

**EXAMEN PROFESSIONNEL DE PROMOTION INTERNE  
D'INGÉNIEUR TERRITORIAL**

**SESSION 2022**

**ÉPREUVE DE PROJET OU D'ÉTUDE**

**ÉPREUVE D'ADMISSIBILITÉ :**

**L'établissement d'un projet ou étude portant sur l'une des options, choisie par le candidat lors de son inscription.**

Durée : 4 heures  
Coefficient : 5

**SPÉCIALITÉ : INFORMATIQUE ET SYSTEMES D'INFORMATION**

**OPTION : SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE, TOPOGRAPHIE**

**À LIRE ATTENTIVEMENT AVANT DE TRAITER LE SUJET :**

- ♦ Vous ne devez faire apparaître aucun signe distinctif dans votre copie, ni votre nom ou un nom fictif, ni initiales, ni votre numéro de convocation, ni le nom de votre collectivité employeur, de la commune où vous résidez ou du lieu de la salle d'examen où vous composez, ni nom de collectivité fictif non indiqué dans le sujet, ni signature ou paraphe.
- ♦ Sauf consignes particulières figurant dans le sujet, vous devez impérativement utiliser une seule et même couleur non effaçable pour écrire et/ou souligner. Seule l'encre noire ou l'encre bleue est autorisée. L'utilisation de plus d'une couleur, d'une couleur non autorisée, d'un surligneur pourra être considérée comme un signe distinctif.
- ♦ Le non-respect des règles ci-dessus peut entraîner l'annulation de la copie par le jury.
- ♦ Les feuilles de brouillon ne seront en aucun cas prises en compte.

**Ce sujet comprend 62 pages dont 4 annexes.**

**Il appartient au candidat de vérifier que le document comprend  
le nombre de pages indiqué.**

*S'il est incomplet, en avertir le surveillant.*

- ♦ Vous répondrez aux questions suivantes dans l'ordre qui vous convient, en indiquant impérativement leur numéro.
- ♦ Vous répondrez aux questions à l'aide des documents et de vos connaissances.
- ♦ Des réponses rédigées sont attendues et peuvent être accompagnées si besoin de tableaux, graphiques, schémas...

Vous êtes ingénieur territorial, en charge de l'information géographique et de la topographie de la commune d'INGEVILLE (140 000 habitants). Le rôle des îlots de chaleur urbains dans la surmortalité observée pendant les vagues de chaleurs inquiète grandement les élus. A cela s'ajoute que les évolutions climatiques ne cessent de provoquer des pics de températures qui génèrent un inconfort voire un caractère impropre à l'habitation des logements anciens. De plus, en centre urbain dense, les élus ne souhaitent pas voir fleurir des climatiseurs sur les façades patrimoniales.

Dans ce contexte, la collectivité a décidé d'engager une réflexion pour lutter contre ces îlots de chaleurs. Votre directeur vous charge d'y contribuer grâce au système d'information géographique (SIG).

### **Question 1 (5 points)**

a) Vous exposerez les objectifs et les enjeux de l'étude des îlots de chaleur dans le contexte du changement climatique (2 points)

b) Vous préciserez les apports qu'un SIG apporte dans le traitement de cette problématique et l'identification des îlots à traiter. (3 points)

### **Question 2 (5 points)**

a) Dans l'objectif de mesurer les îlots de chaleur urbains et la surchauffe urbaine, vous citerez les différents acteurs pouvant fournir des données pertinentes pour l'étude. (2 points)

b) Vous préciserez les données complémentaires à collecter ou acquérir pour cette étude en prenant en compte les exigences en matière de métrologie technique. (3 points)

### **Question 3 (4 point)**

Vous proposerez une méthode projet pour mettre en place les outils SIG permettant de conduire les différentes étapes de l'étude des îlots de chaleur urbains.

### **Question 4 (6 points)**

Afin de présenter le projet à la direction générale, votre DSI vous demande de rédiger une note sur la feuille de route proposée par le service SIG pour conduire cette étude. Vous détaillerez également les modalités d'information et de communication auprès du public et des décideurs.

## Liste des documents :

- Document 1 :** « Ilots de chaleur : Agir dans les territoires pour adapter les villes au changement climatique » - *cerema.fr* - 28 juin 2019 - 4 pages
- Document 2 :** « Carte des îlots de chaleur et de fraîcheur urbains Lyon et Marseille » - *NEPSNEN E6* - juillet 2019 - 4 pages
- Document 3 :** « L'îlot de chaleur urbain que sait-on de lui ? Comment le mesurer ? » - *urbalyon.org* - 1<sup>er</sup> septembre 2019 - 1 page
- Document 4 :** « Open data : le gouvernement souhaite simplifier les démarches en ligne de 1.000 collectivités d'ici 2022 » - *banquedesterritoires.fr* - 28 septembre 2021 - 2 pages
- Document 5 :** « Comprendre la métrologie » (extrait) - *Laboratoire National de Métrologie et d'Essais* - Consulté le 1<sup>er</sup> mars 2022 - 2 pages
- Document 6 :** « Lutter contre les Îlots de chaleur urbains à l'échelle du projet, en créant notamment des îlots de fraîcheur refuges » - *Agence d'urbanisme Bordeaux Aquitaine* - 2020 - 9 pages
- Document 7 :** « COPERNICUS » - *copernicus.eu* - Consulté le 1<sup>er</sup> mars 2022 - 3 pages
- Document 8 :** « OCS GE » - *geoservices.ign.fr* - Consulté le 1<sup>er</sup> mars 2022 - 1 page
- Document 9 :** « Lidar HD : vers une nouvelle cartographie 3D du territoire » (extraits) - *ign.fr* - Consulté le 1<sup>er</sup> mars 2022 - 4 pages
- Document 10 :** « Apports de la télédétection pour la connaissance des enjeux environnementaux » - *DREAL Hauts-de-France* - 18 novembre 2021 - 7 pages
- Document 11 :** « La lutte contre les îlots de chaleur urbains, l'enjeu primordial des villes » - *Rue89Lyon* - 2 avril 2019 - 3 pages
- Document 12 :** « Création de cartes de zones climatiques locales pour le suivi des îlots de chaleur urbains à Strasbourg » (extrait) - *Revue XYZ n°63* - 2020 - 9 pages
- Document 13 :** « Télédétection dans l'infrarouge thermique et températures de surface » (extraits) - *Cerema* - 20 octobre 2016 - 2 pages

**Liste des annexes :**

- Annexe 1 :** « Présentation d'INGEVILLE » - *INGEVILLE* - 2022 - 1 page
- Annexe 2 :** « Fiche climatologique d'INGEVILLE. Statistiques 1981 – 2010 et records » - *Météo France* - 16 octobre 2021 - 2 pages
- Annexe 3 :** « Métadonnées Météofrance » - *Météofrance* - 12 février 2020 - 3 pages
- Annexe 4 :** « DATABASE matériaux de sol » - 1 page

**Documents reproduits avec l'autorisation du C.F.C.**

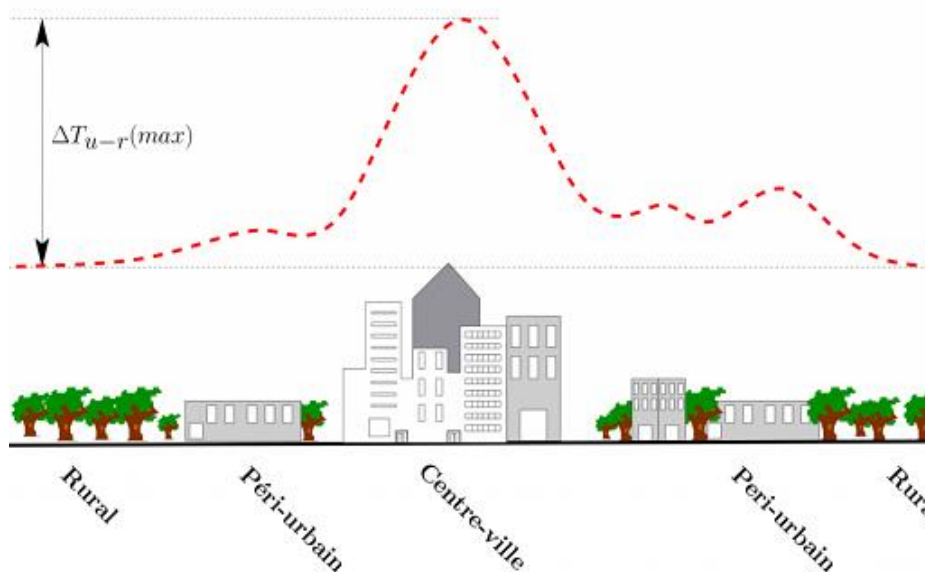
*Certains documents peuvent comporter des renvois à des notes ou à des documents non fournis car non indispensables à la compréhension du sujet.*



## « Ilots de chaleur : Agir dans les territoires pour adapter les villes au changement climatique » - *Cerema.fr* - 28 juin 2019

On constate de manière récurrente qu'il fait plus chaud en ville qu'en périphérie ou dans les espaces naturels. Ce climat local lié à l'urbanisation entraîne des problèmes en termes de santé et de bien-être, surtout l'été en période de fortes chaleurs. Différents travaux sont menés depuis plusieurs années afin de mieux comprendre et de faire face à ce phénomène.

### Connaître le phénomène



Schématisation du phénomène d'îlot de chaleur

Le **climat évolue**, avec des vagues de chaleur plus fréquentes depuis 30 ans. Celles-ci sont amenées à se multiplier et à beaucoup s'amplifier à horizon 2100.

Combiné à l'augmentation de la population et à la densification urbaine, **le changement climatique va rendre plus prégnant le phénomène des îlots de chaleur urbains (ICU)**, c'est-à-dire une élévation des températures de l'air et de surface des centres-villes par rapport aux périphéries, **particulièrement la nuit**.

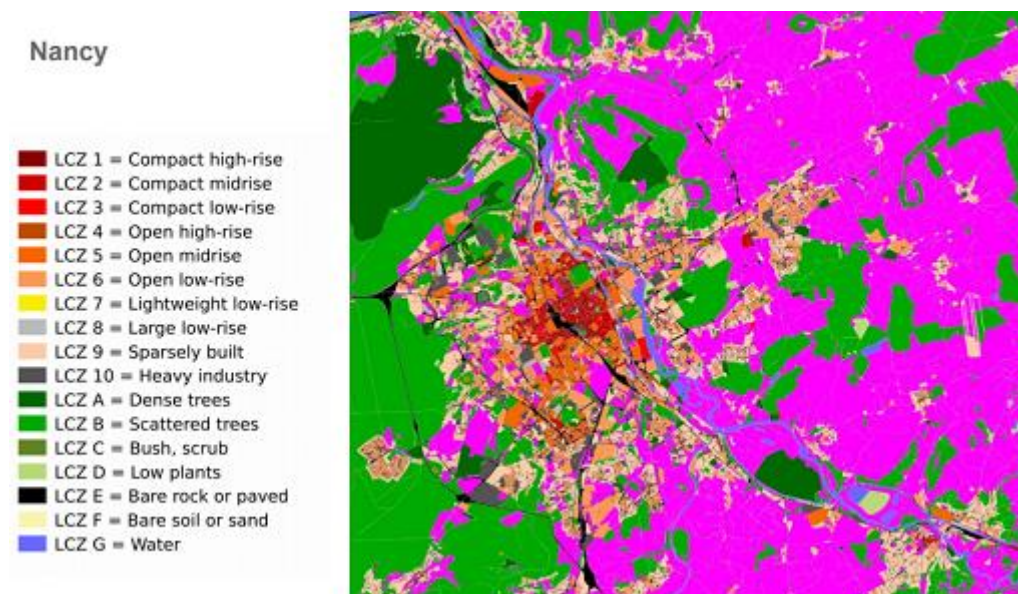
Ce phénomène a des **impacts** variés : conséquences sur la santé, sur le bien-être des habitants, sur la "praticabilité" de l'espace public et donc sur **l'attractivité des centres-villes**, sur les consommations énergétiques (climatisation), sur la résilience des infrastructures et les réseaux urbains et sur le maintien de la biodiversité animale et végétale.

Le phénomène des ICU est lié à plusieurs facteurs :

- Les propriétés thermophysiques des **matériaux** utilisés pour la construction des bâtiments, des voiries et autres infrastructures,
- L'occupation du **sol** (sols minéralisés, absence de végétation)
- La **morphologie urbaine** (voies de circulation importantes, « rugosité » urbaine diminuant la convection...)
- Le dégagement de chaleur issu des **activités humaines** (moteurs, systèmes de chauffage et de climatisation...)

Les matériaux urbains stockent la chaleur (15 à 30% de plus que les zones moins denses) la journée qui se relibère la nuit. C'est pour cette raison que le phénomène d'ICU est plus marqué la nuit, empêchant les températures de redescendre.

## Des outils pour les collectivités



**Le Cerema conduit des travaux d'innovation et d'expertise** sur le sujet, avec des méthodes de mesures micro-météorologiques réalisées à l'aide d'un véhicule instrumenté et ou bien via des réseaux de capteurs fixes.

L'imagerie satellitaire et le recours à la géomatique permettent également de produire des indicateurs urbains multicritères et de réaliser un **zonage des différents espaces en fonction de leurs conditions climatiques** par une approche statistique simplifiée.

Cette approche a été développée dans le projet DIACLIMAP, subventionné par l'Ademe (2015-2017), dont l'objectif était de permettre d'intégrer la problématique des ICU dans la planification de l'aménagement urbain, en prenant en compte les paramètres de morphologie urbaine et d'occupation du sol. Les méthodes développées permettent de **cartographier la ville en zones climatiques locales** (Local Climate Zone – LCZ) à partir de diverses bases de données géographiques et les images satellitaires PLEIADES. En sortie, des indicateurs de potentiel d'ICU localisé peuvent alimenter un diagnostic expert.

En 2018, l'Ademe a fait appel au Cerema et à un bureau d'études pour établir un recueil plus large des méthodes de diagnostic de la surchauffe urbaine, qui permet de déterminer l'importance du phénomène à une échelle fine.

Cet inventaire a été réalisé à partir du retour d'expérience de cinq villes ayant réalisé un tel diagnostic (Bordeaux, Nancy, Nice, Lille et Mantes-la-Jolie).

## Agir contre les îlots de chaleur

La **Métropole de Clermont-Ferrand** connaît elle aussi un problème de surchauffe urbaine et déploie une stratégie d'adaptation au changement climatique.

Dans le cadre du réaménagement d'une place centrale de la ville, la place Delille, la Métropole a voulu agir sur le phénomène d'ICU et le confort d'été au sein de l'espace public.

Avec le Cerema et l'agence d'urbanisme locale, la Métropole a entrepris de caractériser le phénomène par une instrumentation fixe et mobile sur la place et ses abords, pour relever les températures et l'hygrométrie (l'humidité) de jour comme de nuit, aussi bien en été qu'en hiver. Le projet **combine des mesures avec le ressenti des habitants** afin d'objectiver le phénomène d'ICU.

Il est apparu que **la place Delille est plus chaude la nuit, de 2 à 3°C, que la périphérie**, car la chaleur accumulée durant la journée est restituée la nuit. Les causes de ce phénomène d'ICU sont ensuite analysées, pour établir un référentiel qui servira de base à la mise en œuvre de la stratégie future.

Après avoir objectivé le phénomène d'ICU, un outil d'aide à la décision sera élaboré pour guider les collectivités dans le choix des actions à mettre en œuvre contre le phénomène d'ICU. L'expérimentation menée à la place Delille sera ensuite étendue à d'autres communes. L'étude vient de démarrer, et prendra fin à l'horizon 2021-2022.

Avec la **métropole du Grand Nancy**, où a été mené le projet Diaclimap, le Cerema réalise jusqu'en 2021 une étude de la vulnérabilité des quartiers aux îlots de chaleur urbains, en croisant des indicateurs socio-démographiques, de qualité constructives et énergétique du bâti, de manière à identifier des zones à enjeu et permettre la mise en œuvre d'actions d'adaptation via les documents d'urbanisme.

De **nombreuses villes ont pris conscience** au fil du temps de la problématique de surchauffe urbaine et de ses enjeux, et elles s'interrogent sur la stratégie et les actions à mettre en œuvre pour atténuer ce phénomène.

Les **solutions** à développer pour faire face aux îlots de chaleur urbains doivent être **adaptées au contexte et au climat local**. Dans ce domaine, le Cerema peut apporter ses capacités d'expertise et d'études auprès d'agglomérations de toute taille, depuis grandes métropoles jusqu'aux agglomérations de taille moyenne.

## Les principales recommandations pour lutter contre les îlots de chaleur urbains :

- Renforcer la présence de la nature et de l'eau au sein des projets d'aménagement ;
- Favoriser des ambiances propices dans un contexte de multiplication des vagues de chaleur ;
- Optimiser l'organisation spatiale
- Favoriser une conception technique adaptée
- Favoriser une conception intégrant les besoins, les usages et les pratiques de gestion.

## 3 exemples d'aménagements favorables à la fraîcheur en ville

Afin d'améliorer l'aménagement urbain face à la problématique des îlots de chaleur, les collectivités disposent de solutions "vertes", liées à la nature et au végétal, de solutions "bleues" liées à la présence de l'eau, ou encore de solutions dites "grises" liées aux matériaux urbains.

Des exemples d'aménagements qui répondent au phénomène d'ICU

- **La rue Garibaldi à Lyon**, un boulevard urbain de près de 5 km, [entièrement réaménagée](#) en 3 phases : cheminements piétons plus larges, pose de bancs, création de pistes cyclables, d'une voie de bus en plus des voies de circulation, implantation d'arbres, revêtements de couleur claire absorbant davantage la chaleur, fossé pour récupérer l'eau de ruissellement. Le site est instrumenté avec des capteurs de température pour évaluer l'apport de fraîcheur, ainsi que pour détecter un éventuel stress thermique des arbres et un besoin d'arrosage, au moyen de l'eau stockée dans un bassin enterré.
- **L'EcoQuartier de Clichy Batignolles** : situé sur 54 hectares d'anciennes friches de la SNCF, l'EcoQuartier, qui pourra à terme accueillir 3.400 logements et 12.000 emplois au nord-est de Paris intra muros, a été conçu pour prendre en compte le phénomène d'ICU. Les espaces urbains répondent à l'objectif de rafraîchissement des usagers : Parc arboré de 10 ha en plus d'espaces naturels, allées de couleur claire, présence d'eau (fontaines, jets d'eau), gestion alternative des eaux pluviales (récupération, stockage et diffusion dans un bassin biotope), bâtiments conçus pour un important confort d'été. Le site, qui devrait permettre une baisse de 2°C en période de canicule, sera aussi une réserve de biodiversité.
- **Le pôle multimodal de Saint-Augustin**, près de l'aéroport de Nice et d'un quartier d'affaires, a été conçu à l'aide l'outil EnviMet, qui permet de simuler les conditions climatiques à l'échelle du bâtiment ou du quartier. Le projet a été amélioré, notamment sur les plans de :
  - la densification des masses végétales, afin de réduire le phénomène d'accélération du vent, et pour créer de l'ombrage ;
  - la modification du plan masse par le déplacement d'un projet de bâtiment,
  - la mise en place de solutions innovantes autour de l'humidification de l'air et des sols : arrosage de la chaussée, via une buse d'aspersion intégrée à un trottoir et mise en place de pavés à rétention d'eau.

## « Carte des ilots de chaleur et de fraîcheur urbains Lyon et Marseille » - NEPSNEN E6 - 23 juillet 2019

### La démarche de cartographie des ilots de chaleur et de fraîcheur urbains des territoires

La cartographie des ilots de chaleur urbains d'un territoire est une excellente première étape dans le cadre d'une démarche d'adaptation et de résilience aux changements climatiques. Elle permet en effet de visualiser assez simplement, à partir des températures de surface, les zones chaudes et fraîches du territoire.

Il est alors possible de confirmer l'analyse par une campagne de mesure sur site (aérienne, au sol, température ambiante, etc), l'étude de sites pilotes, et l'appropriation du territoire, afin d'aboutir à un plan d'action sur l'existant comme sur les projets d'urbanisation.

Ce plan d'actions de lutte contre les ilots de chaleur urbains fait la part belle aux services éco systémiques offerts par la nature en ville, la couleur et le choix des matériaux, l'ombre, la place de l'eau, et tout un nombre de mesure simple d'adaptations aux nombreuses externalités positives.

Voici quelques exemples de cartes que nous avons réalisées et des premières informations que l'on peut en tirer.

### Carte des ilots de chaleur et de fraîcheur urbains de Lyon

La métropole du Grand Lyon est, avec la ville de Paris, un des territoires français les plus avancés sur les enjeux thermiques et environnementaux, notamment lié à la problématique des Îlots de Chaleur Urbains. Lyon est en effet une des métropoles qui subit le plus l'effet d'îlot de chaleur urbains.

La métropole a également testé sur 10 sites, notre outil score ICU – outil de dialogue et d'aide à la décision sur la thématique des ilots de chaleur et de fraîcheur urbains.





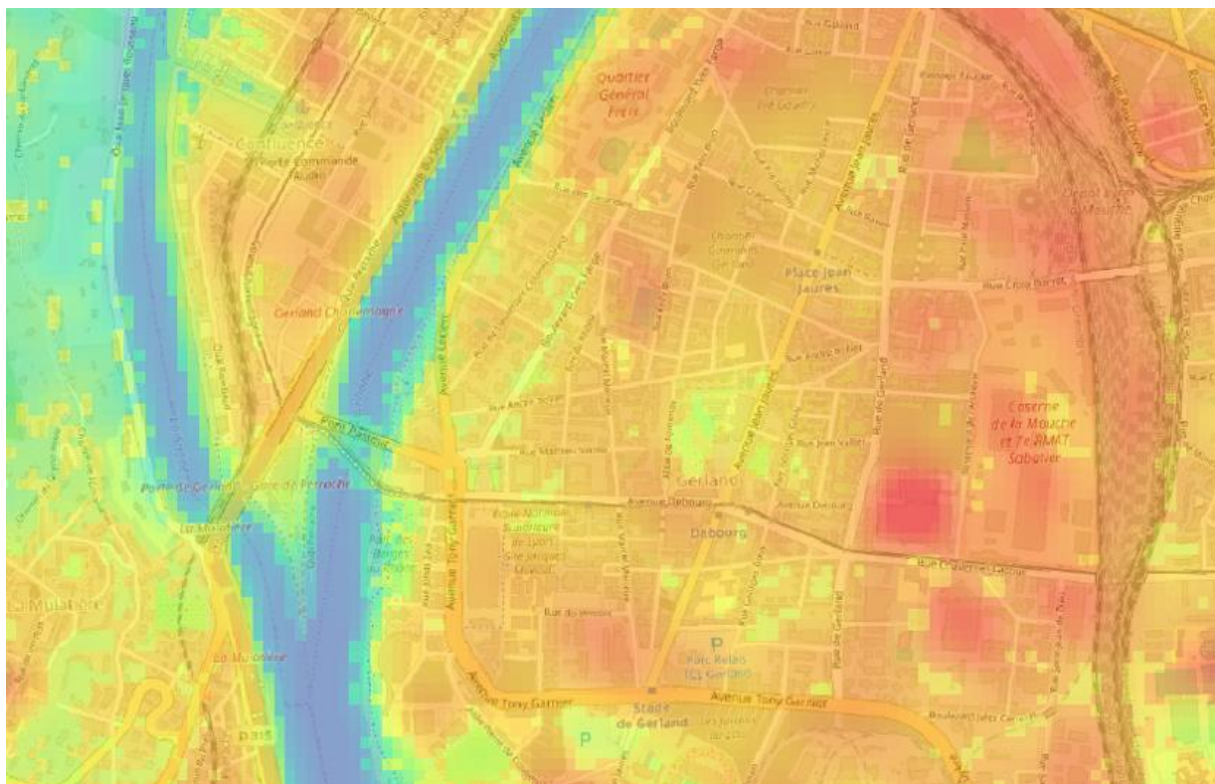
Le Rhône a une nouvelle fois été placé en vigilance orange Canicule pour la deuxième fois de l'année avec des températures record en vallée du Rhône et des températures nocturnes notamment à Lyon ne descendant pas sous les 24°C et des températures maximales en journée de l'ordre de 38 à 39°C.

La ville de Lyon est particulièrement exposée au phénomène avec un écart de 3 à 4 °C entre le centre-ville et les communes avoisinantes. La région a d'ailleurs systématiquement été placée en vigilance Canicule lors des derniers épisodes nationaux depuis 2013.

Une double peine car ces épisodes de fortes chaleurs sont souvent liés à des épisodes estivaux de pollution de l'air (notamment à l'ozone).

Sur ces extraits des cartes satellites des ICU que nous avons réalisées, on observe l'effet bénéfique du parc de la tête d'or et des fleuves (Rhône et Saône) sur l'apport de fraîcheur en ville ainsi que les effets localisés des nombreuses places et parcs végétalisés de la ville. A contrario, les zones en pleine restructuration au sud de Jean Macé ainsi que les zones situées le long de la voie ferrée sont fortement exposées car éloignées des effets bénéfiques des fleuves et des grands espaces végétalisés.

E6 dispose d'une forte connaissance du contexte local au travers de son agence lyonnaise et des travaux réalisés auprès du Grand Lyon et une mission actuellement en cours de cartographie des ilots de chaleur urbain pour la Ville de Valence qui met en œuvre des mesures terrains fixes et mobiles (vélo), l'utilisation de drone avec capteur thermique infrarouge, l'étude d'un site pilote, et la mise en œuvre d'un plan d'actions de lutte contre les ilots de chaleur urbains et de développement des ilots de fraîcheur.



# Carte des îlots de chaleur et de fraîcheur urbains de Marseille

La Métropole d'Aix-Marseille Provence (AMP) est la plus grande Métropole de France (3 100 km<sup>2</sup>) avec 92 communes (90 dans les Bouches-du-Rhône ( $\frac{3}{4}$  des communes du département), 1 dans le Vaucluse, 1 dans le Var), fondée autour des pôles de Marseille et Aix en Provence (plus de 100 000 habitants). Elle possède une population largement urbaine : 1 850 000 habitants (densité près de 6 fois plus élevée qu'en France métropolitaine) dont 60% résident à Marseille ou Aix-en-Provence et 99% dans les 9 plus grandes villes du territoire. Il est à noter qu'entre 1988 et 2006, 7% du territoire a été urbanisé pour créer de l'habitat, majoritairement aux dépens des espaces agricoles.

Ceci n'est donc pas sans conséquence sur le climat urbain de la métropole, qui malgré la présence de la Méditerranée à proximité, subit le phénomène d'ICU amplifié par la topographie particulière du territoire. Conscient de cet enjeu, la Métropole AMP, commence à mettre en place des travaux permettant d'identifier ce phénomène sur le territoire. Une fiche réalisée par l'ORS PACA, dans le cadre du Plan Climat Air Énergie Métropolitain de AMP, en avril 2019, mentionne particulièrement cet enjeu sur la métropole.

De notre côté nous avons accompagné la Métropole sur cette thématique sur un projet de réaménagement d'un quartier à Miramas.







Cet extrait de la carte satellite des ICU que nous avons réalisé, nous montre le fort impact de la zone d'activité sur ce quartier de la Cabucelle (dans le 15ème arrondissement de Marseille). Il est tout de même important de constater la fraîcheur apportée par le Parc François Billoux (au centre) et par la Méditerranée sur toute la partie Ouest de la carte.





**« L'îlot de chaleur urbain : que sait-on de lui ? Comment le mesurer ? » - *urbalyon.org* - 1er septembre 2019**

Depuis plusieurs années, les Agences d'Urbanisme de Lyon, Saint-Etienne et Grenoble travaillent à une meilleure compréhension des questions climatiques, en particulier sur la ville dense, là où se posent de forts enjeux d'adaptation au changement climatique.

L'effet d'îlot de chaleur urbain fait référence à un phénomène de la température d'air plus élevée en milieu urbain par rapport aux zones rurales voisines. La perspective de subir des vagues de chaleur plus fréquentes et plus intenses dans les années à venir renforce l'acuité de ce sujet.

Les trois Agences d'Urbanisme ont accompagné les travaux de thèse de Mme Julita Diallo Dudek du laboratoire de climatologie de l'Université Lyon III pour objectiver et décrypter les mécanismes de formation et de comportement de l'îlot de chaleur urbain dans une approche comparée sur les trois agglomérations rhônealpines. Les bases de données de d'Urbalyon, de l'AURG et d'Epures, ont permis d'alimenter des modèles climatiques (Météo France) et de cartographier ces phénomènes dans trois configurations géographiques très différentes sur une même région et sur la base d'une étude de cas en situation de canicule (année 2012).

## DOCUMENT 4

« Open data : le gouvernement souhaite simplifier les démarches en ligne de 1.000 collectivités d'ici 2022 » - [banquedesterritoires.fr](http://banquedesterritoires.fr) - 28 septembre 2021

15 feuilles de route ministérielles en matière d'ouverture, de circulation et de valorisation des données publiques ont été rendues publiques par Amélie de Montchalin lundi 27 septembre. L'un des objectifs affichés est de simplifier les démarches en ligne de 400 collectivités d'ici la fin 2021 et 1.000 pour la fin 2022.

Vos prestations Caf  
Attestation de quotient familial

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
Liberté  
Égalité  
Fraternité

DIRECTION GÉNÉRALE DES IMPÔTS  
Impôt sur l'impôt  
Avis d'impôt

Vos références

Numéro fiscal :  
Déclarant 1 (C) : 14 :  
Déclarant 2 (C) : 00 :  
Référence de l'avis : 21 :  
Adresse d'imposition au 01/01/2021 :

Vos contacts

Par messagerie sécurisée  
Une espace particulier sur [impots.gouv.fr](http://impots.gouv.fr)

Par téléphone  
1 0 800 401 401 \*  
1 lundi au vendredi

20 octobre 20  
25 novembre 20  
27 décembre 20

921  
Madame VIRG

la Caf des Hauts-de-Seine

suivantes pour

**280 collectivités**

Lors de l'inscription à la crèche, à la cantine ou pour les transports scolaires :

- Plus de demande d'attestation de revenu fiscal de référence
- Plus de demande d'attestation CAF

**Objectif fin 2022 : 1 000**

Jean Castex avait "demandé à l'ensemble des membres du gouvernement de faire de la politique de la donnée une de leurs priorités dans leurs relations avec tous les partenaires, notamment les collectivités territoriales, les acteurs privés et la société civile" (voir notre [article du 9 février 2021](#)), a rappelé Amélie de Montchalin, ministre de la Transformation et de l'Action publiques lors d'une conférence de presse qui s'est tenue à l'Institut géographique national (IGN), grand producteur lui-même de données publiques. Avec la publication, lundi 27 septembre 2021, de sa feuille de route 2021-2023, le gouvernement considère qu'il se dote d'un élément clef de sa stratégie de modernisation de l'État. "Les données publiques sont un moteur pour l'économie, un vecteur d'innovations et de nouveaux usages pour notre quotidien, et une condition de préservation de notre souveraineté", a d'ailleurs fait valoir Amélie de Montchalin.

Avant l'été déjà, l'État avait nommé dans chaque ministère un administrateur ministériel des données, qui est désormais doté de sa propre feuille de route, déclinant les objectifs nationaux.

## Faciliter l'adhésion au Pass Famille

Parmi les objectifs affichés, on retiendra celui de "simplifier les démarches administratives des Français, en systématisant le partage de données entre administrations pour ne pas demander des justificatifs", "d'améliorer l'efficacité des politiques publiques, en renforçant le pilotage par les données, à l'instar du baromètre des résultats de l'action publique" et de "promouvoir la transparence de l'action publique". Pour simplifier la vie des Français, le gouvernement entend notamment continuer de développer le principe du "Dites-le nous une fois" consacré dans la loi pour un État au service d'une société de confiance du 10 août 2018 : une

fois qu'un justificatif (relevé d'identité bancaire, numéro d'allocataire CAF, statut d'étudiant ou de demandeur d'emploi) a été fourni à un service public, l'utilisateur n'a pas à le fournir à nouveau lorsqu'il entreprend une nouvelle démarche.

Autre exemple, le gouvernement entend faciliter l'adhésion au Pass Famille ; cette démarche est déjà mise en place par de nombreuses collectivités. Elle vise à venir en aide aux familles et leur proposer aides et avantages auprès des services municipaux.

Il souhaite par ailleurs "accompagner l'ensemble des administrations en charge de la production de données relatives aux personnes physiques, à exposer des API FranceConnectées afin de pré-remplir les démarches en ligne à destination des citoyens". L'objectif affiché est de simplifier les démarches en ligne de 400 collectivités d'ici la fin 2021 et 1.000 pour la fin 2022. A ce jour, 280 collectivités sont concernées.

## **L'API Particulier**

Dans cette démarche, "l'API Particulier" jouera un rôle primordial car elle facilite l'accès des administrations aux données fiscales (DGFIP), familiales (CAF), au statut demandeur d'emploi de Pôle Emploi et au statut étudiant d'un citoyen, pour simplifier les démarches administratives mises en œuvre par les collectivités et les administrations. Rappelons qu'une API est une interface de programmation, qui permet de créer des applications complexes ou d'aller piocher des données de formulaires administratifs dans des bases de données de l'Etat. Celle-ci "doit permettre aux administrations d'accéder à des informations certifiées à la source et ainsi de s'affranchir des pièces justificatives lors des démarches en ligne, de réduire le nombre d'erreurs de saisie et d'écartier le risque de fraude documentaire", est-il détaillé dans le dossier de presse. Cette API est d'ailleurs déjà utilisée dans le cadre de la simplification de l'instruction des dossiers dans les centres communaux d'action sociale, la délivrance de titres de transports, les inscriptions à la crèche, la tarification de la restauration scolaire et des activités périscolaires et municipales ou le calcul d'un quotient familial sur un portail famille. "En l'espace d'un an, le service est passé de 97 demandes d'accès à 280 grâce à un travail partenarial avec plus de 35 éditeurs facilitant ainsi la conception, l'intégration et le déploiement de l'API Particulier", précise le dossier de presse.

## **Algorithme Affelnet/Lycée au chapitre de la transparence**

Au chapitre de la transparence, le gouvernement prévoit notamment de rendre accessible le code source de l'algorithme Affelnet/Lycée, qui détermine les affectations des élèves de troisième, et de publier plus de données sur les financements de la recherche. Sur ces questions de transparence, la Dinum, par l'intermédiaire d'Etalab, accompagne d'ores et déjà les administrations sur ces questions ainsi que sur celles de redevabilité et d'explicabilité des algorithmes publics, et a "déjà mis à disposition des ressources pédagogiques et pratiques en la matière, à l'instar du modèle d'inventaire réalisé par Etalab en lien avec des ministères et des collectivités territoriales", souligne le ministère.

L'IGN, qui a accueilli la conférence de presse, s'est quant à lui donné en exemple de producteur de données publiques au service de la collectivité. Ses données de cartographie sont désormais librement accessibles. L'IGN a également présenté son gigantesque projet de modélisation 3D du territoire français, reposant sur des relevés aériens faits par un système Lidar (télémétrie laser) installé sur un avion. Les données collectées lors de ce programme de 60 millions d'euros sur trois ans, qui permettent par exemple de modéliser en 3D un quartier ou un monument, seront librement accessibles. L'IGN a également présenté son programme de suivi de l'occupation et de l'usage des sols, qui doit permettre de mieux mesurer et maîtriser l'artificialisation des sols. Sur le plan financier, le ministre a estimé qu'en quatre ans, l'Etat a déjà dépensé 142 millions d'euros du fonds pour la transformation de l'action publique à des projets d'ouverture et de valorisation des données publiques depuis 2018.

## DOCUMENT 5

### « Comprendre la métrologie » (extrait) - Laboratoire National de Métrologie et d'Essais - Consulté le 1er mars 2022

- (...) La métrologie, la science de la mesure ? pour mieux connaître cette discipline, en découvrir les contours scientifiques, et comprendre des termes qui peuvent vous sembler obscurs, consultez nos définitions. Pour certaines d'entre elles, des développements sont proposés avec un angle plus technique, pour les experts qui souhaitent approfondir la notion en question.

*Note : Les définitions de cette rubrique se veulent les plus pratiques et concises possibles, elles sont vulgarisées par rapport au document de référence « le Vocabulaire International de Métrologie ».*

## C'est quoi ?

### Un étalon

C'est une **référence**, avec une valeur et une incertitude, à laquelle on se compare pour établir la justesse et la traçabilité de ses résultats. Plus l'incertitude de l'étalon est faible, meilleure est sa qualité. On va de l'étalon de travail (grande incertitude) à l'étalon primaire (très faible incertitude).

### Un étalonnage

C'est la **comparaison** des valeurs d'un instrument de mesure à celles d'un étalon, en associant les incertitudes. Cette comparaison permet d'estimer le biais (la justesse) de l'instrument. Les valeurs obtenues par un étalonnage sont consignées dans un « certificat d'étalonnage ». Un étalonnage peut être réalisé à plusieurs points de l'étendue de mesure de l'équipement à étalonner. On obtient ainsi une courbe d'étalonnage.

### Le mot de l'expert

*Le vocabulaire International de Métrologie définit ainsi le terme Etalonnage (VIM 2.39) opération qui, dans des conditions spécifiées, établit en une première étape une relation entre les valeurs et les incertitudes de mesure associées qui sont fournies par des étalons et les indications correspondantes avec les incertitudes associées, puis utilise en une seconde étape cette information pour établir une relation permettant d'obtenir un résultat de mesure à partir d'une indication.*

#### Note 1

*Un étalonnage peut être exprimé sous la forme d'un énoncé, d'une fonction d'étalonnage, d'un diagramme d'étalonnage, d'une courbe d'étalonnage ou d'une table d'étalonnage. Dans certains cas, il peut consister en une correction additive ou multiplicative de l'indication avec*

*une incertitude de mesure associée.*

## **Note 2**

*Il convient de ne pas confondre l'étalonnage avec l'ajustage d'un système de mesure, souvent appelé improprement « auto-étalonnage », ni avec la vérification de l'étalonnage.*

## **Un raccordement ?**

Raccorder son instrument de mesure, c'est avoir l'assurance de **comparer** son instrument de mesure à des étalons eux-mêmes raccordés à des étalons de référence. Cette opération en cascade (chaîne ininterrompue) permet de comparer des mesures du monde entier avec **confiance**.

Le fait de choisir des prestataires accrédités pour ses raccordements assure la traçabilité métrologique.

## **L'incertitude de mesure ?**

C'est l'estimation du doute associé à un résultat de mesure : toute expérimentation subit l'influence des moyens de mesure utilisés (par exemple la résolution), de la méthode mise en œuvre, de la qualification des opérateurs, de l'environnement, et de la qualité de ce que l'on mesure.

Plus l'incertitude est petite, plus la confiance dans la valeur du résultat est grande.

## **Le mot de l'expert**

*Le concept d'incertitude comme attribut quantifiable est relativement nouveau dans l'histoire de la mesure, bien que l'erreur et l'analyse de l'erreur soient des concepts depuis longtemps pratiqués en métrologie. On reconnaît aujourd'hui largement, que lorsqu'on a évalué la totalité des composantes de l'erreur connues ou soupçonnées et que les corrections appropriées ont été appliquées, il subsiste encore une incertitude sur la validité du résultat exprimé, c'est à dire un doute sur la manière dont le résultat de mesure représente correctement la valeur de la grandeur mesurée.*

## **Note**

*Un consensus universel sur l'évaluation et l'expression de l'incertitude de mesure permet la compréhension aisée et l'interprétation correcte d'un vaste spectre de résultats de mesure en science, ingénierie, commerce, industrie et réglementation et de comparer facilement des mesurages effectués dans des pays différents.*

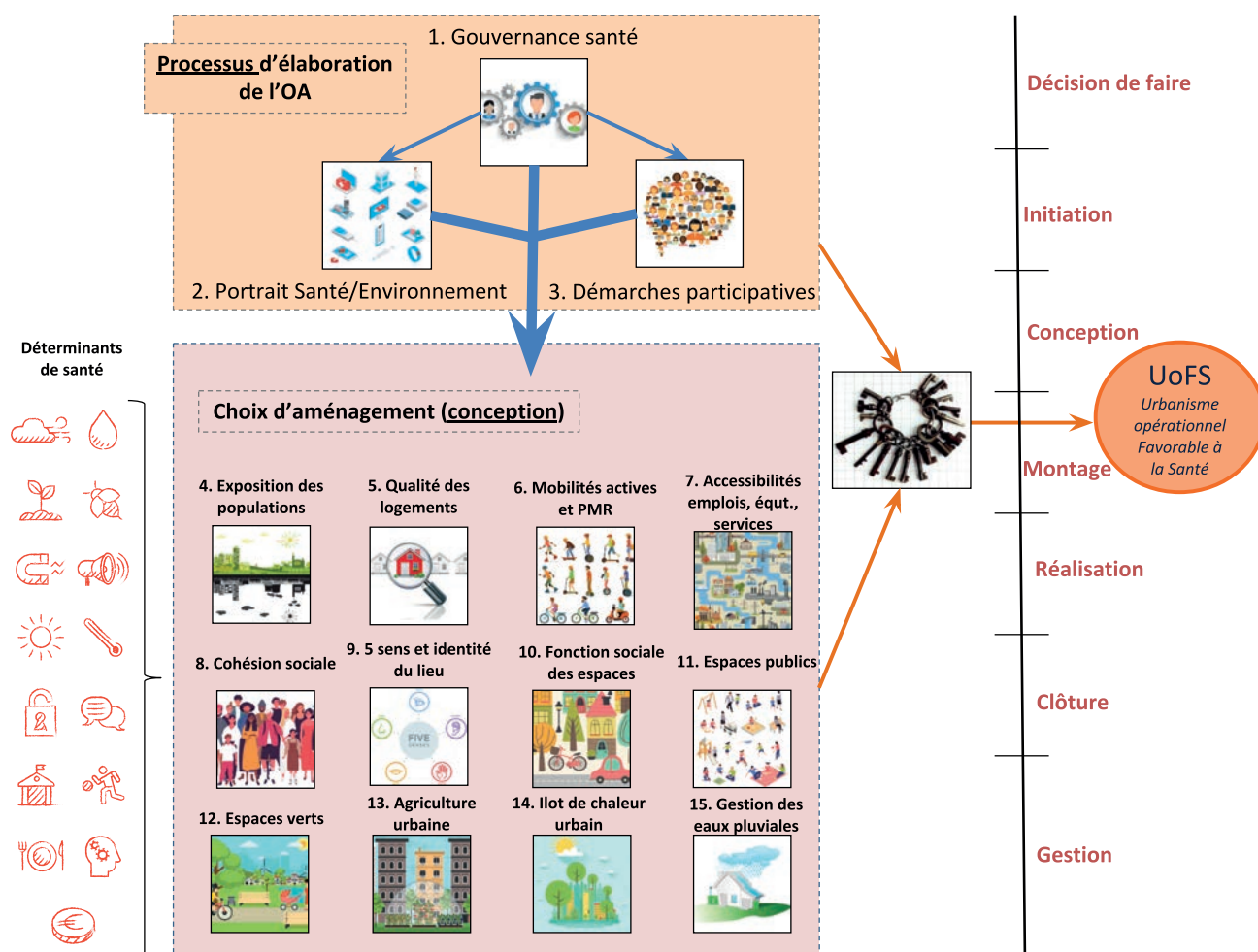
(...)

## DOCUMENT 6

# « Lutter contre les îlots de chaleur urbains à l'échelle du projet, en créant notamment des îlots de fraîcheur refuges » - Agence d'urbanisme Bordeaux Aquitaine - 2020

Cette fiche fait partie d'un ensemble de fiches élaborées dans le cadre du projet ISadOrA (Intégration de la Santé dans les Opérations d'Aménagement), porté conjointement par l'École des Hautes Études en Santé Publique (EHESP), l'agence d'urbanisme Bordeaux Aquitaine (a'urba) et la Fédération Nationale des Agences d'Urbanisme (FNAU), et financé par le ministère de la santé (DGS), l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME), et le ministère de la Transition Écologique et Solidaire et de la Cohésion des Territoires et des Relations avec les Collectivités Territoriales (DGALN).

Ce guide, structuré autour de 15 fiches thématiques (clefs opérationnelles), vise à accompagner les professionnels de l'aménagement dans une démarche d'intégration de la santé à toutes les étapes d'élaboration d'une opération d'aménagement. Même si cette fiche peut se suffire à elle-même pour la thématique qu'elle traite, il est fortement recommandé de l'associer aux autres fiches ISadOrA afin d'adopter une approche globale et intégrée de la santé et de l'environnement telle que promue dans ce guide (voir schéma ci-dessous).



Le guide ISadOrA est le résultat d'un travail de recherche et d'expertise mené par l'EHESP et l'a-urba (agence d'urbanisme Bordeaux Aquitaine), ayant bénéficié du soutien de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie, représentée par Sarah Marquet, de la direction générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature, représentée par Yasimin Vautor et François Kellerhalls Hosso, et de la direction générale de la Santé, représentée par Delphine Girard et Caroline Paul. Nous tenons à remercier l'ensemble des membres du groupe de travail ISadOrA ainsi que toutes les personnes ayant contribué à l'élaboration des différentes fiches support.

**Les fiches support du guide ISadOrA ont été rédigées par :**

- EHESP: Anne Roué-Le Gall (enseignante-chercheuse au DSET/EHESP), Marie-Florence Thomas (enseignante-chercheuse au LERES/EHESP), Clément Deloly (Chargé d'études « Urbanisme et Santé » à l'EHESP) et Julie Romagon (Chargée d'études à l'EHESP),

- a'urba: Bob Clément (urbaniste), Cécile Nassiet (environnementaliste).

Conception graphique: Kubik

Mars 2020

# { 1. Explication de la clef et liens avec la santé

## 1.1. Définition et enjeux de santé :

### Enjeu de la clef :

L'enjeu de cette clé est d'atténuer les effets des îlots de chaleur urbains (ICU) et les risques sanitaires associés, en faisant des choix d'aménagement favorables à la baisse de température (végétalisation, formes urbaines, matériaux limitant le rayonnement solaire, performances énergétiques des bâtiments, etc.) tout en mettant en place des solutions qui minimisent les sources de chaleur anthropiques (liées à la mobilité ou la climatisation) et qui maximisent les effets liés à des îlots de fraîcheur (interactions sociales, ressourcement, bien-être, etc.).

### Définitions :

Un **îlot de chaleur urbain**<sup>1</sup> 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.

Les **principales causes des ICU** sont le modèle d'urbanisation (formes, orientation, espacements, densité etc.) qui va influencer la circulation de l'air, le comportement des matériaux (inertie thermique<sup>2</sup> – effet albédo<sup>3</sup>), l'imperméabilisation des sols qui ne peuvent pas se refroidir par évapotranspiration comme le font les sols végétalisés, notamment arborés et les sources anthropiques de chaleur (systèmes de chauffage et de climatisation, circulation de véhicules, industries etc.) (Froissard, 2015, Bernard et al, 2017, Nuruzzaman, 2015, Icare/Alto Ingénierie, 2012, IAU IdF, 2010).

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.

**1** — Le phénomène est désigné sous le nom « d'îlot » parce que les représentations des isothermes de la température de l'air près de la surface ressemblent aux les contours d'une île dans la "mer" de la campagne plus fraîche environnante (Oke, 1995).

**2** — L'inertie thermique peut être définie comme la capacité d'un matériau à accumuler puis à restituer de la chaleur avec un déphasage (c'est-à-dire un décalage dans le temps).

**3** — L'albédo désigne le pouvoir réfléchissant d'une surface. C'est la fraction de l'énergie solaire globale réfléchiée par une surface, fonction de sa couleur mais aussi de sa texture et porosité. Sa valeur est comprise entre 0 et 1 et plus une surface est réfléchissante, plus son albédo est se rapproche de 1.

### Liens avec la santé :

Les effets sur la santé d'une chaleur extrême varient selon la sensibilité de l'organisme. Les principaux facteurs de vulnérabilité proviennent de l'âge (aux deux extrémités de la vie), de la précarité du statut économique (Besancenot, 2015), des caractéristiques de l'habitat (isolation, ventilation, etc.) et des habitudes de vie (consommation, addiction). Certaines conditions médicales préexistantes (pathologies psychiatriques, cardiovasculaires ou neurologiques et troubles mentaux, etc.) doivent aussi être prises en compte, tout comme la grossesse (Levy, 2016 ; Laaidi et al., 2014 ; Page et al., 2012). Les personnes sans abri (dont les migrants) doivent également faire l'objet d'une attention particulière (Easac, 2019).

Concernant les effets directs des vagues de chaleur sur la santé, de manière générale, la surchauffe affecte le système cardiovasculaire et l'appareil respiratoire et la pollution à l'ozone, causée par le rayonnement solaire, aggrave les problèmes de santé (Levy, 2016). L'effet de la hausse de température aurait également un impact sur la santé mentale (suicides, violence) (Burke et al., 2018 ; Easac, 2019). D'autres effets indirects ont été montrés comme les effets sur le sommeil ou l'augmentation de la violence et de la criminalité (Easac, 2019). Ainsi, lors des vagues de chaleur, le phénomène d'ICU peut causer un fort inconfort voire une surmortalité, notamment des personnes vulnérables (Laaidi, 2012).

### Liens avec d'autres clefs :

Les réponses aux problématiques d'îlots de chaleur urbains étant directement liées à la végétalisation de l'espace urbain, à la présence d'eau en surface, et à la perméabilité des sols, cette clef est à mettre en lien avec les clefs 12 « Espaces verts », 13 « Agriculture urbaine », et 15 « Gestion des eaux pluviales ».

En outre, cette clef est à rapprocher de la clef 4 « Exposition des populations aux polluants et nuisances », dans la mesure où la chaleur peut augmenter la pollution de l'air de 3 manières :

- Lorsqu'il fait beau et chaud, les sources primaires de polluants tendent à en produire encore plus ;
- Le soleil et la chaleur peuvent transformer les polluants primaires en polluants secondaires, qui peuvent être encore plus toxiques ;
- Les vagues de chaleur sont souvent accompagnées de hautes pressions atmosphériques, créant ainsi une couche d'air stagnant au-dessus des villes. Les particules polluantes restent alors captives et l'intensité de la pollution augmente.

## **1.2. Déterminants de Santé (DS) impactés par cette clef et objectifs visés relatifs à chacun de ces DS**

### **Déterminants de la santé**

**Objectifs visés de la clef 14**  
**Lutter contre les ICU à l'échelle du projet, notamment en créant des îlots de fraîcheur refuges, de façon à :**



### **Température**

- Baisser la température ambiante lors des périodes chaudes
- Offrir des lieux de rafraîchissement accessibles



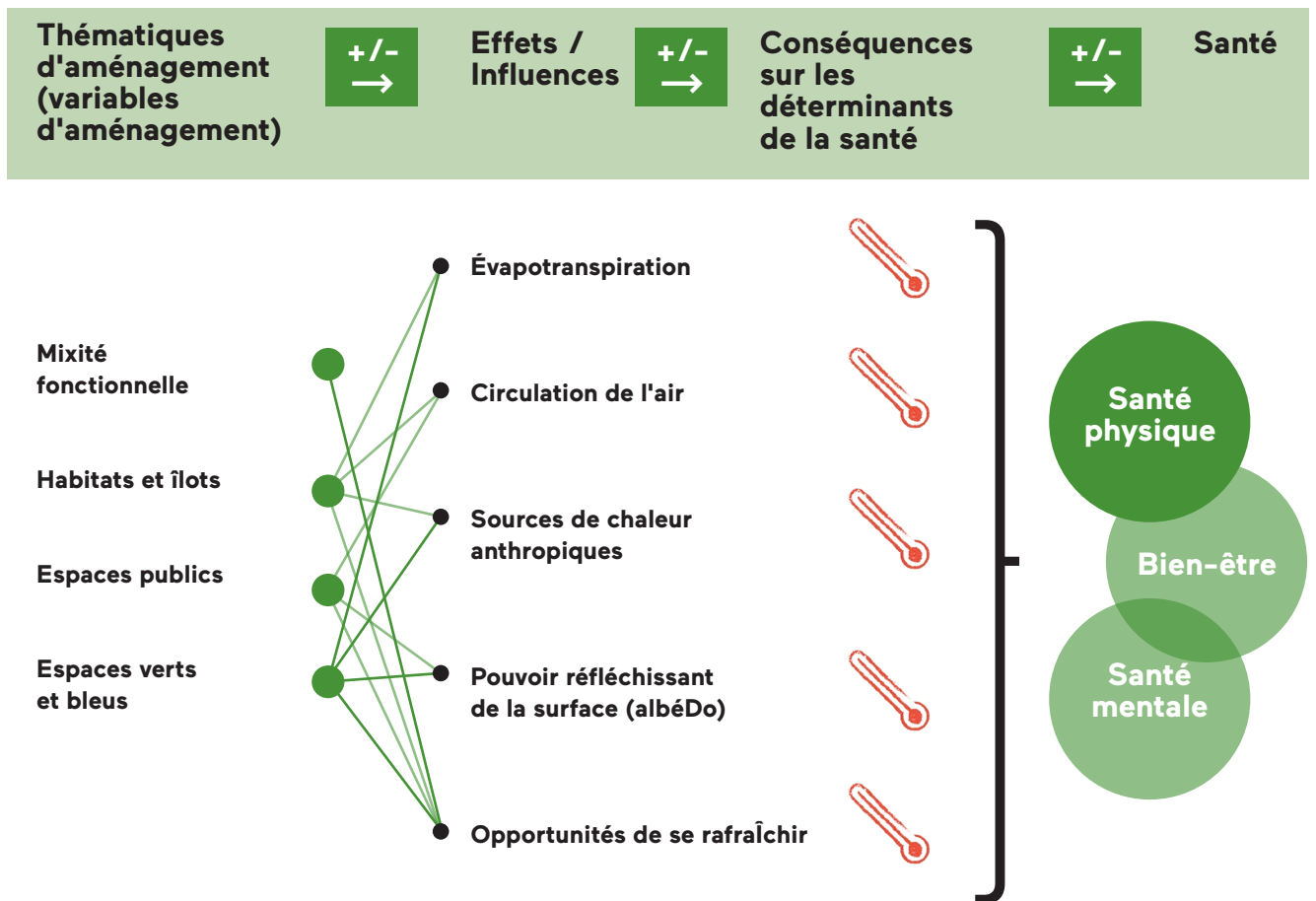
# { 2. Leviers d'action

## 2.1. Points de vigilance

Compte tenu des facteurs de vulnérabilité, veiller au confort thermique des équipements et établissements sensibles (notamment les logements sociaux, les établissements d'accueil de la petite enfance ou de personnes âgées, les établissements scolaires, les établissements de soins et médico-sociaux), à la fois du point de vue de leur conception interne et de leur environnement urbain (plantation des parvis, accès aisé à un îlot de fraîcheur refuge etc.).

## 2.2. Représentation graphique des liens entre thématiques d'aménagement et déterminants de santé

Pour chacune des thématiques, les liens entre variables d'aménagement et déterminants de santé sont explicités en amont des actions à mener.



**Variables d'aménagement considérées :**

Mixité fonctionnelle : Localisation des établissements sensibles ; Habitat et îlots: forme, taille et conception des espaces libres, revêtements des sols, toitures, matériaux des façades, gabarits, couleurs, végétalisation de l'interface et des espaces libres ; Espaces publics: revêtement de sols, végétalisation de l'espace public ; Espaces verts et bleus: systèmes d'ingénierie écologique, taille et type d'espaces bleus, types de végétaux et d'essence.

## 2.3. Actions à mener pour chacune de ces thématiques d'aménagement

→ Documents (plan guide, cahier des charges, fiches de lots et permis de construire) qui entérinent les bonnes pratiques développées ci-dessous.



### Mixité fonctionnelle :

Certains équipements ou établissements peuvent accueillir des populations sensibles (écoles, crèches, résidences pour personnes âgées, etc.). Le confort de ces populations en cas de canicule doit être pensé de façon globale sur l'opération (accès à un îlot de fraîcheur refuge, confort thermique des cheminements).

→ **Dans la mesure du possible, positionner les équipements et établissements « sensibles » à proximité d'espaces verts arborés et aménager le parvis de ces équipements dans une logique d'îlot de fraîcheur (végétalisation, prévoir la mise en place de système de brumisation, accès à une source d'eau, etc.)** → [Plan guide et cahier des charges des espaces publics](#)

→ **Assurer le confort thermique intérieur des équipements de l'opération (systèmes de ventilation), notamment ceux accessibles gratuitement (ex. médiathèque) en vue d'en faire des « îlots de fraîcheur refuges ».** Éviter au maximum l'installation de climatiseurs - privilégier une conception bioclimatique - car ces systèmes très énergivores contribuent en milieu urbain aux phénomènes d'îlot de chaleur urbain et peuvent être source de développement de bactéries (légionellose). → [Fiches de lots](#)



### Habitat et îlots :

L'implantation et la hauteur du bâti doivent permettre un bon rafraîchissement nocturne de l'espace public et des espaces libres au sein de l'îlot.

Ce rafraîchissement est permis à la fois par une bonne circulation de l'air et par une bonne « ouverture au ciel<sup>8</sup> » de ces espaces. Les lieux les plus fréquentés au sein de l'îlot doivent, quant à eux, bénéficier d'une bonne qualité d'ombrage.

→ **Le rapport H/L (hauteur des bâtiments/distance entre les bâtiments) optimal pour la ventilation des espaces urbains est 0,6. Ce rapport est à privilégier pour :**

- l'implantation des bâtiments de part et d'autre de l'espace public ;
- l'implantation relative des différents bâtiments au sein d'un même îlot. → [Plan guide et fiches de lots](#)

→ **Ouvrir au maximum l'îlot sur les vents dominants estivaux. En cas d'implantation du bâti perpendiculaire à ces vents, créer des perméabilités du bâti. Dans tous les cas, on veillera à préserver les lieux les plus fréquentés des effets indésirables des vents d'hiver (effet Venturi dans les goulets d'étranglement, effets de coin). La plantation de végétaux de différentes strates peut aider en ce sens.** → [Plan guide et fiches de lots](#)

<sup>8</sup> — L'ouverture au ciel (Sky View Factor) est un paramètre sans dimension représentant l'angle solide sous lequel est vu le ciel depuis un point de l'espace.

→ **Concentrer la plantation des arbres à haute tige au sein des espaces libres de l'îlot sur les lieux de pause ou lieux de passage principaux. Cela permettra de garantir un bon rafraîchissement nocturne des lieux moins fréquentés, par une plus grande « ouverture au ciel » de ces espaces.** → Fiches de lots

Le choix de matériaux adaptés pour le bâti et les espaces libres de l'îlot permettent de limiter le stockage de la chaleur l'été. Une végétation diffuse au sein de l'îlot renforcera ce processus tout en apportant un confort lié au phénomène d'évapotranspiration.

→ **Privilégier des matériaux de couleur claire pour le bâti (façades, toitures), les cheminements et des matériaux perméables alvéolés (pavés enherbés, « evergreen ») pour les circulations et les stationnements de surface internes à l'îlot.** → Fiches de lots

→ **Végétaliser les façades et les toitures des bâtiments.** → Fiches de lots

Traitement adapté d'un cœur d'îlot au sein de la ZAC des Vergers du Tasta à Bruges (33).  
© MCVD Architectes / Vinci Immobilier



→ **Maximiser les emprises de pleine terre pour les espaces extérieurs et privilégier les techniques alternatives de gestion des eaux pluviales (noues, bassins d'infiltration, etc.) Cf. clef 15 « Gestion des eaux pluviales ».** → Fiches de lots

→ **Enfin, il convient de veiller au confort d'été des logements, notamment en cas de canicule (Cf. clef 5 « Qualités des logements » pour plus de détails).**

→ Fiches de lots





### Espaces publics :

- La conception des espaces publics doit répondre à un triple objectif :
  - offrir un confort diurne aux lieux de pause et sur les axes les plus fréquentés ;
  - permettre un bon refroidissement nocturne en garantissant une bonne circulation de l'air ;
  - limiter le stockage de chaleur dans les matériaux la journée.

→ Dans la mesure du possible, créer un réseau de sentes dédiées aux modes doux, bénéficiant d'une végétation de différentes strates et d'une emprise de pleine terre la plus importante possible. En particulier, développer un tel réseau entre les équipements et établissements « sensibles » et « pôles d'attractivité » de l'opération (commerces et services, arrêts de transports en commun, etc.).

→ Plan guide et cahier des charges des espaces publics

Une sente piétonne aménagée très simplement au sein d'un lotissement.  
© a'urba



→ Garantir un ombrage suffisant des lieux de pause dans l'espace public (ombre portée par des bâtiments, des arbres ou des ombrières) associé à un mobilier urbain adapté (bancs, assises, etc.). → Cahier des charges des espaces publics

Lieu de pause ombragé aux abords de l'hôtel de ville de Saint-Médard en Jalles (33). © a'urba



→ Planter les axes les plus fréquentés par les modes doux :
 

- pour les voies orientées est-ouest, planter de façon privilégiée le trottoir nord (le trottoir sud bénéficiant généralement de l'ombre des bâtiments) ;
- pour les voies orientées nord-sud, planter au moins une des deux rives.

→ Cahier des charges des espaces public

→ Mettre en place une plantation ciblée des lieux de pause et des trottoirs des axes très fréquentés par les modes doux. En optimisant ainsi la « couverture » de l'espace public par le végétal, cela facilite les processus de rafraîchissement nocturne de ces espaces. → [Cahier des charges des espaces publics](#)

Circulations piétonnes ombragées dans le centre de Saint-Médard-en-Jalles (33). © a'urba



→ Utiliser, pour l'espace public, des matériaux les plus poreux possible et de couleur claire (par ex. : stabilisé pour les trottoirs, béton désactivé de couleur clair pour les pistes cyclables, chaussée en béton poreux). On veillera toutefois à ne pas générer de situations d'éblouissement (revêtement très clair) notamment sur des places très fréquentées. → [Cahier des charges des espaces publics](#)

Utilisation d'un béton désactivé de couleur claire pour dans une sente du quartier des Bassins à flot (Bordeaux). © a'urba



### Espaces verts et bleus :

Se référer également à la clef « Espaces verts »



Les espaces verts et bleus constituent a priori des îlots de fraîcheur refuges en cas de canicule. Pour autant, leur conception doit permettre de garantir effectivement un certain niveau de fraîcheur dans ces espaces, associé à certaines commodités (mobiliers urbains, horaires d'ouverture des parcs, etc.).

→ Privilégier une gestion des eaux pluviales par des techniques alternatives basées sur de l'ingénierie écologique comme les noues plantées (cf. clef 15 « Gestion des eaux pluviales »).



→ Proposer, au sein des espaces verts de l'opération, des lieux offrant des qualités d'ombrage et de fraîcheur effectives aux usagers : arbres à haute tige à proximité de zones « humides » (noues) ou en eau (canaux, plans d'eau<sup>9</sup>), associés à du mobilier urbain (bancs, tables de pique-nique etc.). → [Cahier des charges des espaces verts](#)

Espaces offrant des qualités d'ombrage au sein du parc Bourran à Mérignac (33).  
© a'urba



→ Privilégier les matériaux clairs et poreux pour les revêtements des cheminements au sein de ces espaces. → [Cahier des charges des espaces verts](#)

Un exemple d'aménagement d'espace vert associant végétal, présence de l'eau et matériaux clairs.  
© CEREMA



## 2.4. Aspects réglementaires

Différentes caractéristiques influencent le climat urbain : la structure et la forme urbaine (taille des immeubles et espaces entre eux), le revêtement du sol (part d'imperméabilisation, végétation, eau), les couleurs des bâtiments. Dans ce contexte, il est conseillé de consulter les dispositions que peut formuler le PLU concernant les formes urbaines, les teintes recommandées, les plantations à réaliser, la part de pleine terre...

## À propos de Copernicus

**Copernicus** est le programme d'observation de la Terre de l'Union européenne. Il s'intéresse à notre planète et à son environnement pour le bénéfice de tous les citoyens européens. Il offre des services d'information basés sur l'observation de la Terre par **satellite et les données in situ (non spatiales)**.

Le programme est coordonné et géré par la Commission européenne. Il est mis en œuvre en partenariat avec les États membres, l'Agence spatiale européenne (ESA), l'Organisation européenne pour l'exploitation des satellites météorologiques (EUMETSAT), le Centre européen de prévisions météorologiques à moyen terme (ECMWF), les agences de l'UE et Mercator Océan.

De vastes quantités de données mondiales provenant de satellites et de systèmes de mesure terrestres, aériens et maritimes sont utilisées pour fournir des informations afin d'aider les prestataires de services, les autorités publiques et les autres organisations internationales à améliorer la qualité de vie des citoyens européens. Les services d'information fournis sont accessibles **gratuitement et librement** à ses utilisateurs.

## Copernicus en bref

Copernicus a été spécialement conçu pour répondre aux besoins des utilisateurs. Sur la base d'observations satellitaires et in situ, les services Copernicus fournissent des données en temps quasi réel au niveau mondial, qui peuvent également être utilisées pour les besoins locaux et régionaux, afin de nous aider à mieux comprendre notre planète et à gérer de manière durable notre environnement.

Copernicus est servi par un ensemble de satellites dédiés (les familles Sentinel) et des missions contributrices (satellites publics et commerciaux existants). Les satellites Sentinel sont spécifiquement conçus pour répondre aux besoins des services Copernicus et de leurs utilisateurs. Depuis le lancement de Sentinel-1A en 2014, l'Union européenne a lancé un processus pour placer une constellation de presque 20 satellites de plus en orbite avant 2030.

Copernicus collecte aussi des informations de systèmes in situ tels que des stations terrestres, qui fournissent des données acquises par une multitude de capteurs au sol, en mer ou dans l'air.

Les services Copernicus transforment cette richesse de données satellitaires et in situ en informations à valeur ajoutée par le traitement et l'analyse des données. Des ensembles de données remontant à des années et des décennies sont rendus comparables et consultables, assurant ainsi la surveillance des changements ; des modèles sont examinés et utilisés pour créer de meilleures prévisions, par exemple, de l'océan et de l'atmosphère. Des cartes sont créées à partir d'images, des caractéristiques et des anomalies sont identifiées et des informations statistiques sont extraites.

Ces activités à valeur ajoutée sont rationalisées au travers de **six flux thématiques de services Copernicus** :



Atmosphère



Marin



Terrestre



Sécurité



Urgences



Changement climatique

Les informations fournies par les services Copernicus peuvent être utilisées par les utilisateurs finaux pour un large éventail d'applications dans divers domaines. Il s'agit notamment de la gestion des zones urbaines, du développement durable et de la protection de la nature, de l'aménagement du territoire, de l'agriculture, de la sylviculture et de la pêche, de la santé, de la protection civile, des infrastructures, des transports et de la mobilité ainsi que du tourisme.

Les principaux utilisateurs des services Copernicus sont les décideurs politiques et les autorités publiques qui ont besoin de ces informations pour développer la législation et les politiques ou pour prendre des décisions critiques en cas d'urgence, par exemple un sinistre naturel ou une crise humanitaire.

Basés sur les services Copernicus et sur les données collectées dans le cadre des Sentinelles et des missions contributrices, plusieurs services à valeur ajoutée peuvent être adaptés à des besoins publics ou commerciaux spécifiques, ce qui favorise des perspectives commerciales.

En décembre 2017, la Commission européenne a achevé une vaste étude analysant les avantages économiques, sociétaux et environnementaux du programme Copernicus en fonction de divers scénarios d'évolution. L'étude portait uniquement sur l'Europe et couvrait la période 2017-2035. Il visait à donner une valeur monétaire à tous les avantages générés par le programme Copernicus pour les utilisateurs intermédiaires et les utilisateurs finaux, l'objectif ultime étant de fournir aux décideurs européens et nationaux une estimation du retour sur investissement potentiel. conclusions de cette étude récente, la Commission européenne a publié une brochure, un rapport ainsi qu'un résumé. Le rapport sur le marché Copernicus et plusieurs études économiques antérieures avaient déjà démontré le potentiel énorme du programme en matière de création d'emplois, d'innovation et de croissance.

Le Programme Copernicus est coordonné et géré par la Commission européenne. Le développement de la structure d'observation est effectué sous l'égide de l'Agence spatiale européenne pour le composant spatial et de l'Agence européenne pour l'environnement et les États membres pour le composant in situ.

## Infrastructures

### Satellites d'observation de la Terre

La mise à disposition des services Copernicus repose sur le traitement des données environnementales collectées auprès des satellites d'observation de la terre et des capteurs in situ.

Les satellites d'observation de la Terre, qui fournissent les données exploitées par les services Copernicus, sont divisés en deux groupes de missions :



**Contributing missions  
from National, European  
or International organisations**



- **Les Sentinelles**, qui sont développés pour les besoins spécifiques du programme Copernicus. Les **Sentinel-1**, **-2**, **-3** et **-6** sont des satellites dédiés, tandis que les **Sentinel-4** et **-5** sont des instruments embarqués sur les satellites météorologiques d'EUMETSAT. Notez que **Sentinel-5P**, précurseur de Sentinel-5, est également un satellite dédié ;
- **Les missions contributrices**, qui sont exploitées par des organisations nationales, européennes et internationales et qui fournissent déjà une abondance de données pour les services Copernicus.

L'Agence Spatiale Européenne (ASE) est responsable du développement du composant du segment spatial du programme Copernicus et exploite les satellites Sentinel-1, Sentinel-2 et Sentinel-5P. L'ASE exploite aussi la mission terrestre de Sentinel-3.

L'EUMETSAT est responsable de l'exploitation des satellites Sentinel-3 et de la mission marine et exploitera et fournira aussi des produits des instruments Sentinel-4 et -5 et des satellites Sentinel-6.

L'ASE et l'EUMETSAT coordonneront la livraison de données de quelques 30 satellites qui forment les missions contributrices.

### Segment spatial et "Segment terrestre"

Le composant segment spatial Copernicus est complété par un segment terrestre dont le rôle est de permettre l'accès aux données de Sentinel et des missions contributrices.

Le segment terrestre, qui est réparti géographiquement, repose sur l'infrastructure existante. Il est fourni par des agences internationales (ASE et EUMETSAT) ainsi que par des installations privées et publiques nationales.

Le segment terrestre comprend aussi le « contrôle des missions », qui exploite les satellites et les installations Sentinel afin de gérer les données reçues des Sentinelles et élabore les données en produits pour les services Copernicus.

Copyrights pour les images satellite : AMT4SentinelFRM, EUMETSAT, ESA.

**Un référentiel national utilisable aux différents échelons territoriaux pour la mise en place des politiques d'aménagement du territoire et des documents d'urbanisme**

L'OCS GE est une base de données de référence pour la description de l'occupation du sol de l'ensemble du territoire métropolitain et des départements et régions d'outre-mer (DROM). Elle est produite à partir de données existantes extraites des bases de données de l'IGN, et de toutes autres données mobilisables issues de référentiels nationaux ou locaux.

L'OCS GE est constituée par zones administratives (ensemble de communes, départements ou régions) tout en assurant au niveau national une continuité géographique et thématique. À terme, elle représentera une couverture complète du territoire. Il s'agit d'une couche de données socle, pouvant être précisée à des niveaux thématiques fins (4 dimensions) pour une utilisation locale (par exemple pour un SCoT).

La région Occitane est la 1ère région de France couverte par l'OCS GE de l'IGN. Un partenariat entre l'Etat, la région et l'IGN a été mis en place pour atteindre cet objectif. La production de cette OCS GE a été financée par les partenaires ainsi que par le Fonds européen de développement régional (FEDER) d'Occitanie.

## DOCUMENT 9

### « Lidar HD : vers une nouvelle cartographie 3D du territoire » (extraits) - *ign.fr* - Consulté le 1er mars 2022

Le chantier est d'une ampleur inédite et porte un objectif ambitieux : acquérir des données Lidar haute densité (HD) sur l'ensemble du territoire métropolitain et ultramarin (hors Guyane) pour en proposer la description 3D la plus fine jamais établie à l'échelle France entière. L'IGN coordonnera ce programme, clé de voûte de l'action publique dans les territoires et s'emploiera à soutenir tous les usages de ce géo-commun en devenir.

#### **Un chantier d'une ampleur inédite**

Le programme national Lidar HD prévoit la mise en place d'un équipement numérique de description 3D du territoire d'une précision jamais atteinte à l'échelle France entière. Il mobilise pour cela une technologie de pointe qui a fait ses preuves : le Lidar haute densité (cible visée : 10 points par mètre carré en moyenne).

#### **Une réponse aux besoins de l'action publique**

Le programme répond aux besoins d'observation et d'analyse spatiale dans de nombreux domaines de l'action publique (prévention des risques, observation de la ressource forestière, aménagement du territoire...) et constitue un levier pour le développement de futurs services à valeur ajoutée.

#### **Des objectifs et un calendrier ambitieux**

Séquenté sur cinq ans, le programme vise la mise à disposition de données 3D relatives au sol et au sur-sol qui seront à la fois homogènes, riches, fiables, ouvertes et accessibles à tous. Il couvre l'acquisition de ces données, leur traitement, leur hébergement et leur diffusion mais aussi l'accompagnement des utilisateurs des produits (nuages de points classés, modèles numériques de terrain, modèles numériques de surface, modèles numériques de hauteur).

#### **Un programme en prise directe avec les attentes des utilisateurs**

La programmation a été définie en lien avec les commanditaires et financeurs du programme. Des comités de concertation sont régulièrement organisés pour définir le socle de besoins prioritaires côté utilisateurs et la priorisation des acquisitions sur les territoires.

#### **Un programme en prise directe avec les attentes des utilisateurs**

La programmation a été définie en lien avec les commanditaires et financeurs du programme. Des comités de concertation sont régulièrement organisés pour définir le socle de besoins prioritaires côté utilisateurs et la priorisation des acquisitions sur les territoires.

## Qu'est-ce que le Lidar ?

Le **Lidar** (Light Detection And Ranging) est une technique de **télémétrie** (mesure de distance) qui utilise les propriétés de la lumière. Qu'il soit terrestre ou embarqué dans un avion, le Lidar repose sur un même procédé d'acquisition : un scanner, dont la position et l'orientation sont mesurées en continu\*, émet vers un objet ou vers le sol des **impulsions laser infrarouges à haute fréquence** puis enregistre très précisément le temps écoulé entre l'émission de ces impulsions et leur retour à l'émetteur afin d'en déduire la position des points impactés. À raison de plusieurs centaines de milliers d'impulsions émises par seconde, l'appareil génère rapidement une grande quantité de points géoréférencés. Les données sont ensuite traitées pour élaborer des **modèles numériques en 3D** : modèles numériques de terrain (description altimétrique du sol), modèle numérique de surface (description altimétrique du sol et du sur-sol), etc.

### À noter

Le lidar se distingue de deux autres outils de mesure de distance : le sonar et le radar qui emploient respectivement les propriétés de la propagation du son dans l'eau et des ondes électromagnétiques.

*\*au moyen d'une antenne GNSS et d'une centrale à inertie.*

## Focus sur deux types d'usages des données Lidar

### Prévenir le risque inondation

En matière de prévention du risque inondation, les données Lidar sont exploitées pour élaborer des cartographies du risque et diminuer la vulnérabilité des territoires exposés. En octobre 2020, les avions de l'IGN ont par exemple effectué en urgence des levés Lidar dans les zones sinistrées par la tempête Alex afin de modéliser précisément les évolutions topographiques des vallées touchées par les intempéries et de faciliter la mise à jour rapide des plans de prévention des risques.

### Connaître les ressources forestières

Le potentiel d'usage du Lidar HD est également élevé dans la perspective d'une meilleure connaissance des peuplements forestiers à l'échelle très fine de la parcelle forestière (et non plus d'un massif). Les données facilitent l'élaboration et le suivi des documents de gestion sylvicole, la dématérialisation des procédures administratives forestières et environnementales (télé-déclarations, demandes d'aides), l'amélioration de la desserte forestière et du transport du bois, le suivi et le contrôle des défrichements et des replantations, le suivi de l'état sanitaire des forêts et la prévention des risques (feux de forêts, érosion du cordon dunaire, éboulement...).

## Les 4 phases opérationnelles du chantier

### Phase 1 - Acquisition des données

Acquérir les données Lidar aéroportées (10 points par mètre carré en moyenne) et les mettre en géométrie.

## Phase 2 - Traitement des nuages de points

Traiter les nuages de points pour répondre aux différents besoins des politiques publiques : transformation des nuages de points bruts en nuages de points classifiés sol/sur-sol, génération de produits dérivés (MNT, MNS, MNH).

## Phase 3 - Hébergement et diffusion

Héberger et diffuser en open data les nuages de points classifiés ainsi que les produits dérivés (MNT, MNS, MNH) et les résultats des traitements (sous forme de pré-paquets à télécharger et de flux de nuages de points et de flux raster).

## Phase 4- Accompagnement des utilisateurs

Accompagner les utilisateurs dans la manipulation des nuages de points et de leurs sous-produits.

## **Les parties prenantes**

En tant qu'acteur public de référence pour l'information géographique, l'**IGN** coordonne la mise en œuvre du programme pour et avec les commanditaires-financeurs porteurs de besoins qui sont à ce jour :

- **Le ministère de la transition écologique**
- **Le ministère de l'agriculture et de l'alimentation** (avec l'appui de l'Office national des forêts, du Centre national de la propriété forestière, de l'Agence de Services et de Paiement)
- **La région Occitanie**

L'IGN travaillera avec l'**appui de sous-traitants** pour les volets acquisitions et traitements :

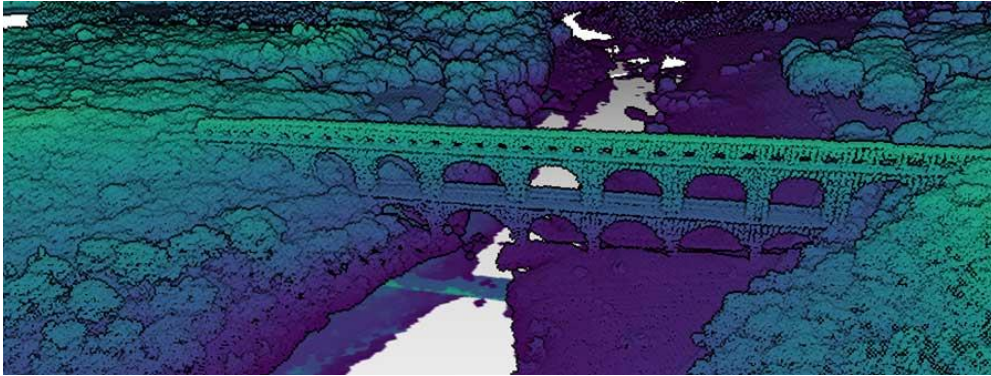
- **Avineon / APEI**
- **Geofit /Geofly**
- **Sintegra / Pixair / BlueSky**
- **Eurosense / SFS**

Puis, avec l'aide des infrastructures de données géographiques (plateformes régionales d'information géographique), **les équipes de l'institut accompagneront les utilisateurs** dans la manipulation des nuages de points et de leurs sous-produits.

## **Les données produites**

L'objectif est de mettre à disposition des données riches, fiables, précises, standardisées, bien documentées et librement accessibles pour une connaissance 3D fine, et homogène du sol topographique, du sur-sol artificiel (bâtiments, ponts) et de la végétation. Ces données prendront la

forme de nuages de points classés, de modèles numériques de terrain (MNT), de modèles numériques de surface (MNS) et de modèles numériques de hauteur (MNH).



Pont du Gard (30)

## Le calendrier

Les priorités du programme sont établies en **concertation avec les porteurs de besoins**. Le calendrier est très ambitieux afin de répondre de manière mutualisée à leurs attentes tout en maximisant les surfaces acquises. Les contraintes saisonnières pèsent aussi fortement dans la planification, notamment pour la surveillance de la végétation.

**L'ensemble du territoire (hors Guyane) devrait être couvert d'ici fin 2025.**

## L'actualité

### Janvier 2022

La première phase d'acquisition Lidar (printemps-été 2021) est terminée. Elle a concerné une large partie des départements de la moitié Sud de la France (couverture partielle ou complète). La validation des données est en cours. La phase de traitement sera lancée après validation. Le début d'année 2022 sera consacré à couvrir une partie des **Vosges** et la zone de **Rambouillet**.

Les équipes travaillent à la diffusion progressive des données. Des nuages de points bruts devraient pouvoir être diffusés d'ici la fin de l'hiver. Des échantillons concernant le **Nord de Montpellier** (entre Gard et Hérault) peuvent d'ores et déjà être téléchargés sur le [site Géoservices](#).

## Le financement

Le coût total estimé du programme s'élève à **60 millions d'euros sur cinq ans**. Le projet bénéficie d'un soutien conséquent de l'État. 22 millions d'euros sont mobilisés dans le cadre du **plan France relance** présenté par le Gouvernement en septembre 2020. Une subvention attribuée par le **Fonds pour la transformation de l'action publique** dans le cadre d'un appel à projets compétitif finance les trois premières années du programme à hauteur de 21,55 millions d'euros. La **Direction Générale de la Prévention des Risques** soutient également le programme à hauteur de 4 millions d'euros. Des contributions d'acteurs locaux tels que la région Occitanie complètent le financement.



# **Apports de la télédétection pour la connaissance des enjeux environnementaux**

## **Exemples concrets d'informations sur la biodiversité acquises grâce aux données infrarouge, lidar...**

jeudi 18 novembre 2021

### **Des données disponibles mais des usages restreints**

Les acteurs publics sont vivement intéressés par l'apport des nouvelles technologies dans le traitement des données environnementales. Dans le cadre du le réseau des données de l'environnement (RDE) animé par la DREAL, les acteurs disposent de multiples données issues de la télédétection, mais méconnaissent les usages.

Les capteurs se sont multipliés et perfectionnés, toutefois l'usage de ces nouvelles images reste limité.

Les traitements de la télédétection existants sont dédiés à des usages spécifiques comme le suivi de l'occupation du sol par photointerprétation, l'exploitation de modèle numérique de terrain à haute résolution dans le cadre de la prévention des risques d'inondation ou le traitement des données thermographiques pour l'analyse de l'efficacité énergétique des bâtiments.

Dans le domaine environnemental, les techniques applicables par les acteurs locaux sont rares et présentent peu d'intérêt sur le territoire Nord - Pas-de-Calais. Ainsi, l'indice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) permet de suivre l'activité chlorophyllienne des végétaux, par le biais de la réflectance dans le rouge et dans le proche infrarouge. Toutefois, sur le territoire restreint de la région Nord - Pas-de-Calais, le calcul d'indice de végétation est sans intérêt, la cartographie des espaces naturels étant déjà assurée par ailleurs.

L'intérêt des données infrarouge, LIDAR, RADAR sont encore méconnues des acteurs locaux. Les données sont disponibles mais leur exploitation reste limitée.

L'objectif de la démarche engagée par la DREAL et l'université de Lille est d'explorer les données avec des spécialistes de l'environnement afin d'ouvrir de nouvelles pistes d'intérêt de la télédétection.

---

### **Principes de l'étude**

---

A partir de données issues de différents capteurs, on s'intéresse ici à l'identification des enjeux environnementaux visibles pour un observateur averti. Toutefois, à ce stade les observations ne restent que des hypothèses basées sur l'étude d'une seule image, qui nécessiteront d'être confirmées, ou infirmées, par des tests complémentaires.

Les données disponibles sur le territoire régional ont ainsi été observées en 2012 par différents acteurs (universitaires du master SIG environnement de l'USTL, écologues de la DREAL) afin d'identifier les informations intéressantes en terme d'écologie et plus généralement en terme d'environnement.

La démarche est basée :

- sur l'analyse de l'imagerie disponible, par photo interprétation assistée par ordinateur, pour d'identifier des informations intéressantes notamment pour la biodiversité locale,
- sur l'étude des connaissances capitalisées dans le cadre du [projet partenarial ARCH \(redirection vers l'article dédié\)](#), qui traite notamment l'apport des nouvelles technologies d'acquisition d'imagerie, notamment satellitaires, afin de faciliter l'actualisation des données habitats naturels (en termes de coûts, de disponibilité, de services et de bénéfices par rapport à l'imagerie aérienne).

Initiée en 2011, la démarche associe les étudiants du MASTER 2 SIG environnement, sous le pilotage de Magalie Franchomme (maître de conférences à l'UFR de géographie et Aménagement, Laboratoire TVES, Université de Lille 1).

La synthèse des observations devrait permettre d'ouvrir de nouvelles pistes d'exploitation pour le traitement de données notamment satellitaires. Les résultats seront publiés au fur et à mesure des observations sur le site Internet de la DREAL.

---

## Les enjeux environnementaux à étudier

---

Certaines informations environnementales sont complexes à cartographier et présentent un intérêt public majeur.

Dans le cadre du projet, les observateurs focalisent leur attention sur ces enjeux environnementaux en particulier.

Certains habitats naturels sont complexes à cartographier sur la région Nord-Pas de Calais :

- les lattes dunaires humides, les mares de lattes dunaires,
- les dunes paléo-côtières,
- les plages de galets sans végétation et végétalisées,
- les landes humides, les landes sèches,
- les steppes et prairies calcaires sèches,
- les prairies à métaux lourds,
- les prairies siliceuses sèches,



- les forêts poldériennes,
- les tourbières hautes, de couverture, ou les tourbières de transition,
- les bas marais,
- les forêts humides (aulne et saule)

## Rappel des définitions :

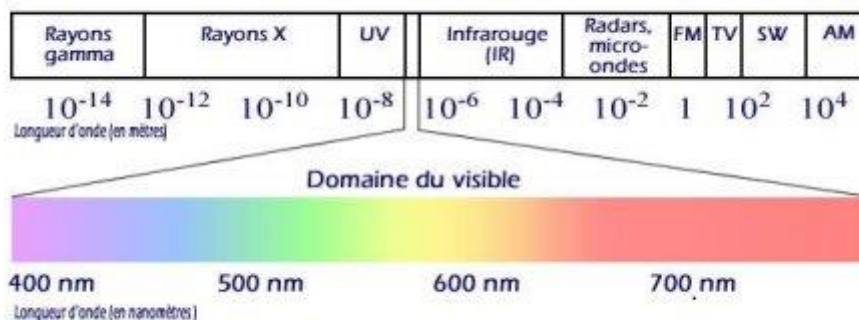
Le mot *téledétection* désigne l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci (Source : Commission interministérielle de terminologie de la télédétection aérospatiale, 1988).

On s'intéresse ici plus précisément à la télédétection aérospatiale, soit à l'ensemble des techniques qui permettent, par l'acquisition d'images d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre en utilisant les propriétés du rayonnement électromagnétique émis, réfléchi ou diffusé par les corps ou surfaces étudiés. La télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et analyser l'information qu'il représente. (Source : Centre Canadien de Télédétection : <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca>)

Trois domaines spectraux sont particulièrement exploités en télédétection :

- le domaine du visible,
- le domaine des infrarouges (comprenant le proche infrarouge, le moyen infrarouge et l'infrarouge thermique),
- le domaine des micro-ondes (ou hyperfréquences).

**Figure 1 - Composition du spectre électromagnétique**



## Des données de nature différente

- **Données infrarouges** : L'infrarouge est une onde électromagnétique de fréquence inférieure à celle de la lumière visible dont la longueur d'onde est comprise entre 780 nm et 1000 000 nm. L'infrarouge est associé à la chaleur car, à température ambiante

ordinaire, les objets à la surface de la Terre émettent spontanément des radiations dans le domaine infrarouge.

La photographie infrarouge permettent entre autres de repérer l'activité chlorophyllienne. La partie du spectre captée est l' infrarouge proche, d'une longueur d'onde de 700 à environ 900 nm (proche du spectre visible).

[Corridors boisés \(Image infrarouge 2009\)](#)

La thermographie infrarouge permet de voir et de mesurer à distance et sans contact la température d'objets cibles. L'imagerie thermique exploite l'infrarouge lointain.

---

## **Données LIDAR :**

---

Un capteur LIDAR (light detection and ranging), basé sur un laser à impulsions, capte la lumière laser renvoyée par les objets.

Le laser émet une onde lumineuse qui interagit avec les différents composants qu'elle rencontre. Une partie de cette onde est rétrodiffusée et collectée. Il est alors possible de déduire des propriétés du diffuseur, ainsi que la distance (par la mesure du délai entre l'impulsion et la détection du signal réfléchi). Le lidar couvre en particulier le domaine du visible, et également les domaines ultraviolet (UV) et infrarouge (IR).

Les technologies LIDAR permettent d'exécuter des levés topographiques, d'ouvrages, de bâti, de végétation de haute résolution avec des hauteurs de précision métrique.

La technologie Lidar offre des possibilités intéressantes en ce qui concerne le suivi des forêts et permet d'estimer des caractéristiques structurelles au sein de peuplements denses (Ex : volume de bois, quantité de biomasse). Couplé avec les technologies de capteurs passifs, le LIDAR peut permettre de distinguer les zones boisées des zones de broussailles ou de prairies.

[Extrait d'un modèle numérique d'élévation LIDAR \(données LIDAR Scarpe DREAL\)](#)

Ces données peuvent ensuite être analysées suivant des traitements plus ou moins complexes : PhotoInterprétation Assistée par Ordinateur, classification automatique, classification supervisée...

---

## **Les données spécifiques disponibles pour la région Nord - Pas-de-Calais :**

---

**La donnée de référence** pour l'analyse par photointerprétation : Orthophotographie régionale couleurs PPIGE 2009 (résolution 20 cm)

## Les données complémentaires analysées :

- Image infrarouge régionale PPIGE 2009 (résolution 20 cm)  
Pour la visualiser : consulter le site Internet PPIGE (A l'échelle 1/5000, activer la Vue aérienne 2009 infrarouge 40cm) : <http://www.ppige-npdc.fr>
  - Données altimétriques LIDAR littoral Nord - Pas-de-Calais et Scarpe - Ministère de l'écologie  
Pour y accéder : adresser une demande auprès du [service administration de données](#)
- 

## Les premières observations :

---

### I. Apport de la donnée infrarouge

L'image infrarouge, qui renforce les contrastes, permet de simplifier la cartographie des espaces végétalisés notamment en zone urbanisée.

L'image infrarouge a été ainsi choisie pour la photointerprétation des habitats naturels dans de cadre du projet ARCH (pour en savoir plus : [consulter le site Internet ARCH](#))

Elle permet notamment d'identifier :

- La végétation aquatique

L'image infrarouge permet de mieux identifier la surface couverte par la végétation aquatique que l'orthophotographie de référence.

L'identification de la végétation aquatique est d'un enjeu majeur.

Les espèces aquatiques sont en majorité des plantes exotiques envahissantes, nuisibles à l'écosystème local, dont la gestion une priorité.

L'image infrarouge devrait permettre de cartographier plus facilement les zones colonisées.

- Les espaces verts en zones urbaines et notamment les arbres alignements  
L'image infrarouge permet de mieux identifier les alignements d'arbres et d'arbustes. Ces alignements constituent des corridors boisés pour la faune et la flore. L'image infrarouge devrait permettre de simplifier la cartographie de ces corridors essentiels le cadre de la gestion de la trame verte régionale.

Elle permet de caractériser :

- La végétalisation des terrils  
Les terrils abritent des écosystèmes rares. Ils abritent certaines espèces protégées comme le crapaud calamite. Le suivi de l'évolution de cet habitat est un enjeu fort.



Le développement de la végétation sur les terrils, et donc la fermeture de ces milieux rares, est parfaitement identifiable sur l'image infrarouge.

- La végétalisation sur plage de galets

Comme les terrils, les plages de galets et les zones d'envrochement sont des milieux contraints sur lesquels se développent des espèces spécifiques.

Le développement de la végétation sur ces milieux, et donc leur fermeture, est bien identifiable sur l'image infrarouge.

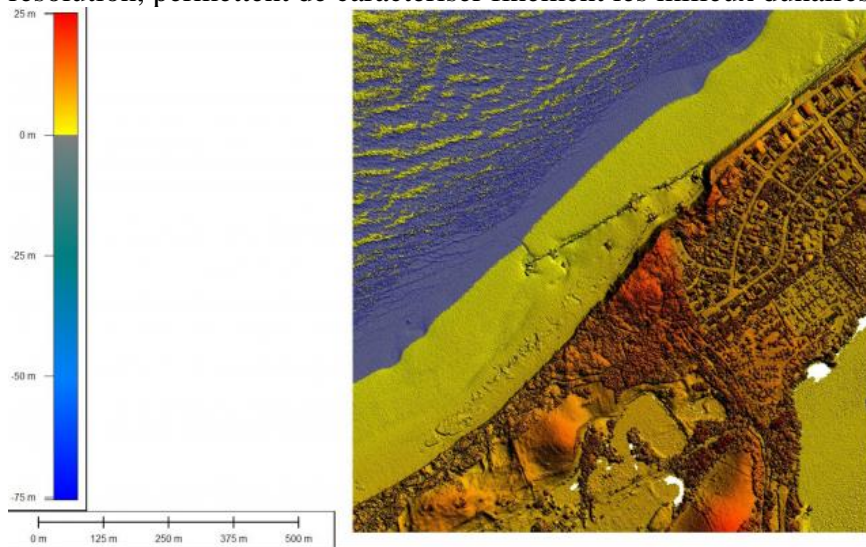
- La végétalisation des friches et des carrières  
Les carrières abritent des espèces spécifiques comme des chauves souris.  
Les friches constituent des espaces à l'abandon, reconquis progressivement par la biodiversité mais soumis à de forts enjeux d'aménagement car localisées généralement en zone urbaine.

Leur évolution est bien identifiable sur l'image infrarouge.

## **II. Apport de la donnée LIDAR**

Les milieux dunaires évoluent rapidement et abritent des habitats et des espèces protégées. Face à la pression de l'urbanisation, la caractérisation et le suivi de ces milieux littoraux est un enjeu majeur.

Les données LIDAR, qui permettent d'obtenir des modèles numériques de terrain de haute résolution, permettent de caractériser finement les milieux dunaires.



Exemples de documents ressources ARCH publiés :

- Analyse des besoins,
- recensement des bonnes pratiques européennes en matière d'utilisation du satellite pour le suivi de la biodiversité,
- inventaire des technologies de télédétection et des services associés,
- échantillonnage sur les technologies de télédétection et les services pertinents,
- proposition de scenari,
- expérimentation sur des territoires tests et recommandations.

## DOCUMENT 11

### « La lutte contre les îlots de chaleur urbains, l'enjeu primordial des villes » - *Rue89Lyon* - 2 avril 2019

Jean-Jacques Terrin, architecte-urbaniste, est professeur émérite à l'école d'architecture de Versailles et chercheur associé dans plusieurs laboratoires (en France, Canada et Albanie). Il entrera en dialogue ce mercredi 3 avril avec Lucie Merlier, ingénieure et architecte, maître de conférence à l'Université Claude Bernard Lyon 1.

Nous publions ci-après ce texte très instructif et fourni de Jean-Jacques Terrin, autour du thème de « la ville face au changement climatique ».

#### **Penser la ville avec le climat**

Les effets du réchauffement climatique et la hausse des températures dans les centres urbains ont pris aujourd'hui des proportions dont s'inquiètent les scientifiques concernés, et notamment les climatologues. Face à leurs injonctions, les villes sont bien mal armées pour répondre à un défi dont il n'est pas certain qu'ils mesurent toute la complexité. Non que cette confrontation au climat soit vraiment nouvelle, elle a même cimenté la longue histoire des cités qui ont longtemps su se prémunir contre la chaleur, et plus globalement se penser avec le climat. L'urbanisme vernaculaire méditerranéen offre l'image d'implantations humaines qui combinent apports solaires aux étages supérieurs et fraîcheur à l'ombre des jardins. L'urbanisme musulman joue de systèmes de ventilation sophistiqués (Habiter le désert, Didillon R., Donnadiou C & P., P. Madraga, Bruxelles, 1977). On pourrait multiplier ces exemples, jusqu'à l'urbanisme classique qui sait alterner rues arborées, immeubles relativement fermés au nord, et façades largement ouvertes au sud sur des jardins ombragés. Il semble que la ville moderne ait perdu ces réflexes.

#### **L'urbanisme traditionnel remis en cause**

Il aura fallu la prise de conscience du réchauffement climatique et des nouveaux risques à la fois écologiques et sanitaires qu'on remette en cause les recettes de l'urbanisme traditionnel et qu'on découvre les bienfaits d'une démarche écologique. C'est dans ce contexte de renouveau qu'ont récemment émergé les réflexions sur le phénomène d'îlot de chaleur urbain (ICU).

Pour comprendre ce phénomène et appréhender sa complexité, il suffit de traverser le boulevard de l'Acadie à Montréal entre la ville de Mont-Royal et le quartier de Parc Extension et de constater une différence d'au moins six degrés entre les deux rives du boulevard.

Une observation plus minutieuse permet de vérifier que cette différence est pour une bonne partie due aux disparités du couvert végétal et de l'intensité de la circulation automobile. Mais elle est aussi influencée par des morphologies urbaines distinctes, la densité de leurs parcelles, les revêtements de surface des bâtiments et des sols, ainsi que par les populations de ces deux quartiers, leurs activités, leurs modes de vie, leurs revenus, leur éducation, et en définitive leur culture urbaine.

#### **Des aménagements urbains obsolètes**

Les ICU sont particulièrement intenses en été dans les centres des grandes métropoles qui atteignent la nuit, une température de cinq à dix degrés supérieure aux zones situées à leurs périphéries (Cavayas, F., Baudouin, Y., 2008 p.2.). Ce réchauffement est dû à la conjonction de nombreux facteurs, et en tout premier lieu à la compacité et à la densité accrue des tissus bâtis, à la

minéralisation et à l'imperméabilisation accélérée des sols par des matériaux peu réfléchissants qui absorbent la chaleur et imposent des systèmes de drainage réduisant l'évaporation des eaux.

A ces premières causes, il faut ajouter les émissions d'air pollué, l'augmentation des activités liées à l'habitat, aux services, à l'industrie et à la circulation automobile, et aux technologies générant de la chaleur : chauffage, climatisation, éclairage, etc. Les formes urbaines, la configuration des rues formant des canyons qui emprisonnent la chaleur, l'existence de places, de parcs et de plans d'eau, tout comme l'inertie des matériaux et l'albédo des façades, des toitures et des sols, ont aussi une incidence sur les transferts de chaleur. De plus, la rugosité des façades a tendance à atténuer la vitesse du vent au niveau du sol et freine la dissipation de la chaleur accumulée. Les ICU réduisent le taux d'évaporation de l'air humide et singulièrement l'évapotranspiration des végétaux. Enfin, ils peuvent agir sur le régime des précipitations, perturbé par la montée de masses d'air chaud dans le dôme qui se crée au-dessus des villes au contact de cet air ascendant et de l'air froid de l'atmosphère. Les villes provoquent et à la fois subissent cet ensemble de phénomènes.

## **Notre santé et celle de la biodiversité menacée**

Le Programme des Nations-Unies pour l'Environnement affirmait en 2012 que le milieu urbain était responsable de plus de 50 % des déchets produits, de 60 % à 80 % des émissions de gaz à effet de serre et de la consommation de 75 % des ressources naturelles (Site Internet du Programme des Nations unies pour l'environnement (nouvelle publiée en 2012). C'est dans ce contexte que les hausses de température provoquées par les ICU, cumulées avec l'intensification des catastrophes météorologiques, ont un impact décisif sur les sociétés urbaines, et notamment sur la vulnérabilité des personnes et sur leur santé.

Les études confirment que l'accroissement de la température d'un degré au-dessus de 30°C augmente de 4,7% les risques de mortalité. Et si les villes du Sud sont bien entendu les premières concernées, les villes du Nord, contrairement aux idées reçues, ne sont pas épargnées. Le réchauffement climatique et les ICU ont également une influence significative sur la survie des forêts et des plantes, sur la préservation de la biodiversité et sur la quantité et la qualité des réserves en eau.

La lutte contre le phénomène d'ICU, loin de se résorber, risque de devenir un des principaux enjeux des villes pour les prochaines décennies. Il ne fait donc pas de doute que les collectivités urbaines doivent s'impliquer face à ce nouveau défi. De nombreuses villes élaborent des stratégies pour lutter contre les conséquences des ICU qu'elles s'efforcent d'aborder à différentes échelles spatiales et temporelles et qu'elles ne peuvent résoudre que de façon transdisciplinaire.

## **Une approche globale pour lier écologie et urbanisme**

La plupart des acteurs concernés est aujourd'hui consciente de la nécessité, mais aussi de la difficulté de prendre en compte le phénomène d'ICU dans l'élaboration de stratégies urbaines comme dans la conception de projets d'aménagement. Les causes en sont multiples.

La nécessité d'une approche intégrée pour aborder de façon transversale la lutte contre les îlots de chaleur n'est pas facilitée par la complexité et la fragmentation caractéristiques de l'aménagement territorial. Ces difficultés sont presque naturellement accrues par l'organisation en silo qui est trop

souvent celle des services urbains, et par les conflits latents qui se dressent entre les exigences et les temporalités divergentes du politique, des services techniques, des concepteurs et des habitants.

Les savoirs et les savoir-faire sont généralement trop cloisonnés, ne favorisant pas des approches globales indispensables pour croiser des compétences aussi diverses que la gestion des eaux et des trames vertes et bleues, l'ingénierie de réseaux urbains, la conception architecturale et paysagère, et autres expertises diverses, ... À ces difficultés, s'ajoutent celles qui sont le fait d'interventions dans des tissus existants denses, ce qui rend les processus de décision encore plus complexes à cause des contraintes du foncier qui tend à figer des situations acquises, et celles du patrimoine architectural, urbain et paysager qui impose une retenue parfois en contradiction avec les objectifs environnementaux.

## **La formation et l'information, des modes d'action complémentaires**

Face à ces contraintes, de nombreuses villes, forcées d'agir entre expérimentation et empirisme, se tournent vers la recherche pour les aider à acquérir les connaissances qui leur sont nécessaires pour renouveler les savoirs et sensibiliser les parties prenantes.

Mettre en œuvre des démarches transdisciplinaires tout au long de l'élaboration d'une stratégie et d'un projet d'aménagement urbain, croiser des disciplines telles que programmation urbaine, météorologie, sciences de l'environnement, conception architecturale et paysagère, tout en impliquant les habitants, impose en effet le développement de projets basés sur une vision globale et la mise en synergie de points de vue spécifiques incluant politique urbaine, recherche académique et industrielle, maîtrise d'ouvrage et services, sans oublier l'ensemble des usagers finaux.

Dans un contexte où la participation de l'ensemble des acteurs citoyens est essentielle et où la collaboration entre professionnels n'est pas toujours acquise, la formation et l'information constituent aussi des modes d'action incontournables. De nombreuses villes en prennent conscience et commencent à mobiliser les compétences dont elles disposent pour mettre en œuvre et échanger des expériences innovantes.

Ce sont ces laboratoires d'innovation urbaine qui montrent la voie en agissant sur trois registres, celui de l'observation et du monitoring, celui de la mitigation et de la réduction des risques, et celui de l'adaptation et de la prise en considération des opportunités que peuvent offrir ces nouvelles conditions environnementales.

Il serait souhaitable que les professionnels de l'urbanisme prennent pleinement conscience que leur environnement urbain a radicalement changé et que leur façon de l'appréhender et de le transformer doit également changer. Les acteurs qui en assurent le renouvellement, la maintenance et la gouvernance doivent adopter des démarches résolument transdisciplinaires pour mettre en œuvre ensemble des solutions soutenables impliquant toutes les parties prenantes professionnelles mais aussi citoyennes tant il est essentiel que ces derniers soient pleinement associés aux mutations envisagées.

L'ensemble de ces acteurs disposent pour cela d'une nouvelle génération de technologies extrêmement sophistiquées de communication, de simulation, d'objets connectés et de big data qui devraient bouleverser les pratiques de l'urbanisme et leur permettre de mieux gérer l'extraordinaire complexité des métropoles urbaines contemporaines.



# Création de cartes de zones climatiques locales pour le suivi des îlots de chaleur urbains à Strasbourg

Tania LANDES - Georges NAJJAR - Mathieu KOEHL - Olivier MONTAUBAN

Camille GOURGUECHON - Pierre KASTENDEUCH - Philippe SLISSE

*Dans le contexte du réchauffement climatique, les vagues de chaleur récurrentes auxquelles nous faisons face ces dernières années tendront à s'intensifier sur notre territoire comme dans le reste du monde. L'urbanisation y est pour quelque chose. D'après le centre d'observation de la société, 50 millions de personnes, soit plus des trois quarts de la population française, habitent en ville (données de l'Insee, 2016). Les estimations des Nations Unies indiquent que 54 % des personnes dans le monde vivaient dans des zones urbaines en 2016, chiffre qui pourrait atteindre 70 % en extrapolant à 2050 (@Worldindata, 2019). Cette urbanisation croissante génère évidemment des changements non négligeables sur le climat urbain. L'étude de ce dernier et des paramètres qui l'influencent sont importants non seulement dans une optique de compréhension des mécanismes complexes qui régissent notre environnement, mais également dans une optique prédictive, afin de proposer à l'avenir des solutions alternatives de gestion de l'espace urbain en harmonie avec la nature, pour une optimisation de la qualité de vie dans nos villes et nos campagnes. Des études sont menées en ce sens par notre équipe, avec l'appui d'autres chercheurs (INRA Clermont-Ferrand) et de partenaires de collectivités territoriales, comme la Direction urbanisme et territoires de l'Eurométropole de Strasbourg (la mission Écologie des territoires et le Service géomatique).*

**MOTS-CLÉS**  
Climatologie urbaine, zones climatiques locales, cartographie, îlot de chaleur urbain, données 3D, classification.

(2014), durant la journée, en ville, les surfaces imperméables et les bâtiments se réchauffent, stockent l'énergie solaire et participent ainsi au réchauffement de l'air ambiant, tandis qu'à la campagne, l'énergie solaire est transformée par la végétation par photosynthèse et pour évaporer l'eau dans l'atmosphère, le sol et la végétation se réchauffant peu, l'énergie restante permet de chauffer l'air. La géométrie 3D de la ville est un facteur qui amplifie cet effet de stockage. À la nuit tombée, les surfaces urbaines limitent le refroidissement de l'air, contrairement à ce qu'il se passe à la campagne. Ainsi l'îlot de chaleur urbain se forme surtout parce que le refroidissement de l'air urbain est contrarié.

Contrairement au climat rural, le microclimat urbain est caractérisé par un flux de chaleur latente faible, un flux de chaleur sensible plus élevé et surtout, pendant la nuit, un flux de stockage qui est relargué dans l'atmosphère, ce qui, par conséquent, conduit à un ralentissement du phénomène de refroidissement nocturne. Entre la ville de Strasbourg, à l'Est de la France et la campagne alentour, la différence de température mesurée sur une moyenne annuelle est de 2° à 3° (Fischer, 2005). De façon générale, ces perturbations sont les conséquences d'une urbanisation croissante qui engendre une augmen-

## L'îlot de chaleur urbain (ICU)

Comparé au milieu rural, les températures en milieu urbain sont généralement plus élevées, en particulier la nuit. L'étude des différences de températures dans l'espace constitue un indicateur important pour les climatologues et géographes, appelé "îlots de chaleur urbains" (ICU). Ce dernier traduit une augmentation localisée des températures nocturnes dans les agglomérations en comparaison avec les zones moins artificialisées et péri-urbaines à proximité (figure 1). Il est lié à différents paramètres comme la densité et la morphologie urbaine, les propriétés d'absorption et de stockage de la chaleur des matériaux,

les activités anthropiques ou encore la substitution des espaces végétalisés par des surfaces minérales. Le phénomène d'îlot de chaleur est accentué pendant la nuit. Comme l'explique le site du Centre national de recherches météorologiques

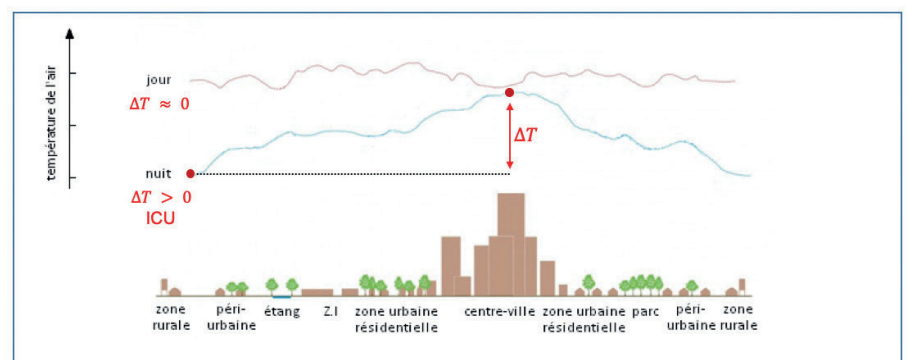


Figure 1. Illustration de l'îlot de chaleur urbain dans l'espace et le temps



tation des zones imperméabilisées, une géométrie urbaine atypique avec de hauts bâtiments, un étalement des villes et une augmentation des activités anthropiques.

Pour les mêmes conditions météorologiques, l'ICU varie selon les quartiers étudiés. Une meilleure spatialisation de l'environnement urbain en particulier de la canopée urbaine pourrait donc être une des issues envisageables pour réduire ce phénomène et améliorer l'indice de confort de la population urbaine.

## Des recherches à l'INSA Strasbourg

Depuis une dizaine d'années, des travaux de recherche sont effectués sur la thématique de la modélisation des arbres en villes et de la compréhension des ICU au sein du groupe PAGE de l'INSA Strasbourg (équipe TRIO, laboratoire ICube UMR 7357). Cet axe de recherche passionne une équipe pluridisciplinaire composée de topographes, de géographes-climatologues et est mené en collaboration avec une équipe de chercheurs en éco-physiologie et en bio-climatologie de l'INRA Clermont-Ferrand (Landes *et al.*, 2014). Nous pouvons en particulier citer la thèse de Elena Bournez qui a étudié le rôle de la végétation dans la création de microclimats urbains (Bournez, 2018). Ce travail a permis de développer une approche combinée de mesures et de modélisations à différentes échelles des arbres en ville, témoignant de la complexité de modéliser le climat urbain. Dans cette étude, nous nous sommes concentrés sur la réintroduction de la végétation et plus particulièrement des arbres, qui semble être une des meilleures réponses pour minimiser le réchauffement en ville. En effet, le flux d'évapotranspiration (ou de chaleur latente) et les ombres portées provenant des arbres ont un impact significatif sur le bilan thermique de l'atmosphère aux alentours, créant des îlots de fraîcheur (Pons, 2019).

Depuis 2013, plusieurs sites de l'Eurométropole de Strasbourg font l'objet d'études climatiques, pour mesurer et évaluer le climat urbain et plus particulièrement étudier le rôle de la végétation (Najjar *et al.*, 2015), analyser la variabilité

spatiale et temporelle de l'effet de l'ICU, comprendre les processus qui le contrôlent, analyser la contribution de la végétation et à terme mesurer l'indice de confort thermique de la population.

Les résultats présentés dans cet article sont le fruit de plusieurs projets de recherche menés depuis 2017. Les travaux de Camille Gourguechon (2017/2018), dans le cadre d'un projet de recherche technologique (PRT) de 5<sup>e</sup> année à l'INSA spécialité topographie, ont esquissé les contours d'une classification de données images, vecteurs et de nuages de points, dans le but d'extraire des zones climatiques types dans des quartiers de Strasbourg. Ils ont été poursuivis par Olivier Montauban, durant son PRT puis son projet de fin d'études (PFE) (2018/2019). Ces travaux d'étudiants en master venaient en aide sur certains aspects à la thèse d'Elena Bournez (2015-2018) et d'une thèse en cours actuellement à l'Eurométropole de Strasbourg, menée par Nathalia Philipps (2018-2021). Cette dernière a pour objet l'étude du rôle de la végétation et de la géométrie urbaine dans la réduction de l'îlot de chaleur urbain strasbourgeois. Les travaux de recherche de Nathalia Philipps visent à déboucher sur une série de propositions prescriptives pour améliorer les conditions de vie et de confort des citoyens et atténuer de manière plus efficace les effets négatifs de l'îlot de chaleur urbain.

L'Agence de développement et d'urbanisme de Strasbourg (ADEUS) a d'ores et déjà produit une carte d'ICU sur la base d'images satellites, mais celle-ci ne concerne qu'une seule journée. C'est pourquoi notre équipe a décidé de lancer un projet visant à explorer le potentiel d'images satellites ASTER et MODIS pour la détection et le suivi d'ICU au travers d'une collaboration avec l'Université de Salamanque, en Espagne. Nous envisageons, à moyen terme, de produire une cartographie des ICU strasbourgeois par saison.

## Définition de zones climatiques locales

Un défaut majeur de la majorité des études sur le sujet des ICU est qu'elles manquent de métadonnées quantita-

tives permettant de décrire l'espace urbain considéré et qui influencent le climat (indicateurs quantitatifs concernant l'exposition, la rugosité, la couverture du sol, la hauteur des bâtiments, la densité, la typologie urbaine, etc.). Ce manque de données descriptives rend très difficile la comparaison des études menées de longue date en climatologie urbaine à travers le monde.

C'est dans ce cadre que les travaux de Stewart et Oke (2012) ont été développés. Ils ont proposé à la communauté de climatologues la mise en place d'une classification en zones climatiques locales ou "*Local Climate Zone*", que nous abrégons en LCZ par la suite. Cette classification, internationalement reconnue, a pour objet de permettre l'identification de zones considérées comme homogènes à l'échelle d'une ville et de son environnement proche. Son intérêt principal réside dans la comparaison entre des classes LCZ plutôt qu'entre des zones qualifiées, arbitrairement, comme "urbaines" ou "rurales", et ce sans consensus sur les définitions spatiales de ces termes. Elle constitue une étape fondamentale, mais toutefois complexe, dans tout projet de recherche portant sur l'étude du climat d'une ville et de sa répartition spatiale. Nous avons tenté, dans le cadre des travaux mentionnés précédemment, de produire une classification basée sur les LCZ, sur le territoire de l'Eurométropole de Strasbourg. La *figure 2* fournit un aperçu des ambiances urbaines que l'on rencontre dans l'agglomération strasbourgeoise.

Une LCZ est une unité de surface décrivant le paysage en liant le principe d'homogénéité de composition urbaine à celui d'homogénéité climatique. Ce tramage du territoire, tel que suggéré par Stewart et Oke (2012), repose sur une description du paysage urbain en 17 classes (10 classes "bâties" ou "LCZ construites", numérotées de 1 à 10 et 7 classes "naturelles" ou "LCZ non construites" nommées de A à G), comme illustré en *figure 3*.

Les LCZ se distinguent premièrement par le type de couverture du sol. Elles seront dominées par des structures minérales pour les LCZ construites et à l'opposé par des éléments naturels





Figure 2. Différentes ambiances urbaines à Strasbourg, en octobre (Gourgechon, 2018)

| Built types                    | Definition   | Land cover types                      | Definition   |
|--------------------------------|--|---------------------------------------|--|
| <p>1. Compact high-rise</p>    | Dense mix of tall buildings to tens of stories. Few or no trees. Land cover mostly paved. Concrete, steel, stone, and glass construction materials.                                  | <p>A. Dense trees</p>                 | Heavily wooded landscape of deciduous and/or evergreen trees. Land cover mostly pervious (low plants). Zone function is natural forest, tree cultivation, or urban park. |
| <p>2. Compact midrise</p>      | Dense mix of midrise buildings (3–9 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Stone, brick, tile, and concrete construction materials.                                     | <p>B. Scattered trees</p>             | Lightly wooded landscape of deciduous and/or evergreen trees. Land cover mostly pervious (low plants). Zone function is natural forest, tree cultivation, or urban park. |
| <p>3. Compact low-rise</p>     | Dense mix of low-rise buildings (1–3 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Stone, brick, tile, and concrete construction materials.                                    | <p>C. Bush, scrub</p>                 | Open arrangement of bushes, shrubs, and short, woody trees. Land cover mostly pervious (bare soil or sand). Zone function is natural scrubland or agriculture.           |
| <p>4. Open high-rise</p>       | Open arrangement of tall buildings to tens of stories. Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Concrete, steel, stone, and glass construction materials.     | <p>D. Low plants</p>                  | Featureless landscape of grass or herbaceous plants/crops. Few or no trees. Zone function is natural grassland, agriculture, or urban park.                              |
| <p>5. Open midrise</p>         | Open arrangement of midrise buildings (3–9 stories). Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Concrete, steel, stone, and glass construction materials.       | <p>E. Bare rock or paved</p>          | Featureless landscape of rock or paved cover. Few or no trees or plants. Zone function is natural desert (rock) or urban transportation.                                 |
| <p>6. Open low-rise</p>        | Open arrangement of low-rise buildings (1–3 stories). Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees). Wood, brick, stone, tile, and concrete construction materials. | <p>F. Bare soil or sand</p>           | Featureless landscape of soil or sand cover. Few or no trees or plants. Zone function is natural desert or agriculture.  |
| <p>7. Lightweight low-rise</p> | Dense mix of single-story buildings. Few or no trees. Land cover mostly hard-packed. Lightweight construction materials (e.g., wood, thatch, corrugated metal).                      | <p>G. Water</p>                       | Large, open water bodies such as seas and lakes, or small bodies such as rivers, reservoirs, and lagoons.  |
| <p>8. Large low-rise</p>       | Open arrangement of large low-rise buildings (1–3 stories). Few or no trees. Land cover mostly paved. Steel, concrete, metal, and stone construction materials.                      | <b>VARIABLE LAND COVER PROPERTIES</b> |  |
| <p>9. Sparsely built</p>       | Sparse arrangement of small or medium-sized buildings in a natural setting. Abundance of pervious land cover (low plants, scattered trees).  | <p>b. bare trees</p>                  | Leafless deciduous trees (e.g., winter). Increased sky view factor. Reduced albedo.  |
| <p>10. Heavy industry</p>      | Low-rise and midrise industrial structures (towers, tanks, stacks). Few or no trees. Land cover mostly paved or hard-packed. Metal, steel, and concrete construction materials.      | <p>s. snow cover</p>                  | Snow cover > 10 cm in depth. Low admittance. High albedo.  |
|                                |  | <p>d. dry ground</p>                  | Parched soil. Low admittance. Large Bowen ratio. Increased albedo.   |
|                                |  | <p>w. wet ground</p>                  | Waterlogged soil. High admittance. Small Bowen ratio. Reduced albedo.  |

Figure 3. Récapitulatif des LCZ définies par Stewart et Oke (2012)

pour les LCZ non construites. Les LCZ tiennent compte dans leurs définitions de la densité des éléments dominants du paysage (végétation et édifices compacts ou espacés). Enfin, pour les classes bâties, la hauteur des édifices est un critère important pour différencier les LCZ entre elles. En effet la hauteur des bâtiments ainsi que leur agencement ont un impact direct sur le climat local. La définition de ces classes a ensuite été enrichie par la quantification de facteurs descriptifs, c'est-à-dire de 10 indicateurs climatiques chiffrés, qui donnent à cette classification un caractère neutre vis-à-vis de la subjectivité de définitions des classes (voir figure 4). Ces indicateurs sont tous mesurables et indépendants du temps ou du lieu géographique. Ils peuvent être regroupés selon qu'ils soient relatifs à la morphologie urbaine, à l'occupation du sol, aux matériaux urbains présents dans chaque zone ou au métabolisme urbain, ce dernier concernant le niveau d'activité anthropique. Parmi ces quatre catégories d'indicateurs, les deux premières ont été retenues comme causes majeures des différences de température observées entre les classes.

Dans la littérature, deux méthodes cohabitent pour la mise en place d'une classification de LCZ. Une première méthode est basée sur la classification d'images satellites en partant du principe que chaque LCZ correspond à des valeurs de luminances distinctes. On parlera d'approche image. La seconde



| Propriétés                       | Indicateurs climatiques   |
|----------------------------------|---|
| Géométrie et morphologie urbaine | - Facteur de vue du ciel (SVF)<br>- Rapport d'aspect (H/W)<br>- Hauteur des éléments de rugosité (HRE) - [m]<br>- Classe de rugosité des terrains (TRC) |
| Couverture des sols              | - Pourcentage de surface imperméable (ISF)<br>- Pourcentage de surface bâtie (BSF)<br>- Pourcentage de surface perméable (PSF)                          |
| Composition des matériaux        | - Effusivité thermique - [J.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1/2</sup> .K <sup>-1</sup> ]<br>- Albédo de surface  |
| Métabolisme urbain               | - Flux d'origine anthropique - [W.m <sup>-2</sup> ]   |

Figure 4. Indicateurs climatiques associés à chaque LCZ

est basée sur les Systèmes d'information géographique (SIG). Il s'agit de l'approche vecteur. Le principe est de calculer ou collecter les valeurs des différents paramètres caractéristiques définis dans les travaux de Stewart & Oke (2012), et d'en déduire le périmètre des LCZ. Ces deux approches ont été étudiées et ont permis de mener à deux cartes LCZ, qui seront comparées à la suite de leur présentation.

(World Urban Database and Access Portal Tool). Ce portail est une initiative internationale ayant pour objectif la création et la diffusion d'une base de données à l'échelle internationale relative à l'aspect, la forme mais aussi les activités des villes à travers le monde, ce portail permettant la mutualisation des informations pour l'étude du climat urbain. L'initiative WUDAPT décompose le niveau d'information selon trois échelles, comme le décrit la figure 5.

### Carte de LCZ par approche image

Une première carte LCZ par approche image a été réalisée au cours du projet de recherche technologique de Camille Gourguechon (2017/2018). Le raisonnement suivi a consisté à s'inspirer des travaux de Bechtel *et al.* (2015) qui suggèrent une méthodologie créée dans le cadre d'un projet WUDAPT

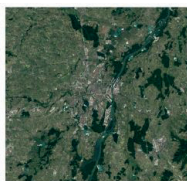
### Processus de classification développé pour l'approche image

Dans cette approche, la ville étudiée est divisée en LCZ par rapport à la réponse spectrale des éléments qui la composent, distinguant ainsi plusieurs classes de couvertures et d'occupations des sols. Ainsi après avoir défini, pour

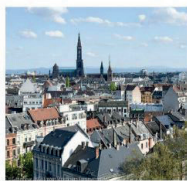
chaque LCZ, des zones d'apprentissage contenant des pixels caractéristiques de la zone, les pixels peuvent être associés à une LCZ par comparaison de leur comptes numériques dans chaque bande spectrale avec les valeurs caractéristiques de chaque LCZ. On parle de classification supervisée puisque l'opérateur connaît *a priori* les classes souhaitées qui correspondent aux 17 classes de LCZ. Parmi les différents processus de classification supervisée existants, c'est celui des forêts d'arbres décisionnels (*random forest classification*) qui est apparu comme compromis idéal entre précision et performance de calcul d'après Bechtel *et al.* (2015).

L'imagerie satellite en libre accès, telle que Sentinel-2 ou Landsat 8, de même que les logiciels accessibles gratuitement tels que *Google Earth Pro*, pour la définition de la zone d'intérêt et des polygones d'apprentissage, et le logiciel libre de SIG, *System for Automated Geoscientific Analyses SAGA-GIS*, pour procéder à la classification, soutient la philosophie et l'initiative du projet WUDAPT. N'importe quel territoire peut être ainsi décrit en termes de zones climatiques locales car cette approche repose sur le traitement d'images satellites à couverture mondiale et gratuites.

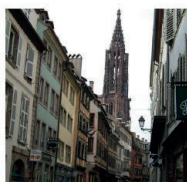
La figure 6 présente un diagramme récapitulatif des étapes de traitements mises en place pour produire une carte de LCZ de Strasbourg et ses environs à partir d'images satellites.



Le **niveau 0** correspond à l'échelle de la ville et de ses alentours. Une cartographie de la ville est réalisée selon le schéma des 17 zones décrites dans la classification Local Climate Zone (LCZ) de Stewart & Oke (2012). L'espace est alors découpé selon l'apparence globale à partir de vues au niveau du sol, aériennes ou satellites.



Dans le **niveau 1**, qui concerne l'échelle du quartier, des attributs de formes et de fonctions sont associés à chacune des zones extraites au précédent niveau.



Dans le **niveau 2** le système d'informations est complété avec des données à l'échelle du bâtiment, comme par exemple, l'albédo, les matériaux de construction, la date de construction, le ratio surface vitrées surface en dur...

Figure 5. Décomposition de l'espace en niveaux d'informations dans l'initiative WUDAPT, appliquée à Strasbourg

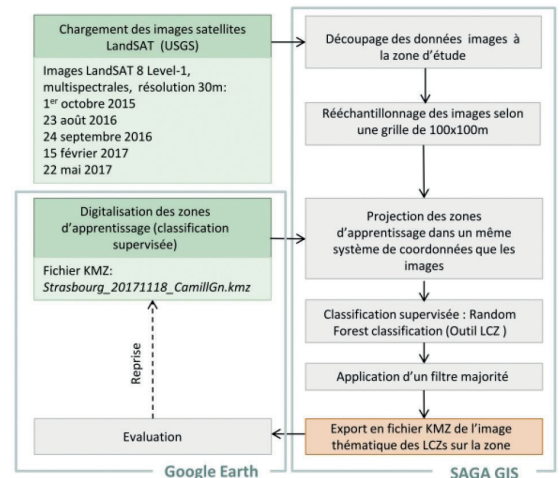
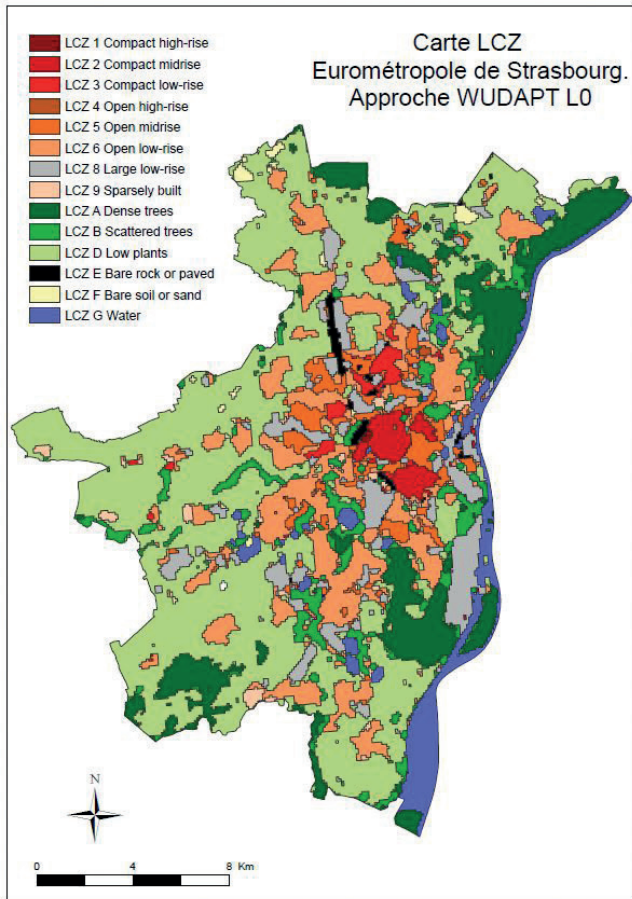


Figure 6. Diagramme récapitulatif des étapes de traitements mises en place pour produire une carte de LCZ de Strasbourg et ses environs à partir d'images satellites (Gourguechon, 2018)





**Figure 7.** Carte de LCZ de Strasbourg et ses environs, par approche basée sur l'image (Montauban, 2019), après redéfinition des zones échantillons définies initialement dans Gourguechon (2018). WUDAPT L0, cellules de 100 m x 100 m.

la représentation spatiale des LCZ tout en calculant directement certains indicateurs climatiques avec des techniques basées sur les outils de SIG. Cependant, elles ne sont pas aussi directes et universelles dans leur mise en place que l'approche image ou WUDAPT de niveau 0, abordée ci-dessus. En effet, elles nécessitent que le territoire d'étude bénéficie d'une diversité de données permettant de traduire la géométrie des bâtiments, des rues, de la végétation ou l'occupation et la couverture des sols en différents comportements climatiques locaux. Bien que les principes définissant ces méthodes puissent être généralisés, la stricte application de ces approches est plus complexe, car elle dépend pour beaucoup de la richesse et de la qualité de la description d'un territoire à l'aide de données vectorielles au niveau local, régional ou national. Les travaux effectués dans le cadre du PFE de Olivier Montauban (2019) se sont concentrés sur une zone d'étude qui correspond au territoire de l'Eurométropole de Strasbourg. La connaissance 3D du territoire existe sur l'emprise de l'Eurométropole de Strasbourg ; les données 3D sont pour la plupart disponibles en opendata sur la plateforme "data.strasbourg.eu". La stratégie des travaux ne fut donc pas de produire mais plutôt de trouver de données fiables en leur appliquant des traitements spatiaux afin de calculer directement le plus d'indicateurs climatiques utiles pour procéder à une classification LCZ. C'est ainsi que ses travaux nous ont permis de développer une approche vectorielle de la classification LCZ à Strasbourg et d'aboutir à une carte LCZ équivalente au niveau 1 de l'initiative WUDAPT avec :

- l'intégration de caractéristiques géométriques de la végétation dérivées de données LiDAR ;
- l'approfondissement et l'amélioration du calcul des indicateurs climatiques décrivant la morphologie urbaine par l'introduction de nouvelles sources de données.

### Stratégie de détermination des indicateurs climatiques

L'approche développée s'appuie sur des outils disponibles dans le logiciel ArcGIS

### Analyse de la carte LCZ produite par approche image

La figure 7 présente la classification résultant de l'approche image appliquée au territoire de l'Eurométropole de Strasbourg.

Cette méthode trouve cependant ses limitations dans le fait qu'elle ne prenne en compte que l'apparence globale des zones, sans considération objective des valeurs que prendrait chaque facteur descriptif décrit par Stewart et Oke (2012) pour chacune de ces zones. Elle est fortement liée à l'appréciation de l'opérateur puisque c'est lui qui définit des zones d'apprentissage pour chaque classe. Enfin, elle ne fournit qu'un niveau 0 d'information selon l'échelle du WUDAPT (figure 5).

Nous avons alors cherché à évaluer la qualité de cette carte par la quantification des différents facteurs descriptifs dans les zones définies par cette méthode basée sur la classification d'images satellites. Pour les différents traitements réalisés, nous avons utilisé les logiciels ArcGIS et QGIS. Ce dernier, un logiciel libre, est largement répandu

pour les études de climat urbain. Les paramètres calculés lors de cette étude ont été la fraction de superficie bâtie, la hauteur des éléments de rugosité, le pourcentage de surface imperméable et perméable, l'albédo et le sky view factor (SVF). Pour chacun de ces paramètres, les écarts avec les intervalles de référence donnés dans les travaux de Stewart & Oke (2012) ont été évalués.

Ces écarts doivent cependant être interprétés avec précaution. En effet certains de ces écarts sont dus à un manque de données. C'est le cas notamment pour les zones situées au-delà de la frontière française et les paramètres en lien avec la végétation. Par manque de données de hauteur de végétation, la hauteur des éléments de rugosité sera de manière générale sous-évaluée et le sky view factor, au contraire, surévalué.

### Carte de LCZ par approche vectorielle

Parallèlement aux approches raster, il existe d'autres approches qualifiées de vectorielles. Elles permettent d'affiner



| Diffuseur  | Nom Produit                       | Format                 | Accessibilité                                | Échelle / Résolution         | Usage                                      |
|------------|-----------------------------------|------------------------|--|------------------------------|--|
| IGN        | BD TOPO®                          | Vecteur-ESRI Shapefile | Licence gratuite pour la recherche publiable | Du 1 : 5 000 au 1 : 50 000   | Îlot de polygones, BSF, PSF, ISF, HRE, SVF |
| IGN        | BD Parcellaire®                   | Vecteur-ESRI Shapefile | Licence gratuite pour la recherche publiable | Du 1 : 250 au 1 : 10 000     | Îlot de polygones                          |
| IGN        | BD Carto®                         | Vecteur-ESRI Shapefile | Licence gratuite pour la recherche publiable | Du 1 : 50 000 au 1 : 200 000 | Îlot de polygones                          |
| IGN        | Registre Parcellaire Graphique    | Vecteur-ESRI Shapefile | Licence ouverte Etalab                       | Du 1 : 2 500 au 1 : 10 000   | Îlot de polygones                          |
| CES OSO    | Occupation des sols               | Raster-GeoTIFF         | Open Data Commons Attribution License        | 20 m                         | ISF, PSF                                   |
| EODC, BOKU | Albedo                            | Raster-JPEG 2000       | Aucune limite légale                         | 10 m                         | Albédo de surface                          |
| EMS        | Raster d'élévation du sol         | Raster-TIFF            | Licence ouverte Etalab                       | 0,5 m                        | SVF  |
| EMS        | Raster des hauteurs de végétation | Raster-TIFF            | Licence ouverte Etalab                       | 0,5 m                        | HRE, SVF, ISF, PSF                         |
| EMS        | Raster des hauteurs de toiture    | Raster-TIFF            | Licence ouverte Etalab                       | 0,5 m                        | HRE, SVF                                   |

Figure 8. Inventaire des données vectorielles et raster<sup>1</sup> utilisées (Montauban, 2019)

(ESRI) et d'autres développés en Python pour le calcul de indicateurs climatiques notamment. Dans un souci de reproductibilité et de coût, nous prôtons l'usage de données images et vectorielles *Open Source* et/ou gratuites, prêtes à l'emploi. Le tableau de la figure 8 résume les données retenues qui ont été produites soit par des institutions, des organismes publics ou par des experts scientifiques. Ces données permettent d'atteindre, sur notre zone d'étude, un niveau de détails allant de quelques mètres à une vingtaine de mètres.

Un effort particulier a été réalisé par l'ajout des données de meilleure résolution ou qui n'avaient pas été encore employées dans nos précédents travaux (carte d'albédo, une nouvelle carte d'occupation du sol, rasters dérivés d'acquisitions Lidar). Nous obtenons ainsi une représentation des LCZ adaptée à l'échelle du quartier qui intègre pleinement la morphologie urbaine et les caractéristiques géométriques des surfaces et de la végétation.

À partir de ces données, nous ne calculons pas nos indicateurs climatiques en nous appuyant sur le découpage 1 CES OSO : Centre d'expertise scientifique occupation des sols.

EODC : Centre de données d'observation de la Terre.

BOKU : Université des ressources naturelles et des sciences de la vie de Vienne.

2 IGN : Institut national de l'information géographique et forestière.

de notre zone d'étude en une grille régulière ou bien en utilisant des polygones de Thiessen. À l'instar des travaux de Hidalgo *et al.* (2019), nous avons retenu, pour le calcul direct des indicateurs climatiques, l'idée d'un découpage de la zone d'étude en îlots de polygones issus du traitement du

parcellaire cadastral et d'autres bases de données vectorielles de l'IGN<sup>2</sup>. En effet, c'est en prêtant attention à l'organisation thématique ou à l'objectif de ces bases que nous nous sommes rendu compte que certaines classes LCZ pouvaient être pré-détectées directement. En procédant de la sorte, nous sommes en mesure de capter, avec pertinence, la diversité d'occupations des sols et la géométrie du paysage urbain du fait des modifications anthropiques. Les données à notre disposition nous permettent de déduire 6 indicateurs climatiques sur les 10 (listés dans la figure 4) pour chaque polygone de calcul.

### Processus de classification développé pour l'approche vectorielle

Parmi les différentes études qui ont permis de créer une carte LCZ par notre approche vectorielle telle que présentée dans la figure 9, deux autres méritent d'être citées. En effet, nous nous sommes, d'une part, inspirés des travaux de Unger *et al.* (2014) et de leur méthode de classification

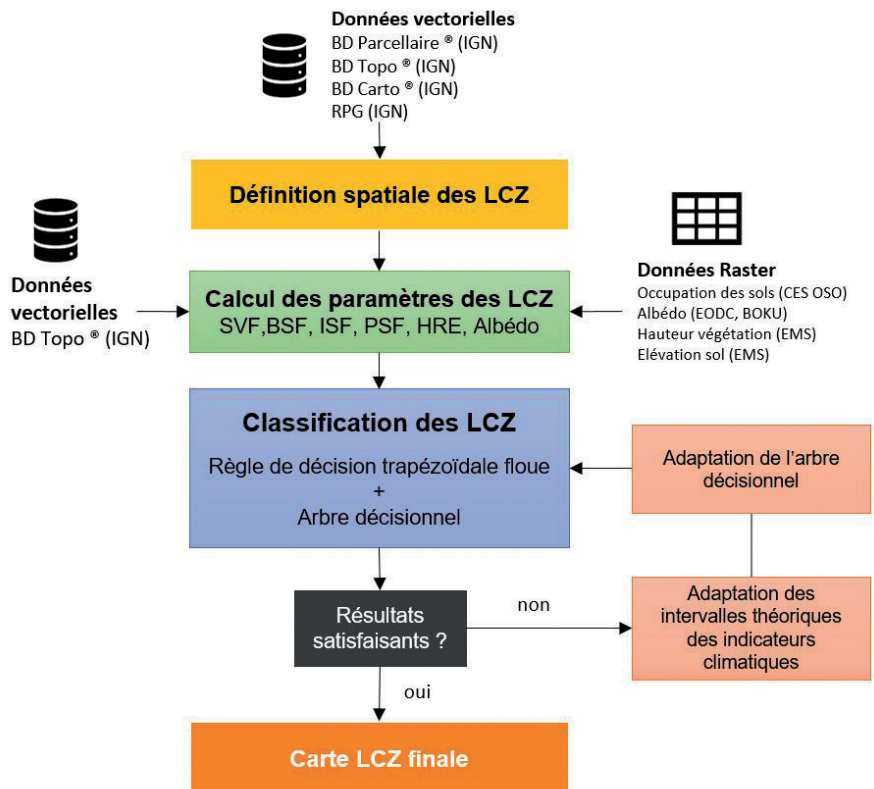


Figure 9. Diagramme synthétisant l'approche vectorielle développée (Montauban, 2019)



basée sur la logique floue à l'aide d'une fonction trapézoïdale comme règle de décision d'appartenance à une classe LCZ. D'autre part, afin de mieux distinguer les classes bâties et non bâties entre elles, nous avons amélioré notre processus discriminatoire par l'introduction d'indicateurs supplémentaires et l'usage de certains indicateurs climatiques à différents niveaux dans un arbre de décision, comme suggéré par Geletic et Lehnert (2016). Ce dernier est constitué de deux branches principales de traitements. L'une se compose d'une succession de tests et de décisions qui permettent d'attribuer, essentiellement, une classe bâtie en sortie (LCZ 1 à 10). L'autre branche fait un travail analogue pour les classes d'occupation des sols (LCZ A à G).

Cependant, ce processus semi-automatique ne permet pas de classer toutes les zones du paysage dans les classes LCZ souhaitées. En effet, Stewart et Oke (2012) décrivent 17 classes LCZ aux comportements uniques avec 10 paramètres. Or dans notre étude, si nous considérons uniquement les intervalles théoriques de valeurs pour les 6 paramètres retenus, certaines classes n'ont alors plus de comportement "suffisamment unique". Il devient par exemple difficile de distinguer, sans le paramètre du flux de chaleur anthropique, les classes LCZ 8 et 10. Les premières correspondent à des zones commerciales ou d'entrepôts tandis que les secondes correspondent à des zones d'industries lourdes.

Afin de mieux discriminer les classes présentant une grande confusion entre elles, certaines classes LCZ ont vu quelques intervalles théoriques d'indicateurs être ajustés empiriquement afin de calculer le degré d'appartenance d'un îlot de polygone à une classe LCZ. L'objectif de notre travail n'est pas de redéfinir les valeurs des intervalles des indicateurs de la classification proposée par Stewart et Oke (2012). Cependant, dans le contexte d'une ville type européenne de taille moyenne comme Strasbourg, et compte tenu de la connaissance partielle des 10 indicateurs climatiques, notre travail montre la nécessité d'adapter locale-

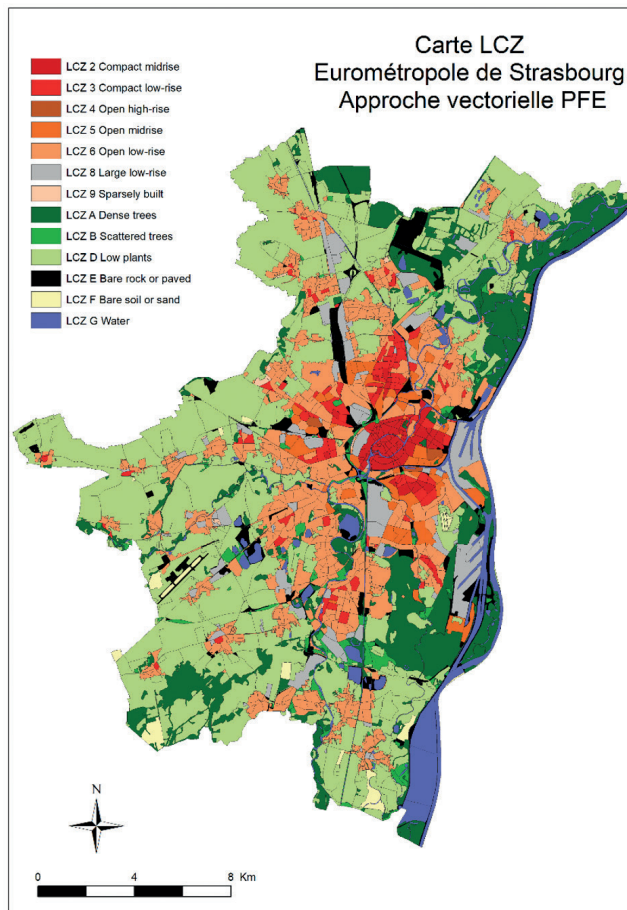


Figure 10. Carte de LCZ couvrant Strasbourg et ses environs, par approche vectorielle (Montauban, 2019).

ment un certain nombre de valeurs d'indicateur. Cela est nécessaire afin d'obtenir une carte de LCZ cohérente et tenant compte à la fois de la variabilité, des spécificités régionales et des descriptions globales des classes LCZ. Ainsi, deux classifications LCZ ont été produites sur le territoire d'étude : une carte de LCZ respectant les intervalles théoriques et une LCZ "adaptée" aux spécificités locales de l'Eurométropole de Strasbourg.

La figure 10 présente la carte LCZ obtenue en suivant le raisonnement décrit précédemment.

### Analyse de la carte LCZ produite par approche vectorielle

Il n'existe pas de cartographie de référence pour notre zone d'étude, ce qui implique que nous ne pouvons pas évaluer l'exactitude de notre classification. Cependant, une comparaison qualitative de notre approche vectorielle de niveau 1 avec l'approche raster WUDAPT de niveau 0 est inté-

ressante. Une telle comparaison fait ressortir à la fois des tendances climatiques communes et des différences subsidiaires dans la représentation des LCZ (figure 11).

Nous constatons ainsi que d'un point de vue spatial les classes non-bâties (LCZ A-G) correspondent mieux entre les deux approches que les classes bâties (LCZ 1-10). Cela s'explique notamment par le fait que notre approche introduit des informations à la fois sur la hauteur des édifices et sur celle de la végétation. Cela permet de mieux représenter les classes de "faible" ou "moyenne hauteur". Nous arrivons à capturer les spécificités locales de la morphologie urbaine en nous affranchissant des problèmes de "pixels mixtes" inhérents à l'approche WUDAPT de niveau 0.

En considérant une grille régulière ayant des mailles de 100 m de côté et en s'intéressant uniquement aux mailles recouvertes par une unique classe LCZ, nous quantifions alors, à l'aide d'une matrice de confusion, la précision globale totale entre les deux





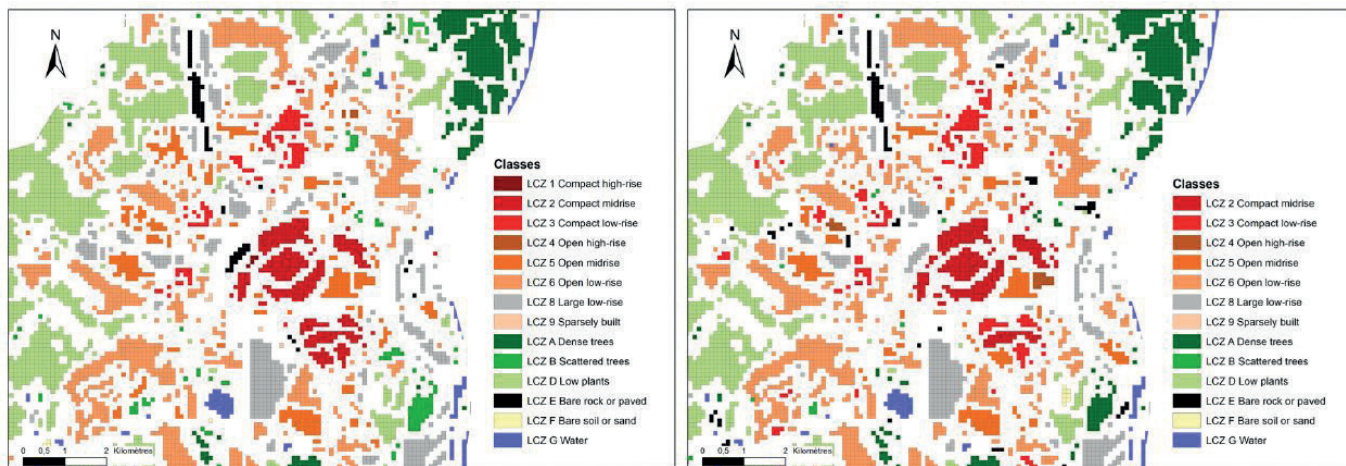


Figure 11. (gauche) Mailles pour l'approche WUDAPT ; (droite) Mailles pour l'approche vectorielle développée au cours du PFE de (Montauban, 2019).

classifications à 91 %. Cela confirme la pertinence de nos deux stratégies de classification.

Evidemment, l'approche vectorielle nécessite davantage d'efforts pour être mise en œuvre comparée à l'approche WUDAPT de niveau 0. Cependant elle a le mérite d'aboutir à une cartographie qui lui est comparable spatialement tout en parvenant à quantifier 6 des indicateurs climatiques au lieu de simplement décrire les indicateurs des LCZ en donnant les intervalles de valeurs théoriques.

Ainsi, si un utilisateur a besoin d'informations spatiales pour décrire qualitativement des zones climatiques locales, et en l'absence de données décrivant la morphologie urbaine et la végétation, nous recommandons d'utiliser l'approche globale WUDAPT de niveau 0. Pour une connaissance quantitative plus détaillée des LCZ de territoires possédant de telles données, nous recommandons le recours à une cartographie par une approche vectorielle, qui permet d'atteindre aisément le niveau 1 de l'initiative WUDAPT.

En collaboration avec Clara Bernhard, qui a réalisé son PFE au sein du service géomatique et connaissance du territoire de l'Eurométropole de Strasbourg en 2019, la classification LCZ finale a été intégrée à une plateforme d'accès sur internet Web3D Cesium, qui permet à tout utilisateur de consulter facilement et gratuitement la donnée 3D (Bernard, 2019). Elle permet par exemple de visualiser, sur l'ensemble de la ville,

la classification LCZ en 3D, comme l'illustre la figure 12.

### Conclusion

La cartographie des zones climatiques locales du territoire de l'Eurométropole de Strasbourg est indispensable à l'analyse spatiale de la dynamique de l'ilot de chaleur strasbourgeois et à la définition des ambiances climatiques locales pour la recherche en climatologie urbaine.

Nos travaux nous ont donné l'occasion de développer une approche image et une approche vectorielle permettant de décrire des zones climatiques locales à Strasbourg ou "Local Climate Zones". Au regard des résultats obtenus, cet article a prouvé que les deux approches, aussi bien l'approche image que l'approche vectorielle, sont pertinentes. Toutefois, lorsque l'utilisateur a la chance de disposer de données chiffrées comme celles dont nous disposons sur Strasbourg, malgré l'effort important à déployer

pour produire une carte de LCZ, l'approche vectorielle est recommandée. Les traitements algorithmiques mis en place et les données à notre disposition ont permis d'améliorer la définition des paramètres climatiques en intégrant des informations sur la végétation notamment. Par la prise en compte des paramètres descriptifs pour produire le périmètre des LCZ, l'approche vectorielle est plus objective que l'approche image, qui est tributaire de la définition des zones d'apprentissage. Cependant elle nécessite de disposer d'une grande quantité de données qui ne sont pas forcément disponibles partout. La démocratisation de la connaissance 3D du territoire, aussi bien de la part des institutionnels que des collectivités locales, devrait faciliter à l'avenir l'extension de nos travaux à toute autre ville intéressée par cette problématique. Le projet MApUCE (Modélisation Appliquée et droit de l'Urbanisme : Climat urbain et Énergie), coordonné par le CNRM (Centre national de

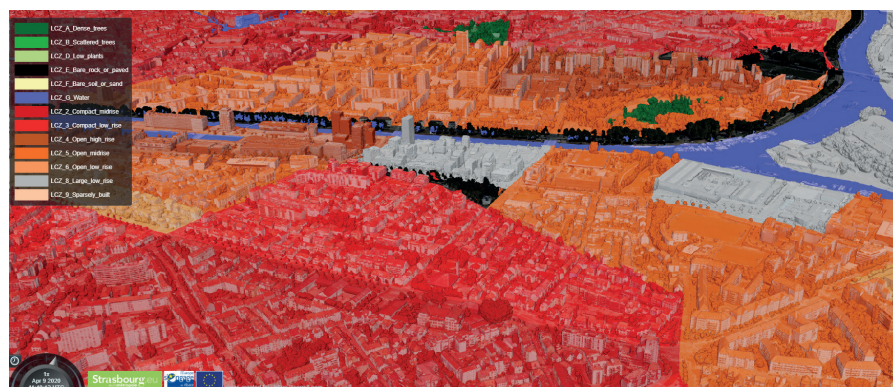


Figure 12. Illustration 3D obtenue avec la visionneuse Web 3D Cesium de l'Eurométropole de Strasbourg (Bernhard, 2019).



recherche météorologique) visait à intégrer dans les politiques urbaines et dans des documents juridiques des données quantitatives de microclimat urbain, climat et énergie, dans une démarche applicable à toutes les villes de France. Cette communauté d'experts français a mis au point une méthode vectorielle de cartographie LCZ sur plusieurs villes de France entre 2014 et 2018 (Paris, Bordeaux, Lyon, Nancy, Mulhouse, etc.), comme en atteste le site <http://mapuce.orbisgis.org/>. Toutefois, la ville de Strasbourg n'a pas pu être étudiée sur ce court laps de temps. En revanche, et en parallèle à nos travaux, une carte LCZ a été produite dans le cadre du projet PAENDORA (Planification, Adaptation et Énergie : Données territoriales et accompagnement) impliquant notamment MétéoFrance. Dans un futur proche, il sera intéressant de confronter les deux résultats et de comparer les approches mises en place respectivement. ●

## Remerciements

Les auteurs remercient l'Eurométropole de Strasbourg, en particulier le Service géomatique et connaissance du territoire, représenté par Olivier Banaszak, pour la mise à disposition des données sur la zone d'étude mentionnée dans cet article.

## Références

Bechtel, B., Alexander, P., Böhner, J., Ching, J., Conrad, O., Feddema, J., Mills, G., See, L., Stewart, I. (2015). *Mapping Local Climate Zones for a Worldwide Database of the Form and Function of Cities*. ISPRS International Journal of Geo-Information, 4(1) : 199-219.

Bernhard C. (2019). *Webmapping 3D : un outil pour l'aménagement du territoire*. Travail de Master II d'étudiante topographe INSA Strasbourg, à l'Eurométropole de Strasbourg, Strasbourg.

Bournez, E. (2018). *Étude du rôle de la végétation dans la création de microclimats urbains. Approche combinée de mesures et de modélisations à différentes échelles*. Thèse de doctorat, Université de Strasbourg.

Fischer, L. (2005). *Phénomènes radiatifs et îlot de chaleur urbain dans l'agglomération de Strasbourg*. Revue Géographique de L'Est, 45(2), 13 pages. <http://journals.openedition.org/rge/473>

Geletic, J. et Lehnert, M. (2016). *GIS-based delineation of local climate zones: The case of medium-sized Central European cities*. Moravian Geographical Reports, 24(3) : 2-12.

Gourguechon, C. (2018). *Classification de données images et vecteur et de nuages de points, dans le but d'extraire des zones climatiques types dans des quartiers de Strasbourg*. Projet de recherche technologique, INSA Strasbourg, Spécialité topographie.

Hidalgo, J., Dumas, G., Masson, V., Petit, G., Bechtel, B., Bocher, E., Foley, M., Schoetter, R., Mills, G. (2019). *Comparison between local climate zones maps derived from administrative datasets and satellite observations*. Urban Climate, 27 : 64-89.

Landes, T., Hayot, C., Najjar, G., Kastendeuch, P., Saudreau, M., Colin, J., Luhahe, R., Guillemin, S. (2014). *Modélisation 3D d'arbre pour comprendre le climat urbain. Un projet multidisciplinaire ambitieux*. Revue XYZ de l'Association française de topographie (AFT), XYZ n°141, pp. 61-68, ISSN 0290-9057.

Montauban, O. (2019). *Une approche vectorielle pour classifier des données images et vecteurs dans le but d'extraire une cartographie des zones climatiques locales des quartiers de Strasbourg*. Travail de Master II à l'INSA Strasbourg, spécialité topographie.

Najjar, G., Colin, J., Kastendeuch, P., Ngao, J., Saudreau, M., Landes, T., Améglie, T., Luhahe, R., Guillemin, S., Schreiner, G., Kleinpeter, J., Nerry, F. (2015). *A three years long fieldwork experiment to monitor the role of vegetation on the urban climate of the city of Strasbourg, France*. In 9th International Conference on Urban Climate (p. 6). Toulouse, France.

Pons, A., Mertz, L., Brolly, S., De Cadenet, P., Martin, S., Muller, C., 2019. *Adaptation au dérèglement climatique. Analyse des îlots de chaleur à l'échelle bas-rhinoise et transfrontalière*. Les Notes de l'ADEUS, 280, 4 pages : [http://www.adeus.org/productions/note-280-adaptation-au-dereglement-climatique/files/note-280\\_ilots-chaleur-urbains\\_web.pdf](http://www.adeus.org/productions/note-280-adaptation-au-dereglement-climatique/files/note-280_ilots-chaleur-urbains_web.pdf)

Stewart, I. D., Oke, T. R. (2012). *Local climate zones for urban temperature studies*. Bulletin of the American Meteorological Society, 93(12):1879-1900.

Unger, J., Lelovics, E., Gál, T. (2014). *Local climate zone mapping using GIS methods in Szeged*. Hungarian Geographical Bulletin, 63(1):29-41.

Voogt, J. A. (2000). *Image Representations of Complete Urban Surface Temperatures*. Geocarto International, 15(3), 21-32.

@Worldindata, 2019. *World Bank population estimates and urban ratios from the United Nations World Urbanization Prospects*. ([https://ourworldindata.org/grapher/urban-population-share-2050?tab=chart&country=OWID\\_WRL](https://ourworldindata.org/grapher/urban-population-share-2050?tab=chart&country=OWID_WRL))

## Contacts

Tania LANDES<sup>1</sup>, Georges NAJJAR<sup>1</sup>, Mathieu KOEHL<sup>1</sup>, Olivier MONTAUBAN<sup>2</sup>, Camille GOURGUECHON<sup>2</sup>, Pierre KASTENDEUCH<sup>1</sup>, Philippe SLISSE<sup>3</sup>

1 Groupe PAGE/INSA Strasbourg, équipe TRIO, laboratoire ICube UMR 7357, Université de Strasbourg, CNRS (tania.landes ; georges.najjar ; mathieu.koehl ; kasten@unistra.fr)

2 Élèves ingénieurs topographes INSA Strasbourg à l'époque de l'étude. Aujourd'hui salariés dans des cabinets de géomètres experts (montauban.olivier@gmail.com ; camille.gourguechon@laposte.net)

3 Chef de projet SIG3D, Service géomatique et connaissance du territoire, ville et Eurométropole de Strasbourg (Philippe.Slisse@strasbourg.eu)

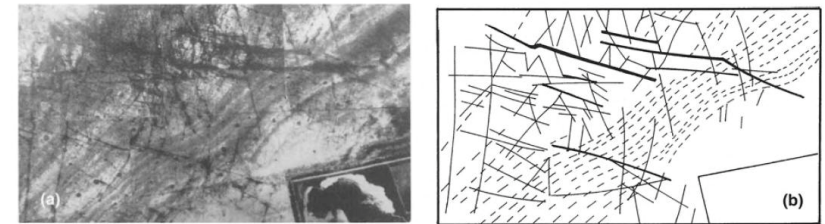
## ABSTRACT

*This article presents two approaches aiming to produce a map of local climate zones in Strasbourg: an image approach and a vector approach. These "Local Climate Zones" were developed by Stewart and Oke in 2012 and have been validated internationally by the climatologists' community. Regarding the results obtained, this study has shown that both the image approach and the vector approach, are relevant since they led to similar LCZ maps. However, when a large database is available, as it was the case in Strasbourg, despite the significant effort needed to produce an LCZ map, the vector approach is recommended. Based on this database and a processing chain the definition of climatic parameters has been improved by integrating information particularly on vegetation. Furthermore, by taking into account the descriptive parameters to produce the spatial LCZ limits, the vector approach is more objective than the image approach, which is dependent on the definition of training areas.*

# TÉLÉDÉTECTION DANS L'INFRAROUGE THERMIQUE ET TEMPÉRATURES DE SURFACE

## UTILISATION DES DONNÉES\_CAPTEURS

Géologie > cartographie structurale



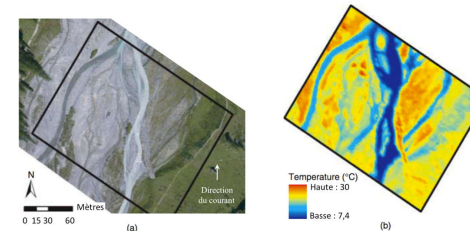
Géotechnique > infiltration d'eau



Antoine et al, 2014

## UTILISATION DES DONNÉES\_CAPTEURS

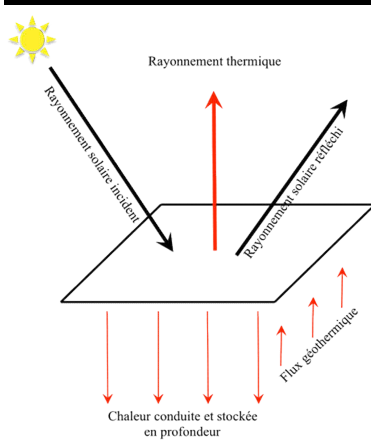
Hydrogéologie > caractérisation des cours d'eau



Atmosphère > structure thermique/distribution des particules.  
Océanographie > Évolution et intensité des courants océaniques.

# BILAN D'ÉNERGIE

Antoine and Lopez, 2016



Rayonnement solaire incident :

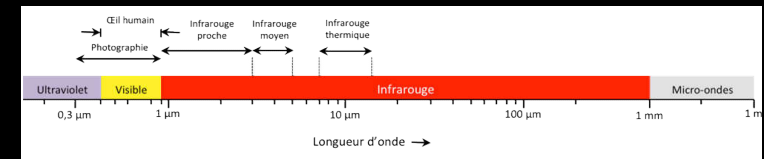
- réfléchi,
- **absorbé**,
- transmis (rare cas).

Rayonnement thermique :

rayonnement émis par un corps ou une surface qui dépend de sa température, elle-même dépendante de la température régnant en profondeur.

## RAYONNEMENT ÉLECTROMAGNÉTIQUE

Toutes surfaces planétaires et objets émettent dans le spectre électromagnétique



## LOI DU CORPS NOIR

Corps noir : surface absorbant l'ensemble du spectre électromagnétique incident, sans transmission ni réflexion.

- Images infrarouge thermique sont de plus en plus utilisées malgré leur difficulté d'interprétation.
- Utilisation simplifiée et grand-public.
- Mise en évidence de phénomène d'infiltration, de changement de perméabilité verticale à petite échelle et très grande échelle.

## ANNEXE 1 Présentation de la commune

INGEVILLE est une commune de 140 000 habitants

INGEVILLE, une « ville-territoire » dont le rayonnement s'appuie sur des dynamiques régionales et métropolitaines. Le contexte régional est porteur de dynamiques démographiques et économiques particulièrement attractives au niveau de l'arc méditerranéen, et de façon plus large, au niveau européen. La commune d'INGEVILLE participe activement à ce rayonnement régional et bénéficie des effets induits.

L'interdépendance des dynamiques des territoires régionaux et locaux explique que toutes les problématiques appréhendées au niveau régional se retrouvent au niveau local. En effet, les mêmes tendances générales se déclinent à chaque échelle de territoire et de projet, que l'on se situe au niveau de la région, de l'aire urbaine MEGAVILLE-INGEVILLE, du territoire d'agglomération ou encore à l'échelle communale.

Le rôle et la place d'INGEVILLE doivent donc être abordés dans ce contexte plus général, afin de rendre plus compréhensible la perception de ce territoire sur lequel plusieurs échelles de fonctionnement se superposent.

INGEVILLE est un pôle métropolitain en plein développement qui se distingue par son rythme de croissance et dont le poids s'affirme incontestablement dans l'aire urbaine.

La commune d'INGEVILLE représente le deuxième pôle métropolitain au sein de l'aire urbaine MEGAVILLE-INGEVILLE qui constitue un vaste bassin d'emplois rassemblant 1,8 million d'habitants répartis sur 133 communes des 3 départements. Elle y assure plusieurs fonctions de siège régional dans les domaines judiciaire, universitaire et culturel.

### Le SIG de la commune :

La commune est détentrice d'une solution géomatique mixte en client bureautique (éditeur et libre).

Ses données sont hébergées dans une base post grès administrée en interne par le responsable de la donnée.

Les utilisateurs du SIG sont sur des outils web qui sont développés ou paramétrés en interne au service.

Il y a ainsi dans ce service, en plus vous, un responsable des données et un responsable des serveurs SIG. Ces serveurs sont au nombre de 3 :

- Data
- Application web
- Serveur cartographique

Les 4 autres agents du service ont la charge des études pour les directions ou de paramétrer les applications web de rendu des études commandées ou réalisées en interne.



# FICHE CLIMATOLOGIQUE D'INGEVILLE

**Statistiques 1981 – 2010 et records**

## INGEVILLE

*Indicatif : 13001009, alt : 173m, lat : 43°31'42"N, lon : 05°25'24"E*

|                       | Janv.   | Févr.  | Mars    | Avril   | Mai     | Juin    | Juil.   | Août    | Sept.   | Oct.    | Nov.    | Déc.    | Année        |
|-----------------------|---|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------------|
| <b>Date</b>           | <b>La température la plus élevée (°C)</b>                     |  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |              |
|                       | Records établis sur la période du 01-07-1955 au 03-11-2021    |  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |              |
|                       | 20.9  | 22.8   | 25.6    | 28.2    | 34.2    | 42      | 40.2    | 40.1    | 34.6    | 29.9    | 23.6    | 22.7    | <b>42</b>    |
|                       | 28-2008   | 17-1958  | 30-2012 | 08-2011 | 24-2009 | 28-2019 | 26-1983 | 01-2020 | 01-2016 | 02-1997 | 11-1984 | 04-1961 | <b>2019</b>  |
| <b>Date</b>           | <b>Température maximale (moyenne en °C)</b>                   |  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |              |
|                       | 11.4  | 12.4   | 15.6    | 18.3    | 22.8    | 27.1    | 30.6    | 30.1    | 25.5    | 20.8    | 15      | 11.9    | <b>20.2</b>  |
|                       | <b>Température moyenne (moyenne en °C)</b>                    |  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |              |
|                       | 6.2   | 6.9  | 9.7     | 12.4    | 16.7    | 20.5    | 23.6    | 23.2    | 19.3    | 15.4    | 9.9     | 6.9     | <b>14.3</b>  |
| <b>Date</b>           | <b>Température minimale (moyenne en °C)</b>                   |  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |              |
|                       | 0.9   | 1.3  | 3.7     | 6.5     | 10.5    | 14      | 16.6    | 16.2    | 13      | 10      | 4.8     | 1.9     | <b>8.3</b>   |
|                       | <b>La température la plus basse (°C)</b>                      |  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |              |
|                       | Records établis sur la période du 01-07-1955 au 03-11-2021    |  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |              |
|                       | -16.6   | -20.2  | -12.5   | -4      | -1.1    | 3.2     | 6       | 4       | 1.7     | -4.7    | -9      | -14.9   | <b>-20.2</b> |
|                       | 17-1960   | 12-1956  | 07-1971 | 10-1970 | 04-1967 | 08-1969 | 18-1970 | 25-1969 | 29-1968 | 31-1956 | 30-1978 | 17-1963 | <b>1956</b>  |
| <b>Date</b>           | <b>Nombre moyen de jours avec</b>                             |  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |              |
|                       | <b>Tx &gt;= 30°C</b>  | .  | .       | .       | .       | 0.7     | 7.4     | 19.4    | 16.8    | 2.7     | .       | .       | <b>47.1</b>  |
|                       | <b>Tx &gt;= 25°C</b>  | .  | .       | 0.0     | 0.9     | 9.3     | 21.2    | 29.3    | 28.7    | 17.5    | 3.4     | .       | <b>110.3</b> |
|                       | <b>Tx &lt;= 0°C</b>   | 0.4  | 0.1     | .       | .       | .       | .       | .       | .       | .       | .       | .       | <b>0.5</b>   |
|                       | <b>Tn &lt;= 0°C</b>   | 14.2   | 11.6    | 5.6     | 0.7     | .       | .       | .       | .       | 0.2     | 5.1     | 11.7    | <b>49.1</b>  |
|                       | <b>Tn &lt;= -5°C</b>  | 2.0  | 1.8     | 0.2     | .       | .       | .       | .       | .       | .       | 0.3     | 1.3     | <b>5.6</b>   |
|                       | <b>Tn &lt;= -10°C</b>   | 0.3  | 0.1     | .       | .       | .       | .       | .       | .       | .       | .       | .       | <b>0.4</b>   |
|                       |   | Tn : Température minimale, Tx : Température maximale |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |              |
| <b>Date</b>           | <b>La hauteur quotidienne maximale de précipitations (mm)</b> |  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |              |
|                       | Records établis sur la période du 01-09-1960 au 03-11-2021    |  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |              |
|                       | 93.3  | 71   | 55.8    | 75      | 101     | 61.4    | 55.3    | 77.5    | 222     | 97.8    | 65.5    | 107.7   | <b>222</b>   |
|                       | 16-1978   | 04-1994  | 08-1991 | 11-2018 | 20-2012 | 25-1964 | 20-1965 | 26-1986 | 22-1993 | 11-1972 | 05-2011 | 01-2003 | <b>1993</b>  |
| <b>Date</b>           | <b>Hauteur de précipitations (moyenne en mm)</b>              |  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |              |
|                       | 51.7  | 36.1   | 34.8    | 56.3    | 51.2    | 30.7    | 13.3    | 36      | 85.7    | 74.6    | 61.4    | 54      | <b>585.8</b> |
|                       | <b>Nombre moyen de jours avec</b>                             |  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |              |
| <b>Rr &gt;= 1 mm</b>  | 5.7   | 4.6  | 4.3     | 6.6     | 5.4     | 3.6     | 1.9     | 3.1     | 4.9     | 6.5     | 6.7     | 5.9     | <b>59.3</b>  |
| <b>Rr &gt;= 5 mm</b>  | 2.9   | 2.4  | 2.2     | 3.5     | 3.0     | 1.9     | 0.8     | 1.6     | 3.3     | 3.7     | 3.3     | 2.5     | <b>31.1</b>  |
| <b>Rr &gt;= 10 mm</b> | 1.4   | 1.0  | 1.0     | 1.9     | 1.7     | 1.1     | 0.4     | 1.1     | 2.5     | 2.2     | 2.1     | 1.4     | <b>17.9</b>  |
|                       | Rr : Hauteur quotidienne de précipitations                    |  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |              |

# FICHE CLIMATOLOGIQUE

Statistiques 1981–2010 et records

**INGEVILLE**

Indicatif : 13001009, alt : 173m, lat : 43°31'42"N, lon : 05°25'24"E

|   | Janv.   | Févr.   | Mars    | Avril   | Mai     | Juin    | Juil.   | Août    | Sept.   | Oct.    | Nov.    | Déc.    | Année         |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------------|
| <b>Degrés Jours Unifiés</b> (moyenne en °C)   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |               |
|   | 366.2   | 313.8   | 258.6   | 167.9   | 59.5    | 10.3    | 0.6     | 0.6     | 18.4    | 93.1    | 242.4   | 344     | <b>1875.4</b> |
| <b>Rayonnement global</b> (moyenne en J/cm <sup>2</sup> ) <span style="float: right;">Statistiques établies sur la période 1991–2010</span> |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |               |
|   | 19623   | 28011   | 45828   | 56414   | 70027   | 77326   | 80361   | 68925   | –       | 33237   | 21335   | 17191   | –             |
| <b>Durée d'insolation</b> (moyenne en heures)   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |               |
|   | 150.7   | 178.7   | 238.8   | 242     | 289.4   | 327.3   | 370.2   | 328.6   | 256.2   | 185.1   | 154.1   | 140.1   | <b>2861.0</b> |
| <b>Nombre moyen de jours avec fraction d'insolation</b>   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |               |
| = 0 %   | 3.8     | 1.7     | 1.3     | 1.7     | 0.7     | 0.4     | .       | 0.1     | 0.8     | 2.0     | 2.7     | 3.8     | <b>19.0</b>   |
| <= 20 %   | 9.1     | 5.5     | 4.0     | 5.2     | 4.2     | 2.2     | 0.9     | 1.2     | 3.3     | 7.6     | 7.7     | 8.7     | <b>59.5</b>   |
| >= 80 %   | 11.4    | 12.6    | 14.8    | 12.1    | 13.7    | 16.5    | 21.0    | 19.6    | 15.5    | 10.6    | 10.7    | 10.2    | <b>168.6</b>  |
| <b>Evapotranspiration potentielle</b> (ETP Penman moyenne en mm)  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |               |
|   | 18.5    | 29.8    | 66.2    | 96.3    | 137.8   | 163.3   | 180.9   | 151.8   | 93.5    | 51.3    | 21.6    | 17.6    | <b>1028.6</b> |
| <b>La rafale maximale de vent</b> (m/s) <span style="float: right;">Records établis sur la période du 01–01–1981 au 03–11–2021</span>       |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |               |
|   | 29      | 28      | 31      | 26.9    | 26.2    | 23      | 25      | 25      | 26      | 32.2    | 26      | 29      | <b>32.2</b>   |
| Date  | 30–1986 | 21–2004 | 07–1991 | 08–2018 | 05–2019 | 13–1983 | 19–1981 | 11–2002 | 04–1998 | 28–2012 | 07–1982 | 17–1997 | <b>2012</b>   |
| <b>Vitesse du vent moyenné sur 10 mn</b> (moyenne en m/s)<br>Données non disponibles  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |               |
| <b>Nombre moyen de jours avec rafales</b><br>Données non disponibles  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |               |
| <b>Nombre moyen de jours avec brouillard / orage / grêle / neige</b><br>Données non disponibles   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |               |

– : donnée manquante

. : donnée égale à 0

Ces statistiques sont établies sur la période 1981–2010 sauf pour les paramètres suivants : rayonnement global (1991–2010), insolation (1991–2010), ETP (2001–2010).





Éditée le 12/02/2020

Données du 12/02/2020 à 12:10 UTC

### ANNEXE 3

## « Métadonnées Météofrance » - Météofrance

- 12 février 2020



| LOCALISATION       |                |
|--------------------|----------------|
| Département:       | FRANCE         |
| Commune:           | INGEVILLE      |
| Lieu-dit:          | GALICE         |
| Latitude:          | 43°31'46" Nord |
| Longitude:         | 5°25'28" Est   |
| Date localisation: | 19/11/2010     |
| Altitude:          | 173 m          |
| Date d'ouverture:  | 01/07/1955     |
| Date de fermeture: | Ouvert         |

### EMPLACEMENTS SUCCESSIFS

| Lieu dit (lat,lon,altitude)                  | du         | au |
|--|------------|----|
| GALICE (43°31'46" Nord, 5°25'28" Est, 173 m) | 01/07/1955 |    |

### QUALITE DU SITE

| Paramètre    | Classe(*) | Réf.  | Début      | Fin        | Méthode | Date du relevé | Commentaire                                   |
|--------------|-----------|-------|------------|------------|---------|----------------|---|
| Humidité     | 3         | Nr35B | 01/09/1999 |            | 3       | 28/01/2020     |   |
| Pluie        | 2         | Nr35B | 19/01/2015 |            | 3       | 28/01/2020     |   |
| Pluie        | 1         | Nr35  | 01/09/1999 | 18/01/2015 | 3       | 19/11/2010     |   |
| Ray_glo_diff | 1         | Nr35B | 01/09/1999 | 27/02/2017 | 3       | 19/01/2015     |   |
| Rugosite_e   | 7         | Nr35B | 19/11/2010 |            | 1       | 28/01/2020     | station située en ville et proche de la route |
| Rugosite_n   | 7         | Nr35B | 19/11/2010 |            | 1       | 28/01/2020     | station située en ville et proche de la route |
| Rugosite_o   | 7         | Nr35B | 19/11/2010 |            | 1       | 28/01/2020     | station située en ville et proche de la route |
| Rugosite_s   | 7         | Nr35B | 19/11/2010 |            | 1       | 28/01/2020     | station située en ville et proche de la route |
| Temperature  | 3         | Nr35B | 01/09/1999 |            | 3       | 28/01/2020     |   |
| Vent         | 4         | Nr35B | 01/04/2003 |            | 3       | 28/01/2020     | Situé sur le toit terrasse du CMIR            |
| Vent         | 5         | Nr35  | 01/09/1999 | 31/03/2003 |         | 01/09/1999     | Arbre proximate pylone                        |

### CLASSE MESURES

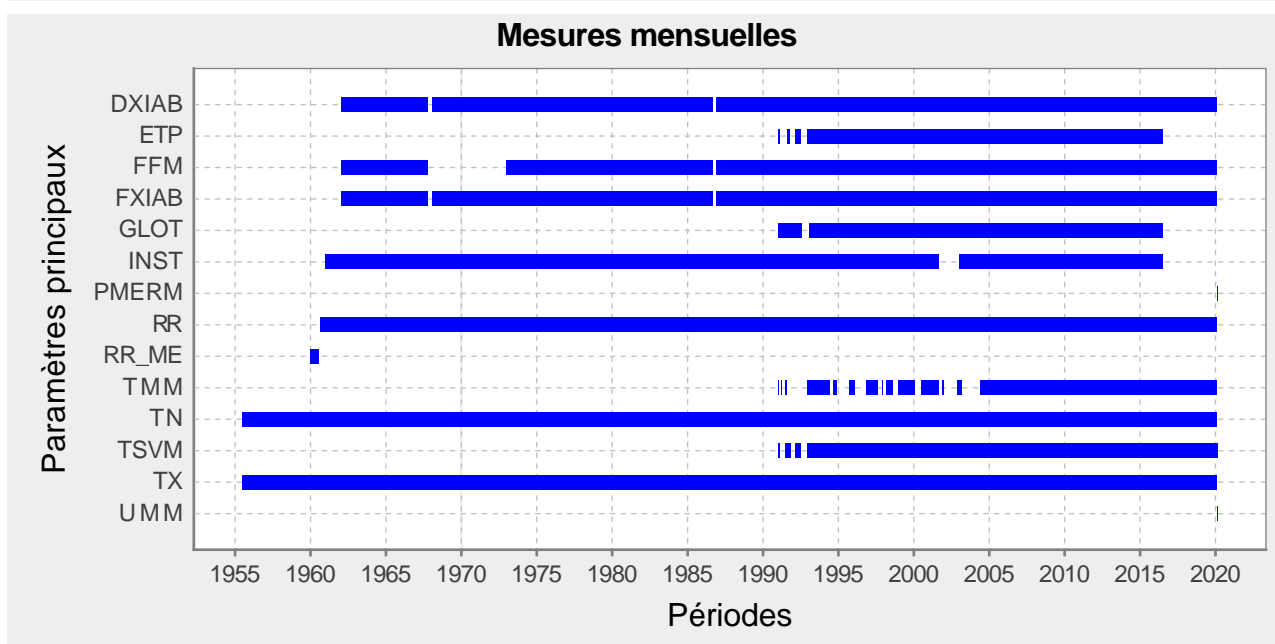
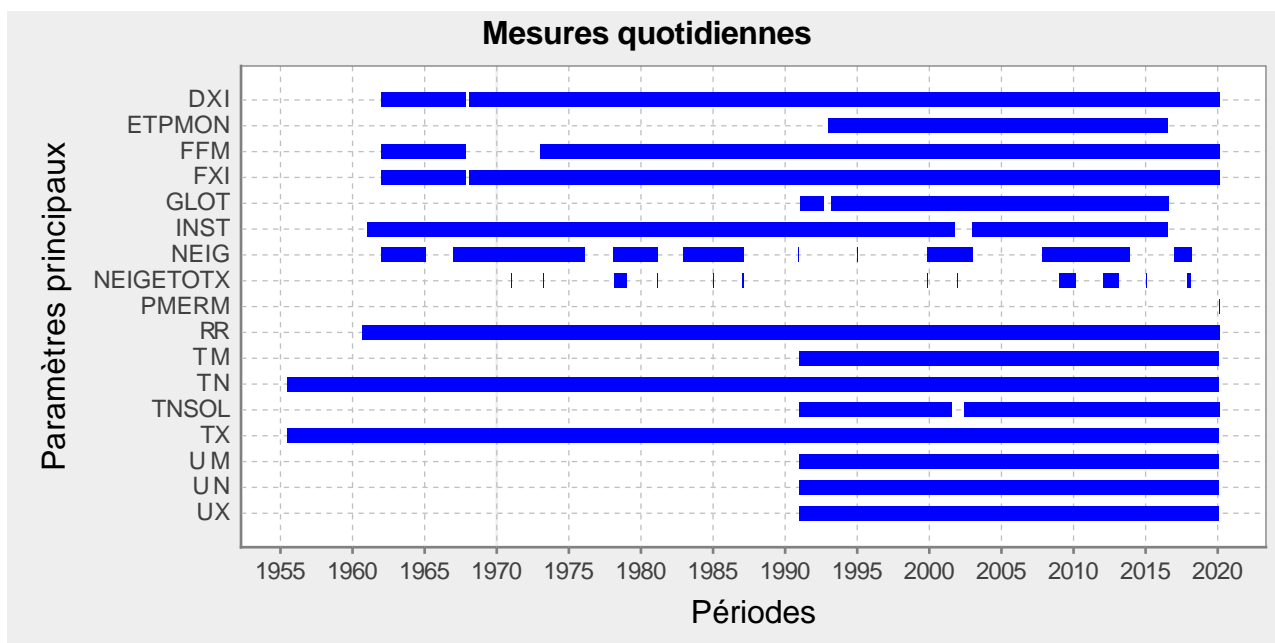
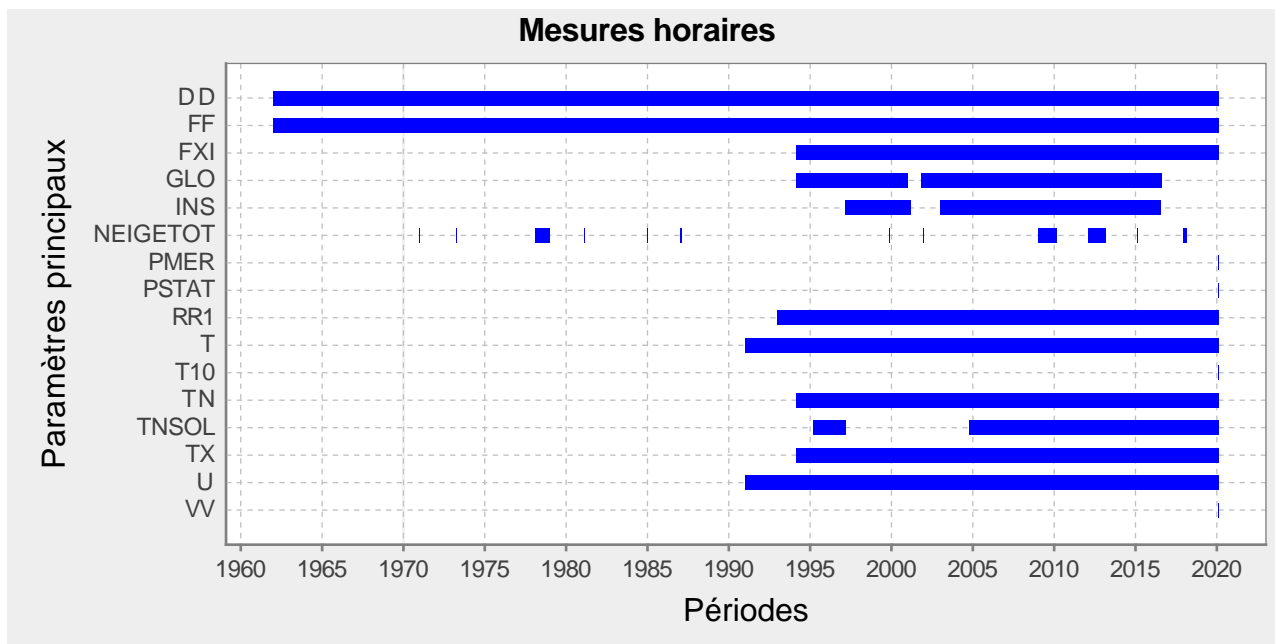
| Paramètre   | Classe(**) | Ref.      | Début      | Fin        | Date du relevé | Commentaire   |
|-------------|------------|-----------|------------|------------|----------------|---|
| Humidité    | B          | NS/162/07 | 02/11/2007 |            | 02/11/2007     |   |
| Pluie       | B          | NS/162/07 | 29/04/2009 |            | 29/04/2009     | remplacement platine pluvio PM 3030 1000cm <sup>2</sup> par PM 3070 1000cm <sup>2</sup> |
| Pluie       | B          | NS/162/07 | 02/11/2007 | 28/04/2009 | 02/11/2007     |   |
| Rayonnement | B          | NR37      | 10/02/2020 |            | 10/02/2020     |   |
| Rayonnement | B          | NS/162/07 | 02/11/2007 | 27/02/2017 | 02/11/2007     |   |
| Tempe_a     | B          | NS/162/07 | 02/11/2007 |            | 02/11/2007     |   |
| Temperature | B          | NS/162/07 | 02/11/2007 |            | 02/11/2007     |   |
| Vent        | B          | NS/162/07 | 02/11/2007 |            | 02/11/2007     |   |

## INSTRUMENTS

| Capteur               | Début      | Fin        | Modèle  | H. capteur | Alti. | Lat_100 | Lon_100 |
|-----------------------|------------|------------|---|------------|-------|---------|---------|
| ABRI METEO            | 30/01/2017 |            | Radome : Abri miniature pour TT et UU (bus CAN)                                 |            |       |         |         |
| ABRI METEO            | 23/12/2011 |            | Abri miniature pour mesure thermométrique et hygrométrique (Radome) ( SOCRIMA ) |            |       |         |         |
| ABRI METEO            | 02/08/2001 | Inconnue   | Abri inconnu  |            |       |         |         |
| STATION AUTO          | 23/05/2017 |            | MERCURY   |            |       |         |         |
| STATION AUTO          | 02/08/2001 | 23/05/2017 | STATION AUTO XARIA  |            |       |         |         |
| BAROGRAPHE            | 01/10/1960 | 09/07/1975 | RICHARD A CAPSULES  |            |       |         |         |
| BAROMETRE             | 09/02/1961 | 30/06/1964 | ECHELLE COMPENSEE   | 173.50     |       |         |         |
| BAROMETRE             | 01/10/1960 | 08/02/1961 | FORTIN  | 173.50     |       |         |         |
| BAROMETRE             | 01/07/1964 | 31/12/1987 | ECHELLE COMPENSEE   | 181.10     |       |         |         |
| ANEMOMETRE            | 19/12/1968 | 30/11/1987 | TYPE S - 1  |            |       |         |         |
| ANEMOMETRE            | 17/02/2015 |            | Anémomètre Alizia 312   |            |       |         |         |
| ANEMOMETRE            | 07/03/2001 | 17/02/2015 | DEOLIA 92   |            |       |         |         |
| ANEMOMETRE            | 01/12/1987 | 06/03/2001 | TAVID87 - 2   |            |       |         |         |
| ANEMOMETRE            | 01/01/1961 | 18/12/1968 | PAPILLON TYPE F - 1   |            |       |         |         |
| GIROUETTE             | 19/12/1968 | 07/07/1975 | A RECOUVREMENT  |            |       |         |         |
| GIROUETTE             | 19/11/2015 |            | Girouette Alizia 312  |            |       |         |         |
| GIROUETTE             | 09/03/1978 | 06/03/2001 | RESIST CHAUV-ARNOUX   |            |       |         |         |
| GIROUETTE             | 08/07/1975 | 08/03/1978 | A RESIST PAPILLON   |            |       |         |         |
| GIROUETTE             | 07/03/2001 | 19/11/2015 | GIROUETTE INCONNUE  |            |       |         |         |
| GIROUETTE             | 01/08/1961 | 18/12/1968 | A RESIST PAPILLON   |            |       |         |         |
| GIROUETTE             | 01/01/1961 | 30/06/1961 | A RESIST PAPILLON   |            |       |         |         |
| ANEMOGRAPHE           | 19/12/1968 | 30/11/1987 | VIT INST ET MOY   |            |       |         |         |
| ANEMOGRAPHE           | 01/01/1961 | 18/12/1968 | ANEMOG VIT INST   |            |       |         |         |
| PYLONE ANEMOMETRIQUE  | 07/03/2001 |            | PYLONE SEMAPHORE TOIT   | 15.00      |       |         |         |
| PYLONE ANEMOMETRIQUE  | 01/01/1961 | 06/03/2001 | ANEMO METALLIQUE  | 11.00      |       |         |         |
| THERMOMETRE ORDINAIRE | 16/11/1976 |            | STIL MERCURE  |            |       |         |         |
| THERMOMETRE ORDINAIRE | 08/07/1975 | 15/11/1976 | STIL MERCURE  |            |       |         |         |
| THERMOMETRE ORDINAIRE | 07/07/1969 | 07/07/1975 | STIL MERCURE  |            |       |         |         |
| THERMOMETRE ORDINAIRE | 01/01/1961 | 06/07/1969 | STIL MERCURE  |            |       |         |         |
| THERMOMETRE MINI      | 16/11/1976 |            | THERMOM A TOLUENE   |            |       |         |         |
| THERMOMETRE MINI      | 07/07/1969 | 15/11/1976 | STIL ALCOOL   |            |       |         |         |
| THERMOMETRE MINI      | 01/01/1961 | 06/07/1969 | STIL ALCOOL   |            |       |         |         |
| THERMOMETRE MAXI      | 16/11/1976 |            | STIL MERCURE  |            |       |         |         |
| THERMOMETRE MAXI      | 07/07/1969 | 15/11/1976 | STIL MERCURE  |            |       |         |         |
| THERMOMETRE MAXI      | 01/01/1961 | 06/07/1969 | STIL MERCURE  |            |       |         |         |
| SONDE THERMOMETRIQUE  | 15/05/2002 |            | Sonde Pyrocontrôle au platine T° air  |            |       |         |         |
| SONDE THERMOMETRIQUE  | 02/08/2001 |            | SONDE THERMOMETRIQUE INCONNUE   |            |       |         |         |
| THERMOGRAPHE          | 07/07/1969 |            | RICHARD PANORAMIQUE   |            |       |         |         |
| THERMOGRAPHE          | 01/01/1961 | 06/07/1969 | BILAME  |            |       |         |         |
| PLUVIOMETRE           | 19/04/2008 |            | Pluviomètre à impulsions PM de 1000 cm² et augets 20 g                          |            |       |         |         |
| PLUVIOMETRE           | 02/08/2001 |            | PLUVIOMETRE INCONNU   |            |       |         |         |
| HYGROGRAPHE           | 16/11/1976 |            | HYGROG 2 MECHE RICH   |            |       |         |         |
| HYGROGRAPHE           | 08/07/1969 | 15/11/1976 | HYGROG 2 MECHE RICH   |            |       |         |         |
| HYGROGRAPHE           | 01/06/1967 | 07/07/1969 | HYGROG 1 MECHE RICH   |            |       |         |         |
| HYGROGRAPHE           | 01/01/1961 | 31/05/1967 | HYGROG 1 MECHE RICH   |            |       |         |         |
| PSYCHROMETRE          | 16/11/1976 |            | PSYCHROM FIXE   |            |       |         |         |
| PSYCHROMETRE          | 08/07/1975 | 15/11/1976 | PSYCHROM CRECELLE   |            |       |         |         |
| PSYCHROMETRE          | 08/07/1969 | 07/07/1975 | PSYCHROM FIXE   |            |       |         |         |
| PSYCHROMETRE          | 01/06/1967 | 07/07/1969 | PSYCHROM FIXE   |            |       |         |         |
| PSYCHROMETRE          | 01/01/1961 | 31/05/1967 | PSYCHROM FIXE   |            |       |         |         |
| SONDE HYGROMETRIQUE   | 22/01/2009 |            | Hygromètre 0-1V   |            |       |         |         |
| SONDE HYGROMETRIQUE   | 05/02/2019 |            | Sonde humidité Vaisala HMP110 en 0-1 V  |            |       |         |         |
| SONDE HYGROMETRIQUE   | 05/02/2018 |            | Sonde humidité Vaisala HMP45D en 0-1 V  |            |       |         |         |
| HELIOGRAPHE           | 01/12/1971 |            | CAMPBELL CHAUFFE  | 184.00     |       |         |         |
| HELIOGRAPHE           | 01/12/1960 | 31/07/1964 | JORDAN  | 174.00     |       |         |         |
| HELIOGRAPHE           | 01/08/1964 | 31/12/1967 | JORDAN  | 184.00     |       |         |         |
| HELIOGRAPHE           | 01/01/1968 | 30/11/1971 | CAMPBELL  | 184.00     |       |         |         |
| PYRANOMETRE           | 30/01/2008 | 27/02/2017 | Pyranomètre K&Z CM6B  |            |       |         |         |
| PYRHELIOMETRE         | 06/02/2020 |            | Pyrhéliomètre K&Z - CHP1  |            |       |         |         |

# Catalogue des mesures principales pour INGEVILLE

Ces diagrammes ne tiennent pas compte d'une absence de données inférieure à 4 mois.



**ANNEXE 4**  
**« DATABASE matériaux de sol »**

| ID   | french_name                             | color             | rugosity_age     | alb  | em   | Cv        | lambda | ep  | kc   | source                   | version |
|------|---|-------------------|------------------|------|------|-----------|--------|-----|------|--------------------------|---------|
| SD1  | Quartzite                               | Beige/brown/black | New/Rough        | 0.26 | 0.92 | 1794000.0 | 5.0    | 0.2 | 0.0  | LUMA_2013                | 1.0     |
| SD2  | Quartzite                               | Beige/brown/black | New/Rough        | 0.32 | 0.96 | 1794000.0 | 5.0    | 0.2 | 0.0  | LUMA_2013                | 1.0     |
| SD3  | Quartzite                               | Brown             | New/Rough        | 0.25 | 0.97 | 1794000.0 | 5.0    | 0.2 | 0.0  | LUMA_2013                | 1.0     |
| ST1  | Gres                                    | Beige             | Used             | 0.4  | 0.9  | 1490000.0 | 3.0    | 0.2 | 0.0  | LUMA_2013                | 1.0     |
| ST2  | Calcaire carbonifère                    | Grey              | Used             | 0.2  | 0.94 | 3835000.0 | 2.0    | 0.2 | 0.0  | LUMA_2013                | 1.0     |
| ST3  | Gres                                    | Yellow            | Used             | 0.26 | 0.93 | 1490000.0 | 3.0    | 0.2 | 0.0  | LUMA_2013                | 1.0     |
| ST4  | Roche calcaire                          | Beige             | Used             | 0.68 | 0.93 | 3835000.0 | 2.0    | 0.2 | 0.0  | LUMA_2013                | 1.0     |
| ST5  | Gres                                    | Light grey        | Smooth           | 0.46 | 0.92 | 1490000.0 | 3.0    | 0.2 | 0.0  | LUMA_2013                | 1.0     |
| ST6  | Granit                                  | White/black       | New, rough       | 0.48 | 0.92 | 728000.0  | 2.7    | 0.2 | 0.0  | LUMA_2013                | 1.0     |
| ST7  | Granit avec ciment                      | White/red         | Weathered        | 0.34 | 0.93 | 728000.0  | 2.7    | 0.2 | 0.0  | LUMA_2013                | 1.0     |
| ST8  | Granit avec ciment                      | White/black       | Weathered        | 0.41 | 0.89 | 728000.0  | 2.7    | 0.2 | 0.0  | LUMA_2013                | 1.0     |
| ST9  | Granit                                  | White/red/black   | Weathered        | 0.54 | 0.93 | 728000.0  | 2.7    | 0.2 | 0.0  | LUMA_2013                | 1.0     |
| ST10 | Granit                                  | Red/black         | Smooth           | 0.22 | 0.89 | 728000.0  | 2.7    | 0.2 | 0.0  | LUMA_2013                | 1.0     |
| AS1  | Enrobe bitumineux (granulats et bitume) | Black/grey        | Weathered        | 0.21 | 0.96 | 3220000.0 | 0.8    | 0.2 | 0.0  | LUMA_2013                | 1.0     |
| AS2  | Enrobe bitumineux (granulats et bitume) | Black/grey        | Weathered        | 0.18 | 0.94 | 3220000.0 | 0.8    | 0.2 | 0.0  | LUMA_2013                | 1.0     |
| AS3  | Enrobe bitumineux (granulats et bitume) | Black/grey        | Weathered        | 0.21 | 0.94 | 3220000.0 | 0.8    | 0.2 | 0.0  | LUMA_2013                | 1.0     |
| AS4  | Enrobe bitumineux (granulats et bitume) | Black/grey        | Weathered        | 0.18 | 0.94 | 3220000.0 | 0.8    | 0.2 | 0.0  | LUMA_2013                | 1.0     |
| AS5  | Enrobe bitumineux (granulats et bitume) | Black/grey        | Weathered        | 0.19 | 0.93 | 3220000.0 | 0.8    | 0.2 | 0.0  | LUMA_2013                | 1.0     |
| AS6  | Enrobe bitumineux (granulats et bitume) | Black/grey        | Weathered        | 0.12 | 0.91 | 3220000.0 | 0.8    | 0.2 | 0.0  | LUMA_2013                | 1.0     |
| CM1  | Ciment                                  | Grey/ochre        | Weathered        | 0.29 | 0.94 | 1680000.0 | 0.8    | 0.2 | 0.0  | LUMA_2013                | 1.0     |
| CC1  | Beton léger                             | Grey/white        | New              | 0.21 | 0.92 | 1839600.0 | 0.21   | 0.2 | 0.0  | LUMA_2013                | 1.0     |
| CM2  | Ciment                                  | Grey              | Weathered        | 0.23 | 0.91 | 1680000.0 | 0.8    | 0.2 | 0.0  | LUMA_2013                | 1.0     |
| CC2  | Beton                                   | Grey              | Weathered        | 0.37 | 0.95 | 1839600.0 | 0.21   | 0.2 | 0.0  | LUMA_2013                | 1.0     |
| CM3  | Ciment                                  | Grey              | Weathered        | 0.41 | 0.95 | 1680000.0 | 0.8    | 0.2 | 0.0  | LUMA_2013                | 1.0     |
| CC3  | Beton                                   | White             | Weathered        | 0.42 | 0.95 | 1839600.0 | 0.21   | 0.2 | 0.0  | LUMA_2013                | 1.0     |
| CC4  | Beton                                   | Grey              | Weathered, rough | 0.25 | 0.95 | 1839600.0 | 0.21   | 0.2 | 0.0  | LUMA_2013                | 1.0     |
| CM4  | Module en ciment                        | Yellow            | New              | 0.3  | 0.94 | 1680000.0 | 0.8    | 0.2 | 0.0  |                          | 1.0     |
| CM5  | Module en ciment avec sable             | Black/light grey  | New              | 0.11 | 0.94 | 1680000.0 | 0.8    | 0.2 | 0.0  |                          | 1.0     |
| CM6  | Module en ciment                        | Black             | New              | 0.09 | 0.95 | 1680000.0 | 0.8    | 0.2 | 0.0  |                          | 1.0     |
| CM7  | Module en ciment                        | Red               | Weathered        | 0.17 | 0.94 | 1680000.0 | 0.8    | 0.2 | 0.0  |                          | 1.0     |
| CM8  | Module en ciment                        | Black             | Weathered        | 0.2  | 0.89 | 1680000.0 | 0.8    | 0.2 | 0.0  |                          | 1.0     |
| CM9  | Module en ciment                        | Light red         | New              | 0.22 | 0.94 | 1680000.0 | 0.8    | 0.2 | 0.0  |                          | 1.0     |
| CM10 | Ciment                                  | Red               | Weathered, curvy | 0.27 | 0.95 | 1680000.0 | 0.8    | 0.2 | 0.0  |                          | 1.0     |
| MT4  | Metal peint                             | Copper patina     | New              | 0.45 | 0.94 | 1680000.0 | 0.8    | 0.2 | 0.0  |                          | 1.0     |
| MT5  | Metal peint                             | Slate grey        | New              | 0.12 | 0.94 | 1760000.0 | 1.0    | 0.2 | 0.0  |                          | 1.0     |
| VG1  | Gazon vert                              | Green             | -                | 0.27 | 0.98 | 1280000.0 | 0.28   | 0.2 | 1.0  | Asaeda & Ca, 2000        | 1.0     |
| VG2  | Gazon seche                             | Yellow            | -                | 0.17 | 0.98 | 1280000.0 | 0.28   | 1.0 | 0.9  | Wechsler and Glaser_1966 | 1.0     |
| WT1  | Eau                                     | -                 | -                | 0.07 | 0.95 | 4171448.0 | 0.68   | 0.2 | 1.05 |                          | 1.0     |
| VG3  | Forêt dense                             | Green             |                  | 0.27 | 0.98 | 1280000.0 | 0.28   | 0.2 | 1.3  | Asaeda & Ca, 2000        | 1.0     |
| VG4  | Arbre                                   | Green             |                  | 0.3  | 0.98 | 1280000.0 | 0.28   | 1.2 | 1.0  | Wechsler and Glaser_1966 | 1.0     |

