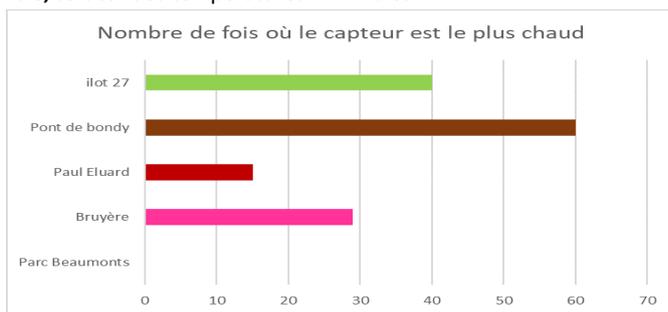
La dalle est globalement plus chaude que le parc des Beaumonts. L'écart de température se creuse surtout à partir de 18h jusqu'à minuit, puis de nouveau vers 7h.

Les relevés de températures sur la dalle Paul Eluard suivent globalement les tendances des autres capteurs. Le site demeure l'un des plus chauds entre 15h et 18h.



**Nombre de fois où le capteur relève la température la plus chaude/fraîche :**

Le site de Paul Eluard est **15 fois le plus chaud** (soit 10% des températures maximales, le plus fréquemment entre 12h et 18h) et **3 fois le plus frais**, soit 3% des températures minimales.

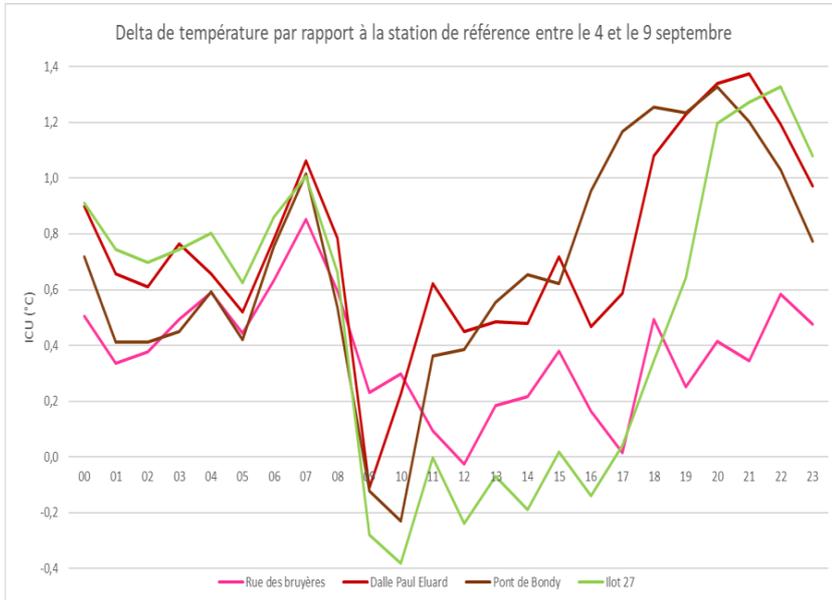


Session 2

Dalle Paul Eluard

**Effet d'ICU (delta de température par rapport à la référence) :**

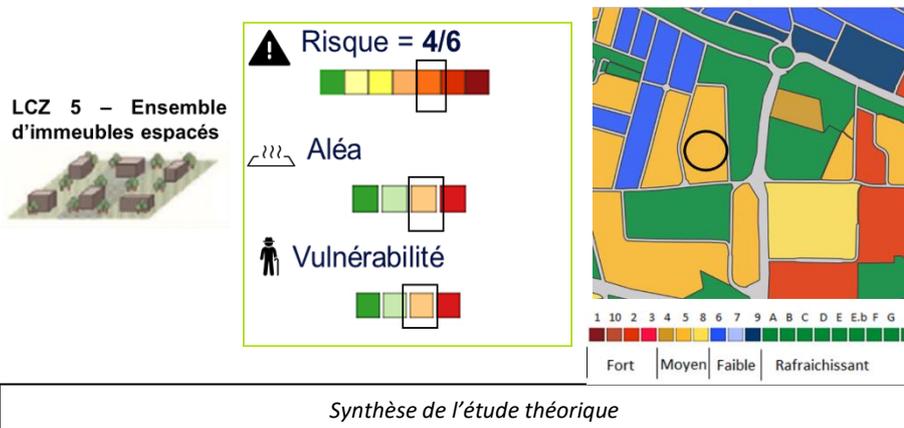
L'effet d'ICU de la dalle Paul Eluard est en moyenne de 0,7°C, avec un maximum de +1,4°C atteint à 21h et un minimum de -0,1°C à 9h.



|                   | moyenne<br>(en °C) | min<br>(en °C) | max<br>(en °C) |
|-------------------|--------------------|----------------|----------------|
| Rue des bruyères  | 0,4                | 0,0            | 0,9            |
| Dalle Paul Eluard | 0,7                | -0,1           | 1,4            |
| Pont de Bondy     | 0,7                | -0,2           | 1,3            |
| Ilot 27           | 0,5                | -0,4           | 1,3            |

**Comparaison au modèle théorique :**

Le point de mesure valide la qualification de la LCZ 5 en impact moyen sur les températures. Le risque d'ICU est de 4/6.



Synthèse de l'étude théorique

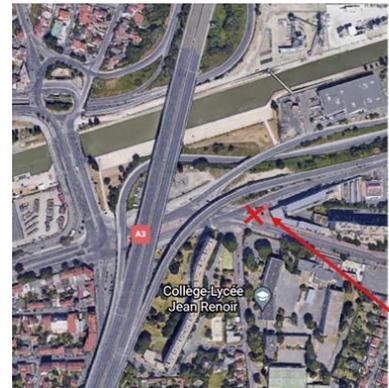
**Conclusion :**

On observe un écart important entre 18h et 23h lorsque le capteur est bien plus chaud que la station de référence (pic à +1,4°C).

La dalle Paul Eluard présente un effet d'ICU assez important. L'hypothèse émise est que les matériaux accumulent la chaleur en journée, et la restituent entre 18h et 7h du matin (jusqu'à +1,4°C).

Session 2

Pont de Bondy – Lycée Madeleine Vionnet



Capteur

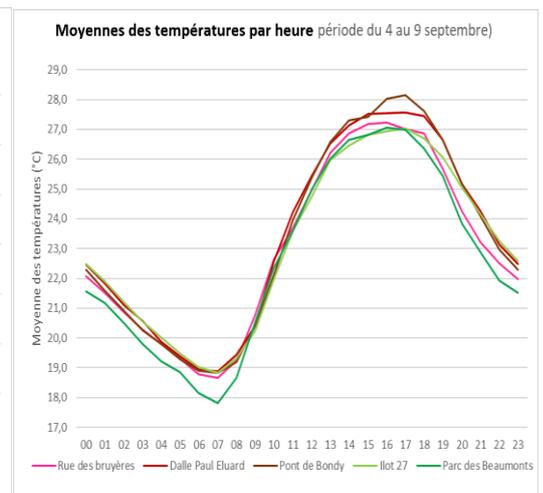
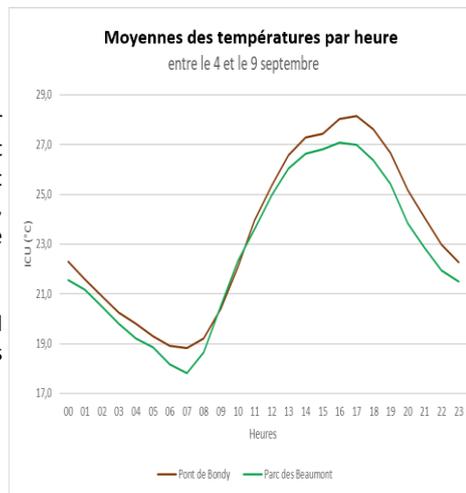
**Contexte :**

Le capteur était situé à 4m de hauteur environ, orienté sud, sur le trottoir devant le lycée Madeleine Vionnet, une zone totalement imperméable, aérée et dégagée, et à proximité du pont de Bondy, une zone de circulation dense. Le canal de l'Ourcq est à proximité.

**Moyennes des températures :**

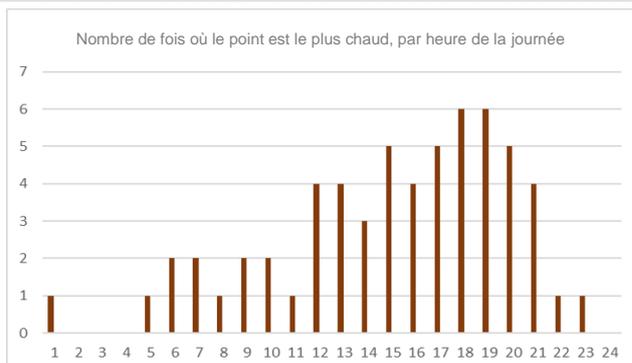
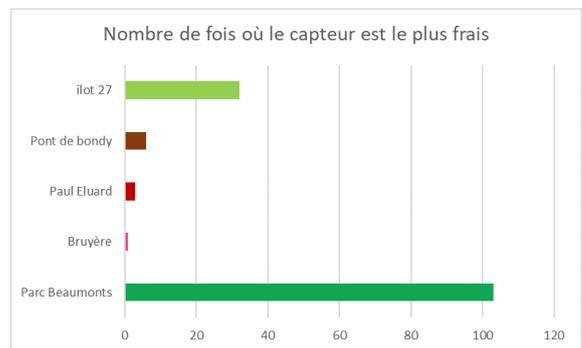
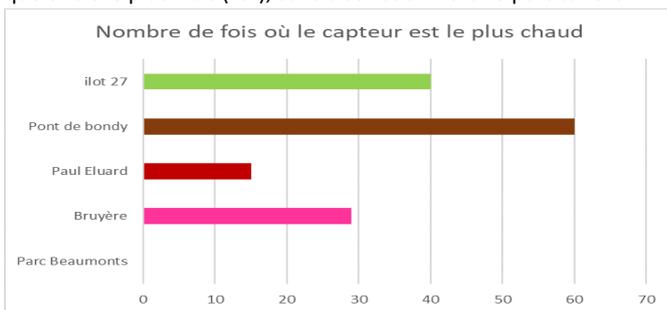
La température moyenne du capteur du lycée Madeleine Vionnet est proche de celle du parc entre 9h et 13h. Durant la fin d'après-midi, l'écart se creuse, et se réduit de nouveau jusqu'à 6h.

Le capteur est le point le plus chaud vers 17h. Il redescend sous les autres points la nuit jusqu'à 5h du matin.



**Nombre de fois où le capteur relève la température la plus chaude/fraîche :**

Le point de mesure est **60 fois le plus chaud, soit 42% des températures maximales**, le plus souvent 15h et 20h, et n'est que 6 fois le plus frais (4%), sans distinction horaire particulière.

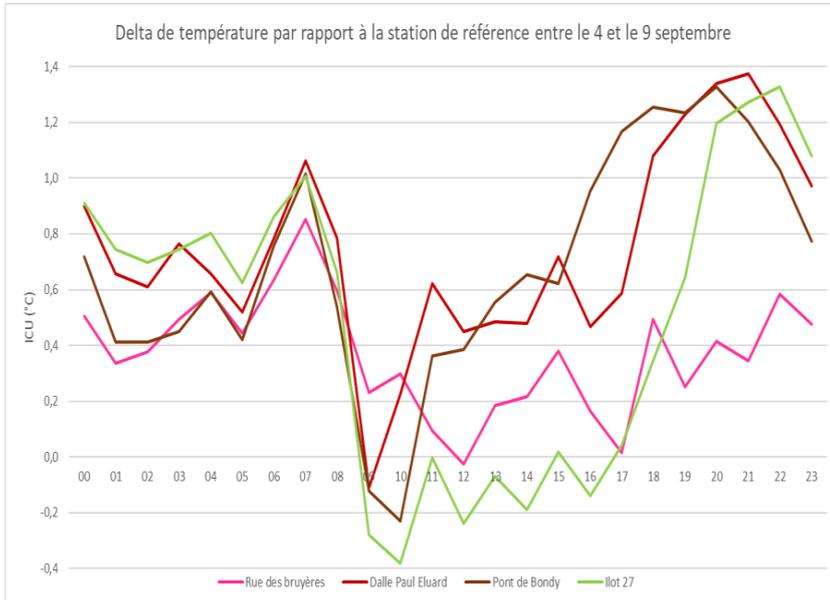


## Session 2

## Pont de Bondy – Lycée Madeleine Vionnet

**Effet d'ICU (delta de température par rapport à la référence) :**

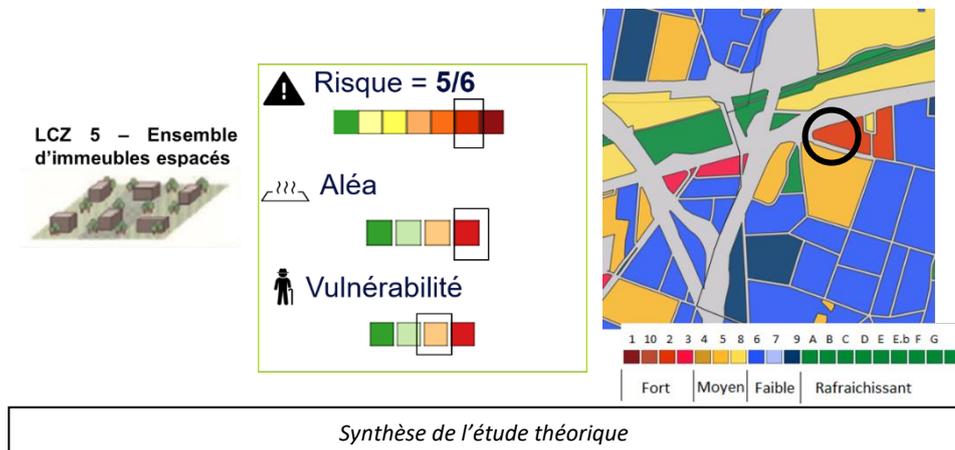
L'effet d'ICU devant le lycée Madeleine Vionnet est en moyenne de 0,7°C, avec un maximum de +1,3°C atteint à 20h et un minimum de -0,2°C à 10h.



|                   | moyenne (en °C) | min (en °C) | max (en °C) |
|-------------------|-----------------|-------------|-------------|
| Rue des bruyères  | 0,4             | 0,0         | 0,9         |
| Dalle Paul Eluard | 0,7             | -0,1        | 1,4         |
| Pont de Bondy     | 0,7             | -0,2        | 1,3         |
| Ilot 27           | 0,5             | -0,4        | 1,3         |

**Comparaison au modèle théorique :**

Le point de mesure n'a pas été choisi pour sa représentativité LCZ, mais plutôt pour cibler un lieu de multi-nuisances : il présente en effet des enjeux de pollution de l'air, de nuisances sonores et d'îlot de chaleur urbain. Le capteur est posé au cœur d'un espace très aéré, **ce qui ne correspond pas à la LCZ 2** « Ensemble d'immeubles compacts » mais à la LCZ 5 « Ensemble d'immeubles espacés », ayant un impact moyen sur les températures. Les mesures terrain démontrent un impact moyen sur la température de jour, ce qui correspondrait à cette nouvelle classification et à la thermographie (celle-ci étant classé en 'température moyenne'). Malgré ces modifications, l'aléa conserve un niveau fort et le risque reste de 5/6.

**Conclusion :**

Le point pont de Bondy / lycée Madeleine Vionnet connaît des températures importantes durant la deuxième partie de l'après-midi, **avec jusqu'à +1,3°C d'effet ICU, qui baissent cependant dès 20h**. Les matériaux semblent donc ne pas stocker la chaleur mais la restituer de manière quasi instantanée. La présence du canal de l'Ourcq et la forte aération de l'espace contribuent également à ce rafraîchissement en fin de journée.

Il y a peu de logements à proximité immédiate du lycée, **l'ICU n'a donc pas d'impact majeur sur les habitants qui vivent autour du site**. Cependant, le lycée et l'arrêt de bus à proximité sont des **zones de fortes affluences en journée**. Durant l'été, l'inconfort des utilisateurs est majeur en journée, lorsque les températures sont les plus chaudes. **Des actions peuvent donc être mises en place pour améliorer le confort des usagers en journée.**

Session 2

Ilot 27



Capteur



**Contexte :**

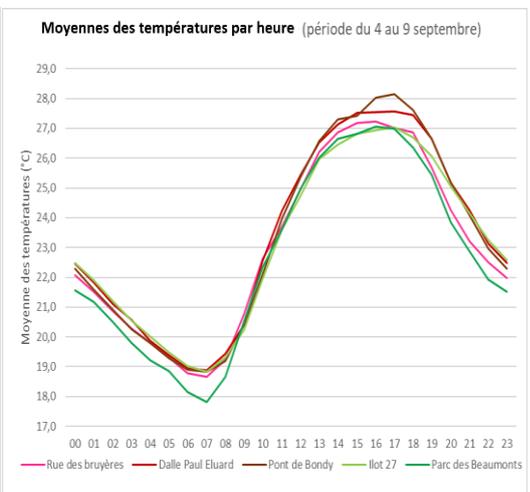
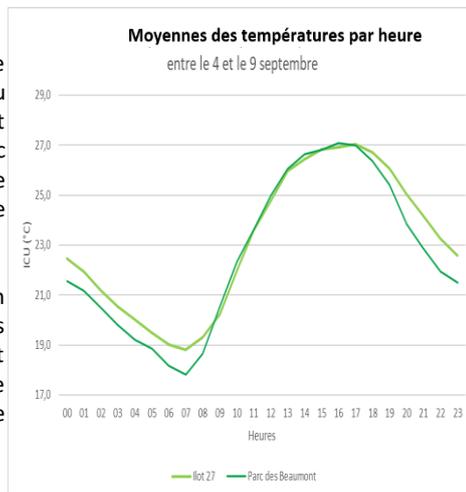
Le capteur était situé à environ vers 4m de haut, orienté sud, sur une parcelle de gazon entourée d'immeubles hauts. La zone est en grande majorité imperméable, bien que quelques arbres en bacs et parcelles de gazons soient présents.

Le capteur est probablement à l'ombre d'un immeuble.

**Moyennes des températures :**

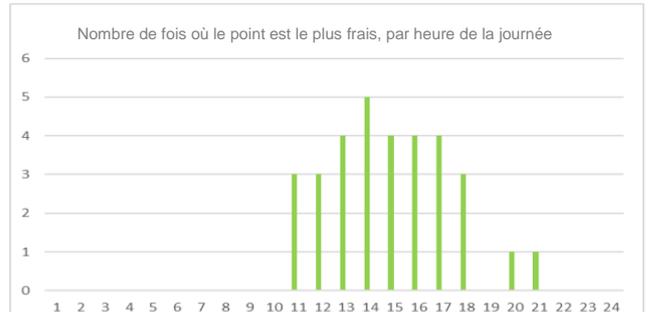
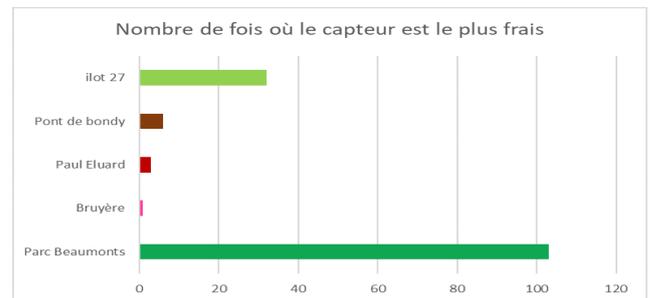
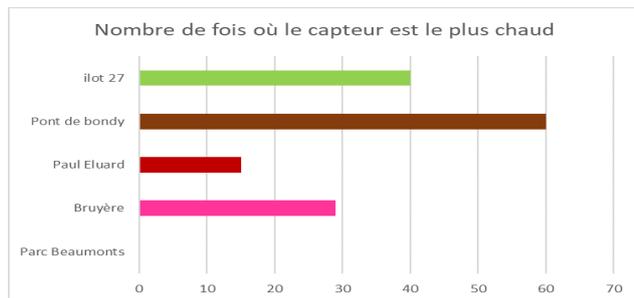
L'îlot 27 a une température généralement proche de celle du parc des Beaumonts. Il est légèrement plus frais que le parc entre 9h et 17h, et plus chaud le reste du temps. L'écart se creuse quelque peu vers 22h.

L'îlot 27 subit peu de variations en comparaison avec les autres points de mesure. Son pic de chaleur est moins intense, en revanche il stocke la chaleur et est le plus chaud entre 23h et 7h.



**Nombre de fois où le capteur relève la température la plus chaude/fraîche :**

L'îlot 27 est le plus chaud de façon assez fréquente (28% des températures maximales), à la plupart des heures de la journée mais avec une majorité d'occurrences le soir et la nuit. Il est le plus frais assez fréquemment avec 22% des températures minimales, souvent dans l'après-midi, notamment entre 13h et 17h (cela correspond à l'heure à laquelle il est à l'ombre tandis ce que les autres capteurs sont exposés au moment le plus chaud de la journée).

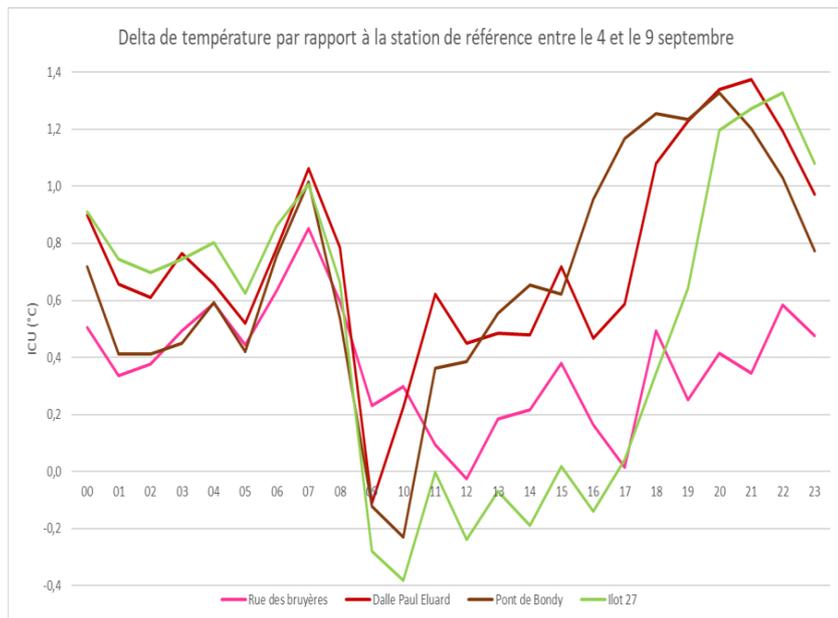


Session 2

Ilot 27

**Effet d'ICU (delta de température par rapport à la référence) :**

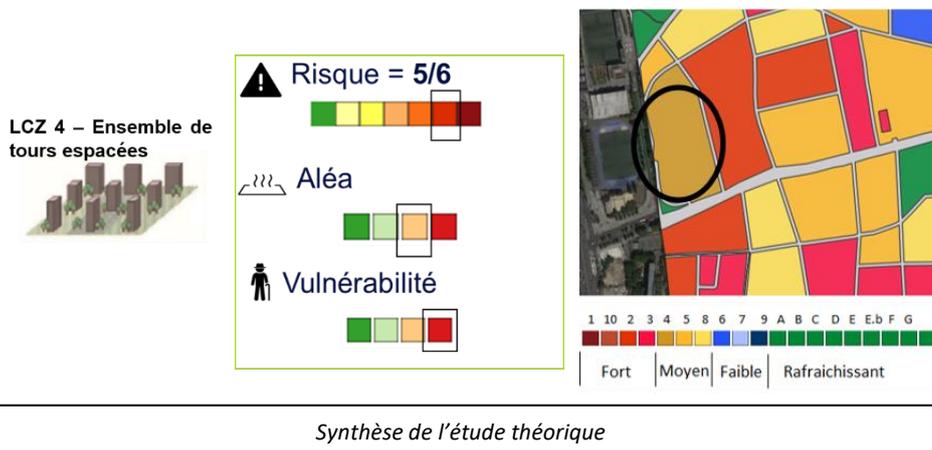
L'effet d'ICU dans l'Ilot 27 est en moyenne de 0,5°C, avec un maximum de +1,3°C atteint à 22h et un minimum de -0,4°C à 10h.



|                   | moyenne<br>(en °C) | min<br>(en °C) | max<br>(en °C) |
|-------------------|--------------------|----------------|----------------|
| Rue des bruyères  | 0,4                | 0,0            | 0,9            |
| Dalle Paul Eluard | 0,7                | -0,1           | 1,4            |
| Pont de Bondy     | 0,7                | -0,2           | 1,3            |
| Ilot 27           | 0,5                | -0,4           | 1,3            |

**Comparaison au modèle théorique :**

Les mesures permettent de valider la classification de la LCZ 4 en impact moyen sur la température. En effet, l'impact sur la chaleur le soir est important, il perdure durant la nuit, mais est régulé tôt le matin. Par ailleurs, en journée l'impact est moyen puisque l'ombre des bâtiments rafraichit l'air ambiant. **L'aléa moyen est validé, ainsi que le risque de 5/6.**



Synthèse de l'étude théorique

**Conclusion :**

La baisse de température de l'ilot 27 entre 11h et 18h s'explique par sa position entre des hauts immeubles qui génèrent une ombre portée sur le capteur durant l'après-midi. Ainsi, **le ressenti thermique est agréable à l'ombre l'après-midi.** Cependant, les bâtiments emmagasinent la chaleur tout l'après-midi. Une **forte chaleur est restituée le soir (+1,3°C d'effet ICU) et toute la nuit.** Le site enregistre alors les températures **les plus hautes par rapport aux autres capteurs, avec +0,8°C à 5h du matin.** L'hypothèse émise est que les matériaux accumulent beaucoup de chaleur, la restituent en continu toute la nuit, et ne baissent en température que vers 9h, lorsque les végétaux alentours transpirent.

Des logements et une école maternelle sont présents autour de ce cœur d'ilot. **L'ICU a donc un impact sur les habitants la nuit.** Il est **nécessaire de mettre en place une action pérenne** pour rafraichir cette zone, notamment la nuit.

### 3.2.4 Les recommandations et la priorisation d'actions

L'étude terrain a permis d'affiner le diagnostic d'ICU et d'aboutir à une classification des 9 points **en trois catégories d'impact**.

1. **Les îlots de chaleur ayant un fort impact la nuit** : cette catégorie regroupe trois sites (ZAC du port, dalle Paul Eluard, îlot 27) pour lesquels des impacts des ICU sont importants et **des leviers d'actions prioritaires sont préconisés**. En effet, ces lieux sont des zones où les températures ne redescendent que très peu la nuit, et à fortiori localisés à proximité des habitations. En période de canicule prolongée sur plusieurs jours, ces zones peuvent donc avoir des impacts conséquents sur les habitants et leur santé. De plus, les immeubles situés à proximité de ces zones de chaleur sont généralement identifiés comme des logements potentiellement peu ou mal isolés, ce qui augmente le risque d'impact sur les habitants. Ces sites ont donc besoin d'être réaménagés de façon pérenne afin d'intégrer des solutions ou des espaces rafraichissants.
2. **Les îlots de chaleur ayant un fort impact le jour** : cette catégorie regroupe deux sites (la place du Paddock et le pont de Bondy/lycée Madeleine Vionnet) pour lesquels **des leviers d'actions potentiellement réversibles et modulables sont préconisés**, par exemple sous forme de mobilier urbain ou d'actions localisées. En effet, ces lieux sont des zones où les températures redescendent de manière correcte la nuit et où il n'y a pas d'habitations proches. En revanche, les températures sont élevées dans la journée et les morphologies urbaines favorisent l'inconfort des usagers de jour, notamment du fait de l'absence d'ombrage. Pour ces sites, des actions permettant de traiter l'inconfort des ICU sont donc préconisées, en travaillant à la fois **sur les usages** (réorganisation des circulations, intégration de nouveaux usages...) **et sur le matériel urbain** (mobilier ou structure modulable à intégrer sur le site).
3. **Les sites à impact modéré de jour comme de nuit** : cette catégorie regroupe trois sites (la rue des Ormes, la rue des Bruyères et l'îlot d'Engelhard) dont les morphologies urbaines impactent peu les températures et pour lesquels **il n'y a pas d'action prioritaire préconisée**. Ces sites sont urbanisés mais se régulent naturellement la nuit. Ils n'atteignent pas de température intense, ni de jour ni de nuit. Il est donc important de préserver la morphologie urbaine de ces sites, par exemple en évitant leur densification, et en veillant à ce que leur qualité de rafraichissement soit préservée (maintien des espaces verts).

Pour les catégories 1 et 2, des exemples d'actions à mener sur les sites pour lutter contre les ICU sont proposés ci-après, inspirés de projets menés sur des configurations urbaines proches ou similaires.

### 3.2.4.1 Exemples d’actions pour la catégorie 1 (ICU impactant de nuit)

#### La ZAC du port

Le site de la ZAC du port est un **îlot de chaleur de nuit**. C’est également un lieu qui atteint **une forte intensité de chaleur de jour et en fin de journée**. L’objectif est de rafraîchir l’espace : un espace végétalisé a une forte capacité de rafraîchissement grâce à l’ombre, à l’évaporation des revêtements perméables, mais également grâce à la transpiration des végétaux. Ce rafraîchissement permet de réguler les températures la nuit, mais également de limiter l’intensité des températures durant la journée.

Pour le lot 7 de la ZAC du port, **un réaménagement en parc végétalisé est préconisé**. L’espace végétal apporterait de la fraîcheur la nuit, mais également un effet rafraîchissant de jour, essentiel pour le ressourcement physique et psychique en période de canicule.



#### La canicule : des espaces pour se rafraîchir

Pendant les fortes chaleurs, il est nécessaire d’avoir accès pendant deux à trois heures par jour à des espaces de ressourcement physique et psychique. Autrement, les périodes caniculaires sont particulièrement dangereuses car la chaleur dure sans répit pendant plusieurs jours.

L’aménagement d’un **petit parc urbain arboré** possédant idéalement **plusieurs strates végétales** (sol perméable, arbustes et arbres) pourrait être adapté. Le projet présenté ci-dessous est un exemple qui semble approprié au contexte de végétalisation de la ZAC du port.

**Le projet de Mail Maunoury à Ivry-sur-Seine**, dont l’aménagement propose une noue plantée, deux rangées d’arbres, des arbustes ainsi que des bancs (voir figure 16 ci-dessous) est un aménagement intéressant également pour sa gestion des eaux pluviales. Il permet de **désimperméabiliser**, d’offrir de **l’ombre** et des assises, donc un espace rafraîchissant et confortable. Cependant, sur le lot 7 de la ZAC du port, l’intégration d’espaces asphaltés n’est pas préconisée pour les accès ou les voies de circulation comme sur l’image ci-dessous. Il faudrait privilégier des revêtements perméables : stabilisés, dalles ou pavés permettant à la végétation de pousser (visibles sur l’exemple figure 16 extrait de l’îlot d’Engelhard).



Figure 15 : Exemple d’aménagement avec des noues et une stratification végétale en 3 étages ©Urbicus



Figure 16 : Zoom sur le revêtement perméable choisi à l'îlot d'Engelhard, en cas d'un besoin d'une allée dans le parc urbain pour le lot 7 de la ZAC du port.

#### Dalle Paul Eluard et dalle de l'îlot 27

Le site de la dalle Paul Eluard est un îlot de chaleur de nuit. C'est également un lieu qui atteint une forte intensité de chaleur de jour, en fin de journée. L'objectif est de rafraîchir l'espace : un espace végétalisé a une forte capacité de rafraîchissement grâce à l'ombre, à l'évaporation des revêtements perméables, mais également grâce à la transpiration des végétaux. Ce rafraîchissement permet de réguler les températures la nuit, mais également de limiter l'intensité des températures durant la journée. Par ailleurs, la dalle Paul Eluard est au cœur de logements, **les préconisations doivent donc aussi s'ancrer en termes d'usages, pour bénéficier aux habitants alentours.**

Plusieurs niveaux d'actions sont envisageables pour intégrer de nouveaux usages et espaces végétalisés, avec différents degrés d'intervention sur l'espace et la structure urbaine :

- il est par exemple possible de **créer des espaces de parc urbain pleine terre sur certaines zones** en condamnant les parking/routes en sous-sol, **tout en conservant en partie la surélévation et les parkings sur le reste de la dalle.** Cette approche nécessite une réorganisation des espaces et une intervention structurelle sur la dalle.
- une autre solution possible est de réserver des espaces pour l'installation d'une aire de jeux pour enfants, tout en **prenant garde à conserver le calme sous les fenêtres des habitants**, et en favorisant ces espaces plutôt en cœur de dalle, éloigné des rez-de-chaussée des bâtiments.

Les études nécessaires à la végétalisation de ces espaces doivent prendre en compte les effets venturi entre les tours (vents violents). La gestion des eaux pluviales est également un élément important à prendre en compte, notamment sur les parties où la dalle pourrait être détruite (ex : possibilité de créer des noues).

Sur l'îlot 27, comme pour la dalle Paul Eluard, il a été identifié un îlot de chaleur de nuit et il est donc préconisé un réaménagement avec un projet de végétalisation. L'endroit où était situé le capteur (au pied de la tour Essor) nécessite une **réelle végétalisation avec une stratification arborée**, afin de **compenser l'accumulation de chaleur des matériaux des bâtiments** et ainsi **réduire l'intensité du pic de chaleur** en fin de journée / durant la nuit. Il semble donc judicieux de choisir cet endroit pour la création d'un espace vert public. Il s'agirait de supprimer des places de parking afin que les arbres puissent bénéficier de pleine terre. **La conception de cette zone comme un parc urbain serait un vrai atout**, il pourrait ainsi devenir un **havre de fraîcheur pour les habitants en journée** et permettre le rafraîchissement de la zone la nuit.

Plusieurs projets sont cités comme sources d'exemples :

**Le projet Locus Solus**, de végétalisation sur dalle à Bordeaux, où une ferme urbaine a été réalisée tout en conservant la contrainte d'un parking en sous-sol. Les habitants, qui ont participé à des ateliers de concertation pour le choix du projet, ont accès aux parcelles pour jardiner. Le projet a donc désimperméabilisé la terrasse, mais également offert un usage pour les habitants.



Figure 17 : Projet de ferme urbaine en pied d'immeuble © Trouillot Hermel Paysagistes / Aquitanis

Pour des portions où il sera possible de réaliser de la pleine terre, la plantation d'arbres est essentielle au rafraîchissement de la zone.

**La résidence des Hautes Bergères, aux Ulis**, a fait l'objet d'un réaménagement végétalisé. Le quartier des Hautes Bergères est composé de tours et de dalles. Son réaménagement grâce à des pergolas et des espaces végétalisés permet d'améliorer le confort thermique et ainsi de favoriser les déplacements piétons agréables.



Figure 18 : Projet de végétalisation d'une dalle cœur de cité ©Atelier Sylvos paysagiste

Le **jardin sur dalle, à Cachan**, est également un exemple de réaménagement d'une zone résidentielle avec une dalle centrale. Le projet a permis de réduire les surfaces imperméables au profit de végétation et de petits arbres.



Figure 19 : Projet de végétalisation d'une dalle @Urbicus

### 3.2.4.2 Exemples d'actions pour la catégorie 2 (ICU impactant de jour)

#### La place du Paddock

Le site de la place du Paddock est un **îlot de chaleur de jour**. L'objectif est de rafraîchir l'espace pour offrir un **confort thermique aux usagers** : la fréquentation de cette place est dédiée aux personnes se rendant au centre commercial du Paddock, ainsi son usage est concentré la journée (peu voire pas du tout la nuit). **Une transformation de ce lieu de passage en un lieu de vie pourrait être envisagée.**

L'essentiel est d'apporter de l'ombre pour permettre aux piétons d'accéder au Paddock de façon agréable. Des vaporisateurs pourraient également permettre un confort thermique sur cette place très minérale. De plus, ils pourraient changer l'usage de la place, attirant des familles ou des habitants alentours. Ces nouveaux usages permettraient à des habitants n'ayant pas l'objectif de se rendre au Paddock de venir pour trouver un point de fraîcheur à proximité de chez eux.

Voici plusieurs exemples de mobilier urbain pouvant être adaptés au contexte de la place du Paddock :

- installé en juin 2017, le passage de fraîcheur **« la vague » à Montréal**. Il s'agit d'une structure éphémère offrant un espace de fraîcheur et de vie grâce à de l'ombre et des vaporisateurs. Elle est en effet équipée de 45 buses de brumisation, ainsi que d'un détecteur de pluie pour que le système ne s'active que lorsque c'est nécessaire.



Figure 20 : Mobilier éphémère d'ombrière équipée de brumisateurs ©Arcadia Studio

- **Ombrière éphémère, devant la maison des économies solidaires et innovantes Les Canaux (Paris XIXe).** Cette ombrière éphémère de 175m<sup>2</sup> est composée à 89% de bois en réemploi. Elle a été démontée à la fin de l'été 2019 et stockée, pour être réemployée et/ou redéployée. Le coût de mise en œuvre pour ce mobilier éphémère a été de 60 000€ HT.



Figure 21 : Mobilier éphémère d'ombrière

- Le projet de **flaque climatique, Aéro-seine** est un aménagement dans le 20<sup>ème</sup> arrondissement de Paris, pensé comme une boucle de rafraîchissement en utilisant le réseau d'eau non potable de Paris. Le dispositif se met en marche en cas de forte chaleur et permet d'augmenter la surface de contact entre l'eau et l'air pour rafraîchir l'espace. Les marquages au sol ont été imaginés avec les enfants du quartier.



Figure 22 : Flaque climatique

- Fontaines d'eau potable sur l'espace public : équipement bien moins coûteux et imposant, les fontaines d'eau potable ont d'importants bénéfices, notamment dans ce type d'aménagement minéral exposé l'été. Elles permettent d'inciter les usagers à bien s'hydrater en période caniculaire.



Figure 23 : Fontaine d'eau potable

### Pont de Bondy / Lycée madeleine Vionnet

La place devant le lycée madeleine Vionnet est un îlot de chaleur de jour. L'objectif est de rafraîchir l'espace pour offrir un confort thermique aux usagers. En effet, cet espace public est majoritairement un lieu de passage, mais les usagers sont tout de même amenés à stationner à cet endroit : notamment les lycéens durant leurs pauses et les usagers de l'arrêt de bus à proximité.

L'essentiel est d'apporter de l'ombre pour **augmenter le confort thermique des usagers** qui patientent dans cette zone. Pour ce faire, un réaménagement de l'espace pourrait être envisagé en utilisant un revêtement perméable et de la végétalisation. Cependant, l'intensité de l'îlot de chaleur ne semble pas prioritaire en termes d'investissement, dans la mesure où les lycéens ne sont pas présents lors des mois les plus chauds de l'été. Il est donc plutôt recommandé d'installer du mobilier urbain, moins coûteux et plus facile à mettre en œuvre, et qui permettra un réel confort thermique. Plusieurs exemples adaptés à ce contexte sont évoqués ci-dessous.

- Le **mobilier temporaire « halte de fraîcheur » développé par l'association OAZIS à Orléans**, dans le cadre de l'appel à projet « Cultivons notre ville », a été pérennisé. Installé à l'été 2019, ce mobilier a pour double objectif d'être un refuge de fraîcheur lors des périodes de fortes chaleurs sur cette place très minérale d'Orléans, mais est également un lieu d'information sur le changement climatique et ses effets. Des conférences et mobilisations citoyennes y ont notamment lieu.



Figure 24 : mobilier urbain offrant de l'ombre. Sur la droite, réunion publique de l'association citoyenne @OAZIS

- Les fontaines à eau, déjà citées précédemment, sont également des installations adaptées à ce contexte.

## 4 Conclusion

L'analyse de l'aléa de chaleur du territoire, basée sur une étude théorique et une campagne de mesure sur le terrain, permet de distinguer plusieurs zones sur le territoire d'Est Ensemble. **L'ouest du territoire semble particulièrement touché par les îlots de chaleur** et montre de plus une **vulnérabilité assez élevée**. Des **zones de fraîcheurs** sont également observables grâce à la présence de **grands espaces verts sur le territoire**.

La phase d'observation de terrain s'est déroulée durant l'été 2021. **Les neuf points de mesures ont confirmé le diagnostic théorique précédemment réalisé**, notamment la classification des LCZ en catégories d'impact sur la chaleur (fort, moyen, faible, rafraichissant). **Ces hypothèses ont bien été validées**. En outre, l'étude souligne une contrainte importante : les études de terrain ont porté sur neuf points de mesure représentant des morphologies urbaines théoriques (LCZ) mais chacun des sites comporte des spécificités liées au contexte comme la proximité du canal, les vents sur place ou encore l'ombre portée d'un bâtiment. Ces derniers ont des impacts non négligeables sur les relevés de température. Il est donc **difficile de généraliser le diagnostic de terrain, effectué à une échelle beaucoup plus fine**. Le **diagnostic théorique** est donc réaliste et permet une **première approche à grande échelle du territoire, à distinguer des mesures réalisées en points fixes sur le terrain**. Il est donc recommandé de **réaliser des campagnes de mesures** lorsqu'il y a une volonté de **compréhension fine** des tendances d'ICU/IFU sur un site en particulier.

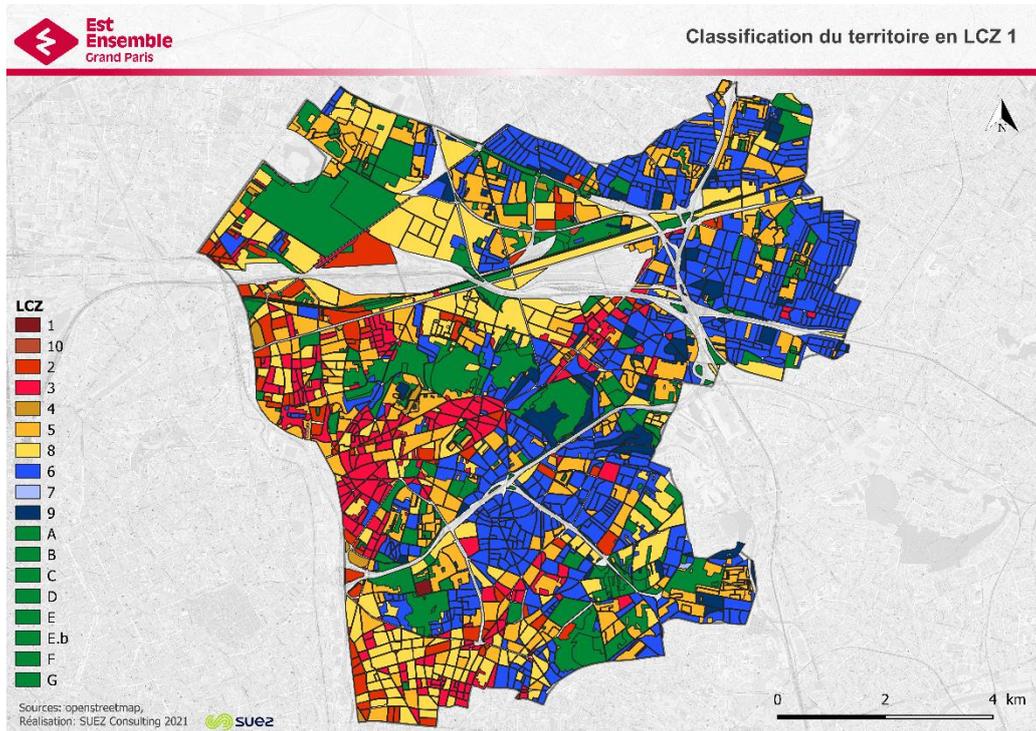
Par ailleurs, l'étude terrain s'est déroulée durant quatre mois de l'été 2021 qui n'a pas été particulièrement chaud. **Les observations se sont donc concentrées sur des périodes courtes de fortes chaleurs**. Si des mesures de terrain devaient être renouvelées en de nombreux points, il pourrait donc être envisagé de poser des capteurs sur des périodes plus courtes (quelques jours) lors d'une période particulièrement chaude.

Enfin, les neuf points étudiés ont été classifiés en **trois grandes catégories : les îlots de chaleur de nuit, les îlots de chaleur de jour et enfin les points aux impacts d'ICU modérés**. Le parc, point de référence, est quant à lui un **îlot de fraîcheur**. Plusieurs **leviers d'actions**, au travers d'exemples de réalisations, ont été proposés pour répondre aux différentes spécificités des sites (aménagement rafraichissant, mobilier urbain, transformation des usages). Ces recommandations sont applicables aux contextes spécifiques des sites, mais peuvent également être généralisées au sein d'une même catégorie d'îlot de chaleur. Toutefois, il est préconisé de porter une attention particulière sur les **usages de chaque site** qu'il est important de comprendre et de définir avant l'application des recommandations. En effet, ils peuvent conditionner voire altérer les bénéfices d'une solutions mis en œuvre sur le site.

En définitive, le diagnostic d'ICU permet de préciser et de nourrir le plan de résilience d'Est Ensemble, tout en formulant des actions concrètes à mener pour **améliorer la prise en considération des enjeux de canicules en ville dès les phases de conception des aménagements**. Ainsi, en analysant le territoire et les différents impacts que les choix de conception peuvent avoir sur les températures, l'objectif est de permettre aux communes, citoyens et aménageurs de s'approprier les concepts de phénomènes d'îlot de chaleur et d'îlot de fraîcheur, afin d'améliorer la résilience du territoire et de lutter contre les risques générés par le changement climatique.

## **5 Annexes**

## 5.1 Annexe 1 : Représentation des LCZ 1 sur Est Ensemble



| Propriétés LCZ   | Indices | 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 = |      |
|  | 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'emprise 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'emprise 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'emprise 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 et/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 1,7))                      | 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 Gp (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   | Indices | Standard set LCZ |      |          |      |          |      |          |      |          |      |          |      |          |      |
|--|---------|------------------|------|----------|------|----------|------|----------|------|----------|------|----------|------|----------|------|
|  |         | Land cover Types |      |          |      |          |      |          |      |          |      |          |      |          |      |
|  |         | Type A =         |      | Type B = |      | Type C = |      | Type D = |      | Type E = |      | Type F = |      | Type G = |      |
|  | 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    |
| Indice Rue Canyon (Aspect ratio) (de 0 à 3+)             | 2       | 1                | 3    | 0,25     | 0,75 | 0,25     | 1    | 0        | 0,1  | 0        | 0,1  | 0        | 0,1  | 0        | 0,1  |
| Hauteur moyenne des immeubles/arbres (de 0 à 50+ mètres) | 3       | 3                | 30   | 3        | 15   | 0        | 2    | 0        | 1    | 0        | 0,25 | 0        | 0,25 | 0        | 0,25 |
| Classe de rugosité du terrain (de 1 à 8)                 | 4       | 8                | 8    | 5        | 6    | 4        | 5    | 3        | 4    | 1        | 2    | 1        | 2    | 1        | 1    |
| % de surface d'emprise bâties (de 0 à 100%)              | 5       | 0                | 10   | 0        | 10   | 0        | 10   | 0        | 10   | 0        | 10   | 0        | 10   | 0        | 10   |
| % de surface d'emprise voiries revêtues (de 0 à 100%)    | 6       | 0                | 10   | 0        | 10   | 0        | 10   | 0        | 10   | 90       | 100  | 0        | 10   | 0        | 10   |
| % de surface d'emprise perméables (de 0 à 100%)          | 7       | 90               | 100  | 90       | 100  | 90       | 100  | 90       | 100  | 0        | 10   | 90       | 100  | 90       | 100  |
| Surface admittance μ (de 0 à 3000+ J m-2 et/2 K-1)       | 8       | 1000             | 1800 | 1000     | 1800 | 1000     | 1800 | 1000     | 1800 | 1300     | 3000 | 1000     | 1800 | 1500     | 1500 |
| Albédo α (de 0 à 0,5 (jusqu'à 1,7))                      | 9       | 0,1              | 0,2  | 0,15     | 0,25 | 0,15     | 0,3  | 0,15     | 0,25 | 0,15     | 0,3  | 0,2      | 0,35 | 0,02     | 0,1  |
| Flux de chaleur anthropogénique Gp (de 0 à 400+ W/m²)    | 10      | 0                | 0    | 0        | 0    | 0        | 0    | 0        | 0    | 0        | 0    | 0        | 0    | 0        | 0    |

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

Valeurs standards des propriétés par type de LCZ – traitement IPR

## 5.2 Annexe 2 : Détail de la pondération du croisement théorique

| LCZ       |        |      | Thermo |        |      | Effet ICU |        |          |
|-----------|--------|------|--------|--------|------|-----------|--------|----------|
| LCZ       | Classe | Note | °C     | Classe | Note | Somme     | Classe | Note bis |
| Landscape | 1      | -1   | 26-29  | 1      | -1   | -2 à 0    | 1      | -1       |
| 7,9,6     | 2      | 1    | 29-33  | 2      | 1    | 1 à 2     | 2      | 1        |
| 4,5,8     | 3      | 2    | 33-37  | 3      | 2    | 2 à 4     | 3      | 2        |
| 10,1,2,3  | 4      | 3    | 37-41  | 4      | 3    | 4 à 6     | 4      | 3        |

+

| Effet ICU |        |      | Sensibilité |        |      | = | Carte des zones prioritaires<br>(en 7 classes) |
|-----------|--------|------|-------------|--------|------|---|--|
| Somme     | Classe | Note | Somme       | Classe | Note |   |  |
| -2 à 0    | 1      | -1   | 0 - 8       | 1      | 0    |   |  |
| 1 à 2     | 2      | 1    | 8-16        | 2      | 1    |   |  |
| 2 à 4     | 3      | 2    | 16-23       | 3      | 2    |   |  |
| 4 à 6     | 4      | 3    | 23-38       | 4      | 3    |   |  |

## 6 Glossaire

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

ICU : Ilot de chaleur urbain

IFU : Ilot de fraîcheur urbain

IAU : Institut d'aménagement et d'urbanisme d'Ile-de-France devenu en 2019 l'Institut Paris Région (IPR)

IGN : Institut national de l'information géographique et forestière

IMU : Ilot morphologique urbain

IPR : Institut Paris Région

MOS : Mode d'Occupation du Sol

NDVI : Normalized Difference Vegetation Index

NDBI : Normalized Difference Buildup Index

Produit par Suez Consulting pour l’Etablissement Public Territorial Est Ensemble

