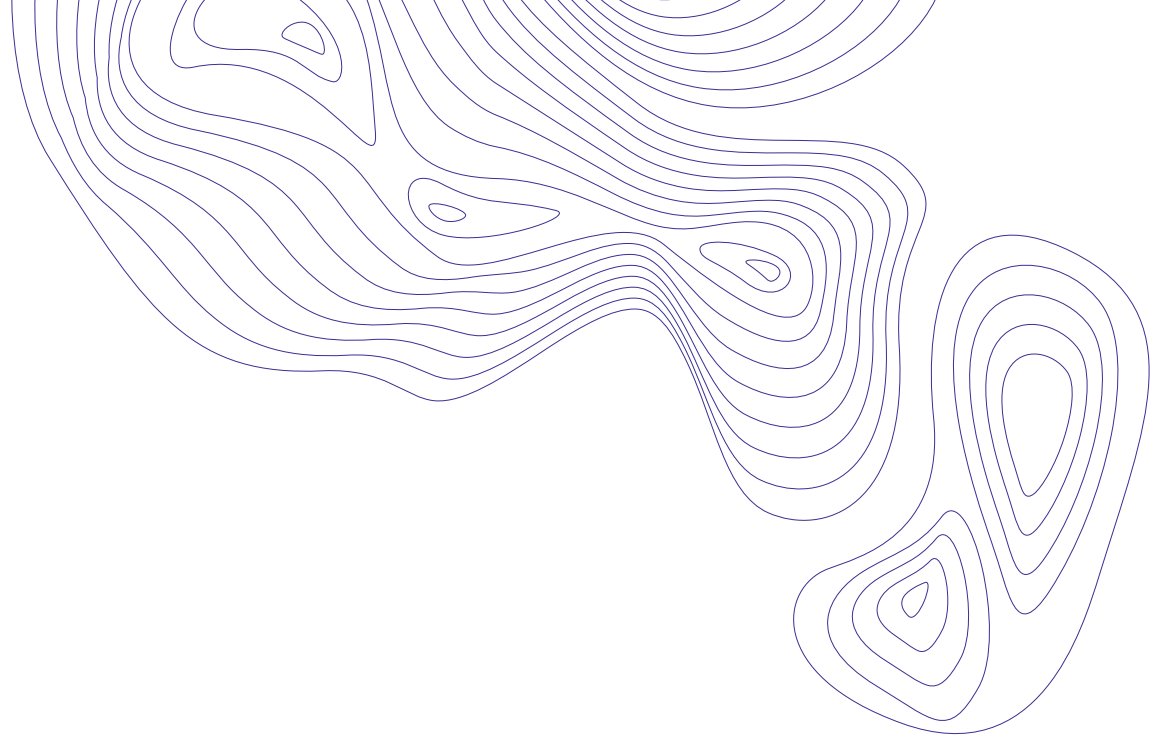


L'a Note Méthodologique #1 | Janvier 2024

# IDENTIFIER LES ÎLOTS DE CHALEUR ET DE FRAÎCHEUR URBAINS POUR S'ADAPTER AU CHANGEMENT CLIMATIQUE





## Crédits

---

### Illustrations /

AUDAP sauf mention ; Page de garde : Boulevard  
des Pyrénées - PAU ©N.Sabathier/ADT64

---

### Rédaction & réalisation graphique /

Jonathan FONDARD, Ludovic RÉAU,  
Maite ETCHARREN

---

### Impression /

**AUDAP** - Janvier 2024

## Introduction

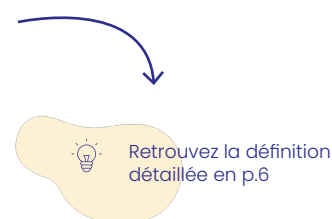
Comme partout en France, les étés récents ont été marqués en Sud-Aquitaine par de fortes chaleurs. L'année 2022 a même été l'année la plus chaude jamais enregistrée en France depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle.

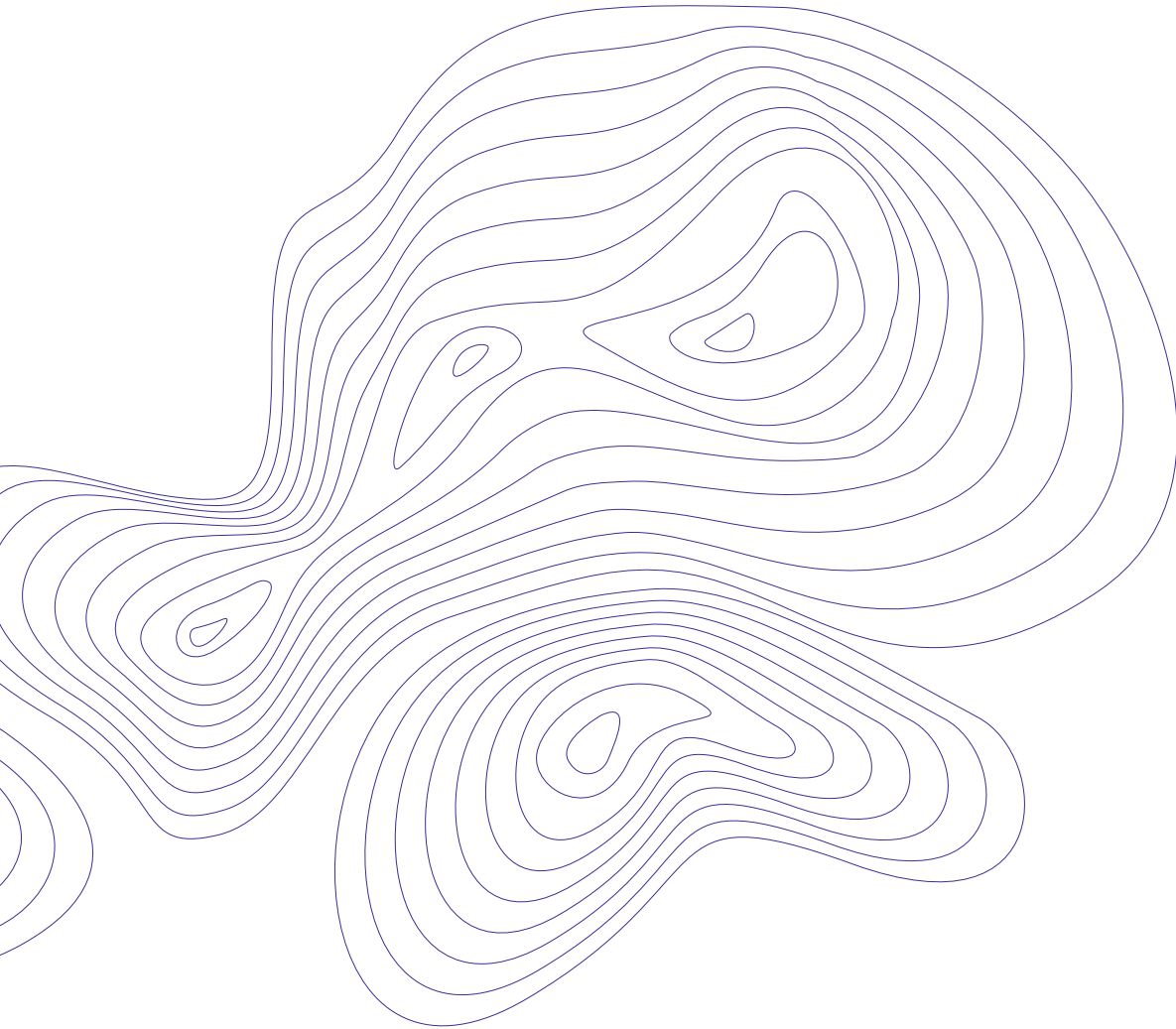
Ces vagues de chaleur grandissantes viennent fragiliser plus particulièrement les environnements urbains, à travers son phénomène le plus illustre : le phénomène d'Îlot de Chaleur Urbain (ICU). Cette notion décrit un phénomène de chaleur accrue créé par un espace urbain imperméable, dense, minéral, ne laissant pas de place aux processus naturels de rafraîchissement (évapotranspiration, circulation de l'air, diffusion de l'humidité, etc.). L'ICU a notamment des conséquences considérables en matière de santé publique et environnementale. Les personnes âgées, les enfants, les personnes malades, ou les personnes défavorisées n'ayant pas les moyens de s'équiper pour atténuer les effets de la chaleur sont par exemple cités comme étant les personnes particulièrement vulnérables.

Depuis 2022, l'AUDAP, suite à différentes sollicitations de ses membres, a investigué le sujet pour comprendre comment fonctionne un îlot de chaleur urbain et développer une méthodologie de repérage à partir de l'exploitation de données satellitaires. L'Agence s'est notamment inspirée des travaux d'agences d'urbanisme déjà impliquées (A'urba, AURAN,...).

Cette note méthodologique présente les éléments de connaissance et de définition capitalisés par l'Agence ainsi qu'un jeu de cartes d'identification des ICU permettant d'ouvrir des perspectives sur des analyses et croisements possibles.

Ce travail est une première étape. L'Agence d'urbanisme réfléchit à la suite à donner pour parfaire sa méthodologie. Elle étudie des techniques complémentaires pour enrichir la connaissance, tester de nouvelles exploitations et apporter aux territoires Sud-Aquitains des éléments objectifs d'aide à la décision pour construire des politiques publiques adaptées aux changements climatiques.

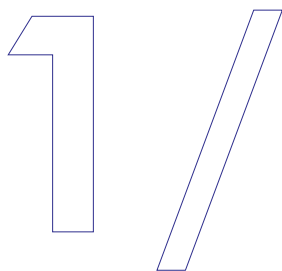






## Sommaire

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Introduction.....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>1. Caractérisation de la menace induite par le phénomène<br/>d'îlot de chaleur urbain.....</b> | <b>6</b>  |
| <b>2. Description du phénomène d'îlot de chaleur urbain.....</b>                                  | <b>18</b> |
| <b>3. Mesure de la température.....</b>   | <b>26</b> |
| <b>4. Trois exemples d'exploitation de la donnée îlot de chaleur.....</b>                         | <b>30</b> |
| <b>5. Pour aller plus loin.....</b>   | <b>36</b> |
| <b>6. Bibliographie.....</b>  | <b>38</b> |



# Caractérisation de la menace induite par le phénomène d'îlot de chaleur urbain

## A. Définition

### Qu'est-ce qu'un îlot de chaleur urbain (ICU) ?

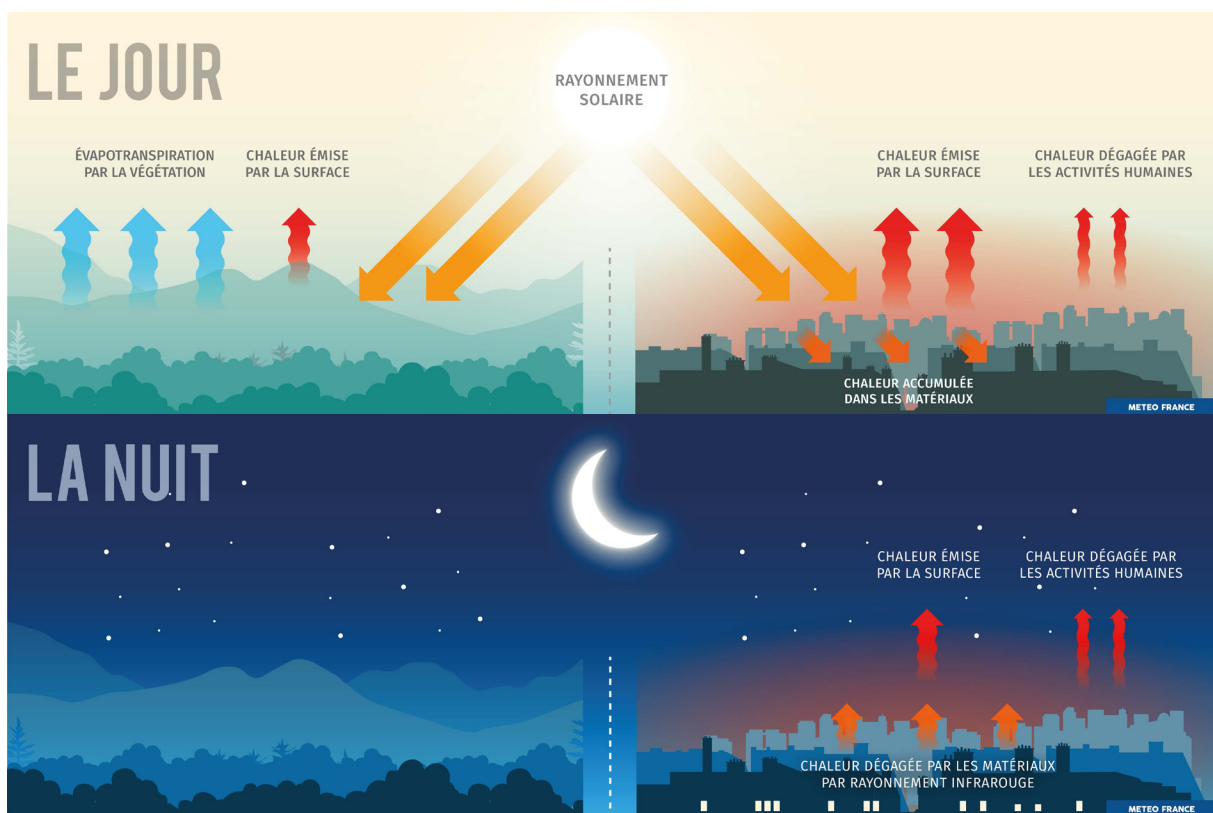
« Un îlot de chaleur urbain désigne la différence de température (diurne et nocturne) observée entre les milieux urbains et les zones rurales et/ou naturelles environnantes (adapté de Oke, 1995, Froissard, 2015 ; Martin-Vide et al. 2015). La nuit, cet effet est encore plus marqué. L'air et les espaces qui ont surchauffé en journée sont longs à refroidir. En pratique, un îlot de chaleur désigne une zone à l'échelle du quartier où l'on observe ce phénomène. Ce phénomène est particulièrement important lors des vagues de chaleur. »

*Lutter contre les îlots de chaleur urbains à l'échelle du projet, en créant notamment des îlots de fraîcheur refuges. (ISadOrA – EHESP, a'urba 2020)*

## L'îlot de chaleur urbain : un phénomène nocturne ?

La caractéristique principale de l'ICU est que l'air refroidit plus rapidement la nuit dans les espaces ruraux ou faiblement urbanisés que dans les espaces urbains. Ceci s'explique intrinsèquement par la nature des espaces. Le schéma ci-après expose de façon simplifiée les dynamiques divergentes entre les espaces ruraux et urbains.

Description du caractère du phénomène d'ICU entre les milieux urbains et ruraux



Source : Météo France, 2018. [https://colibris.link/brochure\\_apc\\_mf](https://colibris.link/brochure_apc_mf)

## Le profil horizontal d'un ICU montre une corrélation étroite entre températures de surface et occupation du sol

### Les différents types d'ICU

Il existe plusieurs types d'ICU et ils interagissent entre eux :

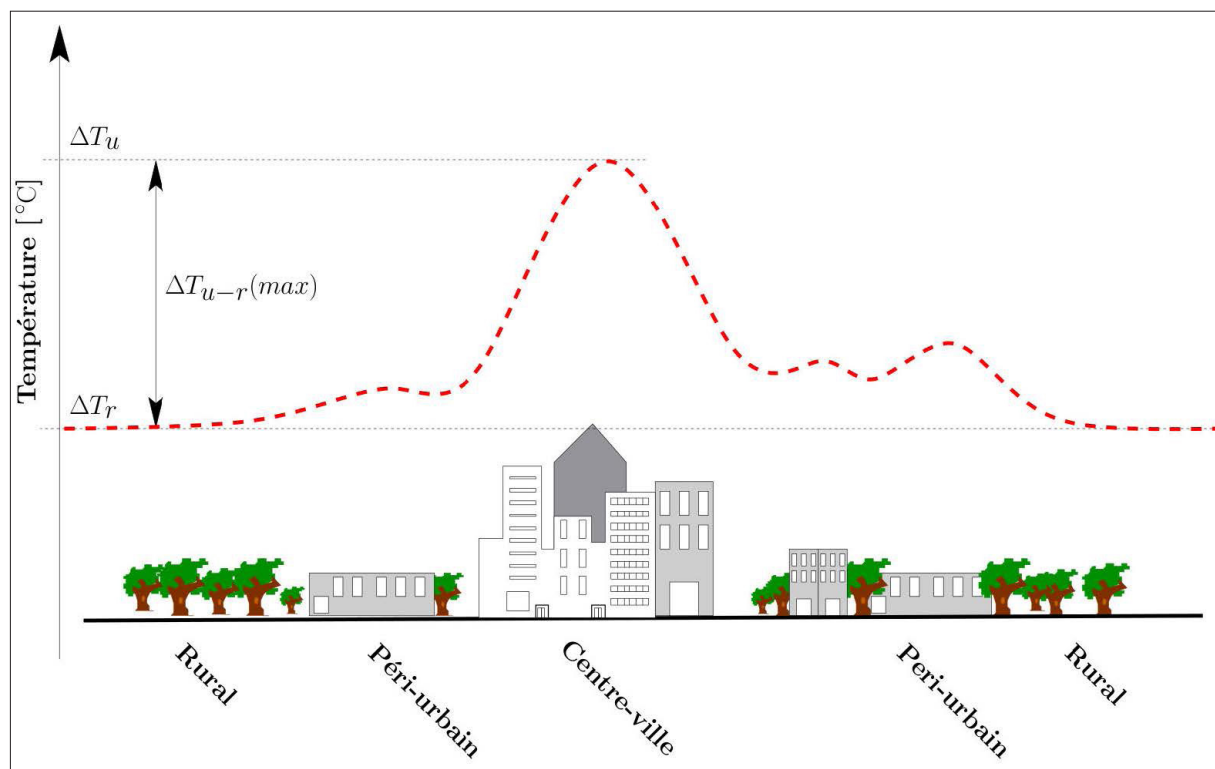
- Les **ICU souterrains** se manifestent via le réchauffement provoqué par les espaces urbains.
- Les **ICU à la surface du sol** sont typiquement urbains, donc liés aux différents matériaux.
- Les **ICU atmosphériques** :
  - De la canopée urbaine sont plus intenses la nuit que le jour
  - De la couche limite urbaine (CLU) sont des masses chaudes qui selon le vent peuvent prendre soit la forme d'un panache urbain soit prendre la forme d'un dôme de chaleur.

Il faut noter que selon les définitions trouvées, le concept d'ICU peut être assez flou et demande des précisions théoriques. Toutefois, un ICU est par nature un phénomène urbain et est défini en opposition avec les espaces ruraux alentour.

L'ICU se caractérise concrètement par l'observation de températures plus élevées dans une zone urbaine que dans son environnement immédiat. Ces augmentations de température sont la première manifestation de l'influence de la ville sur son site et son environnement naturel.

Le schéma « Profil horizontal d'un ICU » présenté ci-dessous montre une corrélation étroite entre températures de surface et occupation du sol.

Profil horizontal d'un ICU



Source : Claverie, 2011



## Qu'est-ce qu'un îlot de fraîcheur (IFU) ?

Les îlots de fraîcheur peuvent être définis comme des lieux d'accueil, de halte et/ou de repos, accessibles au grand public et repérés comme source de rafraîchissement par rapport à leur environnement proche en période chaude ou caniculaire. Sur un projet d'aménagement, ce sont, en premier lieu, les espaces verts arborés (Pascal et al, 2018, Ameglio et al, 2019, ADEUS, 2014) mais aussi des lieux brumisés ou des jeux d'eau tels que les miroirs d'eau ; des établissements ouverts au public et naturellement frais comme des médiathèques, des cours d'école ombragées, etc. (APUR, 2019) Cela peut être également des linéaires particulièrement arborés, des abords directs de cours d'eau ou d'espaces en eau, etc.

*Lutter contre les îlots de chaleur urbains à l'échelle du projet, en créant notamment des îlots de fraîcheur refuges. (ISadOrA – EHESP, a'urba 2020)*



*L'îlot de fraîcheur s'avère être un des outils de la résilience urbaine qui remet au-devant de la scène des bons principes d'aménagement urbain qui ont fait leurs preuves. De l'ombre, de l'humidité, de la végétation, du mobilier urbain, des matériaux poreux. Une somme d'éléments tout aussi frugaux qu'indispensables à la qualité d'usage du milieu public.*



Source : De l'îlot de chaleur urbain à l'îlot de fraîcheur : Mécanismes en jeu et principes pour des aménagements plus résilients, A'Urba [colibris.link/aurba\\_icu-if](https://colibris.link/aurba_icu-if)



## B. Description de l'aléa climatique chaleur dans le Sud-Aquitain

### Les climats du Sud-Aquitain : variété et impact des températures

Il faut rappeler que le Sud-Aquitain de par sa géographie, présente plusieurs climats :

- **le Climat océanique aquitain** : les hivers sont doux et les étés, relativement chauds, sont tempérés par les brises marines ;
- **le microclimat océanique basque**, plus humide (moitié ouest des Pyrénées-Atlantiques et sud des Landes) ;
- **le climat montagnard** sur les Pyrénées : la température décroît rapidement en fonction de l'altitude, la présence de vent est variable selon les lieux.

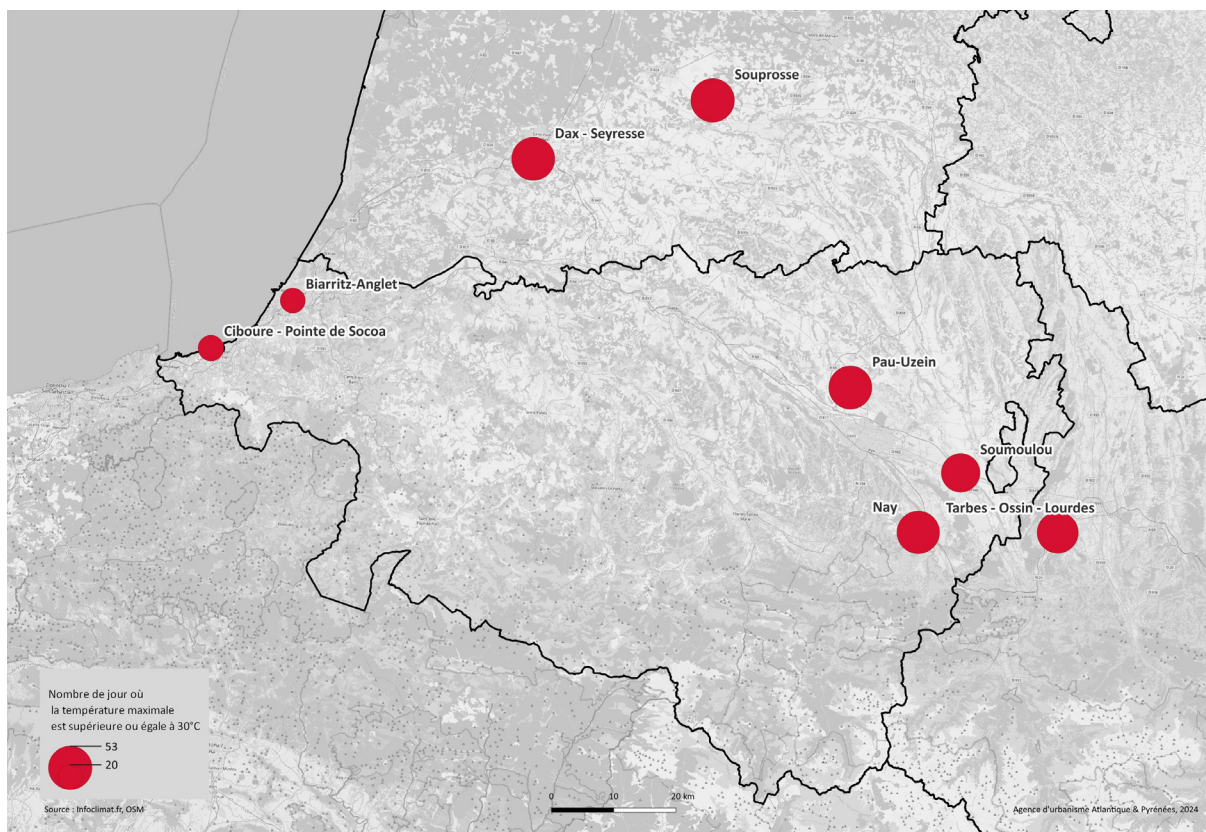


Source : Climat et géographie en Nouvelle-Aquitaine  
[colibris.link/NA\\_climat-geographie](https://colibris.link/NA_climat-geographie)

La carte « Stations météorologiques ayant mesuré les plus fortes fréquences de journées de forte chaleur en 2022 » présente le nombre de jours par an où la température de l'air a dépassé les 30 degrés Celsius en 2022. On remarque que ce sont les stations météorologiques situées en plaine et dans l'intérieur des terres qui ont connu une plus grande fréquence de journées chaudes. Les stations sur le littoral comme Biarritz-Anglet (20 jours), Ciboure et Ciboure - Pointe de Socoa (21 j.) sont moins exposées aux fortes chaleurs car elles sont tempérées par l'océan alors qu'à Pau-Uzein (52 j.) ou Nay (51 j.), son influence est plus faible.

Il convient de préciser que la température de l'air, tout comme la température du sol, est une mesure physique. Elle ne concorde pas toujours avec la température ressentie. Celle-ci est une association de plusieurs facteurs météorologiques dynamiques comme le vent, l'humidité, l'insolation. Les espaces urbains sont eux-mêmes déterminants quand ils réfléchissent la chaleur. De plus, la perception sera différente selon chaque individu. **L'accélération des pics de chaleur observés par les stations météorologiques ignore cependant de nombreuses situations de « chaleur ressentie ».**

## Stations météorologiques ayant mesuré les plus fortes fréquences de journées de forte chaleur en 2022



## **Quels sont les effets des changements climatiques sur les ICU ?**

Les épisodes caniculaires deviennent plus fréquents, plus longs et plus chauds avec le changement climatique.

- **Augmentation de l'occurrence d'une journée de chaleur**

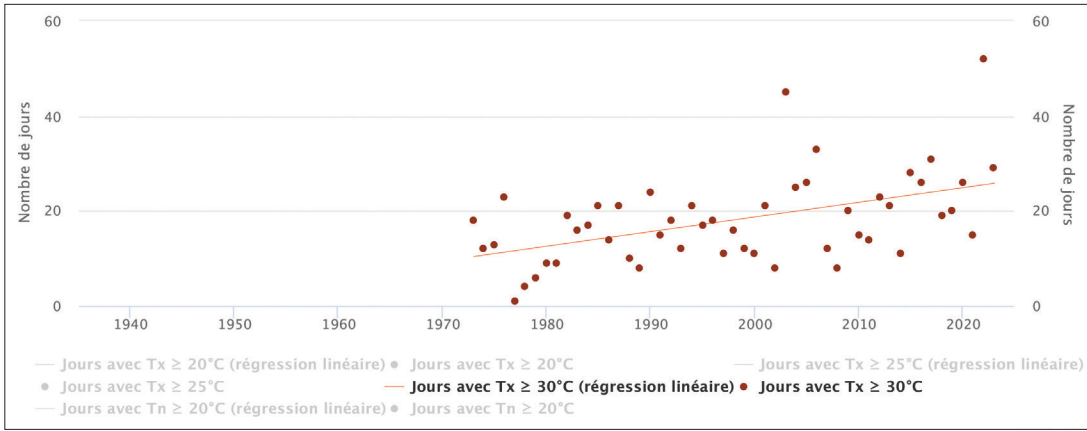
Comme le démontre le graphique « Occurrences de chaleur à Pau- Uzein » le nombre de jours par an où la température maximale est égale ou dépasse les 30 degrés Celsius s'élève à 52 pour 2022. Malgré les variations annuelles des températures mesurées, la tendance de l'évolution du nombre d'occurrences de chaleur depuis 1973 montre une augmentation structurelle.

- **Augmentation des températures de l'air et nouveaux records de températures extrêmes**

Parallèlement, les records de températures à Pau-Uzein se sont multipliés sur les vingt dernières années. Depuis 1997 les records sont tous supérieurs à 33 degrés. Et entre 1997 et 2020, on compte quatre années avec des maximales dépassant les 39 degrés.

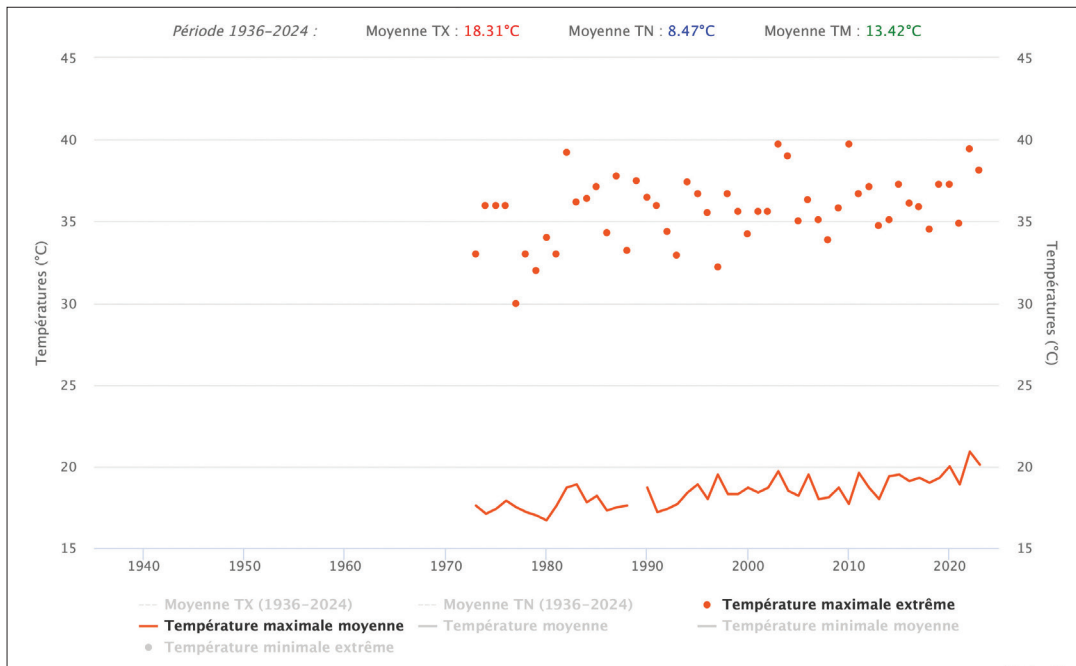


## Occurrences de chaleur à Pau - Uzein



Source : infoclimat.fr

## Températures à Pau - Uzein

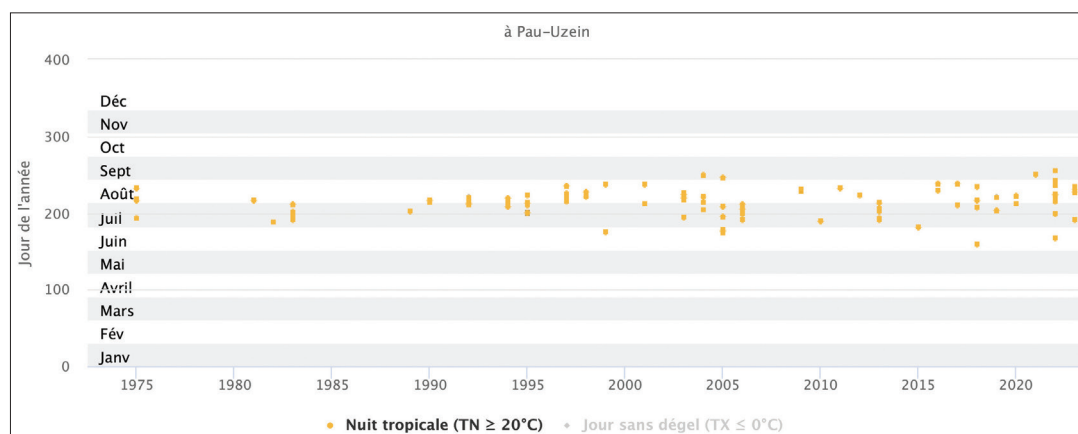


Source : infoclimat.fr

- **Des nuits tropicales plus récurrentes**

Également, les températures nocturnes dites tropicales, c'est-à-dire supérieures ou égales à 20 °C, se multiplient. En 2022, il y en a eu onze, soit une de plus que la célèbre année 2003. Elles se répartissent de juin à septembre avec une très forte concentration en juillet et août.

### Nuits tropicales et journées sans dégel



Source : [infoclimat.fr](http://infoclimat.fr)

## C. Quels sont les impacts des îlots de chaleur urbains ?

L'intensification des vagues de chaleur et le phénomène associé d'ICU risquent d'impacter durablement la population. Le corps humain s'adapte naturellement aux changements de températures, mais seulement dans une certaine mesure qui dépend notamment de l'âge.

- **Santé**

Les températures élevées affectent tout le monde mais surtout les personnes les plus vulnérables. On se souvient que la canicule de 2003 a eu pour conséquence 14 800 décès supplémentaires entre le 1<sup>er</sup> et le 20 août, soit une augmentation de 60 % par rapport à la mortalité attendue (enquête Inserm). La surmortalité a touché l'ensemble de la France, même dans les départements où le nombre de jours caniculaires était faible. Ce résultat est corroboré par l'enquête « 13 villes ». Globalement, la surmortalité a concerné plus les villes que leur région respective.

Depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle, des études tentent de quantifier le confort humain en fonction de la température. Après 10 ans de recherches, des experts mandatés par l'Association internationale de biométéorologie (International Society of Biometeorology) aboutissent en 2009 à l'indice universel du climat thermique (UTCI). L'UTCI est désormais un des indicateurs les plus pertinents pour mesurer la température ressentie par l'être humain. Le stress thermique, c'est l'expression des efforts que doit fournir le corps pour maintenir sa température à 37 °C. Plus il doit compenser, plus il se trouve en situation de stress. Les conditions idéales où il n'y a aucun stress thermique se situent entre 9 °C et 26 °C.

Les pics de chaleur vont également accroître les phénomènes de pollution de l'air. Ceux-ci sont responsables des maladies cardiovasculaires et respiratoires (Lai and Cheng, 2010) mais sont aussi un fort irritant oculaire (Lin et al., 2022). Parmi tous les polluants, l'ozone est caractéristique des vagues de chaleur car favorisé par les anticyclones chauds dans les espaces urbains.

 La vague de chaleur d'août 2003 : que s'est-il passé ? [colibris.link/vague\\_chaleur\\_aout2023](https://colibris.link/vague_chaleur_aout2023)








 Un nouvel indice de climat thermique [colibris.link/nouvel\\_ict](https://colibris.link/nouvel_ict)



 Cartographie de la vulnérabilité de la population : exemple à Bidart **P.33**

### Confort thermique selon la température °C

| Echelle UTCI (*) | Niveau de stress  |
|------------------|---|
| au-dessus de +46 | Stress thermique extrême     |
| +38 à +46        | Stress thermique très élevé  |
| +32 à +38        | Stress thermique élevé       |
| +26 à +32        | Stress thermique modéré      |
| +9 à +26         | Pas de stress thermique      |

A'U d'après UTCI, 2022

- **Environnement**

En milieu urbain, les vagues de chaleur risquent de fragiliser davantage la ressource en eau. La hausse de température et/ou d'insolation risque d'augmenter la consommation d'eau par les hommes et pour les activités puis aussi, en parallèle, d'accroître les phénomènes d'évaporation. Ceci peut accélérer le tarissement de l'eau et avoir pour conséquence une dégradation de la qualité physico-chimique de l'eau. La gestion de la ressource est devenue un enjeu majeur du XXI<sup>e</sup> siècle.

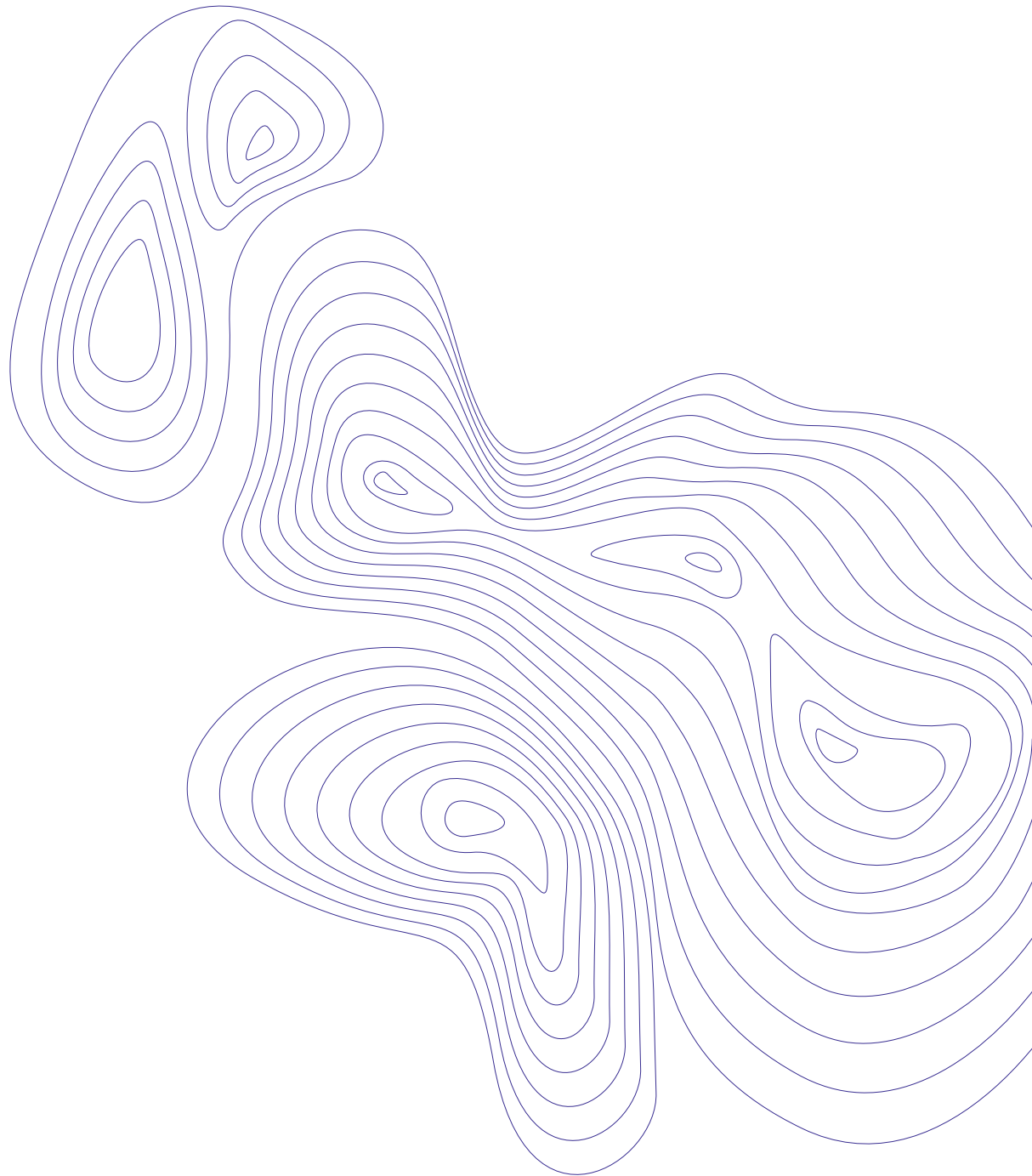
Les milieux naturels en zone urbaine étant déjà très fragilisés, les vagues de chaleur risquent d'accroître les pressions sur la faune et la flore.

- **Économie**

Les ICU ont et auront des conséquences économiques. Citons notamment :

- l'augmentation de la consommation énergétique notamment pour refroidir les milieux urbains avec les modes de production d'énergie actuels, peut entraîner un cercle vicieux avec plus d'émissions de gaz à effet de serre. Par ailleurs, le recours au climatiseur peut aussi devenir un puissant émetteur de chaleur en ville,
- la baisse de productivité de la production énergétique liée au réseau hydrographique avec la baisse du niveau des eaux,
- la baisse de l'attractivité des centres-villes.





# 2 /

## Description du phénomène d'îlots de chaleur urbains

Quels sont les mécanismes qui forment les ICU ? C'est fondamentalement une combinaison de plusieurs facteurs. Décrire le phénomène d'ICU nous permet d'améliorer la compréhension de l'absence ou de la présence du phénomène dans un site donné ainsi que des facteurs explicatifs du microclimat urbain à des échelles plus fines comme la rue ou le quartier.

### A. Facteurs météorologiques

- L'**énergie solaire** reçue sur la Terre est en moyenne de 342 Watts par m<sup>2</sup> (CNRS) sur une année. Ce rayonnement varie bien sûr selon la localisation du site (latitude, etc.), la saison, l'heure. Les conditions météorologiques, comme la couverture nuageuse, sont également essentielles dans la réflexion dudit rayonnement.
- Plus **la température est élevée**, plus les ICU sont intenses.
- Le **vent** est un facteur limitant les ICU (moins 2 à 3 °C au Canada (Oke, s. d.), Lee et al. (2014)).

### B. Facteurs géographiques et topographiques

La position géographique (altitude, latitude, longitude) et la topographie du lieu influent sur la quantité d'ensoleillement reçu. Les territoires du Sud-Aquitain sont particulièrement concernés du fait d'un relief très marqué par les paysages de coteaux et de montagnes. Le relief aura aussi une influence sur les précipitations (nuages orographiques) et sur l'humidité relative pouvant réduire par ailleurs l'intensité des ICU.

## C. Facteurs propres aux espaces urbains

### Occupation du sol

#### Les zones urbaines les plus minéralisées sont plus favorables aux ICU

Très caractéristiques des zones urbaines, les surfaces imperméabilisées, sèches ou présentant une forte inertie thermique sont plus chaudes que les espaces ruraux au caractère naturel plus marqué.

#### L'absence de végétation réduit l'humidité de l'air et l'ombrage

Par deux aspects la végétation a un effet rafraichissant :

- L'ombre (ou masque solaire) générée par un arbre peut atténuer jusqu'à 80 % de l'ensoleillement incident.
- L'effet d'évapotranspiration participe au rafraichissement de l'air.

Selon la nature des sols et de la végétation (essences, strates végétales, type de gestion), l'effet refroidissant peut être plus ou moins important. Ainsi, pour grossir le trait, les espaces enherbés sont plus favorables à la chaleur qu'une forêt, mais un arbre isolé dans un espace imperméabilisé aura un effet lié à l'évapotranspiration réduit.

#### L'absence d'eau et l'imperméabilisation des sols ont une incidence sur les ICU

L'eau vive a un pouvoir refroidissant de l'air supérieur à l'eau stagnante.

Une question que l'on peut se poser : c'est à partir de quelle taille (profondeur, volume et débit de la masse d'eau) que cela va influencer sur le rafraichissement des espaces riverains ? Les faibles surfaces d'eau peuvent avoir un effet réchauffant. Les berges des rivières et notamment des Gaves qui viennent des montagnes sont fraîches tout comme les rivages de l'Océan Atlantique.

#### Le modèle d'urbanisation

Les espaces urbains vont favoriser la survenue d'îlots de chaleur urbains (ICU) :

- La nature des matériaux va faciliter l'absorption, puis le stockage du rayonnement solaire. La chaleur réémise par les matériaux réchauffe l'air.
- La morphologie urbaine va avoir une incidence sur l'écoulement de l'air, le dégagement de la chaleur par radiation.

## Les propriétés thermiques et radiatives des matériaux urbains

Les surfaces minérales, la nature et la couleur des matériaux des sols et des bâtiments, une fois cumulées, ont une plus grande capacité à absorber et à stocker la chaleur.

### L'albédo

Seule une partie du rayonnement solaire est absorbée par les matériaux, l'autre est réfléchi.

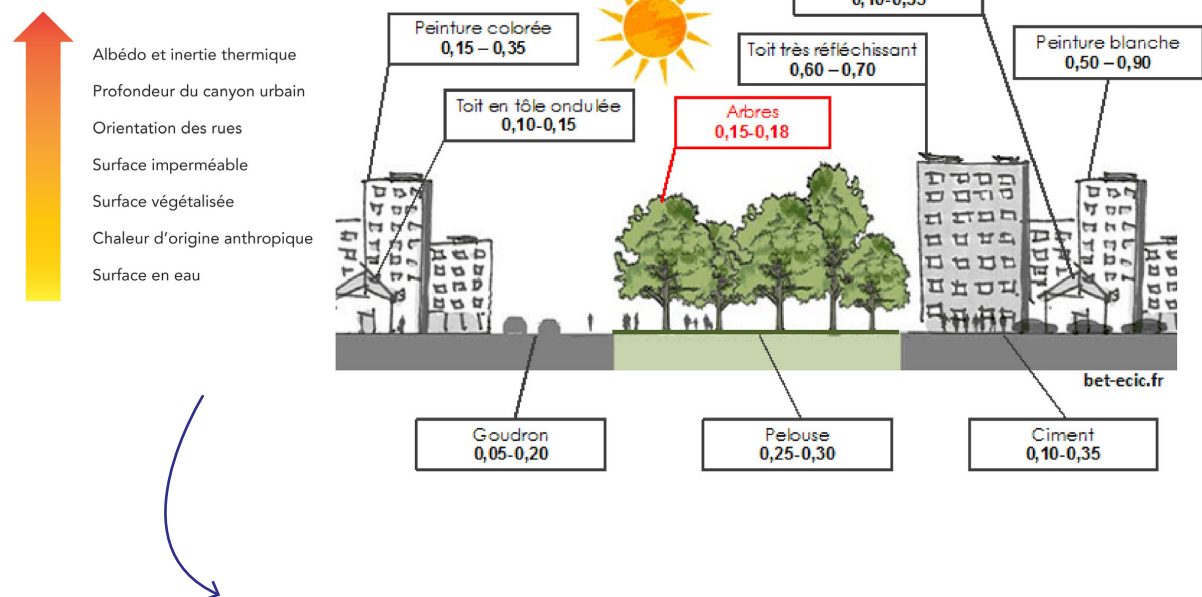
La capacité à réfléchir le rayonnement solaire se mesure avec l'albédo. La valeur d'albédo s'établit entre 0 pour le noir et 1 pour le blanc. On peut aussi exprimer l'albédo en pourcentage, cela signifie qu'une pelouse réfléchit entre 25 et 30 % de l'énergie solaire. La neige a donc un albédo très élevé et à l'inverse, les revêtements noirs comme le goudron ont un albédo faible.

Les arbres ont aussi un albédo assez faible, mais à la différence d'un matériau inerte, ils vont consommer une partie de la chaleur reçue pour le fonctionnement de leur métabolisme.

Plus l'albédo est faible, plus les matériaux reçoivent de l'énergie et chauffent. Néanmoins, chaque matériau a des capacités différentes d'absorption et de stockage de l'énergie. Ce sont tout particulièrement les matériaux à forte inertie thermique qui ont une incidence sur le phénomène d'îlot de chaleur urbain.

Quelques valeurs d'albédo dans les espaces urbains - de 0 (faible) à 1 (fort)

Influence des paramètres sur l'effet d'îlot de chaleur urbain



Source : De l'îlot de chaleur urbain à l'îlot de fraîcheur : Mécanismes en jeu et principes pour des aménagements plus résilients, A'urba [colibris.link/aurba\\_icu-if](https://colibris.link/aurba_icu-if)



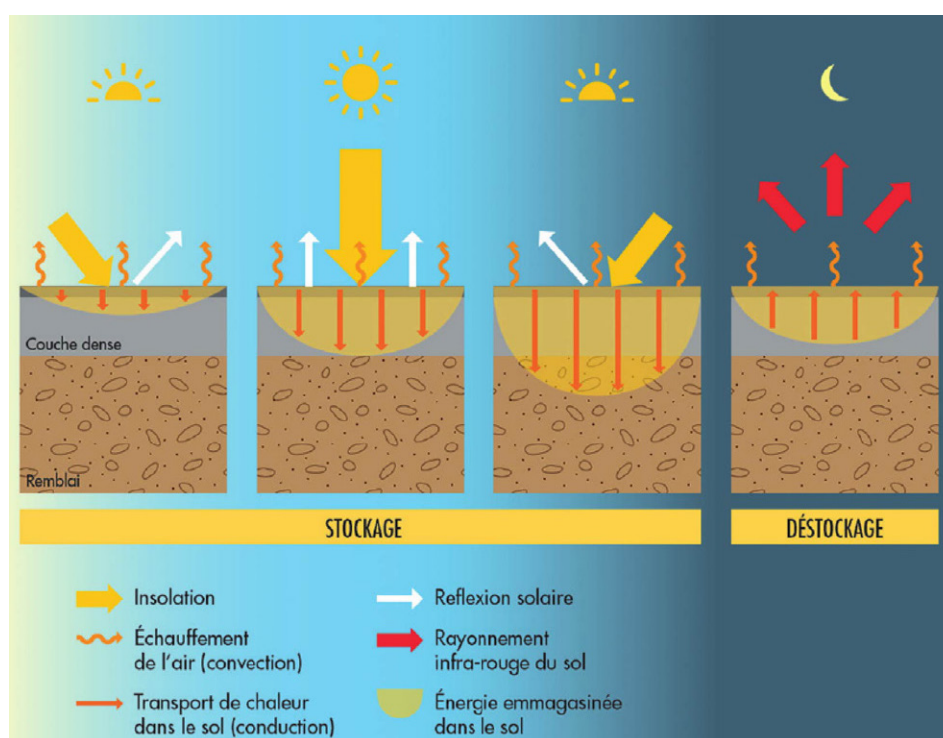
## La capacité thermique

La capacité thermique d'un matériau mesure le pouvoir d'absorption et de stockage de la chaleur. Plus elle est importante, plus le matériau va chauffer et son impact sur les îlots de chaleur urbains sera important.

## L'inertie thermique

L'inertie décrit la vitesse avec laquelle un matériau chauffé va prendre pour refroidir. C'est donc la capacité de conservation de l'énergie du matériau. Plus elle est longue plus il va échanger de l'énergie par exemple en chauffant l'air avoisinant.

## Cycle de stockage et déstockage de l'énergie solaire par les revêtements de sol



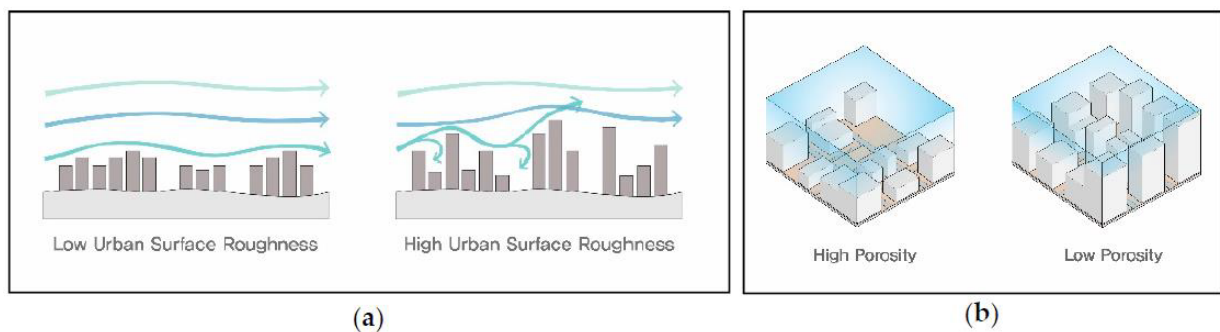
Source : Les îlots de chaleur urbains à Paris - Cahier#4: influence climatique des revêtements de sol à Paris - APUR, Juillet 2017  
<https://colibris.link/icusolapur>

## La morphologie urbaine va permettre une concentration de la chaleur

### Les formes des espaces urbains limitent l'évacuation de la chaleur par écoulement de l'air

Comme le vent réduit la température en évacuant la chaleur, la morphologie urbaine va avoir une incidence négative sur la circulation de l'air en l'entravant. La physique utilise notamment la rugosité pour décrire ce phénomène. Les éléments du paysage les plus plats ont une forte rugosité comme les surfaces en eau, les plaines. À l'extrême opposé, il s'agit des forêts ou des espaces de centre-ville. Les formes urbaines les plus homogènes favorisent une faible rugosité.

### Représentation de la rugosité et de la porosité du milieu urbain



Source : Choi et al., 2018

### La compacité des espaces urbains favorise le piégeage de la chaleur

La nuit, comme le décrit le schéma ci-dessous, les bâtiments font obstacle à l'évacuation de la chaleur emmagasinée la journée dans les matériaux, à la différence des espaces ouverts et c'est une des causes des ICU.

La mesure de ce phénomène physique s'appelle le facteur de vue du ciel (sky view factor ou SVF). C'est un indice qui décrit la capacité des espaces urbains à laisser s'échapper la chaleur par rayonnement. La note est entre 0 et 1. Il faut noter que les espaces arborés ont également en effet négatif en la matière.

Description de la baisse du rafraîchissement nocturne via le facteur vu du ciel

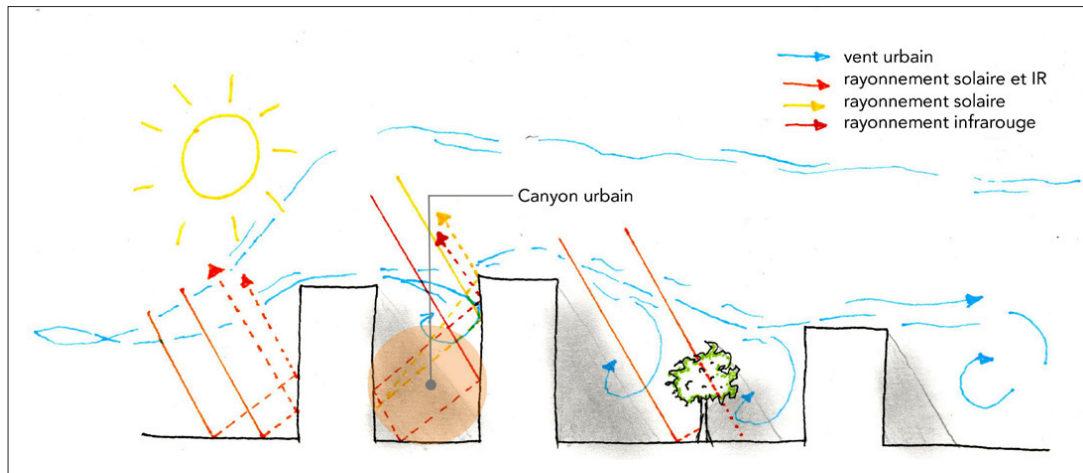


A'urba, APUR 2011

### Un exemple de combinaison des facteurs avec l'effet de canyon urbain

C'est en quelque sorte la manifestation ultime de la morphologie urbaine sur le microclimat. On pourrait dire une conjonction de plusieurs facteurs qui contribue à une importante amplification des ICU. La partie du rayonnement solaire non réfléchi par l'albédo se trouve déviée par les bâtiments. Si l'ouverture au ciel de la morphologie urbaine est faible, une partie du rayonnement est piégée et chauffe donc l'air ambiant. Si les rues ne sont pas orientées dans le sens du vent, la forte compacité des bâtiments empêche l'évacuation de l'air.

#### Phénomène de canyon



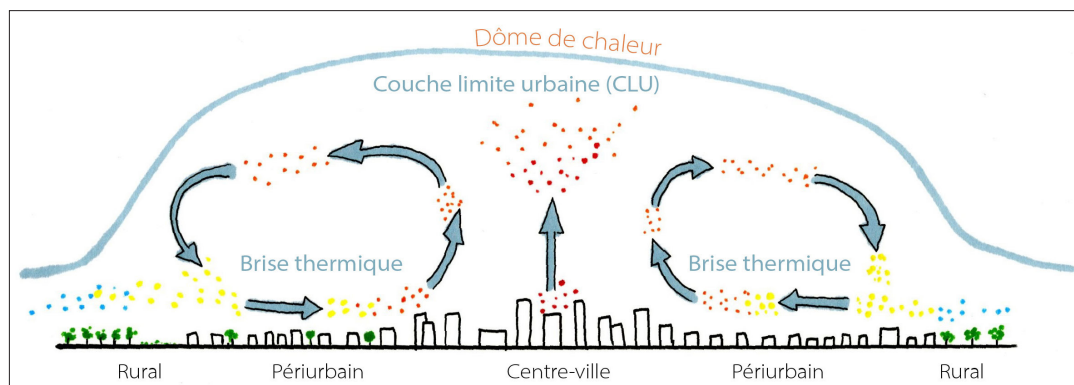
Source : A'urba, IAU

## Un rafraîchissement par le vent par la brise thermique urbaine

La morphologie urbaine peut aussi avoir des effets refroidissants, grâce notamment à la brise urbaine. Des territoires comme Zurich souhaitent maintenir les flux d'air venant depuis les collines dans leur politique d'atténuation des ICU. Lorsque les conditions de chaleur sont réunies dans un ciel dégagé, l'accumulation de chaleur va déclencher un phénomène de convection de l'air. L'air chaud chauffé s'élève, il est remplacé par de l'air frais, la pente vient accentuer le phénomène. La superficie des sources de fraîcheur comme les masses d'eau, la végétation est susceptible d'accroître le phénomène. Tout comme l'inclinaison de la pente va renforcer le processus. Il faut noter que la brise thermique peut également conduire au développement d'un dôme de chaleur comme cela est montré dans le schéma ci-après.

Zurich à la pointe de la lutte contre les îlots de chaleur dans les villes [colibris.link/zurich\\_icu](https://colibris.link/zurich_icu)

## Phénomène de brise thermique en contexte urbain



Source : A'URBA, IAU

## D. Facteurs anthropiques

- La densité de population ainsi que toute l'activité humaine vont générer de la chaleur additionnelle comme le transport, la climatisation, les activités industrielles.
- La pollution peut entraîner ou réduire la luminosité, ce qui peut affecter le phénomène d'ICU.

# 3 /

## Mesure de la température

Notre méthode est basée sur celle de l'AURAN. Il s'agit de la « Single Channel » de Sobrino et al. (2004). Nous utilisons comme source les informations issues des satellites Landsat 8 et 9 fournies par Institut d'études géologiques des États-Unis.

Il existe plusieurs outils pour mesurer les îlots de chaleur urbains. La méthode par image satellitaire présente l'avantage d'une grande couverture spatiale, mais d'une faible disponibilité temporelle.

LST ou Land Température Surface, est obtenue par une conversion numérique du rayonnement infrarouge, émis par ces surfaces qui est enregistré par des capteurs embarqués sur des satellites. Pour se figurer, **la LST ne correspond en aucun cas à la température de l'air mais plutôt à la température proche de la surface**, donc selon la configuration proche du sol, de la toiture des bâtiments ou de la canopée. Elle est souvent plus chaude que la température de l'air mais les deux mesures sont corrélées (Cui et Foy, 2012; Good et al., 2017; Soltani et Sharifi, 2017). Elle ne correspond pas, en outre, à la température ressentie.

### A. Comment obtient-on cette information ?

Notre méthode est basée sur celle de l'Agence d'Urbanisme de la Région Nantaise (AURAN). Il s'agit de la « Single Channel » de Sobrino et al. (2004). Le lien ci-après nous dirige vers la cartographie de l'AURAN. Nous avons procédé à quelques changements méthodologiques notamment au niveau de l'indice de végétation.

 [Cartographie interactive des îlots de chaleur en Loire-Atlantique - AURAN](https://colibris.link/icu_loireatlantique)  
colibris.link/icu\_loireatlantique

Nous utilisons comme source les informations issues des satellites Landsat 8 et Landsat 9, fournies par Institut d'études géologiques des États-Unis (USGS). Cette donnée offre une résolution spatiale fine ré-échantillonnée de 30m. La couverture spatiale d'une image est très large. Suivant le secteur que nous choisissons de cartographier, nous pouvons obtenir des images sur 2 jours consécutifs. En général, le survol de notre territoire est réalisé vers 10h45 GMT tous les 16 jours.



LST correspond à la température proche de la surface terrestre, mais non à la température de l'air. Pour obtenir une estimation de la température à la surface de la Terre (LST), il existe trois méthodes : celle du canal infrarouge unique « Single Channel », la « Split Windows » et une méthode « Jour-Nuit » MODIS LST pour les données MODIS.

Concernant la température de surface (LST) la méthode nécessite de :

1. Déterminer l'émission de lumière via le calcul de la température de brillance.
2. Déterminer l'émissivité de la surface terrestre grâce à l'indice de végétation.

En physique, l'émissivité c'est la capacité d'un corps à émettre de l'énergie par rayonnement. Pour le calcul de la température de surface (LST), le calcul de l'émissivité est une correction des valeurs pour les surfaces arborées notamment. Elle est marginale sur le résultat final.

**Notre méthodologie diverge de celle de l'AURAN puisque nous avons effectué une simplification. Nous utilisons uniquement la part de végétation par pixel, alors que l'AURAN utilise également un calcul de la rugosité surface et une prise en compte des sols nus dans le calcul de l'émissivité.**

3. Déterminer la température à la surface.

## B. Limites d'usage

### **Une unité de mesure pouvant générer des confusions**

La mesure des ICU est obtenue via le calcul de la température de surface (LST). Elle est différente de la température de l'air qui est ressentie.

### **Une résolution spatiale limitée**

L'échelle de visualisation et d'analyse doit être adaptée à la résolution de la donnée (taille des pixels) qui est de 30 mètres. Notre méthodologie ne nous permet donc pas d'analyser une rue ou un quartier.

Le pixel est la surface minimale de recueil de la mesure. Le pixel est lié à la manière où l'image va être acquise et il passe aléatoirement devant les sources de chaleur et risque de lisser l'information. D'ailleurs, on observe souvent des gradients de température depuis les sources d'émission de chaleur.

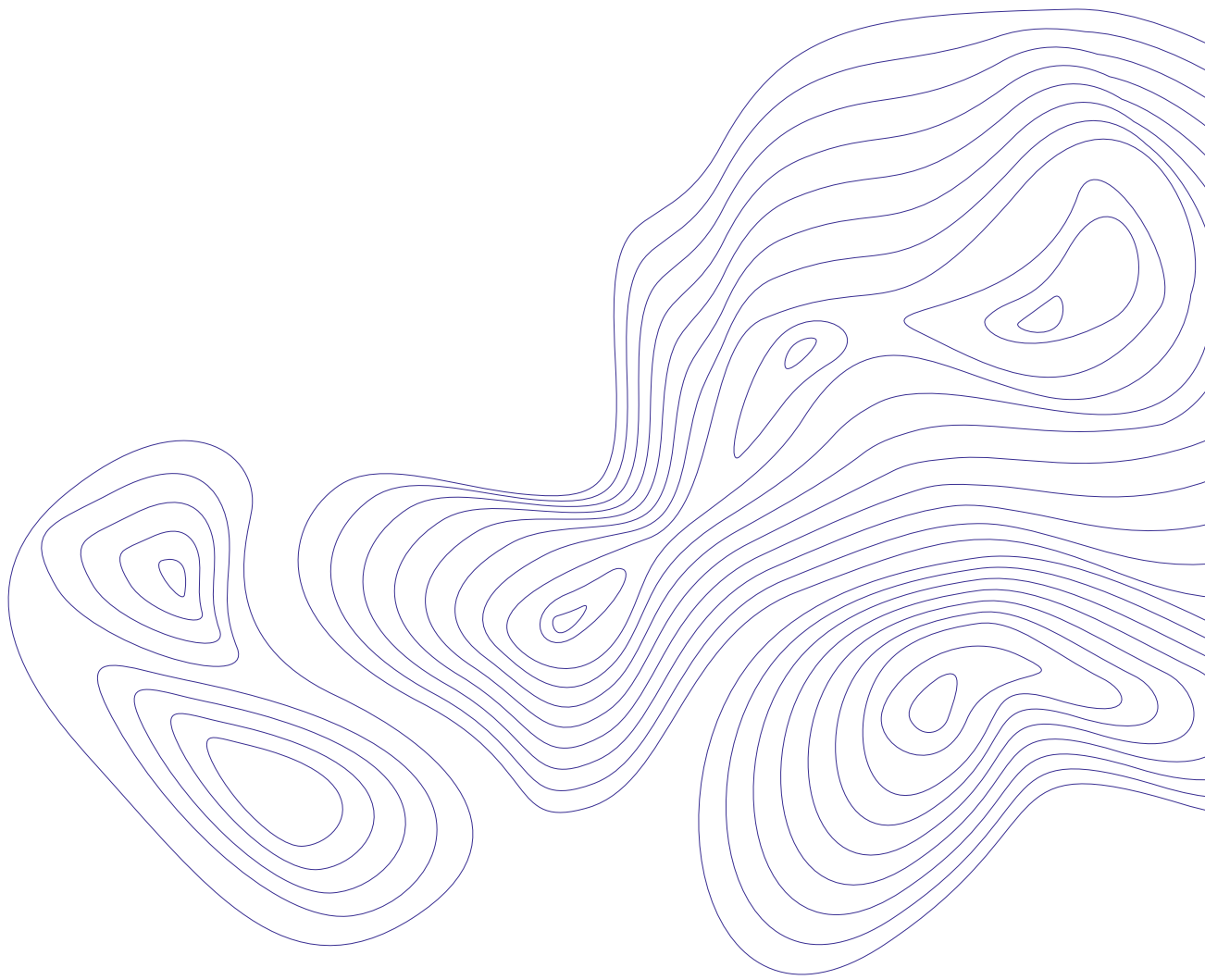
### **Une photographie à un instant T**

La prise de vue est réalisée généralement avec le moins d'angles possible pour ne pas avoir d'ombre. Cela se situe en général autour de midi, mais l'analyse n'est valable que pour cette heure et pas forcément tout le long de la journée, alors que les ICU évoluent selon les heures de la journée.

### **Une prise en compte du contexte géographique et climatique**

Des facteurs météorologiques peuvent faire fluctuer les analyses comme l'humidité de l'air ou le vent qui peut générer des panaches de chaleur ou des refroidissements.

Par ailleurs, les espaces littoraux vont bénéficier d'un refroidissement océanique. Dans les zones de montagne, le relief va influencer les surfaces ombragées et l'exposition au soleil. L'altitude aura une incidence sur les températures (plus l'altitude est élevée, plus il fait froid).



# 4

## Trois exemples d'exploitation de la donnée îlot de chaleur

L'identification de la présence d'ICU, le mesurer et le caractériser à partir de l'occupation territoriale permet d'une part, de diagnostiquer concrètement des situations et d'autre part, de pouvoir formuler des préconisations concrètes dans les projets urbains et les études urbaines réalisées par l'AUDAP. L'Agence propose ici trois types d'analyse sur la commune de Bidart.

### A. Cartographie des températures de surface

À l'heure actuelle, nous nous appuyons sur deux types de cartes :

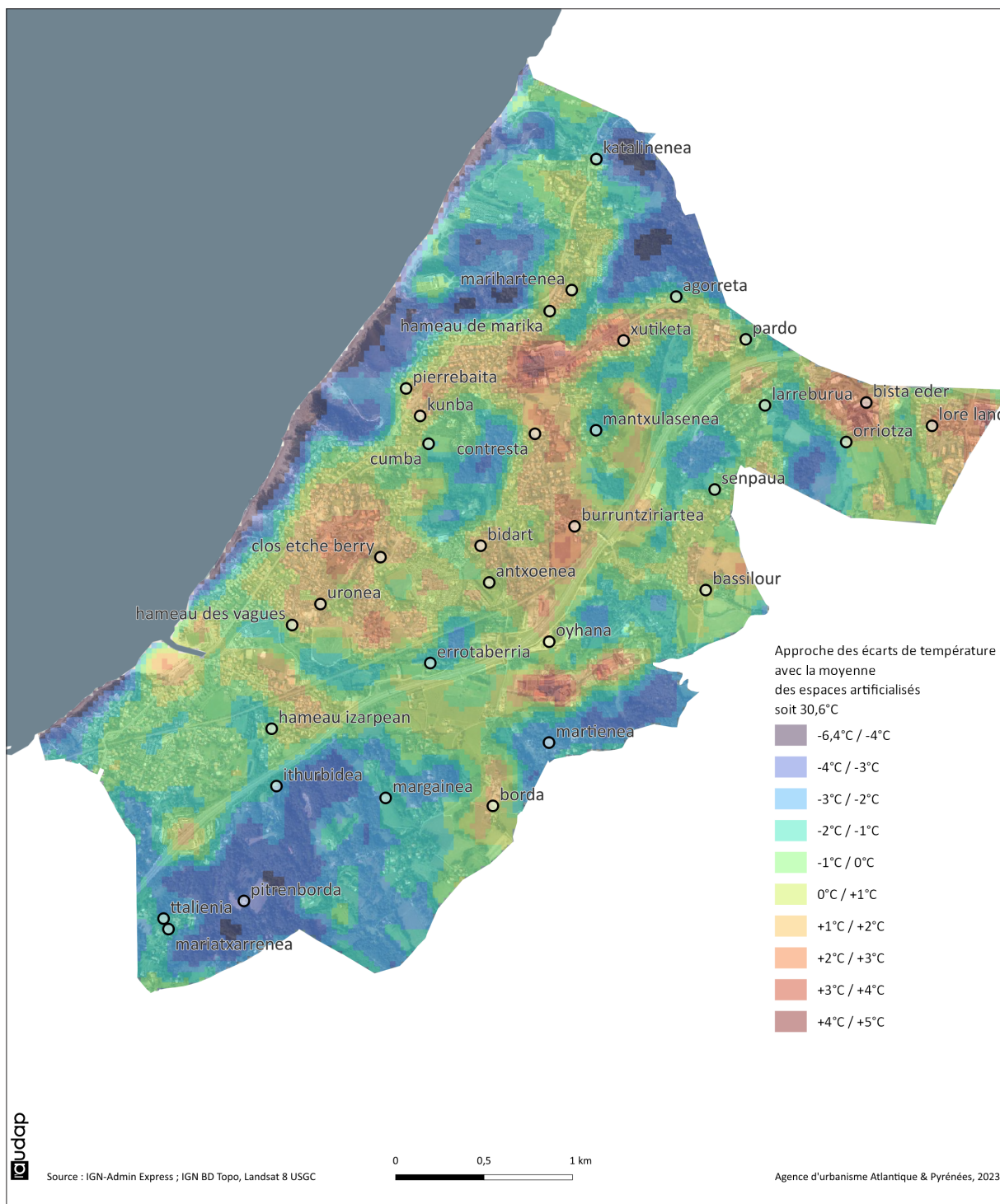
- Une carte des températures de surface (LST) exprimée en degrés Celsius.
- Une carte comparative des températures de surface avec la température de référence sur le territoire. Celle-ci est la température moyenne pondérée des espaces artificialisés obtenue via une superposition avec l'occupation du sol (OCS).

L'objectif de la carte « Cartographie comparative des températures de surface à Bidart le 23/08/2023 à 12h48 » est de faire ressortir les espaces urbains les plus frais et ceux les plus chauds. Pour ce faire, il a été calculé la moyenne de la température de surface pour les espaces considérés comme artificialisés, le résultat est ainsi de 30,6°C. Puis la variation entre sa température et la moyenne est calculée pour chaque pixel.

Dans le camaïeu de bleu à vert, ressortent les espaces dont la température est inférieure à la moyenne des espaces artificialisés. Plus la tonalité est sombre plus ils sont frais et ce jusqu'à -6°C. Les espaces les plus frais sont proches de l'océan ou forestiers. À l'inverse, les espaces dont la température est plus élevée que la tâche urbaine sont représentés avec les tons chauds, du jaune au rouge.

La chaleur augmente notamment avec l'absence de végétation. Les formes urbaines les plus compactes et denses sont généralement liées aux chaleurs élevées puisqu'elles limitent notamment la circulation de l'air. Les zones d'activités ressortent généralement dans toutes les cartes car la chaleur est amplifiée par les activités humaines, l'architecture et les matériaux des bâtiments. Toutefois, il est préférable de se concentrer sur les zones résidentielles et particulièrement les plus vulnérables d'entre-elles (forte densité humaine, logements mal isolés). Les espaces extérieurs (espaces publics) ou des établissements accueillant des publics vulnérables (personnes âgées, écoles...) sont des secteurs à forts enjeux humains.

Cartographie comparative des températures de surface  
à Bidart le 23/08/2023 à 12h48



## B. Cartographie de la vulnérabilité de la population

La majorité des acteurs de l'aménagement des territoires proposent en complément de l'identification des ICU une cartographie de la vulnérabilité de la population. Elle pourrait en effet aider à prioriser les secteurs à fort enjeu sur lesquels intervenir. Néanmoins il faut tout de même relativiser le bénéfice de ce travail puisque, par exemple, nous ne savons pas si les logements sont équipés de climatiseur.

L'AUDAP a ainsi testé une analyse avec la carte suivante « Répartition de la population potentiellement sensible à la chaleur à Bidart en 2017 ». L'objectif de cette carte est d'enrichir les cartes de température avec des informations sur la sensibilité des habitants. La taille des carreaux est proportionnelle à la densité de population en 2017. Le plus gros carreau affiche un nombre d'individus d'environ 236 personnes dans un carré de 200 m de côté. La couleur, elle, nous interpelle sur la part de population résidente potentiellement fragile. Plus la couleur est chaude, plus l'enjeu est potentiellement élevé.

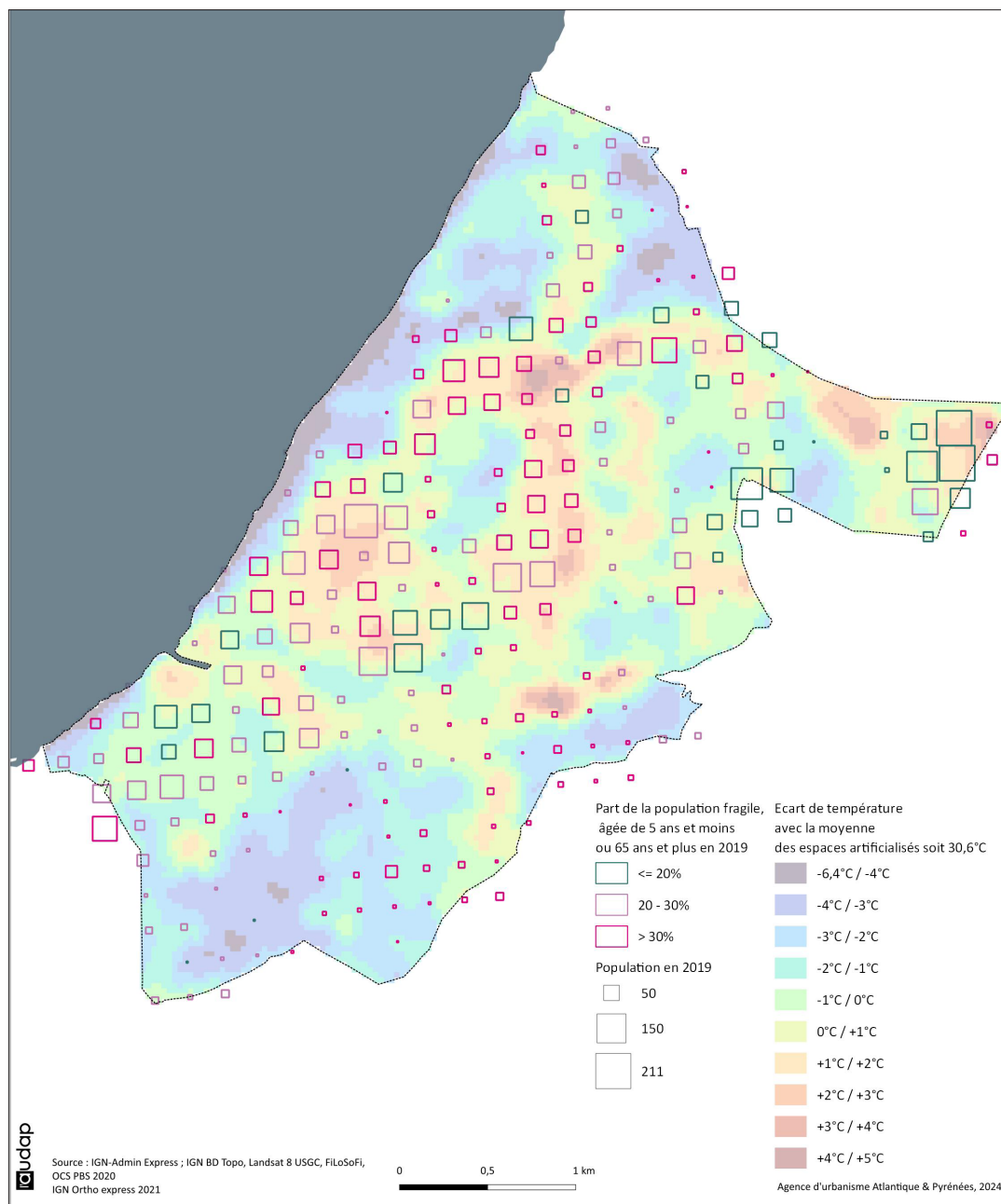
Nous pourrions aller plus loin et croiser avec d'autres critères comme :

- la présence d'établissement de santé ;
- la forte densité de population ;
- la faible superficie habitable par ménage/population (m<sup>2</sup> habitable par personne) ;
- l'absence d'espaces boisés ou de points d'eau pour se rafraîchir.

Une partie de ces informations provient de diverses bases de données. Nous pouvons par exemple mobiliser les fichiers fonciers. Ils peuvent être spatialisés via une agrégation des informations dans le carroyage de 200 m de côté, ou une utilisation au parcellaire, à l'IRIS, à l'Îlot Morphologique Urbain (IMU).



## Répartition de la population potentiellement sensible à la chaleur à Bidart en 2017



## C. Cartographie des îlots de fraîcheur urbains

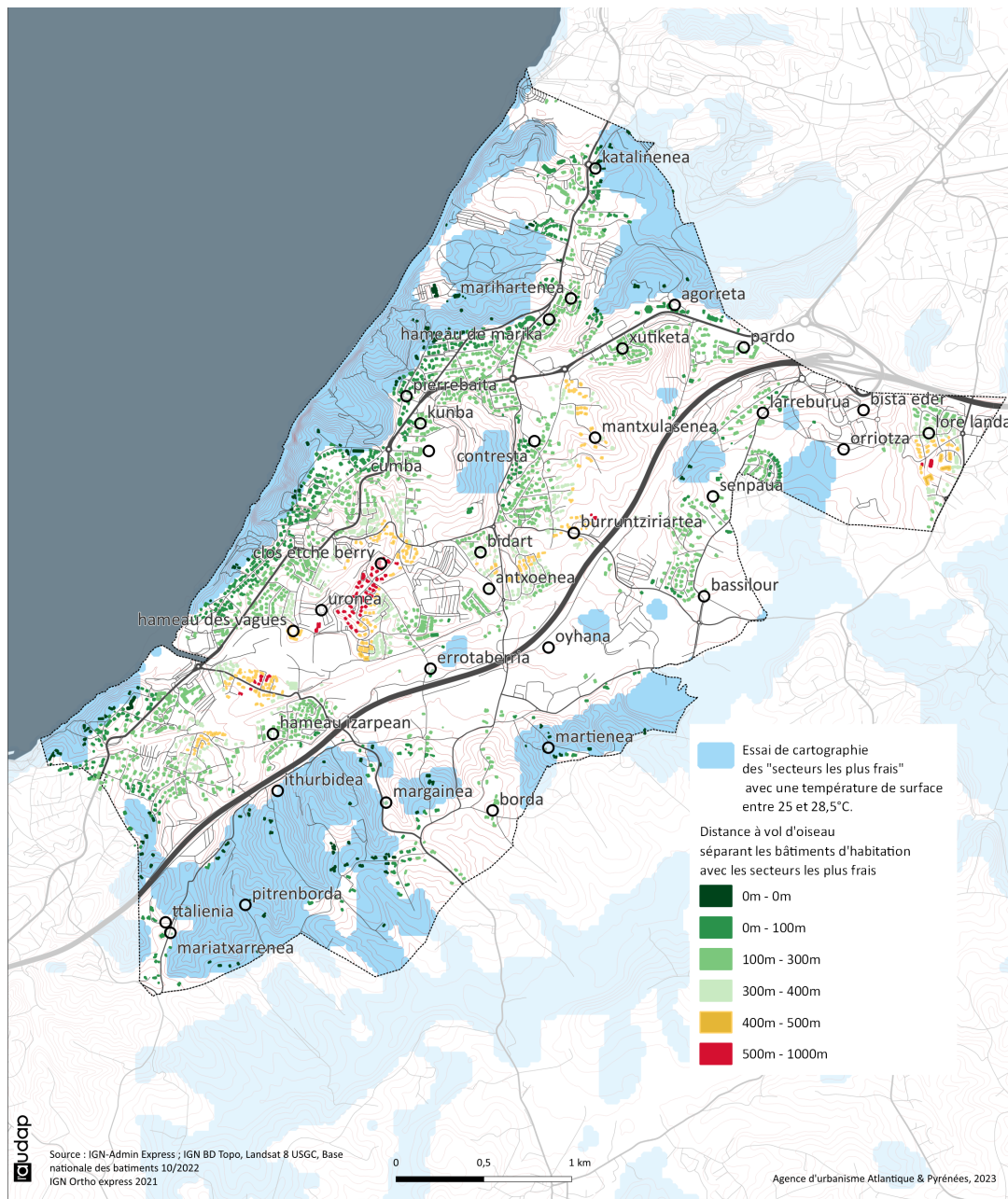
À la demande de la commune de Bidart, l'AUDAP a engagé une approche méthodologique pour définir et identifier les « îlots de fraîcheur urbains ».

**En l'absence de méthodologie approuvée, la qualification de « secteurs les plus frais » semble plus pertinente.** L'objectif de la carte ci-contre « Éloignement des bâtiments résidentiels avec les « secteurs les plus frais » à Bidart le 23/08/2023 à 12h48 » est de localiser les espaces résidentiels les plus éloignés des « secteurs les plus frais » au regard de l'accessibilité, notamment via le réseau routier et les caractéristiques du relief. En bleu se dévoilent les « secteurs les plus frais ».

Le seuil s'élève à 28,5°C de température de surface. Il a été identifié de manière subjective à partir d'un subtil équilibre entre le choix d'une température assez faible relativement à la température mesurée (mais tout de même assez symbolique et intuitive en terme de représentation et une surface suffisamment significative des secteurs).

Pour résumer, les « secteurs les plus frais » s'échelonnent entre 25,5°C et 28,5°C, et font environ 7°C de moins que la température maximale mesurée à Bidart le 23 août 2023 (35,5°C). C'est le cas pour les bâtiments symbolisés avec un vert foncé lorsque leur contour touche les « secteurs les plus frais ». Plus le vert s'éclaircit, plus la distance à vol d'oiseau est importante avec les « secteurs les plus frais ». Au-delà de 500 m de distance, les bâtiments sont représentés en rouge.

Éloignement des bâtiments résidentiels avec les « secteurs les plus frais »  
à Bidart le 23/08/2023 à 12h48



# 5/

## Pour aller plus loin

### A. Continuer à étudier le phénomène des ICU

Un des enjeux serait de travailler à une méthode pour réaliser un suivi dans le temps des images produites via la LST. Même s'il existe des limites telles que le choix du jour du passage du satellite par exemple ou la variation des conditions météorologiques, ceci nous permettrait notamment d'identifier et d'évaluer les nouveaux aménagements urbains.

Un axe intéressant serait aussi d'utiliser les données des diagnostics énergétiques (DPE) afin de rechercher des zones à enjeux à l'échelle du logement ou du bâtiment.

Dans la continuité de cette piste, nous pourrions utiliser les techniques de l'Intelligence Artificielle pour améliorer la méthode de calcul de jour et de nuit pour identifier les ICU ; croiser les résultats avec des bases de données : Nationale des Bâtiments par exemple et/ou DPE et/ou Social/Revenus ; et développer un scoring par quartier où il faut « agir » ou anticiper pour la collectivité.

### B. Continuer le travail d'identification des IFU

En enrichissant notre méthode pour cartographier les îlots de fraîcheur urbains, celle-ci permettrait d'identifier les espaces verts publics, les sources d'eau, les espaces ombragés ou les espaces végétalisés par exemple, en s'appuyant sur les travaux réalisés en 2018 par l'Agence.

Il faut noter que la plupart des agences d'urbanisme ont fait un premier travail d'identification des îlots de chaleur qui a été suivi d'un travail sur les îlots de fraîcheur et d'un guide de solutions présentant des bonnes pratiques.



Guide Isadora - Clef 14. Lutter contre les îlots de chaleur urbains à l'échelle du projet, en créant notamment des îlots de fraîcheur refuges.

[colibris.link/isadora14\\_icu](https://colibris.link/isadora14_icu)

## C. Cartographier les zones climatiques locales

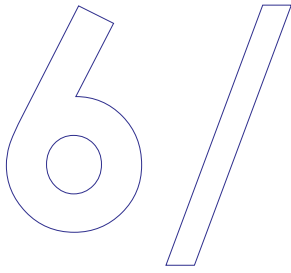
Une des solutions pour dépasser les problèmes rencontrés consiste à s'affranchir des mesures variables en s'appuyant sur la morphologie urbaine. En effet, Stewart et Oke 2012, ont développé le concept de zones climatiques locales (LCZ). C'est une sorte d'occupation du sol homogène en termes d'enjeux induits par les phénomènes d'ICU qui s'appuie notamment sur la hauteur, la densité ou la compacité des espaces bâtis et/ou de la végétation. Le CEREMA a adapté le concept sur plusieurs territoires (Nancy, Nice etc.) et des agences d'urbanisme qui, comme l'institut Paris Région, lui ont emboité le pas en utilisant l'échelle très fine des îlots morphologiques urbains (IMU).

Dans le cadre du projet MApUCE, les principales agglomérations françaises, dont l'unité urbaine de Pau et de Bayonne, ont fait l'objet d'une cartographie des ICU. À cette occasion, des unités de référence assez proches des LCZ ont été élaborées. Autre conséquence bénéfique, l'outil libre GGeoClimate a été créé et permet de réaliser automatiquement des LCZ. Cependant les données sont anciennes (BD TOPO 2.0).



Paris, Lille, Toulouse, Lyon, Grenoble, Bordeaux...  
Visualisez l'îlot de chaleur dans votre zone urbaine  
[colibris.link/franceinfo\\_MApUCE](https://colibris.link/franceinfo_MApUCE)





# Bibliographie

## Îlot de chaleur

- Institut Paris Région. « Les îlots de chaleur urbains. Répertoire de fiches connaissance », novembre 2010, 58. [https://www.institutparisregion.fr/fileadmin/NewEtudes/Etude\\_774/Les\\_ilots\\_de\\_chaleur\\_urbains\\_REPERTOIRE.pdf](https://www.institutparisregion.fr/fileadmin/NewEtudes/Etude_774/Les_ilots_de_chaleur_urbains_REPERTOIRE.pdf)

## Îlot de fraîcheur

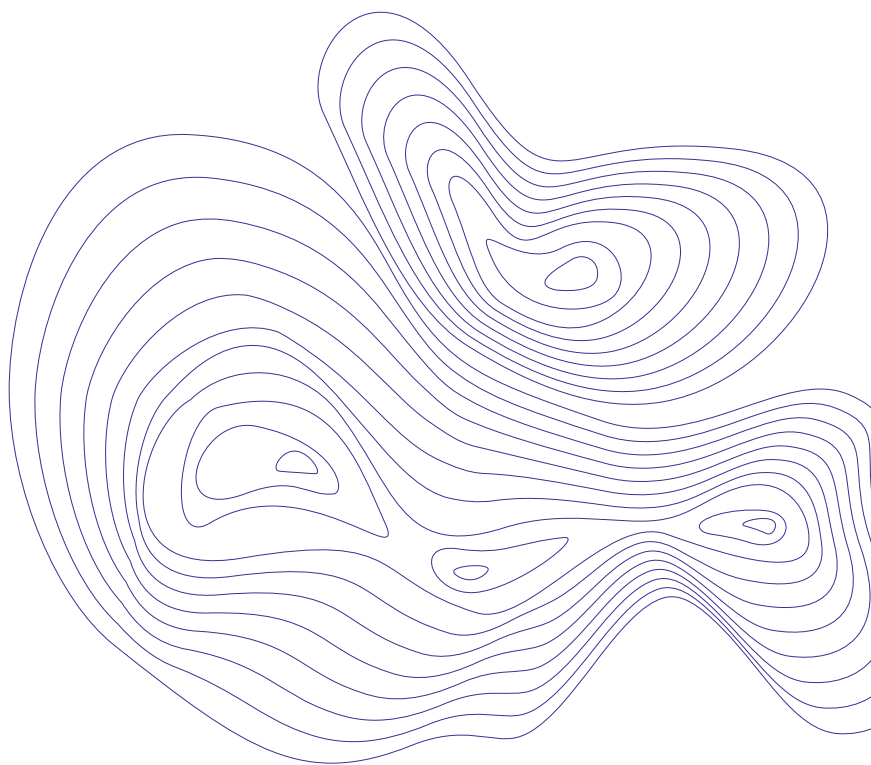
- A'URBA. « De l'îlot de chaleur urbain à l'îlot de fraîcheur- a'urba, agence d'urbanisme Bordeaux Aquitaine ». Agence d'urbanisme Bordeaux Aquitaine (blog), septembre 2020. <https://www.aurba.org/productions/de-lilote-de-chaleur-urbain-a-lilote-de-fraicheur/>.
- AUDRNA. « Les îlots de fraîcheur urbains : quand la ville s'adapte aux fortes chaleurs estivales ». Agence d'urbanisme région nîmoise et alésienne, 7 juin 2022. <https://www.audrna.com/index.php/214-les-ilots-de-fraicheur-urbains-quand-la-ville-s-adapte-aux-fortes-chaleurs-estivales>.

## Cartographie

- Erwan Cordeau, IPR. « Chaleur sur la ville ». L'Institut Paris Region, 21 juillet 2023. <https://www.institutparisregion.fr/environnement/changement-climatique/chaleur-sur-la-ville/>.
- Institut Paris Région. « Adapter l'Île-de-France à la chaleur urbaine ». Consulté le 27 novembre 2023. <https://iau-idf.maps.arcgis.com/apps/instant/portfolio/index.html?appid=ff73f22b99c74d009e0882aa2aff3149>.
- AURAN. « Cartographie interactive des îlots de chaleur en Loire-Atlantique ». Agence d'urbanisme de la région nantaise (blog). Consulté le 27 novembre 2023. <https://www.auran.org/cartographie-interactive-des-ilots-de-chaleur-en-loire-atlantique/>.

## Changement climatique et adaptation

- [ecologie.gouv.fr](https://www.ecologie.gouv.fr). « Impacts du changement climatique : Atmosphère, Températures et Précipitations ». Ministères Écologie Énergie Territoires, 24 novembre 2023. <https://www.ecologie.gouv.fr/impacts-du-changement-climatique-atmosphere-temperatures-et-precipitations>.
- Région Nouvelle-Aquitaine. « Rapport Néo Terra, Rapport de développement durable ». [calameo.com](https://www.calameo.com/read/006009271a69096b83727), septembre 2023. <https://www.calameo.com/read/006009271a69096b83727>.







## Agence d'urbanisme Atlantique & Pyrénées

### Antenne de Bayonne

Petite Caserne- 2 allée des Platanes  
BP 628 64106 Bayonne Cedex  
Tél. 05 59 46 50 10

### Antenne de Pau

1 rue Lapouble  
64000 Pau  
Tél. 05 33 64 00 30



Les membres de droit de l'Agence d'urbanisme Atlantique & Pyrénées